

**PROJEÇÃO DE UM CHASSIS PARA FÓRMULA SAE***Amr Abubakr<sup>1</sup>**Arthur Galli<sup>2</sup>**Rodrigo Cesar Nepomuceno<sup>3</sup>***1. INTRODUÇÃO**

Um chassi é um conjunto estrutural fabricado para suportar todos os sistemas funcionais do veículo, tal como: motores e suspensão. Entre 1896 e 1910, os primeiros chassis eram fabricados de madeira e foram evoluindo conforme o tempo, uma vez que os seus fabricantes, acostumados na fabricação de carruagens de madeira, estavam recém aprendendo a arte de manipulação do aço. (LIVESEY e ROBINSON, 2006)

Em um rápido avanço, em meados de 1927, com a possibilidade de prensar painéis maiores e em formatos complexos, surgem os primeiros chassis funcionais fabricados totalmente em aço, revolucionando a indústria automotiva e levando este material a ser a principal matéria prima utilizada pelas montadoras. Hoje em dia, é usado tanto o aço, como ligas de alumínio e fibra de carbono para a fabricação da estrutura. (LIVESEY e ROBINSON, 2006)

Dentre as formas de concepção de um chassi, uma das mais utilizadas em competições é a forma tubular, que possui os mesmos pontos de montagem de componentes que os carros de rua, porém, ao invés de chapas, sua fabricação depende de tubos montados num arranjo desenhado com a finalidade de extrair o nível máximo de performance estrutural exigido, sem seguir as exigências da indústria comum, mas sim um regulamento de categoria de automobilismo previamente definido. (COSTING e PHIPPS, 1965)

Um dos inúmeros regulamentos e objeto desse estudo, é o desenvolvido pela Fórmula SAE criada em 1980 pela Sociedade de Engenheiros Automotivos (SAE). A SAE foi criada em 1905 nos Estados Unidos com o objetivo de proteger patentes e resolver problemas técnicos comuns e teve Henry Ford como o primeiro Vice-Presidente. (SAE.ORG)

No tocante a isso, dentre as regulamentações e normativas desenvolvidas pela SAE, a mesma visando testar os conhecimentos estudantis dos alunos de engenharia, propõem em uma disputa que

---

<sup>1</sup> Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário União das Américas – UniAmérica, Foz do Iguaçu, Paraná. E-mail: [aamr448@gmail.com](mailto:aamr448@gmail.com) .

<sup>2</sup> Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário União das Américas – UniAmérica, Foz do Iguaçu, Paraná. E-mail: [arthur\\_galli@hotmail.com](mailto:arthur_galli@hotmail.com) .

<sup>3</sup> Docente Orientador do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário União das Américas – UniAmérica, Foz do Iguaçu, Paraná. E-mail: [rodrigo.nepomuceno@descomplica.com.br](mailto:rodrigo.nepomuceno@descomplica.com.br).

visa o desenvolvimento de um monoposto que será colocado à prova contra os veículos de outras equipes, formadas por estudantes de uma determinada instituição que representam a mesma em competições nacionais e internacionais. Tornando-se conhecida mundialmente, inclusive no Brasil, se assemelha às grandes categorias do automobilismo mundial, como a Fórmula 1 e a Fórmula Indy, proporcionando um desafio que acaba por atrair futuros engenheiros enquanto fomenta a indústria automobilística. (MOTORSPORT UOL)

Dentre os requisitos para a fabricação de um chassi tubular, destaca-se a elaboração de uma estrutura que consiga obter uma baixa massa e uma resistência mecânica, que supra as exigências na qual será imposta, tais como: momento de torção, momento de flexão, carga dos pesos dos componentes e forças centrífugas e aerodinâmicas.

Seguindo os princípios redigidos anteriormente, o objetivo deste trabalho é desenvolver um chassi tubular seguindo os padrões regulamentados pela Fórmula SAE e realizar a modelagem, cálculos estruturais e simulação do protótipo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Regulamento**

Nesta etapa, consultamos o regulamento para obter as dimensões obrigatórias e mínimas que o veículo deve ter. A Fórmula SAE permite arranjos de chassis diferentes: Tubular de Aço, Tubular de Aço com Alumínio ou Magnésio e um arranjo com Aço e Fibra de Carbono. Além disso, o regulamento contém também a espessura dos mesmos, os esforços que os materiais devem aguentar e as respectivas medidas na qual devem ser montados.

Com base no regulamento, o veículo deve ter no mínimo uma distância entre eixos de 1525 mm e não pode haver nenhum tipo de proteção nas rodas. Os aros devem medir 203.2 mm (8.0 in) ou mais e com isso permitir que a suspensão tenha um curso mínimo de 50 mm com o piloto dentro do veículo.

