

## ANÁLISE DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS POR IMPACTO FRONTAL EM UM CHASSI SPACE FRAME DE MINI BAJA VIA ELEMENTOS FINITOS

**Resumo:** Os veículos “off road” de Mini Baja utilizam chassi do tipo space frame na sua parte estrutural. Tal tipo é composto de elementos treliçados tridimensionalmente, e estes componentes estruturais garantem maior resistência mecânica, leveza e segurança. Contudo, é muito comum nas competições ocorrerem situações extremas com o veículo, e estas acabam gerando impactos no chassi. O impacto pode deformar elasticamente ou plasticamente por conta do carregamento ocasionado, mas também transmite vibrações mecânicas para a estrutura, e estas podem fazer com que a mesma entre em ressonância. Através do software FEMAP™, é feita uma análise computacional das simulações de impacto frontal via elementos finitos, verificando assim o comportamento estrutural do chassi e as consequências das vibrações transmitidas para ele.

**Palavras-chave:** vibrações; chassi; space frame; Baja; impacto.

### 1 INTRODUÇÃO

A Competição Nacional Baja SAE Brasil, organizada pela SAE (*Society of Automotive Engineers*), é um evento universitário que ocorre anualmente em São José dos Campos - SP. Trata-se do projeto de protótipos Mini Baja (veículos “off-road”) e competição entre eles, representando diversas Instituições de Ensino Superior de todo o Brasil participantes, com o intuito de expandir os conhecimentos teóricos e práticos e habilidades em desenvolvimento de projetos, com alunos de diversas engenharias.

Os veículos projetados devem seguir os regulamentos e normas propostos pela SAE. Estes regulamentos visam garantir a segurança do piloto e integridade dos veículos durante as competições. Durante a avaliação dinâmica de “Endurance”, os veículos passam por obstáculos acentuados em um circuito com terreno acidentado durante a prova com duração de 4 horas. Em situações extremas como passar por crateras profundas ou por troncos robustos, o sistema de suspensão pode não suportar suficientemente o estresse imposto sobre o carro, e este tipo de situação pode ocasionar em um capotamento ou impacto em algum dos extremos do carro com a pista. Quando isto ocorre, a estrutura pode sofrer tanta deformação elástica como plástica dependendo da carga recebida pelo impacto e das propriedades da mesma.

Se a estrutura receber um impacto ou choque forte o suficiente para que o carregamento supere a resistência do material do chassi, esta irá se deformar permanentemente, com probabilidade grande de ruptura. Pela parte mecânica, as vibrações transmitidas durante o choque podem gerar frequências tão grandes que podem levar a estrutura a entrar em ressonância, ou seja, ser destruída.

Este artigo tem por finalidade analisar as vibrações que ocorrem em um chassi do tipo space frame para Mini Baja em uma das situações de impacto mais comuns da área automobilística – impacto frontal –, simulando via elementos finitos pelo software pré-processador FEMAP™ com seu pós-processador NX Natran™ o comportamento do chassi pela parte modal analisando a frequência de excitação com relação a frequência natural e exibindo seus resultados.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Conceito de chassi e elemento estrutural

A construção de elementos estruturais para sustentação de veículos tem sido um grande desafio para o automobilismo, que tem buscado alcançar um padrão ideal entre leveza e resistência mecânica. Estes elementos são cada uma das partes diferenciadas do corpo, que, ainda que vinculadas, podem ser divididas em uma estrutura singulares para efeitos de seu projeto. O projeto e cálculo destes elementos é feito de acordo com os princípios da engenharia estrutural e da resistência dos materiais.

O chassi ou quadro é uma estrutura de suporte utilizada em um veículo automotor que tem por finalidade proteger todos os seus subsistemas e garantir a segurança de quem estiver dentro dele. Pode ser essencialmente comparado a um esqueleto, visto que sustenta todos os sistemas e é a base em que o veículo praticamente corre.

