



Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)

# Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica 2

**Atena**  
Editora  
Ano 2019

**Henrique Ajuz Holzmann**  
**João Dallamuta**  
(Organizadores)

**Impactos das Tecnologias na  
Engenharia Mecânica**  
**2**

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias na engenharia mecânica 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-247-0

DOI 10.22533/at.ed.470190504

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João. III. Série.

CDD 670.427

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas. Nesta obra é conciliada duas atividades essenciais a um engenheiro mecânico: Projetos e Simulação.

É possível observar que na última década, a área de projetos e simulação vem ganhando amplo destaque, pois através de simulações pode-se otimizar os projetos realizados, reduzindo o tempo de execução, a utilização de materiais e os custos finais.

Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens nos projetos dentro da grande área das engenharias.

Trabalhos envolvendo simulações numéricas, tiveram um grande avanço devido a inserção de novos softwares dedicados a áreas específicas, auxiliando o projetista em suas funções. Sabe-los utilizar de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Neste livro são apresentados vários trabalhos, alguns com resultados práticos, sobre simulações em vários campos da engenharia industrial, elementos de maquinas e projetos de bancadas práticas.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a projetar e fabricar sistemas mecânicos e industriais.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
RESOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DA DIFUSÃO UNIDIMENSIONAL COM SOLUÇÃO SUAVE UTILIZANDO MALHA ADAPTATIVA	
<i>Gabriel Marcos Magalhães</i> <i>Hélio Ribeiro Neto</i> <i>Aristeu da Silveira Neto</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4701905041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>14</b>
USO DE MALHAS NÃO-ESTRUTURADAS NA RESOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DA DIFUSÃO	
<i>Gabriel Marcos Magalhães</i> <i>Alessandro Alves Santana</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4701905042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>29</b>
MÉTODOS NUMÉRICOS: DIFERENÇAS FINITAS E GUIA DE ONDAS DIGITAIS 1D E 2D - COMPARATIVO DE FREQUÊNCIAS	
<i>Brenno Lobo Netto Peixoto</i> <i>Marlipe Garcia Fagundes Neto</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4701905043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>43</b>
INFLUÊNCIA DA DISCRETIZAÇÕES ESPACIAL E TEMPORAL EM PROBLEMA PURAMENTE ADVECTIVO	
<i>Thiago Fernando Santiago de Freitas</i> <i>Andreia Aoyagui Nascimento</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4701905044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>53</b>
FRONTEIRA IMERSA PARA CORPOS ESBELTOS	
<i>João Rodrigo Andrade</i> <i>Aristeu Silveira Neto</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4701905045</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>61</b>
MATHEMATICAL AND NUMERICAL MODELLING OF GAS-SOLID TURBULENT FLOWS IN COMPLEX GEOMETRIES	
<i>Stella Rodrigues Ferreira Lima Ribeiro</i> <i>Letícia Raquel de Oliveira</i> <i>João Marcelo Vedovoto</i> <i>Aristeu da Silveira Neto</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4701905046</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>69</b>
ESTUDO NUMÉRICO DA DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA TRANSIENTE EM PLACAS	
<i>William Denner Pires Fonseca</i>	

*Taísa Santos Machado  
Eduardo Mendonça Pinheiro  
José Felipe Lopes de Carvalho  
Sidney da Conceição Alves  
Thiago Santana de Oliveira*

**DOI 10.22533/at.ed.4701905047**

**CAPÍTULO 8 ..... 83**

IDENTIFICAÇÃO EXPERIMENTAL E PROJETO DE UM PID PARA UM SERVOMECANISMO

*Wesley Pereira Marcos  
Rodrigo Hiroshi Murofushi  
Bruno Luiz Pereira*

**DOI 10.22533/at.ed.4701905048**

**CAPÍTULO 9 ..... 98**

MODELAGEM ESTOCÁSTICA DE ESTRUTURAS COMPÓSITAS CONTENDO SHUNT RESISTIVO PARA O CONTROLE PASSIVO DE VIBRAÇÕES

*Lorrane Pereira Ribeiro  
Antônio Marcos Gonçalves de Lima  
Victor Augusto da Costa Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.4701905049**

**CAPÍTULO 10 ..... 114**

PROJETO E ANÁLISE DE VIBRAÇÕES POR ELEMENTOS FINITOS DE UM CHASSI TIPO SPACE FRAME MINI-BAJA

*Marcos Claudio Gondim  
Ellberlandyo Lima Grangeiro  
Antonio Eurick Soares Campelo  
Lucas Rodrigues Oliveira  
Bruno de Oliveira Carvalho*

