

# CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE JUNTAS SOBREPOSTAS DE ALUMÍNIO UNIDAS ATRAVÉS DE ADESIVO ESTRUTURAL ACRÍLICO: UM ESTUDO PRELIMINAR

<sup>1</sup>Pedro de Andrade Bamberg, [pedro.bamberg@fbest.org.br](mailto:pedro.bamberg@fbest.org.br)

<sup>1</sup>Rodrigo Santiago Coelho, [rodrigo.coelho@fieb.org.br](mailto:rodrigo.coelho@fieb.org.br)

<sup>2</sup>Josiane Dantas Viana, [josianedantas@fieb.org.br](mailto:josianedantas@fieb.org.br)

<sup>1</sup>SENAI/CIMATEC, Instituto SENAI de Inovação em Conformação e União de Materiais, Av. Orlando Gomes, 1845 - Piatã, 41650-010, Salvador-BA, Brasil.

<sup>2</sup>SENAI/CIMATEC, Faculdade de Tecnologia SENAI/CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845 - Piatã, 41650-010, Salvador-BA, Brasil.

**Resumo:** O contínuo interesse na redução do peso de estruturas e produtos industriais tem elencado constantes discussões sobre o uso de novos materiais de baixo peso em juntas e estruturas mecânicas de materiais dissimilares. Em veículos automotores, por exemplo, a redução de peso impacta diretamente na redução do consumo de combustível e de emissões de poluentes. A utilização de ligas de alumínio nestes sistemas é uma alternativa ao aço carbono, uma vez que conseguem manter algumas das propriedades mecânicas requeridas e reduzir o peso total do veículo, devido a sua densidade significativamente menor (cerca de 65% inferior). No entanto, a união de ligas de alumínio em estruturas veiculares através dos processos convencionais de soldagem é complexa devido à baixa solubilidade do Ferro no Alumínio por solução sólida. Deste modo, a utilização de adesivos estruturais se apresenta como alternativa versátil, confiável e de custo eficiente, quando comparado com outros processos de união de materiais, trazendo alguns benefícios estruturais e de processo.

Este trabalho teve o objetivo de caracterizar mecanicamente juntas compostas por chapas da liga de alumínio AA3105 H26, de baixa espessura, unidas através da aplicação de um adesivo estrutural de acrílico. Os ensaios das juntas foram realizados conforme a norma ASTM D1002, que determina as condições de ensaios de tração de chapas finas, sobreposta e unidas por adesivos estruturais, com o objetivo de avaliar a resistência ao cisalhamento. Os resultados dos ensaios mecânicos mostraram que, a depender da configuração adotada e do comprimento de sobreposição, os adesivos podem possuir resistência mecânica superior às dos substratos, tornando-se o elo forte da junta.

**Palavras-chave:** Adhesive Bonding, Aluminium Alloy, Lap Shear Joints, Thin Sheets, Lightweight Structures.

## 1. INTRODUÇÃO

A constante busca por redução de peso e custo de estruturas têm motivado segmentos industriais como aeroespacial, automotivo, naval, de máquinas-ferramenta, embalagens e eletrodomésticos a adotarem adesivos estruturais como um método de união alternativo a diversos tipos de soldagem convencionais. Isto se deve a utilização de materiais mais leves e resistentes como alternativa ao aço laminado. Dentre estes, encontram-se materiais como ligas de alumínio, magnésio e titânio, e compósitos poliméricos como a fibra de carbono. Alguns destes conseguem atingir resistência mecânica compatível com a do aço carbono, ou superior, possibilitando relevantes oportunidades de redução de peso. No caso da indústria automotiva, por exemplo, as carrocerias são responsáveis por contribuírem com cerca de 25% do peso total de um carro, conforme analisam Carle e Blount (1999). Além disto, o alumínio é um metal que pode ser praticamente 100% reciclável, *The Aluminum Association* (2014).