### **2.2. Estrutura Metálica**

Para a estrutura metálica, foi escolhido um arranjo tubular de aço seguindo as dimensões do regulamento. O mesmo não especifica exatamente o tipo de aço a ser usado, apenas propriedades que o mesmo deve apresentar tanto no seu estado normal como no seu estado soldado, conforme a Tabela 1:

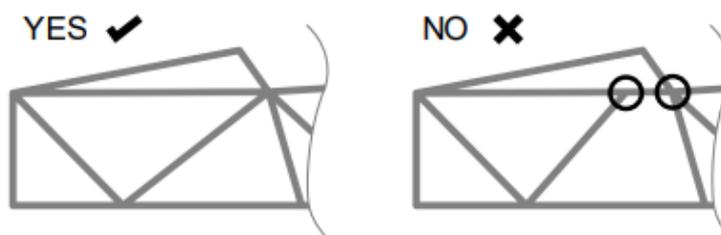
**Tabela 1** – Propriedades do Material

	Propriedades não soldadas para cálculos de material contínuo	Propriedades soldadas para material descontínuo, como cálculos de juntas
<b>Módulo de Young ( E )</b>	200 GPa (29,000 ksi)	
<b>Tensão De escoamento (Sy)</b>	305 MPa (44.2 ksi)	180 MPa (26 ksi)
<b>Tensão máxima (Su)</b>	365 MPa (52.9 ksi)	300 MPa (43.5 ksi)

Fonte: Regulamento Formula SAE 2023

Para os arranjos tubulares, o regulamento solicita a utilização dos tubos de forma que haja triangulação, afim de aumentar a rigidez do chassi, como pode ser observado pelas Figuras 1 e 2:

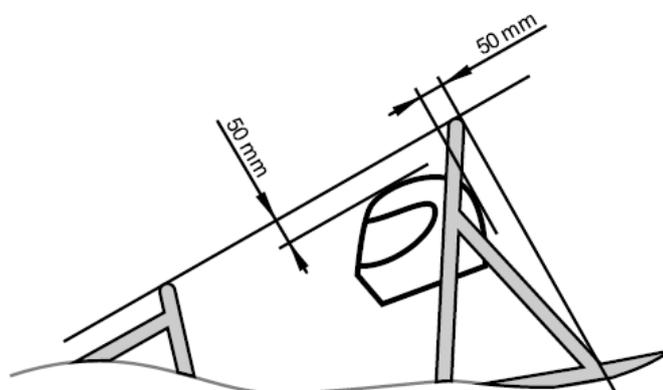
**Figura 1** - Triangulação



Fonte: Regulamento Formula SAE 2023

A cabeça do piloto deve estar 50 mm abaixo da linha reta entre o Arco Frontal (Front Hoop) e Arco Principal (Main Hoop) para proteger sua cabeça em caso de capotamento, vide Figura 3.

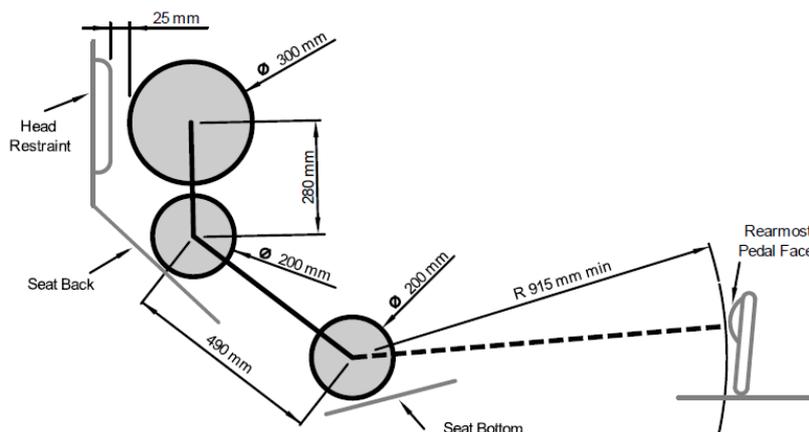
**Figura 2** – Distâncias até cabeça do piloto.



Fonte: FSAE Rules 2023 V2.

O esboço do piloto, deve ter as dimensões propostas no regulamento, vistas na Figura 3 a seguir.

**Figura 3** – Dimensões do piloto.



Fonte: FSAE Rules 2023 V2.

As sessões de tubos e suas respectivos diâmetros e grossura, são expressos nos moldes conforme a Figura 5, onde foi utilizado apenas tubulações propostas nos tamanhos A, B e C, não sendo necessário a utilização da tubulação de tamanho D.

**Figura 4** – Aplicação e requisitos da tubulação e suas sessões.

Requirements by Application

Application	Steel Tube Must Meet Size per F.3.4:	Alternative Tubing Material Permitted per F.3.5 ?
a. Front Bulkhead	Size B	Yes
b. Front Bulkhead Support	Size C	Yes
c. Front Hoop	Size A	Yes
d. Front Hoop Bracing	Size B	Yes
e. Side Impact Structure	Size B	Yes
f. Bent / Multi Upper Side Impact Member	Size D	Yes
g. Main Hoop	Size A	NO
h. Main Hoop Bracing	Size B	NO
i. Main Hoop Bracing Supports	Size C	Yes
j. Driver Restraint Harness Attachment	Size B	Yes
k. Shoulder Harness Mounting Bar	Size A	NO
l. Shoulder Harness Mounting Bar Bracing	Size C	Yes
m. Accumulator Protection Structure	Size B	Yes
n. Component Protection	Size C	Yes
o. Other Structural Tubing	Size C	Yes