**DOI 10.22533/at.ed.47019050410**

**CAPÍTULO 11 ..... 126**

SIMULAÇÕES DOS ESFORÇOS VIBRACIONAIS DO CABO CAA 795 MCM (TERN) ATRAVÉS DE MÉTODOS ANALÍTICOS E NUMÉRICOS DE VIBRAÇÃO

*Jhonattan Dias  
Rodrigo Canestraro Quadros  
Marcos Jose Mannala  
Marcio Tonetti*

**DOI 10.22533/at.ed.47019050411**

**CAPÍTULO 12 ..... 133**

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE FREIO APLICADO A UM VEÍCULO OFF-ROAD DO TIPO BAJA-SAE

*Felipe Alencar Motta  
Lucas Rocha Dias da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.47019050412**

<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>146</b>
OTIMIZAÇÃO DA ESCOLHA DA RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES ATRAVÉS DE MODELAGEM MATEMÁTICA: O PROJETO BAJA SAE	
<i>Pedro Melo Biz</i> <i>Leonardo Gomes</i> <i>Antônio Brasil</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050413</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>157</b>
ANÁLISE CINEMÁTICA DE SUSPENSÃO TRAILING ARM COM CAMBER LINKS PARA VEÍCULO OFF-ROAD	
<i>Francisco José Rodrigues de Sousa Júnior</i> <i>João Lucas Jacob Araújo</i> <i>Gustavo Luis dos Santos Silva</i> <i>Antônio Ítalo Rodrigues Pedrosa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050414</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>169</b>
APLICAÇÃO DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS DE 2ª ORDEM EM SUSPENSÃO VEICULAR	
<i>Alaí de Souza Machado</i> <i>Pedro Henrique Rodrigues Taveira</i> <i>Filipe Gomes Soares</i> <i>Domingos dos Santos Ponciano</i> <i>Marcus Victor de Brito Rodrigues</i> <i>João Lucas Jacob Araújo</i> <i>Gean Carlos Moura Mota</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050415</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>178</b>
ANÁLISE AERODINÂMICA: SIMULAÇÃO FLUIDO DINÂMICA DO PROTÓTIPO EC-05 DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA EQUIPE COYOTE	
<i>Paulo Henrique Pereira Araujo</i> <i>Josué Alves Rodrigues Junior</i> <i>Thaiane Mayara Marques Licar</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050416</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>190</b>
APLICAÇÃO DE SISTEMAS NEURO-FUZZY NA PREDIÇÃO DO COEFICIENTE DE SUSTENTAÇÃO DO AEROFÓLIO NACA 1412	
<i>Vitor Taha Sant'Ana</i> <i>Bruno Luiz Pereira</i> <i>Tobias Moraes</i> <i>Roberto Mendes Finzi Neto</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050417</b>	

<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>195</b>
AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS DE CONTROLE ATIVO DE RUÍDO EM VENEZIANAS ACÚSTICAS COM CONFIGURAÇÕES DISTINTAS VIA ELEMENTOS FINITOS	
<i>Geisa Arruda Zuffi</i>	
<i>Fabiana Alves Pereira</i>	
<i>Marcus Antonio Viana Duarte</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050418</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>203</b>
ABSORVEDORES ACÚSTICOS DE RUÍDO: MODELAGEM NUMÉRICA	
<i>Fabiana Alves Pereira</i>	
<i>Geisa Arruda Zuffi</i>	
<i>Israel Jorge Cárdenas Nuñez</i>	
<i>Marcus Antonio Viana Duarte</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050419</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>211</b>
INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ESCOLHA DAS DIMENSÕES DO RECEPTOR NO MÉTODO DO TRAÇADO DE RAIOS ACÚSTICOS	
<i>Henrique Gebran Silva</i>	
<i>Marlipe Garcia Fagundes Neto</i>	
<i>Pollyana Alves Resende</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050420</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>228</b>



## PROJETO E ANÁLISE DE VIBRAÇÕES POR ELEMENTOS FINITOS DE UM CHASSI TIPO SPACE FRAME MINI-BAJA

### **Marcos Claudio Gondim**

Centro Universitário UNIFANOR, Departamento  
de Engenharia Mecânica  
Fortaleza – CE

### **Elberlandyo Lima Grangeiro**

Centro Universitário UNIFANOR, Departamento  
de Engenharia Mecânica  
Fortaleza – CE

### **Antonio Eurick Soares Campelo**

Centro Universitário UNIFANOR, Departamento  
de Engenharia Mecânica  
Fortaleza – CE

### **Lucas Rodrigues Oliveira**

Centro Universitário UNIFANOR, Departamento  
de Engenharia Mecânica  
Fortaleza – CE

### **Bruno de Oliveira Carvalho**

Mestre em Administração de Empresa pela  
Universidade de Fortaleza (Unifor). Professor do  
curso de Engenharia Mecânica UniFanor I Wyden  
– bcarvalho@fanor.edu.br