As juntas sobrepostas são as mais encontradas na união de chapas metálicas das indústrias automotiva e aeronáutica, sendo a solda a ponto por resistência (RSW) a técnica mais utilizada na primeira, segundo Bartczak, Mucha e Trzepieciński (2013). É sabido, entretanto, que as ligas e compósitos citados são de difícil soldabilidade ou de união impossível através dos métodos convencionais de soldagem, como os processos a arco e a própria solda a ponto por resistência. Neste cenário, a união por adesivos vem sendo utilizada há poucos anos de maneira estrutural em diversos segmentos industriais, segundo Grant, Adams e Da Silva (2009). Estes se aplicam a diversos tipos de materiais, pois se baseiam nas forças de adesão, além de promover uma distribuição de tensão muito mais linear do que a solda a ponto e os métodos de união mecânica, como rebites e parafusos. Isso se deve ao fato de, para uma mesma junta, a área de união ser superior à da união mecânica e distribuída de maneira mais uniforme, minimizando concentrações de tensão, Her (2000). Além disto, os adesivos estruturais são conhecidos por possuir resistência ao cisalhamento bastante elevada, Chang, Shi e Lu (2001). Por sua vez, esta propriedade resultará em alta resistência a tração na junta sobreposta, por conta do formato da junta e do tipo principal de sollicitação mecânica ao qual este tipo de junta é submetida.

Com base no que foi apresentado, este trabalho tem o objetivo de obter maior conhecimento na aplicação de adesivos estruturais em chapas de alumínio e analisar as suas propriedades mecânicas. Deste modo, serão caracterizadas juntas sobrepostas simples (conhecida como SLJ – do inglês, *Single Lap Joints*), que é o tipo mais conhecido e utilizado

na união de chapas, compostas por chapas de alumínio unidas por adesivos estruturais. Isto será feito através da manufatura de corpos de prova e ensaios de tração, que é o principal tipo de sollicitação ao qual este tipo de junta é submetido.

## 2. ETAPA EXPERIMENTAL

### 2.1. Materiais

Os materiais utilizados neste trabalho foram selecionados com base nas aplicações estruturais difundidas nas indústrias automotiva e aeronáutica. Como substrato, foi utilizada a liga de alumínio AA 3105 H26 com 0,7mm de espessura. Esta liga tem o Manganês (Mn) como principal elemento de liga e possui resistência mecânica moderada, dentre as famílias do alumínio, podendo ser elevada por meio de trabalho mecânico de encruamento. A liga AA 3105 está inserida em diversas aplicações em segmentos como os de utensílios domésticos, trocadores de calor, placas de trânsito e latas de bebidas. O tratamento H26, presente no sufixo da liga, indica que o material foi deformado plasticamente (reduzido em cerca de 60% da sua secção transversal) e parcialmente recozido. As suas propriedades mecânicas podem ser observadas na Tab. (1).

**Tabela 1 - Fonte: Datasheet CBA/Votorantim**

AA 3105	Propriedades Mecânicas
Densidade	2,72 g/cm <sup>3</sup>
Dureza	62,3 HB
Limite de Escoamento	183 MPa
Limite de Ruptura	198,8 MPa
Módulo de Elasticidade	68,9 GPa
Elongação na Ruptura	5%

