

MODELAGEM DE UMA JUNTA AERONÁUTICA

Juliano Govedice Resende

juliano_resende_82@yahoo.com.br

Resumo: Juntas rebitadas estão presentes em grande número na indústria aeronáutica. Este trabalho é dedicado à modelagem deste tipo de junta. Com o auxílio de um software de elementos finitos é construído um modelo sólido de uma junta sobreposta unida por quinze rebites distribuídos em três fileiras. O modelo é submetido a tensões de tração e, assim, efetuadas simulações para análise de tensões. O principal objetivo destas simulações é reproduzir o comportamento deste tipo de junta quando submetida a tensões de tração. Os resultados obtidos são comparados com os de trabalhos anteriores que apresentam não só modelos numéricos, mas também ensaios experimentais e, assim torna-se possível discutir a validade do modelo. Por fim é feita uma discussão dos resultados e possíveis melhorias no modelo.

Palavras chave: junta sobreposta, rebite, elementos finitos, modelagem.

1. Introdução

Uma aeronave é composta por diversas estruturas que devem ser unidas de maneira eficiente e segura. Uma união é normalmente desempenhada por juntas que podem ser rebites, parafusos, solda ou adesivo. A principal finalidade destes é a de resistir e transferir esforços de maneira que não sobrecarreguem a estrutura. A estrutura de um avião está sujeita a diferentes tipos de carregamento tais como: rajadas de vento, vibrações, variações de temperatura e o carregamento próprio especificado pela estrutura da aeronave.

As estruturas aeronáuticas têm como principais elementos de junta o rebite e o parafuso. O rebite é utilizado quando se deseja transferir carga por cisalhamento e o parafuso carga axial. A principal vantagem dos parafusos é que tornam o conjunto desmontável e a do rebite é seu baixo peso. O papel das juntas neste tipo de estruturas é de grande importância já que torna viável o uso de peças intercambiáveis e de tamanho reduzido na montagem das aeronaves.

No entanto, rebites e parafusos são concentradores de tensão na região da união e a área mais suscetível a ocorrência e propagação de trincas. E, devido a este fenômeno torna as juntas muitas vezes responsáveis pelas falhas estruturais. A figura 1 retrata um Boeing 737 operado pela Aloha Airlines em 1988 após sofrer desintegração parcial do topo da fuselagem em pleno voo. Investigações revelaram a presença de trincas em vários locais em uma junta descolada e foram atribuídas ao aumento das tensões de cisalhamento nos rebites.



Figura 1: Acidente de Aloha (1988) [3]

Os fatores mencionados acima justificam o estudo do comportamento de tais juntas e de suas propriedades como resistência estática e à fadiga, indispensáveis para que as aeronaves se tornem cada vez mais seguras estruturalmente.

Este trabalho, através dos softwares de elementos finitos comercializados pela empresa MacNeal-Schwendler Corporation, MD Patran® e MD Nastran®, se propõe a criar um modelo de uma junta para uso aeronáutico e realizar análise de tensões no modelo criado. Este estudo é de extrema importância para a determinação da vida operacional de uma aeronave e de seus pontos críticos, ou seja, dos pontos onde ocorrem as maiores tensões e qual a região mais suscetível à ocorrência e propagação de trincas.

2. Modelagem

2.1 Junta Rebitada

Os dois tipos de juntas mais comuns são a sobreposta (*lap joint*) e de topo (*butt joint*). Como se pode observar na figura 2, a junta sobreposta é formada pela união de duas chapas nas quais as pontas e bordas são sobrepostas produzindo uma superfície contínua. Já a junta de topo é caracterizada pela união de três ou quatro chapas sendo duas delas alocadas frente a frente e as demais desempenham a função de adesão mostrada na figura 3.

