

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE COLAGEM DE SUBSTRATOS DE COMPÓSITOS, DE TERMOPLÁSTICO E METÁLICO UTILIZANDO ADESIVO URETÂNICO

Quini, G. J.^{1,2}, Marinucci, G.²

¹ Urepol Polímeros Ltda - São Paulo/SP- Brasil

² Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares- São Paulo/SP- Brasil

¹ e mail: josue@usp.br

RESUMO

A tecnologia dos adesivos estruturais tem demonstrado um grande potencial de aplicação devido à sua capacidade de transformar estruturas complexas em montagens sólidas unitárias e monolíticas utilizando diferentes materiais. Assim, emendas ou junções passam a integrar as referidas estruturas propiciando além da redução de peso um aumento considerável da resistência mecânica e rigidez. O presente estudo tem por objetivo apresentar resultados da aplicação de adesivos estruturais poliuretânicos para uso automotivo na fixação de peças em compósito, termoplástico e metal. O trabalho foi feito avaliando-se a resistência ao cisalhamento de juntas formadas por compósitos poliméricos moldados por RTM e SMC, termoplástico e metal. Os resultados mostraram que as juntas de compósitos formadas de RTM, SMC e termoplástico ABS, apresentaram fratura no corpo de prova, indicando que o adesivo proporcionou uma boa interação com estes substratos. No metal estudado, aço carbono zincado e cromado preto, a fratura foi coesiva.

Palavras chave: adesão, adesivo uretânico, cisalhamento

INTRODUÇÃO

No Brasil o uso de adesivos estruturais para veículos de transporte iniciou-se nos anos oitenta pela necessidade encontrada pelos moldadores em seguir especificações elaboradas pelas matrizes de algumas das montadoras brasileiras na colagem de capôs, grades e pára-choques, produzidos em compósitos de poliéster reforçado com fibra de vidro. Deste modo, passou-se então a utilizar para essas aplicações um adesivo de poliuretano bicomponente importado. A partir do sucesso da utilização do poliuretano, o conceito de colagens estruturais evoluiu de forma que hoje em dia praticamente todas as montadoras de

veículos de transporte de carga e de passageiros empregam a técnica utilizando adesivos uretânicos, epoxis e metacrilatos. Outras aplicações envolvem a fabricação de lanchas, veleiros, jet skis, captadores de energia eólica, tubulações, aeronaves e peças técnicas em geral, que também têm utilizado com maior frequência os adesivos estruturais.

Embora ainda grande parte dos fabricantes de peças em compósito não utilize o adesivo como substituto de juntas mecânicas, fato possivelmente atribuído à falta de informação e ausência de condições adequadas para trabalhar com o material, pois os adesivos estruturais requerem cuidados especiais de manuseio e limpeza. Contudo, o consumo crescente indica uma mudança de paradigma.

A maior utilização dos adesivos estruturais, criou nas empresas o que pode ser chamado de cultura do adesivo, mostrando confiança que de fato ele pode unir permanentemente uma junta de compósito, desde que aplicado de maneira correta e seguindo os princípios básicos de preparação de superfície, dosagem correta, mistura dos componentes do adesivo e projeto adequado da junta¹.

A união de peças de compósito por meio dos adesivos estruturais oferece benefícios significativos em relação aos sistemas convencionais de junção, como por exemplo, parafusos, insertos roscados ou rebites². O adesivo distribui as cargas e tensões atuantes sobre a área total da união ao invés de concentrá-las, permitindo além da distribuição uniforme das cargas estáticas e dinâmicas, uma redução nos custos de produção e manutenção em relação aos sistemas mecânicos de fixação³.

Garante ainda melhor isolamento elétrico, redução da corrosão e também redução dos níveis de vibração em montagens com parafusos e rebites, sendo que industrialmente, em muitos casos, os métodos de aplicação de adesivo oferecem maior produtividade nos processos de montagem⁴. Outra grande vantagem, consequência de uma boa adesão, é a melhor vedação entre as partes unidas, evitando-se a necessidade de impermeabilização complementar.

Importante salientar que a fixação mecânica pode promover nos compósitos a delaminação, criando uma falha que pode ser catastrófica e que também, dependendo da temperatura de exposição e da diferença de coeficiente de

expansão térmica entre as partes, faz surgir uma elevada tensão na junta, comprometendo a integridade física do compósito⁵.

