



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SÃO PAULO

Introdução ao Projeto de Aeronaves

Aula 36 – Dimensionamento Estrutural
por Análise Numérica

TAPERÁ

Aerodesign



Tópicos Abordados

- Método dos Elementos Finitos.
- Softwares para Análise Numérica.

Método do Elementos Finitos

- No âmbito da Engenharia de Estruturas, o Método dos Elementos Finitos (MEF) tem como objetivo a determinação do estado de tensão e de deformação de um sólido de geometria arbitrária sujeito a forças externas.
- Este tipo de cálculo tem a designação genérica de análise de estruturas e surge, por exemplo, no estudo de edifícios, pontes, barragens, automóveis, aeronaves, etc.
- Quando existe a necessidade de projetar uma estrutura, é habitual proceder-se a uma sucessão de análises e modificações das suas características, com o objetivo de se alcançar uma solução satisfatória, quer em termos económicos, quer na verificação dos pré-requisitos funcionais e regulamentares.
- As técnicas descritas nesta aula apenas correspondem à fase de análise do comportamento de uma estrutura cuja geometria, materiais e forças são a priori conhecidos.

Estruturas Reticuladas e Não Reticuladas

- Nos cursos de Engenharia Aeronáutica e de Engenharia Mecânica é tradicional começar o estudo da análise de estruturas com vigas, pórticos e treliças.
- As estruturas deste tipo recebem a designação de reticuladas, por serem constituídas por barras prismáticas cuja seção transversal apresenta dimensões muito inferiores ao comprimento do seu eixo.
- As estruturas não reticuladas são, em geral, estudadas como meios contínuos (e.g., cascas, sólidos).
- Nas estruturas reticuladas surgem já muitos conceitos que são comuns à generalidade das estruturas, tais como o de equilíbrio, compatibilidade, tensão, deformação, relação entre tensão e deformação, etc.
- No âmbito das estruturas reticuladas torna-se particularmente simples explicar o método das forças e o método dos deslocamentos, bem como outras técnicas que, em geral, são difíceis de estender aos meios contínuos.

Tipo de Análise

- Quando surge a necessidade de resolver um problema de análise de uma estrutura, a primeira questão que se coloca é a sua classificação quanto à geometria, modelo do material constituinte e forças aplicadas.
- O modo como o MEF é formulado e aplicado depende, em parte, das simplificações inerentes a cada tipo de problema.

Análise Dinâmica ou Estática

- As ações sobre as estruturas são em geral dinâmicas, devendo ser consideradas as forças de inércia associadas às acelerações a que cada um dos seus componentes fica sujeito.
- Por este motivo, seria de esperar que a análise de uma estrutura teria obrigatoriamente de ter em consideração os efeitos dinâmicos.
- Contudo, em muitas situações é razoável considerar que as forças são aplicadas de um modo suficientemente lento, tornando desprezáveis as forças de inércia. Nestes casos a análise designa-se estática.

Análise Linear ou Não Linear

- Na análise de uma estrutura sólida, é habitual considerar que os deslocamentos provocados pelas forças externas são muito pequenos quando comparados com as dimensões dos componentes da estrutura.
- Nestas circunstâncias, admite-se que não existe influência da modificação da geometria da estrutura na distribuição dos esforços e das tensões, assim, todo o estudo é feito com base na geometria inicial indeformada.
- Se esta hipótese não for considerada, a análise é designada não linear geométrica.

Tipo de Estrutura

- As estruturas podem ser classificadas quanto à sua geometria como reticuladas, laminares ou sólidas.
- Estas últimas são as mais genéricas, sendo classificadas como sólidas as que não apresentarem características que as permitam enquadrar no grupo das laminares ou das reticuladas.

Estruturas Laminares

- As estruturas laminares são as que se desenvolvem para ambos os lados de uma superfície média, mantendo-se na sua vizinhança. É o caso de uma lâmina cuja espessura é muito inferior às restantes dimensões.
- Quando a superfície média é plana, a estrutura laminar pode ser classificada como parede ou casca plana.

Estruturas Reticuladas

- As estruturas reticuladas são as constituídas por barras prismáticas, cujas dimensões transversais são muito menores do que o comprimento do respectivo eixo.