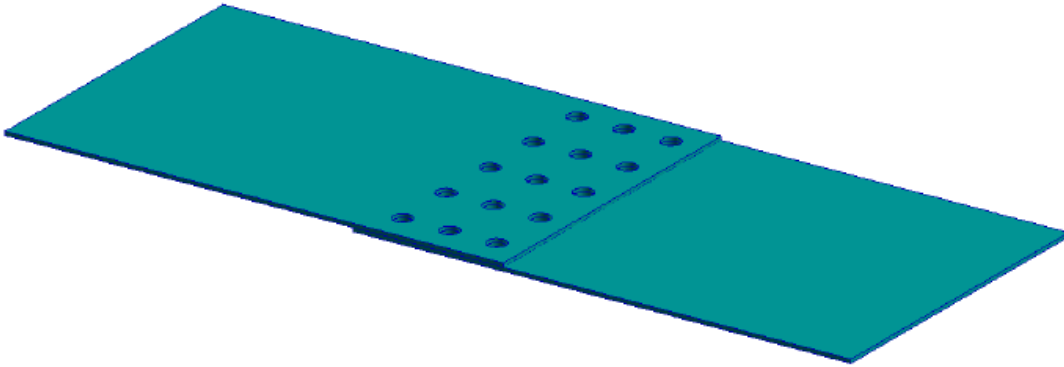


Figura 2: Modelo de uma junta sobreposta

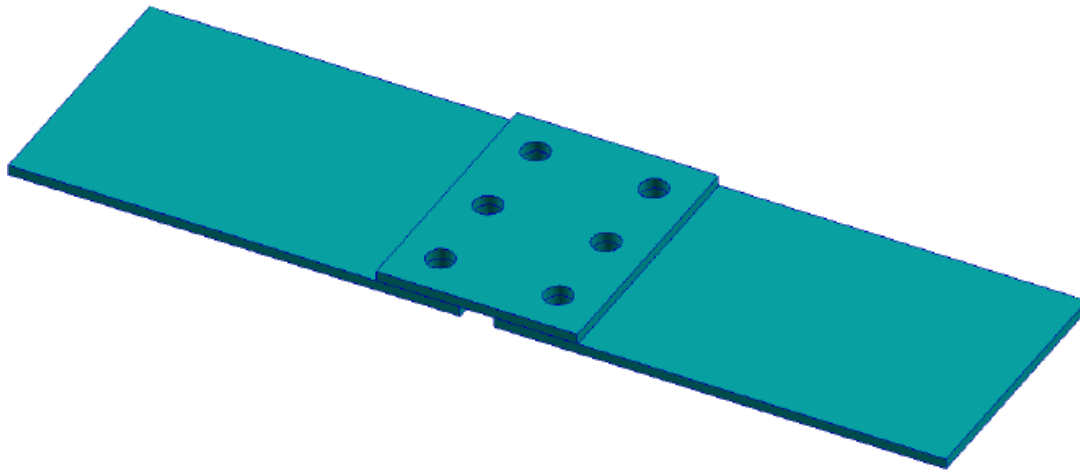


Figura 3: Modelo de uma junta de topo

O rebite pode ser caracterizado pelas seguintes grandezas: flexibilidade, rigidez, momento de inércia e seu comprimento médio. A seguir são apresentadas equações que podem ser utilizadas para a obtenção desses parâmetros.

Para chapas e rebites de alumínio Swift [2] considera a seguinte equação para a flexibilidade do rebite:

$$F = \frac{1}{E_{Al}d} \left[5 + 0,8 \left(\frac{d}{t_1} + \frac{d}{t_2} \right) \right] \quad (1)$$

Onde: E_{Al} é o módulo de elasticidade do Alumínio em MPa;

d é o diâmetro do corpo do rebite em mm;

t_1 e t_2 as espessuras das chapas dadas em mm;

F é a flexibilidade em mm/N.

A rigidez do rebite pode ser definida como:

$$K = \frac{1}{F} \quad (2)$$

Onde K é a rigidez do rebite dada em N/mm.

O momento de inércia é determinado por:

$$I = \frac{L^3}{12E_{Al}F} \quad (3)$$

Onde: I é o momento de inércia em mm⁴;

L é o comprimento médio do rebite em mm.

E, por fim, o comprimento médio do rebite é calculado da seguinte forma:

$$L = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (4)$$

As equações 2 a 4 foram retiradas de Spinelli [1].