### 2.2 Space frame

Dentre as ramificações da área de chassi existem vários tipos que são utilizados pelas empresas automobilísticas, diferenciando-se apenas por sua finalidade. Os principais tipos de chassi são o chassi de túnel, chassi de longarinas, monocoque e *space frame*.

Existem diversas características comuns entre estes tipos de chassi, como resistência a carregamentos específicos na estrutura ou proteção de partes vulneráveis do veículo, enquanto outros tendem a fazer com que todos os componentes do veículo se comportem como uma única estrutura, de forma a acoplar os subsistemas de modo satisfatório para com o projeto.

O “*space frame*”, ou estrutural espacial, é uma estrutura com elementos treliçados, ou seja, com geometrias triangulares. Por conta da sua configuração, este arranjo é forte devido a sua alta rigidez e distribuição dos carregamentos para os extremos de cada elemento. Cargas de flexão são transmitidas como tração e compressão de cargas ao longo dos nós.

A aplicação do *space frame* não se restringe somente ao automobilismo, mas também a estruturas rígidas como pontes, estádios, aeroportos, edifícios e outros. O *space frame* é geralmente projetado com uma matriz de rigidez, e pode ser definido tanto por elementos simples como tubos quanto por elementos rígidos como treliças.

O custo de fabricação deste modelo geralmente é mais barato que os demais por conta de ser fabricado com componentes mais simples. Porém, a complexidade da fabricação de um *space frame* pode variar desde a estrutura treliçada mais simples até a mais complexa.

Este tipo de estrutura é praticamente uma junção das principais características do chassi de longarinas e o monocoque, destacando-se por apresentar uma massa menor que os demais. Como a massa reduzida é um dos principais objetivos na construção de um chassi, é trivial que quanto menor esta for, menor será a força necessária para acelerar o corpo. Tal afirmação é confirmada pela 2ª Lei de Newton, em que o somatório das forças resultantes em uma direção é a força resultante “F” (em Newton) e é igual ao produto da massa “m” (em kg) pela aceleração “a” (em m/s<sup>2</sup>), ou seja:

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (1)$$

### 2.3 Vibrações mecânicas em estruturas treliçadas

Em todas as áreas das Engenharias, existem diversos tipos de elementos de sustentação físicos que abrangem diversos sistemas. A treliça é uma das estruturas de fundamental

importância e possui algumas propriedades notáveis, como vibrações cíclicas com poucas frequências naturais dominantes, ressonância e modos naturais de vibração.

Os impactos em si podem ser caracterizados por três tipos: o impacto frontal, o impacto lateral e o capotamento.

A rigidez de um chassi é o que diferencia um carro no momento da colisão. Para determinar a rigidez em uma estrutura treliçada tridimensional, pode-se fazer uma analogia para uma treliça bidimensional isostática.

Adotando-se como exemplo uma treliça com um carregamento vertical “P” aplicado em um nó, deve-se primeiramente encontrar o deslocamento de um nó para uma treliça bidimensional:

$$\delta = \delta_{flexão} + \delta_{cortante} + \delta_{normal} \quad (2)$$

Em que “ $\delta_{flexão}$ ” é o deslocamento provocado por esforços de flexão, “ $\delta_{cortante}$ ” é o deslocamento provocado por esforços cisalhantes e “ $\delta_{normal}$ ” é o deslocamento provocado por esforços normais.

Como na treliça do exemplo os esforços de flexão e de cisalhamento são nulos, visto que a carga é aplicada em um nó, tem-se que:

$$\delta = \delta_{normal} \quad (3)$$

Logo, a equação do deslocamento resulta em:

$$\delta = \int_0^L \frac{N \cdot \bar{N}}{E \cdot A} dx \quad (4)$$

Em que “N” é esforço normal da estrutura real (N); “ $\bar{N}$ ” é o esforço normal da estrutura virtual (adimensional); “E” é o módulo de elasticidade do material (Pa); “L” é o comprimento de cada elemento da estrutura (m) e “A” é a área da seção transversal (m<sup>2</sup>).