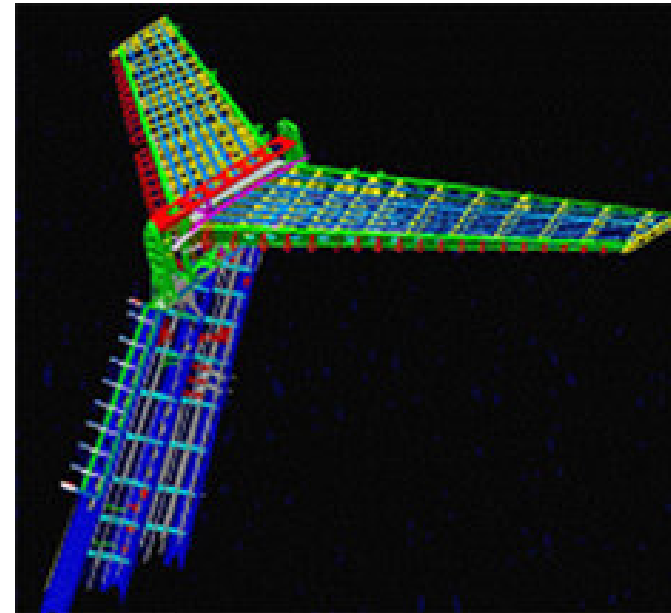
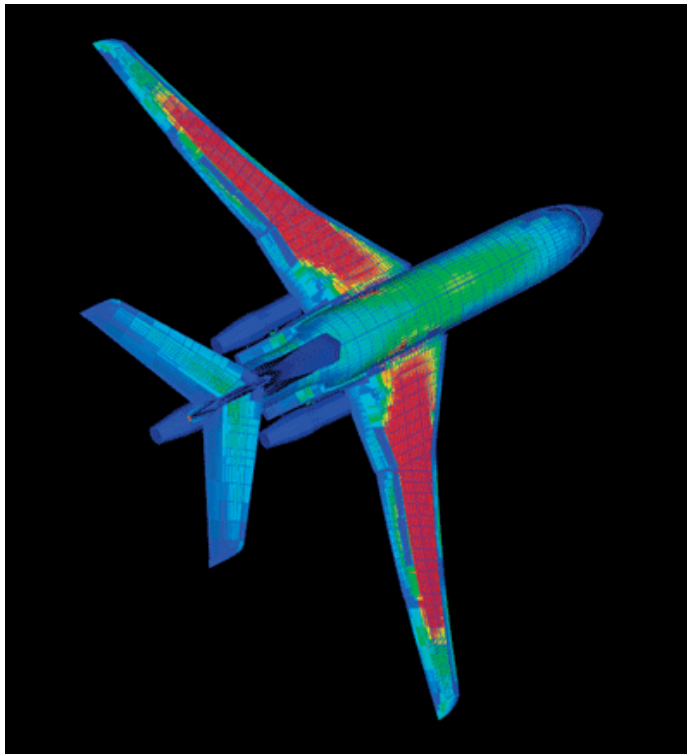
Principais Softwares para Análise Numérica de Tensões e Deformações

- Nastran.
- Ansys.
- Catia.
- Cosmos.
- etc...

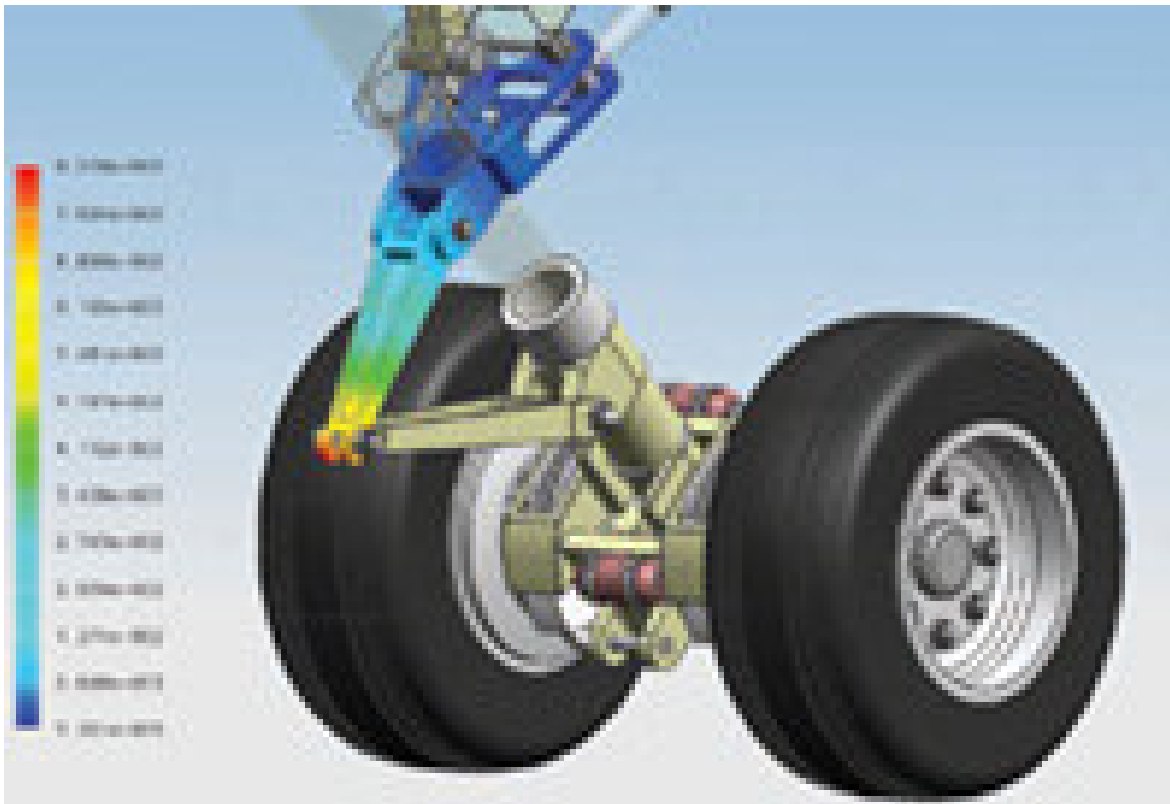
Aplicações na Estrutura de um Avião

- Análise de tensões e deslocamentos nos seguintes componentes:
- Asa.
- Fuselagem.
- Empenagem.
- Trem de Pouso.
- etc...

