



I Simpósio Gaúcho de Engenharia Aeroespacial e Mecânica  
9 e 10 de novembro de 2022, Santa Maria, RS, Brasil

## ANÁLISE POR MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS (MEF) DE ESTRUTURA DE UM FOGUETE PARA FOGUETEMODELISMO

**Bernardo Eckert Recktenvald**

**Lucas Lira Sasset**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima n° 1000, Cidade Universitária – Camobi, Santa Maria - RS.

Bernardo.recktevald@acad.ufsm.br, lucas.sasset@acad.ufsm.br

**João Felipe de Araujo Martos**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima n° 1000, Cidade Universitária – Camobi, Santa Maria - RS.

Joao.martos@ufsm.br

**Resumo.** O objetivo deste trabalho é identificar regiões de deformação, regiões de maiores tensões e as magnitudes dessas forças através do uso do software ANSYS com licença estudantil (limitação de malha) em uma peça de Alumínio 6061-T6 que é utilizada em um foguete para foguetemodelismo da equipe Tau Rocket Team. A metodologia consiste na modelagem das peças no software SOLIDWORKS, criação de malha e determinação de condições de contorno no ANSYS, e análise de resultados obtidos. Por fim, relacionando as propriedades do material com os resultados, é possível definir um fator de segurança e concluir a viabilidade do uso das peças para seus devidos fins.

**Palavras chave:** Método dos Elementos Finitos. Análise de deformações e tensões. Foguetemodelismo.

### 1. INTRODUÇÃO

O departamento de estruturas da equipe de competição tem como objetivo principal manter a integridade das peças em todas as condições de voo e na queda do foguete. Os materiais devem ser escolhidos de forma que as peças não possuam massa e volume superior ao necessário, assim como o dimensionamento deve ser o mais enxuto possível e a manufatura das peças devem ser simples, para que o custo não seja elevado.

Para isso, é necessário realizar análises que comprovem a viabilidade do uso das peças para que as mesmas não sofram falhas, fraturas e/ou deformações plásticas. Dessa forma, uma das análises realizadas nas peças de materiais isotrópicos e metálicos é a de Método de Elementos Finitos (MEF), que consiste na caracterização das deformações e tensões que as peças sofrem em determinadas condições, definindo a possibilidade da sua utilização.

### 2. METODOLOGIA

Após a definição das peças e seus materiais em outra etapa de projeto, é possível selecionar as que são

caracterizadas como material isotrópico e metálico. Utilizando o projeto das peças e o software SOLIDWORKS, é realizada a modelagem 3D das peças, que são exportadas para o ambiente do software ANSYS Student. Dentro do ambiente ANSYS, são definidos os parâmetros para a análise realizada, como material utilizado, tipo de análise, geometria CAD importada, tamanho dos elementos, formatos dos elementos. De tal forma, é criada a malha de elementos finitos manualmente de acordo com as limitações do software (com relação à numeração de nós e elementos) e definições do usuário.

Posteriormente, à criação da malha, sendo identificadas as condições de contorno para as situações analisadas e as mesmas são aplicadas nas peças. Por fim, as análises são simuladas no ambiente ANSYS e os resultados são obtidos, de modo a serem comparados com as propriedades dos materiais, tendo como consequência, a definição dos fatores de segurança para a peça e aplicação, os quais são utilizados para verificar a viabilidade do seu uso.

A peça analisada é o acoplador de fuselagem, de material Alumínio 6061-T6, que é amplamente utilizado em foguetemodelismo devido ao baixo custo, menor densidade e maior resistência mecânica em relação às



demais opções. O acoplador de fuselagem “Figura 1” tem como função, juntar a fuselagem inferior e superior do foguete.

A peça possui formato cilíndrico, quatro dentes para encaixe do motor, uma área circular achatada para distribuição do empuxo, e os furos necessários para união das peças, sendo 8 furos na região cilíndrica e 3 na área achatada. A peça possui diâmetro externo de 75 mm, espessura menor de 3 mm, espessura maior de 17,5 mm, altura da região não dentada de 30 mm e altura dos dentes de 15 mm. A densidade da peça é de  $2,7 \text{ g/cm}^3$ .

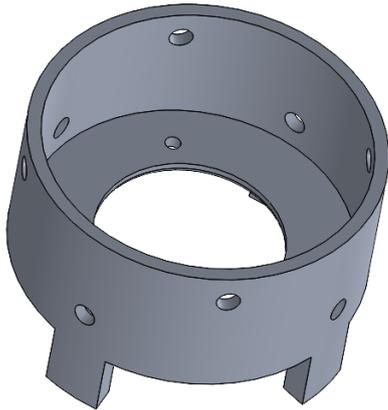


Figura 1. Acoplador de fuselagem

A malha criada é composta por 60.511 nós e 37.050 elementos, onde: os elementos possuem formato triangular e a malha possui refinamentos nas regiões com furos.

As condições de contorno são dadas pelo empuxo (aplicado na área circular achatada), peso da estrutura (aplicado nos parafusos laterais superiores) e peso das peças adjacentes (aplicado no centro de massa da estrutura), como mostrado em “Tabela 1”.

