

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO  
SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**INFLUÊNCIA DA PREPARAÇÃO DE  
SUPERFÍCIE EM JUNTAS COLADAS DE  
SOBREPOSIÇÃO SIMPLES**

Mateus de Queiroz dos Reis

Prof. Orientador: Doina Mariana Banea

**Rio de Janeiro  
Julho de 2017**

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO  
SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**INFLUÊNCIA DA PREPARAÇÃO DE  
SUPERFÍCIE EM JUNTAS COLADAS DE  
SOBREPOSIÇÃO SIMPLES**

Mateus de Queiroz dos Reis

Projeto final apresentado em cumprimento às  
normas do Departamento de Educação Superior  
do CEFET/RJ, como parte dos requisitos para obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia Mecânica

Prof. Orientador: Doina Mariana Banea

**Rio de Janeiro  
Julho de 2017**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

R375 Reis, Mateus de Queiroz dos  
Influência da preparação de superfície em juntas coladas de  
sobreposição simples / Mateus de Queiroz dos Reis.—2017.  
xii, 57f. + anexos : il. (algumas color.) , graf. , tabs. ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação  
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2017.

Bibliografia : f. 55-57

Orientador : Doina Mariana Banea

1. Engenharia mecânica. 2. Juntas (Engenharia). 3. Adesivos. 4.  
Aspereza de superfície. I. Banea, Doina Mariana (Orient.). II. Título.

CDD 621

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho ao meu pai, Osvaldo Cristiano dos Reis, que infelizmente pelos desígnios da vida não pode estar aqui presente para ver este momento.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Osvaldo Cristiano dos Reis e Sueli de Queiroz dos Reis pelo apoio nos meus estudos ao longo da minha vida acadêmica.

À professora Doina Mariana Banea pela orientação e direcionamento ao longo deste trabalho.

Aos alunos do LADES e demais laboratórios pelo auxílio e paciência durante a confecção e ensaio das juntas.

À Dow Química, em especial à colaboradora Ho Sun Park pela doação dos adesivos.

À Leser Válvulas de Segurança LTDA pela paciência e compreensão ao longo do desenvolvimento deste trabalho, e em especial aos colaboradores Erik Rocha e Rodrigo Santos pelo jateamento dos substratos.

Aos meus amigos Daniel Onofre, Felipe Seixas, Gabriel França, Rafael Galvão, Rodrigo Dantas e Vanessa Loyola por me acompanharem ao longo destes anos.

## RESUMO

No século XXI, ocorreu um grande aumento na utilização de juntas coladas, especialmente na indústria automobilística e aeroespacial, devido à suas propriedades como leveza, flexibilidade de forma, distribuição uniforme de tensões e capacidade de unir diferentes materiais. As juntas de sobreposição simples são as mais difundidas entre as juntas coladas, sendo o alumínio o substrato metálico mais recorrente neste tipo de junta. Para confecção de uma junta colada, a preparação de superfície se faz quase sempre necessária. Por isso, conhecer e entender as teorias e mecanismos de adesão se faz necessário para que se possa selecionar a preparação de superfície mais adequada para aplicação a qual a junta se destina. Neste trabalho, juntas de sobreposição simples foram confeccionadas a partir de substratos em alumínio 1200 H14, submetidos a processos distintos de preparação da superfície: Limpeza por solventes, abrasão por meio de lixa e jateamento com granalha metálica em duas pressões diferentes. Posteriormente, os substratos foram colados utilizando-se o adesivo BETAMATE 2096. Os quatro grupos de superfícies tratadas tiveram seus parâmetros de rugosidade avaliados com o auxílio de um rugosímetro, enquanto os valores de resistência mecânica e alongamento das juntas foram obtidos através dos ensaios de cisalhamento por tração. Os resultados obtidos mostram um aumento da resistência mecânica das juntas com o aumento da rugosidade, sendo a maior resistência obtida através do processo de jateamento. Além disso, foi possível visualizar também o crescimento do percentual de fratura coesiva associado ao aumento da rugosidade.

Palavras chave: Juntas coladas, adesivos, preparação de superfície, rugosidade

## ABSTRACT

In the 21st century, there was a great increase in the use of bonded joints, especially in the automotive and aerospace industries, due to their properties such as lightness, flexibility of form, uniform distribution of tensions and the ability to join different materials. Single lap joints are the most common configuration for bonded joints, with aluminum being the most recurrent metal substrate in this type of joint. For the preparation of a bonded joint, surface preparation is almost always necessary. Therefore, knowing and understanding the theories and mechanisms of adhesion is necessary in order to select the most suitable surface preparation for the application to which the joint is intended. In this work, single lap joints were made from 1200 H14 aluminium substrates, submitted to different surface preparation processes: solvent cleaning, sandpaper abrasion and blasting with metallic grit at two different pressures. Subsequently, the substrates were bonded using BETAMATE 2096 adhesive. The four groups of treated surfaces had their roughness parameters evaluated with the aid of a surface roughness tester, while the values of mechanical strength and elongation of the joints were obtained through the shear tests. The results show an increase in the mechanical strength of the joints with the increase of the roughness, being the greater resistance obtained through the grit blasting process. Furthermore, it was possible to visualize the growth of the percentage of cohesive fracture associated to the increase of the roughness.

