

**ENGENHARIAS**

## Influência da preparação de superfície em união metálica de sobreposição simples por meio de adesivo acrílico.

*Influence of the surface preparation on metal bonding in a single lap joint using acrylic adhesive.*

Rafael Koppe<sup>1</sup>; Charles Leonardo Israel<sup>2</sup>; Daniel Daniel Gasparin<sup>3</sup>

**RESUMO**

Este trabalho apresenta um estudo sobre o comportamento mecânico de juntas adesivadas de sobreposição simples por meio de ensaio de tração. As juntas foram confeccionadas com substratos de alumínio e adesivo acrílico, sendo os substratos submetidos a três condições de tratamento de superfície, sendo elas: sem tratamento, superfície polida com esponja de aço e superfície lixada, com cinco repetições para cada.

Os dados foram tratados por meio de uma análise de variância e comparação múltipla entre médias através do teste de Tukey. Por meio deste estudo foi possível concluir que, na condição de carregamento estático, todos os tratamentos diferiram-se entre si, sendo a condição que apresentou melhor desempenho, as que foram tratadas pelo processo de lixamento.

**Palavras-chave:** uniões adesivadas, adesivo estrutural, união de materiais

**ABSTRACT**

*This paper presents a study of the mechanical behavior of single lap joints bonded with acrylic adhesive through tensile test. Joints were made with aluminum substrates and acrylic adhesive, the substrate surface were subjected to three conditions, they were, untreated, polished with steel wool and sandpapered.*

*The data were treated by analysis of variance and multiple comparisons of means by Tukey's test. Through this study it was concluded that, in the static loading condition, all treatments were different among themselves, the condition that presented the best performance were treated by the sanding process.*

**Key-words:** aluminium and alloys, single lap - shear, surface roughness/morphology, adhesive, shear adhesion strength

**DOI** <http://dx.doi.org/10.15536/thema.13.2016.103-112.255>

<sup>1</sup>IFSUL - Passo Fundo; <sup>2</sup>UPF - Universidade de Passo Fundo; <sup>3</sup>UPF - Universidade de Passo Fundo

## 1. INTRODUÇÃO

A busca por produtos mais leves e com preços competitivos tem levado engenheiros a usar o máximo do potencial das propriedades mecânicas de cada material, a exemplo, apresentamos a baixa densidade das ligas de alumínio e a boa relação peso versus resistência dos compósitos poliméricos (RIBEIRO, 2008). Unir esses materiais entre si ou com outros de forma barata, eficiente, rápida e segura tem sido um desafio para a indústria.

Entre as configurações de uniões adesivadas, a união de sobreposição simples é a mais estudada pela comunidade científica, sendo bastante investigada pelo fato de que em muitas aplicações as juntas adesivadas estejam em condições de sobreposição (FERREIRA, et al., 2010). Segundo Ferreira, et al. (2010) os principais fatores que influenciam a resistência mecânica de juntas adesivadas de sobreposição simples são, os fatores geométrico, dos quais podemos destacar o comprimento e a largura de sobreposição e a espessura da camada de adesivo, fatores térmicos, e as condições de superfície como: a rugosidade e presença de camadas oxidadas ou contaminantes que podem se desprender quando a junta adesivada for solicitada mecanicamente.

Para reduzir a influência de impurezas junto à superfície, processos de preparação, também denominados de tratamento de superfície, são realizados, provocando um acréscimo considerável na resistência mecânica de juntas adesivadas, entre os quais podemos destacar o tratamento mecânico por meio de abrasivos (SILVA, 2007).

Prolongo (2009) realizou um minucioso estudo a respeito da união de duas ligas de alumínio (A 1050 e A 2024) com adesivos estruturais epóxis e constatou que a variação da resistência mecânica de uma junta de um mesmo material com mesmo tipo de adesivo, pode aumentar em até duas vezes, quando as condições de superfície são modificadas.

Um dos métodos mais usados para caracterizar juntas de sobreposição simples é o ensaio de tração. Em muitas aplicações de adesivos, os substratos a serem unidos estão em condições de sobreposição, justificando sua frequente investigação (FERREIRA et al., 2010). Outro fator relevante é o fato de ser um método simples, barato e pode ser realizado em máquinas de ensaio de tração universal.

