



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

CAMPUS CARAÚBAS

BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ISAC DE OLIVEIRA SANTOS

**ESTUDO DA ADERÊNCIA DE JUNTAS METÁLICAS COLADAS COM
RESINA EPÓXI.**

CARAÚBAS - RN

2015

ISAC DE OLIVEIRA SANTOS

**ESTUDO DA ADERÊNCIA DE JUNTAS METÁLICAS COLADAS COM RESINA
EPÓXI.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-árido
(UFERSA), como exigência final para obtenção do
título de Bacharel em Ciências e Tecnologia.

Orientadora: Adiana Nascimento Silva - UFERSA

Co-orientadora: Ana Claudia de Melo Caldas
Batista - UFERSA

CARAÚBAS - RN

2015

© Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Biblioteca Campus Caraúbas (BCC)

Setor de Informação e Referência

S237e Santos, Isac de Oliveira.

Estudo da aderência de juntas metálicas coladas com resina epóxi/ Isac de Oliveira Santos -- Caraúbas, 2015.

54f.: il.

Orientador: Prof. Me. Adriana Nascimento Silva

Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) –
Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

1. Materiais de construção - epóxi. 2. Juntas metálicas -
aderência. 3. Resina epóxi. I. Título.

RN/UFERSA/BCC

CDD: 691

Bibliotecário: Eugênio Pacelli Ferreira da Costa

CRB-15/658

ISAC DE OLIVEIRA SANTOS

**ESTUDO DA ADERÊNCIA DE JUNTAS METÁLICAS COLADAS COM RESINA
EPÓXI.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-árido
(UFERSA), como exigência final para
obtenção do título de Bacharel em Ciências e
Tecnologia.

APROVADA EM: 03 / 02 / 2015.

BANCA EXAMINADORA



Profª. MSc. Adiana Nascimento Silva - UFERSA

Orientadora – Presidente



Profª. MSc. Ana Cláudia de Melo Caldas Batista – UFERSA

Co-orientadora – Primeiro Membro



Profª. Dra. Guymmann Clay da Silva – UFERSA

Segundo Membro

A Irlândia Santos, minha tia-mãe, uma mulher simples e guerreira que apesar das dificuldades enfrentadas sempre buscou algo melhor a me oferecer. Amo-te infinitamente.

A Lidjane, minha namorada e melhor amiga, que durante esses 6 anos vem sendo um dos pilares mais importantes para meu sustento,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por estar sempre caminhando ao meu lado em todos os momentos de minha vida.

A toda a minha família, que sempre me orientou nos momentos mais difíceis por mim enfrentados, em especial minhas avós Ritinha (em memória) e Bisavó 'Dos Anjos' (em memória) pelos ensinamentos, por ter me criado e ensinado tanto sobre a vida. A minha tia Irlândia, que junto com minha vó Ritinha foram mais que mães e que desde pequeno me ensinou a valorizar as coisas simples da vida, a jamais desistir de meus sonhos e também a correr atrás dos mesmos.

A minha namorada Lidjane Lilazia, que por todo esse tempo junto, vem orientando e me dando forças para jamais desistir e mesmo em distâncias nunca deixou de estar tão perto.

A todos os meus amigos, em especial aqueles que sempre me deram força, que sempre estiveram ao meu lado e fez com que jamais desistisse, aos que estiveram mais perto e aos que sempre se lembraram de mim mesmo em distância, obrigado.

A minha orientadora, professora MSc. Adiana Nascimento Silva, por toda confiança depositada em meu trabalho e por todo ensinamento. Obrigado pelo comprometimento, dedicação e amizade.

A todos os professores do campus de Caraúbas que me acompanharam desde minha chegada a instituição, em especial Cid Ivan, Taciano Sorrentino, Fernando Neres e a professora Guymmann Clay pelo carinho e confiança, meu muito obrigado por tanto conhecimento repassado até então.

A todos que compõe o laboratório de ensaios no Campus de Mossoró, obrigado por tudo.

..., enfim, obrigado a todos por ter me ajudado e fazer com que parte do meu sonho esteja se realizando.

Jesus, eu confio em vós.

RESUMO

A utilização de juntas coladas vem crescendo cada vez mais, e isso, se dá pelo fato desses elementos possuírem propriedades muito semelhantes e em vários casos superiores as uniões convencionais. Essas juntas reduzem a concentração de tensões, possuem excelente relação resistência/peso, são resistentes à corrosão, têm custo reduzido e favorecem a aerodinâmica dos componentes. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência da espessura da camada adesiva nas propriedades de aderência das juntas metálicas (substrato de aço A36) coladas produzidas com resina epóxi Diglicidil Éter de Bisfenol-A (DGEBA). O estudo foi realizado por meio da associação da espessura da camada adesiva com os resultados do ensaio de cisalhamento simples (*single-lap joints* – SLJ) que foi realizado em máquina universal de ensaios mecânicos. Foram produzidas juntas com espessuras da camada adesiva de aproximadamente 0,2 mm, 0,3 mm e 0,4 mm. Observou-se a presença de falha do tipo adesiva na maioria dos corpos de prova, estando estas acompanhadas de baixos valores de tensão de cisalhamento.

Palavras-chave: Adesivo. Juntas Coladas. Aderência.

ABSTRACT

The use of bonded joints is growing more and more and this is partly because these elements having very similar properties and in many cases superior to conventional unions. Those joints reduce the stress concentration, possess excellent strength / weight relation, are corrosion resistant, have reduced cost and favor the aerodynamic components. This study aims to evaluate the influence of the thickness of the adhesive layer on the adhesion properties of bonded metal joints (A36 steel substrate) produced with epoxy resin Diglycidyl Ether of Bisphenol-A (DGEBA). The study was conducted by the association of the thickness of the adhesive layer with the results of the simple shear test (single-lap joints - SLJ) which was held in universal testing machine. Joints with the adhesive layer thickness of approximately 0.2 mm, 0.3 mm and 0.4 mm were produced. It was observed the presence of adhesive like failure in most specimens, these being accompanied by low shear stress values.

Key-words: Adhesive, Bonded Joints, Adherence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Classificação dos materiais.	17
Figura 2.2 – Representações esquemáticas da unidade repetitiva do polietileno (a), politetrafluoroetileno (b), cloreto de polivinila (c) e o polipropileno (d).	18
Figura 2.3 – Exemplos de elastômeros.	20
Figura 2.4 – Fibra de carbono.	21
Figura 2.5 – Objetos feitos com plásticos.	22
Figura 2.6 – Utilização do polietileno.	23
Figura 2.7 – Utilização do poliéster.	23
Figura 2.8 – Estruturas moleculares linear (a), cruzadas (b) e ramificadas (c).	24
Figura 2.9 – Estrutura molecular em rede (ou tridimensional).	25
Figura 2.10 – Comportamento tensão-deformação.	26
Figura 2.11 – Óxido de Etileno.	26
Figura 2.12 – Estrutura química do digicidil éter de bisfenol A.	27
Figura 2.13 – Aplicação do adesivo no carter de um motor.	30
Figura 2.14 - Avião mais moderno, onde sua união é feita por meio de adesivos (a) Avião com estrutura unida por meio de rebites (b). Fonte:Adesivos estruturais na construção de aviões.	31
Figura 2.15 – Tipos de falhas.	33
Figura 2.16 – Zonas de aplicação de adesivo na estrutura de um veículo.	35
Figura 3.1 – Esquema de uma junta SLJ.....	37

Figura 3.2 – Fluxograma das atividades realizadas.	38
Figura 3.3 – Parte superior da fresa de topo (a) e os substratos sendo usinados (b).....	39
Figura 3.4 – Substratos já com processo de jateamento realizado.	39
Figura 3.5 – Balança de precisão (a) e endurecedor e resina (b).	40
Figura 3.6 – Adesivo obtido na união dos componentes A e B.	40
Figuras 3.7 – Dispositivo usado no processo de confecção das juntas coladas, (a) sem substratos e (b) com substratos.	41
Figura 3.8 – Vistas do excesso da camada adesiva, vista frontal (a) e superior (b).	42
Figura 3.9 – Máquina Universal de Ensaio Mecânicos.	42
Figura 3.10 – Garras da máquina segurando o corpo de prova.	43
Figura 4.1 – Vista frontal das juntas produzidas na espessura de 0,4.	44
Figura 4.2 – Vista superior de uma das juntas de espessura 0,4 mm.	45
Figura 4.3 – Superfícies de falhas nas amostras de 0,2 mm.	47
Figura 4.4 – Superfície de falhas com espessura de 0,3 mm.	47
Figura 4.5 – Superfícies de falhas com espessura de 0,4 mm.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	–	Caracterização das resinas epóxi - Alifáticas.	27
Tabela 2.2	–	Caracterização das resinas epóxi - Cicloalifáticas.	28
Tabela 2.3	–	Caracterização das resinas epóxi - Aromáticas.	28
Tabela 2.4	–	Tipos de juntas coladas.	34
Tabela 4.1	–	Valores obtidos.	46
Tabela 4.2	–	Relação percentual entre tipo de falhas e espessura da camada adesiva.	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	16
1.1.1 Objetivo geral	16
1.1.2 Objetivo específico	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 POLÍMEROS	17
2.1.1 Seu histórico	18
2.2 TIPOS DE POLÍMEROS	20
2.2.1 Borrachas	20
2.2.2 Fibras	20
2.2.3 Plásticos	21
2.2.4 Estrutura molecular dos polímeros	23
2.3 EPÓXI	26
2.3.1 Aplicação do epóxi como adesivo	28
2.4 JUNTAS COLADAS	29
2.4.1 Tipos de juntas	32
2.4.2 Aplicação das juntas	34
2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS OBTIDAS NA UTILIZAÇÃO DOS ADESIVOS.....	35
3. METODOLOGIA	38
3.1 PREPARAÇÃO DOS SUBSTRATOS	39

3.2 PREPARAÇÃO E CURA DAS JUNTAS	40
3.3 ENSAIOS DE CISALHAMENTO	43
4. RESULTADOS E DISCURSÃO	45
4.1 JUNTAS COLADAS	45
4.2 ENSAIO DE CISALHAMENTO	46
4.3 TIPO DE FALHA	47
5. CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXO – A	52

1. INTRODUÇÃO

A resina epoxídica está incluída na classe dos polímeros termorrígidos, as mesmas apresentam como principais características o alto módulo de elasticidade, uma baixa densidade, boa resistência à corrosão, condutividade elétrica e térmica baixa e ainda uma boa aderência.

Esses adesivos são muito utilizados no setor aeroespacial, automobilístico, naval, entre outros, como revestimentos isolantes, matrizes de estruturas, podendo em alguns casos reduzir o custo de fabricação de 20 a 30%, e, além disso, reduzir o peso final do produto em até 25% (BARBOSA, 2010).

A utilização desse tipo de material no processo de adesão ganhou maior credibilidade quando a indústria aeroespacial realizou os primeiros estudos da preparação das superfícies a serem coladas, a metodologia de realização dos testes e também o projeto de confecção das juntas utilizadas (QUINI, 2011).