Keywords: Bonded joints, adhesives, surface preparation, surface roughness

## Sumário

Capítulo 1.....	1
Introdução.....	1
1.1 Motivação.....	1
1.2 Justificativa.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.4 Metodologia e Trabalho Realizado.....	2
1.5 Organização do trabalho.....	3
Capítulo 2.....	4
Revisão Bibliográfica.....	4
1.1 História dos Adesivos.....	4
2.2 Definição de Adesivo.....	5
2.3 Vantagens e Desvantagens.....	6
2.4 Classificação dos Adesivos.....	7
2.4.1 Função.....	8
2.4.2 Composição química.....	9
2.5 Teoria da Adesão.....	11
2.5.1 Teoria mecânica.....	11
2.5.2 Teoria da adsorção.....	13
2.5.3 Teoria da Difusão.....	14
2.5.4 Teoria eletrostática.....	15
2.5 Defeitos em Juntas coladas.....	15
2.5.1 Camada Fraca.....	15
2.5.2 Concentração de Tensões.....	16
2.5.3 Irregularidades de Superfícies.....	17

2.6 Modos de Carregamento .....	17
2.7.1 Tração e Compressão .....	18
2.7.2 Cisalhamento .....	19
2.7.3 Clivagem e arrancamento .....	20
2.7 Tipos de Juntas .....	21
2.8 Preparação da Superfície .....	22
2.8.1 Superfícies Metálicas .....	23
2.8.2 Princípios da Preparação da Superfície .....	25
2.8.3 Métodos de Preparação da Superfície .....	26
2.9 Modos de Ruptura .....	29
2.10 Ensaio .....	31
2.10.1 Ensaio de Cisalhamento por Tração .....	32
Capítulo 3 .....	33
Materiais e Métodos .....	33
3.1 Substratos .....	33
3.1.1 Grupo 1 – Corpos de prova sem preparação de superfície .....	34
3.1.2 Grupo 2 – Corpos de prova lixados .....	35
3.1.3 Grupo 3 – Corpos de prova jateados a 3,0 bar-g .....	36
3.1.4 Grupo 4 – Corpos de prova jateados a 6,0 bar-g .....	38
3.2 Determinação da Rugosidade .....	38
3.3 Adesivo .....	39
3.4 Molde .....	39
3.4.1 Preparação do molde .....	40
3.4 Fabricação da Junta Colada .....	41
3.4.1 Cura da junta .....	43
3.5 Ensaio .....	44
Capítulo 4 .....	45
Resultados e Discussão .....	45
4.1 Resultados .....	45
4.2 Modos de Ruptura .....	49

Capítulo 5.....	53
Conclusões .....	53
5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros.....	54
Referências Bibliográficas:.....	55
Anexos .....	58

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema da Metodologia Científica .....	3
Figura 2 – Esquema de uma junta adesiva .....	5
Figura 3 – Distribuição de tensões em juntas rebitadas e juntas coladas .....	6
Figura 4 – Figura esquemática da adesão mecânica.....	11
Figura 5 - Mudança na resistência à ruptura em função da rugosidade [10].....	12
Figura 6 - Resistência ao cisalhamento em função da rugosidade para aço e alumínio .....	12
Figura 7 – Esquema da adesão; a) por adsorção física; b) por adsorção química .....	13
Figura 8 – Energia de ligação em função da distância .....	14
Figura 9 - Esquema da teoria da adesão por difusão .....	14
Figura 10 – Esquema da teoria eletrostática.....	15
Figura 11 – Representação esquemática de uma camada fraca [1]. .....	16
Figura 12 – Distribuição de tensões em uma junta de sobreposição simples [1] .....	16
Figura 13 – Resistência de uma junta de sobreposição simples em função do comprimento de comprimento de sobreposição [1].....	17
Figura 14 - Pontos de iniciação de fissuras em superfícies muito irregulares [1].....	17
Figura 15 – Modos fundamentais de carregamento.....	18
Figura 16 – Distribuição de tensões em uma junta devido à em função da variação da axialidade.....	18
Figura 17 – Distribuição de Tensões conforme análise de Volkersen .....	19
Figura 18 – Esforços de arrancamento (a) e clivagem (b) [5].....	20
Figura 19 - Distribuição da tensão de clivagem e arrancamento [5].....	20
Figura 20 – Distribuição de tensões em adesivos frágeis e tenazes .....	21
Figura 21 - Principais tipos de juntas [1].....	21
Figura 22 – Adesão em uma junta colada.....	22