**Steel Tubing and Material**

Minimum Requirements for Steel Tubing

A tube must meet all four minimum requirements for each Size specified:

Tube	Minimum Area Moment of Inertia	Minimum Cross Sectional Area	Minimum Outside Diameter or Square Width	Minimum Wall Thickness	Example Sizes of Round Tube
a. Size A	11320 mm <sup>4</sup>	173 mm <sup>2</sup>	25.0 mm	2.0 mm	1.0" x 0.095" 25 x 2.5 mm
b. Size B	8509 mm <sup>4</sup>	114 mm <sup>2</sup>	25.0 mm	1.2 mm	1.0" x 0.065" 25.4 x 1.6 mm
c. Size C	6695 mm <sup>4</sup>	91 mm <sup>2</sup>	25.0 mm	1.2 mm	1.0" x 0.049" 25.4 x 1.2 mm
d. Size D	18015 mm <sup>4</sup>	126 mm <sup>2</sup>	35.0 mm	1.2 mm	1.375" x 0.049" 35 x 1.2 mm

Fonte: FSAE Rules 2023 V2.

### **2.3. Modelagem e simulação 3D**

Para a modelagem do chassis, foi utilizado o Solidworks, um programa criado pela Dassault Systèmes que é usado por vários engenheiros no mundo inteiro. O Solidworks vem com algumas extensões, dentre elas o Solidworks Simulation, que será usado para fazer a simulação dos esforços atuantes no chassis após a sua modelagem.

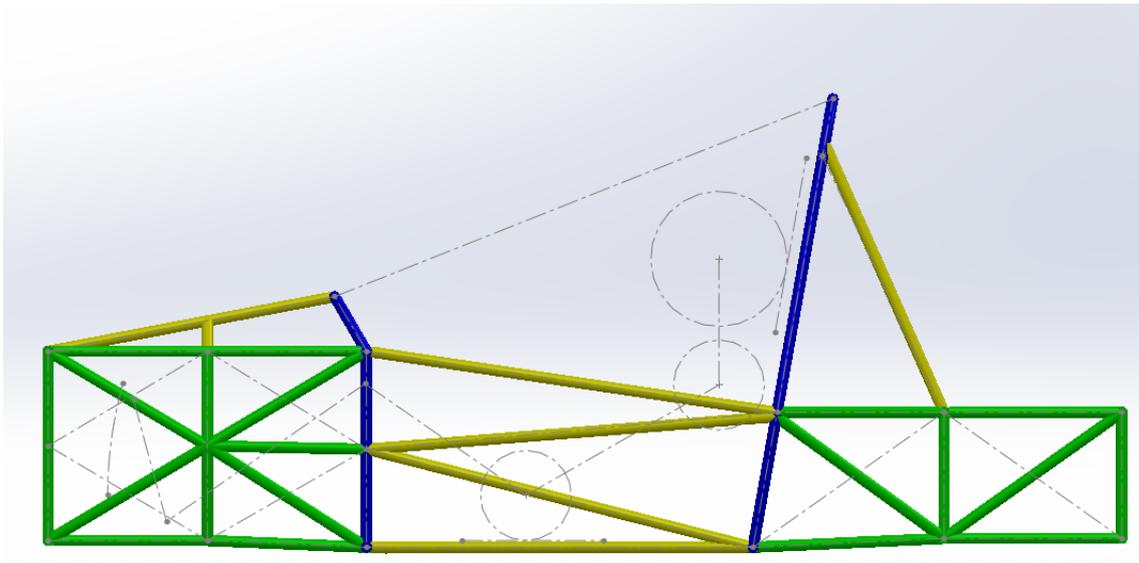
Após a modelagem e comprovação de conformidade com o regulamento, deu-se início às simulações. Apesar de precisar de informações provenientes de um grupo hipotético responsável pela suspensão na competição real, foi possível dar seguimento à simulação com os parâmetros corretos de velocidade e peso do veículo através de um cálculo padrão considerando a massa do chassi, calculado pelo SolidWorks como 34188g (sendo o material escolhido o Aço 1020), vezes a força da gravidade (9,80), dividido por 2 (suspensões dianteiras e traseiras). O resultado arredondado foi de 167,5Kgf, onde considerando uma distribuição de peso 60:40, temos 100,5Kgf para as suspensões dianteiras e 67Kgf para as suspensões traseiras, portanto, convertendo os valores de Kgf para Nm, foram aplicadas forças de 980Nm e 657Nm para as suspensões dianteiras e traseiras, respectivamente. Tais forças foram aplicadas diretamente no chassi, sem amortecimento algum, a fim de simular o pior cenário possível de torção

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **3.1 Modelagem da Estrutura Metálica**

A estrutura metálica foi elaborada seguindo as orientações estabelecidas pelo regulamento da formula SAE. Após a modelagem, é possível ver o chassi já concluído com o esboço do piloto inserido no cockpit, conforme Figura 5. O compilado de todas as informações utilizadas para a elaboração do chassi pode ser observada na Figura 6.

