

# Integridade de juntas coladas em estruturas aeronáuticas.

Ricardo Mota Gottschalk e Paulo Sollero

[ricardomg@fem.unicamp.br](mailto:ricardomg@fem.unicamp.br) e [sollero@fem.unicamp.br](mailto:sollero@fem.unicamp.br)

Departamento de Mecânica Computacional  
Faculdade de Engenharia Mecânica  
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP  
Campinas, SP, Brasil



## Resumo

O número de pesquisas, tanto em universidades como em empresas, sobre adesivos cresceu consideravelmente nos últimos anos fazendo com que se torne uma maneira muito atrativa de junção de materiais. Dos estudos realizados, muitos benefícios foram obtidos quando se comparam os adesivos com os métodos tradicionais de união, tais como parafusos, solda ou rebites, que são interessantes especialmente para a indústria aeronáutica. As características observadas nas pesquisas realizadas indicam que as juntas coladas apresentam, em relação às juntas convencionais: menor peso, maior absorção de impacto e vibrações, melhor distribuição de tensões na região da colagem, prolongada vida útil, melhor vedação e melhor acabamento. Este projeto tem como objetivo analisar o comportamento de juntas coladas em estruturas aeronáuticas, comparando a semelhança entre os estudos feitos em conjunto com mestrados e doutorandos, no desenvolvimento de métodos analíticos e numéricos, com os resultados experimentais obtidos a partir de corpos de prova para a validação da teoria a fim de aumentar o conhecimento existente sobre o assunto.

Palavras-chave: Juntas coladas – Aeronáutica - Estruturas

## 1. Introdução

Na realização do projeto de uma estrutura, principalmente metálica, é necessário que os responsáveis se atentem para vários fatores, dentre eles as ligações entre os elementos que a formam. Tal atenção deve ser dada, pois nestes pontos existem concentrações de tensões sendo assim uma região propícia a ocorrência de falha.

Em composições complexas tais como na indústria aeronáutica é inevitável a utilização de juntas parafusadas, rebetadas ou coladas na união dos componentes. Uma alternativa para esta indústria são a junta colada, as quais são uniões entre dois ou mais elementos, realizados por meio de um filme adesivo. Tal método de união apresenta certas vantagens sobre as outras duas citadas, tais como: melhor acabamento, melhor vedação, eficiente transferência de tensões, maior absorção de impacto e vibrações, prolongada vida útil, além do fator mais importante para a aeronáutica, redução de peso.

Para que a aplicabilidade deste método de ligação fosse viável, diversos estudos e teorias foram desenvolvidos, atualizados e melhorados, de tal forma que foram desenvolvidos vários métodos analíticos que serão comparados com resultados de análises de falha através de experimentos.

## 2. Métodos

Este projeto tem como objetivo analisar experimentalmente a integridade de juntas coladas juntamente com alunos de mestrado e doutorado, sendo que para tanto, o programa foi definido em duas etapas..

1. Estudo dos procedimentos de operação da máquina de testes e realização de testes experimentais para aprimoramento da técnica de ensaio. A máquina utilizada é a MTS 647.10A, indicada na Figura 01 abaixo.
2. Realização dos experimentos com os corpos de prova para obtenção de resultados e análise dos resultados em conjunto com a equipe.



Figura 01: Máquina MTS 647.10A utilizada na oficina.

A segunda parte do projeto teve como objetivo a execução dos experimentos, que consistiram em testes monoaxiais de tração utilizando a norma *standard* ASTM D1002, que utiliza a geometria de *Single Lap Joint* (SLJ). Os parâmetros da norma e a geometria estão indicados a seguir.

Propriedade	Valor
Teste <i>Standard</i>	ASTM D1002
Velocidade do teste	1.30 mm/min
Condição do teste	RTA – Room Temperature Ambient
Condição do laboratório	C / 62% R.H.
Número de espécimes	10

Tabela 01: Parâmetros do ensaio segundo a norma ASTM D1002.

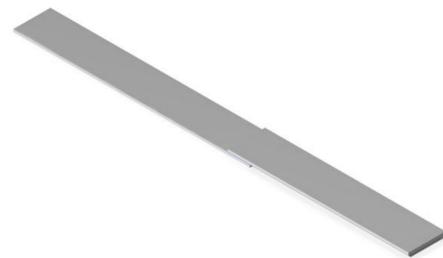


Figura 02: Geometria do corpo de prova de *Single Lap Joint*.

O teste segundo a norma ASTM D1002 consiste num carregamento axial de dez corpos de prova, separadamente, que é controlado pelo deslocamento, isso significa que uma taxa de de deslocamento é imposto ao pistão que prende a SLJ.

## 3. Resultados e Discussões

Através dos ensaios, foi possível obter diversas características importantes para a caracterização do ensaio, dentre elas: Carregamento do corpo de prova em função do deslocamento realizado pelo pistão, que está indicado na Figura 03 abaixo; e além disso foi possível avaliar também a carga de falha e a tensão aparente na SLJ.