**RESUMO:** O objetivo desse trabalho é projetar, analisar e validar um chassi tipo Space Frame para equipe Mini-Baja UNIFANOR, que participará em 2018 da sua primeira competição Mini-Baja SAE (Society of Automotive Engineer) etapa Nordeste. A competição é realizada mundialmente entre graduandos em Engenharia com o objetivo de desafiar os

estudantes a vivenciar situações do mundo profissional. O chassi é um dos componentes mais importante do projeto, e segue algumas normas estabelecidas em seu REGULAMENTO ADMINISTRATIVO E TÉCNICO BAJA SAE BRASIL - RATBSB, que fornece instruções básicas para Desenvolvimento do projeto, utilizou-se também de estudos de antropometria para desenvolvimento de conforto e segurança para o piloto. Feito todo estudo de projeto o Chassi foi modelado em 3D no SOLIDWORKS, para validação do modelo foi realizada uma análise Modal em elementos finitos utilizando o software CAE (Computer Aided Engineering) ANSYS 18.1. Na análise Modal de corpo livre onde os resultados apresentados nas simulações mostraram que a estrutura é estável e está dentro do Range de frequências estudado por Kabilan (2016).

**PALAVRAS-CHAVE:** Chassi. Mini-Baja. Projeto. Análises.

## 1 | INTRODUÇÃO

Atualmente, projetos que envolvem e precise de validações específicas, são estudadas e analisadas pela engenharia de forma criteriosa, com a precisão necessária de softwares que facilitam trabalhos, ajudando também em alguns parâmetros como tempo, prazo e custo.

A competição BAJA SAE foi desenvolvida nos Estados Unidos, tendo sua primeira edição em 1976. Chegou ao Brasil no ano de 1991 com início de atividades SAE BRASIL, mas a primeira competição nacional ocorreu apenas em 1995 em São Paulo. A partir de então, várias competições ocorreram em vários estados do país.

Essa disputa é para estudantes de engenharia que se interessam pelo assunto e procuram uma forma de obter mais conhecimento na área. A competição em si tem o propósito de aprimoramento de competências adquiridas em sala de aula e assim coloca-las em prática, mas também para o aluno ter a chance de viver uma experiência no mundo de competição, projeto, automobilismo e se tornando assim um profissional melhor. No Brasil, o projeto recebe o nome de Programa Baja SAE BRASIL.

O que é chassis? “Chassis é a estrutura principal onde são fixados todos os elementos do motor, transmissão, suspensão e direção do veículo.” (EDGARD BLUCHER, 2005, 1232 p).

Tipos de chassis usado nos automóveis atualmente:

Carroceria sobre o chassi: é muito utilizado em veículos de carga, off-roads e pick-up por ter um bom comportamento em torções, deixando o veículo menos rígido em estradas graças a tecnologias dos coxins e também melhoramento do seu comportamento dinâmico em altas velocidades. Figura 1 e 2.



Figura 1. Carroceria sobre o chassi

Fonte: Agrale.com



Figura 2. Carroceria sobre o chassi

Fonte: Agrale.com

Carroceria e Chassi unidos (Monobloco):

Atualmente é visto em grande parte dos veículos de passeio, primeiramente por estratégia da manufatura de montadoras automotivas por facilitar a alta produção em série.

A Figura 3 representam o chassi monobloco, a carroceria e o chassi como um só. Toda a suspensão e acessórios são montadas sobre a estrutura.



Figura 3. Monobloco

Fonte:carrosinfoco.com.br

Algumas variações de Arquitetura de chassis:

Chassi de Longarinas Tipo Escada: Figura 4, a estrutura é composta por dois perfis paralelas e com diversas longarinas transversais unindo os perfis.



Figura 4. Chassis de Longarina Tipo Escada

Fonte: maxionsc.com

“Estrutura tipo escada proporciona ao chassi boa resistência à flexão, elevada rigidez de peso, baixa rigidez à torção, devido a configuração praticamente plana, e menor capacidade de deformação.” (EDGARD BLUCHER, 2005, 1232 p).

Chassi plataforma: É um conjunto dos principais componentes do projeto de um carro, geralmente dividida entre modelos ou mesmo marcas distintas. Está presente atualmente como chassi padrão para a maioria dos veículos de uma única marca.

Na Figura 5, mostra um exemplo e deixa fácil visualizar como o veículo fica quase montado por completo.



Figura 5. Chassi Plataforma

Fonte: Educaçãoautomotiva.com

Chassi Space Frame (Tubular): É composto basicamente de uma estrutura de tubos metálicos parecido com uma gaiola de tubos. Os mesmos são de aço estrutural soldados nos nós de extrema resistência, com variação das espessuras dependendo do projeto e todo de reforços estratégicos definidos na análise física feita.

Na Figura 6, mostra um exemplo de um carro de competição.