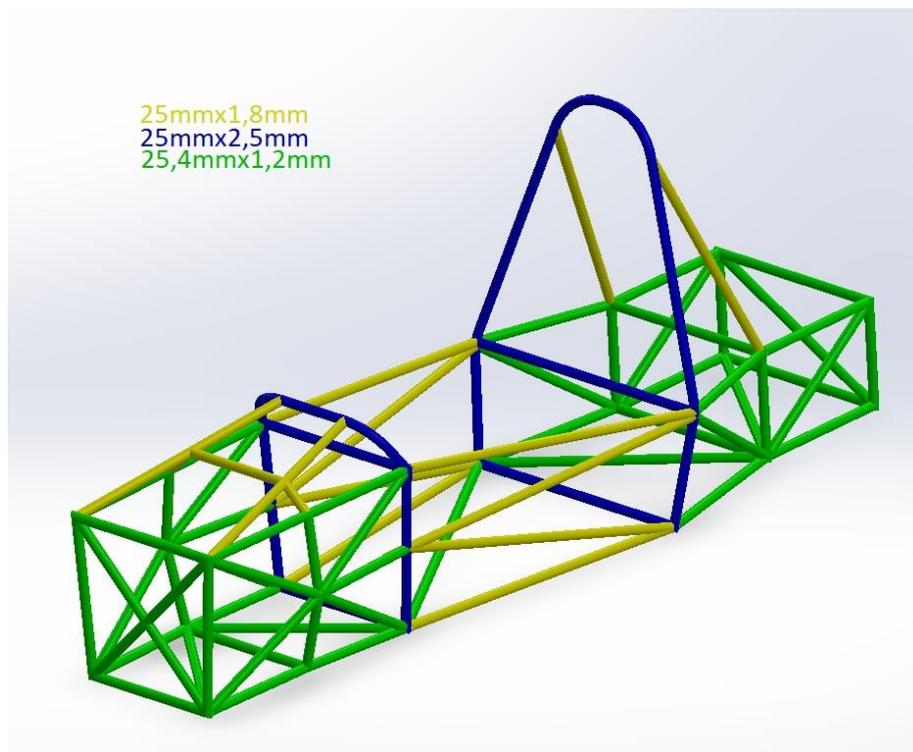
**Figura 5** – Modelagem do chassi com esboço do piloto.



Fonte: Autores.

As dimensões de tubulação, seguem o regulamento e estão descritas na Figura 7 a seguir.

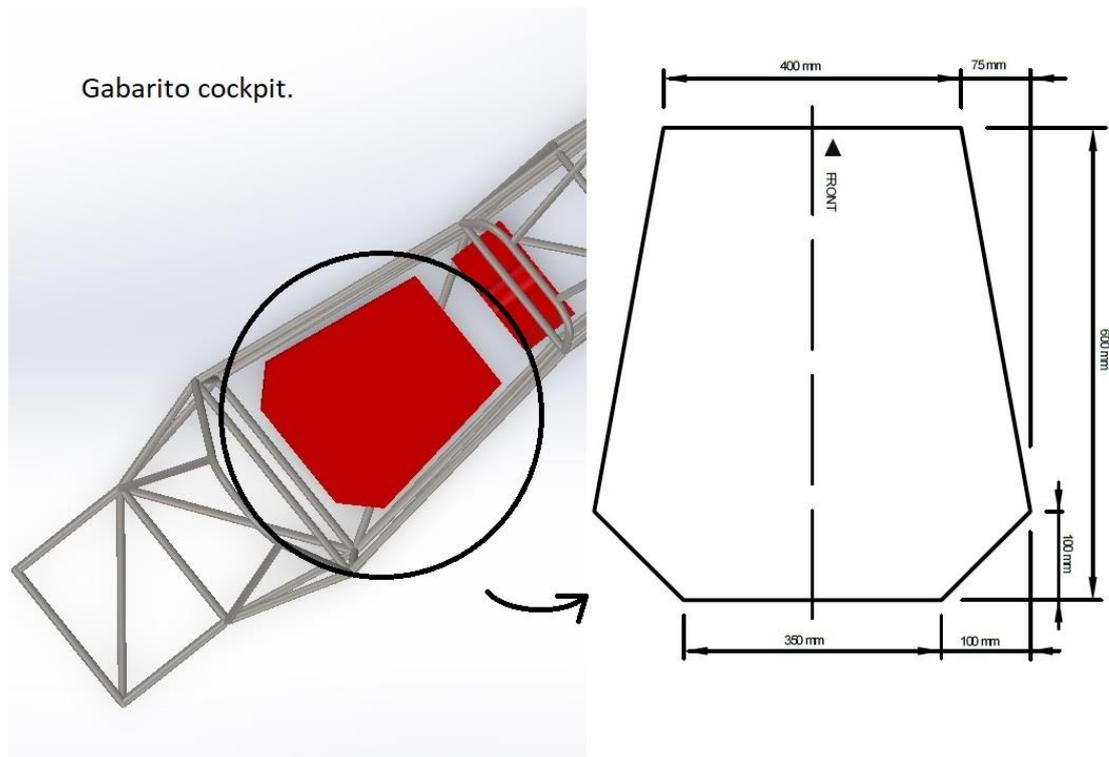
Figura 6 – Dimensões da tubulação utilizada.