Na literatura há uma grande concentração de trabalhos envolvendo adesivos estruturais que abordam estudos dos adesivos do tipo epóxi e metacrilato, atribuída possivelmente a sua maior utilização. Adesivos estruturais uretânicos apesar de oferecerem um grande potencial de aplicação tem inversamente um número menor de publicações, resultado da quantidade menor de estudos envolvendo o adesivo. Uma das áreas carentes de pesquisa esta relacionada ao estudo da interação química e do comportamento mecânico de adesivos uretânicos e substratos de materiais de grande utilização na engenharia, como compósitos, metálicos e termoplásticos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Dentre as diversas aplicações dos compósitos na indústria automotiva estão principalmente aqueles destinados a partes externas dos veículos, como por exemplo, capôs, grades frontais, pára-choques, estribos, portas laterais e traseiras, pois são os que mais utilizam adesivos estruturais. Estes compósitos têm como características importantes a resistência ao impacto, resistência a vibração e aparência lisa e uniforme.

Os compósitos utilizados no presente estudo foram fabricados com matrizes de resina poliéster insaturado e fibras de vidro picadas ou tecidos, moldadas por processos de moldagem por transferência de resina (RTM), do inglês resin transfer molding, e pelo processo de moldagem por prensagem (SMC), do inglês sheet molding compound. Esses processos permitem a produção de peças bem acabadas superficialmente e com alta produtividade.

Para a fabricação dos corpos de prova foram utilizados laminados de poliéster reforçado com fibra de vidro moldados pelos processos de RTM e SMC. Estes compósitos foram moldados utilizando uma relação volumétrica de 70% de matriz polimérica e 30% de fibras de vidro

Os substratos de compósitos moldados por RTM e SMC utilizados neste trabalho foram cortados nas dimensões de 25mm de largura, 70mm de comprimento e 2mm de espessura. As superfícies foram limpas com tricloroetileno 99% e a remoção da camada superficial por abrasão foi feita durante 1 minuto em lixadeira mecânica utilizando com lixa 100. Os corpos de prova foram preparados utilizando o adesivo estrutural de poliuretano.

A mistura das partes foi feita no momento da aplicação, colando-se uma área de $6,25\text{cm}^2$, delimitando-se a espessura do adesivo por meio do uso de esferas de zircônia de 0,7mm. Para os ensaios de resistência ao cisalhamento foi utilizado um equipamento de ensaio universal. Os ensaios foram conduzidos a temperatura ambiente após 72h da colagem, conforme norma ASTM D3163⁶ para substratos de compósitos e termoplásticos e ASTM D1002⁷ para substratos metálicos.

O processo utilizado na moldagem do ABS consiste na colocação de chapas do material sobre o molde, cortadas nas dimensões apropriadas, onde por ação de força mecânica e calor se conformam ao molde metálico. Foram coletadas placas de 2mm de espessura para preparação dos corpos de prova.

Para os corpos-de-prova de aço, foram utilizadas chapas metálicas de aço carbono zincado e cromado preto. Essas chapas possuem 2mm de espessura e foram cortadas em guilhotina nas dimensões 100mm de comprimento por 25mm de largura.

As dimensões dos corpos-de-prova de ABS e metal correspondem àquelas dos substratos de compósitos, ou seja, largura de 25mm e comprimento de 70mm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os corpos de prova de compósitos moldados por SMC e RTM unidos por meio do adesivo poliuretânico, foram ensaiados para avaliação da resistência ao cisalhamento na temperatura ambiente, após o tempo de 24h do processo de colagem. Os resultados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Avaliação da resistência ao cisalhamento.

Substrato	Resistência ao cisalhamento (MPa)	Forma de ruptura
SMC	5,77	Delaminação
RTM	6,11	Corpo de prova
ABS	3,61	Corpo de prova
Aço carbono	10,7	Coesiva

Nas juntas cujos substratos eram de compósitos, utilizando como forma de tratamento superficial apenas o lixamento e limpeza com solvente, houve falha do substrato. No SMC ocorreu delaminação e no RTM. Isto mostra que a união com o adesivo foi eficiente, pois o substrato falhou antes do adesivo sofrer ruptura. Os valores encontrados devem ser entendidos como sendo inferiores à resistência adesiva ao cisalhamento, uma vez que o substrato rompeu primeiro.