O ensaio de tração de juntas adesivadas é regulamentado pelas normas ASTM D1002-99 que sugere um corpo de prova conforme o desenho da Figura 1, e que a velocidade de tracionamento seja de 1,3mm/min.

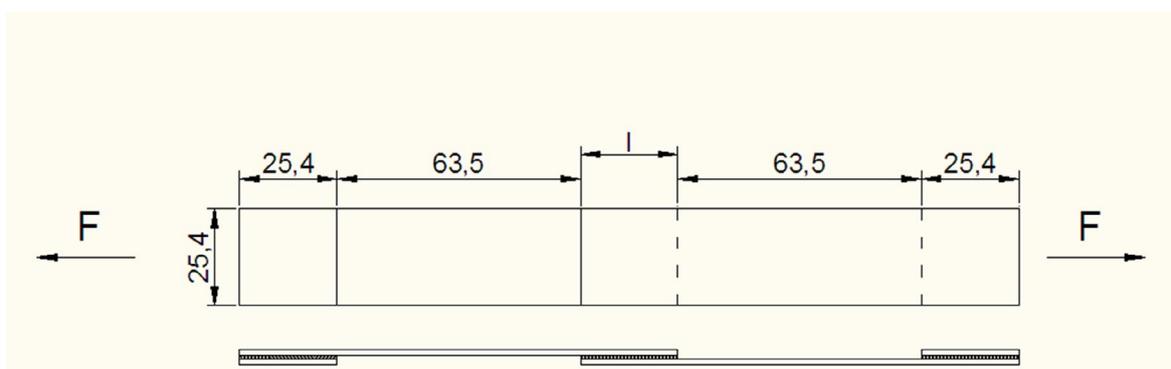


Figura 1. Geometria do corpo de prova para ensaio de tração de junta adesivada de sobreposição simples conforme ASTM D 1002-01.

O ensaio consiste na aplicação de forças de tração longitudinais nas extremidades do corpo de prova (ver Figura 1). Nessas extremidades, são colados calços com o intuito de atenuar o desalinhamento gerado pela geometria deste. Segundo Petrie (2007) o ensaio em junta de sobreposição simples pode ser utilizado em estudos comparativos entre adesivos, desde que haja uma uniformização dos outros parâmetros que podem influenciar na resistência da junta. O resultado é expresso pela tensão média de cisalhamento  $\tau$  à qual é definida como:

$$\tau = \frac{F}{L.B} \quad (1)$$

Onde F é a força máxima aplicada, L é comprimento de sobreposição B é a largura da união adesivada. Segundo norma ASTM D1002-01, o relatório descritivo dos ensaios deve conter no mínimo as seguintes informações: a espessura do substrato utilizado ( $E_s$ ), a espessura da camada adesiva ( $E_a$ ), o comprimento de sobreposição (L) e o tipo de fratura. Os tipos de fraturas estão representados na Figura 2, sendo eles classificados como: adesiva (A) - quando a fratura ocorre na interface entre substrato-adesivo, coesiva do substrato (Cs) - quando a ruptura ocorre no interior do substrato, fratura coesiva no adesivo (Ca) - quando temos ruptura interna do adesivo, ou mista (M).

Segundo Silva et al. (2007), é consensual que a tensão média de corte  $\tau$  não permite determinar nenhuma propriedade intrínseca do adesivo ou da própria junta.

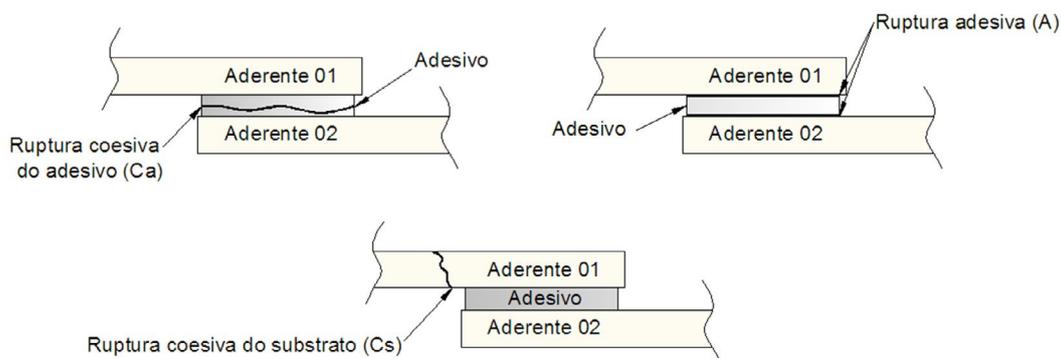


Figura 2. Representação esquemática dos modos de ruptura em juntas coladas de sobreposição.

