

APLICAÇÃO DE JUNTAS ADESIVAS NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA - ABORDAGEM EXPERIMENTAL, NUMÉRICA E TENDÊNCIAS FUTURAS

Kelly Aparecida Nascimento Nunes¹, Luiz Rafael Resende da Silva²

Engenharias

Introdução e Objetivo

O uso de juntas adesivas na indústria automotiva tem se destacado pela redução de peso (PINE et al., 1999), absorção de energia em cargas cíclicas (LOUREIRO et al., 2010) e vedação em ambientes úmidos (SYMIETZ, 2005). Também contribui para o desempenho mecânico (BARTCZAK et al., 2013) e proteção anticorrosiva, aumentando a durabilidade dos veículos (LEBOZEC et al., 2012), além de aplicações em áreas como aeronáutica, medicina e construção civil (ADAMS, 2021).

Diante do aumento das publicações, a sistematização do tema torna-se desafiadora. No setor automotivo, o campo de aplicação é amplo, sobretudo na fabricação de veículos de transporte coletivo. Assim, este trabalho apresenta uma revisão sistemática sobre adesivos, abordando estudos experimentais, numéricos e tendências futuras, a fim de identificar lacunas e ampliar sua aplicação em projetos e pesquisas.

Método e Metodologia

O uso de juntas adesivas na indústria automotiva tem se destacado pela redução de peso (PINE et al., 1999), absorção de energia em cargas cíclicas (LOUREIRO et al., 2010) e vedação em ambientes úmidos (SYMIETZ, 2005). Também contribui para o desempenho mecânico (BARTCZAK et al., 2013) e proteção anticorrosiva, aumentando a durabilidade dos veículos (LEBOZEC et al., 2012), além de aplicações em áreas como aeronáutica, medicina e construção civil (ADAMS, 2021).

Diante do aumento das publicações, a sistematização do tema torna-se desafiadora. No setor automotivo, o campo de aplicação é amplo, sobretudo na fabricação de veículos de transporte coletivo. Assim, este trabalho apresenta uma revisão sistemática sobre adesivos, abordando

¹ Graduanda em Engenharia Mecânica, Instituto Federal do Espírito Santos - IFES, kellynunesme@gmail.com;

² Doutor em Engenharia Mecânica, Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, luiz.silva@ifes.edu.br

estudos experimentais, numéricos e tendências futuras, a fim de identificar lacunas e ampliar sua aplicação em projetos e pesquisas.

Discussão e Resultados

Juntas Adesivas e Adesivos na Engenharia

Marques et al. (2021) destacam que a união de diferentes materiais levou à substituição parcial de métodos tradicionais por juntas adesivas, que reduzem peso e tensões. Henrique et al. (2019) comprovam que essas juntas melhoram a resistência à fadiga, à corrosão e ampliam a liberdade de design.

Tipos de Adesivos Aplicados na Indústria Automotiva

O uso de adesivos na indústria automotiva tem promovido estruturas mais leves e eficientes, com redução de até 25% no peso dos veículos (FUCUHARA, 2014). Divididos em estruturais e não estruturais, eles oferecem desempenho mecânico, vedação e segurança (MARQUES et al., 2021; HENKEL, 2018). A Tabela 1 apresenta seus tipos, propriedades e reações químicas.

Tabela 1 - Tipos de Adesivos Aplicados na Automotiva

ADESIVO	PROPRIEDADES	REAÇÃO QUÍMICA
Adesivos Epóxi	Alta resistência mecânica e térmica, usados na colagem de carro, chassi e reforços estruturais.	epicloridrina (1-cloro-2,3-epóxi-propano) e o bisfenol A (2,2-bis(4'-hidroxifenil)propano) (FUCUHARA, 2014)
Adesivos de Poliuretano	Alta flexibilidade e resistência a impactos, ideais para fixação de pára-brisas e vedação de portas.	Polimerização envolvendo a reação entre um isocianato ($R-N=C=O$) e um polioli ($R'-OH$) para formar uma rede de poliuretano com ligações de uretano. (HUNTSMAN ADVANCED MATERIALS, 2010)
Adesivos Acrílicos	Cura rápida e alta resistência à fadiga, usados em partes estruturais secundárias e componentes de acabamento.	O adesivo acrílico é formado pela reação química entre polímeros e ácido acrílico. A composição de acrilatos de metila, etila, butila, 2-etilhexila, copolímeros e diversas misturas, são usados para formular adesivos acrílicos (DIAS, 2024)
Adesivos de Silicone	Alta resistência térmica e elasticidade, aplicados na vedação de motores e fixação de sensores.	São produzidos a partir do silício da areia de sílica. O processo gera polidimetilsiloxano por condensação, formando cadeias com ligações silício-oxigênio altamente estáveis. (SCHNEBERGER, 1900) e (LEE, 2021)