O uso de adesivos como substituição das uniões convencionais tem crescido, e é consequência do fato dessas resinas possuírem além das características já apresentadas, um custo baixo, por serem muito versáteis e possuírem uma densidade muito baixa se comparada com materiais metálicos, o que fica bastante evidente a necessidade de melhorar cada vez suas propriedades e descobrir novas possibilidades de utilização.

Dessa forma, o presente trabalho irá mostrar a evolução da utilização desse tipo de material, como são formados e classificados, como ocorre à produção de juntas metálicas unidas com adesivo, realizando ensaios de cisalhamento, e assim, avaliar a adesão do adesivo Epoxiglass (DGEBA) em um substrato de aço (Aço-A36) para diferentes espessuras da camada adesiva.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivos Geral

Analisar a influência da espessura da camada colada nos resultados de aderência de juntas unidas com resinas epóxi.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Preparar os substratos de aço A36;
- Produzir juntas com diferentes espessuras da camada de adesivo;
- Executar ensaio de cisalhamento nas juntas coladas.

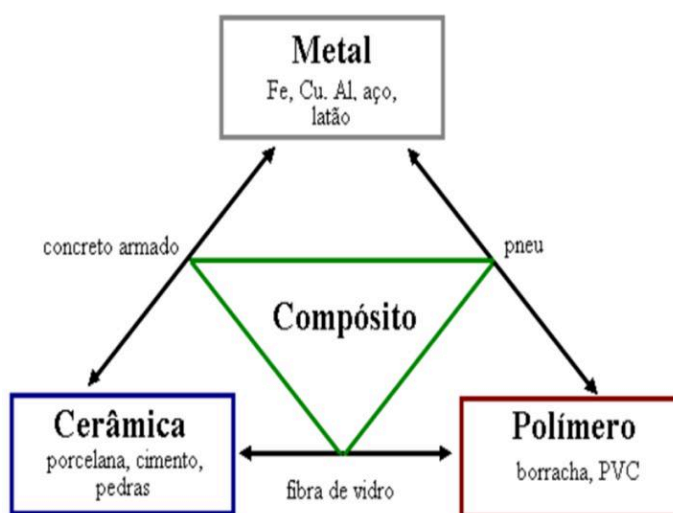
2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os materiais possuem várias formas de classificação, de acordo com Askeland (2013), uma delas considera cinco categorias, que se segue:

- Metais e suas ligas;
- Cerâmicas, vidros e vidros-cerâmicas;
- Polímeros (plásticos);
- Semicondutores; e
- Materiais compósitos.

Figura 2.1 – Classificação dos materiais, fonte:

<http://www.ct.ufrgs.br/ntcm/graduacao/ENG06638/IEM-Texto-0.pdf> (18/02/2015).



Dentre os materiais apresentados, o presente trabalho irá tratar mais especificamente dos poliméricos (resinas epóxicas).

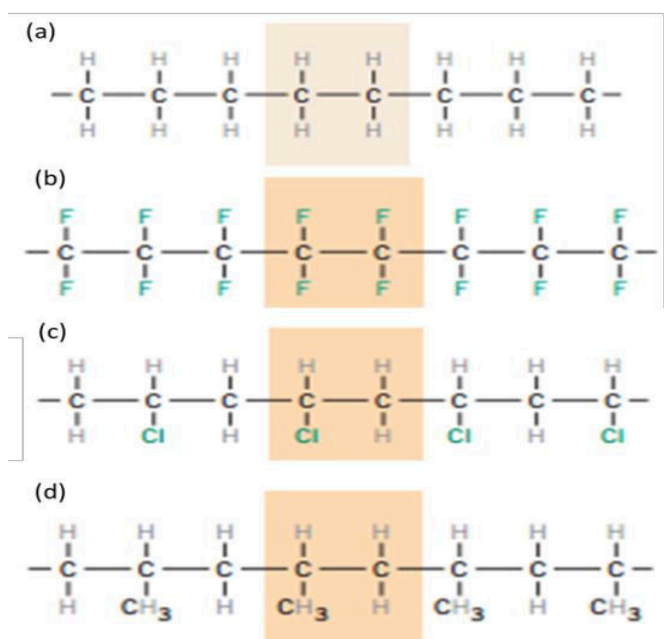
2.1. POLÍMEROS

O polímero originou-se do grego *poli* (muitos) e *mero* (unidade de repetição), assim, o polímero é uma macromolécula composta por muitas (dezenas de milhares) de unidades de repetição denominadas meros, que são ligadas por ligação covalente (CANEVAROLO JR.,

2002). A matéria prima para a produção de um polímero é o monômero, que segundo Askeland (2013), são pequenas moléculas unitárias e repetitivas.

A imagem a seguir mostra as unidades repetitivas de alguns polímeros em uma representação esquemática desta unidade monomérica, onde na mesma imagem, na parte em destaque encontra-se os monômeros de cada representação, mostra-se ainda que várias ligações entre as unidades monoméricas formam o polímero, são elas:

Figura 2.2 – Representações esquemáticas da unidade repetitiva do polietileno (a), politetrafluoroetileno (b), cloreto de polivinila (c) e o polipropileno (d) (CALLISTER, 2013).



2.1.1. Seu Histórico

De acordo com Canevarolo Jr. (2002), o primeiro contato que o homem teve com materiais resinosos e graxas extraídas e/ou refinadas se deram na antiguidade, com os egípcios e romanos que usavam esse tipo de material para carimbar, colar documentos e vedar vasilhames.

No século XVI, espanhóis e portugueses tiveram o primeiro contato com um produto obtido da coagulação e secagem do látex, que era extraído de uma árvore natural das Américas (*Hevea Brasiliensis* – Seringueira ou Árvore da borracha), o mesmo apresentava características de alta elasticidade e flexibilidade, que até então eram desconhecidas (CANEVAROLO JR., 2002).

O mesmo ainda cita que esse material depois de levado para a Europa, recebeu o nome de borracha, pois apresentava capacidade de apagar marcas feitas pelos lápis. Porém, sua utilização ficou restrita até a descoberta da vulcanização, em 1839 por Charles Goodyear, que é feita principalmente de enxofre que confere à borracha características de elasticidade, não pegajosidade, resistência à abrasão e durabilidade que são tão comuns nos dias atuais. Depois de sete anos (1846) um químico alemão conseguiu sintetizar o primeiro polímero, do tipo semi-sintético, quando tratou o algodão com ácido nítrico, originando a nitrocelulose.

Alguns anos mais tarde, um inglês com nome de Alexander Parker conseguiu dominar completamente tal técnica, onde patenteou a nitrocelulose. Já o primeiro polímero sintético foi produzido em 1912 por Leo Baekeland, isso se deu através da reação entre o fenol e o formaldeído, reação esta que gera um produto sólido (resina fenólica), que hoje é conhecida como baquelite, termo derivado do nome de seu inventor (CANEVAROLO JR., 2002).

O polímero é um material que era produzido pela química incipiente do final do século XX e que até então era considerado como colóides, sendo formado, na verdade, de gigantescas moléculas, que podiam resultar da ligação de 10.000 ou mais átomos de carbono, apresentando um peso molecular bastante elevado (MANO, 1991).

Ainda de acordo com Mano (1991), em 1920, Hermann Staudinger (considerado o pai dos polímeros) propôs a teoria da macromolécula ficando comprovado que a natureza dessas era semelhante à das moléculas pequenas, já conhecidas, e possibilitaram assim o desenvolvimento dos materiais poliméricos de modo bem mais acentuado. Em seguida, seu trabalho foi corroborado por investigações de outros pesquisadores, como Mark e Marvel.

O grande avanço na área dos materiais se deu a partir do término da segunda guerra mundial, materiais sintéticos podiam ser produzidos com um custo bem baixo, e com propriedades que poderiam ser ‘moldadas’, tornando muitos deles superiores aos seus análogos naturais. Materiais como a madeira e o metal foram então substituídos por materiais poliméricos que por sua vez possuíam propriedades superiores e relação custo benefício mais satisfatória (CALLISTER, 2013).

2.2. TIPOS DE POLÍMEROS

Os polímeros são produzidos a partir de reações moboméricas, como por exemplo, reações de condensação, polimerização e outras, sendo estas influenciadas pelo tipo de monômero utilizado, número médio de meros por cadeia e tipo de ligação covalente (CANEVAROLO, 2002).

Os polímeros podem ser divididos em três grandes grupos, a saber: as borrachas, as fibras e os plásticos.

2.2.1. Borrachas

Esses polímeros são também conhecidos como elastômeros, muitos desses podem ser naturais ou sintéticos. Apresentam uma enorme deformação elástica quando submetidos a uma tensão, podendo variar mais de 200%, suas utilizações vão desde pneus de automóveis, anéis de vedação, mangueiras (ASKELAND, 2013) e etc. A figura 2.3 ilustra mais alguns exemplos.

Figura 2.3 – Exemplos de elastômeros, fonte: <http://www.alunosonline.com.br/quimica/a-classe-polimeros-dos-elastomeros.html> (18/02/2015).

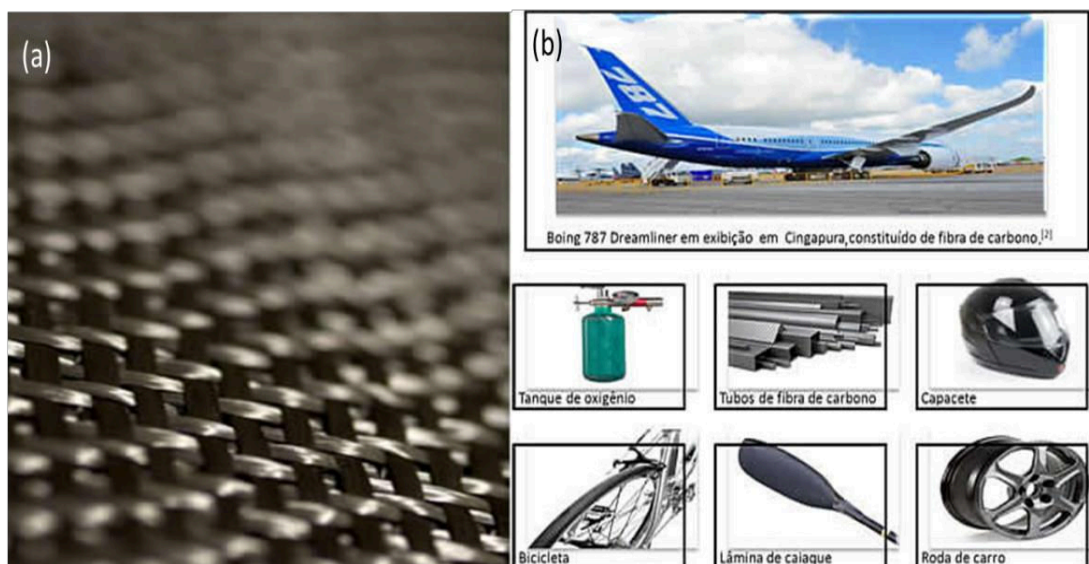


2.2.2. Fibras

As fibras são elementos filiformes, apresentam um elevado comprimento em relação à dimensão transversal máxima e são caracterizadas pela sua flexibilidade e pequena espessura.

