



2023  
XXIX **CREEM**

Congresso Nacional de Estudantes de  
Engenharia Mecânica

Goânia - GO



XXIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica  
12 a 16 de Junho de 2023, Goânia, Goiás, Brasil

## ANÁLISE DE CAPOTAMENTO DO CHASSI DE UM VEÍCULO BAJA SAE

Leandro de Paula Freire, leandrofreire.engmec@gmail.com<sup>1</sup>

Jonas Costa dos Santos, jonascostaengmec@gmail.com<sup>1</sup>

Luiz Augusto Ferreira de Campos Viana, luiz.viana@ifmg.edu.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG, Arcos, Brasil

**Resumo.** O presente trabalho teve como principal objetivo analisar a possibilidade de falhas no chassi de um mini veículo off road de modalidade BAJA SAE na ocorrência de capotamento. Para desenvolvimento do estudo, foi utilizado o software Solidworks para confecção do modelo 3D do chassi e o software ANSYS para realização das simulações por meio do Método dos Elementos Finitos. Para a realização da análise, foram aplicadas as devidas condições de contorno para que os resultados da simulação fossem mais condizentes com os do problema real. A partir dos resultados obtidos notou-se que a estrutura não sofre deformação plástica, apresentando fatores de segurança de 1,86 e 2,6 para duas situações de capotamento e, além disso, as deformações do chassi não alcançam o habitáculo do piloto em sua tensão máxima. Deste modo, a estrutura atende aos requisitos para realização de provas sem comprometer a integridade, a segurança e o conforto do piloto.

**Palavras chave:** Baja, Chassi, Simulação, Método dos Elementos Finitos, Segurança

**Abstract.** The present work had as main objective to analyze the possibility of failures in the chassis of a mini BAJA SAE off road vehicle in the event of overturning. For the development of the study, we used the Solidworks software for making the 3D model of the chassis and the ANSYS software for carrying out the simulations by using the Finite Element Method. To complete the analysis, the appropriate boundary conditions were applied so that the simulation results were more consistent with those of the real problem. From the results obtained it was noted that the structure does not undergo plastic deformation, presenting safety factors of 1,86 and 2,6 for two rollover situations and, in addition, the deformations of the chassis do not reach the pilot's cabin in its tension maximum. In this way, the structure meets the requirements for carrying out tests without compromising the integrity, pilot safety and comfort.

**Keywords:** Baja, Chassis, Simulation, Finite Element Method, Security

### 1. INTRODUÇÃO

O Baja SAE é um projeto organizado pela SAE (*Society of Automotive Engineers*), o qual desafia graduandos de engenharia e física a projetar e construir um mini veículo off road que atenda às exigências do Regulamento Técnico e administrativo Baja SAE Brasil, dando oportunidade aos alunos de aplicar os conhecimentos teóricos na prática (SAE, 2017). Ao final de sua construção, o veículo participa de um evento onde ele é avaliado a partir de seu desempenho em algumas provas, sendo estas de natureza dinâmica e estática. Durante as provas dinâmicas, como *Endurance* e *Suspension*, o veículo corre grande risco de capotar, fazendo-se necessário analisar a segurança e o conforto do piloto nesta situação, por meio de testes e simulações.

Este projeto, ajuda os estudantes a desenvolverem habilidades de encontrar e solucionar problemas, como por exemplo, detectar defeitos em equipamentos antes destes serem construídos, economizando tempo e reduzindo custos (Azevedo, 2003). Para tal ação, são utilizadas diversas ferramentas computacionais, como por exemplo o Método dos Elementos Finitos (MEF).

O método dos elementos finitos trata-se de um procedimento numérico muito importante na área da engenharia, o qual é amplamente utilizado no âmbito de projetos. Antes da origem deste método, a determinação de estados de tensão e deformação em geometrias eram feitas a partir de resolução de grandes sistemas, impossibilitando resultados coerentes para geometrias complexas. Sendo assim, surgiu o Método dos Elementos Finitos, o qual divide a geometria em finitos elementos por meio de um procedimento conhecido como discretização de geometria, o que tornou possível determinar as propriedades de geometrias complexas (Furtado, 2013).

