

Adesivos Estruturais para Junção de Chapas Metálicas de Aço

Franco da Silveira (UFRGS) franco.da.silveira@hotmail.com

William Josias Hister (URI) william_hister@hotmail.com

Flávio Kieckow (URI) fkieckow@san.uri.br

Filipe Molinar Machado (URI) fmacmec@gmail.com

Marcela Avelina Bataghin Costa (IFSP) marcela.bataghin@ifsp.edu.br

Resumo:

A aplicação de adesivos estruturais como método de fixação já vem sendo desenvolvida há anos nos diversos segmentos da indústria. Entretanto, algumas variáveis importantes devem ser consideradas para a efetiva adesivação. Nesse contexto, o artigo objetiva desenvolver uma metodologia de colagem em chapas metálicas, que obtenha os melhores resultados possíveis, combinando uma boa preparação superficial das chapas com uma adequada espessura de camada do adesivo. Os corpos de prova foram obtidos mediante cortes de uma chapa de aço carbono comum. O adesivo utilizado foi do tipo acrílico, com resistência ao cisalhamento de 1 ton/pol². As espessuras de camada do adesivo foram de 0,5 mm, 1,0 mm e 1,5 mm. As preparações superficiais adotados foram com álcool e lixamento. Como resultados, foi possível constatar uma elevada resistência nas juntas com tratamentos superficiais, combinadas com menores espessuras da camada do adesivo. Paralelamente, as fraturas foram adesivas em juntas de baixa resistência e coesivas em juntas com resistência elevada. Por fim, a pesquisa contribuiu para a lacuna de informações existente sobre a importância da preparação superficial, tendo seus resultados maximizados quando há uma associação com baixas espessuras de camada.

Palavras chave: Adesivo Estrutural, Resistência ao Cisalhamento, Chapas Metálicas.

Structural Adhesives for Joining Steel Sheet Metal

Abstract

The application of structural adhesives as an attachment method has been developed for many years in the various segments of the industry. However, some important variables should be considered for effective adhesivation. In this context, the article aims to develop a bonding methodology in sheet metal, which obtains the best possible results by combining a good surface preparation of the sheets with a suitable layer thickness of the adhesive. The specimens were obtained by cutting a common carbon steel plate. The adhesive used was of the acrylic type, with shear strength of 1 ton / in². The layer thicknesses of the adhesive were 0.5 mm, 1.0 mm and 1.5 mm. The superficial preparations adopted were with alcohol and sanding. As results, it was possible to verify a high resistance in the joints with superficial treatments, combined with smaller thicknesses of the adhesive layer. At the same time, the fractures were adhesive in low strength joints and cohesive in joints with high resistance. Finally, the research contributed to the existing information gap on the importance of surface preparation, and its results are maximized when there is an association with low layer thicknesses.

Key-words: Structural Adhesive, Shear Strength, Sheet Metal.

1. Introdução

O alto nível de exigência nos diversos segmentos da indústria possibilita o desenvolvimento de novas tecnologias, resultando em uma maior qualidade, produtividade e redução de custos de produtos e serviços (CHUN, KIM, LEE, 2015). A utilização de adesivos estruturais segue essa tendência, pois o nível de desenvolvimento alcançado permite a aplicação dos adesivos em diversos segmentos. A colagem adesiva é atualmente empregada pelos fabricantes de automóveis para complementar (ou substituir) a soldagem na junção de materiais diferentes (ALFANO et al., 2018; BEBER et al., 2018).

A totalidade dos adesivos são compostos de polímeros sintéticos, como os uretanos, acrílicos e epóxis (ANGELIDI et al., 2017; IMANAKA et al., 2018). A maioria dos materiais são modificados com o intuito de melhorar a sua tenacidade. A escolha correta do adesivo a ser utilizado é uma tarefa complexa, em função da variedade de opções de produtos, que podem variar desde uma fita adesiva simples, até o processo de estruturas em ninhos de abelha (*honeycomb structures*), utilizadas em aeronaves (SILVA et al., 2007).

Foi na indústria aeronáutica que surgiram as primeiras aplicações de adesivos em juntas. Foi ela que permitiu desenvolver substancialmente as ligações adesivas e hoje sua aplicação em diferentes segmentos industriais é cada vez mais comum e diversificada. Um bom exemplo é a indústria automobilística (BEBER et al., 2018). A preocupação em reduzir o peso do automóvel, com o intuito de reduzir o consumo e ganhar em velocidade, originou a utilização de materiais leves, como o alumínio e os compósitos, reforçados com fibras. A união desses materiais é difícil, considerando os processos tradicionais. Nesse sentido, utilizam-se os adesivos como o método preferido de união (OCANÁ, ARENAS, NARBÓN, 2015).

