

Análise Modal da Estrutura de um Baja Sae pelo Método dos Elementos Finitos com Uso do *Software Autodesk Inventor*

PAIVA, Francisco Cassio Sena¹, ARAURO , Ciro Farias², LIMA, Gabriel Cristian Nogueira Alves³, BARBOSA, José Rui⁴

Resumo. Esse relatório técnico tem como objetivo fazer uma análise estrutural de uma gaiola protetora de um modelo BAJA SAE, para fazer a representação do nosso modelo se baseando nas informações e pré-requisitos do SAE Brasil e através do software CAE - CAD 3D Autodesk Inventor, utilizando o método de diferenças finitas, já existente no próprio programa para a realização dos cálculos de deslocamento resultantes de vibrações naturais.

Procurando destacar o funcionamento do programa Inventor, esse artigo, pretende mostra para os alunos de engenharia mecânica, o funcionamento de uma análise modal. Para isso, foi feito uma simulação virtual, de um teste de análise de vibrações, em que o modelo foi submetido a vibrações de diferentes frequências. Os resultados das análises foram retratados através de imagens e gráficos do software.

Palavras-chave: BAJA SAE; Vibrações; Inventor; Análise modal;

¹ Graduando em Engenharia Mecânica. UNI7 – Centro Universitário 7 de Setembro, Fortaleza – CE. <cassio_fk@hotmail.com>.

² Graduando em Engenharia Mecânica. UNI7 – Centro Universitário 7 de Setembro, Fortaleza – CE. <ciro.farias077@gmail.com >.

³ Graduando em Engenharia Mecânica. UNI7 – Centro Universitário 7 de Setembro, Fortaleza – CE. <gabrielc_lima_uni7@hotmail.com>

⁴ Mestre em Engenharia de Produção. UNI7 – Centro Universitário 7 de Setembro, Fortaleza – CE. <jbr.rui@gmail.com>.

1 Introdução

Diversas são as necessidades do ser humano, sendo sua capacidade de locomoção um de seus representantes. Várias opções de locomoção são encontradas no mercado, com destaque para os transportes terrestres, mais especificamente os veículos automotores. Segundo Filho (2004), os veículos automotores podem ser divididos em cinco partes, sendo: direção, suspensão, transmissão, freio e chassi.

Esse trabalho tem como objeto de estudo o chassi, componente estrutural do veículo e componente de suporte dos demais partes de um veículo. Segundo Oliveira (2007), uma estrutura de chassi pode ser construída de três maneiras, chassi tipo escada, tipo monobloco e tipo *spaceframe*. Nesse trabalho, será analisado um chassi do tipo *spaceframe*, adotado no projeto Baja SAE, competição que estimula estudantes de engenharia do Brasil e do mundo a projetarem e construírem um veículo de competição tipo fora de estrada. O chassi que o regulamento técnico do Baja SAE, é denominado de gaiola, estando submetido a diversas variações de esforços, seja de torção, forças laterais e vibrações de diferentes frequências.

Esse trabalho destaca a análise das vibrações, um dos conteúdos da disciplina de Dinâmica das Máquinas do curso de Engenharia Mecânica e tem motivação através da modelagem a análise com auxílio do computador, para a realização da prototipagem virtual com uso do software Inventor. Assim, o objetivo geral do trabalho consiste na análise modal de uma estrutura tipo *spaceframe*, utilizada em projetos tipo Baja SAE, com uso do software Inventos.

Para que os resultados possam ser alcançados, definiu-se um método para análise, consistindo dos seguintes passos: projeto 3D do chassi, definição do software de simulação, definição de malhas, pré-processamento, pós-processamento e análise dos resultados.

2 Procedimentos Metodológicos

Para que o objetivo geral desse trabalho fosse alcançado, um método de trabalho foi desenvolvido, tendo os seguintes desdobramentos.

2.1 Projeto 3D da estrutura

Com o *software Autodesk Inventor* foi realizada a modelagem 3D em estrutura tubular do chassi. O desenho 3D foi desenvolvido a partir da criação dos pontos de Fixação, ou seja, os vértices do desenho. Em seguida foram criadas linhas conectando os vértices do modelo, que posteriormente, em outra etapa do desenho se tornariam os tubos de 1" que compõe o chassi, com o modelo criado foi adicionado o tipo de material, o aço estrutural ABNT 1020.

Toda essa estrutura foi criada tendo como referência o regulamento técnico proposto pelo Baja SAE 2018, conforme apresentado na Figura 1 do anexo.

2.2 Definição do software de simulação

Uma das propostas desse trabalho envolve a integração de conteúdos estudados no curso de Engenharia Mecânica. Para isso, várias disciplinas dão suporte, com destaque para: Desenho Aplicado a Engenharia Mecânica, Resistência dos Materiais e Dinâmica das Máquinas.