Quando há um grande nível de complexidade em problemas a serem resolvidos pelo Método dos Elementos Finitos, surge a necessidade da utilização de computadores com um grande nível de desempenho e, também, um grande aumento nos períodos de simulações, o que pode tornar o método inviável (Lotti *et al.*, 2006). Desse modo, sempre que possível é necessário simplificar o problema, deixando-o o mais próximo possível da situação real. Segundo Alves Filho (2018), os

elementos de viga são muito úteis para facilitar o estudo das tensões de tração, compressão e flexão, os quais podem dar mais agilidade para o desenvolvimento dos cálculos com o Método dos Elementos Finitos.

Com o passar dos anos e com o constante desenvolvimento tecnológico, as empresas buscam por estas ferramentas tecnológicas, as quais podem contribuir para a evolução de seus produtos (Santos e Chaves, 2021). Segundo Gillespie (1992), a utilização de ferramentas computacionais permite simular o comportamento de diversos componentes de um veículo, sendo indispensável para reduzir o tempo e os custos da produção de automóveis, uma vez que não é necessário construir o veículo para realização de testes.

O atual trabalho objetiva analisar, por meio do Método dos Elementos Finitos, o comportamento do chassi de um mini veículo *off-road* de modalidade Baja SAE em duas situações de capotamento distintas, com intuito de verificar se há comprometimento da segurança do piloto neste cenário.

O chassi do veículo Baja SAE se trata de uma estrutura do tipo *Spaceframe*. Este tipo de estrutura possui tubos de aço posicionados de diversas formas diferentes, o que possibilita a obtenção de uma elevada rigidez quando é submetida a diversos tipos de esforços. Waterman (2011) afirma que a utilização deste tipo de chassi pode ser justificada por alguns fatores como baixo peso, baixo custo de produção e um sistema de fabricação simples

## 2. METODOLOGIA

No desenvolvimento do trabalho, para se ter um menor gasto computacional, foi feita a simplificação da análise, sendo assim, os componentes estruturais do chassi foram tratados como elementos de viga e a situação dinâmica foi tratada como uma situação quase estática, onde a estrutura é fixada para a aplicação dos carregamentos. A realização da análise se deu por meio de uma série de etapas, as quais são apresentadas no fluxograma da Fig. 1.

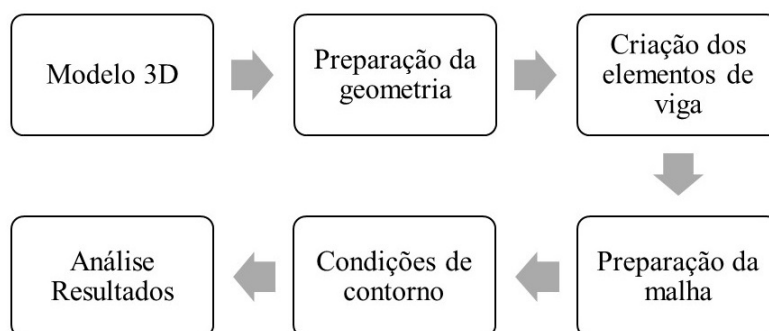


Figura 1. Fluxograma de etapas

Inicialmente foi feito o modelo 3D da estrutura do chassi no *software Solidworks*, o qual é apresentada na Fig. 2. Após a criação da geometria, foi necessário fazer o tratamento da geometria no *software ANSYS* utilizando a ferramenta *SpaceClaim*, onde os componentes estruturais do chassi foram transformados em elementos de viga.