Em geral, as uniões adesivadas oferecem inúmeras vantagens em comparação aos métodos tradicionais, como parafusos, rebites, soldas, entre outros (ALFANO et al., 2018; IMANAKA et al., 2018). Essas uniões não possuem concentradores de tensões, distribuindo mais uniformemente as tensões ao longo da área de ligação. Além disso, amortecem as vibrações, permitindo a absorção das tensões, melhorando a resistência à fadiga dos próprios componentes ligados. Podem, também, reduzir custos, pois os projetos têm tendência a serem mais rápidos, e consequentemente, mais econômicos. Para Banea et al. (2018) os principais benefícios são a flexibilidade de design e a junção de materiais diferentes e novos.

Para uma boa resistência das juntas adesivadas, o processo de união precisa considerar diversas variáveis que interferem no comportamento mecânico da junta, como o tipo de adesivo e suas propriedades, o tipo de junta, a preparação da superfície do substrato (material de base), a espessura do adesivo e a pressão e temperatura no processo de cura (ANGELIDI et al., 2017). A preparação da superfície dos aderentes (materiais a serem unidos pela superfície do adesivo) é o primeiro cuidado para obtenção de uma junta adesivada de qualidade com características controladas (BRINSON, 1990). A colagem dos adesivos é o tipo de método de junção que é fortemente dependente das propriedades da superfície do material. Uma única camada com a espessura de uma molécula de contaminante pode atrapalhar a molhabilidade ideal do adesivo na superfície do aderente, impedindo o preenchimento da junta e o contato íntimo entre os substratos que serão colados e o adesivo (MENDES, 2005).

Ao mesmo tempo, a espessura do filme adesivo deve ser uniforme e sem porosidade na região da colagem. A espessura ideal habitualmente utilizada está entre 0,50 mm (milímetros) e 1,50 mm. Os métodos de controle não devem introduzir ou promover a formação de vazios (SILVA et al., 2007). Considerando que a correta aplicação dos adesivos depende de todos esses fatores, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver o processo de união com adesivo industrial em juntas metálicas de aço. O material, assim como das propriedades da junta quanto à

resistência ao cisalhamento, suas dimensões e propriedades, o tipo de adesivo e a junta a ser colada serão mantidos constantes. As variáveis de estudo tratam-se das preparações da superfície e da espessura de camada de adesivo na junta. Isso possibilitará criar uma metodologia para o uso de adesivos em aplicações industriais, com resistência compatível às especificações técnicas do fabricante.

O artigo está estruturado em cinco diferentes seções, além desta introdução do tema. Na seção 2 é apresentado o referencial teórico que trata da teoria da adesão e suas respectivas características. Na seção 3 é apresentada a metodologia de trabalho e os passos necessários na adoção de materiais utilizados para o ensaio, no desenvolvido e no planejamento experimental das condições selecionadas nos testes. Na seção 4 apresenta-se os resultados e a comparação entre todas as variáveis em estudo. Por fim, na seção 5 são expostas as conclusões alcançadas com o desenvolvimento do trabalho e propostas para pesquisas futuras.

2. Referencial teórico

2.1 Teoria da adesão

Historicamente, posturas mecânicas, difusão, adsorção e reação superficial e teorias eletrostáticas têm sido postuladas para descrever os mecanismos de adesão. Mais recentemente, outras teorias foram propostas para o mecanismo de colagem (EBNESAJJAD, 2014). Ao projetar uma junta adesiva, o engenheiro estrutural supõe que exista uma adesão perfeita entre o substrato e o adesivo. Porém, os fenômenos envolvidos na adesão são complexos e necessitam de conhecimentos diversos (SILVA et al., 2007; ALFANO et al., 2018).

A resistência de uma junta colada é atribuída a duas principais forças: coesivas e adesivas. Ambas se relacionam às ligações químicas primárias (iônica, covalente e metálica) e/ou ligações secundárias (*Van der Waals* e Ligação de Hidrogênio), possuindo diferentes energias (PETRIE, 2007). As energias de ligação estão dispostas na Tabela 1.

Tipo de Ligação	Energia da Ligação (kJ.mol ⁻¹)	Comprimento da Ligação (nm)
<i>Primária, químicas</i>		
Iônica	600-1000	0,2-0,4
Covalente	60-800	0,1-0,3
Metálica	100-350	0,2-0,6
<i>Ácido-base, interações</i>		
Brønsted	<1000	
Lewis	<80	
<i>Secundárias, físicas</i>		
Hidrogênio	~50	0,3
Van der Waals	-	-
- Interações dipolo	5-20	0,4
-London	1-40	<1

Tabela 1 - Energias das ligações químicas primárias e secundárias.