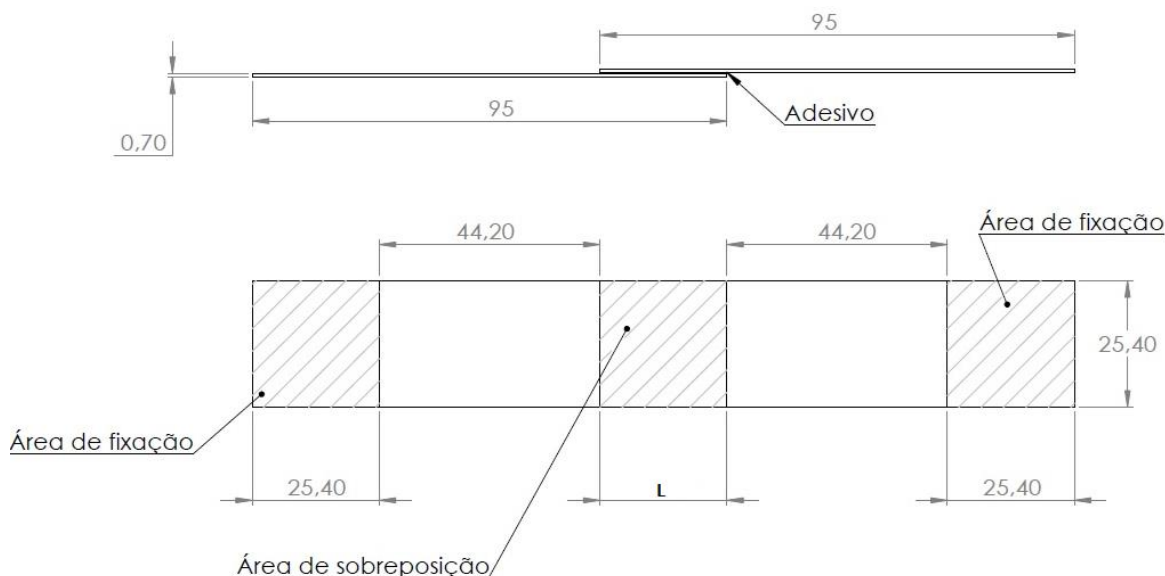
Como método de união, foi selecionado o adesivo estrutural DP-8810, da 3M, que é um acrílico bi componente, normalmente aplicado na união de chapas de aço, por possuir alta resistência ao cisalhamento e fácil controle da espessura da camada adesiva (através de microesferas presentes na sua composição), conforme ressalta Dillard, (2010). Os acrílicos representam a maioria dos adesivos estruturais utilizados no mercado e são bastante versáteis, uma vez que possuem diversas modalidades de cura e aplicações *The Adhesives and Sealants Council* (2012). As propriedades mecânicas do adesivo utilizado no experimento podem ser observadas na Tab. (2).

**Tabela 2 - Fonte: Datasheet 3M do Brasil**

3M DP 8810 (1:2)	Parte A (Base)	Parte B (Acelerador)
Viscosidade	90000 cP	35000 cP
Densidade	1,08 g/cm <sup>3</sup>	1,08 g/cm <sup>3</sup>
Resistência ao Cisalhamento (Al)	23,4 MPa	
Resistência ao Cisalhamento (Aço)	22,1 MPa	

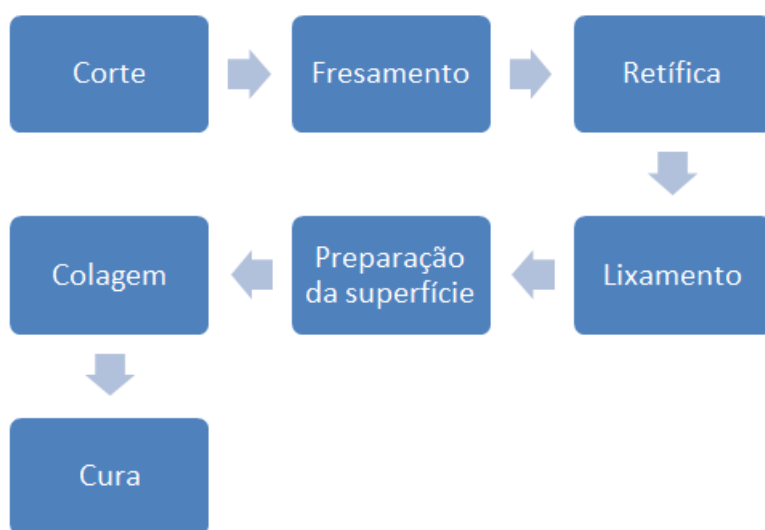
### 2.2. Preparação dos Corpos de Prova

As amostras utilizadas neste trabalho foram juntas sobrepostas simples, compostas por duas chapas de 95 mm x 25,4 mm x 0,7 mm (Comprimento x Largura x Espessura) unidas pelo adesivo estrutural, além de áreas de 25,4 mm x 25,4 mm em cada extremidade reservadas para a fixação dos corpos de prova nas garras da máquina de tração. Estas foram fabricadas de acordo com as dimensões apresentadas na Fig. (1). O comprimento de sobreposição do corpo de prova (*overlap length*, do inglês) é representado pela variável L na mesma figura. Neste trabalho, foi utilizado um comprimento de 25,4mm, como um ponto de partida do estudo para que nos próximos trabalhos este seja reduzido até o comprimento mínimo necessário em que a junta entregue resistência mecânica compatível com a do substrato.