Geralmente são utilizadas na manufatura, podendo ser fiadas, para posteriormente formar linhas, cordas ou fios. São classificadas de acordo com sua origem em: natural, artificial ou sintética. A figura 2.4 mostra algumas utilizações da fibra que podem ser encontradas no dia-a-dia.

Figura 2.4 – Fibra de carbono, fonte: <http://www.brasilescola.com/quimica/fibra-carbono.htm> (18/02/15).



O trabalho em questão tem por objetivo o estudo dos polímeros pertencentes ao grupo dos plásticos, assim, daremos ênfase maior às resinas epóxi.

2.2.3. Plásticos

Os plásticos são materiais orgânicos, polímeros sintéticos e de constituição macromolecular. São dotados de grande maleabilidade e pode ser facilmente transformável sob ação do calor ou pressão, é utilizado na fabricação de diversos objetos, como: sacolas, vasos, cortinas, bijuterias, roupas, sapatos e etc.

Figura 2.5 – Objetos feitos com plásticos, fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1stico>

(18/02/2015).



Possivelmente, o maior número de materiais poliméricos diferentes enquadra-se nesta classificação, os plásticos são materiais com alguma rigidez estrutural sob carga e são empregados em aplicações de uso geral, devido apresentarem uma infinidade de formas (CALLISTER, 2013). Os mesmos são subdivididos em termoplásticos e termorrígidos, a depender do comportamento que adquirem em sua fabricação.

Os termoplásticos possuem capacidade de amolecer e fluir quando sujeitos a uma variação, tanto de temperatura como de pressão e apresentam características de reversibilidade (ao serem aquecidos fluem, quando resfriados adquirem a forma do recipiente que o contém e ao serem reaquecidos, produz-se o mesmo efeito de amolecimento), são fusíveis, solúveis e recicláveis. Exemplos: Polietileno (PE), Poliestireno (PS), Poliamida (Náilon), etc. (CANEVAROLO JR., 2002). Um exemplo da utilização dos termoplásticos é encontrado na figura 2.6.

Figura 2.6 – Utilização do polietileno, fonte: <http://www.alunosonline.com.br/quimica/polimeros-adicao.html> (18/02/2015).



Já os termorrígidos são polímeros em rede, sua estrutura molecular é tridimensional, tornando-o permanentemente rígidos durante sua formação e não amolecem sob aquecimento. Em geral são mais duros e resistentes se comparado aos termoplásticos, são exemplos desse tipo de polímero as borrachas vulcanizadas, os epóxis, as resinas fenólicas e algumas resinas poliéster (CALLISTER, 2013).

Figura 2.7 – Utilização do poliéster, fonte: <http://www.riberglass.com.br/artesanato-com-resina-poli%C3%A9ster.php> (18/20/2015).

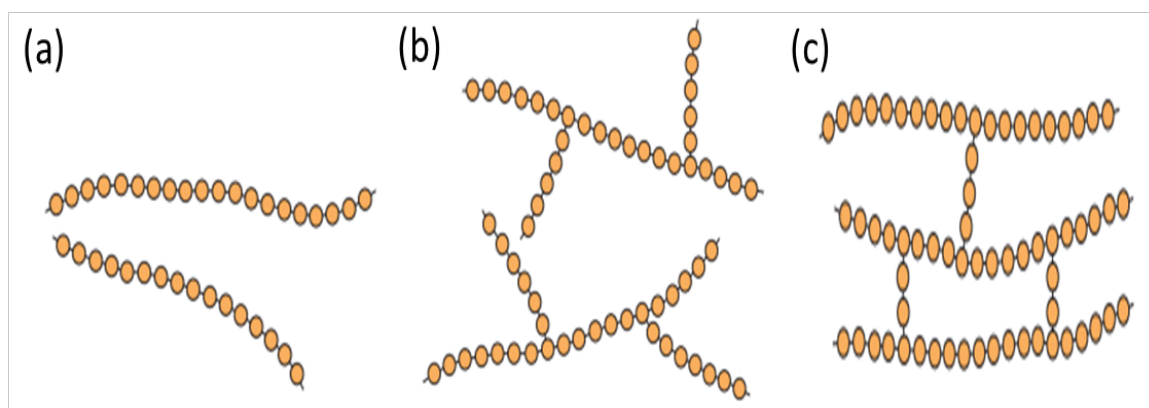


2.2.4. Estrutura Molecular dos Polímeros

As características físicas dos polímeros dependem não só de sua grande massa molar e da sua forma, dependem também das diferenças existentes em sua estrutura e das suas cadeias moleculares (CALLISTER, 2013).

Das possibilidades de classificação desse tipo de material, os mesmos podem apresentar-se de forma: linear, ramificado, com ligações cruzadas e com ligações em rede. Callister (2013), cita que os polímeros lineares são os que possuem unidades repetitivas ligadas umas as extremidades das outras, apresentando formato semelhante a os ‘espaguetes’ (Figura 2.8 (a)). Os polímeros ramificados são os que possuem cadeias com ramificações laterais, que por sua vez são ligadas às cadeias principais (Figura 2.8 (b)). Os polímeros com ligações cruzadas possuem cadeias lineares adjacentes unidas umas às outras em posições diferentes por meio de ligação covalente (Figura 2.8 (c)).

Figura 2.8 – Estruturas moleculares linear (a), cruzadas (b) e ramificadas (c) (CALLISTER, 2013).

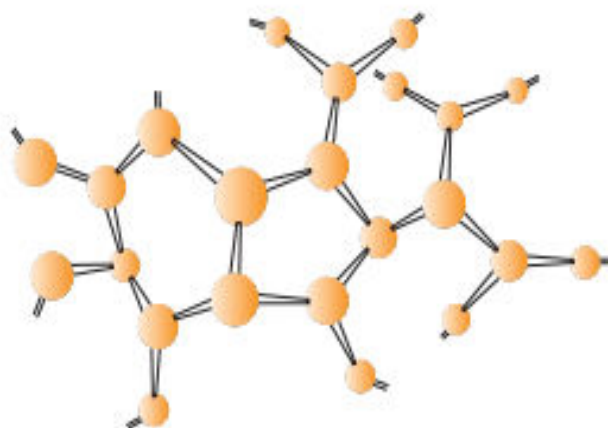


A estrutura molecular dos polímeros termofixos, que será objeto de estudo deste trabalho são altamente reticuladas, formam uma estrutura de rede tridimensional. Essas cadeias moleculares não permitem que os mesmos rotacionem ou deslizem, o que os confere boa resistência mecânica, rigidez e dureza (ASKELAND, 2013).

Quando submetidos a ensaios de tração, apresentam comportamentos similares aos das cerâmicas e metais frágeis. Por outro lado os mesmos possuem baixa ductilidade e resistência ao impacto, além de uma alta temperatura de transição vítrea (ASKELAND, 2013). Essa transição é definida por Callister (2013) como a temperatura na qual o polímero apresenta a transição do estado borachoso para o estado rígido.

As técnicas mais modernas de produção dos polímeros permitem um controle bastante considerável sobre as suas várias possibilidades estruturais, são elas: Polímeros Lineares (Ex.: Polietileno, náilon, cloreto de polivinila), Polímeros Ramificados (Ex.: Polietileno de Baixa Densidade – PEBD), Polímeros com Ligações Cruzadas (Borrachas) e os Polímeros em Rede que dentre outros polímeros corresponde a estrutura molecular das resinas epóxi. Na figura 2.9, observam-se os monômeros responsáveis pela formação das redes tridimensionais que estão presentes nesses materiais. (CALLISTER, 2013).

Figura 2.9 – Estrutura molecular em rede (ou tridimensional) – (Callister, 2013).

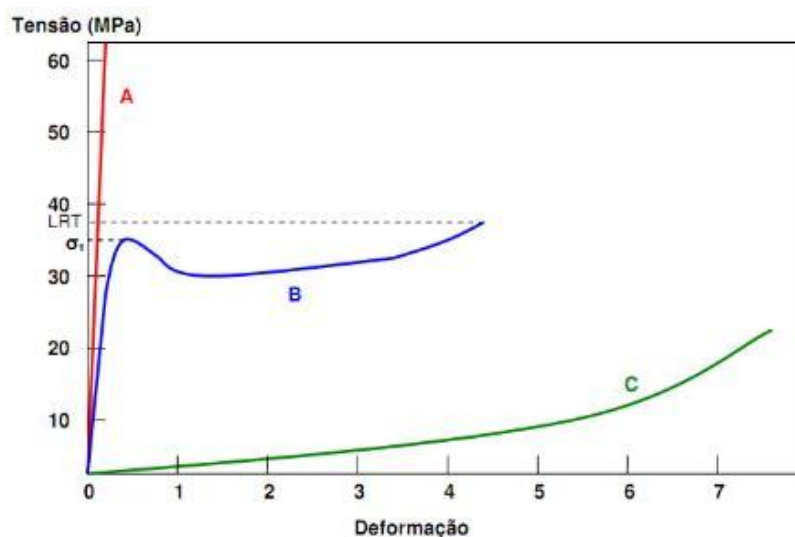


As propriedades mecânicas dos polímeros foram especificadas por muitos dos mesmos parâmetros utilizados para os metais, isto é, módulo de elasticidade, limite de escoamento e o limite de resistência à tração.

As características mecânicas dos polímeros, em sua grande maioria, são altamente sensíveis à taxa de deformação, à temperatura e a natureza do ambiente. Para esse tipo de material são necessárias algumas modificações técnicas de ensaio e dos corpos de prova (CALLISTER, 2013).

Dentre os comportamentos apresentados para essa classe de material, podemos citar os encontrados na figura 2.10, para os polímeros frágeis (A), plásticos (B) e os elastômeros (C).

Figura 2.10 – Comportamento tensão-deformação (CALLISTER, 2002).

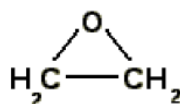


O comportamento dos plásticos são muito semelhantes ao de muitos materiais metálicos, apresentam uma deformação inicial elástica, seguida por escoamento e uma região de deformação plástica.

2.3. EPÓXI

O termo epóxi, que foi originado do grego ‘EP’ (sobre ou entre) e ‘OXI’ (oxigênio), pode significar literalmente oxigênio entre carbonos, referindo-se a um grupo constituído por um átomo de oxigênio ligado a dois de carbono. Esse grupo epóxi mais simples é formado por um anel de três elementos, que é representado pelo óxido de etileno na figura abaixo (BARBOSA, 2010).

Figura 2.11 – Óxido de Etileno (Barbosa 2010).