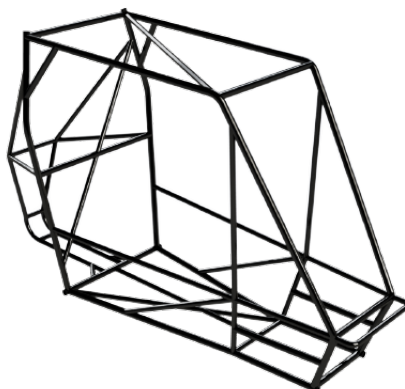


Figura 2. Modelo 3D da estrutura

As próximas etapas da análises foram realizadas no ambiente *Mechanical* da ferramenta *Workbench* do *ANSYS*. A criação da malha foi realizada através de um estudo de sua convergência. Neste estudo, inicialmente adota-se a malha

que o *software* padroniza ao elemento de estudo, em seguida, é feito o refino da malha até ao ponto de o refinamento não provocar grandes diferenças nos resultados.

Com a malha preparada, foram aplicadas as devidas condições de contorno para os casos a serem analisados, onde foi necessário indicar os locais que a força de impacto iria atuar e quais pontos da estrutura estavam restringidos em relação aos pontos de aplicação da força, o que deixa os resultados da simulação mais condizentes com a situação real. Segundo Shah (2021), a força que atua no chassi em um capotamento corresponde a 25% da força em um impacto frontal, e que o tempo de impacto corresponde a 0,15 segundos. A força de impacto é definida pela Eq. (1).

$$F_i = m \cdot a = m \cdot \frac{\Delta v}{t} \quad (1)$$

onde  $F_i$  é a força de impacto,  $m$  a massa do veículo,  $a$  a aceleração do veículo no instante da colisão,  $\Delta v$  a variação na velocidade e  $t$  o tempo de impacto.

## 2.1 Coleta e interpretação de dados

O chassi do BAJA SAE é dimensionado a partir de uma série de restrições disponíveis no Regulamento Técnico e Administrativo Baja SAE Brasil. O chassi é composto por dois tipos de tubos com diâmetros diferentes, conforme apresenta a Fig. 3. Os tubos secundários são utilizados como um tipo de travamento, os quais possuem diâmetro menor para que auxiliar na redução de massa do veículo, resultando em um melhor desempenho nas provas.

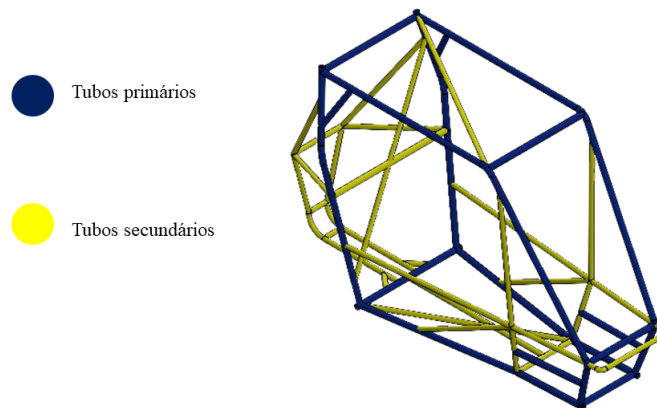


Figura 3. Membros do chassi

A seguir, a Tab. 1 apresenta as propriedades e especificações do material do chassi a ser analisado.

Tabela 1. Propriedades e especificações dos tubos do chassi

Material	Aço SAE 1020
Módulo de elasticidade	205 GPA
Limite de escoamento	351 MPA
Dimensões tubo primário	Ø 31.75 x 2mm
Dimensões tubo secundario	Ø 25.4 x 2mm

Yan (2011) afirma em um estudo que os veículos Baja SAE podem alcançar velocidades máximas de 60 km/h, porém, durante a prova *Endurance*, os veículos andam em velocidades médias de 30 km/h. O chassi a ser analisado pertence a um veículo que pesa aproximadamente 280 kg quando ocupado pelo piloto.

Diante destas informações, a Tab. 2 apresenta os dados que serão utilizados para calcular a força atuante no chassi no instante do capotamento.