A excelente aderência mostrada pelo adesivo uretânico deve-se a eficiente interação entre o adesivo e o substrato. Considerando que a matriz polimérica no compósito está em maior porcentagem, a interação preferencial ocorrerá com ela. Essa interação pode ser explicada pela alta polaridade da matriz polimérica de poliéster devido à presença principalmente de hidroxilas na sua cadeia polimérica. As hidroxilas da matriz polimérica podem interagir com o adesivo uretânico tanto eletrostaticamente como também por reação química com os grupos isocianatos presentes no adesivo. Essa possível reação pode ser entendida ao se observar a reação química do adesivo, conforme ilustrado na figura 1, que é formada pela reação de um polioli e um isocianato, este último contendo um pequeno excesso que é utilizado para a reticulação. Desse modo, durante a aplicação do adesivo o excesso de isocianatos pode reagir, entre outros grupos, com hidroxilas da superfície do substrato e melhorar a aderência com este, aumentando assim a força adesiva entre adesivo e substrato.

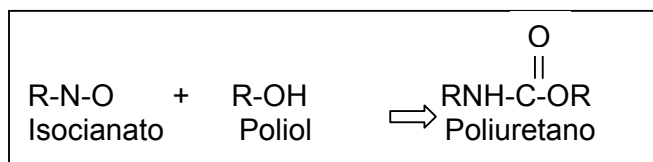


Figura 1- Reação do polioli com o isicianato.

A falha por ruptura do corpo de prova ocorre quando a flexão não é suficiente para iniciar o processo de delaminação devido à rigidez do substrato e a força exercida é superior à resistência do mesmo. No compósito de RTM, apesar de as fibras estarem dispostas aleatoriamente, houve um aumento da resistência à tração na direção da sollicitação e deste modo isto colabora para que o processo de ruptura se inicie com uma tensão maior do que a observada no compósito de SMC quando ocorre delaminação. Conforme tabela 1, resistência ao cisalhamento de corpos-de-prova de RTM foi de 6,11 MPa, enquanto que os de SMC romperam com 5,77 MPa. As figuras 2 e 3 mostram respectivamente os modos característicos de falha de corpos-de-prova de RTM e SMC, onde há evidência de falha do substrato por tração no primeiro e falha por delaminação no segundo.