Fonte: Autores.

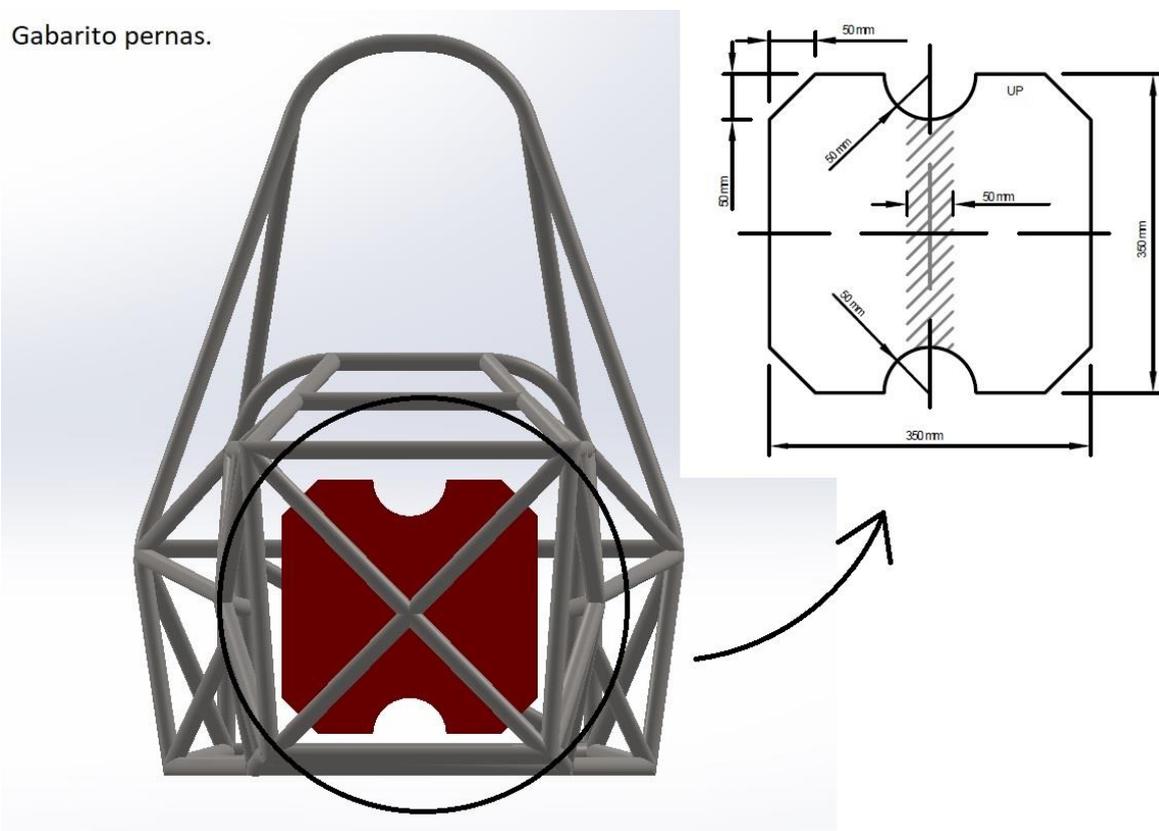
A modelagem também está de acordo com os gabaritos previstos no regulamento, onde o primeiro deles é inserido no cockpit de forma vertical e não deve tocar nenhuma tubulação, enquanto o outro é inserido por dentro do Arco Frontal (Front Hoop) a fim de verificar o espaço disponível para as pernas, sem que toque as paredes internas do arco, como podemos ver nas Figuras 7 e 8.

**Figura 7** – Dimensões do gabarito de cockpit e comprovação de encaixe pela vista superior.



Fonte: Autores.