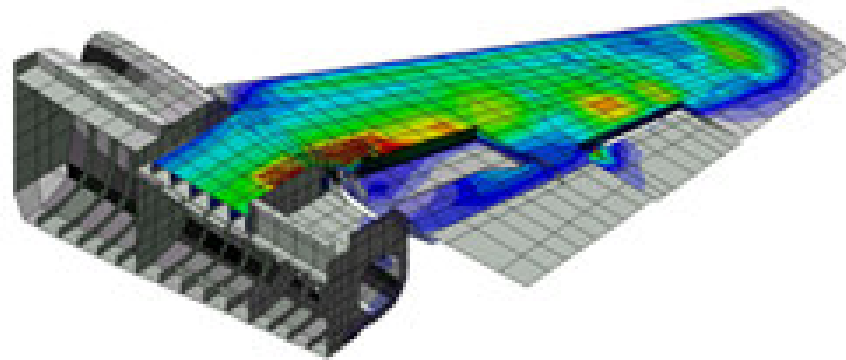
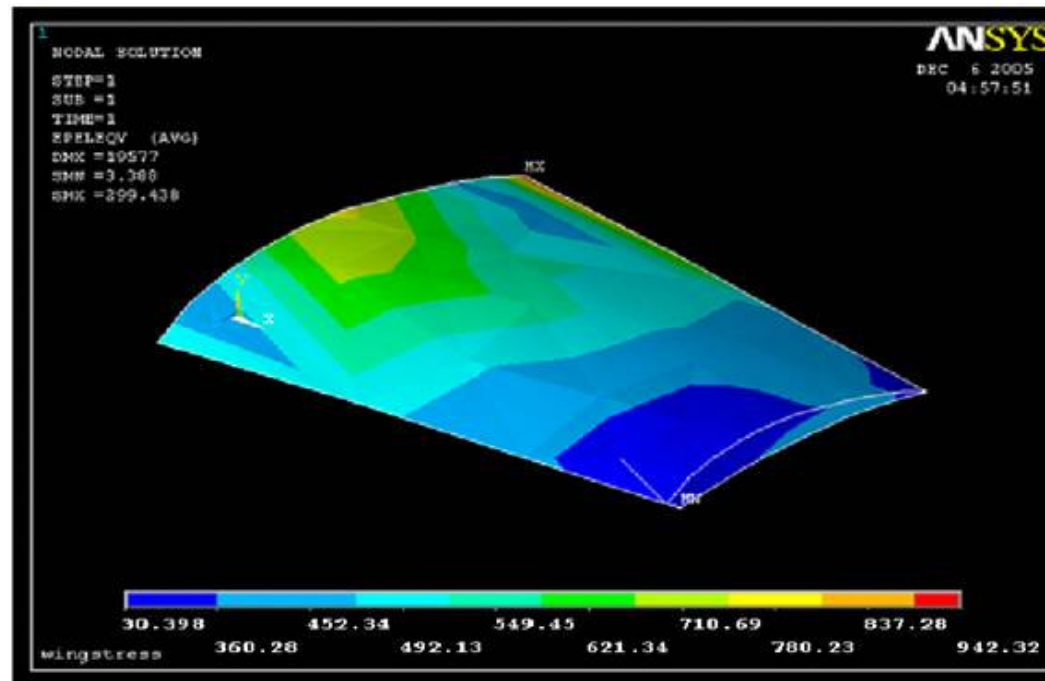
Análise Numérica na Aeronave e na Empenagem



Análise Numérica no Trem de Pouso

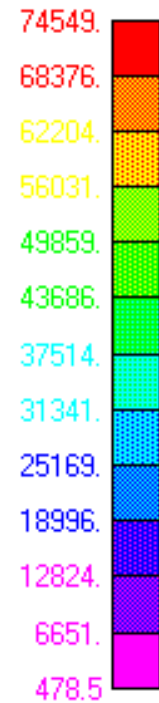
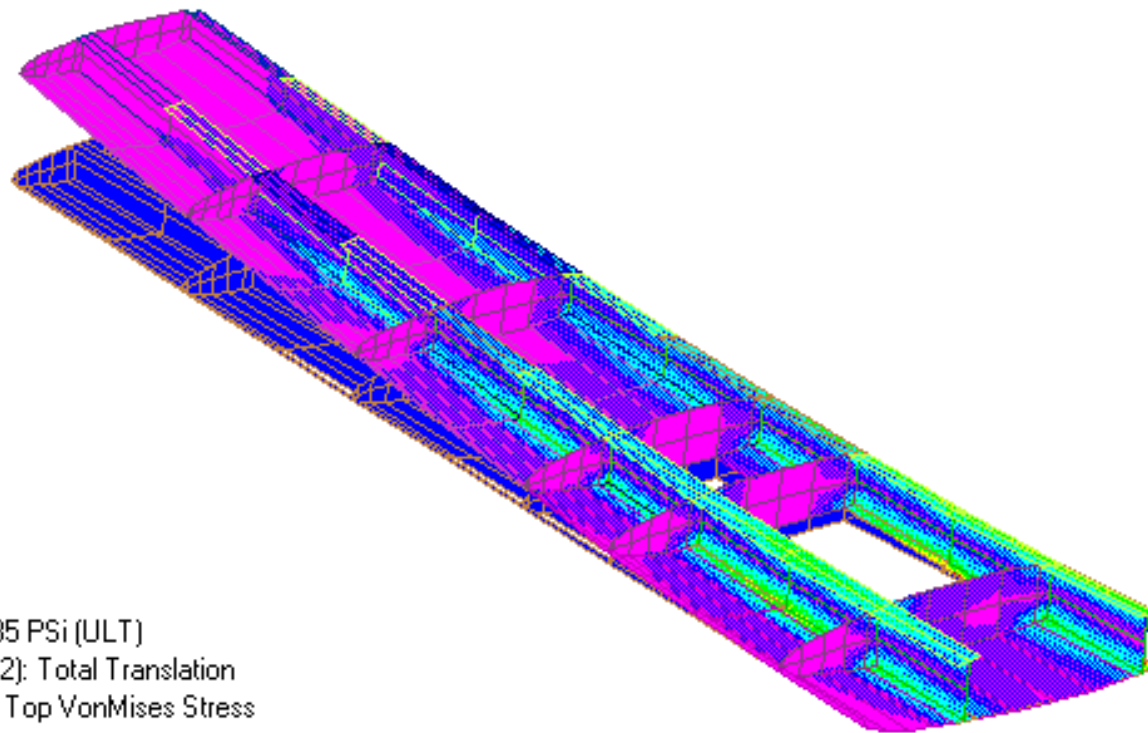


