

**CONEM 2016**  
CONGRESSO NACIONAL DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

**21-25**  
**AGOSTO DE 2016**  
**FORTALEZA - CEARÁ**

## **ANÁLISE DE VIBRAÇÃO DO MOTOR DE UM VEÍCULO MINI BAJA, POR MEIO DE SIMULAÇÃO NUMÉRICA.**

Gustavo Magela Melchiades, [gustavommelchiades@gmail.com](mailto:gustavommelchiades@gmail.com)<sup>1</sup>

Tiago Simão Ferreira, [tiago.simao@ifmg.edu.br](mailto:tiago.simao@ifmg.edu.br)<sup>1</sup>

Diógenes Sena de França Silva, [diogenes.sfs@gmail.com](mailto:diogenes.sfs@gmail.com)<sup>1</sup>

Timóteo Simão Ferreira, [timoteo\\_ferreira@hotmail.com](mailto:timoteo_ferreira@hotmail.com)<sup>2</sup>

Reginaldo Almeida, [reginaldo.almeida@fcagroup.com](mailto:reginaldo.almeida@fcagroup.com)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Congonhas, Av. Michel Pereira de Souza, 3007 - Campinho, Congonhas - MG, 36415-000

<sup>2</sup> Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901

**Resumo:** A vibração ocorre normalmente devido aos efeitos dinâmicos de tolerâncias de fabricação, folgas, atritos entre peças. A existência de elementos vibratórios em uma máquina produz ruído indesejável, altas tensões, desgaste e frequentemente, avaria prematura de uma ou mais peças, caso entre em ressonância. Este trabalho tem o objetivo de analisar as vibrações provenientes do motor monocilíndrico de 10hp pelo método de elementos finitos, realizando testes e simulações. Para este estudo foi elaborado um modelo virtual, em elementos finitos de um veículo baja, com condições e propriedades (densidade, módulo de elasticidade, poisson, densidade) referenciadas em testes experimentais feitos em laboratórios de ensaios. Serão estudados os efeitos das vibrações provenientes do motor sobre a estrutura, analisando os modos naturais bem como sua resposta de aceleração pela frequência dada de excitação. Assim, o objetivo principal deste trabalho é estabelecer uma metodologia numérica onde, com os resultados observados, será possível aplicar medidas corretivas para diminuir seus efeitos indesejáveis na estrutura do Mini-Baja.

**Palavras-chave:** Vibração mecânica, Elementos Finitos, Simulações Numéricas.

### **1. INTRODUÇÃO**

O projeto de Baja da SAE foi criada na Universidade da Carolina do Sul, Estados Unidos, sob a direção de Dr. John F. Stevens e a primeira competição foi no ano de 1976. O projeto começou no Brasil em 1991 e teve a primeira competição em 1995 e desde então vários estudantes de universidades nacionais disputam uns contra os outros em vários tipos de provas que testam ao máximo cada veículo, para que, em cada edição, uma equipe se torne a campeã nacional e ganhe o direito de representar o Brasil em uma competição internacional. Além da competição em si, o projeto Baja SAE Brasil é uma oportunidade dos alunos de engenharia aplicarem o conhecimento adquirido em sala de aula.

Os estudantes de Instituições de Ensino Superior que participam da competição Baja SAE ficam envolvidos com o desenvolvimento de um projeto detalhado até a construção do Mini-Baja e buscando sempre melhorar o desempenho, com a preocupação global em relação ao consumo de combustível e consequentemente de emissão de poluentes. Sendo durante a Competição Nacional de Baja SAE Brasil, uma das provas mais importantes, o enduro de resistência - que consiste em uma corrida de quatro horas de duração. Portanto, visando aumentar o tempo do Baja na pista é necessário aumentar a autonomia do mesmo, ou seja: aumentar a quantidade de quilômetros que o carro percorre consumindo um litro de gasolina. Garantindo também um menor consumo de combustível e uma menor emissão de poluentes na atmosfera.