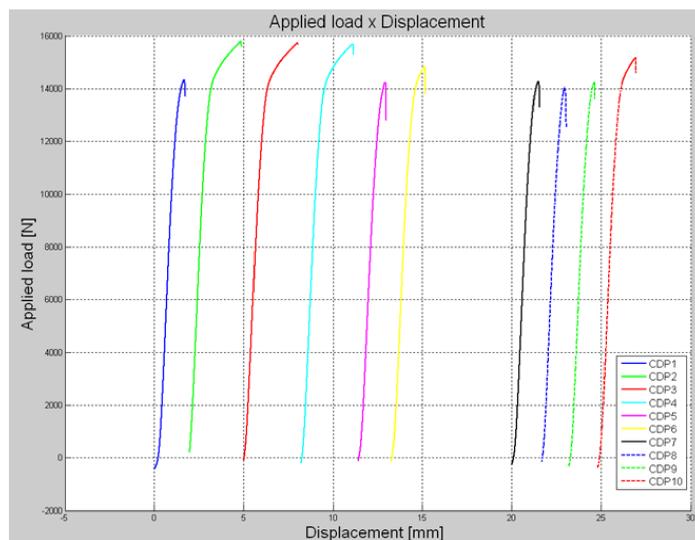


Figura 03: Curvas de força aplicada pelo deslocamento dos corpos de prova.

A partir da análise dos gráficos acima, pudemos observar que todos possuem comportamento similar, já que utilizam a mesma cola na junção. Além disso, os CDPs 2, 3, 4 e 10 falharam com escoamento pronunciado do adesivo em relação aos outros. Foi possível observar que a região colada desse conjunto apresentavam um fenômeno chamado de *Spew Fillet* ou *Squeeze-out*, que não altera a distribuição de tensões, mas elimina a singularidade no canto da junta, atuando como aliviador de tensões (Adams e Peppiatt, 1974; Adams e Harris, 1987; Groth, 1988; Kairouz e Matthews, 1993).

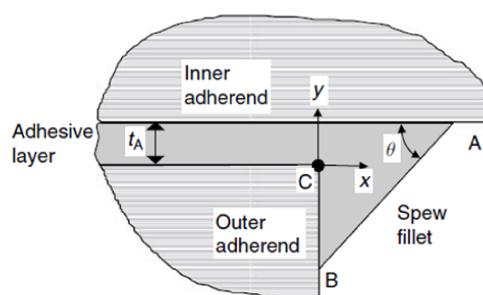


Figura 04: Esquema do *Spew Fillet*.



Figura 05: Figura nos CDPs 1 e 4 respectivamente

Como pudemos observar o *squeeze-out* no CDP 1 não atuou como aliviador de tensões, porém no CDP4 atuou como deveria.

Os resultados experimentais foram comparados com os resultados obtidos em laboratório pelo mestrando René Quispe (Rodríguez, R., 2011) onde foram utilizadas as características do adesivo AF163-2K.045WT. O método utilizado é o Critério do Máximo Valor, que caracterizasse quando a junta atinge um valor crítico de deslocamento ou tensão, com a utilização do modelo de Goland and Reissner (1944). Comparando-se os valores obtidos nos experimentos com os valores teóricos obtidos pelo mestrando, podemos verificar que a carga de falha média de ambos os materiais se aproximam já que a carga de falha média da literatura é de 11.283,5 N. Tal valor é mais próximo de 14.242 N, cerca de 80% do maior valor, o que corrobora a diferença entre os materiais.



Figura 06: CDP após o ensaio.

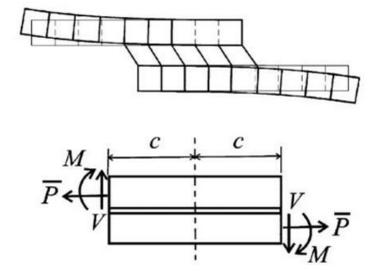


Figura 07: Modelo de Goland & Reissner.

Durante os testes, foi verificado um fenômeno interessante que ocorre na região da junta colada, uma rotação dos aderentes, estudada por Goland & Reissner (1944). Tal efeito ocorre pois a aplicação da carga numa SLJ ocorre de tal forma que existe uma excentricidade entre as placas., gerando um momento no corpo, que é responsável pela rotação.

## 4. Conclusão

Os ensaios foram realizados segundo a norma *standard* ASTM D1002, com a obtenção dos dados de força e deslocamento relativo do CDP. Estes dados foram importantes pois a partir deles pudemos determinar a tensão aparente média aplicada a cada um dos corpos e a carga máxima de falha. Foi obtida uma curva de força aplicada em função do deslocamento de cada um.

De tais gráficos pudemos observar que todas as curvas possuem a mesma forma, porém ocorreu uma certa variação na forma final próxima à região de falha de quatro corpos de prova. Este fato pode ser explicado pela presença do *Spew Fillet* ou *Squeeze Out*, que aprenseta uma pronunciação do escoamento perto da falha.

Além das tensões aplicadas ao corpo de prova, foi verificado um fenômeno de rotação na região da junta colada na *Single Lap Joint*, que ocorre devido a uma excentricidade na aplicação das forças.

## 5. Bibliografia

- ASTM D1002, "Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal)"
- Goland, M., Reissner, E., 1944. The stresses in cemented joints. Journal of Applied Mechanics 11, A17{A27.
- Hart-Smith, L., 1973a. Adhesive-bonded double-lap joints. Tech. rep., NASA.
- Rodríguez, R., 2011. Análise de Tensões e Critérios de Falha para Juntas de Estruturas Aeronáuticas Metálicas Coladas. MSc. Thesis, UNICAMP.