Fonte: (PACKHAM, 2005).

A força coesiva é tão importante quanta a força adesiva, pois ela está relacionada ao aderente, ou substrato, e é resultado das interações entre as moléculas ou íons adjacentes de um mesmo material e diz a respeito à sua força de coesão. Várias teorias foram propostas para tentar explicar o fenômeno da adesão, entretanto, não há uma teoria única que explique o fenômeno de uma forma completa e geral. A ligação de um adesivo a uma superfície é a soma de um conjunto de forças mecânicas, físicas e químicas que se sobrepõem e se influenciam. Em cima desse conjunto de forças, surgem quatro teorias gerais de adesão: mecânica, adsorção, difusão e eletrostática (SILVA et al., 2007).

2.2 Tipos de teoria da adesão

2.2.1 Teoria mecânica

O estudo da adesão mecânica iniciou-se na escala macrométrica, através de observações a diversos sistemas, como por exemplo: fios têxteis e elastômeros, constituintes dos pneus de automóveis; couro e adesivo, utilizados em sapatos; recobrimentos metálicos e ABS, onde é realizado um ataque ácido que degrada o elastômero disperso na fase contínua do polímero vítreo, resultando em uma superfície porosa; entre outros. No entanto, estudos que avaliam a adesão em menor escala, aproximando a escala atômica tem ganhado força (PACKHAM, 2005). Segundo essa teoria, é considerada uma boa adesão quando o adesivo penetra nos poros, fendas, cavidades, entre outras irregularidades da superfície do substrato, e mecanicamente fica “encravado”, como pode ser visto na Figura 1.

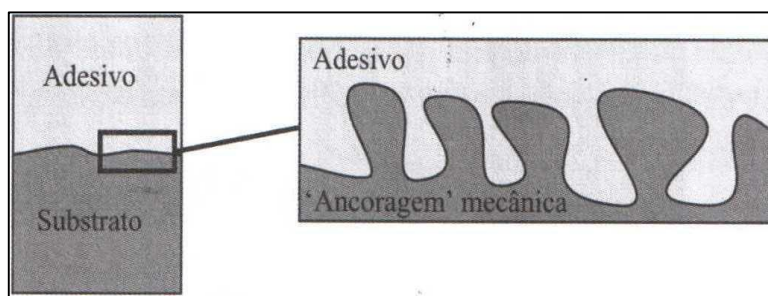


Figura 1 - Explicação esquemática da teoria de adesão mecânica.

Fonte: (SILVA, 2007).

O adesivo deve ter propriedades adequadas a fim de penetrar nos poros e aberturas em um tempo razoável, assim como molhar convenientemente o substrato. Porém, o encravamento não se aplica a todos os casos, pois também pode ocorrer uma boa adesão em superfícies lisas. Alguns métodos têm capacidade de melhorar a adesão, entre eles, os tratamentos superficiais. Eles proporcionam uma maior rugosidade, maior área de contato, melhor cinética de molhagem, entre outros benefícios.

2.2.2 Teoria da adsorção

A teoria da adsorção é a adesão entre moléculas do adesivo (o adsorvido) e o substrato (o adsorvente). Para que ocorra um contato íntimo entre as moléculas, alguns fatores devem ser considerados: energia de superfície, tensão superficial, adesão, coesão, espalhamento, entre outros. Essa teoria é dividida em dois tipos: adsorção física e adsorção química. A adsorção física ocorre quando ligações secundárias surgem na interface e é o mecanismo mais importante de adesão. Em adição às forças de *Van der Waals*, existem, conforme a composição química dos materiais, interações ácido-base e ligações de hidrogênio, geralmente consideradas como um tipo de interação ácido-base. A energia destas ligações, que possuem caráter físico, é determinada pela composição e grupos químicos do substrato e aderente. A adsorção química, ou quimiossorção, ocorre quando ligações primárias surgem na interface. Estas ligações possuem caráter químico e são extremamente fortes. O uso de agentes de ligação e promotores de adesão (*primers*) ajuda a fixar o aderente à superfície por reação química (COGNARD, 2006). Os esquemas da adsorção física e química são apresentados na Figura 2 e na Figura 3.