O método dos elementos finitos é um procedimento aproximado que tem sido muito utilizado pelas equipes na análise e desenvolvimento de projetos estruturais para sistemas mais complexos, independente da geometria e das condições de carregamento da estrutura dentro da precisão da engenharia. Esse procedimento alternativo constitui-se em uma ferramenta poderosa de análise que será utilizada para avaliar o comportamento estrutural do Mini-Baja.

Este trabalho tem como objetivo a análise das vibrações da estrutura do veículo Mini-Baja e de seu motor de combustão interna.

A primeira parte deste trabalho será identificar as frequências naturais de trabalho do motor. Para a competição de Baja da SAE Brasil não é permitido alterar as principais configurações do motor. Segundo o regulamento da competição da SAE Brasil (2016), o motor deve ser o mesmo para todos os veículos e o mesmo não deve ser alterado, permanecendo original de fábrica.

A segunda parte será analisar as vibrações da gaiola do Mini-Baja, pelo método de elementos finitos, para evitar que os dois tenham frequências próximas causando o efeito de ressonância. Pois conhecendo as frequências naturais e os modos de vibração da gaiola e do motor será possível conhecer o comportamento dinâmico da estrutura e indicar reforços aos pontos mais críticos da estrutura.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Estudo de vibração e ruídos provenientes do motor

O regulamento da competição de Baja SAE Brasil (2016) define o motor que deve ser utilizado pelas equipes da seguinte maneira: Motor quatro tempos, monocilíndrico à gasolina, alimentado por carburador. 305 cilindradas, 10HP e torque máximo de 14,4lb.ft. A curva padrão do motor está disponível na Fig.1.

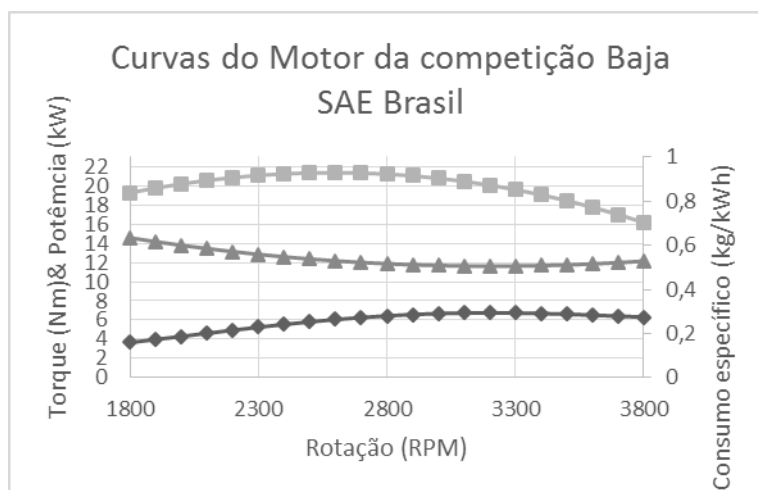


Figura 1: Curva de potência, torque e consumo específico em função da rotação do motor. Fonte: Autor

Greges (2005) define que o motor, devido às suas características construtivas e funcionais, é a principal fonte de vibração e ruído do veículo, pois, é através do motor que as vibrações e ruídos são transmitidos para a carroceria e consequentemente sentido pelo piloto do mini-baja.

A vibração do motor está relacionada à rotação, e à medida que esta rotação aumenta a vibração também aumenta. Para avaliar o sistema de vibração do motor é necessário utilizar o domínio da frequência. De acordo com a Eq.(1) é possível obter a frequência do motor.

$$f = \frac{RPM}{60} \cdot n \quad (1)$$

O referido motor utilizara a ordem de correspondente igual a  $\frac{1}{2}$  como pode ser visto na Tab.1. E os valores de rotação da Fig.1 servem como dados de entrada na Eq.(1) e geram a reta de frequência em função da rotação do motor que pode ser vista na Fig.2.