**Figura 1 - Dimensões do corpo de prova**

Para a fabricação dos corpos de prova, conforme a norma ASTM D1002, foram identificados alguns processos de fabricação necessários para a extração das chapas, ajuste dimensional e demais parâmetros. Os passos para a fabricação dos corpos de prova podem ser observados na Fig. (2).



**Figura 2 - Processo de fabricação dos corpos de prova**

### 2.3. Ensaios Mecânicos

O ensaio de tração foi realizado em uma máquina de tração modelo EMIC 2000, com célula de carga de 20 kN. A taxa de deformação utilizada foi de 1,3 mm/min, conforme determina a norma ASTM D1002. A norma recomenda que uma carga de 80 a 100 kg/cm<sup>2</sup> seja aplicada continuamente até que o corpo de prova falhe. O ensaio de tração foi realizado após 48 horas de cura do adesivo e posteriormente acondicionado em temperatura de 23°C por 24h.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Devido à baixa espessura das chapas de alumínio utilizadas nos experimentos e, por isso, alta sensibilidade do metal base às deformações e defeitos estruturais, uma atenção especial foi dada aos prováveis impactos do processo de manufatura dos corpos de prova nas propriedades mecânicas das juntas. A presença de trincas e outros concentradores de tensão nas arestas dos substratos podem ter reduzido significativamente a resistência à tração das juntas. Deste modo, percebeu-se que o corte realizado em tesoura de bancada causa deformações relevantes nos corpos de prova. Além

deste, o lixamento manual, apesar de conferir um bom acabamento às arestas das chapas, sendo eficiente na remoção de irregularidades e trincas, como pode ser visto na Fig. (3), não permite controle dimensional preciso.



**Figura 3 - Corpos de prova prontos**

O comprimento de sobreposição é uma das variáveis mais importantes desse tipo de junta e deve ser calculado a partir da Eq. (1). Na referida equação, L determina o comprimento máximo de sobreposição, que é calculado de acordo com a tensão de escoamento do material utilizado como substrato, representada pela variável  $F_{ty}$ , sua espessura, representada pela variável  $t$ , e também pela resistência ao cisalhamento do adesivo, representada pela variável  $\tau$ , conforme explica Da Silva et al., (2009). Esta variável deve ter seu tamanho máximo calculado para evitar que o limite de escoamento dos substratos seja ultrapassado durante o ensaio de tração.