Fonte: Esteves, (2010).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O adesivo empregado no experimento foi do tipo acrílico, cura a frio, modelo Lord Maxlock T18, fabricado pela Lord Corporation, sendo este composto de duas partes (bi-componete). De acordo com dados do fabricante, esse é um adesivo resistente a solventes, graxas, óleos, umidade, maresia e intempéries, fornece boa resistência à exposição à radiação UV e a temperatura, apresentando boa performance no intervalo de temperatura de -40°C até 149°C.

O adesivo possui em sua composição, esferas de vidro com 0,25mm de diâmetro, o que garante um controle preciso da espessura da camada de adesivo durante o processo de colagem. Não escorre, podendo ser aplicado em qualquer direção mesmo em superfícies inferiores, aumento a flexibilidade de uso.

A liga de alumínio selecionada foi a A 5052-0 fabricada pela Votorantim Metais, com espessura de 2mm. A composição química da liga está descrita na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do substrato de alumínio.

Elemento	Cu	Si+Fe	Mn	Mg	Zn	Cr	Al
Percentua	0,10	0,45	0,10	2,2/2,8	0,10	0,15/0,35	Balanço

Fonte: Votorantim Metais, 2014.

Para determinação das propriedades mecânicas dos substratos foi realizado ensaio de tração de acordo com a norma ASTM E 8M – 04, ensaios estes realizados no laboratório de ensaios mecânicos da Universidade de Passo Fundo em um equipamento universal de ensaio de tração, Marca: Schenck, Modelo UPM 200 com capacidade de 200kN, sendo a média das tensões de escoamento de cinco ensaios de 151 Mpa e a média das tensões máxima 157 MPa.

Os corpos de prova foram seccionados de acordo com a norma ASTM D1002-01 divergindo da norma apenas na largura da junta, sendo a adotada a de 28,4mm e não 25,4mm conforme sugere a norma, o comprimento de sobreposição L adotado foi de 25,4mm. Posteriormente os corpos de prova foram separados em três grupos, com cinco repetições em cada grupo, sendo cada grupo submetido a tratamentos superficiais distintos.

No primeiro grupo os substratos forma mantidos com as características originais e esse grupo foi denominado OR. No segundo a superfície foi polida com esponja de aço e esse grupo recebeu a denominação PO. No terceiro, a superfície foi lixada com papel abrasivo de granulometria 80 e denominado LX.

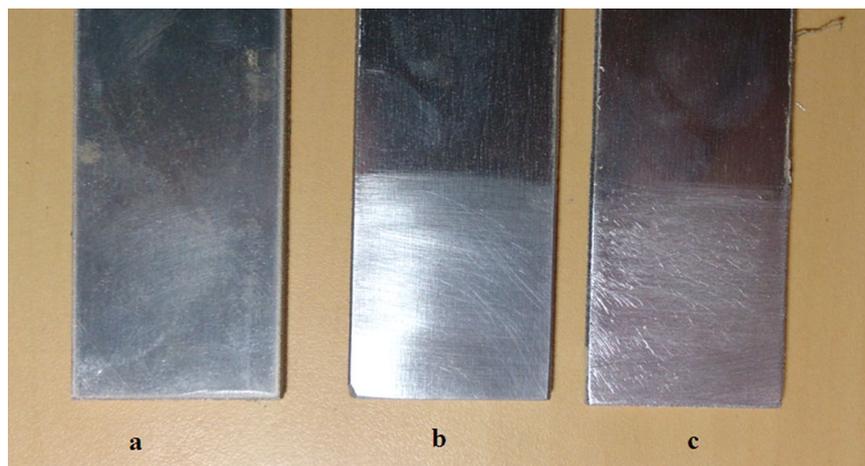


Figura 3. Representação esquemática dos modos de ruptura em juntas coladas de sobreposição.