Deste modo, como os elementos estruturais possuem dimensões permanentes, pode-se simplificar a Equação (4) deste modo:

$$\delta = \sum_{i=1}^n \frac{N \cdot \bar{N} \cdot L}{E \cdot A} \quad (5)$$

Ao calcular os esforços normais das barras da treliça, utiliza-se o Método do Trabalho Virtual para encontrar os esforços normais da estrutura virtual (HIBBELER, 2005).

Como a estrutura está recebendo um carregamento “P”, a equação do deslocamento (Equação 5) ficará em função do mesmo. Contudo, como o conceito de rigidez é a capacidade que a estrutura tem de se deslocar unitariamente em uma determinada direção, o deslocamento deverá ser unitário e a carga P assumirá a própria rigidez, ou seja, em que  $\delta=1$  e  $P=K$ . Substituindo estas relações na Equação (5), tem-se a rigidez para a treliça:

$$K = \sum_{i=1}^n \frac{E \cdot A}{N \cdot \bar{N} \cdot L} \quad (6)$$

Em que “K” é a rigidez (N/m); “E” é o módulo de elasticidade do material (Pa); “A” é a área da seção transversal (m<sup>2</sup>); “N” é esforço normal da estrutura real (N); “ $\bar{N}$ ” é o esforço normal da estrutura virtual (adimensional) e “L” é o comprimento de cada elemento da estrutura (m).

Nas situações de impacto, a carga aplicada na estrutura não é localizada nos nós, mas sim em cima de sua superfície. Este tipo de carga, diferentemente da carga em um ponto, gera a



contribuição do esforço normal para o cálculo do deslocamento da estrutura, visto que existem momentos fletores atuando nas barras. A contribuição de cisalhamento não atua neste caso devido às cargas estarem atuando de forma a flexionar a estrutura, de frente para o chassi. Logo, o deslocamento resultante será:

$$\delta = \delta_{flexão} + \delta_{normal} \quad (7)$$

Substituindo os deslocamentos relativos, tem-se:

$$\delta = \sum_{i=1}^n \frac{M_i \cdot \bar{M}_i \cdot L_i}{E \cdot I_i} + \sum_{i=1}^n \frac{N_i \cdot \bar{N}_i \cdot L_i}{E \cdot A_i} \quad (8)$$

Em que “M” é o momento fletor da estrutural real (N.m); “ $\bar{M}$ ” é o momento fletor da estrutura virtual (adimensional) e “I” é o momento de inércia (m<sup>4</sup>).

Logo, utilizando as relações (6) e (7) para a Equação (10), tem-se:

$$K = \sum_{i=1}^n \frac{E \cdot I_i}{M_i \cdot \bar{M}_i \cdot L_i} + \sum_{i=1}^n \frac{E \cdot A_i}{N_i \cdot \bar{N}_i \cdot L_i} \quad (9)$$

A rigidez não sofre influência da magnitude do carregamento imposto sobre a estrutura, mas sim pelo seu posicionamento nos nós. A posição da carga decorre na mudança das reações nos apoios, e tais reações afetam diretamente na rigidez.

Com a rigidez calculada, obtém-se a frequência natural da estrutura. Assim como no sistema massa-mola, analogamente a frequência natural das treliças é obtida da mesma forma:

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (10)$$

Em que “ $\omega$ ” é a frequência natural da estrutura (Hz); “K” é a rigidez (N/m) e “m” é a massa (kg).

É possível evitar a ressonância de um sistema aumentando sua rigidez ou mudando sua massa. Em ambos os casos se altera a frequência natural da estrutura. No caso do impacto, quanto maior for a colisão, maior será a frequência de excitação gerada sobre o chassi.

Para garantir a segurança dos componentes, a frequência de excitação deve ser menor que a frequência natural da estrutura, evitando de forma definitiva a ressonância do sistema. Dependendo da posição do impacto, a estrutura pode ter um modo diferente de vibrar.