Tabela 1: Ordens em motores à combustão. Fonte: Brunetti (2013).

| Nº de cilindros | Ciclos | Ordens que aparecem                    |
|-----------------|--------|----------------------------------------|
| 1               | 2      | 1,2,3,4...                             |
| 1               | 4      | $\frac{1}{2}$ ,1,1 $\frac{1}{2}$ ,2... |
| 2               | 2      | 2,4,6,8...                             |
| 2               | 4      | 1,2,3,4...                             |
| 3               | 2      | 2,6,9...                               |
| 3               | 4      | 1 $\frac{1}{2}$ ,3,4 $\frac{1}{2}$ ... |

|   |   |                                     |
|---|---|-------------------------------------|
| 4 | 2 | 4,8,12...                           |
| 4 | 4 | 2,4,6,8...                          |
| 5 | 2 | 5,10,15...                          |
| 5 | 4 | $2\frac{1}{2}, 5, 7\frac{1}{2}$ ... |
| 6 | 2 | 6,12,18...                          |
| 6 | 4 | 3,6,9,12...                         |

## 2.2. Análise modal da gaiola de um veículo Mini-Baja

A gaiola do veículo Mini-Baja analisada foi projetada em estrutura tubular de aço SAE 1010 com diâmetro de 25,4mm e espessura de 3,175mm como mostra na Fig. 2.

Model Info: Untitled\*

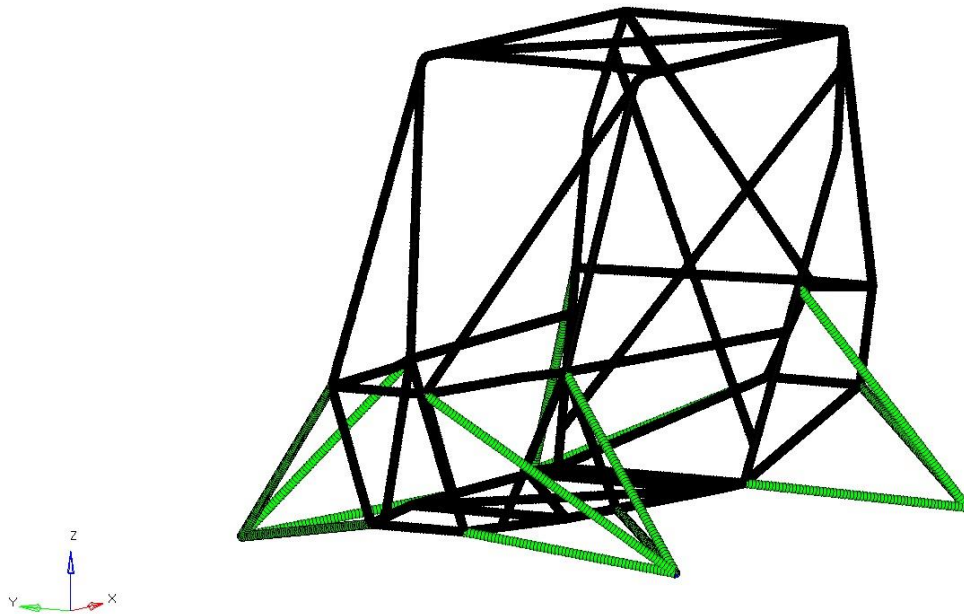


Figura 2: Gaiola. Fonte Autor.

O modelo numérico foi criado usando elementos do tipo 1D, ou seja, linear. A escolha por este tipo de elemento se deu pois o diâmetro do tubo da gaiola não varia. A Fig. 3 mostra a seção do tubo utilizado na gaiola do veículo Mini-Baja; enquanto a Tab. 2 detalha os dados da malha.



Figura 3: Seção do tubo. Fonte: Autor

Tabela 2: Número de elementos e nós da gaiola. Fonte: Autor.

|                     |      |
|---------------------|------|
| Número de elementos | 4381 |
|---------------------|------|

|                       |      |
|-----------------------|------|
| Número de nós         | 4336 |
| Tamanho dos elementos | 10mm |

A condição de contorno para a análise modal foi feita na condição “livre-livre” o que resulta na presença dos seis primeiros modos de vibrar como vibração de corpo rígido.