$$L = F_{ty} * \left(\frac{t}{\tau}\right) \quad (1)$$

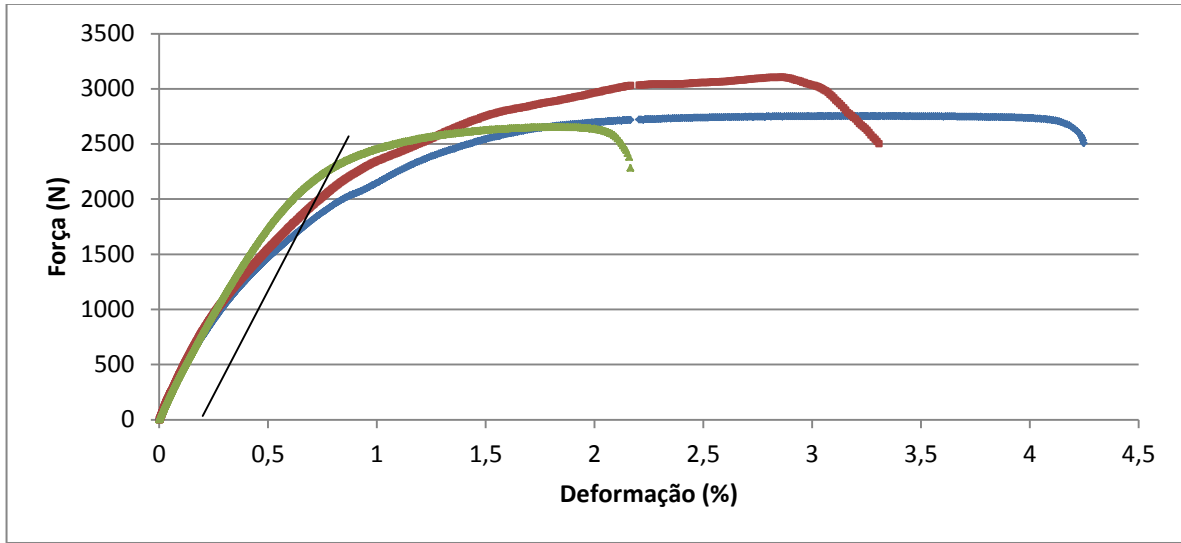
Para os substratos de 0,7 mm utilizados neste estudo, o comprimento máximo calculado da sobreposição foi de  $L = 11$  mm. Este comprimento deverá ser adotado nos próximos experimentos para se comparar a resistência a tração das juntas com os resultados encontrados utilizando o comprimento de 25,4 mm. A Tab. (3) apresenta os resultados dos ensaios de tração quanto ao Limite de Resistência à Tração (LRT). Como comparação, calcula-se, através da Eq. 2, que as cargas necessárias para que o material utilizado como substrato chegue ao seu limite de escoamento e limite de resistência a tração são de 3253,74 N e 3534,66 N, respectivamente. Na referida equação, 'F' representa a carga e 'A' a área sobre a qual a tensão é aplicada.

$$\sigma = F/A \quad (2)$$

**Tabela 3 - Limite de Resistência à Tração Resultante**

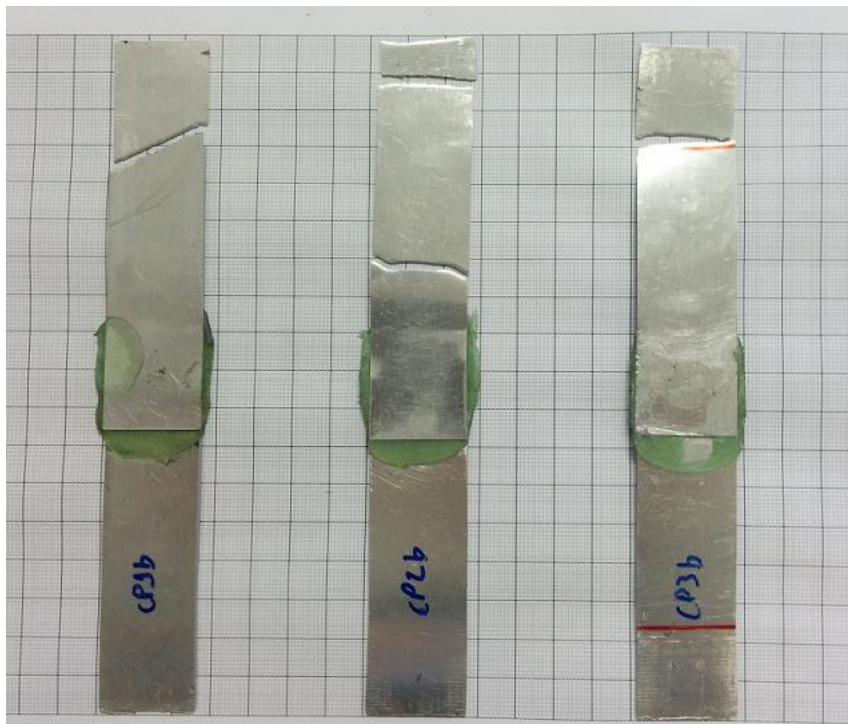
Amostras Estudadas	Carga de Ruptura máxima (N)	Deformação (%)
CP1	2751,4	4,25
CP2	3105,1	3,32
CP3	2653,4	2,10
<b>Média com desvio padrão</b>	<b>2836,63 ± 237,61</b>	<b>3,22 ± 1,08</b>

A Fig. (4) apresenta o comportamento mecânico dos corpos de prova utilizados nos ensaios de tração deste trabalho. Em todos os corpos de prova testados, foi observado que a falha ocorreu no substrato e não na região de sobreposição.