Figura 23 - Camadas superficiais em metais .....	23
Figura 24 - Aspecto da alumina simplesmente oxidada [1] .....	24
Figura 25 - Processo de colmatagem.....	25
Figura 26 - Efeito de vários tratamentos superficiais em juntas de alumínio colado com um epóxi [1].....	27
Figura 27 - Modos de ruptura em juntas adesivas .....	30
Figura 28 - Layout dos corpos de provas (dimensões em mm).....	33
Figura 29 - Corpos de prova sem preparação de superfície .....	34
Figura 30 - Limpeza dos substratos .....	35
Figura 31 - Preparação de Superfície por lixamento .....	35
Figura 32 - Geometria do perfil de rugosidade para lixamento +45°/-45° .....	36
Figura 33 - Preparação para o jateamento .....	36
Figura 34 - Remoção dos invólucros e limpeza química.....	37
Figura 35 - Proteção contra oxidação com papel alumínio .....	37
Figura 36 - Rugosímetro em funcionamento .....	38
Figura 37 - Molde Usado para a Produção de Juntas Coladas .....	40
Figura 38 - Aplicação do agente desmoldante dentro da capela .....	40
Figura 39 - Aplicação do agente desmoldante em local aberto.....	41
Figura 40 - Posição inicial dos substratos e espaçadores .....	41
Figura 41 - Homogeneização do adesivo .....	42
Figura 42 – Montagem da junta.....	42
Figura 43 - Molde fechado .....	42
Figura 44 - Prensa hidráulica com aquecimento do LADES.....	43
Figura 45 - Juntas do grupo I com identificação .....	43
Figura 46 - Máquina de Ensaio Mecânicos de Parafusos INSTRON .....	44
Figura 47 - Curvas Força x Deslocamento (Grupo 1) .....	45
Figura 48 - Curvas Força x Deslocamento (Grupo 2) .....	46
Figura 49 - Curvas Força x Deslocamento (Grupo 3) .....	46
Figura 50 - Curva Força x Deslocamento (Grupo 4).....	47
Figura 51 - Tensão de cisalhamento em função da rugosidade Ra .....	48
Figura 52 - Chapa deformada plasticamente durante o ensaio de tração. ....	49
Figura 53 - Superfícies das Juntas dos grupos G1 e G2 .....	50
Figura 54 - Superfícies das Juntas dos grupos G3 e G4 .....	51
Figura 55 - Evolução do modo de ruptura em função da preparação superficial.....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens da união por colagem .....	6
Tabela 2 - Comparação de propriedades entre juntas mecânicas e juntas coladas [8] [9] .....	7
Tabela 3 - Tipos de adesivos estruturais [6] .....	9
Tabela 4 - Alturas do perfil de rugosidade em função da granulometria e tipo de abrasivos [18] .....	28
Tabela 5 – Propriedades Mecânicas do Alumínio 1200 H14 [13] .....	33
Tabela 6- Tipo de preparação superficial mecânica por grupo de substrato .....	34
Tabela 7 - Valores de rugosidade médios encontrados para cada grupo.....	38
Tabela 8 - Propriedades do adesivo BETAMATE 2096 .....	39
Tabela 9 - Força, Deslocamento e Tensão experimental para cada corpo de prova.....	47
Tabela 10 - Parâmetros obtidos no ensaio de tração x parâmetros de rugosidade .....	48

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Motivação

Desde o surgimento da civilização humana, o conceito de união entre partes está presente nos processos de fabricação dos mais diversos objetos, desde métodos arcaicos que visavam a criação de artefatos para sobrevivência das comunidades primitivas, até os métodos de união atuais com cada vez mais tecnologia, conhecimento e valor agregados.

Entre os diversos métodos de união existentes dentro da engenharia, destacam-se alguns amplamente difundidos, como a soldagem, a união por elementos de fixação (parafusos e rebites) e a colagem, tema principal deste trabalho.

A união de dois ou mais materiais através da colagem teve grande um grande salto desde o início do século XX, como alternativa aos métodos tradicionais de ligação mecânica, devido à diversas vantagens como a possibilidade de união de materiais distintos, leveza, amortecimento de vibrações, resistência à fadiga, menor concentração de tensões, resistência à corrosão, produtividade e redução de custos.

### 1.2 Justificativa

As juntas coladas estão presentes em diversos objetos e aplicações presentes no cotidiano, como nos automóveis, aviões, construção civil e objetos de uso geral. Para que uma junta colada tenha um resultado satisfatório dentro do regime de tensões ao qual ela é submetida, a teoria da adesão mostra que a preparação da superfície é quase sempre necessária.