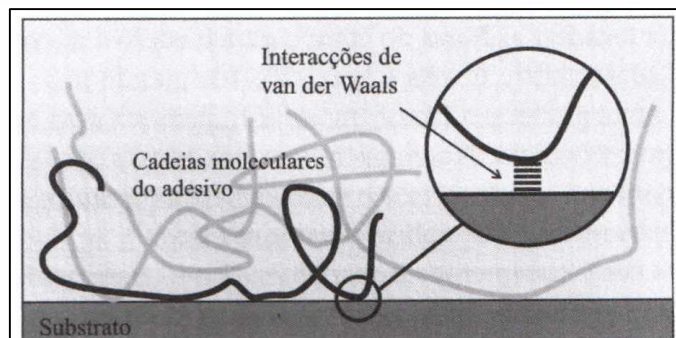


Figura 2 - Esquema da teoria da adesão por adsorção física.
Fonte: (SILVA, 2007).

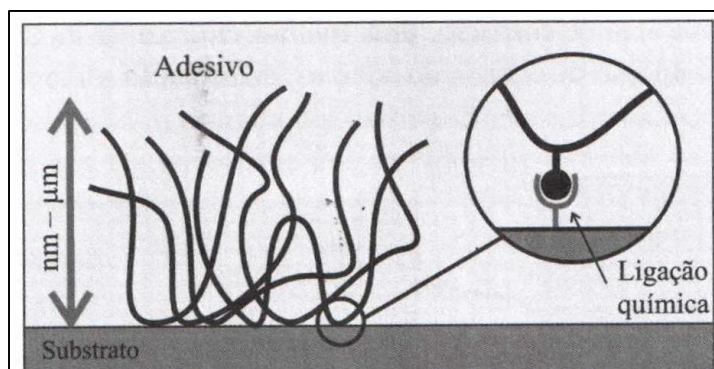


Figura 3 - Esquema da teoria da adesão por adsorção química.
Fonte: (SILVA, 2007).

2.2.3 Teoria da difusão

A teoria da difusão ocorre apenas em materiais poliméricos (COLMYN, 1997). Esses materiais possuem longas cadeias compatíveis quimicamente, miscíveis e capazes de se movimentar, conforme descrito na Figura 4.

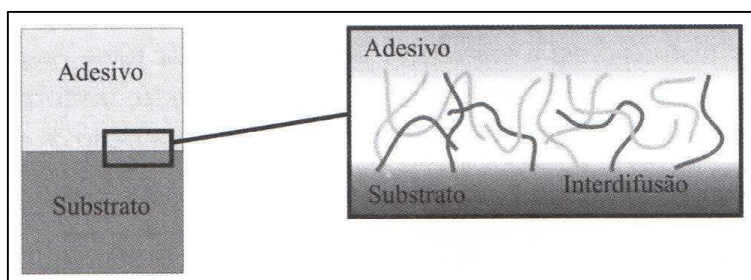


Figura 4 - Esquema da teoria da adesão por difusão.
Fonte: (SILVA, 2007).

O conceito da teoria da difusão é bastante simples. A extremidade de uma cadeia polimérica superficial difunde na estrutura da outra superfície formando uma ponte ou ligação através da interface. Quando a adesão de um material é com ele próprio é denominada de auto-adesão. Porém, se forem utilizados diferentes polímeros, a adesão é chamada de hétero-adesão (SILVA et al., 2007). Essa teoria não possui muitas aplicações, contudo, um exemplo é a solda por calor de termoplásticos. É importante ressaltar que a teoria da difusão não se aplica quando os materiais não são solúveis, quando o movimento da cadeia polimérica está restringido pela sua estrutura cristalina, ou quando os materiais estão abaixo de sua temperatura de transição vítrea (PACKHAM, 2005).

2.2.4 Teoria eletrostática

A teoria eletrostática foi proposta a partir de experimentos. Ela atribui a força de adesão à transferência de elétrons entre o substrato e o adesivo, que formam duas superfícies: uma carregada positivamente e outra negativamente, conforme Figura 5. Essa teoria só é aplicada quando a união ocorre entre um polímero e um metal. A análise do sistema pode ser comparada a análise de um capacitor: superfícies paralelas carregadas, que formam uma dupla camada de cargas na interface metal-polímero (PIZZI, 2003).

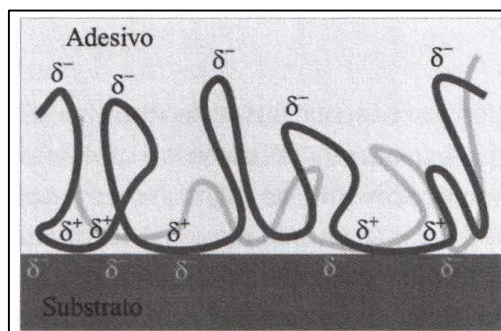


Figura 5 - Esquema da teoria da adesão eletrostática.

Fonte: (SILVA, 2007).