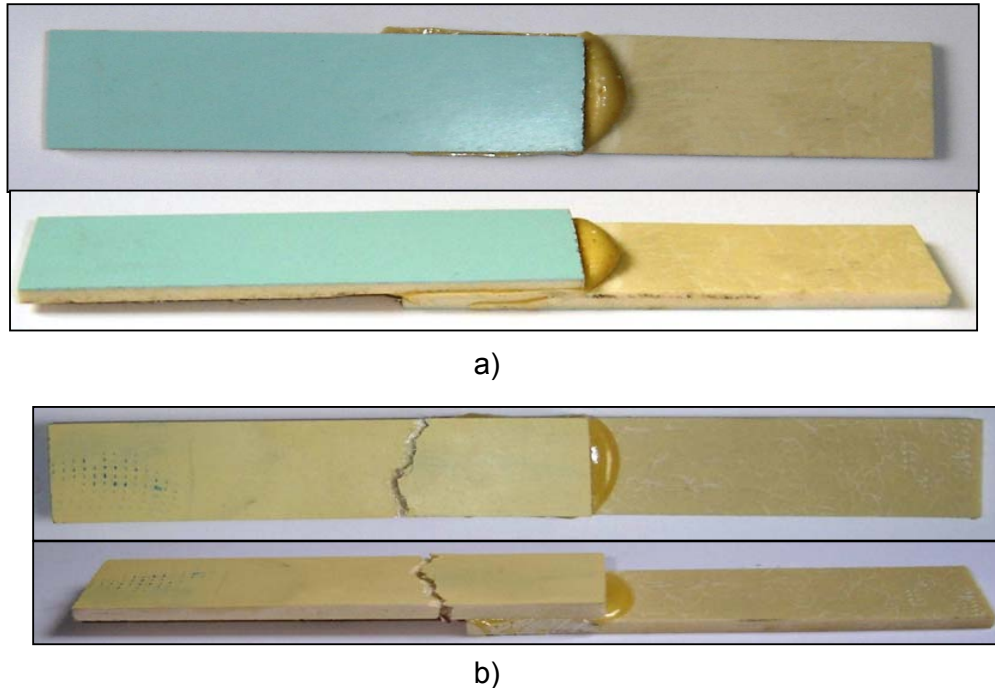
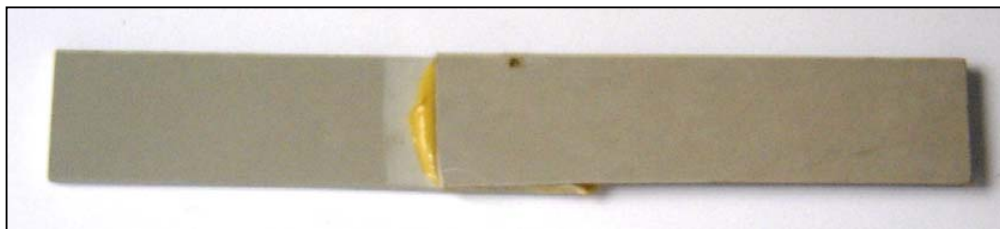
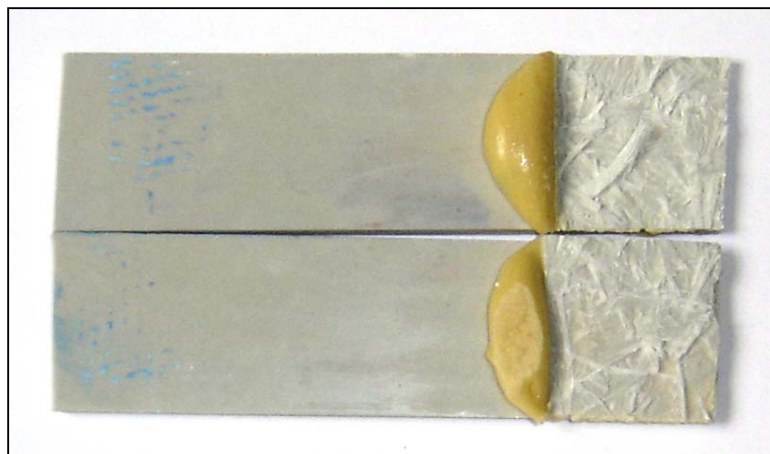


Figura 2- Corpos-de-prova de RTM no ensaio de cisalhamento do adesivo:
a) como preparado para ensaio, b) ruptura do substrato.



a)

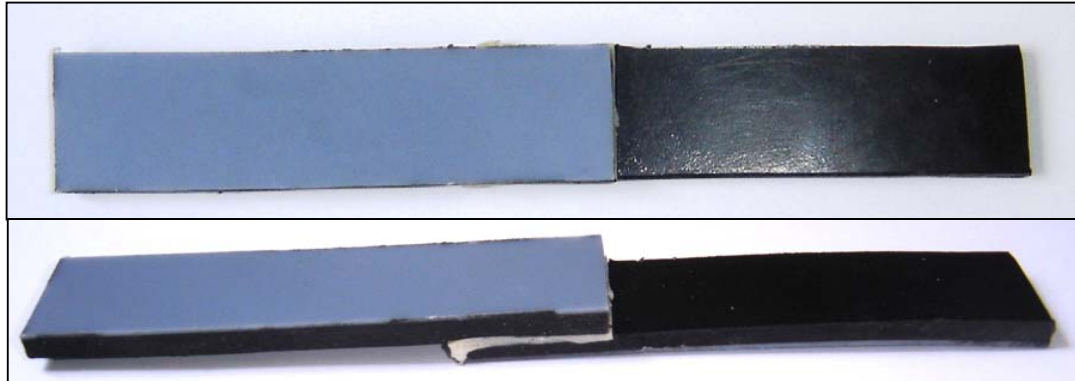


b)