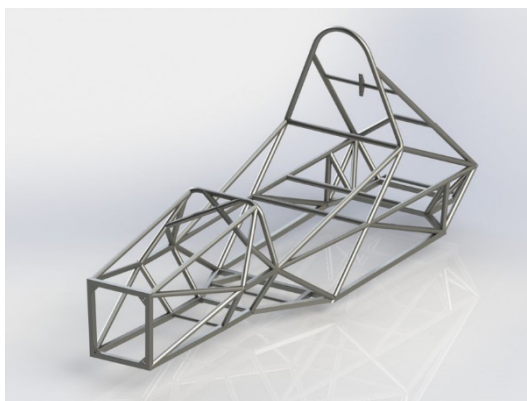


Figura 6. Chassi Space Frame (Tubular),

Fonte: grabcad.com

O chassi escolhido para o Mini-Baja UNIFANOR foi o Space Frame (Tubular), por apresentar a característica de suportar diversas variações de esforços, torções, forças laterais e diferentes frequências juntas, tudo transferidas da suspensão, motor, acessórios e também de todo e qualquer tipo força atuante na dinâmica do veículo.

Para analisar os esforços dinâmicos presentes no chassi do Mini-Baja UNIFANOR foi escolhida a análise computacional por facilitar em termos de projeto, principalmente pelo fato de não necessitar de matéria física, apenas o poder do software desejado e conhecimento na área do estudo feito. A parte do conhecimento técnico do software será para melhor visualização de pontos de falha, locais esses que podem resultar em trincas ou até rompimentos não desejados quando o veículo estiver em uso real.

Edgard Blucher (2005) usa os Métodos dos Elementos finitos (FEM) para análises de estrutura. Mas o que é Métodos dos Elementos Finitos?

Visualmente, todos os procedimentos técnicos podem ser simulados num computador com o FEM. No entanto, isso envolve a divisão de qualquer corpo

(gasoso, líquido ou sólido) em elementos que sejam simples de forma (reta, triangular, quadrada, tetraedro, pentaedro, ou hexaedro) tão pequenos quanto possível e que estejam permanentemente ligados entre si pelos seus vértices (nós) (EDGARD BLUCHER, 2005, 1232 p).

O desenvolvimento de análise tem várias aplicações no mercado atualmente, onde a maioria tem o mesmo objetivo no estudo. Edgard Blucher (2005) chama de Sistema de programa FEM toda a lógica até o resultado.

A criação de rede é feita, sobretudo, automaticamente no processador, em sua maioria em uma geometria CAD. O programa FEM calcula o modelo permutado de computação dessa maneira a mostra o resultado obtido numa forma gráfica a partir de um pós-processador (EDGARD BLUCHER, 2005, 1232 p).

Usando o FEM no chassi Space Frame do Mini-Baja UNIFANOR, podemos analisar diversos comportamentos da estrutura com o intuito de melhoramento e teste para a validação do projeto.

## 2 | OBJETIVOS

O objetivo desse estudo é modelar e analisar um chassi tipo Space Frame baseado em estudos de Antropometria, normas RATBSB-SAE 2018 e estudo de vibrações livres por elementos finitos utilizando software ANSYS, para validar o protótipo a participar pela primeira vez da competição Mini-Baja SAE etapa Nordeste.

## 3 | MÉTODOS

O primeiro passo para o projeto de um chassi Mini-Baja é conhecer todas as especificações do regulamento SAE 2018. Na Parte B-Requisitos Gerais de Projeto especifica largura e comprimento máximo do veículo e Capacidade Ergonômica do veículo, que define um percentil de 99% masculino e 1% feminino na qual o “veículo deve ser capaz de acomodar um condutor desde 1,90 m de altura, com peso de 109 kg até um condutor de 1,45 m de altura, com peso de 42 kg”. (RATBSB, 2018, p.14).

Partindo das dimensões dos condutores analisamos os requisitos de segurança da Parte B6-Gaiola de Proteção que estabelece folgas mínimas entre o condutor e o habitáculo, encontrando assim medidas críticas para a gaiola.

Segue abaixo pontos importantes da Especificação SAE, no qual foram analisados e definido a lista de materiais, serviço, possíveis patrocinadores e custo do setor de chassis e carroceria.