Segundo Bosch (2005), o método de elementos finitos consiste na divisão de um corpo em elementos de forma simples, tão pequeno quanto possível, mantendo-os ligados permanentemente entre si pelos seus nós. É avaliado o comportamento de cada parte para obter as interações e o comportamento de todo o conjunto Silva (2001) sendo possível assim obter o comportamento dinâmico do corpo.

Bosch (2005) afirma que a análise modal é o comportamento dinâmico de uma estrutura que é obtida com a utilização de um modelo matemático pelo método de elementos finitos. A representação da gaiola pelo método de elementos finitos leva a um sistema de  $n$  equações diferenciais de segunda ordem de acordo com a Eq.(2), Soeiro et al (2000).

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = F(t) \quad (2)$$

Na análise modal, a matriz de amortecimento e a vetor de forças são considerados nulos, por isso a Eq. (2) passa a ser escrita como Eq.(3).

$$M\ddot{x} + Kx = 0 \quad (3)$$

Foi utilizado como dados de entrada a geometria da gaiola, suas propriedades e as condições de contorno. Nesta análise foi aplicado na gaiola condição de contorno livre, utilizando uma malha 1D e para as soldas elementos 1D rígidos. Durante a análise modal, foram determinadas numericamente as frequências naturais da gaiola, que futuramente serão validadas em análise modal experimental.

### 3. RESULTADOS

A Tab. 3 apresenta as principais frequências do motor em estudo que foram obtidas através da Eq. (1).

Tabela 3 : Frequências do Motor. Autor

| Rotação por minuto (RPM) | Frequencia (Hz) |
|--------------------------|-----------------|
| 1800                     | 15 Hz           |
| 3200                     | 26,6667 Hz      |
| 3800                     | 31,6667 Hz      |

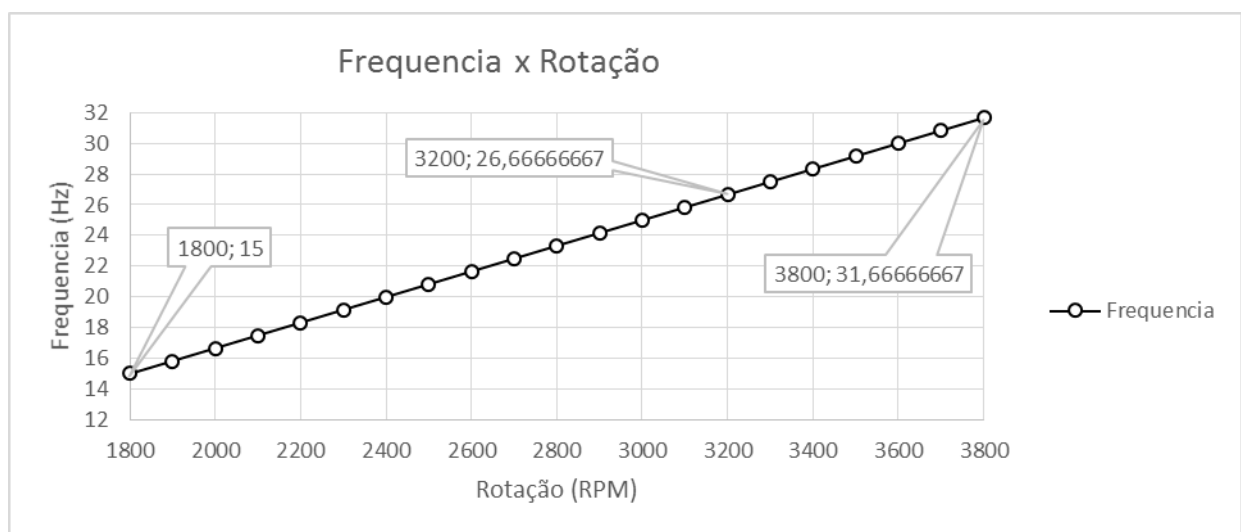


Figura 4: Reta da Frequencia natural do motor em função da rotação do mesmo. Fonte: Autor

As Fig. 5, 6, 7 e 8 ilustram a geometria da gaiola durante a análise modal e seus modos de vibração respectivamente.