Adesivos Anaeróbicos	Curam na ausência de oxigênio, usados na fixação de parafusos, rolamentos e vedação de rosca.	Os adesivos anaeróbicos solidificam na ausência de oxigênio e na presença de íons metálicos, aderindo a superfícies como aço, latão, bronze e ferro. O oxigênio mantém o produto líquido até a montagem, quando seu isolamento desencadeia a polimerização. O resultado é uma ligação sólida e resistente. (SHARMA, 2021)
Adesivos Hot Melt	Termoplásticos de adesão instantânea, utilizados na fixação de revestimentos internos e carpetes	O adesivo hot melt não tem bem uma reação química, o que acontece é uma reação físico-química onde ao ser aquecido, o adesivo muda de fase e ao ser resfriado, endurece. (ZAGATO,2012)
Adesivos de Cianoacrilato	Cura ultra rápida, usada para fixação de pequenos componentes como botões e emblemas.	Ocorre pela rápida polimerização provocada pela umidade do ambiente ou da superfície. Em contato com a água, as moléculas desencadeiam uma reação exotérmica que une os monômeros em cadeias poliméricas, solidificando a cola instantaneamente. (AHAMMED, 2024)
Metacrilato	Os adesivos metacrilatos apresentam alta resistência mecânica, boa tenacidade e excelente adesão a metais, plásticos e compósitos. São versáteis, com cura rápida, resistência química e durabilidade em ambientes agressivos.	Os adesivos metacrilatos curam por polimerização radical do monômero de metacrilato, iniciada por peróxidos. O resultado é a formação de uma sólida rede de polimetilmetacrilato com alta resistência mecânica e química.(SHINDALKAR, 2024)

Fonte: Adaptado (2025)

Segundo Nunes (2015), juntas adesivas são fundamentais na indústria automotiva por unirem diferentes materiais, reduzirem peso e melhorarem o desempenho. De Queiroz (2024) destaca que sua geometria visa distribuir tensões e considerar substrato, fabricação e viabilidade. A Tabela 2 mostra as geometrias mais comuns na engenharia.

Tabela 2 - Tipos de Juntas Adesivas

GEOMETRIA	USABILIDADE
 Sobreposição simples	Duas chapas sobrepostas e coladas em uma área específica; a mais comum e fácil de fabricar. (OLIVA, 2016) e (SOUZA, 2015)
 Sobreposição Dupla	Três chapas, central colada entre duas externas; reduz excentricidade e concentração de tensões (SILVA, 2019).

GEOMETRIA	USABILIDADE
 Sobreposição simples	Duas chapas sobrepostas e coladas em uma área específica; a mais comum e fácil de fabricar. (OLIVA, 2016) e (SOUZA, 2015)
 Degrau	Extremidades chanfradas em ângulo; promove melhor distribuição de tensões de cisalhamento e arrancamento (SILVA, 2019).
 Cobre-junta	Inserção de um filete extra de adesivo na extremidade da sobreposição, funcionando como reforço para evitar concentração de tensões e melhorar a resistência ao impacto e à fadiga da junta adesiva (SILVA, 2020).
 Cobre-junta dupla	Aplicação de filetes de adesivo em ambas as extremidades da sobreposição, proporcionando reforço duplo contra concentrações de tensões e maximizando a resistência estrutural da junta adesiva (SILVA, 2020).
 Chanfro exterior	Adição de um chanfro (corte angular) na extremidade externa do tubo ou aderente, aumentando a área de contato do adesivo e melhorando a distribuição das tensões de cisalhamento e arrancamento na interface adesiva (EUSÉBIO, 2018).
 Chanfro interior	Chanfro feito na extremidade interna do tubo ou aderente, favorecendo a penetração do adesivo na região interna e promovendo melhor distribuição das tensões, especialmente útil em juntas tubulares (EUSÉBIO, 2018).
 Tubular	Junta formada entre dois tubos (ou tubo e haste), com adesivo estrutural aplicado na área de sobreposição. Pode ser otimizada com chanfros internos/externos e filetes de adesivo nas extremidades para melhorar a distribuição de tensões e a resistência ao impacto (RAMMAKRISHNAN, 2021).
 Junta ondulada	Junta formada por duas chapas, introduzida por Zeng e Sun. Foi desenvolvida para evitar excentricidade e distribuição uniforme de carga. (AVILA; BUENO, 2003).