Um dos elementos fundamentais na análise modal é o modo de vibração. Geralmente os softwares comerciais mostram o modo de vibrar em forma de deslocamento unitário. Isso acontece porque esta análise é considerada somente para conclusões qualitativas, ou seja, os valores dados de deslocamento do programa são ilustrativos para que seja possível visualizar a forma com que a geometria se deforma. A grandeza do deslocamento só pode ser analisada se as condições de contorno estivessem presentes na simulação. Ainda assim, esta informação é útil caso se deseje saber em qual região haverá o maior deslocamento, caso o sistema seja excitado na sua frequência natural.

É notável que em uma simulação modal não é possível se tirar conclusões a respeito das tensões atuantes no sistema, já que os deslocamentos dos nós são somente representativos, sem nenhuma semelhança em intensidade com o deslocamento real da estrutura.

Também não é possível afirmar que uma estrutura irá entrar em colapso caso a frequência de excitação coincida com a frequência natural. A única conclusão imediata possível, caso isto ocorra, é que haverá a amplificação dos deslocamentos da estrutura, e esta amplificação

pode causar alguns tipos de falhas como: por ruptura (a qual é foco deste trabalho), por fadiga ou por ruído (EAC, 2013).

A falha por ruptura ocasiona na deformação amplificada que excede a deformação crítica do material, causando o escoamento ou ruptura do mesmo. Já a falha por fadiga ocasiona na deformação amplificada que aumenta a tensão na estrutura a ponto de a sua não ser mais considerada infinita ou com a vida inferior ao número de ciclos determinados no projeto, enquanto a falha por ruído é gerada pela amplificação do deslocamento da estrutura.

Estes parâmetros físicos e vibracionais são os principais fatores analisados no momento de se projetar qualquer tipo de estrutura, independentemente de ser móvel ou fixa.

## 2.4 Método dos Elementos Finitos

Os problemas estruturais sempre foram estudados fundamentalmente na Engenharia. Tais problemas são baseados no dimensionamento, definição de material e no projeto de uma estrutura física.

Fatores como o material, capacidade de suportar esforços axiais, radiais, cisalhantes, fletores e normais fazem total diferença no projeto de uma estrutura. Para se definir as propriedades e o comportamento destes fatores, são utilizados métodos matemáticos que mostram ao engenheiro o que acontecerá com a estrutura. Contudo, costuma-se utilizar um sistema equivalente ao da estrutura real, a fim de simplificar os cálculos. Porém, por conta da aproximação analítica perde-se a precisão do comportamento real.

O Método dos Elementos Finitos (ou MEF) atua de forma que, malhando uma estrutura em finitos elementos, que podem ser definidos de acordo com a qualidade de precisão da análise, torne cada um de seus elementos em um sistema resultante da estrutura ao todo naquele espaço delimitado. Realizando os cálculos para somente um elemento, tem-se o comportamento dele na estrutura, que poderá ser diferente ou não de outros pontos da mesma. Este mesmo processo, realizado para toda a estrutura, gera uma análise resultante que aproxima ao máximo a estrutura modelada ao sistema físico.

Com isto, adota-se o software FEMAP™, da Siemens, que é um dos melhores na plataforma de elementos finitos. Seu sistema atua em duas partes: seu pré-processador, denominado como o próprio FEMAP™, que é o pré-processador do conjunto que atua na parte de modelagem e definição de parâmetros do sistema; e o seu pós-processador NX Nastran™, que atua com a simulação e processamento de dados da análise, demonstrando o comportamento do sistema.

## 3 METODOLOGIA

Como o estudo do chassi é centrado na verificação da sua ressonância, devem-se estudar a sua frequência de excitação e a sua frequência natural. Logo, a análise consiste em duas etapas: obter individualmente a frequência de excitação e a frequência natural.

Utilizando o software Autodesk Inventor Professional®, realizou-se a modelagem e dimensionamento do chassi, seguindo a regulamentação das normas da SAE Brasil, de acordo com a Figura 1a.