A preparação da superfície é uma das etapas mais importantes do processo de colagem [1]. Os tratamentos superficiais têm por objetivo aumentar a molhabilidade e resistência da junta colada, obtendo assim as condições sob as quais a junta virá a romper de maneira coesiva, no interior do adesivo ou aderente, e não de maneira adesiva, na interface adesivo-aderente, a qual a ruptura da junta ocorre em valores de carga e energia inferiores comparados aos valores se esta mesma junta rompesse de forma coesiva. Em suma, busca-se conhecer e

melhorar a preparação da superfície de uma junta colada, para que a ruptura ocorra de maneira coesiva, tendo assim, uma maior resistência mecânica.

### **1.3 Objetivos**

O objetivo deste trabalho é analisar a influência da preparação de superfície em juntas coladas de sobreposição simples e sua consequente ação no modo de ruptura e resistência mecânica das juntas.

Através do ensaio de cisalhamento por tração nas juntas submetidas a diferentes procedimentos de preparação de superfície, espera-se obter tensões e modos de ruptura distintos, com base nas informações descritas pela literatura.

### **1.4 Metodologia e Trabalho Realizado**

A metodologia para a elaboração deste trabalho iniciou-se com a revisão bibliográfica abrangente acerca do tema principal sobre o qual este trabalho discorre: Adesivos. Posteriormente, as pesquisas foram convergindo para os tópicos mais específicos aqui abordados, colagem de juntas e preparação de superfície.

A segunda etapa do trabalho consistiu a seleção dos materiais os quais seriam utilizados para confecção dos corpos de prova, bem como o tipo de adesivo a ser utilizado na construção da junta colada.

A terceira etapa consistiu no projeto, fabricação, preparação de superfície e colagem das juntas.

Na quarta etapa, os diferentes grupos de juntas coladas foram ensaiados através do cisalhamento por tração para obtenção dos resultados experimentais.

Na quinta etapa, os resultados obtidos foram analisados numericamente, graficamente e visualmente culminando nas conclusões apresentadas neste trabalho.

A Figura 1 apresenta o esquema da Metodologia Científica utilizada no processo de elaboração deste projeto.

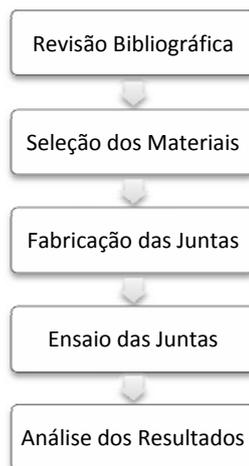


Figura 1 – Esquema da Metodologia Científica

## 1.5 Organização do trabalho

No Capítulo 1 o trabalho é introduzido em linhas gerais, desde as razões de sua elaboração, passando pelo objetivo até a descrição e organização das etapas do trabalho e do texto escrito em si.

O capítulo 2 descreve brevemente a história dos adesivos e os principais tópicos e conhecimentos básicos necessários para a elaboração e compreensão do projeto.

O capítulo 3 apresenta os materiais utilizados, e os métodos para realização dos ensaios, descrevendo os procedimentos do projeto da junta, fabricação dos corpos de prova e ensaios.

No capítulo 4 encontram-se os resultados experimentais obtidos após as juntas serem ensaiadas, através de fotos, valores numéricos e gráficos.

O capítulo 5 trata da análise dos resultados obtidos e conclusões obtidas através dos procedimentos experimentais, além da conclusão do trabalho em si. Por fim, são apresentadas sugestões de projetos futuros.

## Capítulo 2

### Revisão Bibliográfica

#### 1.1 História dos Adesivos

A primeira evidência histórica de uma substância ser utilizada como adesivo é datada do início da pré-história, mais de 4000 antes de cristo. Durante pesquisas em sítios fúnebres, arqueólogos encontraram dentro dos túmulos vasos que haviam sido colados com seivas de árvore. Outra referência arqueológica é a cola de alcatrão utilizada para colar globos oculares de marfim nas estátuas, na Babilônia. Ainda na idade antiga, no Egito, os sarcófagos dos faraós e as demais mobílias existentes eram ligados com algum tipo de cola animal. Os primeiros registros escritos de um procedimento de fabricação e utilização de cola animal foram elaborados em 200 antes de cristo.

Entre o ano 1 e o ano 500, gregos e romanos desenvolveram a tecnologia da madeira folheada, a qual era colada. Ainda da Grécia, vem o conhecido mito de Dédalo e Ícaro, sobre a utilização de cera de abelha para a construção de asas, e além, fala da deterioração desta cola natural quando exposta a altas temperaturas. Nesta época, foram utilizadas outras colas provenientes de animais como cera de abelha, ovos, leite, couro, ossos e sangue, e também colas de origem vegetal, feitas de grãos, legumes e queijos e alcatrão.