Análise Numérica na Asa



Análise Numérica na Estrutura da Asa

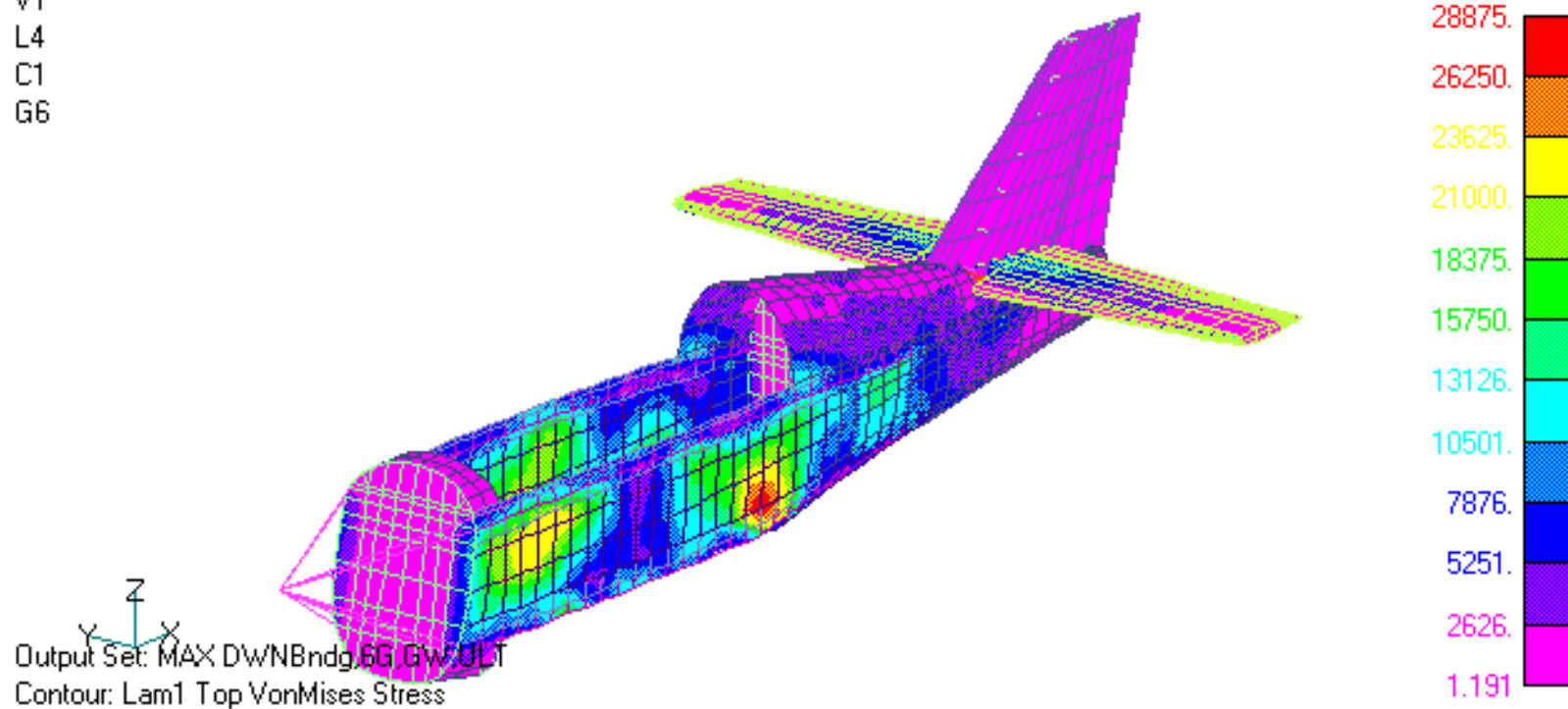
V1
L1
C1
G7



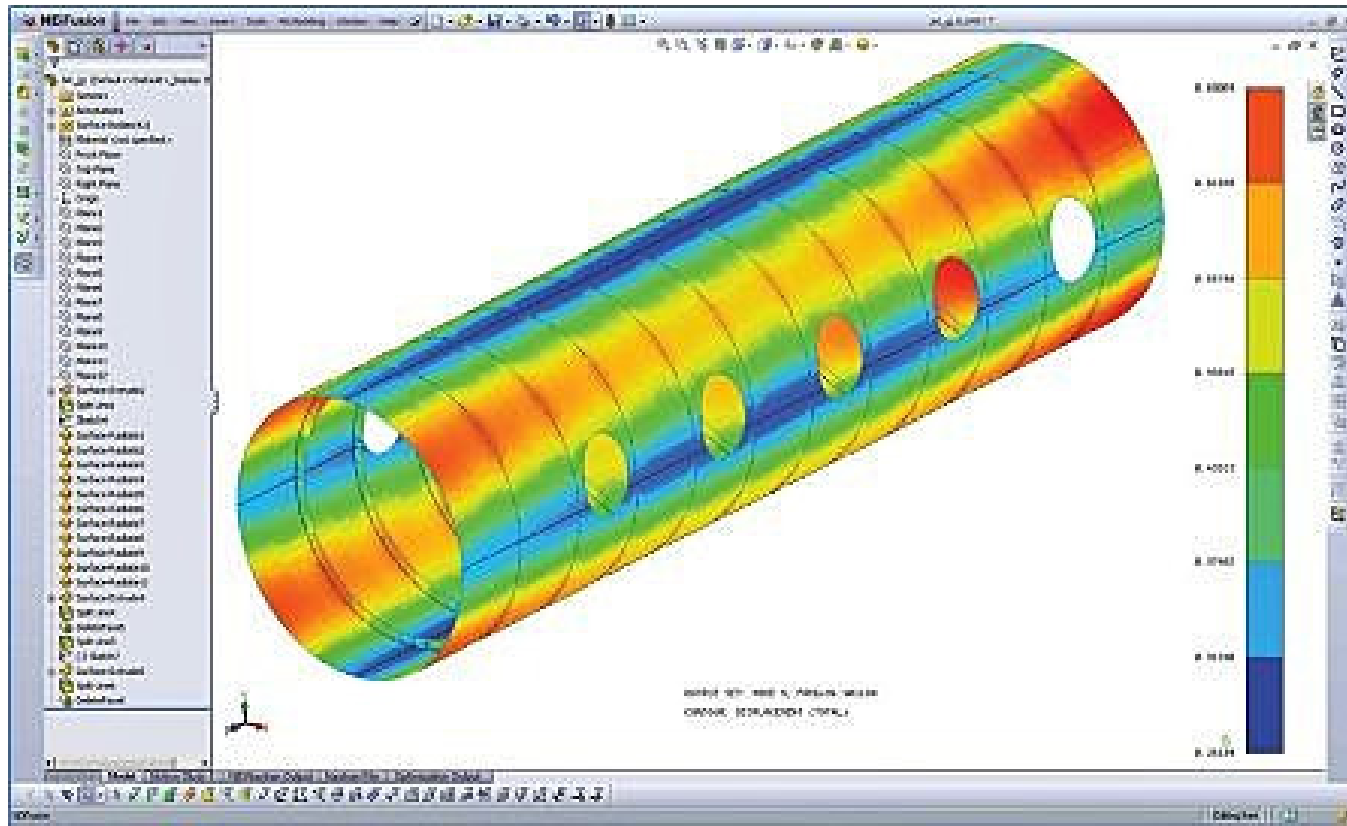
Output Set: 5,35 PSI (ULT)
Deformed(12.42): Total Translation
Contour: Lam1 Top VonMises Stress

Análise Numérica na Estrutura da Fuselagem

V1
L4
C1
G6



Análise Numérica da Estrutura da Fuselagem



Análise Numérica no AeroDesign

- Os principais fatores estruturais a serem avaliados em uma aeronave que participa da competição SAE-AeroDesign são:
- Tensões de Von Mises nas estruturas da asa, da empenagem, da fuselagem e do trem de pouso.
- Deslocamentos nas estruturas da asa, da empenagem, da fuselagem e do trem de pouso.

Princípios para a Realização da Análise Numérica

- Escolher o software que será utilizado.