Os tubos utilizados no chassi são de dois tipos: os primários que são tubos de aço-carbono AISI 1020 com 31,75 mm de diâmetro e 2 mm de espessura e os secundários que são tubos de aço AISI 1020 com 28,7 mm de diâmetro e 2 mm de espessura. As propriedades mecânicas destes tubos necessárias para a análise foram coletadas da bibliografia e reunidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades do material (Aço AISI 1020).

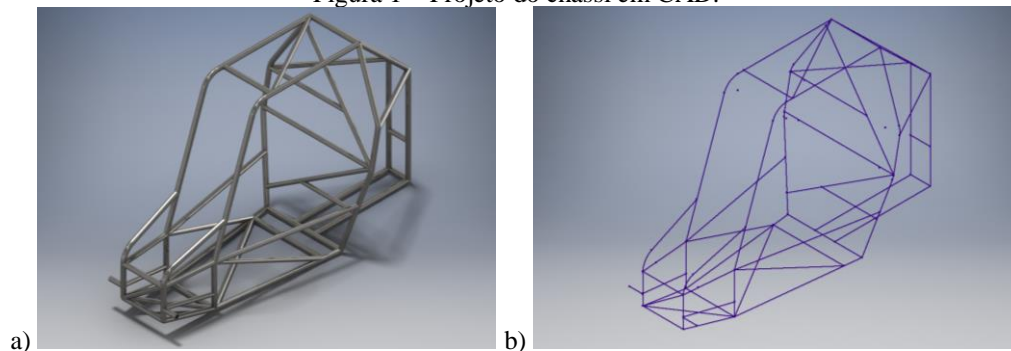
Propriedades Físicas		Propriedades mecânicas	
Densidade	7,87 g/cm <sup>3</sup>	Resistência máxima à tração	395 MPa
		Limite de Elasticidade	295 MPa
		Módulo de Elasticidade	186 GPa
		Coefficiente de Poisson	0,29
		Shear Modulus	72,09 GPa
		Bulk Modulus	14,76 GPa

Fonte: MatWeb.

Os tubos primários são os que compõem a maior parte estrutural do chassi, que é mais propensa a sofrer deformações, enquanto os secundários (ou auxiliares) servem como reforços para distribuir as tensões para os nós e garantir maior segurança.

Para realizar a análise computacional via elementos finitos, utilizou-se as linhas de centro do chassi como base, ou seja, sua projeção axial, conforme Figura 1b.

Figura 1 – Projeto do chassi em CAD.



Fonte: Autor.

Com o esboço na plataforma da Autodesk®, exporta-se o arquivo no formato \*.step para que o desenho CAD seja importado e reconhecido no FEMAP™. Feita a importação no outro software, a parte de modelagem permanece concluída e o esboço está pronto para ser analisado em elementos finitos.

No FEMAP™, as funções do sistema estão divididas por abas, ou seja, tudo o que estiver relacionado à geometria do desenho está contido na aba *Geometry*, enquanto tudo o que estiver relacionado à malha da estrutura (tamanho dos elementos, seleção de elementos, etc.) está contido na aba *Mesh*, e assim por diante.

Para diferenciar os tubos primários dos secundários e garantir a discretização dos elementos, utilizou-se no FEMAP™ o comando *Modify* → *Color* para alterar as cores de elementos individualmente. Desta forma, utilizou-se o branco para representar os primários e o vermelho para representar os tubos secundários, conforme Figura 2a.

Logo, deve-se adicionar as propriedades do material à análise pela aba *Model* → *Material*, já relacionadas anteriormente na Tabela 1. Em seguida, cria-se uma propriedade pela aba *Model* → *Property*, em que se inserem as dimensões físicas dos tubos como diâmetro e espessura. Utiliza-se a geometria de *Beam* (elemento de viga) para o chassi, visto que, experimentalmente, tal tipo apresentou melhor desempenho de análise computacional que outros por abranger toda a superfície dos tubos, de forma a manter a sua modelagem curvilínea. Para cada tipo de tubo do chassi, deve-se criar a sua propriedade separadamente.