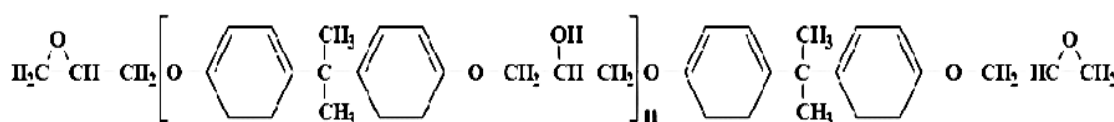
As resinas epóxi são misturas feitas com diversos materiais em quantidades variáveis ou não. Os principais sistemas encontrados de resinas epóxi são na forma de resina e agente de cura (também conhecido por endurecedor, que funciona como um catalisador), esses

sistemas podem muitas vezes incluir solventes, diluentes reativos e cargas (HUNTSMAN – Guia de Manuseio Seguro – Advanced Materials – Sistemas de Resina Epóxi).

Segundo Altidis (2013), quando a resina reage com o agente de cura, torna-se um polímero termorrígido com excelente resistência mecânica, química e de isolamento elétrica, garante excelente desempenho nas aplicações em pisos industriais, revestimentos corrosivos, embalagens e compósitos. Essas resinas são caracterizadas por possuírem em sua estrutura molecular um ou mais grupos epóxi.

A resina epóxi Diglicidil Éter de Bisfenol-A (DGEBA), (Figura 2.12) é, atualmente, uma das mais usadas, pois além de ser muito versátil é de baixo custo, podendo ainda apresentar-se em três formas: líquida, sólida ou semi-sólida (BARBOSA, 2010).

Figura 2.12 – Estrutura química do diglicidil éter de bisfenol A (Barbosa 2010).



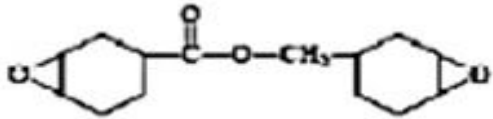
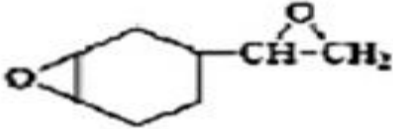
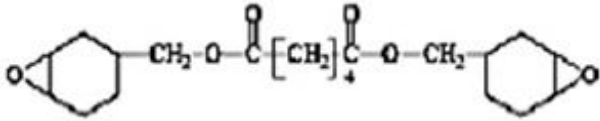
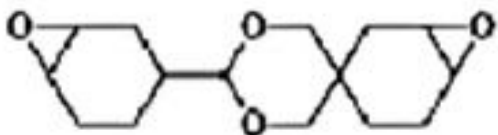
O mesmo ainda cita que essas resinas são classificadas comercialmente como mostradas na ilustração das tabelas a baixo, sendo que a utilizada neste trabalho estará inclusa no grupo das resinas aromáticas.

Tabela 2.1 – Caracterização das resinas epóxi – Alifáticas.

Fórmula	Nome
Alifáticas	
	Diglicídido éter de propileno glicol
	Diglicídido éter de neopentil glicol
	Diglicídido éter de butadienol

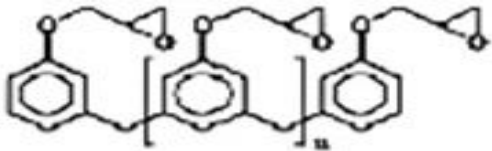
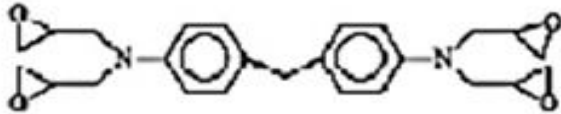
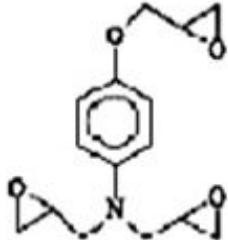
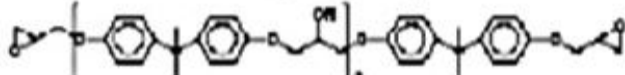
(adaptado de BARBOSA, 2010).

Tabela 2.2 – Caracterização das resinas epóxi – Cicloalifáticas.

Fórmula	Nome
Cicloalifáticas	
	3,4 – epóxiciclohexanocarboxilato de 3,4 - epóxiciclohexilmetila
	3,4 – epóxiciclohexiloxirano
	adipato de di 3,4 - epóxiciclohexilmetila
	2(3,4 epóxiciclohexil) 6,3 ciclohexil 5,1 dioxano

(adaptado de BARBOSA, 2010).

Tabela 2.3 – Caracterização das resinas epóxi - Aromáticas

Fórmula	Nome
Aromáticas	
	Poliglicídio éter de fenol formaldeído
	Tetraglicídio diamino difenil metano (TGDDM)
	N, N, O – Triglicídio p-aminofenol (TGA)
	Diglicídio éter de bisfenol-A (DGEBA)

(adaptado de BARBOSA, 2010).

Para todos os adesivos, à exceção dos sensíveis à pressão, são aplicados como um líquido de baixa viscosidade, de forma a cobrir por igual e completamente as superfícies a serem aderidas e a permitirem máximas interações de colagem.

A efetiva junta adesiva se forma conforme o adesivo passa por uma transição de líquido para sólido (ou cura), o que pode ser obtido por meio ou de um processo físico (por exemplo, cristalização, evaporação do solvente) ou de um processo químico (por exemplo, polimerização). Uma união bem feita deve incluir como características uma elevada resistência ao cisalhamento, ao arrancamento e à fratura (CALLISTER, 2013).

2.3.1. Aplicação do Epóxi como Adesivo

Na base da tecnologia contemporânea dos adesivos está o aparecimento do epóxi, que pode ser formulado em uma grande variedade de formas com o intuito de fornecer um amplo espectro de características e propriedades mecânicas. Os adesivos de base epoxídica possuem alta resistência mecânica, apresentam excelente aderência a diversos tipos de fibras e substratos, são resistentes às ações químicas e apresentam baixa retração durante o processo de cura (CORDEIRO, 2014).

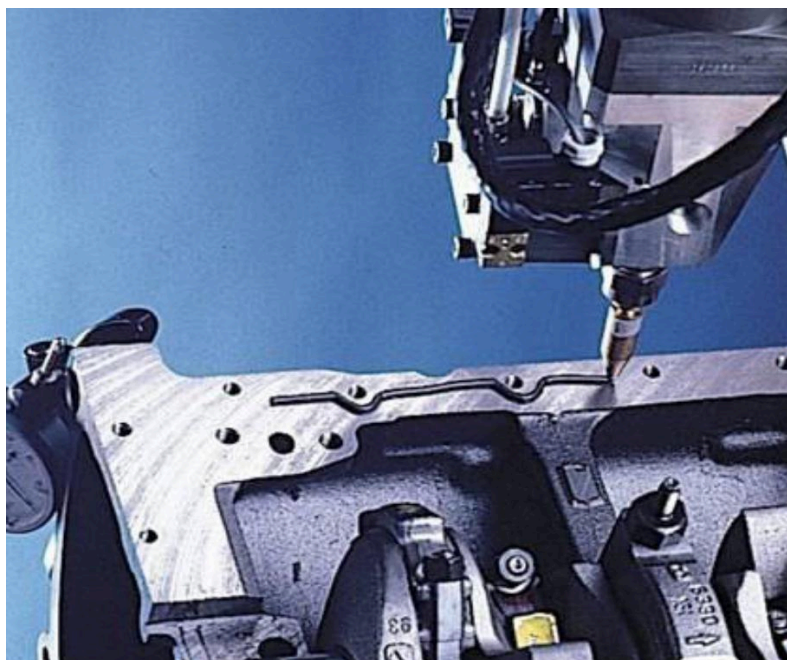
O emprego das resinas epóxi visando suas propriedades de adesividade tem aumentado devido ao grau de aderência que esses materiais permitem. Atualmente essas resinas abrangem uma vasta gama de propriedades, desde líquidos de baixa viscosidade sem solvente até sólidos de alto ponto de fusão, sendo utilizados na construção civil como revestimentos de pisos industriais, em revestimento interno de recipientes de cerveja e refrigerantes e na indústria eletrônica em placas de circuito impresso, encapsulamentos de componentes, entre outros. Essa vasta variedade de aplicações se deve a sua boa resistência a processos de corrosão e deformações mecânicas e boa adesão (ALTIDIS, 2013).

2.4. JUNTAS COLADAS

A utilização de juntas para união de materiais tem sido objeto de estudo em diversos segmentos, como: automobilístico, aeronáutica, indústria de petróleo e equipamentos esportivos etc.

Como exemplo, podem ser usados na vedação de componentes como os motores automotivos, vedando-o e impedindo a passagem de gases ou líquidos entre as superfícies. A figura 2.13 mostra a utilização desse tipo de adesivo na área.

Figura 2.13 – Aplicação do adesivo no carter de um motor (VEIGA, 2010).



De acordo com Garcia (2006), a utilização de adesivos epoxídicos para união de metais, por exemplo, surgiu na década de quarenta quando os produtos monoméricos tornaram-se viáveis comercialmente, foi então que os engenheiros e os projetistas começaram a utilizá-los com sucesso no lugar dos métodos convencionais de união, tendo em vista que os adesivos produziam estruturas mecanicamente equivalentes e em alguns casos superiores aos antigos meios de união e ainda possuíam um custo de produção inferior.

Essa tecnologia tem demonstrado um grande potencial, pois possui capacidade de transformar estruturas complexas em montagens sólidas e unitárias, podendo ser feita com materiais de diversos tipos (QUINI, 2011).

A utilização desse tipo de união é realizada quando se quer produzir um equipamento em uma única peça, não é possível utilizar os métodos convencionais de união, logo, essa produção se torna inviável, tornando-se necessário dividi-la em várias partes e a partir daí uni-las (RIBEIRO, 2009). Por exemplo, nas uniões convencionais as partes unidas podem ser claramente identificadas, isso por apresentarem inúmeros parafusos, rebites ou cordões de solda, porém, quando se utiliza os adesivos é necessário uma análise mais criteriosa, pois seu acabamento favorece um designer mais vantajoso. Na figura 2.14 podemos ver claramente o que foi mencionado.

Figura 2.14 - Avião mais moderno, onde sua união é feita por meio de adesivos (a) Avião com estrutura unida por meio de rebites (b). Fonte: Adesivos estruturais na construção de aviões.



Dentre as vantagens, o mesmo cita que essas uniões apresentam um melhor acabamento (na indústria aeronáutica, esse acabamento reduz a perturbação do escoamento do ar, favorecendo assim o deslocamento da aeronave), outra vantagem é que essa união não apresenta pontos onde se concentram as tensões, ocorrendo assim uma distribuição mais uniforme do carregamento. Essas emendas ou uniões passam a integrar as referidas estruturas, propiciando além da redução do peso estrutural, um aumento considerável na resistência mecânica e rigidez do componente.

Na indústria automobilística, cerca de quatro a cinco quilos de adesivos são atualmente utilizados na união de diferentes partes de um automóvel e a tendência é de que aumente ainda mais, isso pelo fato desse tipo de união reduzir a concentração de tensão, a transferência de carga suave em largas áreas de colagem, à boa resistência à fadiga, a redução de custos e de peso no processo de fabricação, um melhor acabamento, excelentes propriedades térmicas e elétricas e uma maior resistência à corrosão (SOUZA, 2009).