- Conhecer as limitações do software.
- Conhecer a magnitude e a direção das cargas atuantes em cada componente do avião.
- Selecionar o material correto para o componente (propriedades mecânicas).
- Saber onde colocar os pontos de restrição de cada componente avaliado.

Avaliação dos Resultados da Análise Numérica

- A realização de uma análise numérica para o AeroDesign somente recebe uma importância no desenvolvimento do projeto se a equipe avaliar corretamente os resultados obtidos.
- Não adianta nada colocar uma figura colorida no relatório de projeto se a avaliação dos resultados não for realizada de maneira correta.

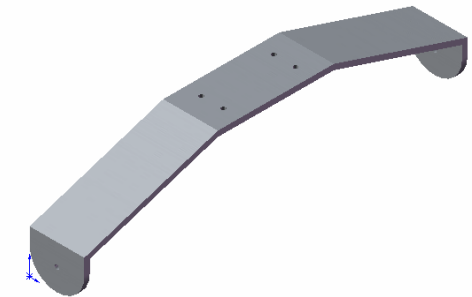
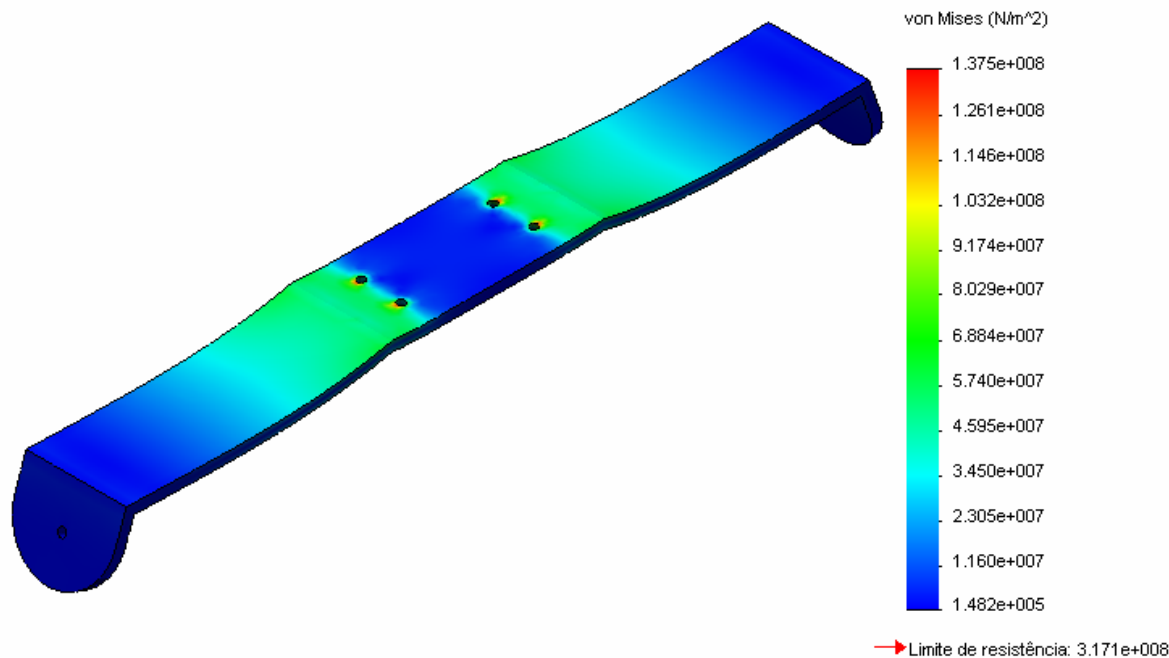
Critérios Avaliação dos Resultados da Análise Numérica