Fonte: Autor

Para avaliar as alterações provocadas pelos processos de abrasão foram realizadas medições da rugosidade em todos os corpos de prova, com o rugosímetro Marca Time / Modelo TR 200. A limpeza de todos estes corpos foi feita com uma estopa de algodão umedecida com acetona, com o intuito de remover possíveis impurezas junto à superfície.

A montagem foi conseguida com auxílio de um dispositivo desenvolvido para este fim, os corpos de prova foram fixados a ele, para evitar que se movimentassem durante o processo de aplicação do adesivo, conforme disposto na Figura 4.

Após o adesivo ser aplicado nas duas superfícies, foram inseridos calços no dispositivo com o intuito de controlar a espessura da camada de adesivo e o comprimento de sobreposição de 25,4mm

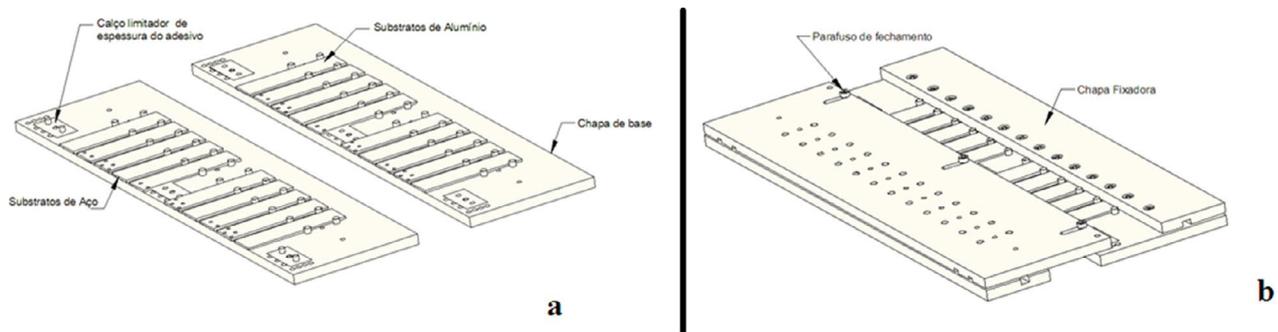


Figura 4. Dispositivo para confecção de juntas adesivadas de sobreposição simples fichado.

Fonte: Autor

Posteriormente ao término do processo de colagem foi aguardado o tempo de uma hora para remover os corpos de prova do dispositivo (*handling time*) e submetê-los a inspeção dimensional. A avaliação permitiu verificar a largura na região de sobreposição, o comprimento da região sobreposta e espessura da junta, sendo que para as duas primeiras medidas foi adotada uma tolerância simétrica de 0,4mm e para a medida da espessura, o afastamento adotado foi de 0,1mm para mais ou para menos.

Casos as peças não apresentassem todas as suas medidas dentro dos intervalos especificados seriam descartadas. No entanto todos os corpos de prova apresentaram dimensões dentro do campo de tolerância e nenhuma amostra foi descartada.

Para o próximo passo, ensaio de tração, aguardou-se um período de setenta e duas horas.

Realizados junto ao laboratório de ensaios mecânicos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense campus Passo Fundo, em uma Máquina Universal de Ensaio, eletromecânica e microprocessada Marca EMIC / Modelo DL3000.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A média e o desvio padrão das rugosidades medidas estão dispostas na Tabela 2 em que se torna possível observar uma acentuada diferença entre as rugosidades dos diferentes tratamentos.

Tabela 2. Estatística da rugosidade dos corpos de prova submetidos ao ensaio de fadiga.

Cód.	n	Média ( $\mu\text{m}$ )	Desvio Padrão ( $\mu\text{m}$ )	Min. ( $\mu\text{m}$ )	Máx. ( $\mu\text{m}$ )
OR	10	0,267	0,03	0,229	0,309
PO	10	0,135	0,028	-0,105	-0,203
LX	10	2,145	0,376	1,547	2,526

n= número de peças, OR= superfície sem tratamento, PO= Superfície polida com esponja de aço, LX= superfície lixada.

Fonte: Autor

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de tração realizados com os corpos de prova em todas as condições de superfície.

Tabela 3. Tensão média de cisalhamento e tipo de falha nos corpos de prova submetidos a ensaio de tração.