Fonte: Adaptado pelo autor

MATERIAIS SIMILARES E DISSIMILARES

Materiais similares em juntas adesivas, como alumínio-alumínio ou aço-aço, apresentam melhor distribuição de tensões e maior resistência mecânica devido às propriedades físicas e químicas próximas, reduzindo perdas por dilatação térmica e aumentando a durabilidade (SILVA, 2019).

Já em materiais dissimilares, como alumínio-aço ou compósitos-metais, surgem desafios na distribuição de tensões e efeitos térmicos residuais que podem reduzir a resistência. Para mitigar esses problemas, projetam-se juntas com rigidez equilibrada, ajustando espessura ou largura dos substratos (MACHADO et al., 2018; ARAÚJO et al., 2017).

HIBRIDIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE UNIÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

A hibridização de processos na indústria automotiva combina adesivos com soldagem, clinching e rebiteagem, otimizando resistência, durabilidade e eficiência, além de melhorar a distribuição de cargas, reduzir tensões e possibilitar a união de materiais distintos, com ganhos em vedação e isolamento (NONNENMANN, 2023; KOWALCZYK, 2022; MORONI, 2010; TORRES; RAMIREZ, 2011).

Avanços em laser, fricção e ultrassom ampliam a eficácia, permitindo ligações químicas e intertravamento micromecânico. Polímeros como PA, PET e PC podem ser unidos a metais sem pré-tratamento, e a texturização aumenta a resistência. Aplicações como carrocerias híbridas e juntas FSW com adesivo já demonstram até 30% de melhoria em eficiência (ANDRÉ, 2016; DE ARAUJO, 2018; MENDES, 2015; PERES, 2019).

APLICAÇÃO EXPERIMENTAL E NUMÉRICA DOS TESTES PARA JUNTAS ADESIVAS

A caracterização do comportamento mecânico de juntas adesivas envolve ensaios experimentais e análises numéricas, cuja integração permite validar resultados e compreender a distribuição de tensões e modos de falha (SILVA, 2019). Ensaios de cisalhamento, tração, fadiga e impacto são comuns, com apoio de softwares como ANSYS e ABAQUS (PERES, 2019).

A comparação entre simulações e experimentos é essencial (RIBEIRO; ESTEVES, 1999). Técnicas como fotoelasticidade e DMTA avaliam propriedades mecânicas e ópticas, enquanto análises no ANSYS, com refinamento de malha em regiões críticas, mostraram boa

concordância com dados experimentais. Estudos também aplicaram modelos 2D e 3D em juntas SLJ, evidenciando tensões combinadas de flexão e tração.

Simulações no Abaqus foram aplicadas em ensaios de fratura, classificando falhas adesivas, coesivas e mistas (MEHRABADI, 2012; CHEN, 2017). Yue et al. (2024) destacam o uso da integral J para correlacionar propagação de trincas com resultados experimentais. Para o futuro, ressaltam-se adesivos híbridos, integração entre modelagem e experimentação e soluções sustentáveis (MARQUES et al., 2021), embora persistam desafios práticos.

Considerações Finais

As juntas adesivas mostraram-se uma alternativa eficaz aos métodos tradicionais de união, especialmente na indústria automotiva, por reduzirem peso estrutural, distribuírem melhor as tensões e aumentarem a resistência mecânica. A hibridização de processos, combinando adesivos a técnicas como soldagem e rebitagem, reforça sua eficiência e amplia as possibilidades de aplicação.

A integração entre métodos experimentais e simulações numéricas confirmou a confiabilidade na avaliação de tensões e modos de falha, destacando-se como ferramenta essencial para o desenvolvimento de estruturas mais leves, seguras e duráveis. Dessa forma, os adesivos consolidam-se como solução estratégica para atender às demandas da engenharia moderna.

Agradecimentos/Apoio Técnico (opcional)

Expresso minha profunda gratidão ao IFES pelo apoio concedido e ao meu orientador pela dedicação, orientação e paciência ao longo do desenvolvimento deste projeto.