Para fabricação dos Membros primários, a especificação determina os seguintes materiais: Tubo de aço circular com diâmetro interno de 25,4 mm (1 in) e espessura da parede de 3,05 mm (0,120 in) e um mínimo de 0,18% de carbono em sua composição;



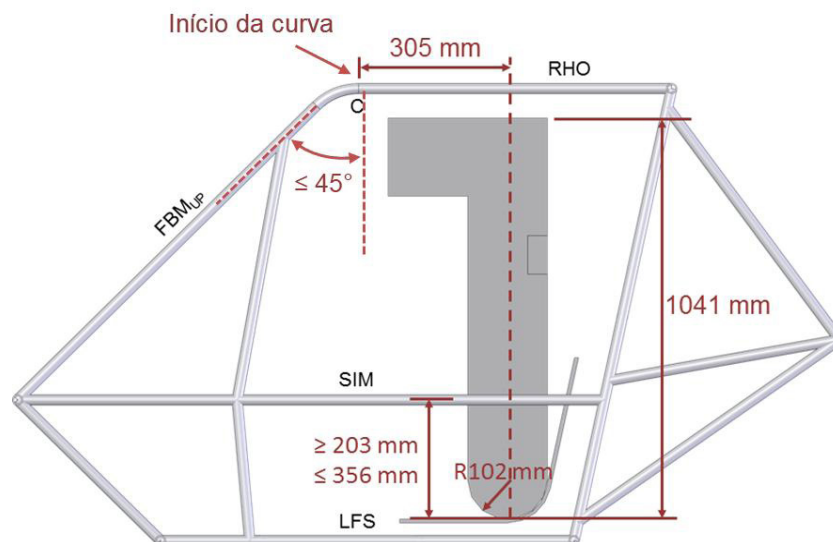


Figura 8. Alturas dos membros SIM e RHO e posição do ponto C

Fonte: Regulamento SAE BRASIL 2018

## 4 | ANÁLISES

Segundo Azevedo e Soriano (2003), o método dos elementos finitos consiste em subdividir o domínio completo de um meio contínuo em elementos menores de geometrias simples, interligados entre si por pontos nodais que formam elementos e uma malha, denominada malha de elementos finitos, ou seja, faz-se a discretização do domínio objetivando facilitar a solução.

O software ANSYS é reconhecido mundialmente em análises por elementos finitos, nele conseguimos realizar diversas análises, onde podemos testar todos componentes do veículo com objetivo de ganho de tempo e de erros de projeto.

Para uma avaliação da estrutura Space Frame modelada realizamos uma análise Modal de corpo livre utilizando o software de elementos finitos ANSYS. A análise de vibrações livres é recomendada para estruturas afim de encontrar erros de geometria e contato entre os elementos.

O estudo da frequência natural do sistema é de fundamental importância no estudo de estruturas, neste caso no chassi, pois forças de excitação externas originadas ou não na estrutura, possuem frequências naturais que caso coincidam com as frequências naturais da mesma, as oscilações resultantes podem levar ao seu colapso (Halliday et al., 2009)

Uma análise modal determina as características de vibração (frequências naturais e formas de modo) de uma estrutura ou componente de máquina. Ele também pode servir como ponto de partida para outra análise dinâmica mais detalhada, para que o protótipo seja construído somente depois de todos os testes validados.

Para o procedimento de análise exportamos a geometria CAD modelada no

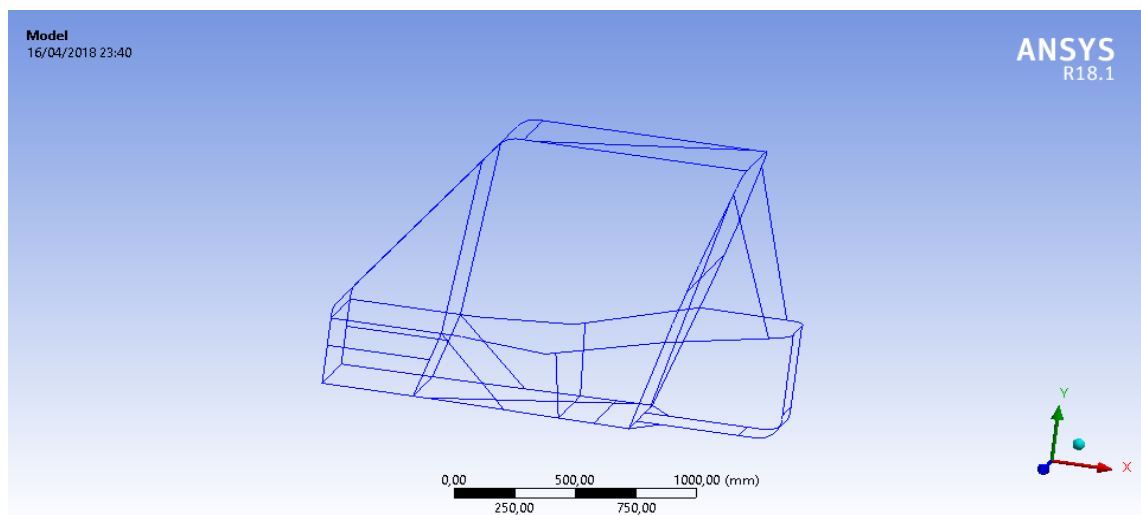


Figura 9. Simulação Estrutural 3D

Fonte: Próprio Autor

Em uma simulação estrutural 3D utiliza se muito recurso computacional o que leva muito tempo para as maquina executarem o processo. Contudo dentro das ferramentas do ANSYS podemos transformar um elemento 3D em 2D mantendo uma aproximação dos resultados satisfatória e uma rápida resposta.