Tratamento								
OR			PO			LX		
Cód.	$\tau$ (MPa)	Falha	Cód.	$\tau$ (MPa)	Falha	Cód	$\tau$ (MPa)	Falha
OR-01	6,73	M (A+Ca)	PO-01	7,98	M (A+Ca)	LX -01	8,35	Ca
OR-02	6,95	M (A+Ca)	PO-02	8,23	M (A+Ca)	LX -02	9,35	Ca
OR-03	7,16	M (A+Ca)	PO-03	8,36	M (A+Ca)	LX -03	8,98	Ca
OR-04	6,77	M (A+Ca)	PO-04	7,55	M (A+Ca)	LX -04	8,56	Ca
OR-05	6,79	M (A+Ca)	PO-05	7,99	M (A+Ca)	LX -05	8,54	Ca
Média	6,88			8,02			8,75	
Desvio	0,17			0,3			0,4	

Largura da junta = 28,4 mm, comprimento de sobreposição = 25,4 mm,  $\tau$  = tensão média de cisalhamento, Falha : Ca = coesiva do adesivo, Cs = Coesiva do substrato. M= mista, A = adesiva, OR= superfície sem tratamento, PO= Superfície polida com esponja de aço, LX= superfície lixada.

A falha nos corpos de prova OR (original- sem tratamento) foi predominantemente do tipo mista, como podemos observa na Figura 5. Podemos observar que no corpo de prova OR-01 (OR= original, 01= código do corpo de prova) da Figura 5, em mais de 90% da área colada, a falha foi do tipo adesiva e no restante, foi coesiva do adesivo, ou seja, a falha ocorreu na interface entre adesivo e aderente e em áreas grande e concentradas.

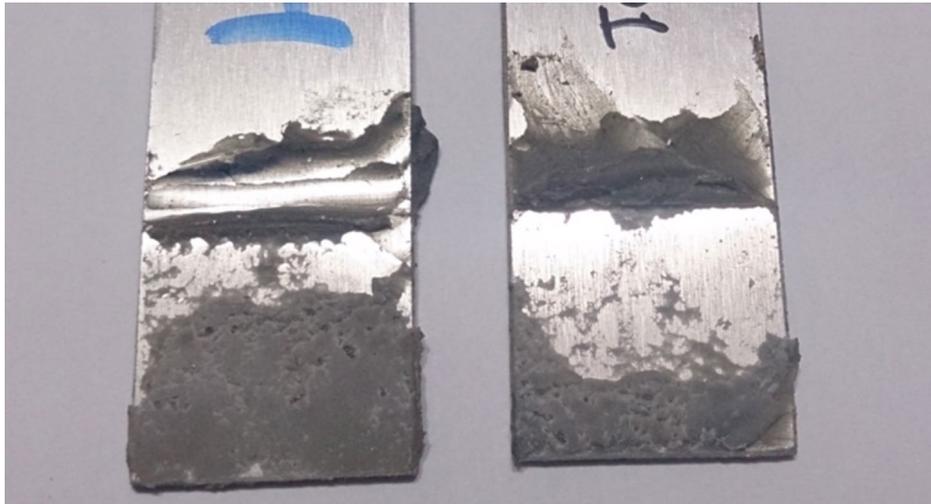


Figura 5. Corpo de prova OR-01 onde a falha foi do tipo mista entre adesiva e coesiva do adesivo, sendo a falha predominante a adesiva, concentrada em grandes áreas.

Fonte: Autor

Já nos corpos de prova cuja condição de superfície era a PO a falha também foi do tipo mista entre coesiva do adesivo e adesiva, mas diferiu-se do tratamento OR por apresentar a falha coesiva do adesivo como a predominante. Outra diferença perceptível foram as dimensões (ou geometrias) das áreas onde a falha foi do tipo adesiva, pois no tratamento OR ela se deu em grandes áreas concentradas e no tratamento PO ela ocorreu em pequenas áreas e bem distribuídas.