**Figura 8** – Dimensões do gabarito de Arco Frontal e comprovação de encaixe pela vista frontal.

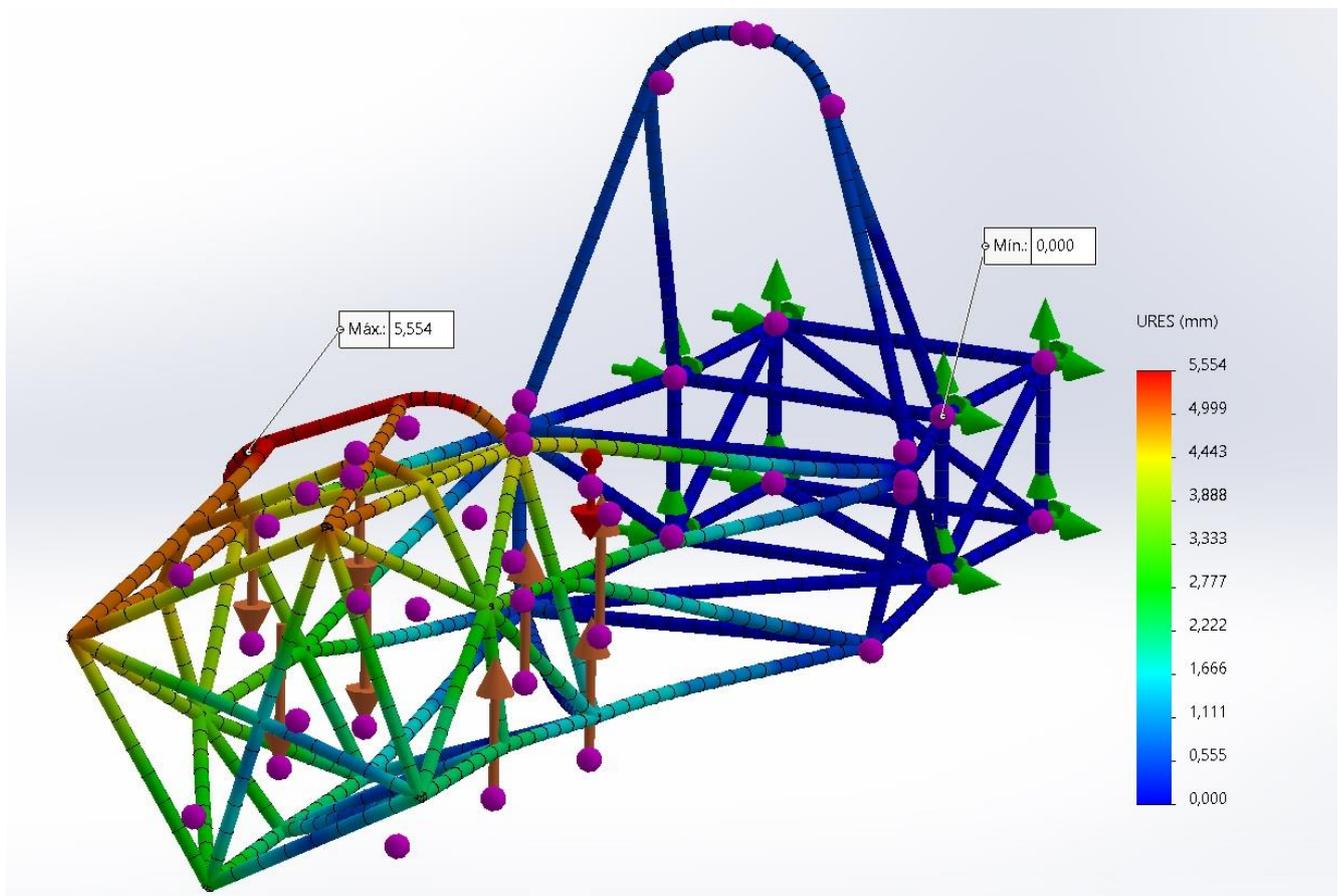


Fonte: Autores.

### 3.3 Simulação da Estrutura Metálica

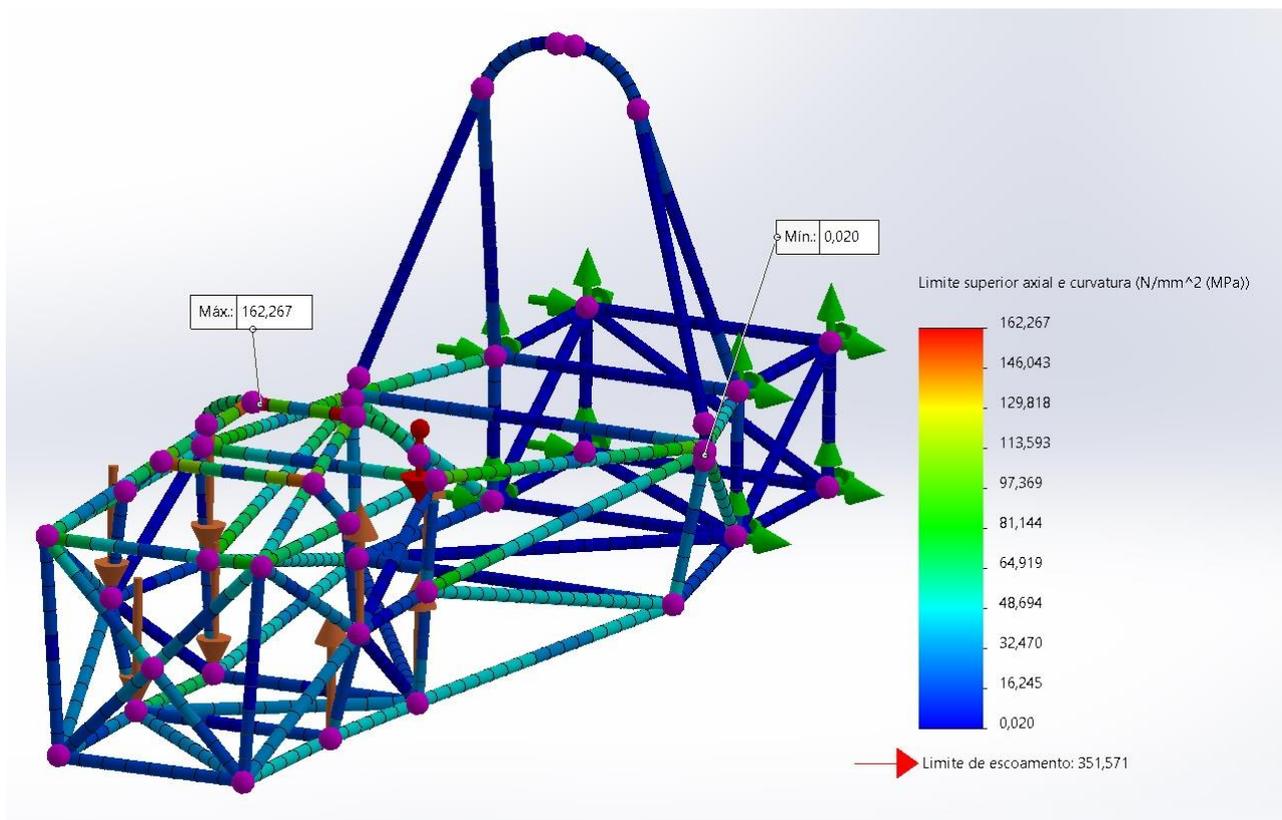
A simulação foi realizada aplicando os valores de força diretamente nos nódulos de fixação da suspensão, representados pelos pontos na cor rosa, e em sentidos diferentes para cada lado da mesma cuja força foi simulada, representadas pelas setas na cor laranja, enquanto a suspensão sem forças aplicadas ficou apenas com deslocamento livre, representadas pelas setas na cor verde. Todo o conjunto também sofre a ação da gravidade, representada pela seta central na cor vermelha. Vide Figuras 9, 10, 11 e 12.