O veículo de BAJA atinge no máximo velocidades em torno de 60 km/h quando está em um percurso reto e sem interferências, dependendo das condições do projeto e de seus



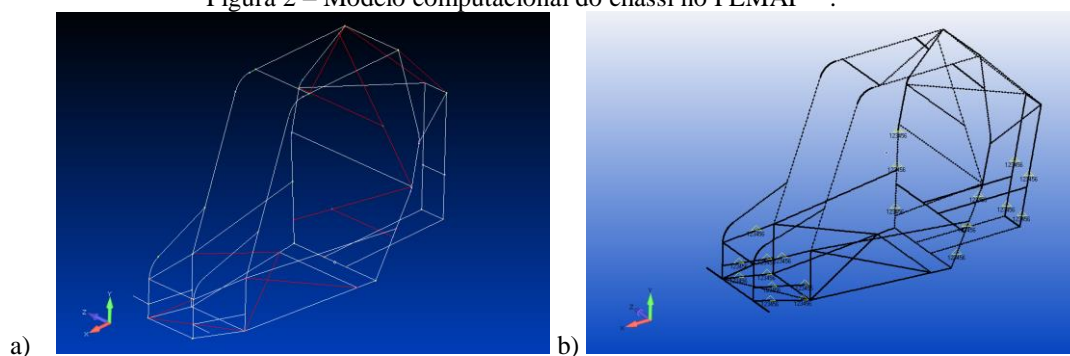
componentes, limitados pelo motor estabelecido pelo regulamento. Contudo, durante as provas de enduro, ocorre de existirem diversos obstáculos como troncos, pedras e buracos que impedem o carro de atingir seu desempenho máximo, além dos percursos serem curvos e distorcidos. Desta forma, verificou-se que as velocidades dominantes na maioria do tempo da prova de enduro são de 20 e 30 km/h (JONES, 1997).

A situação de impacto frontal é dinâmica por conta de o veículo estar em movimento, porém pode-se realizar uma equivalência para um sistema quase estático, em que se analisa o momento em que o veículo colide com o obstáculo, que neste caso, seria o próprio solo ou uma parede.

Os pontos que sofrem maiores sobrecargas durante o impacto são os pontos de fixação da suspensão e do amortecedor, visto que, analogamente, atuam como apoios para a massa suspensa do veículo, isto é, toda a carga que o sistema de suspensão consegue carregar.

Dito isto, deve-se definir na análise as condições de contorno da estrutura, isto é, onde serão os seus pontos de fixação. Utiliza-se os pontos de fixação da suspensão como parâmetro de análise, através do comando na aba *Model* → *Constraint* → *On Point*. Utiliza-se apoios de terceiro gênero, conforme Figura 2b.

Figura 2 – Modelo computacional do chassi no FEMAP™.



Fonte: Autor.

Com as velocidades relativas das colisões já obtidas, utiliza-se a equação de Impulso para se obter a força de impacto causada pelo choque do veículo:

$$I = m \cdot v_f - m \cdot v_i = \int F(t) \cdot dt \quad (11)$$

Em que “I” é o impulso (kg.m/s); “m” é a massa do corpo (kg); “v<sub>f</sub>” e “v<sub>i</sub>” são respectivamente a velocidade final e inicial do corpo (m/s); “F” é a força de impacto (N) e “t” é o intervalo de tempo (s).

Integrando “F” e simplificando a Equação (11), tem-se:

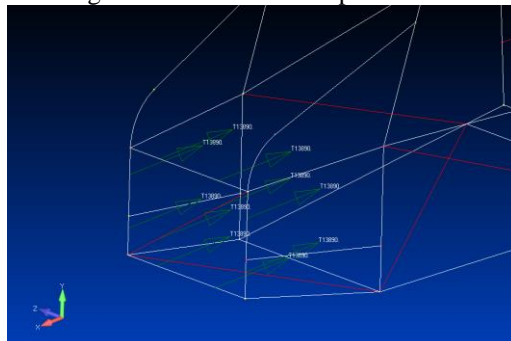
$$F \cdot \Delta t = m \cdot (v_f - v_i) \quad (12)$$