Tabela 2. Dados do problema

Massa do veículo	280 kg
Tempo de impacto	0.15 s
Velocidade	8.33 m/s

Para maior segurança do piloto, o regulamento exige que o capacete do piloto esteja a uma distância de 152 mm de

qualquer tubo do chassi, e que ombros, tronco, quadril, coxas, joelhos, braços, cotovelos e mãos estejam a 76 mm, com o intuito de garantir que os tubos da gaiola não atinjam caso haja uma falha crítica na estrutura na ocorrência de acidentes.

Na validação dos resultados, foi analisado se o chassi não apresentava danos devido às tensões atuantes e, também, se as deformações dos tubos não atingiram o piloto, sendo que as deformações dos tubos não devem apresentar características de uma deformação plástica.

A determinação da força que atua no chassi do veículo foi feita a partir da Eq (1) e dos dados apresentados na Tab. 2. Inicialmente foi calculada a força do impacto dianteiro, resultando em um valor de 15555 N, dessa forma, a força real para o capotamento é de 3888,88 N. É pertinente ressaltar que no instante do capotamento pode haver algumas inconformidades que não são levadas em consideração no momento da coleta de dados, como por exemplo, irregularidades na pista, o que pode ocasionar um aumento na força de impacto. Sendo assim, foi utilizado o valor 4000N para a força de impacto.

Tendo conhecimento destes dados, foram definidas duas situações distintas de capotamento para realização da análise. A primeira análise foi referente a situação em que a colisão acontece entre a parte superior do veículo e a pista de forma paralela no instante do capotamento. A seguir, a Fig. 4 apresenta as condições de contorno aplicadas para a primeira situação.

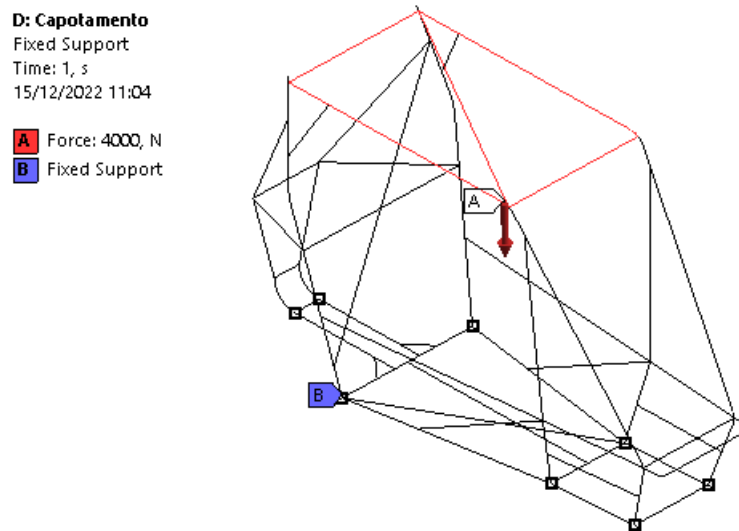


Figura 4. Condições de contorno para capotamento paralelo a pista

Para a segunda análise realizada foi considerado que no início do capotamento o veículo colide com a pista formando um ângulo de 45 graus, sendo assim, foi feita a decomposição da da força de impacto para obter seu valor na direção de aplicação, encontrado um valor de 5656,9 N. As condições de contorno para esta situação são as apresentadas na Fig. 5.