Em estudos de juntas coladas, frequentemente rugosidade superficial e aderência são utilizados como parâmetros de utilização dessas juntas adesivas. A relação entre rugosidade superficial e adesão não é tão simples como parece ser, um mesmo perfil de rugosidade pode resultar em diferentes valores de molhabilidade para adesivos semelhantes. Essa relação entre textura superficial e adesão depende de vários fatores, dentre eles: tensão superficial do adesivo e também do substrato, a viscosidade do adesivo, temperatura e umidade na colagem (SAMPAIO, 2006).

De acordo com a teoria da interligação mecânica, a rugosidade da superfície permite a penetração do adesivo nas irregularidades depositando-se nos vales entre os picos do substrato, promovendo assim o ‘ancoramento’ entre as superfícies (SAMPAIO, 2006). Esse processo de acabamento superficial pode ser realizado por tratamento mecânico (jateamento abrasivo por granalha de aço ou areia) ou tratamento químico (realizado com ataque ácido).

Além da teoria citada acima existe a teoria da adesão, da adsorção, a eletrostática e a da difusão, que tentam explicar o comportamento da aderência nas juntas coladas.

Outro fator de grande influência no comportamento de aderência é a espessura da camada de adesivo. Diversos pesquisadores reportam valores de espessuras típicas para a camada adesiva, embora se saiba que essa escolha está intimamente ligada ao tipo de adesivo utilizado, espessuras entre 0,05 e 0,6 mm são típicas para a maioria das colagens estruturais (SAMPAIO, 2006).

2.4.1. Tipos de Juntas

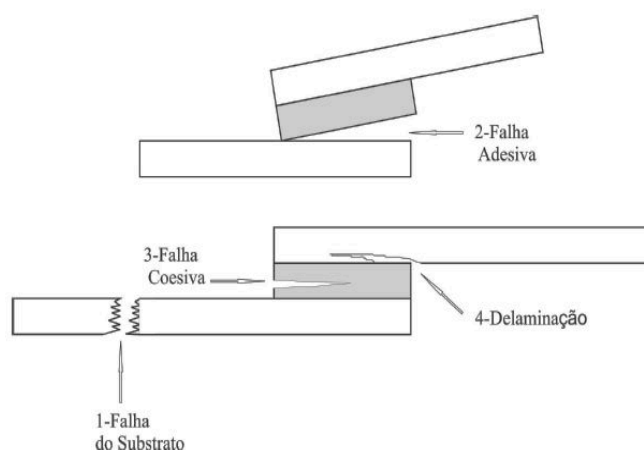
Um projeto adequado de juntas estruturais, ou seja, aquelas formadas utilizando adesivos estruturais é essencial para o sucesso da aplicação, principalmente onde a exigência seja extrema como, por exemplo, aplicações aeroespaciais e automotivas (QUINI, 2011). O mesmo ainda cita que o conhecimento das forças que atuarão sobre a junta é fundamental para projetá-la, desta maneira, pode-se aproveitar com maior eficiência as vantagens do adesivo utilizado.

Os quatro principais tipos de carregamentos encontrados em juntas unidas por adesão são tensão normal trativa, cisalhamento, compressão e descascamento. Esses ensaios simulam

as junções na estrutura real e são amplamente utilizados por sua simplicidade e baixo custo, seus resultados dão principalmente uma indicação da confiabilidade do processo de união (SOUZA, 2009).

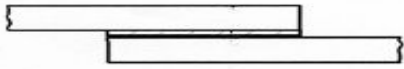
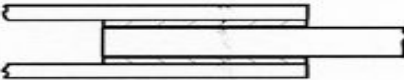
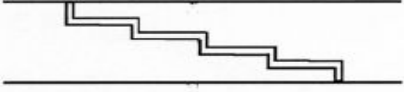
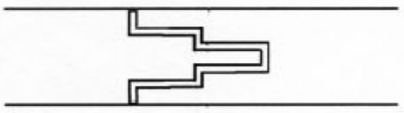
Uma junta colada submetida a algum esforço mecânico pode sofrer falha através de quatro modos diferentes, conforme a figura a baixo ilustra, 1-falha do substrato, 2-falha na interface adesivo-substrato, também chamada falha adesiva, 3-falha no interior do corpo de adesivo, conhecida também por falha coesiva e 4-falha do substrato fora do plano, mais conhecida como delaminação que ocorre apenas para materiais anisotrópicos por falha inter ou intra laminar (QUINI, 2011).

Figura 2.15 – Tipos de falhas (QUINI 2011).



Existem vários tipos de juntas coladas, podendo-se citar as juntas simples (*'single lap joints'*), juntas duplas (*'double lap joints'*), juntas em ângulo (*'scarf joints'*) e as juntas *'Stepped lap'*, na tabela 2.4, encontram-se os tipos mais comuns de juntas coladas (RIBEIRO, 2009).

Tabela 2.4 – Tipos de juntas coladas

Tipo de Junta	Nome
	Single Lap
	Double Lap
	Double Strap
	Stepped Lap
	Double Stepped Lap
	Single Scarf
	Double Scarf

(adaptada de RIBEIRO, 2009).

2.4.2. Aplicações das Juntas

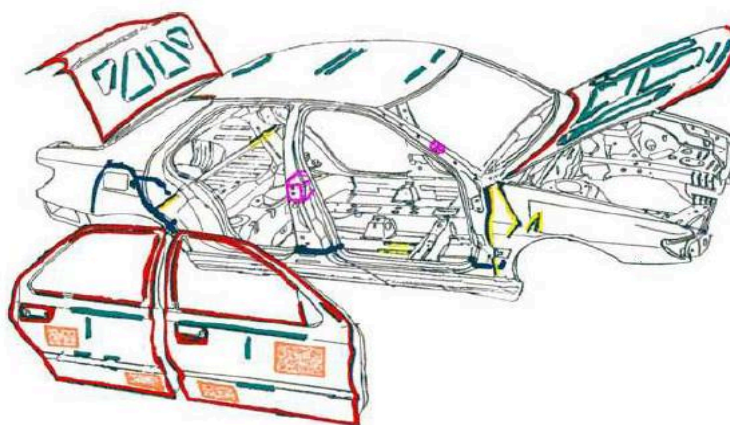
O uso de adesivos estruturais tem se intensificado cada vez mais na indústria do compósito por serem capazes de unir de modo eficaz materiais diferentes de forma irreversível, podendo substituir os sistemas de fixação mecânica.

Tal avanço deve-se em parte ao conhecimento adquirido na indústria aeroespacial, onde os primeiros estudos de preparação de superfície, metodologia de testes e projeto de junta foram concebidos, dando maior credibilidade ao conceito de adesão estrutural, um exemplo é o avião militar F-18 que possui as asas em compósito de fibra de carbono coladas a uma estrutura lateral de titânio a partir de um desenho de junta apropriado que distribuiu os esforços mecânicos (QUINI, 2011).

A maioria das aplicações das juntas coladas encontra-se na área de desenvolvimento de estruturas aeroespaciais, onde juntas feitas de materiais compósitos são utilizadas devido ao peso reduzido combinado a possibilidade de diferentes *designs* que permitem a redução da concentração de tensões. O Boeing 747, por exemplo, apresenta 62 % de sua superfície construída a partir da colagem adesiva, enquanto o avião Lockheed C-5^a possui uma área de 3250 m² de sua estrutura sob a forma de juntas coladas (SILVA, 2007).

Na área automobilística sua utilização também é ampla, como em componentes estruturais ou não estruturais (SOUZA, 2009). Na figura 2.16, podemos ver algumas partes de um veículo de passeio onde são empregados diversos tipos de adesivos.

Figura 2.16 – Zonas de aplicação de adesivo na estrutura de um veículo (SOUZA,2009).



No Brasil, a utilização de adesivos estruturais para veículos de transporte iniciou-se nos anos 80 pela necessidade encontrada em seguir especificações elaboradas pelas matrizes de algumas das montadoras multinacionais na colagem de capôs, grades e para-choques produzidos em compósitos de poliéster e fibra de vidro. Deste modo, passou-se então a utilizar, para tais aplicações, um adesivo de poliuretano bicomponente importado (QUINI, 2011).

Com o sucesso da utilização desse componente, o conceito de colagens estruturais evoluiu e nos dias atuais, praticamente todas as montadoras de veículo de transporte de carga e de passageiros empregam a técnica utilizando adesivos uretânicos, epóxis e metacrilatos. Outras aplicações envolvem a fabricação de lanchas, veleiros, jet skis, hélices dos captadores de energia eólica, tubulações, aeronaves e peças técnicas em geral que também têm utilizado com maior frequência esses adesivos estruturais (QUINI, 2011).

2.5. VANTAGENS E DESVANTAGENS OBTIDAS NA UTILIZAÇÃO DOS ADESIVOS

Dependendo do adesivo utilizado, do projeto da junta, das técnicas de aplicação e da função pretendida para a montagem final a união por colagem pode oferecer uma ou mais vantagens (SOUZA, 2009), são elas:

- Habilidade de unir uma grande variedade de materiais que podem diferir em composição, coeficientes de expansão térmica, módulo de elasticidade e espessura. Por exemplo, placas finas e folhas podem ser unidas onde outros métodos de fixação causariam distorção ou destruição do material;
- Eliminação de superfícies irregulares causadas por rebites e parafusos, com a consequente melhoria da aparência do produto final;
- Fabricação de formatos complexos, onde outras formas de fixação são impraticáveis;
- Redução do peso;
- Camadas adesivas podem agir como isolantes térmicos, elétricos ou acústicos e também podem reduzir ou prevenir corrosão galvânica entre dois materiais dissimilares;
- Alta capacidade de amortecimento e grande alongamento, que muitos adesivos têm, permitem que tensões sejam absorvidas, distribuídas ou transferidas, melhorando, portanto a resistência à fadiga e promovendo boa capacidade de amortecer vibrações;
- Na estrutura unida por adesão não são feitos furos ou trabalhos mecânicos ou térmicos no aderente, portanto, as propriedades físicas do aderente são mantidas após a fabricação da estrutura colada;
- Uma maior uniformização da distribuição de tensões sobre toda a área de união, com minimização de concentração de tensões, tais como aquelas que ocorrem com pequenas áreas de contato associadas aos rebites, pinos ou soldas. Assim sendo, frequentemente, materiais mais finos podem ser usados sem perda de resistência e, portanto, há redução de peso e custo;
- Eliminação de algumas operações, tais como perfuração, uso de parafusos ou filetes e acabamento, simplificações na montagem e a possibilidade da junção de vários componentes ao mesmo tempo.