2.2 Método dos Elementos Finitos

O método dos elementos finitos (MEF) é um método numérico usado para resolver problemas de engenharia como análise de estruturas, transferência de calor, transporte de massa e escoamento de fluidos.

O método consiste em transformar o corpo em estudo em um sistema equivalente composto por corpos menores conectados por nós, fronteiras ou superfícies, ou seja, o MEF discretiza problemas contínuos.

A solução de problemas estruturais versa basicamente em determinar os deslocamentos em cada nó e as tensões em cada elemento constituinte da estrutura em estudo sujeita a determinado tipo de carregamento. Quanto maior o número de nós mais próximo do real será a solução obtida. Entretanto, quanto maior o número de elementos maior o tempo gasto no cálculo. Daí a importância da escolha da densidade da malha, pois se por um lado melhora a precisão dos resultados, por outro dificulta o processamento.

Resumindo, o MEF formula equações para cada elemento finito e combina a solução deles para se obter a solução global ao invés de se resolver o problema em uma etapa para o corpo inteiro.

2.3 Modelagem Numérica

Para a modelagem das juntas e suas análises de tensões é necessário um software de elementos finitos. A modelagem da junta sobreposta foi desenvolvida utilizando o software MD R2 Patran para a modelagem e o MD R2.1 Nastran para análise estrutural.

É apresentada a modelagem de uma junta sobreposta composta por duas chapas de alumínio 2024-T3 com 15 rebites de alumínio 2117-T4 dispostos em 3 fileiras submetidas a esforços de tração.

Como a validação do modelo será feita mediante a comparação com trabalhos que realizaram ensaios de tração, as condições de contorno devem representar tal ensaio. Sendo assim, a uma extremidade do modelo foram restringidas as translações em Y e Z e rotações nas direções X, Y e Z simulando o deslocamento em X. A outra extremidade sofreu restrições tanto de translação como de rotação nas direções X, Y e Z.

As simulações foram realizadas considerando-se carregamento distribuído, numa faixa de 0 a 15600 N, ao longo da extremidade de uma das placas.

As dimensões do modelo foram baseadas em trabalhos anteriores (figura 4) que validaram seus modelos através de ensaios experimentais de tração ([1] e [2]). Para se obter um modelo mais próximo do real a junta sobreposta foi modelada com elementos sólidos (figura 5). O rebite foi representado através de dois modelos diferentes. O primeiro, simplificado, um cilindro representa seu corpo, já que é esta região que transmite os esforços de tração de uma chapa para outra (figura 6). E, o segundo, representa sua geometria obtida após o processo de rebiteagem. (figura 7)

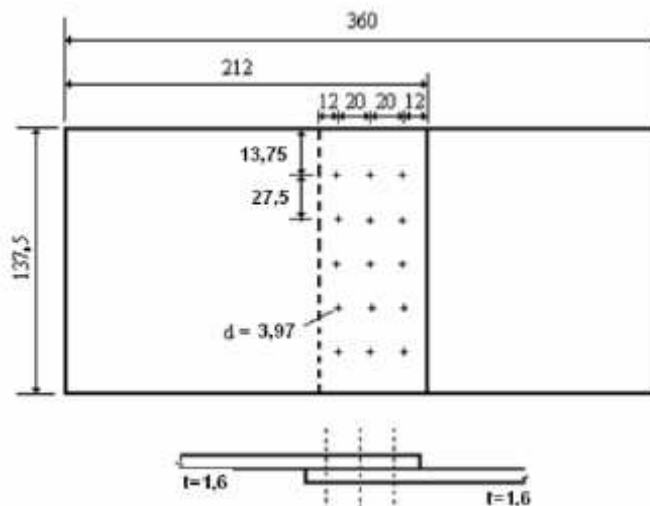


Figura 4: Dimensões do modelo de uma junta sobreposta em milímetros.