**Figura 4 - Curva Força x Deformação para as amostras estudadas**

O gráfico ilustra o comportamento mecânico obtido para as amostras estudadas. A média calculada do Limite de Resistência à Tração (LRT) encontrada nos ensaios foi de  $2836,63 \pm 237,61$  N, enquanto que a deformação específica média foi de  $3,22 \pm 1,08$  %. Foi observada a semelhança quanto ao comportamento elasto-plástico dos corpos de prova e suas regiões de escoamento. As diferenças nos valores de deformação máxima obtidos podem estar relacionadas às imperfeições causadas nos substratos durante o processo de fabricação dos corpos de prova (trincas, deformações e propagadores de tensão), extração destes do molde e posicionamento nas garras de fixação da máquina de tração.



**Figura 5 - Corpos de prova fraturados**

Como pode ser visto na Fig. (5), o local de fratura de todos os corpos de prova foi na região do substrato e não na região de sobreposição, devendo-se ao comprimento de sobreposição excessivo. Para que a falha da junta fosse localizada na região de sobreposição, deve-se utilizar o comprimento calculado pela Eq. (1). Esta é a condição ideal para as juntas



coladas, segundo Pocius (2012). Desta maneira procura-se otimizar a quantidade de adesivo estrutural utilizada, mantendo a resistência à tração da junta compatível com o limite de escoamento do material utilizado como substrato e suas dimensões. Em trabalhos futuros, pretende-se realizar novos experimentos com corpos de prova de diferentes comprimentos de sobreposição. Além disso, é programado caracterizar, através do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), as microestruturas encontradas nas regiões de fratura, bem como investigar a efetividade do processo de cura através do método de tomografia, conforme recomendado por Di Bella et al. (2013).

#### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho, ainda que preliminar, obteve conhecimentos práticos quanto a preparação de amostras para a realização do ensaio de tração de juntas unidas por adesivos estruturais. Os resultados obtidos nos ensaios permitiram observar que, apesar das dificuldades encontradas para a eliminação de concentradores de tensão e controle dimensional, a cura do adesivo foi suficiente para fazer com que o comprimento de sobreposição utilizado, por ser excessivo, levasse os corpos de prova a falharem no substrato e não na região de sobreposição. Além disto, a variabilidade apresentada nos resultados do limite de resistência à tração e da deformação máxima, provavelmente podem ser minimizados com uma preparação de amostras mais criteriosa. Deste modo, é possível identificar a necessidade de um processo mais sistematizado de controle das variáveis durante a manufatura dos corpos de prova, como comprimento de sobreposição, espessura da camada adesiva e alinhamento dos substratos. A utilização de um molde poderia possibilitar melhor controle sobre estas variáveis e estabelecer condições semelhantes de fabricação dos corpos de prova, reduzindo a variabilidade identificada nestes experimentos. Por fim, este trabalho abre espaço para futuras investigações das relações entre as variáveis das amostras (diferentes comprimentos de sobreposição, por exemplo) e as propriedades mecânicas das juntas sobrepostas unidas por adesivos estruturais.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Deixamos registrados os nossos sinceros agradecimentos às seguintes instituições, empresas e pessoas, sem as quais o presente trabalho seria inviabilizado:

- À 3M do Brasil, agradecemos a doação dos adesivos estruturais e suporte técnico disponibilizado;
- A CBA/Votorantim, agradecemos a doação das chapas de alumínio e incentivo à pesquisa do tópico;
- Ao SENAI/CIMATEC, agradecemos a disponibilização da estrutura e dos recursos humanos e físicos;
- Ao Sr. Everton Silva, técnico do laboratório de ensaios destrutivos do SENAI/CIMATEC, agradecemos o apoio técnico e operacional.