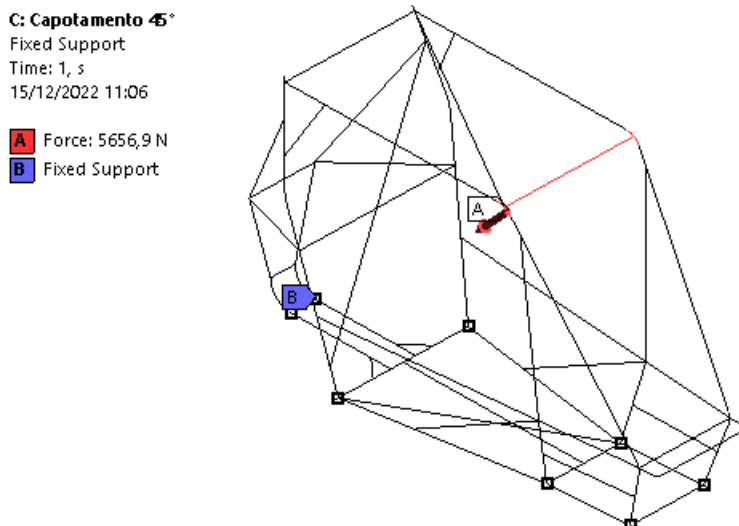


Figura 5. Condições de contorno para capotamento em 45 graus com a pista

A união das barras da estrutura é feita utilizando o processo de soldagem TIG (*Tungsten Inert Gas*), garantindo a penetração total da solda na junta. Considerando que o metal de adição possui propriedades mecânicas superiores ao metal base, a partir de ensaios não destrutivos pode ser possível perceber que a junta soldada possui resistência superior a própria resistência do metal base.

### 3. RESULTADOS

Quando a parte superior do veículo colide de forma paralela com a pista, primeira situação, há uma deformação máxima de 4,58 mm, conforme apresenta a Fig. 6. Sendo assim, a deformação encontrada atende às restrições do regulamento e não irá atingir o piloto, garantindo total segurança a ele.

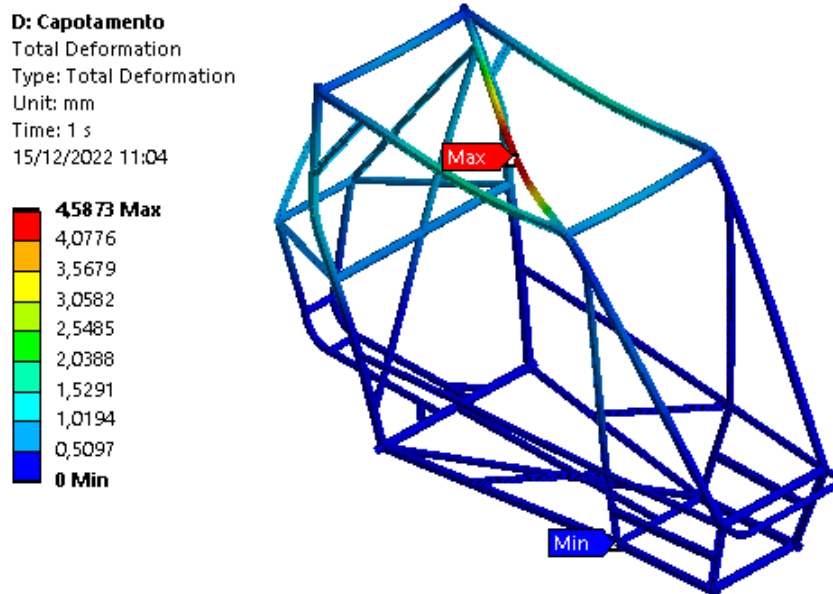


Figura 6. Deformação total do chassi para primeira situação

A Figura 7 mostra as tensões encontradas no chassi na primeira análise. Nela, é possível perceber que a tensão máxima atingiu um valor de 134,54 MPa. Sendo assim, tendo conhecimento do limite de escoamento do Aço SAE 1020 (Tab. 1), é possível afirmar que a estrutura sofre apenas deformação elástica, apresentando um fator de segurança de 2,6.