3. Procedimento metodológico

O material escolhido para a composição dos corpos de prova é o NBR-5915-2-13-EM, que se define como uma chapa de aço carbono comum, fina e sem qualquer tratamento ou liga. A escolha da mesma justifica-se pela grande aplicação industrial. Posteriormente, todos os corpos de prova serão cortados dessa mesma chapa, garantindo que os mesmos se mantenham constantes, com as mesmas características e propriedades.

O adesivo utilizado é produzido pela Lord. O tipo de adesivo é o acrílico Maxlok MX/T18 e o acelerador é o Maxlok MX. A proporção entre adesivo e acelerador é de 4 x 1. Dentre as suas principais características, destacam-se: versatilidade, resistência à temperatura, resistência a diversos ambientes, não escorrimento (garantindo a colagem em posições verticais), entre outras. Para a aplicação do adesivo, utiliza-se uma pistola de aplicação manual, demonstrada na Figura 6. De acordo com o fabricante, a resistência máxima ao cisalhamento é de 1 ton/pol². Como a área de colagem será de aproximadamente ½ pol², a força máxima da cola, para a área em análise, é de 500 kgf/pol² (ou 4900 N). O tempo de cura é de, pelo menos, 24 horas à temperatura ambiente.



Figura 6 - Pistola para aplicação manual do adesivo.

Fonte: Autores (2018).

Os ensaios foram realizados segundo a norma ASTM D1002, referente ao ensaio de cisalhamento em juntas coladas. Seguindo os parâmetros dessa norma, as seguintes dimensões dos corpos de prova foram definidas: i) as listas devem ser justificadas na direita e na esquerda, da mesma maneira que os trechos de corpo de texto, comprimento de cada um dos substratos - 100 mm; ii) largura -

25,4 mm; iii) espessura da chapa - 1,5 mm; iv) comprimento de sobreposição das chapas - 12,7 mm; v) comprimento total do corpo de prova - 187,3 mm.

A partir da definição dos materiais, define-se de que maneira será trabalhada a preparação superficial e a espessura de camada do adesivo. A preparação da superfície é uma das principais etapas que antecedem a colagem, e será um dos parâmetros que será avaliado no presente estudo. Haverá três variações das condições de preparação da superfície:

a) O primeiro teste será realizado sem nenhuma preparação superficial. O adesivo será misturado e posteriormente aplicado no substrato normalmente. Entretanto, esse substrato poderá conter óxidos, gorduras ou pós que possam impedir a correta molhabilidade do mesmo, tornando a junta colada mais suscetível à fratura.

b) Na segunda situação será usado o álcool isopropílico em um pano de limpeza e aplicado na parte da chapa que receberá o adesivo.

c) Na última e mais trabalhosa preparação, haverá uma aplicação de álcool, exatamente igual ao explicado no item anterior. Após a retirada de todas as impurezas, será feita uma abrasão mecânica através de um lixamento, gerando macro rugosidades, a fim de facilitar a molhabilidade do adesivo no substrato. Por fim, será feita uma nova aplicação de álcool, para garantir a retirada de qualquer resquício advindo da abrasão. Utilizou-se uma lixa de granulometria 60, sendo o lixamento feito em um sentido perpendicular à força de cisalhamento da junta, fazendo com que haja uma maior resistência ao cisalhamento.

A definição da espessura de camada do adesivo foi utilizada levando em consideração a espessura recomendada pelo fabricante, que é de 0,50 mm. Porém, outros dois valores foram arbitrados para verificar a influência dessa variação. Combinando 3 tipos de preparação superficial com 3 espessuras de camada do adesivo, obtém-se um total de 9 combinações diferentes a serem ensaiadas. Para cada situação, serão ensaiados 5 corpos de prova, totalizando 45. Essas informações estão compiladas na Tabela 2.

Espessura da camada do adesivo	Varição da preparação da superfície	Número de corpos de prova para cada situação
1,50 mm	Sem tratamento	5
	Álcool	5
	Álcool + Lixamento + Álcool	5
1,0 mm	Sem tratamento	5
	Álcool	5
	Álcool + Lixamento + Álcool	5
0,50 mm	Sem tratamento	5
	Álcool	5
	Álcool + Lixamento + Álcool	5

Tabela 2 - Agrupamento dos corpos de prova, nas diferentes situações.

Fonte: Autores (2018).

A máquina para ensaio utilizada é da marca EMIC, com capacidade de 200 kN. A velocidade de ensaio utilizada e recomendada pela norma ASTM D1002, é de 10 mm/min. Após seguir todas as observações e restrições para a colagem das chapas, foram feitos os ensaios. O corpo de prova final está colado e os reguladores de espessura fixos nas duas extremidades. É, também, pelas extremidades, que o corpo de prova é fixado na máquina para a realização do ensaio, conforme está ilustrado na Figura 7. Os demais corpos de prova foram montados e ensaiados. Os resultados obtidos estão dispostos na próxima seção.