Por volta do ano 1000, Gengis Khan superou seus adversários através da utilização de arcos feitos de madeira de limoeiro e chifre de touro, colados com um adesivo cuja fórmula foi perdida na antiguidade.

No século XVII surgiu na Holanda a primeira fábrica de cola animal, enquanto no século XVIII, na Inglaterra, surgiram as primeiras patentes de adesivos de peixe e de borracha natural.

Já após a segunda revolução industrial, entre o final do século XIX e início do século XX, o surgimento de adesivos sintéticos, a pesquisa, desenvolvimento e utilização de adesivos pela indústria bélica, motivada pelas duas Guerras Mundiais, além das indústrias aeronáutica, naval, automobilística e aeroespacial, fizeram com que os adesivos se desenvolvessem em 100 anos mais do que nos 6000 anteriores de história conhecida.

## 2.2 Definição de Adesivo

Segundo a versão online do Dicionário Michaelis, adesivo pode ser definido como: S.f. 1 Que adere; aderente. 2 Caracterizado pela adesão de partes contíguas. 3 Que tem a capacidade de colar ou grudar coisas umas às outras. 4 Preparado para aderir, por exemplo, pelo revestimento com uma substância pegajosa: Fita adesiva. ; S.m. 1 Substância adesiva. 2 Substância que mantém unidos dois materiais, aderindo à superfície de contato de cada um. 3 Fita de várias larguras, revestida em um lado de uma substância adesiva, que adere a uma superfície.

Dentro da literatura técnica, voltada para engenheiros, físicos, químicos e demais áreas correlatas, o termo adesivo, segundo Kinloch (1987) é definido como um material o qual quando aplicado às superfícies existentes entre dois materiais, pode os unir e resistir à separação dos mesmos. Ainda, se pode chamar de adesivo estrutural quando o adesivo resiste a forças significativas e também possui função de resistência e rigidez dentro da estrutura.

O material o qual será ligado através do adesivo é chamado de substrato. O substrato também é chamado de aderente, em geral quando este faz parte de uma junta.

A interfase é região na qual ocorre o contato entre o adesivo e o aderente. Essa região é diferente fisicamente e quimicamente tanto do adesivo, quanto do aderente.

A interface é o plano de contato entre o adesivo e o aderente, podendo ser definida matematicamente como a camada limite, dentro da interfase.

O primer é uma substância que pode ser aplicada sobre os aderentes para melhorar adesão e/ou proteger a superfície até a aplicação do adesivo, e conseqüente fabricação da junta.

Por fim, denomina-se junta adesiva a construção em que aderentes são mantidos unidos por uma camada de adesivo, como mostrado na Figura 2 – Esquema de uma junta adesiva.

A definição destes e de outros termos relacionados pode ser encontrado na norma ASTM D 907 - 04 *Standard Terminology of Adhesives*.

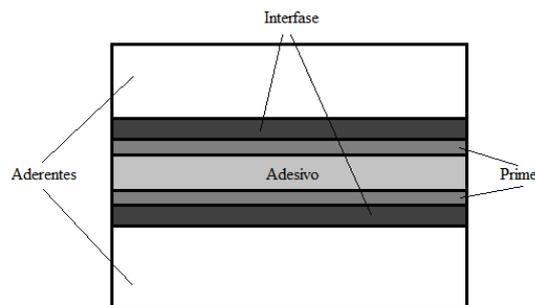


Figura 2 – Esquema de uma junta adesiva

## 2.3 Vantagens e Desvantagens

Como todo processo de união entre elementos, a união de dois materiais por meio de colagem possui vantagens e desvantagens, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens da união por colagem

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribuição mais uniforme das tensões na superfície ligada (Figura 3)</li> <li>• Amortecimento de vibrações</li> <li>• União de materiais diferentes</li> <li>• Passível de automatização</li> <li>• Pode ser utilizado em conjunto com outros métodos de união.</li> <li>• Flexibilidade da forma da junta</li> <li>• Resistente a esforços de tração e compressão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa resistência à forças de arrancamento, clivagem e impacto</li> <li>• Alta susceptibilidade à tensões localizadas</li> <li>• Baixa resistência ao calor e umidade</li> <li>• Necessidade de ferramentas de fixação</li> <li>• Necessidade de uma cuidadosa preparação da superfície</li> <li>• Necessidade de cura</li> <li>• Difícil controle de qualidade</li> <li>• Ausência de um critério de dimensionamento universal</li> </ul>