Para fins experimentais, utiliza-se a variação de tempo de 0,1s baseada baseado em testes de colisão entre veículos durante o intervalo de tempo do próprio choque (ESSS, 2009). Logo, adotando a massa de 250 kg, referente à estimativa da massa total do veículo montado com um piloto de 60 kg, obtém-se as forças de impacto F<sub>1</sub>=13,89 kN (para a velocidade de 20 km/h) e F<sub>2</sub>=20,83 kN (para a velocidade de 30 km/h).

Deste modo, são realizadas duas análises, cada uma com sua respectiva força de impacto adequada individualmente. Com as forças obtidas, pode-se aplicar as cargas na parte frontal do chassi, pelo FEMAP™, na aba *Model* → *Load*. Deve-se criar uma propriedade referente à

força aplicada, escolher o eixo de referência com magnitude no SI, isto é, em Newton. A carga de impacto é distribuída por toda a superfície dos tubos frontais, conforme Figura 3.

Figura 3 – Carregamento na estrutura representado vetorialmente.



Fonte: Autor.

Com as condições de contorno e as cargas aplicadas no chassi, deve-se aplicar a malha na estrutura. Para garantir maior precisão de análise, deve-se definir tamanho dos elementos pela aba *Mesh* → *Mesh Control* → *Default Size*. Na aba *Mesh* → *Geometry* → *Curve*, aplica-se a malha na estrutura.

Utiliza-se o comando *Coincident nodes* para criar a ligação entre os nós presentes na extremidade de cada elemento e assegurar a ligação rígida entre eles, visto que ao serem importados do Inventor® eles não apresentavam tal união, estando atuando como elementos soltos no conjunto, ou seja, separados.

Através de testes para definir um padrão entre precisão e tempo de análise, foi adotado o elemento de tamanho 2,7 mm, e com isto foram gerados 1273 nós e 3460 elementos no total. Por fim, a estrutura já está com suas devidas propriedades, cargas, restrições e malhas definidas. Logo, deve-se solicitar o tipo de processamento desejado do FEMAP™ através da aba *Model* → *Analysis* → *New*, criando um novo processo.

Como é proposto o estudo de vibrações e da frequência de excitação do chassi, adota-se no comando de análise na caixa *Analysis Type* → *Frequency/Harmonic Response* para se obter as frequências geradas pelos carregamentos. Em seguida, realiza-se a análise.

Para se obter a frequência natural do chassi não é necessário adicionar carregamento e condições de contorno à estrutura. Logo, deve-se somente adicionar as propriedades dos materiais na estrutura, gerar as malhas e realizar a análise de *Frequency/Harmonic Response*, da mesma forma que a análise para a frequência de excitação.

#### 4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS

Comparando os resultados obtidos, obtiveram-se 10 frequências naturais do chassi para seus respectivos modos de vibração. Para a análise com o carregamento F<sub>1</sub>, referente a velocidade de 20 km/h, bem como para a análise com o carregamento F<sub>2</sub>, referente a velocidade de 30 km/h, obtiveram-se suas respectivas frequências de excitação. Tais informações encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Frequências emitidas pela estrutura livre, para F1 e para F2, respectivamente.

MODO DE VIBRAÇÃO	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º
FREQUÊNCIA (Hz)										
Natural - $\omega_n$	4,27E-04	2,66E-04	1,93E-04	3,10E-04	4,89E-04	5,50E-04	54,32	56,99	74,54	86,67
F1 - $\omega$	77,50	119,84	128,09	150,27	154,71	167,73	172,07	175,00	178,17	180,71
F2 - $\omega$	34,19	85,04	107,38	129,23	135,72	137,94	160,71	165,57	174,65	177,19

Fonte: Autor.