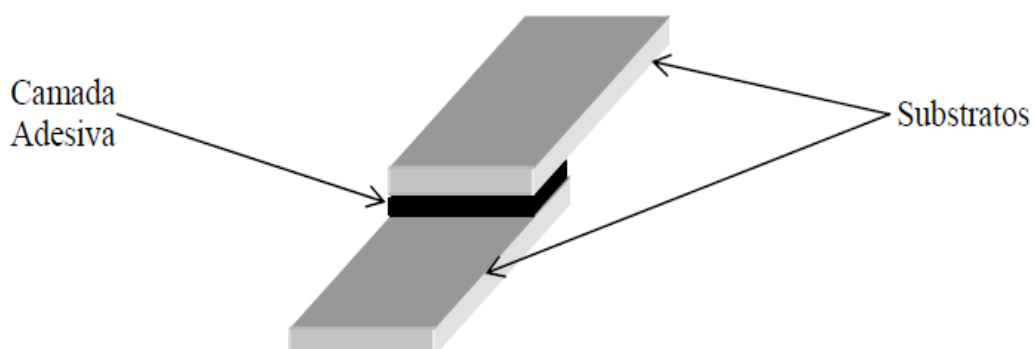
O mesmo ainda cita que essa união também tem suas limitações, embora os desenvolvimentos dos processos de colagem tendam a minimizá-las. Dentro destas desvantagens que são comprovadamente restritas, estão:

- Resistência limitada dos adesivos poliméricos, especialmente ao calor;
- Estruturas coladas não são facilmente demonstradas para reparo;
- A durabilidade da junção em ambientes agressivos deve ser avaliada. Ambientes onde existem fatores tais como o calor, frio, agentes químicos, radiação e biodeterioração podem causar a degradação acelerada do adesivo;
- A exigência de equipamentos e acessórios especiais para a colagem pode elevar significativamente os custos da produção;
- Condições especiais do ambiente de processo, frequentemente incluindo longos períodos de cura sob temperatura e pressão controladas.

3. METODOLOGIA

Neste trabalho, desenvolveram-se juntas coladas tipo single-lap joint (Figura 3.1), utilizando-se o epóxi Diglicidil Éter de Bisfenol-A (DGEBA), com nome comercial EPOXIGLASS e cuja resina e endurecedor são denominados de componentes B e A respectivamente. Conforme citado anteriormente a espessura da região de colagem influencia na aderência da junta, então, a partir de levantamento bibliográfico sentiu-se necessidade de avaliar o comportamento das juntas coladas com resina EPOXIGLASS com espessuras variadas, produziram-se juntas com espessuras variadas, tendo em vista que os trabalhos analisados tratavam de espessuras fixas, nesse sentido produziram-se juntas com espessura de aproximadamente 0,2 mm, 0,3 mm e 0,4 mm; cada espessura produziu-se cinco juntas coladas, sendo estas fabricadas conforme norma ASTM 1002-72.

Figura 3.1 – Esquema de uma junta SLJ.



No fluxograma da figura 3.2 são apresentadas todas as etapas que foram realizadas para o presente trabalho, onde inicialmente teve-se a realização de corte e usinagem dos substratos, em seguida esses passaram pelo jateamento abrasivo visando à obtenção da rugosidade da região onde iria ocorrer a colagem, posteriormente ocorreu a preparação das juntas, nesta, realizou-se os processos de limpeza e colagem dos substratos, por fim fez-se os ensaios mecânicos das juntas coladas.

Figura 3.2 – Fluxograma das atividades realizadas.



3.1. PREPARAÇÃO DOS SUBSTRATOS

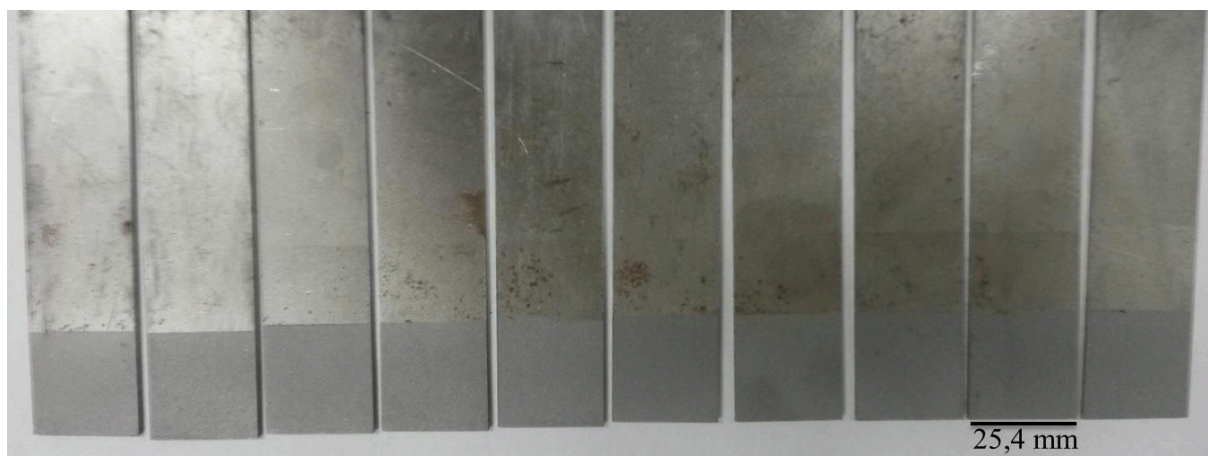
O processo de preparação dos substratos a serem utilizados na fabricação das juntas coladas iniciou com o corte da chapa de aço A36 que inicialmente tinha as medidas de 2x1m e espessura de $1,50 \pm 0,05$ mm. Para otimizar essa etapa o processo de corte foi realizado em guilhotina.

Visando melhor acabamento, bem como o ajuste das medidas finais as chapas cortadas foram usinadas em fresadora CLARK 4VSEa Milling (Figuras 3.3(a e b)) da oficina mecânica do curso de Engenharia Mecânica/Campus Mossoró. Ao final deste processo as medidas de comprimento e largura ficaram de $102 \pm 0,127$ mm e $25,4 \pm 0,127$ mm, respectivamente. Em seguida, as amostras prontas e dentro das tolerâncias especificadas, foram submetidas ao processo de jateamento abrasivo com areia. Tanto o jateamento quanto o corte em guilhotina foram realizados por empresas especializadas que ficam no município João Pessoa-PB. Na figura 3.4, tem-se os substratos já jateados que tem essa região apresentando-se com tonalidade cinza fosco.

Figura 3.3 – Parte superior da fresa de topo (a) e os substratos sendo usinados (b).



Figura 3.4 – Substratos já com processo de jateamento realizado.



3.2. PREPARAÇÃO E CURA DAS JUNTAS

O processo de colagem inicialmente ocorreu com a limpeza dos substratos que seriam utilizados (no caso foram 10 chapas para cada espessura da região colada, pois o molde suporta até 5 juntas), primeiramente fez-se uso de solvente (TINER) para retirar a camada de óleo que previne as chapas da oxidação, em seguida a limpeza é finalizada com uso de acetona e secagem do material.

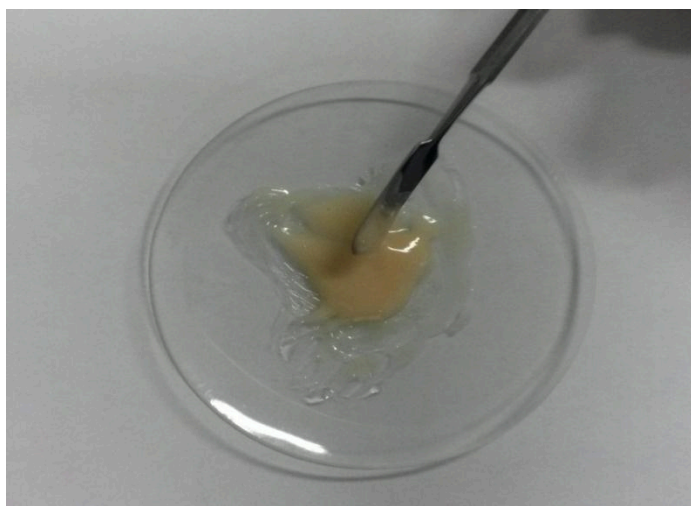
Com os substratos limpos procedeu-se a pesagem dos componentes da resina na proporção de 1:1 resina/endurecedor em balança SHIMADZU AUY 220, com exatidão de 1mg, do laboratório da Engenharia Mecânica da UFERSA Campus Caraúbas que é mostrada na figura 3.5 (a). A figura 3.5 (b) mostra os componentes A e B da resina epoxiglass que foi utilizada. No anexo (Pág. 53), consta a ficha técnica da resina e do endurecedor fornecida pelo fabricante, detalhes como as propriedades físicas, tempo de cura para diferentes temperaturas, propriedades térmicas e outros detalhes podem ser vistos.

Figura 3.5 – Balança de precisão (a) e endurecedor e resina (b).



Para garantir a homogeneização da resina, a mistura dos componentes ocorreu num tempo aproximado de 10 minutos, a mistura apresentou-se com coloração bege, e pode ser observada na figura 3.6.

Figura 3.6 – Adesivo obtido na união dos componentes A e B.



Com o adesivo pronto, inicia-se o depósito do mesmo sobre a região jateada, tendo o máximo de atenção em limitar a área colada em 12,7 mm x 25,4 mm seguindo assim a especificação da norma utilizada. Após ser feita a colocação do adesivo sobre todos os substratos, estes são montados no molde que visa o alinhamento e o controle das dimensões das juntas.

O processo de cura foi realizado à temperatura ambiente, e as chapas permaneceram acopladas ao molde durante 24 horas. Na figura 3.7 tem-se uma imagem do dispositivo utilizado no processo de cura, já na figura 3.8, observam-se as juntas em posição frontal e lateral após o processo de cura, nestas verifica-se o excesso de adesivo que fica em torno da camada adesiva, é necessária a retirada deste, já que irá influenciar nos resultados do ensaio mecânico, utilizou-se lima e estilete nesse processo que foi realizado com cautela para não gerar fissuras no adesivo, pois também poderia comprometer os resultados. Na figura 3.8 também se observa o excesso de adesivo na junta colada, mais especificamente na camada adesiva.

Figuras 3.7 – Dispositivo usado no processo de confecção das juntas coladas, (a) sem substratos e (b) com substratos.