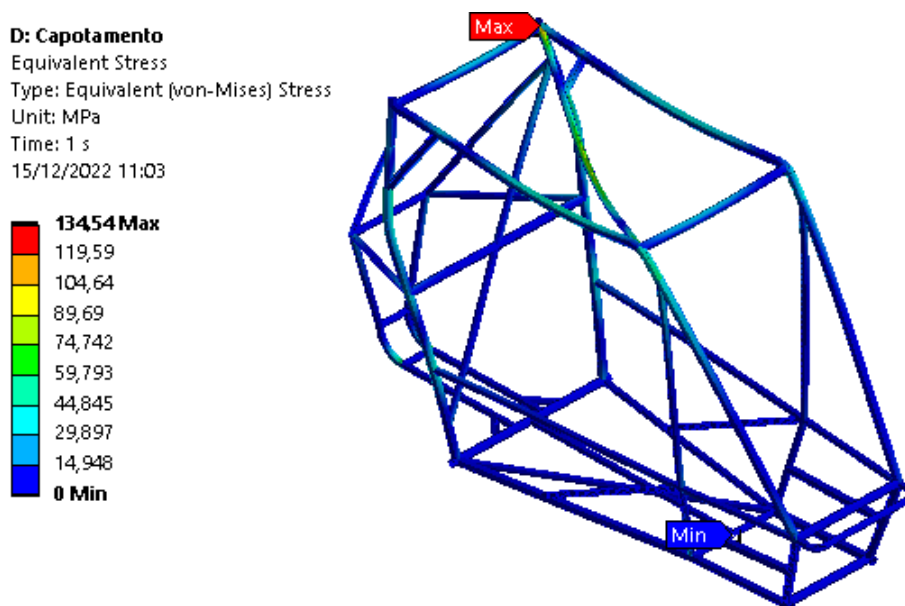


Figura 7. Tensões máximas no chassi para primeira situação

Na segunda análise, onde o veículo colide com a pista formando um ângulo de 45 graus, notou-se que a deformação

máxima na estrutura é de 3,73 mm, o que pode ser visto na Fig. 8. Novamente, considerando as distâncias exigidas pelo regulamento, a deformação encontrada é aceita, e não apresenta riscos de os tubos atingirem o piloto no momento da colisão.

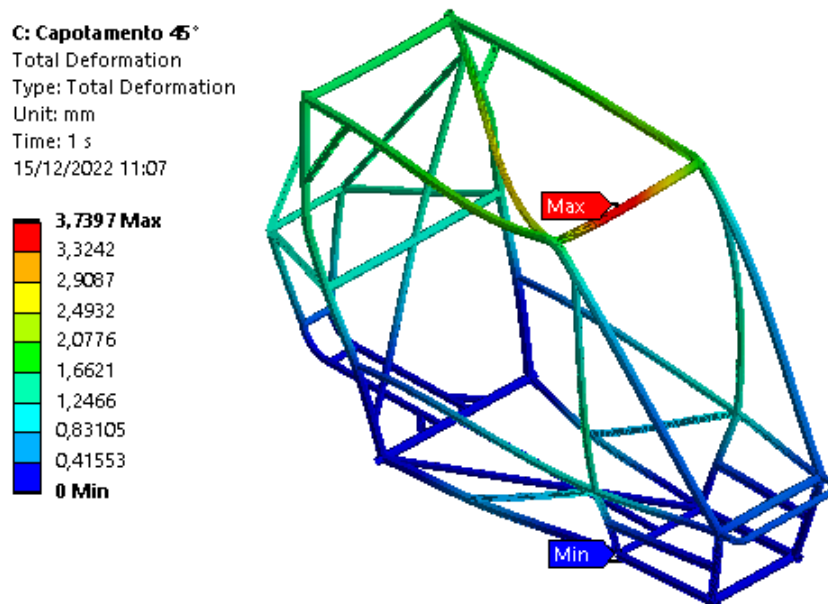


Figura 8. Deformação total do chassi para segunda situação

Além disso, outro resultado da análise foi a distribuição de tensões pelo chassi, as quais são apresentadas pela Fig. 9, sendo possível perceber que a tensão máxima é de 188,78 MPa e não ultrapassa o limite de escoamento do material da gaiola, ou seja, a estrutura não apresenta deformação plástica, garantido a segurança do piloto e apresentando um coeficiente de segurança de 1,86.