Referências

ADAMS, Robert D. (Ed.). *Adhesive bonding: science, technology and applications*. Woodhead Publishing, 2021.

AHAMMED, Jishan. Mechanical analysis and optimization of adhesive solutions in automotive manufacturing: a study on Loctite adhesives. 2024.

ANDRÉ, Natália M. et al. Influência da espessura do filme polimérico intermediário na resistência mecânica de juntas híbridas de alumínio 2024-T3 e CF-PPS produzidas por união pontual por fricção. *Soldagem & Inspeção*, v. 21, n. 1, p. 2-15, 2016.

ARAÚJO, H. A. M. et al. Dynamic behaviour of composite adhesive joints for the automotive industry. *Composite Structures*, v. 171, p. 549-561, 2017.

ASGARI MEHRABADI, Farhad. Experimental and numerical failure analysis of adhesive composite joints. *International Journal of Aerospace Engineering*, v. 2012, n. 1, p. 925340, 2012.

ÁVILA, Antonio F.; BUENO, Plínio de O. An experimental and numerical study on adhesive joints for composites. *Composite Structures*, [S.l.], 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.comstruct.2003.09.052>. Acesso em: 27 ago. 2025.

BARTCZAK, Bartosz; MUCHA, Jacek; TRZEPICIŃSKI, Tomasz. 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*, v. 45, p. 42-52, 2013.

- CHEN, Qiuren et al.** Fatigue performance and life estimation of automotive adhesive joints using a fracture mechanics approach. *Engineering Fracture Mechanics*, v. 172, p. 73-89, 2017.
- DE ARAUJO PEREIRA, Philippe.** Avaliação do comportamento mecânico de juntas coladas compósito/aço em um teste de arrancamento com roletes flutuantes via método dos elementos finitos. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2018.
- DE QUEIROZ, H. F. M. et al.** Effect of hybridization and composite architecture symmetry in the bonded joint performance of jute/carbon fibre-reinforced composites. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 133, p. 103745, 2024.
- DIAS, Duarte Nuno Moreira.** Efeito das chuvas ácidas no desempenho mecânico de juntas adesivas usadas no setor automóvel. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2024.
- EUSÉBIO, Serjio Manuel Lopes.** Estudo numérico de juntas adesivas tubulares de sobreposição simples pelo Método de Elementos Finitos eXtendido. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia Mecânica, Porto, 2018.
- FUCUHARA, Karina Ayumi.** Aplicação de adesivos estruturais em painéis de carros. 2014. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2014.
- HENKEL.** Tecnologia invisível: onde estão os adesivos nos carros? 6 mar. 2018. Disponível em: <https://www.henkel.com.br/imprensa-midia/press-releases-e-kits/2018-03-07-tecnologia-invisivel-onde-estao-os-adesivos-nos-carros-834342>. Acesso em: 30 ago. 2025.
- HENRIQUE, Diego Tolotti de Almeida João; MAEHLER, Corrêa de Souza Piero David; SIMON, Tiago Roberto.** Efeito da espessura do adesivo no comportamento mecânico de juntas adesivas para aplicação automotiva. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, v. 16, n. 2, p. 228-238, 2019.
- HUNTSMAN ADVANCED MATERIALS.** Adesivos estruturais: epóxi, poliuretano, metacrilato – guia de seleção. São Paulo: Huntsman Brasil Química Ltda., 2010.
- KOWALCZYK, Jakub et al.** Quality tests of hybrid joint—clinchng and adhesive—case study. *Applied Sciences*, v. 12, n. 22, p. 11782, 2022.
- LEBOZEC, N.; LEGAC, A.; THIERRY, D.** Corrosion performance and mechanical properties of joined automotive materials. *Materials and Corrosion*, v. 63, n. 5, p. 408-415, 2012.
- LEE, Seung-A.; KIM, Young Jun.** Novel silicone laminating materials for improved index matching in automotive display applications. *Journal of the Society for Information Display*, v. 29, n. 8, p. 608-619, 2021.
- LOUREIRO, A. L. et al.** Comparison of the mechanical behaviour between stiff and flexible adhesive joints for the automotive industry. *The Journal of Adhesion*, v. 86, n. 7, p. 765-787, 2010.
- MACHADO, J. J. M.; MARQUES, E. A. S.; DA SILVA, Lucas F. M.** Adhesives and adhesive joints under impact loadings: an overview. *The Journal of Adhesion*, v. 94, n. 6, p. 421-452, 2018.
- MARQUES, Eduardo A. S.; CARBAS, Ricardo J. C.; TENREIRO, A. Francisco G.; SILVA, Lucas F. M.** *Introdução às ligações adesivas estruturais*. Porto: Engebook, 2021.
- MENDES, C. N. R. P.** Contribuição ao desenvolvimento de projeto de carrocerias automotivas utilizando adesivo estrutural para junção de chapas metálicas. 2005. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- MORONI, Fabrizio; PIRONDI, Alessandro.** Technology of rivet: adhesive joints. In: *Hybrid adhesive joints*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. p. 79-108.
- NETO, Almir Silva de.** Estudo de tensões e modos de falha no desenvolvimento de juntas adesivas. 2016. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-AC3L4A/1/tese141_ppgmecc_almirsilvaneto_20160531.pdf. Acesso em: 30 ago. 2025.
- NONNENMANN, Timo et al.** Feasibility study on hybrid weld-bonding between dissimilar material for automotive industry. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 121, p. 103316, 2023.
- NUNES, Sara Liliana Silva.** Estudo comparativo da resistência à tração de juntas adesivas de sobreposição simples e dupla. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Politécnico do Porto, Porto, 2015.
- OLIVA, Henrique Nunes Pereira.** Estudo de adesivo epóxi reforçado com nanotubo de carbono e comparação para juntas coladas, rebitadas e híbridas. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2016.
- PERES, Luís Miguel Cardoso.** Análise experimental e numérica de juntas adesivas de sobreposição simples e dupla solicitadas ao impacto. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Politécnico do Porto, Porto, 2019.
- PINE, T.; LEE, M. M. K.; JONES, T. B.** Weight reduction in automotive structures—an experimental study on torsional stiffness of box sections. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, v. 213, n. 1, p. 59-71, 1999.
- RAMAKRISHNAN, Monish Urapakam.** Analysis of tubular adhesive joints in aluminum and composite structures under crush and tensile loads. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica).
- RIBEIRO, J. E.; ESTEVES, J. L. S.** Estudo fotoelástico do campo de tensões em ligações adesivas estruturais. *Mecânica Experimental*, São Paulo, v. 4, n. [fascículo], p. 41-50, jul. 1999.
- SCHNEBERGER, G. L.** Adhesives in the automobile industry. In: *Handbook of adhesives*. Boston, MA: Springer US, 1990. p. 729-735.
- SILVA, Amaro Filipe Marques Vieira da.** Uso de alterações geométricas em juntas adesivas tubulares para melhoria da resistência ao impacto. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia Mecânica, Porto, 2020.