- Verificar se a tensão atuante é menor que a tensão limite do material, em caso afirmativo significa que a estrutura suportará os esforços com fator de segurança maior que 1.
- Verificar se o fator de segurança obtido não é exagerado resultando em um super-dimensionamento da estrutura.
- Avaliar o deslocamento máximo.
- “Vermelho” não significa que a peça vai quebrar, mas sim, mostra a região mais solicitada.
- Se a tensão atuante for menor que a tensão limite do material, uma região “vermelha” apenas indica os pontos mais solicitados da estrutura.

Aplicações de Análise Numérica no AeroDesign

- A seguir são apresentadas algumas análises que podem ser realizadas em aeronaves que participam da competição AeroDesign.
- Em cada uma das análises é possível se fazer uma análise da escala de resultados e verificar a resistência da estrutura.

Tensões de Von Mises na Estrutura do Trem de Pouso



Material: Alumínio 2018

Tensão Limite:

316MPa

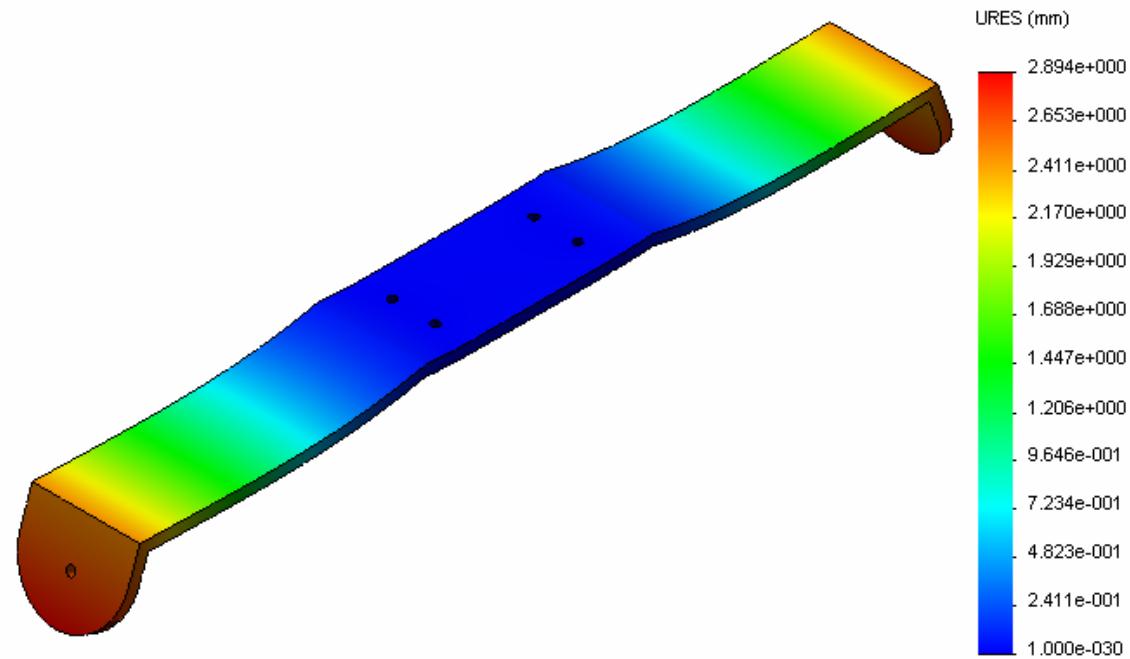
Tensão Máxima Atuante:

137,5MPa

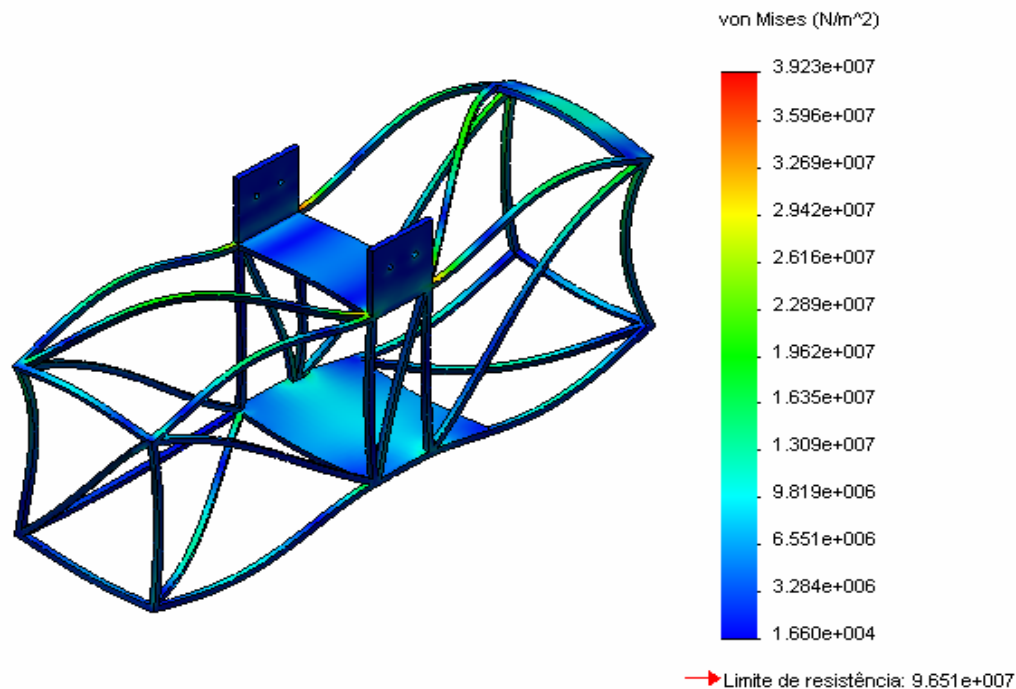
Resultado:

A estrutura suporta os esforços

Deslocamentos na Estrutura do Trem de Pouso



Tensões de Von Mises na Estrutura da Fuselagem



Material: Alumínio 2014

Tensão Limite:

96MPa

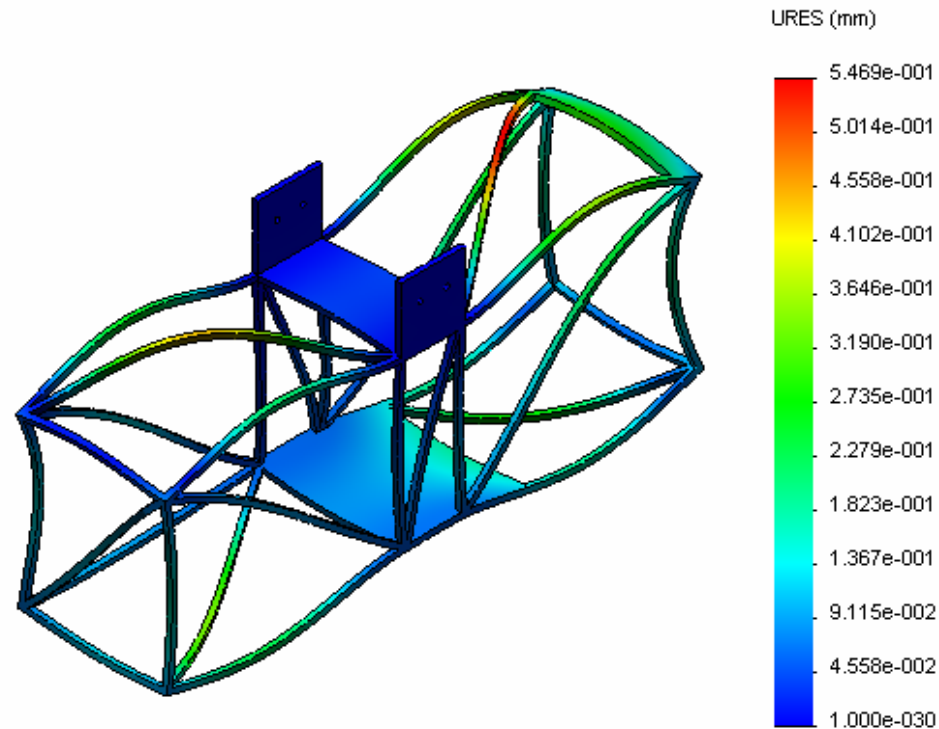
Tensão Máxima Atuante:

39,23MPa

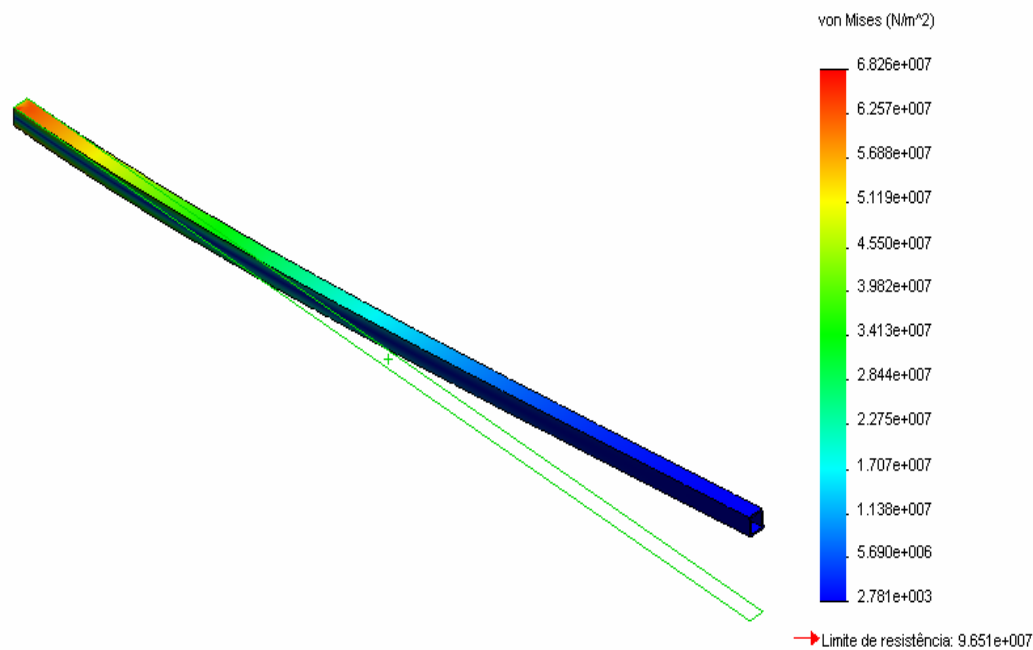
Resultado:

A estrutura suporta os esforços

Deslocamentos na Estrutura da Fuselagem



Tensões de Von Mises na Longarina da Asa



Material: Alumínio 2014

Tensão Limite:

96MPa

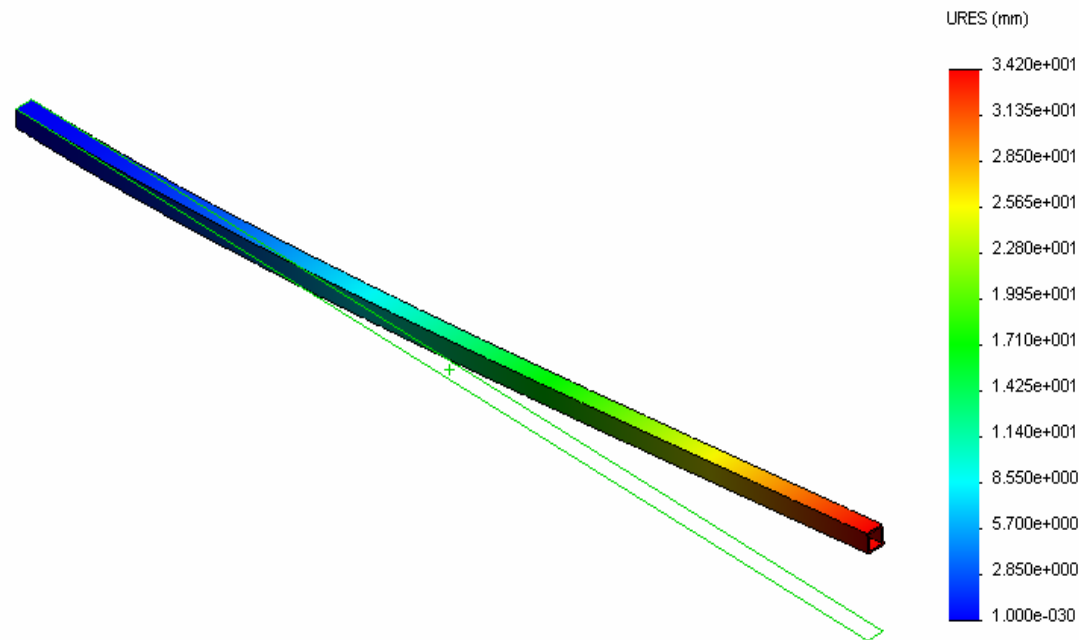
Tensão Máxima Atuante:

68,26MPa

Resultado:

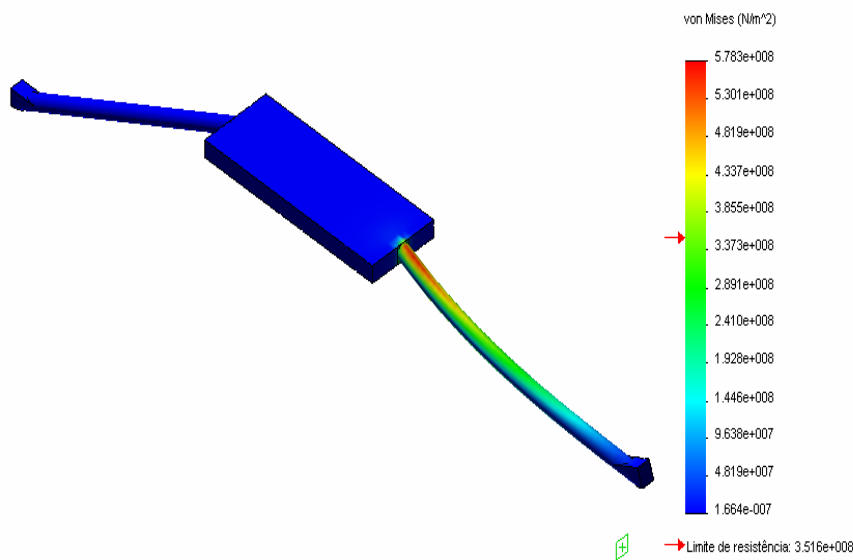
A estrutura suporta os esforços

Deslocamentos na Longarina da Asa



Análise Numérica com Tensão Atuante Superior a Tensão Limite do Material

- Análise realizada para o trem de pouso, considerando situação mais crítica do pouso em uma única roda.
- É possível observar que a tensão atuante máxima ultrapassa a tensão limite do material.



Material: Aço 1020

Tensão Limite:

351MPa

Tensão Máxima Atuante:

578,3MPa

Resultado:

A estrutura não suporta os esforços

Tema da Próxima Aula

- Regulamento da Competição.
- Interpretação e Análise.
- Otimização de Pontuação.