Na próxima etapa do processo modelaremos a malha da estrutura, considerado como o momento mais importante da simulação pois o tipo de elemento da malha depende de alguns fatores como qual tipo de estudo, qual elemento será gerado a malha.

Como a estrutura foi simplificada para 2D, um elemento “Beam” ou viga foi usado para representar a gaiola simplificando a malha e facilitando o trabalho da máquina para realizar os cálculos. Faz se necessário também um teste de convergência para determinar a quantidade de elementos que mostrara resultados com boa aproximação, podendo assim evitar refinamentos desnecessários na malha e perda de tempo com recursos computacionais eliminando custos e tempo do com o projeto.

Com todos os parâmetros definidos na geração da malha, realiza-se um teste de convergência que consiste em variar a quantidade de nós para determinar uma quantidade mínima e os resultados não terem variações expressivas nos valores.

Na tabela 2 mostra a convergência dos resultados com o aumento do número de nós.

1° MODO (Hz)	1° MODO (Hz)	1° MODO (Hz)	1° MODO (Hz)	N° DE ELEMENTOS
54,38	64,19	68,32	86,58	768
54,25	64,06	68,22	86,54	1012
54,19	64,03	68,19	85,50	1380



54,13	63,98	68,14	86,47	2216
54,11	63,96	68,13	86,46	6440
54,10	63,96	68,13	86,46	12658

Tabela 2: Convergência dos Resultados com Aumento do N° de Nós

Fonte: Próprio Autor

A partir dos dados da tabela 2 pôde-se visualizar a quantidade de 6440 nós, e que a partir desse número os valores não sofrem variações nos resultados, consideramos então que essa quantidade de elementos é suficiente para uma análise satisfatória e mostrara resultados consistentes.

Na Figura 10, mostra a malha gerada a partir do formato do elemento escolhido e a quantidade necessária.

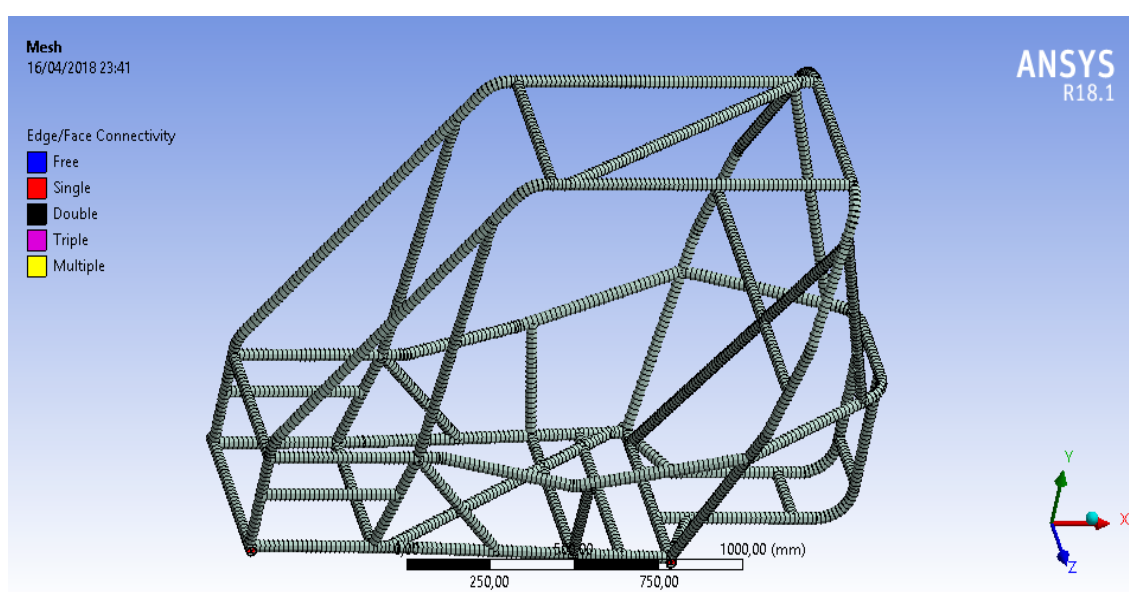


Figura 10. Malha do Chassi

Fonte: Próprio Autor

“O principal fator que contribui para a vibração forçada é o motor, que é montado na parte de trás do veículo. A frequência de vibração do motor está dentro da faixa de 15Hz-25Hz, como na maioria dos casos de um motor de 10Hp” (Kabilan 2016).