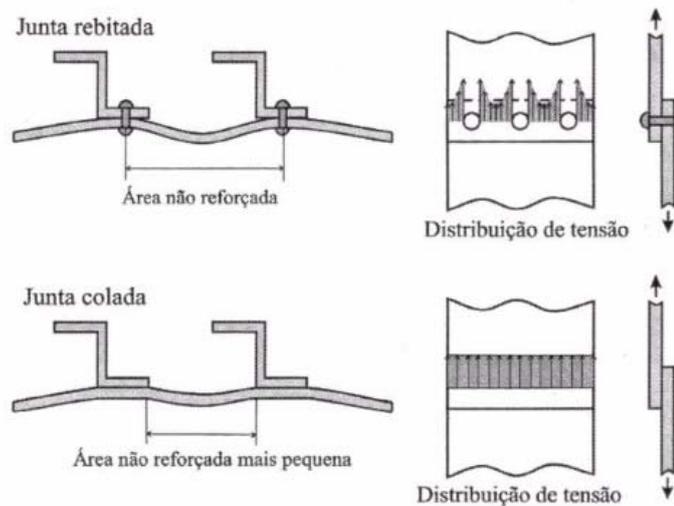


Figura 3 – Distribuição de tensões em juntas rebitadas e juntas coladas

Através da Tabela 2 podem se comparar algumas propriedades entre juntas mecânicas e juntas coladas por adesivo.

Tabela 2 - Comparação de propriedades entre juntas mecânicas e juntas coladas [8] [9]

Propriedades	Junta mecânica	Junta colada
Etapas de fabricação	Muitas	Poucas
Tempo de fabricação	Curto	Longo (devido ao tempo de cura)
Preparação da Superfície	Mínima/Nenhuma	Extensiva, crítica
Peso da junta	Alto	Baixo
União de seções finas	Limitado	Possível
Superfície Externa	Saliências	Pode ser lisa
Limitações de Temperatura	Baixa	Alta
Dificuldade de Inspeção	Pouca/Nenhuma	Alta
Problemas com o meio-ambiente	Possibilidade de corrosão galvânica	Sensibilidade ao solvente
Resistência à umidade	Nenhuma	Muita (Auto Vedante)
Concentração de Tensões	Significativas	Podem ser muito baixas
Efeitos por carregamentos de longa duração	Relaxamento e Fadiga	Fluência
Sensibilidade às forças de arrancamento	Resistente	Suscetível
Sensibilidade às forças de tração	Suscetível	Resistente
Amortecimento de vibrações	Nenhum	Amortecimento intrínseco
Impacto na saúde e segurança	Corte, perfuração e temperatura	Solvente e Temperatura

## 2.4 Classificação dos Adesivos

Existem diversos critérios para a classificação de adesivos. O primeiro, e mais amplos deles é a distinção entre adesivos naturais e sintéticos. Os adesivos naturais são fabricados a partir de materiais disponíveis a natureza e/ou como subprodutos animais ou agrícolas. Já os adesivos sintéticos, são fabricados com materiais desenvolvidos pelo homem, como polímeros.

A classificação dos adesivos em naturais ou sintéticos é demasiado ampla. Por isso, a indústria utiliza outros critérios para classificar os adesivos, como exposto abaixo:

- Função;
- Composição química
- Modo de aplicação ou reação
- Forma física
- Custo
- Aplicação

Neste capítulo serão abordados dois primeiros critérios, por serem mais importantes na escolha dos adesivos.

### **2.4.1 Função**

Em relação à sua função, os adesivos podem ser classificados como estruturais ou não estruturais. Os adesivos estruturais são materiais de elevada resistência e desempenho, e seu critério de classificação é definido por valores de resistência ao corte superiores a 5-10 MPa, e uma boa resistência às condições ambientais comuns. Um adesivo estrutural tem função de manter unidas as estruturas e resistir a cargas elevadas sem grande deformação.

Os adesivos não estruturais, não resistem à aplicação de grandes cargas e tem por função manter em posição materiais leves. Além disso, os adesivos não estruturais degradam-se após exposição prolongada ao ambiente, e fluem em cargas moderadas. Os adesivos não estruturais são, por vezes, usados com outro tipo de ligações mecânicas. Nessas aplicações, a ligação adesiva é considerada secundária. O uso de um adesivo não estrutural em conjunto com um método mecânico permite reduzir o número de ligações mecânicas e também permite vantagens adicionais tais como amortecimento de vibrações, vedação ou isolamento.

#### **2.4.1.1 Tipos de adesivos estruturais**

Os adesivos estruturais podem ser subdivididos nas seguintes famílias:

- Acrílicos;
- Epóxidos;
- Fenólicos;
- Poliuretanos;
- Poliamidas

As ramificações destas famílias podem ser divididas como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Tipos de adesivos estruturais [6]

Acrílicos	Anaeróbicos Cianoacrilatos Acrílicos modificados
Epóxidos	Epóxido-fenólicos Epóxido-nitrilo Epóxido-poliamida Epóxido-polisulfitos Epóxido-poliuretano Epóxido-vinílico
Fenólicos	Fenólicos-cloropreno Fenólicos-nitrilo Fenólicos-vinílicos
Poliimida	
Poliuretano	

## 2.4.2 Composição química

A classificação dos adesivos segundo sua composição química divide os adesivos como termoendurecíveis, termoplásticos, elastómeros ou híbridos.