SILVA, Lorena Pessanha. Estudo do efeito da espessura adesiva em juntas de cisalhamento simples coladas com adesivo estrutural. 2019. Relatório final (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus Macaé, Macaé, RJ, 2019.

SHARMA, Shreya et al. Biopolymers in the automotive and adhesive industries. In: *Biopolymers and their industrial applications*. Elsevier, 2021. p. 261-280.

SHINDALKAR, Sarang Subhashchandra; KANDASUBRAMANIAN, Balasubramanian. Emerging applications of hot-melt adhesives for automobile assembly. *Progress in Adhesion and Adhesives*, v. 8, p. 283-303, 2024.

SOUZA, Gabriel França de; SILVA, Bruno Soares da. Efeito do adesivo e do comprimento de sobreposição em juntas coladas. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2015.

SYMIEZ, Dettlef. Structural adhesive bonding: the most innovative joining technique for modern lightweight design, safety and modular concepts—progress report. *SAE Technical Paper*, 2005.

TORRES, Edwar Andrés; RAMIREZ, Antonio Jose. União de juntas dissimilares alumínio-aço de chapas finas pelo processo de soldagem por atrito com pino não consumível (SAPNC). *Soldagem & Inspeção*, v. 16, p. 265-273, 2011.

YUE, Zhongjie et al. An improved J-integral based adhesive joint fatigue life estimation method for automotive structural durability analysis. *The Journal of Adhesion*, v. 100, n. 13, p. 1270-1293, 2024.

ZAGATO, Fernanda; MORALES, Ana Rita. Estudo do efeito de ceras em adesivos hotmelt. Campinas: Faculdade de Engenharia Química – UNICAMP, 2022.