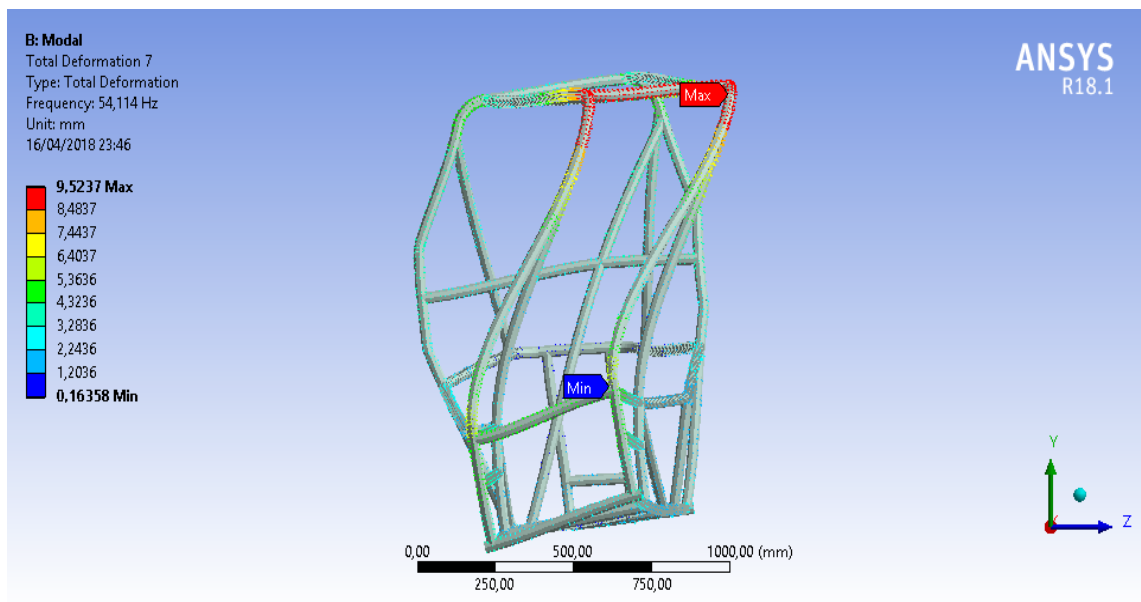


Figura 11. Análise do Comportamento do Chassi

Fonte: Próprio Autor

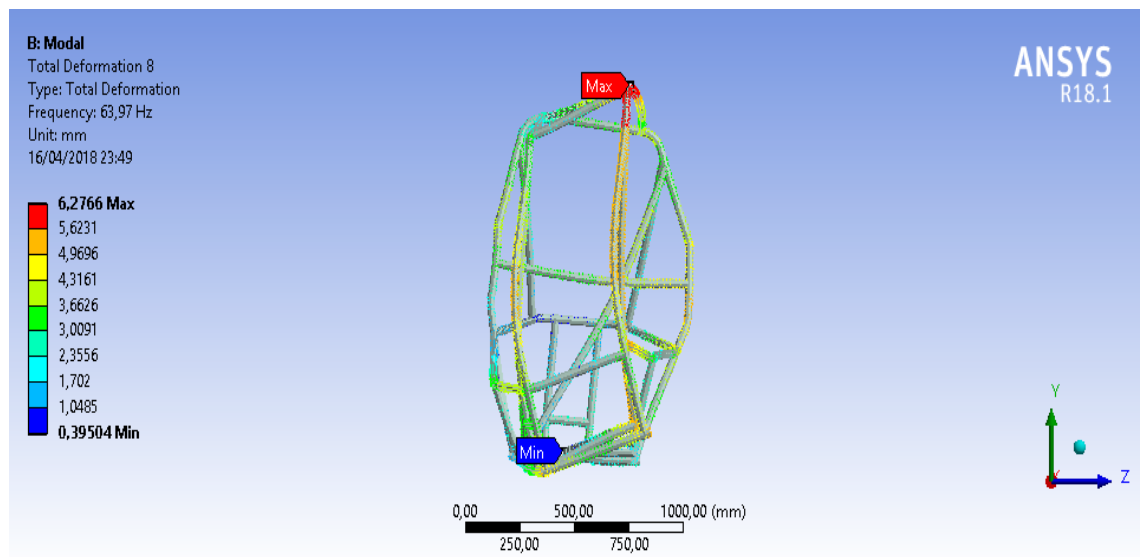


Figura 12. Análise do Comportamento do Chassi

Fonte: Próprio Autor

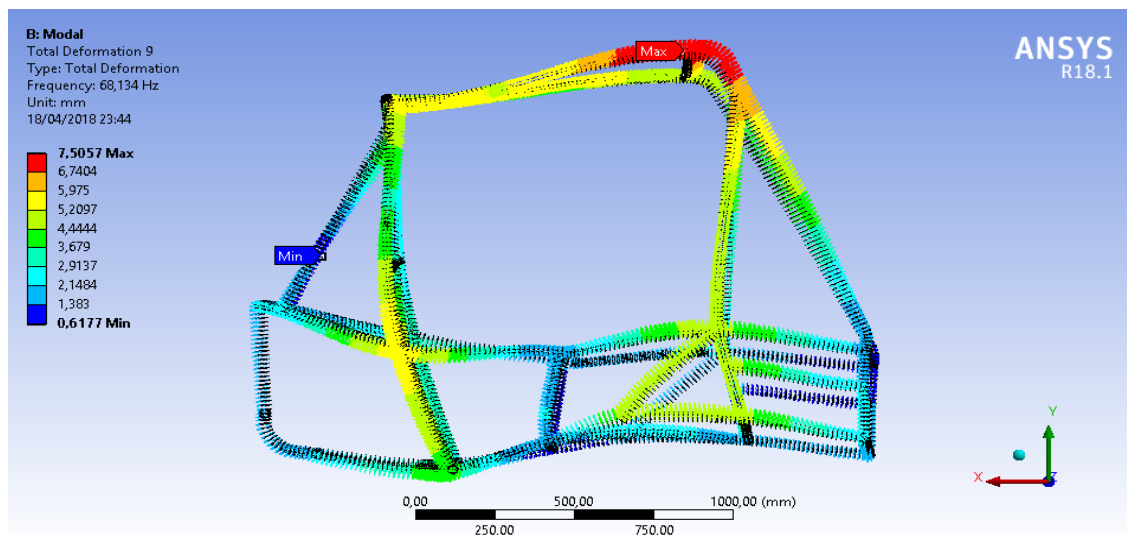


Figura 13. Análise do Comportamento do Chassi

wFonte: Próprio Autor

Visualizando as imagens do comportamento da gaiola vê que o primeiro modo de vibração e de torção, e que o segundo modo de vibração e de flexão, o terceiro modo de vibração uma combinação de torção e flexão, o quarto modo também e uma combinação de ambas.

A tabela traz todos os valores dos modos analisados e a resposta das estruturas a essas frequências.

MODO	FREQUÊNCIA (Hz)	COMPORTAMENTO
1	0	-
2	0	-
3	0	-
4	3,44E-04	-
5	1,89E-03	-
6	3,11E-03	-
7	54,114	Torção
8	63,97	Flexão
9	68,134	Torção e Flexão
10	86,469	Torção e Flexão

Fonte: Próprio Autor

## 5 | CONCLUSÃO

Analisando os resultados obtidos na análise Modal do ANSYS encontramos uma faixa de frequência de 54,11 a 84,46Hz que esta dentro do range ( $40 < \text{Frequência obtida} < 100$  Hz) estipulado nos trabalhos de Kabilan (2016).

Podemos concluir que todo estudo para modelamento da estrutura Space frame teve êxito diante dos resultados gerados pela análise em elementos finitos com o

software ANSYS que por sua simulação de vibrações livres a gaiola para o primeiro Mini-Baja Unifanor se mostrou estável atendendo as exigências do projeto, não sendo necessário alterações estruturais.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Alvaro Ferreira Marques. **Método dos Elementos Finitos**. 1. ed. Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.