## 5 CONCLUSÃO

Verifica-se, realizando um comparativo entre as frequências de excitação geradas pela carga de impacto e as frequências naturais da estrutura, que a estrutura não entra em ressonância. Isto se deve ao fato de que as suas frequências naturais são muito baixas quando comparadas as de excitação, pelo menos do 1º ao 6º modo.

Quando a frequência natural atinge a faixa de 54,32 Hz no seu 7º modo, as diferenças entre as frequências tornam-se menores, podem ainda continuar contidas em um intervalo de segurança médio de mais de 62,9% de diferença entre as mesmas, aproximadamente. Em um caso particular, as frequências do 10º modo natural e o 2º modo de excitação da velocidade de 30 km/h possuem uma diferença mais baixa, atingindo cerca de 1,88%.

Mesmo que a estrutura sofra deformações por conta do impacto, as mesmas não causam danos críticos a estrutura. Isto comprova que, em situações de impacto frontal com velocidades de 20 e 30 km/h, o dimensionamento do chassi estudado é válido para manter condições de segurança adequadas tanto para o piloto quanto para os subsistemas do veículo.

Para projetos de chassi que possuam problemas vibracionais, sugere-se revisar o dimensionamento do chassi, a fim de otimiza-lo fisicamente, e realizar posteriores análises modais para verificar se as condições de segurança estarão adequadas. É possível evitar a ressonância do sistema enrijecendo a estrutura ou mudando a sua massa. Em ambos os casos se altera a frequência natural da estrutura.

Pela parte vibracional, o chassi apresenta condições aceitáveis para ser adotado em um projeto. Contudo, futuramente é necessária realizar a análise de deformação do material com a finalidade de verificar se as possíveis deformações ocasionadas pelo impacto influenciarão o chassi de forma crítica.

## 6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ADAMS, H. **Chassis Engineering: Chassis Design, Building & Tuning for High Performance Handling**. NY: Hp Books, 1993. 89p.

CAROL, G. **Vibration: Origins, Effects, Solutions**. Disponível em: <<http://www.gcaudio.com/resources/howtos/vibration.html>>. Acesso em 01 abr. 2018.

CHOPRA, A. K. **Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering**. 3 Ed, Prentice-Hall, 2006.

CRAIG, R. R. (1981). **Structural dynamics**. 1 ed. NY, John Wiley.

ESSS. **Aplicações de ‘crashworthiness’ utilizando o LS-DYNA**. ESSS. 2009. Disponível em: <<http://tinyurl.com/esss2009>>. Acesso em 01 abr. 2018.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 8ª ed. PEARSON, 2005.

JONES, N. **Structural Impact**. Cambridge University, 1997.

POPOV, Egor P., **Engineering Mechanics of Solids**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1990.

SILVA, George H. **Projeto de um chassi tipo Baja SAE e análise de colisões em regime elástico**. Disponível em: <<http://tinyurl.com/tcc-george>>. Acesso em 01 abr. 2018.

“EAC - ENGINEERING AIDED CONVERGENCE” (2013). **Análise e Simulação Modal**. Disponível em: <<https://eaiconvergiu.wordpress.com/tag/frequencia-natural/>>. Acesso em 01 abr. 2018.

## **ANALYSIS OF MECHANICAL VIBRATIONS BY FRONTAL IMPACT ON A SPACE FRAME CHASSIS OF MINI BAJA USING FINITE ELEMENTS**

**Abstract:** *The off-road vehicles of Mini Baja use a space frame chassis in its structural part. Such type is composed of tridimensional truss elements, and these structural components ensure greater mechanical resistance, lightness and safety. However, it is very common in competitions that extreme situations occur with the vehicle, and these end up causing impacts on the chassis. The impact may deform elastically or plastically because of the loading caused, but it also transmits mechanical vibrations to the structure, which can cause the structure to resonate. Through the FEMAP™ software, a computational analysis of the frontal impact simulations via finite elements is carried out, verifying the structural behavior of the chassis and the consequences of the vibrations transmitted to it.*

**Key-words:** *vibrations; chassis; space frame; Baja; impact.*