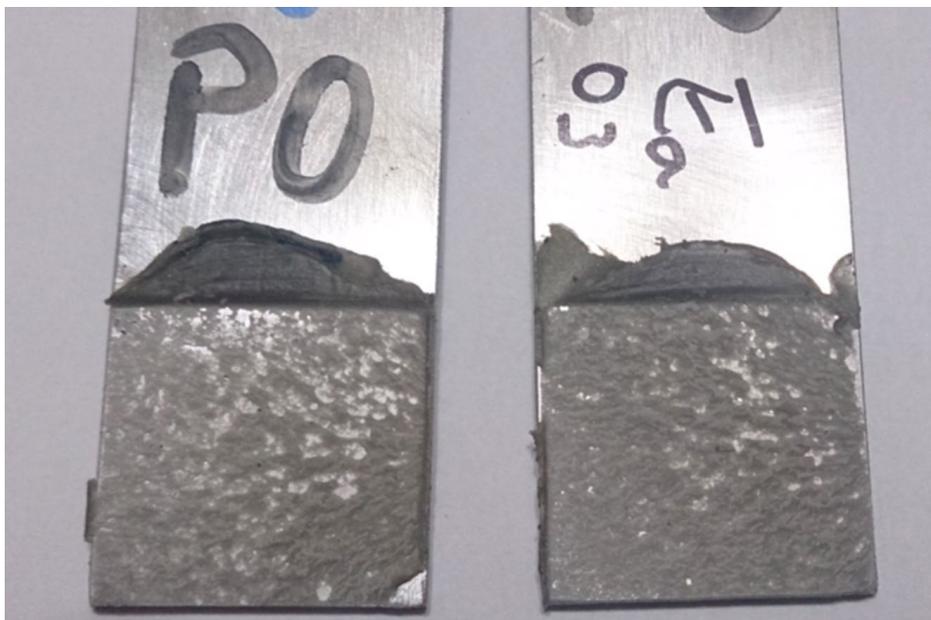


Figura 6. Corpo de prova PO-03 onde a falha foi do tipo mista, sendo a falha coesiva do adesivo predominando sobre a falha adesiva, sendo a última em pequenas áreas distribuídas.

Fonte: Autor



Figura 7. Corpo de prova LX-03 onde a falha foi do tipo coesiva do adesivo em todos os corpos de prova.

Fonte: Autor

O gráfico da Figura 8 apresenta as médias das rugosidades e das tensões médias de cisalhamento determinadas a partir dos ensaios de tração. Nele podemos observar um acréscimo na resistência da junta quando esta é submetida a um tratamento de superfície, sendo o tratamento LX o que apresentou maior resistência.

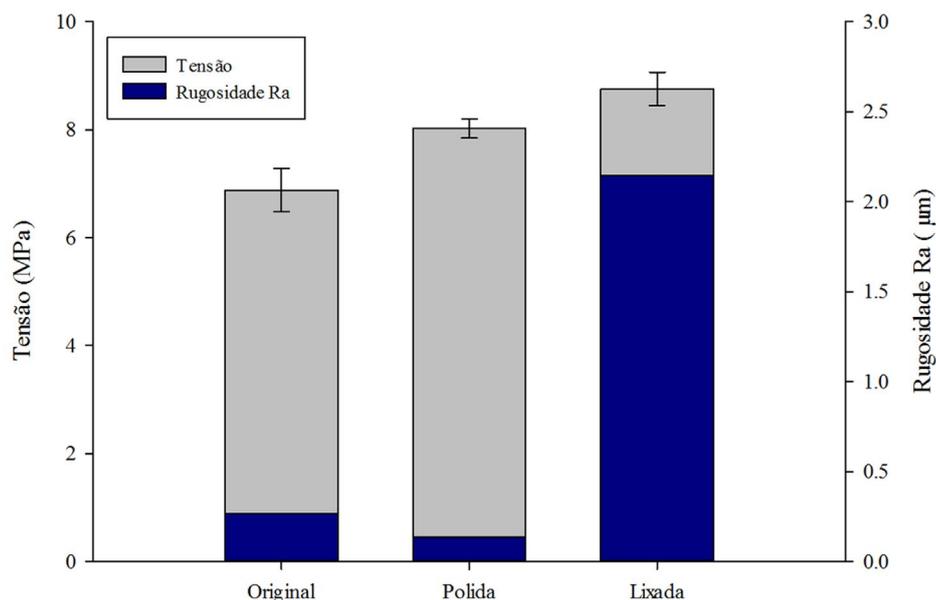


Figura 8. Corpo de prova LX-03 onde a falha foi do tipo coesiva do adesivo em todos os corpos de prova.