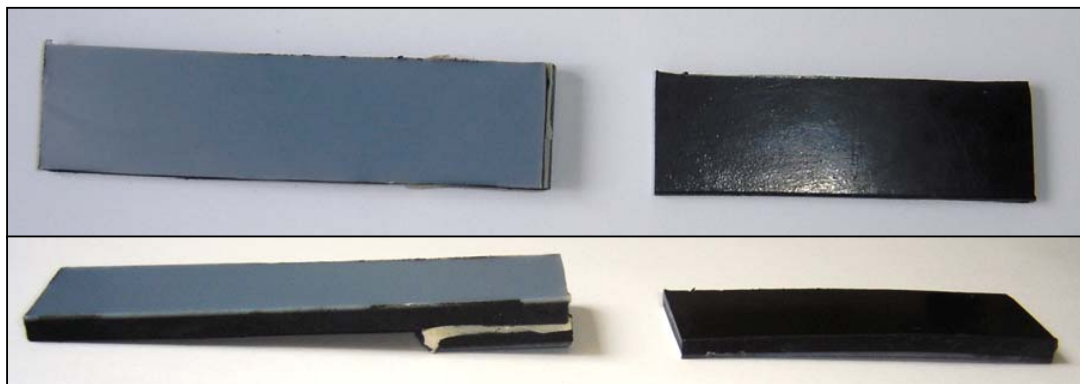
Figura 3- Corpos-de-prova de SMC no ensaio de cisalhamento do adesivo:
a) como preparado para ensaio, b) ruptura da junta por delaminação.

Os ensaios feitos com substratos de ABS, o modo de falha foi semelhante àquele apresentado para o substrato de RTM, ou seja, falha no substrato. Conforme figura 4, observa-se que ocorreu uma fratura transversal à direção do carregamento, com a forma plana, característica de uma falha por tração.

A forte adesão ocorrida entre os substratos sugere que houve uma forte interação entre o adesivo e o grupo polar do ABS, a acrilonitrila, que possui em sua composição oxigênio e nitrogênio, favorecendo a polaridade e contribuindo para melhorar a interação eletrostática entre o adesivo e o substrato de ABS e, portanto, a aderência. O tipo de ABS utilizado neste estudo apresenta maior teor de acrilonitrila para permitir maior resistência à temperatura.



a)

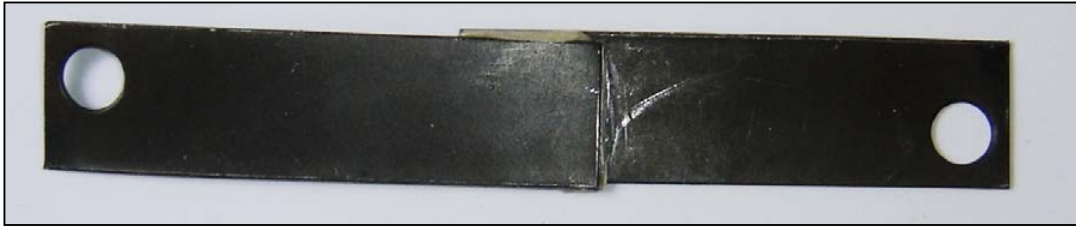


b)

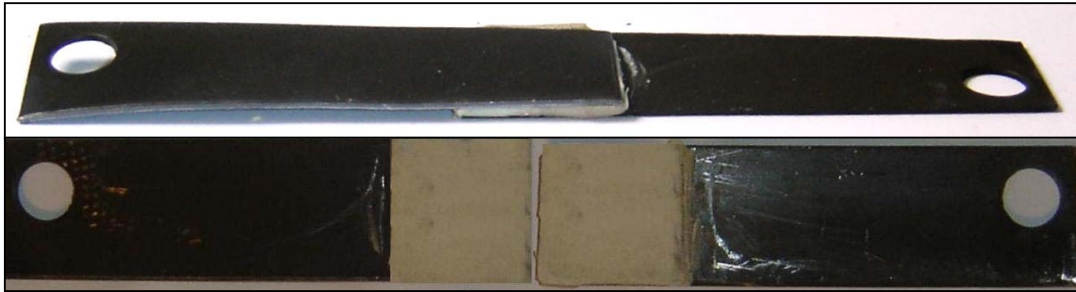
Figura 4- Corpos-de-prova de ABS no ensaio de cisalhamento do adesivo:

a) como preparado para ensaio, b) ruptura do substrato.