### Analysis Results

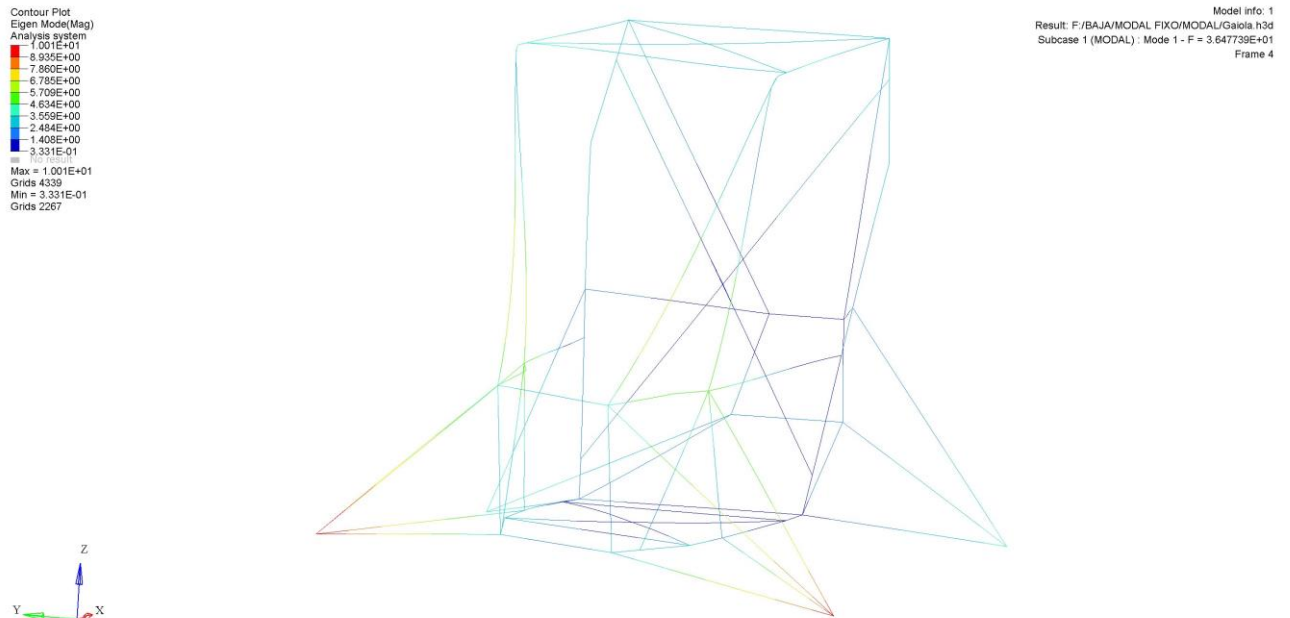


Figura 5: 1º Modo de vibração. Fonte: Autor

### Analysis Results

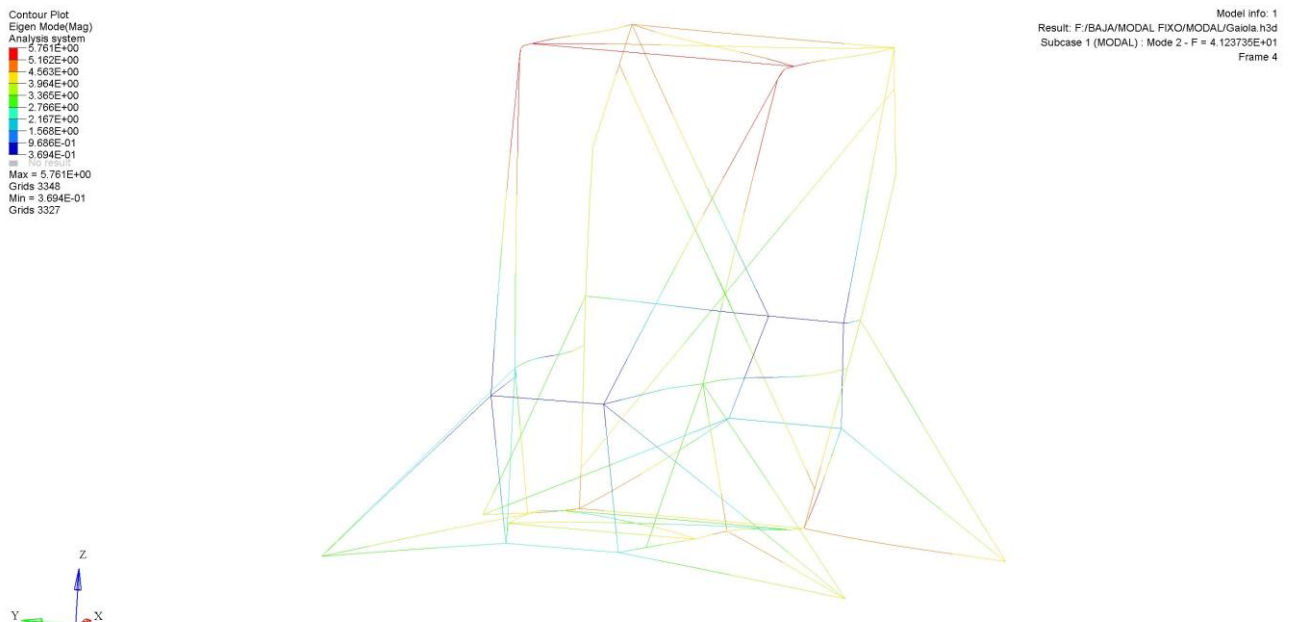


Figura 6: 2º Modo de vibração. Fonte: Autor

### Analysis Results

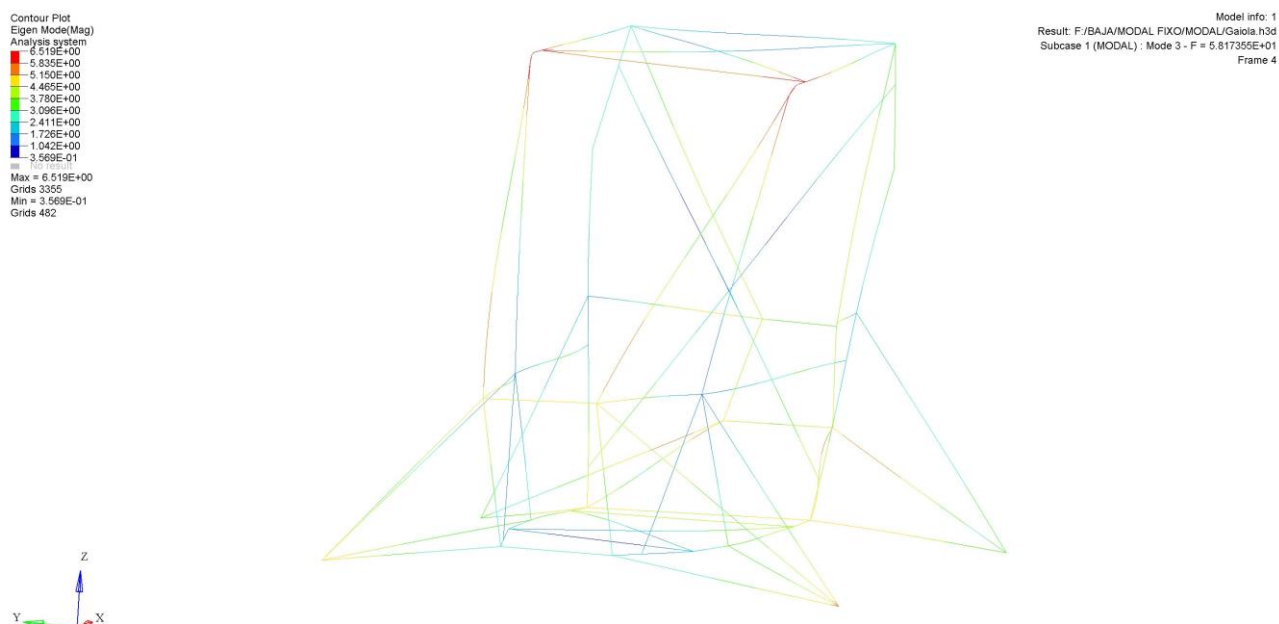


Figura 7: 3º Modo de vibração. Fonte: Autor

### Analysis Results

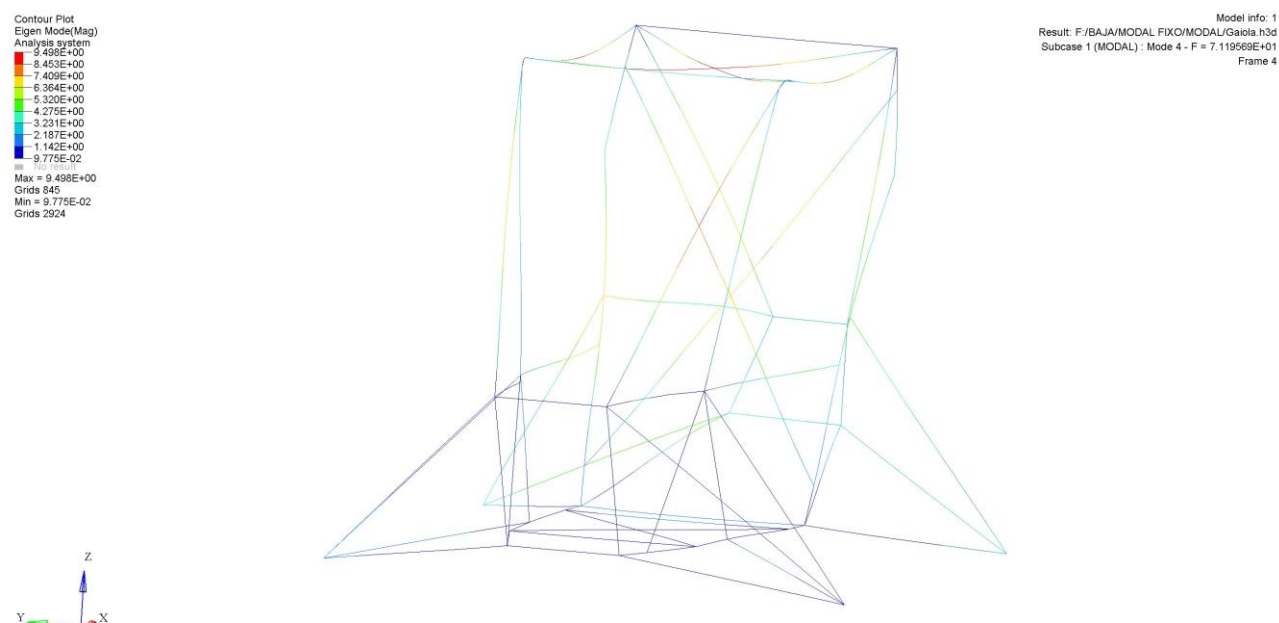


Figura 8: 4º Modo de vibração. Fonte: Autor

Foram levados em conta apenas os modos de vibrações com frequências maiores que 1Hz, porque os modos de vibração com frequência menor que 1Hz são vibrações de corpo livre. Esses modos apresentados na Tab. 4 demonstram como a gaiola reage a cada frequência natural, demonstrando seus deslocamentos, possibilitando localizar onde a gaiola pode ser melhorada para a faixa de trabalho do veículo.

Tabela 4: Modos de vibração da gaiola do Mini-Baja. Fonte: Autor

|                     |         |
|---------------------|---------|
| 1° modo de vibração | 36,48Hz |
| 2° modo de vibração | 41,23Hz |
| 3° modo de vibração | 58,17Hz |
| 4° modo de vibração | 71,20Hz |