### 2.4.2.1 Adesivos termoendurecíveis

Os adesivos termoendurecíveis são materiais que não podem ser aquecidos e amolecidos repetidamente após a sua cura inicial [1]. Após concluída a cura, este tipo de adesivo pode ser amolecido até um determinado ponto através do reaquecimento, mas não pode ser refundido ou restaurado para o estado anterior à cura. Elevando-se suficientemente a temperatura, esses adesivos enfraquecem devido à oxidação ou quebra das cadeias moleculares. Os adesivos termorrígidos curam através de uma reação química irreversível, que pode ocorrer à temperatura ambiente ou em temperaturas elevadas, dependendo do tipo de reação química. Para alguns adesivos que curam à temperatura ambiente, a reação química de natureza exotérmica fornece a energia necessária para cura do material polimérico. A reação química que ocorre na cura faz com que ocorra a reticulação do adesivo, que a partir de dois polímeros lineares gera uma estrutura tridimensional rígida.

### 2.4.2.2 Adesivos termoplásticos

Os adesivos termoplásticos são polímeros sólidos que amolecem ou fundem quando submetidos ao calor. Sua diferença em relação aos adesivos termoendurecíveis reside no fato

de que estes não curam ou endurecem quando submetidos ao calor. Em geral, este tipo de adesivo é um sólido que amolece ou se funde ao ser exposto ao calor. Esse comportamento vem do fato de que sua cura, diferente dos termorígidos, não ocorre de forma que as moléculas estejam em uma estrutura reticulada. O adesivo é fundido e aplicado sobre o substrato o qual se deseja colar, e conforme este vai perdendo calor ocorre sua solidificação e união dos materiais os quais se deseja colar.

É importante notar que número elevado de ciclos térmicos pode causar a degradação do material. Além disso, possuem temperatura de serviço mais limitada, podem apresentar fluência mesmo a baixas temperaturas.

#### 2.4.2.3 Adesivos elastoméricos

Os adesivos elastoméricos têm uma classificação própria devido às suas características reológicas únicas [1]. Tratam-se de polímeros sintéticos ou naturais, com grande tenacidade e capacidade de deformação elástica quando submetidos à carregamentos trativos e compressivos. Tem boa aplicabilidade em unta submetidas à carregamentos não uniformes devido à alta quantidade de energia que podem absorver.

Podem ser classificados também como termoendurecíveis ou termoplásticos, sendo os primeiros utilizados também como adesivo estrutural. Os adesivos elastoméricos em geral apresentam alto grau de deformação, baixo módulo de elasticidade e elevada tenacidade. Por isso, estes adesivos apresentam uma boa resistência a forças de arrancamento e uma boa flexibilidade que permite ligar substratos com coeficientes de expansão térmica diferentes. Também são utilizados como vedantes, amortecimento de vibrações e isolamento sonoro.

#### 2.4.2.4 Adesivos híbridos

Adesivos híbridos são obtidos através da combinação dos outros três tipos de adesivos apresentados anteriormente, termoendurecíveis, termoplásticos e elastoméricos. O objetivo desta combinação de materiais é explorar o que de melhor cada um dos materiais tem a oferecer. Resinas rígidas e frágeis para altas temperaturas podem ser combinadas com um adesivo elastomérico ou termoplástico flexível e tenaz para melhorar a resistência ao arrancamento e a capacidade de absorver energia. Ainda, podem ser introduzidas microestruturas no interior do adesivo, como uma fase elastomérica pequena, porém aumentado significativamente a tenacidade do adesivo, através de ligações químicas com a

maior parte do adesivo, atuando de forma a reduzir ou impedir a propagação de trincas no mesmo.

## 2.5 Teoria da Adesão

Existem diversas teorias propostas para explicar o fenômeno da adesão, cada uma delas associada a resultados experimentais. Todavia, nenhuma delas explica de forma completa e geral, além de ensaios tomando por base uma única teoria às vezes apresentar um resultado contraditório. Por isso, acredita-se que o mecanismo da adesão seja uma combinação das diversas teorias propostas.

A principal função do adesivo é unir partes. E essa união se dá através da combinação de forças mecânicas, químicas e físicas que atuam em conjunto e influenciando umas as outras. A adesão é um fenômeno essencialmente interfacial, e sua resistência corresponde ao grau de atração entre duas superfícies unidas e seu valor depende do tipo de teste utilizado na avaliação.

Dentre todas as teorias propostas para explicar a adesão, quatro teorias ganharam mais destaque e foram mais aprofundadas: Teoria mecânica, teoria da adsorção, teoria da difusão e teoria eletro estática.

