

ANÁLISE ESTRUTURAL DA MANGA DIANTEIRA DE UM VEÍCULO BAJA SAE PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Laurentino Pancine Neto¹, Márcio Rafael Chaves Lopes², Murilo Silva Mello³, Paulo Victor Toso Helker⁴, Victor de Almeida Rufino⁵

Engenharias

Introdução e Objetivo

O programa de extensão SamaBaja, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – campus São Mateus, visa projetar e construir um veículo off-road para participar de competições organizadas e vinculadas à SAE Brasil. O desenvolvimento do protótipo é realizado por estudantes dos cursos técnicos e de graduação, que atuam em todas as etapas de concepção e fabricação. Para isso, a equipe é estruturada em subsistemas técnicos, cada um responsável por contribuir com o avanço do projeto até a conclusão do veículo.

O setor Suspensão e Direção tem como principal objetivo transpor obstáculos e filtrar as irregularidades do solo promovendo conforto e segurança ao piloto, a modelagem desse sistema utiliza dos conceitos de dinâmica veicular que estuda diretamente os efeitos do veículo em cada eixo das coordenadas. Como Subsistema da suspensão há peças que fazem parte da sua totalidade e uma delas é a manga de eixo, que exerce a função de interligar as bandejas de suspensão e caixa de direção ao cubo da roda e ao pneu promovendo o movimento correto dos pneus e suspensão.

Peças como a manga de eixo se tornam críticas a partir do momento em que sem ela não há o movimento do veículo, sendo necessária uma análise detalhada da peça modelando e simulando por meio de técnicas como o Método dos Elementos Finitos (MEF). De acordo com Azevedo, 2003, o MEF se mostra como uma importante ferramenta na análise estrutural, determinando o

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Instituto Federal do Espírito Santo – IFES, laurentinogatp@gmail.com

² Graduando em Engenharia Mecânica, Instituto Federal do Espírito Santo – IFES, marciordclopes@gmail.com;

³ Graduando Engenharia Mecânica, Instituto Federal do Espírito Santo – IFES, murillo.si.mello@gmail.com

⁴ Mestre em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, paulo.helker@ifes.edu.br

⁵ Graduando em Engenharia Mecânica, Instituto Federal do Espírito Santo – IFES, victorrufino2003@gmail.com

estado de tensão e deformação aos quais uma estrutura estará sujeita mediante a aplicação de forças externas.

Método e Metodologia

O modelo geométrico da manga do protótipo SamaBaja foi desenvolvida no software de CAD Solidworks®. Para verificar o quanto de deformação a geometria sofreria ou mesmo se ela iria romper-se diante das tensões aplicadas, foram realizadas análises estruturais no software Ansys Workbench.

O primeiro passo das simulações foi definir as condições de contorno da geometria, que podem ser observadas na figura 1. Para tanto foi proposto o cenário teórico do “pior caso”, onde o carro cairia de 1,5 m de altura, inclinado a 45°, sobre uma única roda e com o freio acionado. Assim, considerou-se uma força de queda de cerca de 8680 N, decomposta em 45°, um momento causado pela frenagem do veículo, de 950 N.m e a região de conexão com o cubo de roda foi tratado como suporte fixo em todas as direções, visto que o veículo estaria sofrendo uma frenagem. O material da geometria foi definido como alumínio 6061-T6, pois era o que havia disponível para a posterior fabricação, fazendo com que o dimensionamento dependesse exclusivamente da geometria da manga.

Em seguida, foi feita a convergência da malha, relacionando a tensão equivalente de Von-Mises e a quantidade de elementos da geometria, a fim de saber o melhor tamanho dos elementos para a simulação. Com tal método, é possível simular de forma otimizada, com boa precisão e sem desperdiçar tempo e recursos em uma simulação.

Por fim, foi feita a simulação definitiva, a fim de se determinar a tensão máxima equivalente de Von-Mises e o ponto onde ela estaria localizada. Além disso, também foi solicitada a deformação máxima e o menor fator de segurança na peça, tomando um fator de segurança de 1,5 como mínimo admissível para a aplicação.

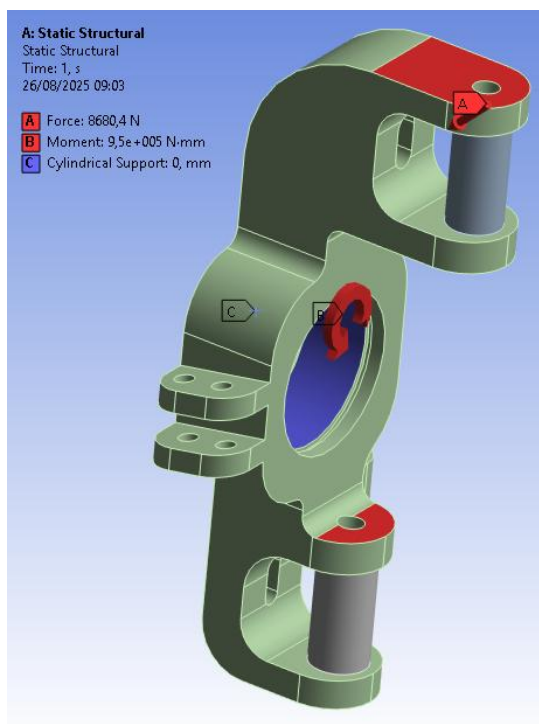


Figura 1 - Condições de contorno do modelo geométrico da manga dianteira.

Fonte: Autores (2025).