Bosch, **Manual de Tecnologia Automotiva**. 25. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005, 1232 p.

Filho, A. A. **Elementos finitos: a base da tecnologia CAE**. 6.ed. São Paulo: Editora Érica, 2013. 320p.

Halliday, D.; Resnick, R.; Walker, J. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 310p.

Kabilan, K. M.; Murkute, A.; Marathe, A. H. **Structural otimization of sae baja carframe**. Disponível em: [http://designinformaticslab.github.io/\\_teaching//design opt/projects/2016/desopt\\_2016\\_01.pdf](http://designinformaticslab.github.io/_teaching//design%20opt/projects/2016/desopt_2016_01.pdf). Acesso em: 18 de Abril de 2018.

Silva, F.; Silva, L.; Mello, M. **Modal testing of a tubular vehicle chassis**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. COBEM' 2009. Gramado, Anais...Gramado, 2009.

Sousa, Lucas Castro; Lopes, Arlindo pires; Adriana Alencar Santos. **Estudo de vibrações livres de um chassi space-frame tipo baja**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, [s.l], ago. 2017.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**Henrique Ajuz Holzmann** - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**João Dallamuta** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro de Telecomunicações pela UFPR. Especialista em Inteligência de Mercado pela FAE Business School. Mestre em Engenharia pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, Sistemas Eletrônicos e Gestão Institucional.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-247-0