Em muitas aplicações onde se faz necessário o uso de elementos de reforço e insertos metálicos em compósitos, principalmente em aplicações náuticas e automotivas, estes metais devem receber um tratamento químico para promover maior resistência à corrosão. Em geral, o aço carbono é o material mais utilizado devido ao menor custo, sendo que nesses casos um dos processos mais recomendados para essa proteção é a zincagem e a cromação preta. Considerando esse aspecto, foram feitos também ensaios de colagem entre substratos de aço carbono zincado e cromado preto. A figura 5 ilustra o modo de falha com esse substrato.



a)



b)

Figura 5- Corpos-de-prova de aço carbono zincado e cromado preto no ensaio de cisalhamento do adesivo:a) como preparado para ensaio, b) falha adesiva.

Observa-se nos corpos-de-prova de aço carbono zincado e cromado preto um resultado superior ao obtido com os outros substratos, alcançando-se a resistência ao cisalhamento de 10,7 MPa, com indicativo de uma falha coesiva. Isso demonstra que a força adesiva, oriunda de uma ótima interação com o adesivo e o substrato, foi superior à força coesiva com o substrato. Há que se considerar também que a resistência do aço é muito superior que a do adesivo, implicando que uma falha do substrato não deveria ocorrer. Isso favorece, desse modo, avaliar a resistência adesiva do adesivo utilizado no presente estudo.

CONCLUSÕES

Ensaio de cisalhamento em juntas com adesivo uretânico mostraram que o adesivo proporcionou uma excelente colagem entre substratos de compósitos fabricados de RTM e SMC e termoplástico de ABS. Na união desses materiais, a falha ocorreu no substrato. Nas juntas que utilizaram materiais compósitos a falha

ocorreu por tração no substrato de RTM e por cisalhamento no substrato de SMC, enquanto que no substrato de ABS, a falha também ocorreu por tração.

Nas juntas de metal, a falha ocorreu no adesivo, configurando-se, portanto, como uma falha adesiva.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a Urepol Polímeros Ltda – Divisão Masterpol Adesivos pelo fornecimento do adesivo e primer utilizado nesse estudo.

REFERÊNCIAS

1- QUINI, J.G. Adesivos estruturais uretânicos e sua aplicação em compósitos, **R. Plástico Reforçado**, n.44, p. 44-48, 2005.

2- SHIELDS, J.; **Adhesives Handbook**, 2.ed. London, U.K., Butterworth & Co, 1976, p.1-7.

3- SKEIST, I.; **Handbook of Adhesives**, 4.ed. New York, N.Y., Reinhold Publishing Corporation, 1965. Cap 41, Bonding Plastics, p. 481-495.

4-ASHCROFT, I.A.; WAHAB, M.M.A.; CROCOMBE, A.D.; HUGHES, D.J.; SHAW, S.J., The effect of environmental on the fatigue of bonded composite joints. Part 1: testing and fractography. **Comp.**, v. 32, p. 45-58, 2001.

5- GOEIJU, W.C.; VAN TOOREN, M.J.L.; BEUKERS, A., Composite adhesive joints under cyclic loading. **Mat. Des.**, v. 20, p. 213-221, 1999.

6- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Determining Strength of Adhesively Bonded Rigid Plastic Lap-Shear Joints in Shear by Tension**. ASTM, 2001 (ASTM D3163-01)

7- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal)**. ASTM, 2005 (ASTM D1002-05)

ABSTRACT

EVALUATION OF SHEAR STRENGTH BONDING IN COMPOSITES, THERMOPLASTIC AND METAL USING A STRUCTURAL URETHANE ADHESIVE

The structural adhesives technology has been showing a great potential application due to their capacity to transform complex structures in unitary and monolithic solid assemblies using different materials. So, joints start to integrate structures propitiating not only weight reduction but also considerable increase of the mechanical strength and rigidity. The present study has for objective to obtain the shear strength of structural polyurethane adhesive for automotive use in fixation of pieces in composites (RTM and SMC), thermoplastic (ABS) and metal (steel carbon zinc and chrome-plated black). Results showed that composites and thermoplastic joints, showed specimen fracture, indicating that the adhesive provided a good interaction with these substrates, while in the steel, the fracture was cohesive.

Key words: adhesion, urethane adhesive, shear test