#### 6. REFERÊNCIAS

- THE ADHESIVE AND SEALANT COUNCIL, “Adhesives and sealants overview”, disponível em <<http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview>>, acesso em 15 de dezembro de 2014.
- BARTCZAK, B., MUCHA, J. and TRZEPIECIŃSKI, T., 2013, “Stress distribution in adhesively-bonded joints and the loading capacity of hybrid joints of car body steels for the automotive industry”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol. 45, pp. 42-52.
- CARLE, D. and BLOUNT, G., 1999, “The suitability of aluminum as an alternative material for car bodies”, *Materials & Design*, Vol. 20, No. 5, pp. 267-272.
- CHANG, B., SHI, Y. and LU, L., 2001, “Studies on the stress distribution and fatigue behavior of weld-bonded lap shear joints”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 108, No. 3, pp. 307-313.
- DA SILVA, L. F. M., CARBAS, R.J.C., CRITCHLOW, G.W., FIGUEIREDO, M.A.V. and BROWN, K., 2009, “Effect of material, geometry, surface treatment and environment on the shear strength of single lap joints”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol. 29, No. 6, pp. 621-632.
- DI BELLA, G., GALTIERI, G., POLLICINO, E. and BORSELLINO, C., 2013, “Mechanical characterization of adhesive joints with dissimilar substrates for marine applications”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol. 41, pp. 33-40.
- DILLARD, D., 2010, “Advances in Structural Adhesive Bonding”, 1<sup>st</sup> ed., Woodhead Publishing, 656 p.
- GRANT, L. D. R., ADAMS, R. D. and DA SILVA, L. F. M., 2009, “Experimental and numerical analysis of single-lap joints for the automotive industry”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol. 29, No. 4, pp. 405-413.
- HER, S., 1999, “Stress analysis of adhesively-bonded lap joints”, *Composite Structures*, Vol. 47, pp. 673-678.
- POCIUS, A. V., 2012, “Adhesion and Adhesives Technology - An Introduction”, 3<sup>rd</sup> ed., Hanser Publishers, Munich, Germany, 370 p.
- THE ALUMINUM ASSOCIATION, “The aluminum advantage”, disponível em <<http://www.aluminum.org/aluminum-advantage>>, acesso em 26 de novembro de 2014.

## **MECHANICAL CHARACTERIZATION OF SINGLE LAP JOINTS JOINED THROUGH ACRYLIC STRUCTURAL ADHESIVE: A PRELIMINARY STUDY**

**Abstract:** *The continuous interest in lowering the weight of structures and industrial products has led to a constant discussion on the use of alternative light-weight materials into a hybrid material system. In transportation systems, for example, the weight reduction results directly in reduction of fuel consumption and also of carbon emissions. The usage of Al alloy in hybrid systems is an interesting alternative to mild-steel, since it can keep some mechanical properties and also reduce the total vehicle weight, due to its much lower density, around 65% of reduction. However, the introduction of Al alloy parts into a steel car body is not straightforward (low solubility of Fe in Al solid solution) and requires the development of reliable and cost efficient joining methods. Considering this, the usage of structural adhesives shows up as a versatile, reliable and cost efficient alternative, bringing some process and structural advantages when compared to conventional materials joining methods.*

*This work aimed the mechanical characterization of bonded joints of AA3105 H26 aluminum thin sheets joined by acrylic adhesive. The mechanical tests of the joints were performed according ASTM D1002 standard, which states the conditions for tensile tests of thin sheets single lap metallic bonded joints, with the objective of evaluate its shear strength. The mechanical tests results shown that, depending of the joints set up and the overlap length, the adhesives may have higher strength than the base metal, becoming the stronger part of the joint.*

**Keywords:** *Adhesive Bonding, Aluminium Alloy, Lap Shear Joints, Thin Sheets, Lightweight Structures.*