**Figura 9** – Simulação de deslocamento com 980Nm aplicados à suspensão dianteira.



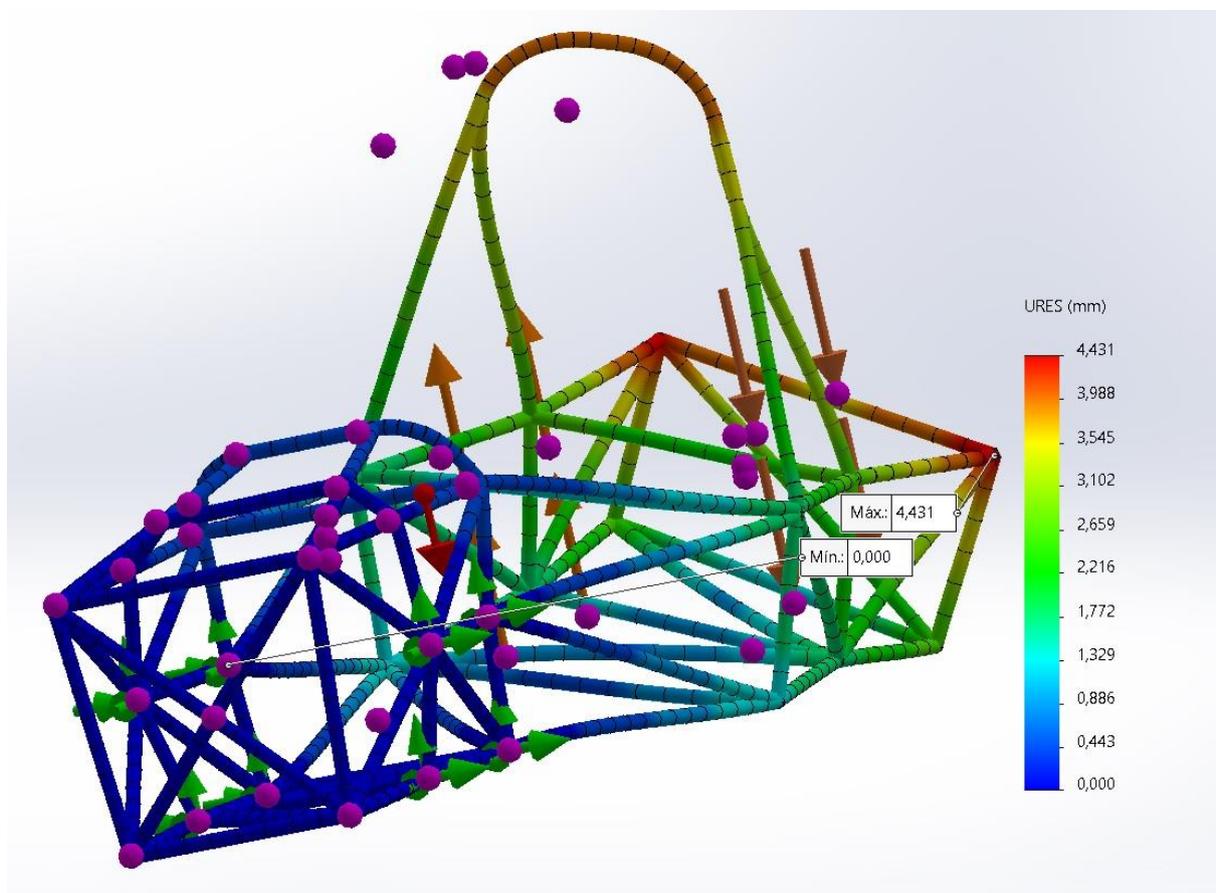
Fonte: Autores.