Figura 7 – Corpo de prova fixado na máquina para realização do ensaio de cisalhamento.

Fonte: Autores (2018).

4. Resultados

Seguindo a metodologia, necessita-se avaliar os resultados alcançados. Os valores médios de resistência máxima ao cisalhamento para todas as combinações foram colocados na Tabela 3.

Valores médios da resistência ao cisalhamento (N)			
Espessura	1,5 mm	1,0 mm	0,5 mm
Sem preparação	3041	3270	3640
Álcool	3208	3748	3954
Álcool + lixamento	3800	4097	4688

Tabela 3 – Valores médios da resistência ao cisalhamento para todas as combinações.

Fonte: Autores (2018).

Os testes sem preparação superficial foram feitos para verificar a veracidade dos referenciais. Segundo Silva (2007), todos os substratos devem ser tratados de alguma maneira antes do processo de colagem. Os valores médios de força máxima ficaram entre 3041 N para espessura de camada de 1,5 mm e 3640 N para 0,5mm. Em uma mesma condição de preparação superficial e espessura de camada de adesivo, pode-se notar que houve diferença de até 50 % nos valores de resistência. Na espessura de 0,5mm, a ausência de preparação superficial influenciou nos resultados.

No CP 2, a resistência máxima foi de 2975 N, enquanto que no CP 4 obteve-se 4485 N. Isso significa que na primeira situação o corpo de prova estava com substâncias contaminantes. Já no segundo caso, essas substâncias foram minimizadas, refletindo numa elevada resistência. Vale ressaltar que por meio de inspeção visual, ambos os substratos não demonstravam estar contaminados, o que dificulta a constatação de contaminação.

Além disso, observa-se que da espessura de 1,5 mm para 1,0 mm, tem-se um ganho médio de resistência de 7%. Já de 1,5 mm para 0,5 mm, esse valor atinge uma porcentagem de aproximadamente 16,5%. Isso, considerando apenas o controle de camada de espessura do adesivo. Através de uma análise visual, é possível constatar que a ruptura nos corpos de prova sem preparação possui um caráter adesivo, conforme Figura 8. Isso coincide com os valores de resistência dispostos na Tabela 3.

Figura 8 – Ruptura adesiva na junta sem preparação superficial.



Fonte: Autores (2018).

Analizando a condição de preparação superficial utilizando álcool isopropílico, observam-se resultados distintos. Comparando as médias dessa situação com as médias obtidas nas chapas sem preparação superficial, para as mesmas espessuras, nota-se, claramente, a influência positiva que a aplicação do álcool teve. Entretanto, um problema encontrado foi a possibilidade da contaminação ocorrer novamente nas chapas preparadas, pois o álcool permite essa interferência. Para evitar esse problema, o correto seria investir em preparações que surtisses mais efeito, como uma decapagem química, por exemplo. Porém, o custo para a execução de tal preparação é bastante elevado.

Considerando a preparação combinada de álcool isopropílico e lixamento, evidencia-se que uma boa repetitividade foi encontrada nas situações de 1,5 mm, 1,0 mm e 0,5mm, além dos valores de resistência serem elevados. Destaca-se que em um corpo de prova, com espessura de camada de 0,5 mm, a resistência à tração encontrada foi de 5012 N, superando o valor de resistência do próprio adesivo, que para $\frac{1}{2}$ pol² de área colada é de aproximadamente 4900 N.

Da espessura de 1,5 mm para 1,0 mm, tem-se um ganho de resistência de 7,2%. Já de 1,5 mm para 0,5 mm, esse valor atinge uma porcentagem de aproximadamente 19%. Percebe-se que, apenas variando a espessura, o acréscimo na resistência ao cisalhamento é notável. A Figura 9 retrata uma ruptura coesiva, no interior do filme do adesivo, para reforçar a eficiência da preparação superficial combinada. Nota-se que o adesivo aderiu completamente nos dois substratos, refletindo em altos valores de resistência ao cisalhamento.



Figura 9 - Ruptura coesiva na junta preparada com álcool e lixamento.

Fonte: Autores (2018).

Todos os resultados comentados, assim como os valores da Tabela 3, estão dispostos na Figura 10 e na Figura 11. O primeiro é agrupado em função da espessura de camada do adesivo, enquanto que o segundo, em função da preparação da superfície utilizada.