Para a realização dessa etapa, utilizou-se o conteúdo trabalhado na disciplina de Dinâmica das Máquinas, onde se faz uso do *software Autodesk Inventor*, no ambiente *Simulation*.

2.3 Definição das malhas

Para que uma análise com uso do Método por Elementos Finitos seja confiável, se faz necessário a otimização das malhas que serão utilizadas para a realização dos cálculos. Quanto menor o tamanho da malha, mais preciso será o resultado. Uma regra prática para definição da malha quando se trabalha com chapas e espessura dos tubos é utilizar 1/3 da espessura.

Nesse trabalho fez-se uso de três tamanhos médio das malhas, sendo 1 mm, 0,5 mm e 0,08 mm, como pode ser visto na Figura 10 do anexo.

2.4 Pré-processamento

Essa ação consiste no processamento da solução do problema por parte do software adotado, tendo como referência diversas condições definidas pelo usuário e solicitadas pelo software.

- Material- Aço ABNT 1020
- Definição dos apoios, no caso engastamento.
- Definição do tipo de análise, no caso análise modal.

A Figura 2 do anexo apresenta os locais onde foram definidos os apoios.

2.5 Pós-processamento

Consiste na apresentação dos resultados que foram processados na ação anterior. O principal resultado a ser analisado consiste no conhecimento das frequências de vibração da estrutura estudada, sendo definidas oito modos frequência com base em três malhas com tamanho médio dos elementos de 1mm, 0,5mm e 0,08mm e tamanho mínimo dos elementos de 0,02mm, fator de nivelamento de 1,5 e um ângulo máximo de giro de 60 graus. Todos os resultados utilizaram um critério de parada de 10%.

3 Referencial Teórico

3.1 Vibrações Mecânicas

Segundo RAO (2014), as vibrações estão espalhadas por toda a nossa volta, como no ato de caminhar, falar e até enxergar. Acompanhadas em módulos de vibrações que determinam o sentido e a distorção de cada vibração.

Segundo DUKKIPATI (2007), por definição, vibração é o movimento de uma partícula, de um corpo ou de um sistema de corpos conectados deslocado de sua posição de equilíbrio. Normalmente na engenharia muitas vibrações são indesejáveis em máquinas e estruturas. Geralmente partes de máquinas rotativas necessitam de balanceamentos cuidadosos de forma a prevenir estragos devidos a vibrações. Em máquinas cujas vibrações são muito acentuadas utilizam-se sistemas de amortecimento.

3.2 Métodos de cálculos computacionais por elementos finitos

O cálculo das propriedades de um material pelo método de elementos finitos consiste em uma interpolação de propriedades entre os diferentes pontos de ligação das malhas, segundo BARROS (2002), o método dos elementos finitos leva em conta o problema da continuidade física, utilizando funções de interpolações, tendo sua convergência aproximada do valor real, quanto mais elementos forem levados em consideração na análise.

3.3 Análise das malhas

Analisar as malhas em um projeto de vibração em como objetivo diminuir as distorções nos resultados provenientes dos cálculos feitos a partir dos métodos de diferenças finitas, segundo Owen (1998), a malha representa a união das subdivisões dos elementos, logo a eficiência da malha dependera da adaptação do refinamento feito. Esse refinamento depende de operações aritméticas, que são proporcionais ao elemento finito. A malha apresenta vários tipos de modelamento, em especial o triangular, o quadrilátero, hexaedros, entre outros.

3.4 Análise computacional

A simulação computacional é uma opção bastante viável na análise de vibrações, pois se o analisador possuir o conhecimento necessário para entendimento dos resultados que podem ser obtidos utilizando-se um software que proporcione esses resultados desejados tem-se então uma medida que pode ser implantada no sistema sem desperdício de mão de obra e matéria prima para construção de um equipamento sujeito a falhas que poderiam ser evitadas caso tivessem sido feitas as modificações necessárias, otimizando o trabalho e reduzindo custos do processo.

3.5 Análise Modal com *software Autodesk Inventor*

O *software Autodesk Inventor* é um programa CAD que permite cria modelos 3D e simulações desses modelos. Obtendo análises de falhas para estruturas, análises

modais de vibrações. Dessa forma, pode-se fazer uma análise sem a necessidade de um modelo físico o que proporciona um menor custo de projeto, menor tempo e reduz a chance de retrabalho.

Para à análise, o *software* utiliza o método de elementos finitos para cálculos da simulação. Isso envolve um erro, e métodos de convergência são realizados por meio das malhas que podem ser mais refinadas ou menos refinadas. Malhas mais refinadas exigem um recurso computacional mais elevado.

4 Resultados

Para os resultados o *software Autodesk Inventor* gerou as frequências apresentadas na Tabela 1 do anexo.

4.1 Análise dos resultados

Após o conhecimento dos modos de falhas obtidos com ajuda do *software Inventor*, faz-se necessário uma análise das principais informações obtidas, principalmente no tocante ao tipo de deformação apresentada.