**Figura 10** – Simulação de tensão com 980Nm aplicados à suspensão dianteira.



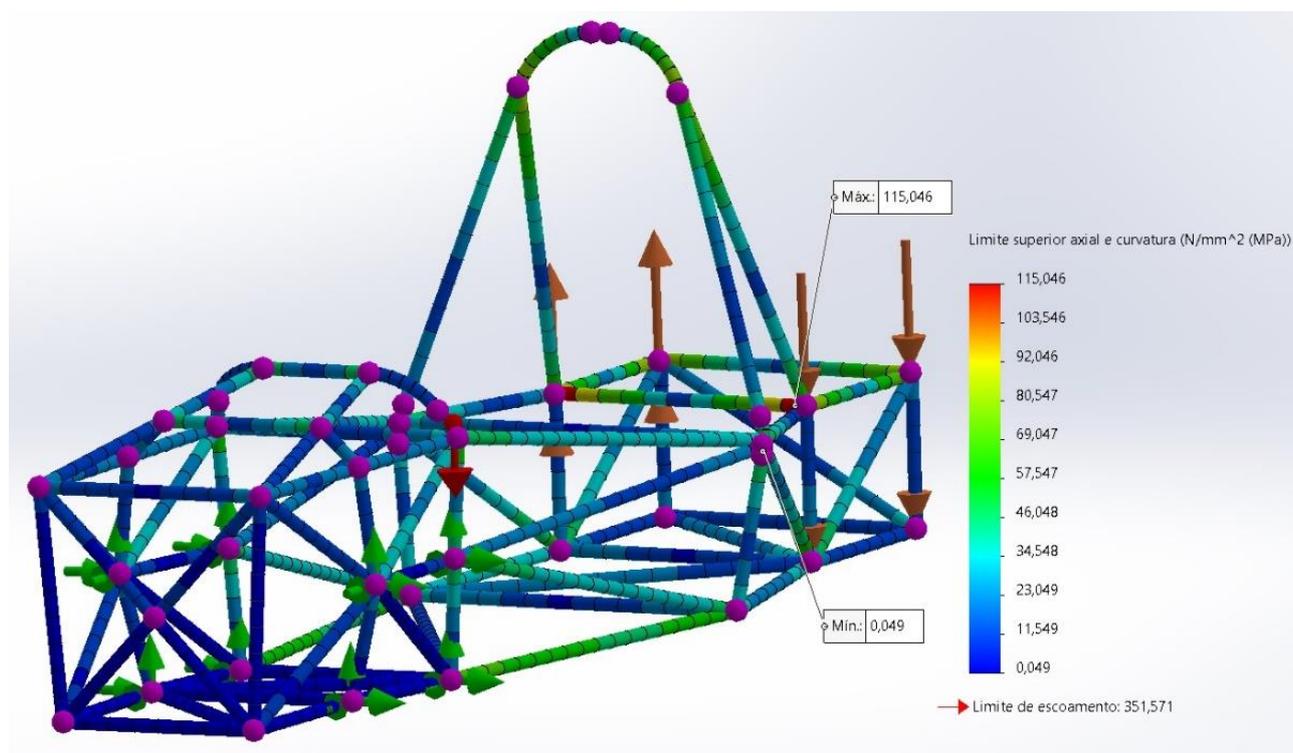
Fonte: Autores.

**Figura 11** – Simulação de deslocamento com 657Nm aplicados à suspensão traseira.



Fonte: Autores.

**Figura 12** – Simulação de tensão com 657Nm aplicados à suspensão traseira.



Fonte: Autores.

Pelos resultados da simulação, é possível observar que com a força aplicada à suspensão dianteira, o vetor resultante (URES) será de 5,554mm, enquanto o ponto que maior sofrerá tensão é o Arco Frontal (Front Hoop), com tensão máxima de 162,3MPa. Com a força aplicada à suspensão traseira, o vetor resultante (URES) será de 4,431mm e seu ponto de maior tensão será nos suportes do Arco Principal (Main Hoop) com tensão máxima de 115MPa.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os dados coletados na modelagem e simulação em mãos, conclui-se que o projeto está dentro dos parâmetros ergonômicos e de segurança, com um fator de segurança de 2,2 para simulações na suspensão dianteira e 3,1 para simulações na suspensão traseira, estando apto à ser fabricado e ser aprovado nas inspeções, à fim de competir na Fórmula SAE 2023.

#### 5. REFERÊNCIAS

LIVESEY, W. A.; ROBINSON, A. **The Repair of Vehicle Bodies**. 5. ed. Inglaterra: Butterworth-Heinemann, 2006.

COSTING, M.; PHIPPS, D. **Racing and Sports Car Chassis Design**. 2. ed. Inglaterra: B. T. Batsford LTD, 1965.

MOTORSPORT UOL. Fórmula SAE Brasil: estudantes de graduação produzem carros tipo fórmula e competem entre si. Disponível em:

< <https://motorsport.uol.com.br/general/news/formula-sae-brasil-estudantes-de-graduacao-produzem-carros-tipo-formula-e-competem-entre-si/10357866/> > Acesso em: 19 de maio 2023.