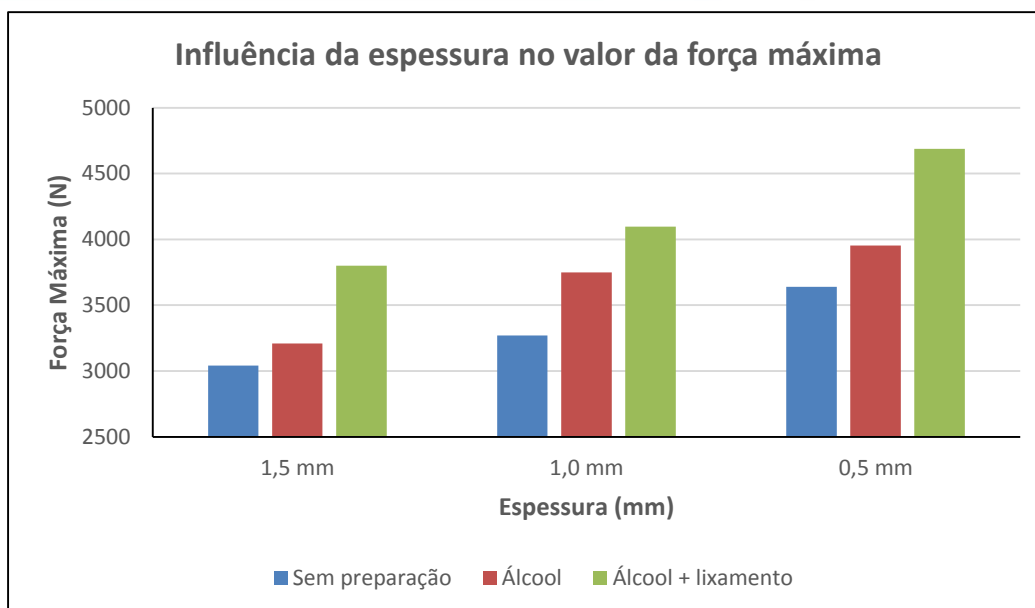


Figura 10 - Gráfico agrupado por espessura da camada do adesivo.

Fonte: Autores (2018).

Nas Figuras 10 e 11, evidenciam-se, respectivamente, a ascendência dos valores de resistência máxima na medida em que se diminui a espessura do adesivo na junta e na medida em que se melhora a limpeza superficial e o ancoramento mecânico no processo de colagem.

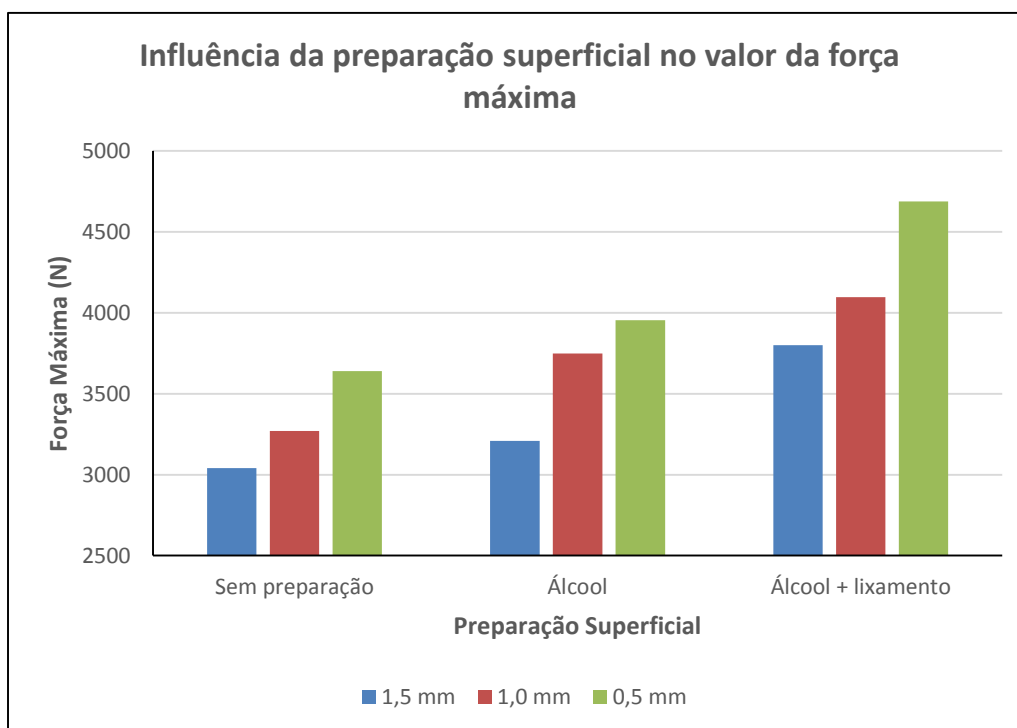


Figura 11 - Gráfico agrupado pelo tipo da preparação da superfície.