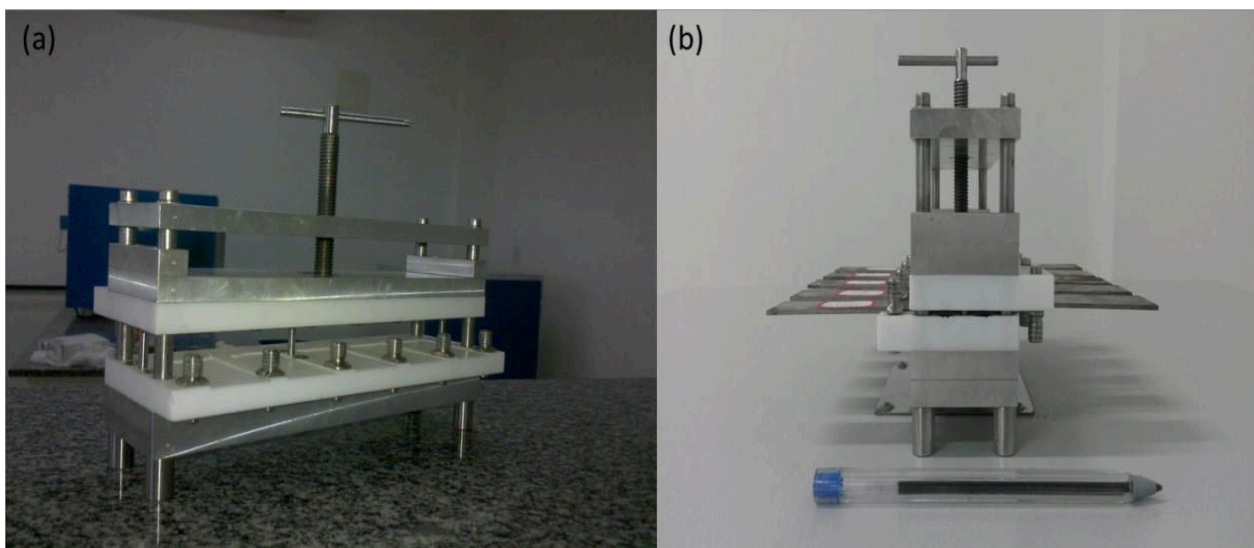


Figura 3.8 – Vistas do excesso da camada adesiva, vista frontal (a) e superior (b).



3.3. ENSAIOS DE CISALHAMENTO

Na avaliação da resistência das juntas coladas utilizou-se ensaio de cisalhamento tipo *Single Lap Joints* (SLJ), conforme norma ASTM D 1002-72. Os testes foram realizados no laboratório de ensaios mecânicos do curso de Engenharia Mecânica da UFERSA Campus Mossoró, em uma máquina universal de ensaios mecânicos da marca EMIC modelo DL-10.000, com capacidade para até 100 kN (Figura 3.9).

Figura 3.9 – Máquina Universal de Ensaio Mecânico.



Para a realização dos ensaios, foi utilizado célula de carga com capacidade de até 30 kN e velocidade de deslocamento do cabeçote de 1 mm/min, sendo o corpo de prova fixado a máquina conforme é mostrado na figura 3.10.

Figura 3.10 – Garras da máquina segurando o corpo de prova.



4. RESULTADOS E DISCURSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos a partir da produção das juntas e realização do ensaio de cisalhamento. Será apresentado o valor médio da tensão de cisalhamento máxima para cada espessura da camada adesiva, seu desvio padrão e o número de juntas que apresentam espessuras de 0,2 mm, 0,3 mm e 0,4 mm.

4.1. JUNTAS COLADAS

Para cada espessura a ser analisada, produziu-se 05 corpos de prova, que tiveram à aderência analisada. A seguir, têm-se as imagens que mostram as juntas coladas em duas vistas, frontal figura 4.1 e lateral figura 4.2. Na análise visual da figura 4.1, percebe-se que o corpo de prova IV apresentou-se um pouco desalinhado quando comparado aos demais. Este fato foi consequência da existência de folga entre o substrato e molde.

Figura 4.1 – Vista frontal das juntas produzidas na espessura de 0,4 mm.

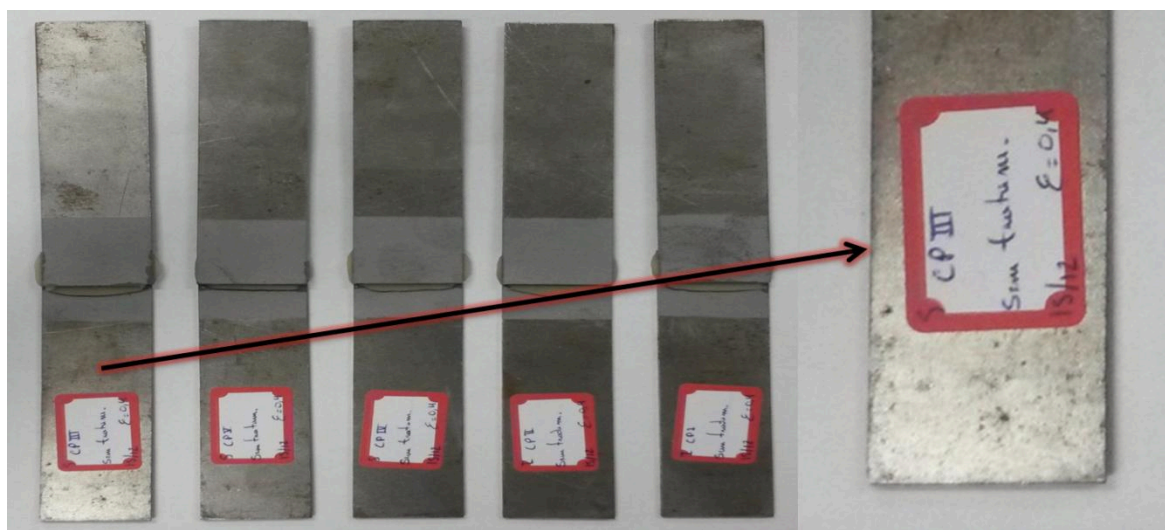


Figura 4.2 – Vista superior de uma das juntas de espessura 0,4 mm.



Após o processo de cura foi feita a medição da espessura da camada adesiva das 05 juntas produzidas, verificou-se que efetivamente as juntas apresentavam espessuras variadas, sendo essa variação de $\pm 0,2$ mm com relação à espessura teórica. Essa alteração existente entre as espessuras teórica e efetiva foi consequência da variação na espessura do substrato e das características construtivas do molde, com exemplo deste último fato, teríamos a variação da altura do rasgo no qual o substrato é encaixado. Na realização do ensaio de cisalhamento, cujos resultados serão apresentados a seguir, considerou-se apenas as juntas com espessura efetiva de 0,2 mm, 0,3 mm e 0,4 mm.

4.2. ENSAIO DE CISALHAMENTO CONFORME NORMA ASTM 1002-72

A aderência foi analisada através de ensaio de cisalhamento em juntas coladas do tipo SLJ. O valor médio da espessura da camada colada, da tensão de cisalhamento média, do desvio padrão e o número de corpos de prova considerados nos cálculos de valor da tensão de cisalhamento e desvio padrão são mostrados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Valores obtidos.

Espessura (mm)	Tensão de Cisalhamento (MPa)	Desvio Padrão (Mpa)	Nº de corpos de prova
0,2	2,1	1,18	4
0,3	0,9	0,26	3
0,4	1,4	0,59	6

Na tabela 4.1, observa-se que não ocorreu uma variação linear (crescente ou decrescente) da tensão de cisalhamento média de acordo com a variação da espessura das juntas. Bem como, verifica-se ainda que a junta com espessura de 0,2 mm apresentou melhor resultado de tensão média, e este, está associado a alto valor de desvio padrão que mostra a baixa repetitividade dos resultados para essa espessura. Com relação à espessura de 0,3 mm, tem-se a menor resposta de tensão média com o melhor valor de desvio padrão, ou seja, correspondendo a aproximadamente 28% do valor da tensão de cisalhamento; vale destacar que para esta espessura obteve-se apenas 3 corpos de prova. Por fim, para a espessura de 0,4 mm teve o maior número de corpos de prova ensaiados, e, observa-se que os resultados de tensão média e desvio padrão foram intermediários com relação às demais espessuras.

Fazendo uma análise com os resultados citados na literatura, destacamos o trabalho de Altidis (2013) que desenvolveu um compósito de matriz epoxídica, DGEBA (similar a utilizada neste trabalho), neste menciona-se resultados de tensão de cisalhamento média para o epóxi em torno de 8 MPa para uma espessura de camada adesiva de 0,5 mm.

Fatores externos podem ter influenciado nos valores finais dos resultados obtidos, o processo de cura foi um deles, observou-se que o adesivo não atingiu a rigidez do material termofixo, levantando a suspeita de que a polimerização não tenha ocorrido por completo, bem como a formação de ligações tridimensionais.

Vale ressaltar que durante a realização dos ensaios observou-se uma variação na leitura da célula de carga da máquina, que chegou ao valor de 0,1 kN de carga compressiva, esse fato pode ter gerado alguma influência nos resultados do ensaio.

4.3. TIPO DE FALHA

Nas imagens das figuras 4.4, 4.6 e 4.7 observa-se as fotografias das juntas após o ensaio de cisalhamento para as espessuras de 0,2 mm, 0,3 mm e 0,4 mm, respectivamente. Nestas, verifica-se as falhas do tipo coesiva, que se caracteriza pelo rompimento da camada adesiva, e do tipo adesiva que ocorre na região entre o adesivo e o substrato.

Figura 4.3 – Superfícies de falhas nas amostras de 0,2 mm.

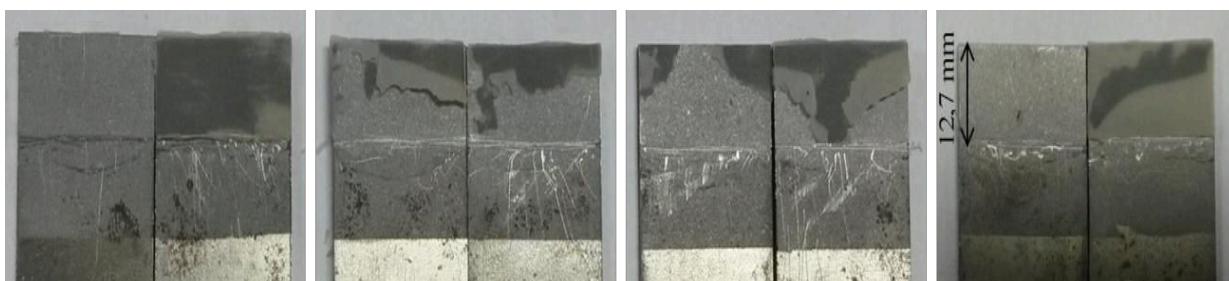
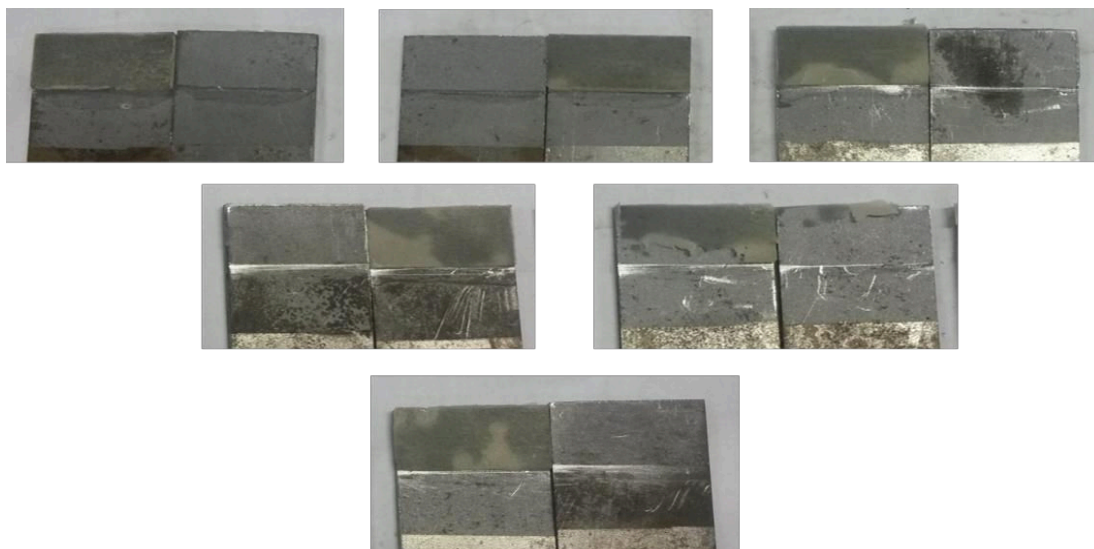


Figura 4.4 – Superfície de falhas com espessura de 0,3 mm.