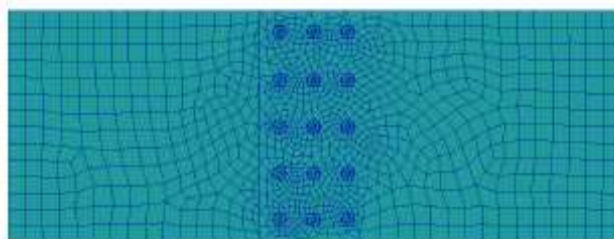


Figura 5: Modelo completo de uma junta sobreposta



Figura 6: Modelo Simplificado do Rebite



Figura 7: Modelo do Rebite após o Processo de Rebitagem

A fim de reduzir esforço computacional foi proposto analisar apenas 1/5 do modelo (figura 8).

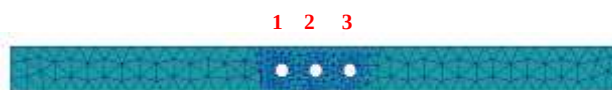


Figura 8: Modelo reduzido da junta sobreposta sem prendedores

Na figura 8, os número 1,2 e 3 correspondem a localização dos extensômetros unidirecionais utilizados nos ensaios experimentais de Spinelli [1] e Xavier [3].

3. Resultados

As figuras 9 e 10 mostram os resultados da simulação. Na tabela 1 são apresentados os valores obtidos para as deformações nos pontos correspondentes a localização de cada extensômetro dos ensaios experimentais que serviram de base de comparação.

Tabela 1 – Tabela comparativa das deformações na junta ($\times 10^{-6}$ m/m)

	Spinelli [1]		Xavier [3]		Modelo Sólido	
	Experimental	Numérico	Experimental	Numérico	Modelo 1	Modelo 2
Extensômetro 1	447	551	440	257	290	308
Extensômetro 2	553	650	549	545	522	534
Extensômetro 3	632	669	635	630	607	618

Da tabela verifica-se que os valores encontrados para o modelo sólido numérico são próximos dos valores experimentais, tornando assim os resultados satisfatórios.

Mesmo considerando o modelo como válido, uma análise mais detalhada das hipóteses assumidas é essencial para um futuro refinamento do modelo.