#### 4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos na análise modal numérica da gaiola e na análise numérica da frequência de trabalho do motor, pode-se concluir que para a rotação do motor de 3800 RPM a frequência fica próxima do 1° modo de vibração da gaiola, e essa diferença de frequências pode diminuir quando os outros componentes estiverem na gaiola, podendo ocorrer a falhas por ressonância. O próximo objetivo deste trabalho será a realização da análise experimental para seja possível confrontar com os valores obtidos.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o auxílio dos membros da equipe de Bajaço, o apoio do Instituto Federal de Minas Gerais Campus Congonhas e também da Altair Brasil pela contribuição à realização do trabalho.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Brunetti, F., 2012. Motores de Combustão Interna. 3ªEd. Vol1. São Paulo: Blucher. pp. 223-250.
- Rao, S., 2008, "Vibrações Mecânicas". 4ed. Pearson Prentice Hall.
- Gerges, S. N. Y., 2005, "*Ruídos e Vibrações veiculares*". 1º Ed. Florianópolis.
- Bosch, R. 2005. Manual de Tecnologia Automotiva. 25ªEd. São Paulo: Blucher. pp. 48;190-196.
- Silva J. G. S., Soeiro F. J. C. P, Trigueiro G. S., Roberto M. A. R., "Análise Estrutural de Chassi de Veículos Pesados com Base no Emprego do Programa ANSYS", Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia (Cobenge), 2001.
- Soeiro, N.S. et al, 2000, "Uma Metodologia de Modelagem Vibro-Acústica de Caixa de Engrenagem de Uso Veicular", Tese de Doutorado, UFSC.
- SAE Brasil (RBSB5). Requisitos Gerais do Veículo. 2016.
- Ferreira T. S., 2010. "Influência das Vibrações geradas pelo motor sobre o conforto de passageiros em veículos terrestres", Universidade de Minas Gerais, VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM), 2010
- Freitas, T. C., Jardim, M. F., Pereira, J. A., "Análise Estática e Modal da Gaiola do Mini-Baja Utilizando o Método dos Elementos Finitos", Instituto Politécnico Nova Friburgo, Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica (CREEM), 2004.
- Eugênio, F., Gonçalves, T., Anflor, C., Neves, F., "Análise dos Modos de Vibrações da Estrutura da Gaiola do Mini-Baja", Universidade de Brasília, Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica (CREEM), 2010.
- Soeiro, N. S., Lopes, F. A. C., Cordeiro, C. E. A., "Dimensionamento e Cálculo Estrutural da Gaiola de um Veículo Mini-Baja", Universidade Federal do Pará, Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM), 2002.

#### 7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

## ANALYSIS ENGINE VIBRATION A VEHICLE MINI BAJA BY SIMULATION MEANS OF NUMERICAL.

Gustavo Magela Melchiades, [gustavommelchiades@gmail.com](mailto:gustavommelchiades@gmail.com)<sup>1</sup>

Tiago Simão Ferreira, [tiago.simao@ifmg.edu.br](mailto:tiago.simao@ifmg.edu.br)<sup>1</sup>

Diógenes Sena de França Silva, [diogenes.sfs@gmail.com](mailto:diogenes.sfs@gmail.com)<sup>1</sup>

Timóteo Simão Ferreira, [timoteo\\_ferreira@hotmail.com](mailto:timoteo_ferreira@hotmail.com)<sup>2</sup>

Reginaldo Almeida, [reginaldo.almeida@fcagroup.com](mailto:reginaldo.almeida@fcagroup.com)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Congonhas, Av. Michel Pereira de Souza, 3007 - Campinho, Congonhas - MG, 36415-000

<sup>2</sup> Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901

**Abstract.** *The vibration is usually due to the dynamic effects of manufacturing tolerances, clearances, friction between parts. The existence of vibrating elements on one machine produces undesirable noise, high voltages, often wear and premature failure of one or more parts, in case of resonance. This work aims to analyze the vibrations from the engine single cylinder 10hp by finite element method, tests and simulations. For this study, we constructed a virtual model, a finite element Baja vehicle, conditions and properties (density, modulus of elasticity, Poisson density) referenced in experimental tests in testing laboratories. The effects of vibrations from the engine on the structure will be studied by analyzing the natural modes and its throttle response by the given frequency excitation. Thus, the main objective of this work is to establish a numerical methodology where, with the observed results, you can apply corrective measures to reduce their undesirable effects on the Mini-Baja structure.*

**Keywords:** *Mechanical Vibration, Finite Elements, Numerical Simulation.*