Figura 4.5 – Superfícies de falhas com espessura de 0,4 mm.



Nas juntas com espessura de 0,2 mm(Figura 4.2), teve-se um total de quatro juntas ensaiadas, onde se tem a presença das falhas do tipo adesiva em duas delas, enquanto nas demais se evidenciou a falha coesiva. Para a espessura de 0,3 mm(Figura 4.3), ensaiaram-se três juntas, uma apresentou falha adesiva e duas coesiva, em seguida, tem-se a espessura de 0,4 mm(Figura 4.4), onde ensaiou-se seis juntas, sendo que cinco delas apresentaram falha do tipo adesiva e apenas uma do tipo coesiva. Na tabela a seguir tem-se uma síntese, em termo percentual, das falhas adesivas e coesivas para as espessuras que foram trabalhadas, a saber:

Tabela 4.2 – Relação percentual entre tipo de falhas e espessura da camada adesiva.

Espessura Falha	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm
Adesiva	50%	33,3%	83,33%
Coesiva	50%	66,6%	16,66%

Altidis (2013) menciona que as falhas coesivas estão relacionadas às propriedades mecânicas dos polímeros, enquanto que as falhas adesivas são influenciadas por fatores como a contaminação do substrato e incompatibilidade entre o material do substrato e do adesivo. A presença da falha adesiva em maior proporção pode está associada à contaminação do substrato, já que, utilizou-se o mesmo material do substrato e o mesmo tipo de resina epóxi presentes no trabalho de Altidis (2013), bem como o método de limpeza utilizado é de média eficiência, podendo desta forma não ter sido satisfatório.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho produziram-se juntas metálicas do tipo *single-lap joint* (SLJ) com espessura da camada adesiva nas dimensões de 0,2 mm, 0,3 mm e 0,4 mm, unidas com adesivo epoxídico (DGEBA), cuja finalidade foi à avaliação do comportamento de aderência do adesivo quando aplicado em substrato de aço A36. O processo de fabricação das juntas mostrou-se satisfatório com relação ao alinhamento das juntas.

As propriedades adesivas do material foram estudadas por meio de ensaios de cisalhamento das juntas, os melhores resultados foram verificados para juntas com espessura média de camada adesiva de 0,3 mm, onde se observou o menor valor de desvio padrão e falha predominantemente coesiva. Os valores de tensão de cisalhamento máxima apresentaram-se inferiores aos citados na literatura para as três espessuras analisadas. Ainda com relação à aderência, os resultados não indicaram a presença de um comportamento linear entre tensão de cisalhamento e espessura de camada adesiva.

O alto valor de desvio padrão que foi verificado nas juntas com espessura média de camada adesiva de 0,2 mm, compartilhado com a presença de falha do tipo adesiva, evidenciaram a baixa resposta de aderência das juntas para esta espessura, comportamento similar foi observado nas juntas com espessura de camada adesiva de 0,4 mm.

REFERÊNCIAS

Altidis, Jaqueline Dias – **Propriedades adesivas de compósitos de matriz epóxi reforçados com pós – metálicos** – João Pessoa – 2013.

Barbosa, Fernando Montanare – **Propriedades do sistema epoxídicos DGEBA/TETA modificado com fibras naturais de babaço de cana-de-açúcar** –Ilha Solteira – SP, 2010.

Callister, William D. – **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**/ William D. Callister, Jr., David G. Rethwisch; tradução Sergio Murilo Stamile Soares; revisão técnica José Roberto Moraes d`Almeida. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2013.

Canevarolo Jr, Sebastião V. – **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros** – São Paulo: Artliber Editora, 2002.

Cordeiro, Renata Padua – **A influência da rugosidade na resistência térmica de contato de materiais colados** – Rio de Janeiro – 2014.

CUNHA, M. H. F., 2012, “**Análise da Influência da Taxa de Deslocamento no Comportamento das Juntas de Cisalhamento**” Dissertação Mestrado – PGMEC/UFF.

HUNTSMAN – **Guia de Manuseio Seguro** – Advanced Materials – Sistemas de Resina Epóxi.

Mano, Eloisa Biasotto – **Polímeros como materiais de engenharia** – São Paulo: Blucher, 1991.

Quini, Josué Garcia – **Adesivos estruturais uretânicos aplicados a combinações de compósitos, plásticos e metais** – São Paulo 2011.

Ribeiro, Marcelo Leite – **Programa para análise de juntas coladas: compósito|compósito e metal|compósito** – Marcelo Leite Ribeiro, São Carlos 2009.

Santos, Adriano Luiz dos – **Aplicação de componentes em poliamida no sistema de refrigeração de transmissão automática em veículos pesados: estudo de caso** – São Caetano do Sul, 2012.

Silva, Antonio Henrique Monteiro da Fonseca Thomé da – **Proposta de um critério de resistência para juntas metálicas coladas** – Niterói – RJ, 2007.

Souza, João Dellonx Régis Barbosa de – **Adesivos Alcalinamente ativados: ativação com silicato de potássio e silicato de sódio** – João Pessoa – PB – 2009.

Veiga, Vítor Ruy Magalhães – **Adesivos estruturais em automóveis** – Faculdade de engenharia da universidade do porto – Outubro de 2010.

ANEXO – A

RESINA EPOXIGLASS 1283.

ENDURECEDOR EPOXIGLASS 1825.

A Resina Epoxiglass 1283, em conjunto com o Endurecedor Epoxiglass 1825, podem ser endurecidos a temperatura ambiente ou se preferirem em temperaturas mais elevadas, isto é: Este sistema é de cura rápida e desenvolve muito calor: dependendo da quantidade a ser usada. Esta mistura endurece sem formar calor, quando usada em pequenas quantidades; e na presença de umidade atmosférica, a peça fundida pode ficar turva e pegajosa. Isto pode ser evitado pela cura a uma temperatura mais elevada (Luz infra-vermelho) ou protegidos da umidade cobrindo com folhas de Polietileno, e as camadas pegajosas podem ser removidas por meio de lavagem com água e escova.

Resina Epoxiglass 1.283, possui boa transparência e pode ser pigmentada com pastas corantes, também pode ser usada em conjunto com material de enchimento, para sistemas fundíveis e de impregnação. Dependendo do material de enchimento usado, a porcentagem pode ser de “50 a 800 % “.

PROPRIEDADES FÍSICAS: RESINA EPOXIG. 1283 : ENDUREC. EPOX. 1825

Aspecto:	Líquido Viscoso Amarelo	Líquido Amarelado
Viscosidade 25 °C cps	9.000 – 13.000	10.500 – 14.000
Peso Específico 25 °C g/cm ³	1,15 - 1,16	0,98 – 0,99
Ponto de Inflamabilidade: °C	295	180

PROPORÇÃO DE MISTURA: PARTES EM PESO:

RESINA EPOXIGLASS 1283	100
ENDURECEDOR EPOXIGLASS 1825	80 ± 5

PROPRIEDADES DA MISTURA RESINA / ENDURECEDOR A 20 °C:

Tempo de vida útil da mistura (quantidade 70 g com formação de Calor) 20 minutos

Tempo de gelatinação (100 g) 50 minutos

Elevação máxima de Temperatura: 200 °C

Carga máxima de Pó de Quartzo: 180%

CONDIÇÕES DE ENDURECIMENTO:	TEMPO DE ENDURECIMENTO:
------------------------------------	--------------------------------

20 °C	24 horas
-------	----------

60 °C	12 – 18 horas
-------	---------------

100 °C	60 – 90 minutos
--------	-----------------

PROPRIEDADES DA MISTURA ENDURECIDA:

Peso específico:	VSM 77109	1,00 – 1,12 g/cm ³
------------------	-----------	-------------------------------

Resistência a tração:	VSM 77101	20 – 22 Kg/mm ²
-----------------------	-----------	----------------------------

Resistência a compressão:	VSM 77102	22 – 25 Kg/mm ²
---------------------------	-----------	----------------------------

Resistência a flexão:	VSM 77103	18 – 19 Kg/mm ²
-----------------------	-----------	----------------------------

Resistência a flexão e choque:	VSM 77105	20 – 25 Kg/cm ²
--------------------------------	-----------	----------------------------

Módulo de elasticidade:	VSM 77111	350 – 400 Kg/mm ²
-------------------------	-----------	------------------------------

Dureza Brinel:		10 - 13 Kg/mm ²
----------------	--	----------------------------

Depois que adicionado o Endurecedor Epoxiglass 1.825, a mistura poderá ser aplicada a pincel, por fundição ou espátula, dependendo da aplicação. Depois de endurecido o sistema apresenta boas resistências físicas químicas e mecânicas. A adição de material de enchimento permite um menor desenvolvimento de calor e também uma condutibilidade calorífica mais elevada. Resina Epoxiglass 1.283 e o Endurecedor Epoxiglass 1.825 deve ser pesadas na proporção indicada, devem ser bem misturadas até obter uma completa homogeneidade.

PROPRIEDADES TÉRMICAS:

Resistência a calor (HDT)	DIN 53458	90 °C
Coeficiente linear de dilatação calorífica)	VSM 77110	65 .10 –6 mm
Temperatura de decomposição:	SEV 177	280 °C
Inflamabilidade:	VDE	15

OUTRAS PROPRIEDADES:

	Corpos de prova (60 X 10 X 4 mm)	
Absorção de água fria:	0,5 – 06%	10 dias
Absorção de água fervendo:	0,8 – 1,0%	1 hora

LIMPEZA DAS FERRAMENTAS:

As misturas Resina / Endurecedor não endurecidas são removidas das ferramentas de trabalho, mediante uma solução de água e sabão (detergente) quente ou por solventes orgânicos, tal como Álcool ou Thinner.

PRECAUÇÕES: Deve se sempre manter limpo e arejado o local onde se manuseiam estes produtos. Os operadores devem lavar mãos e braços com água e sabão, e o uso de creme para pele é aconselhável para evitar irritações.