Discussão e Resultados

Os espaços geométricos discretizados com o refinamento da malha foram suficientes para evidenciar as tensões de maior intensidade que poderiam se desenvolver na estrutura, especialmente nas regiões superiores da manga. Esse comportamento foi confirmado por um refinamento posterior, que não aumentou de forma significativa o valor das tensões. Um refinamento impreciso pode suavizar excessivamente a interpolação entre os nós, resultando em valores incorretos de tensão e levando a um fator de segurança artificialmente elevado. Após o refinamento foi obtida uma malha com 512785 elementos, de 0,6 mm de tamanho. A malha pode ser vista na figura 2.

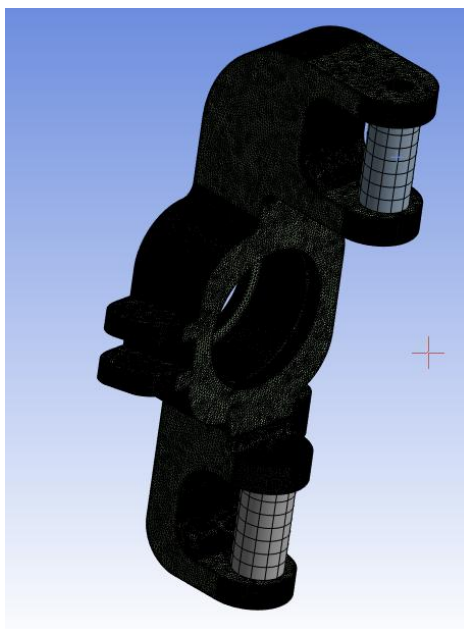


Figura 2 – Malha do modelo geométrico da manga dianteira

Fonte: Autores (2025).

A tensão máxima equivalente de Von-Mises na manga dianteira do protótipo SamaBaja foi de 170,12 MPa, como pode ser visto na figura 3-a, relativamente muito inferior à tensão de escoamento do alumínio 6061-T6, de 276 MPa, conforme disponibilizado pela MatWeb (2000). Essa diferença também é responsável pelo fator de segurança, que pode ser visto na figura 3-b.

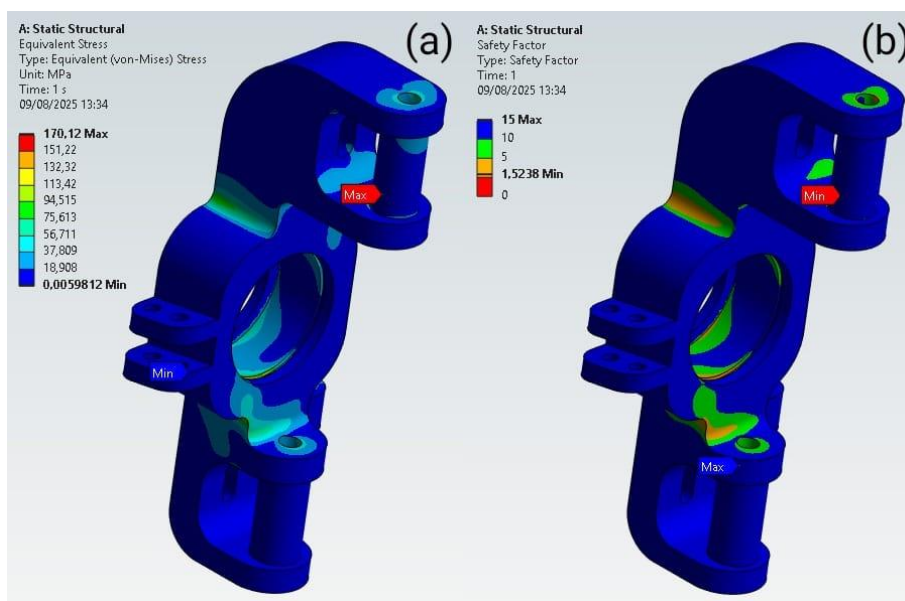


Figura 3 - Tensão equivalente da manga dianteira (a), e fator de segurança da manga dianteira (b)

Fonte: Autores (2025).

Além disso, a deformação máxima registrada foi de 0,09568 mm, conforme ilustrado na figura 3. Para efeito de comparação, esse material apresenta um alongamento na ruptura variando de 8 a 12%, dependendo da espessura da peça (ASM International, 1990). O valor de deformação

obtido na simulação encontra-se, portanto, dentro da faixa de deformações geralmente observadas para o alumínio 6061-T6.

Considerações Finais

O estudo dos componentes estruturais é essencial para avaliar a capacidade do material em resistir a esforços estáticos e cíclicos, garantindo a segurança e confiabilidade do projeto. A manga de eixo, como parte do conjunto roda-pneu-suspensão-direção, desempenha papel fundamental na integridade do veículo.

Os resultados demonstram que a geometria adotada apresenta baixa deformação, tensão equivalente dentro dos limites esperados e um fator de segurança satisfatório. Estes resultados indicam que o modelo geométrico da manga de eixo atende aos requisitos de resistência para uma operação segura. Uma análise detalhada da estrutura com foco em redução de massa fica como sugestão para trabalhos futuros.

Referências

ASM INTERNATIONAL. Metals Handbook. 10. ed. Materials Park: ASM International, 1990.

AZEVEDO, Á. F. M. Método dos elementos finitos. Faculdade de Engenharia da universidade do Porto, v. 1, n. 7, 2003.

MATWEB. Material Property Data, Alumínio 6061-T6; 6061-T651. 2000. Disponível em: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=b8d536e0b9b54bd7b69e4124d8f1d20a&ckck=1>. Acesso em 19 ago. 2025.

SANTOS, Vinícius Barbosa dos. Análise estrutural da manga de eixo dianteira de um protótipo Baja SAE sujeito à fadiga. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

YAN, Lawrence Tack Wen. Análise estrutural de componentes do Baja SAE submetidos a fadiga. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011