Deve-se salientar, ainda em relação a Figura 8, que a resistência mecânica de juntas adesivadas não é regida somente pela rugosidade, pois a condição que possuía a menor rugosidade não apresentou a menor resistência mecânica, ou seja a resistência da junta não está relacionada apenas a ancoragem mecânica mas sim a condição de superfície conforme descrito por Ferreira, et al. (2010).

Para avaliar se houve ou não diferenças significativas entre as médias das resistências ao cisalhamento entre os três tratamentos estudados, realizou-se uma análise estatística por meio de variância e comparação múltipla entre médias utilizando-se o teste de Tukey, ambos dispostos a seguir.

Tabela 4. Análise de variância comparação múltipla entre médias por meio do teste de Tukey

ANOVA: Tensão *versus* Condição de superfície.

Source	DF	SS	MS	F	P
Cond. Superf.	2	8,9372	4,4686	46,15	0,000
Erro	12	1,1620	0,0968		
Total	14	10,0992			

S = 0,3112 R-Sq = 88,49% R-Sq(adj) = 86,58%

Teste de Tukey

Cond.

Superf.	N	Média	Grupo
LX	5	8,7560	A
PO	5	8,0220	B
OR	5	6,8800	C

De acordo com o teste de Tukey, grupos que não compartilham a mesma letra pertencem a grupos diferentes, por consequência suas médias se diferem.

Fonte: Autor

Os grupos foram classificados em função da tensão média de cisalhamento, sendo o grupo A onde se encontra a condição de superfície LX, que apresentou a maior média, seguido pelo grupo B, onde está contida a média dos corpos de prova submetidos ao tratamento de superfície PO, por último o grupo C, que apresentou o pior desempenho, representando o tratamento que não recebeu nenhum tratamento de superfície, apenas limpeza com acetona.

#### 4. CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou o comportamento mecânico de juntas adesivadas de sobreposição simples, por meio de ensaio de tração. As amostras foram confeccionadas com substratos de alumínio e adesivo acrílico, sendo estas submetidas a diferentes condições de tratamento de superfície. O presente estudo nos permitiu concluir que:

- Juntas adesivadas com substratos de alumínio e adesivo acrílico que tiveram a superfície preparada pelo processo de lixamento apresentaram melhor desempenho quando submetidas a ensaio de tração;
- O tratamento que apresentou maior rugosidade (LX) apresentou o maior desempenho quando submetidas a ensaio de tração, mas o tratamento com menor rugosidade não foi o que apresentou pior desempenho;

- Polimento com esponja de aço apesar de reduzir a rugosidade aumenta a resistência mecânica de juntas adesivadas.
- O dispositivo desenvolvido para a confecção das amostras apresentou excelente desempenho, produzindo corpos de prova com desvios dimensionais dentro das especificações das normas utilizadas.
- A tensão média cisalhante, medida através dos ensaios de tração, apresentou pouca variabilidade, demonstrando uma excelente repetitividade e controle de parâmetros no processo de fabricação dos corpos de prova.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D 1002 - Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to- Metal). **Annual Book of ASTM Standards**, West Conshohocken, 1999.

ESTEVES, V. H. C. **Determinação da Tenacidade de um Adesivo em Solicitações de Modo Misto (I + II)**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010.

FERREIRA, N. M. A. J.; Silva, L. F. M. da; Richter-Trummer, V.; Marques, E. A. S. Effect of grooves on the strength of adhesively bonded joints. **International Journal of Adhesion & Adhesives**, n. 30, p. 735-746, 2010.

PETRIE, E. M. **Handbook of Adhesives & Sealants**. New York: McGraw-Hill, 2007.

PROLONGO, S.G.; UREN, A.. Effect of surface pre-treatment on the adhesive strength of epoxy-aluminium joints. **International Journal of Adhesion & Adhesives**, n. 29, p. 23-31, 2009.

RIBEIRO, A.S., Jesus, A.M.P.; Ferreira, A.J.M. Comportamento estático e à fadiga de juntas coladas com perfis pultrudidos. **Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões**, n.16, p. 81-87, 2008.

SILVA, L. F. M.; Magalhães, A. G. de; Moura, M. F. S. F. **Juntas Adesivadas Estruturais**. Porto: Publindústria, 2007.