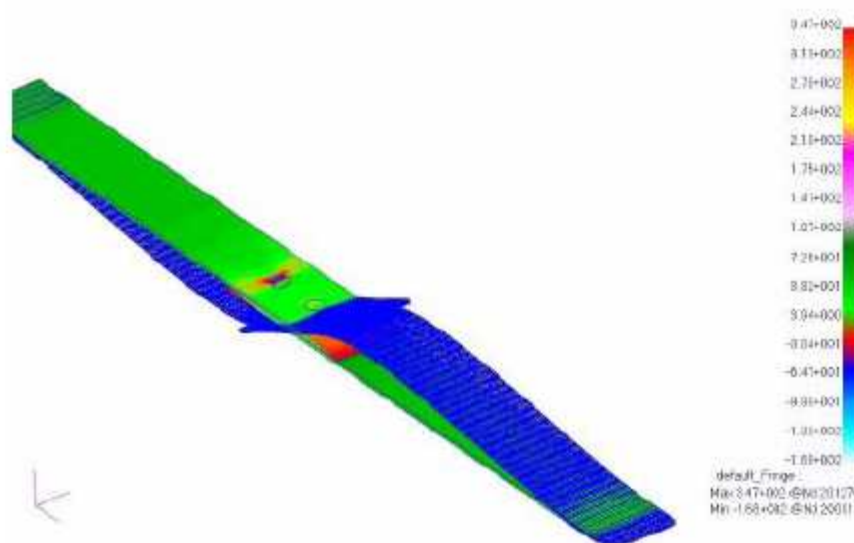


Figura 9: Deformações no modelo reduzido

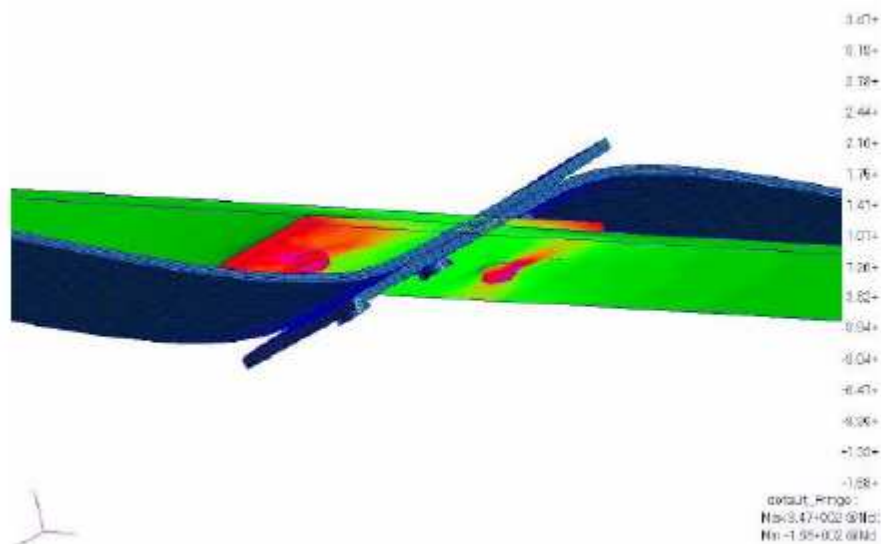


Figura 10: Vista inferior das deformações

Os resultados para os modelos sólidos criados são satisfatórios quando comparados com os outros dois trabalhos. Os valores encontrados para a região onde se encontram os extensômetros 2 e 3 são bem próximos, no entanto algumas simplificações adotadas e não implementadas ao modelo poderiam apresentar uma melhoria nos valores das deformações obtidas caso fossem implementadas.

Os efeitos estruturais causados pelo processo de rebiteagem, assim como a furação das chapas não foram considerados no modelo. No processo de rebiteagem podem ocorrer desalinhamentos e rotações que influenciam muito a flexibilidade do rebite. Durante a instalação do rebite ocorrem deformação plástica nos furos das chapas e no rebite. O corte e furação das chapas provocam o encruamento das bordas. Todos estes fenômenos citados são de difícil modelagem matemática e não foram considerados no modelo.

Outro aspecto a ser levado em consideração é o modelo simplificado do rebite. Mesmo sendo o corpo do rebite a região a transmitir os esforços, as outras partes constituintes do rebite também estão em contato com as chapas e podem influenciar no resultado. Já no segundo modelo, leva-se em consideração a alteração geométrica causado pelo processo de rebiteagem, mas não alterações estruturais como deformações plásticas.

Softwares de elementos finitos são uma ferramenta de enorme ajuda no estudo de modelos de engenharia. No entanto, seu uso requer um grande esforço computacional. Por isso, torna-se necessário um estudo prévio das principais características do modelo a ser simulado, pois a adição de certos elementos ao modelo pode acarretar num aumento significativo do tempo de processamento do software sem grandes melhorias no resultado quando comparados com modelos mais simples.

Em simulações com modelos mais complexos este tempo de processamento pode aumentar exponencialmente dependendo do número de elementos e do refinamento da malha. Se possível, deve-se realizar simplificações no modelo em estudo.

4. Referências

- [1] Spinelli, H.A., 2004. *Análise estrutural de juntas rebitadas de uso aeronáutica*, 170f. Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica); – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Paulista, Guaratinguetá.
- [2] Swift, T., 1971. *Development of the Fail-Safe Design Feature of the DC-10 – Damage Tolerance in Aircraft Structures*, ASTM STP 486, American Society for Testing and Materials.
- [3] Xavier, A. C. B., 2006. *Considerações para a Análise de Juntas Aeronáuticas Unidas Mecanicamente*, 150. Tese de mestrado; – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

AIRCRAFT JOINT MODELING

Juliano Govedice Resende

juliano_resende_82@yahoo.com.br

Abstract: Riveted joints are present on great number on aerospace structures. This paper presents the modeling of a typical aeronautic riveted joint with finite elements. A solid model of a lap joint with fifteen rivets distributed in three rows has been built with a commercial finite element software. The main goal of the simulation was to reproduce the actual behavior of the joint when subjected to tension stress. Results have been compared to previous numerical and experimental results of the literature, so that the present model could be validated. Finally, the results are discussed and some future improvements to the model are proposed.

Keywords: *lap joint, rivet, finite element, modeling.*