Fonte: Autores (2018).

5. Considerações finais

A importância dos adesivos estruturais na indústria vem crescendo rapidamente. A utilização para a redução de pontos de solda, ou para substituição de rebites, são apenas alguns exemplos de aplicação. Contudo, algumas variáveis importantes ainda são desconhecidas, como: preparação superficial e camada de espessura do adesivo. Os resultados obtidos nesse trabalho podem servir como parâmetro para a aplicação de adesivos estruturais em chapas metálicas.

Destacam-se as seguintes conclusões: i) Juntas sem preparação superficial tendem a ter variabilidade de resultados, oscilando em até 50% os valores de resistência ao cisalhamento, mantendo as mesmas condições. Apesar do processo de colagem ser mais simples e rápido, é preciso analisar que a confiabilidade e a resistência ao cisalhamento não são elevadas. ii) Como provado pelos testes, a preparação por meio da aplicação de álcool e lixamento trouxe resultados mais satisfatórios e com maior repetitividade. Em comparação aos resultados dos corpos de prova sem nenhuma preparação, obteve-se um ganho médio de aproximadamente 20% na resistência ao cisalhamento. Essa dupla preparação, além de remover as impurezas que podem contaminar os substratos, aumenta a rugosidade das chapas, fazendo com que haja o “encravamento mecânico”.

Como sugestões para trabalhos futuros pode-se mencionar as seguintes propostas: a) união de materiais diferentes, como aço e alumínio; b) utilização de distintas espessuras de chapas, analisando a influência dessa variação; c) diferentes preparações superficiais nos substratos, como por exemplo: fosfatização das chapas, decapagem química, pintura das chapas, entre outras.

Referências

- ALFANO, M. et al.** Fracture toughness of structural adhesives for the automotive industry. *Procedia Structural Integrity*, v. 8, p. 561-565, 2018.
- ANGELIDI, M. et al.** Ductility, recovery and strain rate dependency of an acrylic structural adhesive. *Construction and Building Materials*, v. 140, p. 184-193, 2017.
- ASTM D 1002.** *Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loads (Metal to Metal)*. USA, 1983.
- BANEA, M. D. et al.** Multi-material adhesive joints for automotive industry. *Composites Part B: Engineering*, v. 151, p. 71-77, 2018.
- BEBER, V. C. et al.** On the fatigue behavior of notched structural adhesives with considerations of mechanical properties and stress concentration effects. *Procedia Engineering*, v. 213, p. 459-469, 2018.
- BRINSON, H. F.** *Engineered Materials Handbook: Adhesives and Sealants*. New York, USA: ASM International, Volume 3, 1990.
- CHUN, H.; KIM, J. W.; LEE, J.** How does information technology improve aggregate productivity? A new channel of productivity dispersion and reallocation. *Research Policy*, v. 44, n. 5, p. 999-1016, 2015.
- COGNARD, P.** *Handbook of Adhesives and Sealants*. 1 ed. v. 2, 2006.
- COLMYN, J.** *Adhesion Science*. The Royal Society of Chemistry. Cambridge, ENG, 1997. 149p.
- EBNESAJJAD, S.** *Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding*. William Andrew. 2ª Ed. 2014. 360 p.
- IMANAKA, M. et al.** Fatigue crack propagation rate of CFRP/aluminum adhesively bonded DCB joints with acrylic and epoxy adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 85, p. 149-156, 2018.
- MENDES, C. N. R. P.** *Contribuição ao desenvolvimento de projeto de carrocerias automotivas utilizando adesivo estrutural para junção de chapas metálicas*. São Paulo: USP, 2005. 176 p. Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Engenharia pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.
- OCANÃ, R.; ARENAS, J. M.; NARBÓN, J. J.** Evaluation of Degradation of Structural Adhesive Joints in Functional Automotive Applications. *Procedia Engineering*, v. 132, p. 716-723, 2015.

PACKHAM, D. E. *Handbook of Adhesion*. 2 ed. West Sussex, ENG: John Wiley & Sons, 2005.

PETRIE, E. *Handbook of Adhesives and Sealants*. 2 ed. New York, USA: McGraw-Hill, 2007.

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. *Handbook of adhesive technology*. 2 ed. New York, USA: Marcel Dekker, 2003.

SILVA, L. F. M.; MAGALHÃES, A. G.; MOURA, M. F. S. F. *Juntas Adesivas Estruturais*. Porto, PT: Publindústria, 2007.