Conforme resultados apresentados na Tabela 1 do anexo, pode-se observar uma convergência nos valores das frequências para cada tamanho de malha. A malha a ser tratada nessa análise, será a de 0,08 mm.

O *software* gerou uma sequência de imagens as quais estão mostradas no anexo. Para o entendimento figuras que estão no anexo, as cores do contorno exibidas nos resultados correspondem às faixas de valores mostradas na legenda. Na maioria dos casos, os resultados exibidos em vermelho são os mais importantes. Eles representam uma tensão ou uma deformação alta, ou um fator baixo de segurança. Cada um dos resultados fornece diferentes informações sobre o efeito das tensões na peça.

- Modo F1

A Figura 3 do anexo apresenta os resultados obtidos quando a estrutura vibra com frequência de 21,46 Hz e distorção máxima do material de 155,7mm. Neste módulo

de frequência houve uma tensão cisalhante no eixo X na parte superior do chassi estrutural.

- Modo F2

A Figura 4 do anexo apresenta os resultados obtidos quando a estrutura vibra com frequência de 27,41 Hz e distorção máxima do material de 155,7mm. Neste módulo de frequência houve uma tensão cisalhante no eixo Z na parte superior do chassi estrutural.

- Modo F3

A Figura 5 do anexo apresenta os resultados obtidos quando a estrutura vibra com frequência de 30,25 Hz e distorção máxima do material de 155,7mm. Neste módulo de frequência houve uma tensão cisalhante no eixo X na parte traseira do chassi estrutural.

- Modo F4

A Figura 6 do anexo apresenta os resultados obtidos quando a estrutura vibra com frequência de 41,45 Hz e distorção máxima do material de 155,7mm. Neste módulo de frequência houve uma tensão cisalhante no eixo X e uma torção no eixo Y na parte frontal do chassi estrutural.

- Modo F5

A Figura 7 do anexo apresenta os resultados obtidos quando a estrutura vibra com frequência de 44,40 Hz e distorção máxima do material de 155,7mm. Neste módulo de frequência houve uma tensão cisalhante no eixo X na parte frontal do chassi estrutural.

- Modo F6

A Figura 8 do anexo apresenta os resultados obtidos quando a estrutura vibra com frequência de 44,48 Hz e distorção máxima do material de 155,7mm. Neste módulo de frequência houve uma tensão cisalhante no eixo X e eixo Y na parte frontal e

superior no mesmo período houve uma torção entorno do eixo Y do chassi estrutural.

- Modo F7

A Figura 8 do anexo apresenta os resultados obtidos quando a estrutura vibra com frequência de 63,99 Hz e distorção máxima do material de 155,7mm. Neste módulo de frequência houve uma tensão cisalhante no eixo X na parte frontal e inferior do chassi estrutural.

- Modo F8

A Figura 9 do anexo apresenta os resultados obtidos quando a estrutura vibra com frequência de 68,04 Hz e distorção máxima do material de 155,7mm. Neste módulo de frequência houve uma tensão cisalhante no eixo X na parte frontal do chassi estrutural.

5 Considerações Finais

O *software Inventor* por se trata de um programa utilizado pelo mercado de engenharia oferece uma maior confiabilidade nos resultados obtidos. Na cadeira de dinâmica das máquinas se faz uso desse *software* como material de apoio a teoria de vibrações mecânicas. O método de elementos finitos presente nesse *software* se mostram bastante confiável se comparados ao obtidos em sala, apesar do *software* apresenta uma margem de erro de 10% para convergência de malha os resultados ainda são bastante precisos.

O *software Autodesk Inventor* permitiu criar diferentes estudos de modificando as malhas sem a necessidade de criação de uma nova estrutura.

Em um trabalho posterior pode-se fazer o modelo físico, no qual pode-se realizar novos testes de vibrações para a comparação entre os dados expostos pelo *Inventor* com os dados obtidos experimentalmente.

6 Referências

- [1] FILHO, R. R. P. Concepção, projeto e otimização de uma estrutura para aplicação em veículo de uso misto. 2004.
- [2] OLIVEIRA, F. C. G. d. **Contribuição ao desenvolvimento de uma estrutura veicular tipo spaceframe usando o método dos elementos finitos e métodos heurísticos de otimização numérica.** 2007.
- [3] Rao, S., **Vibrações mecânicas.** 4. ed., Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2014.
- [4] DUKKIPATI, Rao V SOLVING VIBRATION ANALYSIS PROBLEMS USING MATLAB. 1, dez. 2007.
- [5] BARROS, Felício Bruzzi. **Métodos Sem Malha e Método dos Elementos Finitos Generalizados em Análise Não-Linear de Estruturas.** 2002. 222 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- [6] OWEN, S.J., **A survey of unstructured mesh generation technology**, Proc. 7th Internat. Meshing Roundtable, Dearborn, MI, USA, October 1998.