Tabela 1. Condições de contorno aplicadas no acoplador

Condições	Valor
Empuxo [N]	242,0
Peso da estrutura [N]	0,86
Peças adjacentes [N]	20,0

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a análise, são obtidas duas configurações da peça, sendo uma delas, “Figura 2”, com os dados de deformações e a outra, “Figura 4”, com os dados de tensões, respectivamente. Assim como visto na legenda dos gráficos, as regiões com cores mais próximas ao vermelho são as que sofrem maiores deformações ou acúmulo de

tensões, e as mais próximas ao azul são as que sofrem com menores magnitudes.

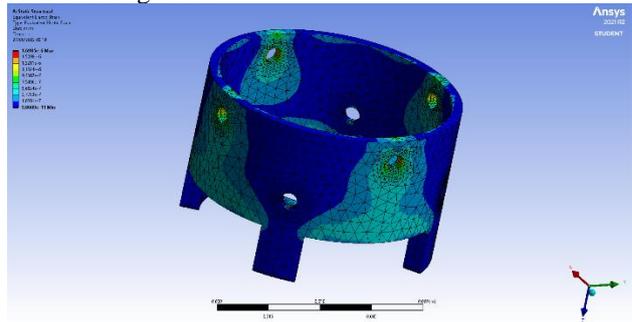


Figura 2. Deformações no acoplador

A máxima deformação atuante no acoplador é de  $1,6985 \times 10^{-6} \text{ m/m}$ , e está localizada na região de contato com o motor, como mostrado em “Figura 3”.

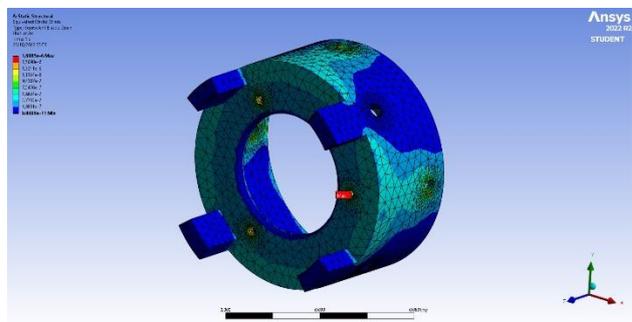


Figura 3. Região de máxima deformação

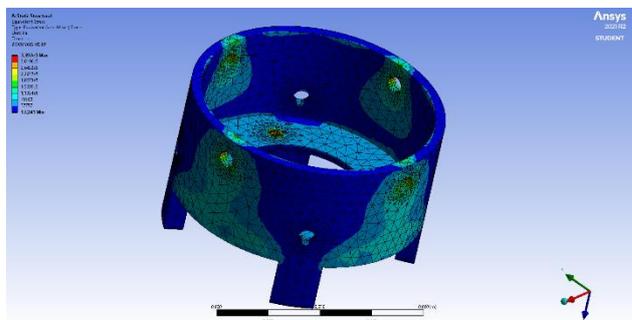


Figura 4. Tensões no acoplador

A máxima tensão atuante no acoplador é de  $3,397 \times 10^5 \text{ Pa}$ , e também está localizada na região de contato com o motor, como mostrado em “Fig. 5”.

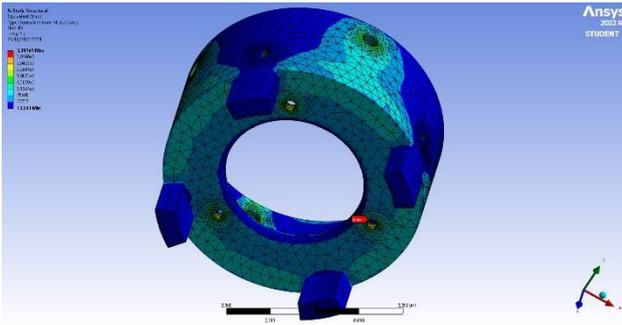


Figura 5. Região de máxima tensão

Para calcular o fator de segurança da peça, como mostrado por Timothy (2017), é usada a “Eq. (1)”, que relaciona o fator de segurança (FS), com a razão entre a tensão limite de escoamento ( $\sigma_f$ ) e a tensão máxima atuante ( $\sigma_{atuante}$ ).

$$FS = \frac{\sigma_f}{\sigma_{atuante}} \quad (1)$$

De acordo com Kaufman (2001), o limite de escoamento do Alumínio 6061-T6 é de 275,79 MPa. Assim, o valor encontrado para o fator de segurança é de 811,86.

#### 4. CONCLUSÃO

Após a análise de resultados, é possível notar que o valor do fator de segurança está muito elevado, demonstrando assim que a peça foi superdimensionada, ou seja, possui maior resistência do que o necessário. Em projetos usuais de engenharia, o fator de segurança costuma estar entre 1,5 e 10, o que novamente confirma o superdimensionamento da peça.

O alto valor encontrado mostra que a peça pode ser otimizada. Para realizar essa otimização, é possível diminuir o volume da peça, utilizar outro material com menor limite de escoamento ou projetar alívios de massa, desde que outros requisitos sejam cumpridos, como baixo custo, baixa densidade e resistência térmica suficiente para não ter suas propriedades mecânicas alteradas devido à proximidade do motor.

#### 5. REFERÊNCIAS

- KAUFMAN, J. Gilbert. Introduction to Aluminum Alloys and Tempers. 1<sup>a</sup> ed. Washington: ASM International., 2001. 258p.
- TIMOTHY, A. Philpot; JEFFERY, S. Thomas. Mechanics of Materials: Na Integrated Learning System. 4<sup>a</sup> ed. Rolla: Wiley., 2017. 854p.