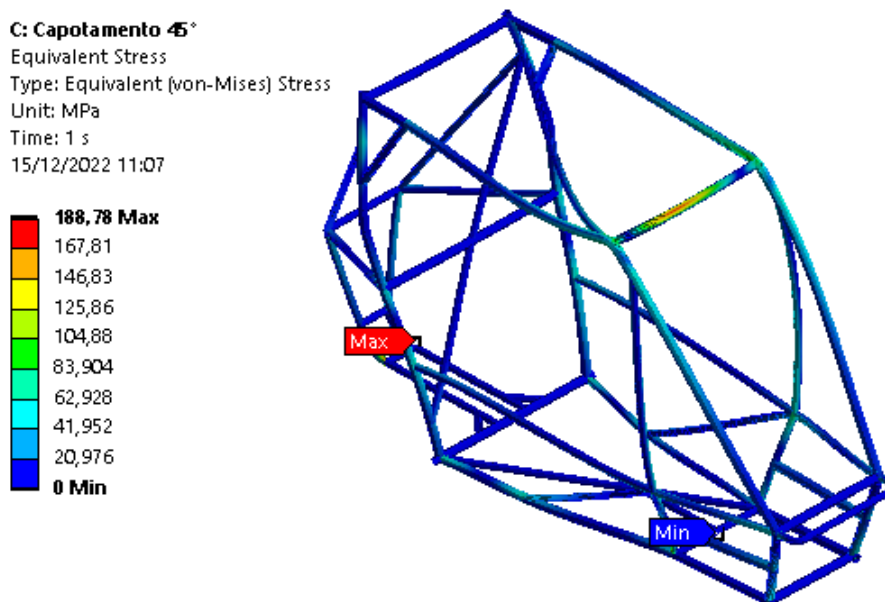


Figura 9. Tensões máximas no chassi para segunda situação

#### 4. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos neste trabalho, foi possível concluir que a estrutura apresenta tensões máximas menores que o limite de escoamento do Aço SAE 1020 e deformações que não atingem o habitáculo do piloto, mostrando que a estrutura garante sua segurança caso haja a ocorrência de capotamento durante a competição. Desse modo, a análise por meio do Método dos Elementos Finitos mostra que o chassi não apresenta deformação plástica e apresenta fator de

segurança maior que 1, não sendo necessário adicionar membros na estrutura para reduzir as tensões, comprovando que o chassi atende aos propósitos do projeto. Para dar continuidade ao trabalho sugere-se a realização do teste com a estrutura real, com o intuito de verificar se os resultados das simulações condizem com o do teste .

## 5. REFERÊNCIAS

- Alves Filho, A., 2018. *Elementos Finitos– A base da tecnologia CAE*. Saraiva Educação SA, São Paulo, Brasil, 5th edition.
- Azevedo, Á.F., 2003. *Método dos elementos finitos*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 1st edition.
- Furtado, D.C., 2013. *Análise estrutural de chassi de veículos automotivos*. Master's thesis, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Gillespie, T.D., 1992. *Fundamentals of vehicle dynamics*. Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, United States of America.
- Lotti, R.S., Machado, A.W., Mazzeiro, Ê.T. and Landre Júnior, J., 2006. “Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos”. *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial*, Vol. 11, pp. 35–43.
- SAE, B., 2017. “Baja nacional”. 22 Feb. 2007 <<https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/baja-sae-brasil/>>.
- Santos e Chaves, Hádrian George da Rocha, A.R.C., 2021. “Análise estrutural por elementos finitos do chassi de um veículo baja sae”. *Revista científica multidisciplinar núcleo do conhecimento*, Vol. 10, pp. 153– 180.
- Shah, S.G., 2021. “Static structural analysis of sae baja chassis”. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, Vol. 7, pp. 1281–1285.
- Waterman, B.J., 2011. *Design and Construction of a Space-frame Chassis*. Master's thesis, School of Mechanical and Chemical Engineering, University of Western Australia.
- Yan, L.T.W., 2011. “Análise estrutural utilizando o método de elementos finitos de componentes do veículo baja sae submetidos a esforços de fadiga”. *São Paulo: Universidade de São Paulo*.

## 6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.