### 2.5.1 Teoria mecânica

Foi a primeira teoria proposta para explicar a adesão, partindo do fato conhecido que a superfície efetiva de um objeto não é perfeitamente lisa, e sim composta por picos e vales de determinado tamanho e perfil, ou seja, parâmetros de rugosidade. Para que ocorra a adesão, o adesivo deve penetrar nas fendas existentes na superfície, para que ocorra a ancoragem mecânica, conforme mostrado na Figura 4. Fato é que o adesivo deve ter uma viscosidade adequada para que molhe adequadamente penetre de forma suficiente os poros e aberturas da superfície que deseja se colar em tempo hábil, ocorrendo assim, uma boa adesão.

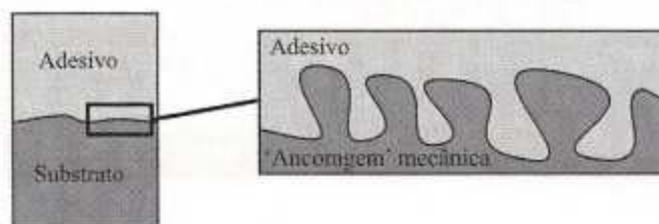


Figura 4 – Figura esquemática da adesão mecânica

Na presença de asperezas e/ou poros, o adesivo infiltra-se naturalmente, sendo a rugosidade um parâmetro preponderante, pois favorece o aumento da área de contato entre o substrato e o adesivo, com um consequente aumento das ligações da interface. Os estudos desenvolvidos por Charbonier [10] foram os primeiros à indicar existência de uma rugosidade ótima para a resistência da junta.

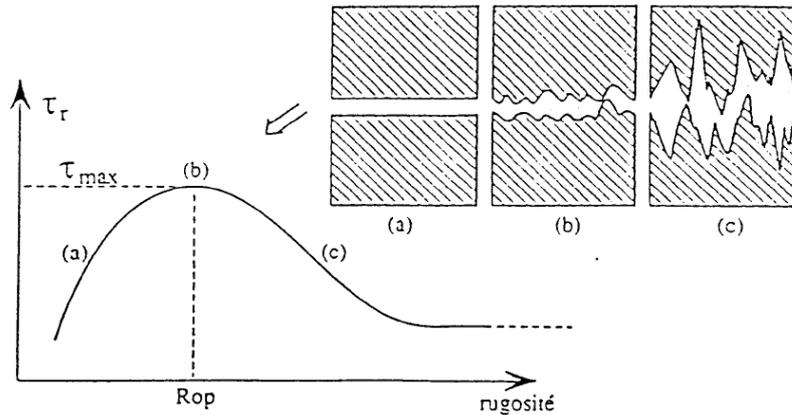


Figura 5 - Mudança na resistência à ruptura em função da rugosidade [10]

A Figura 5 mostra a influência da rugosidade, para uma superfície lisa (a) a colagem pode ser defeituosa por não haverem pontos de ancoragem e tem difícil adesão, enquanto para uma superfície muito rugosa (c) a colagem também é defeituosa devido à má penetração do adesivo nas cavidades.

Trabalhos mais recentes como os desenvolvidos por Ghumatkar et al. [17], mostram a existência de valores de rugosidade ótimos para substratos metálicos, como apresentado na Figura 6.

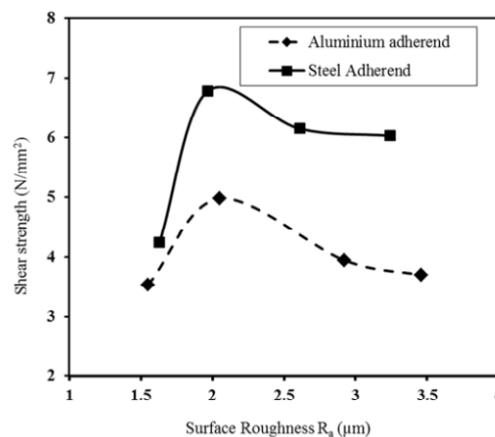


Figura 6 - Resistência ao cisalhamento em função da rugosidade para aço e alumínio

Apesar do exposto acima, uma boa adesão pode ocorrer também em superfícies lisas, o que reforça a possibilidade de contradição acerca de resultados experimentais apresentada anteriormente, devido ao fato que uma única teoria de adesão não pode ser levada em consideração de forma global.

### 2.5.2 Teoria da adsorção

A teoria da adsorção descreve o mecanismo essencialmente através das forças de superfície. Essas forças estão divididas por dois modos de atuação. No nível molecular considerando-se o mecanismo da molhabilidade e existência de uma camada limite, a denominada adsorção física, ocorre através da existência de forças van der Waals, dipolos induzidos ou permanentes, pontes de hidrogênio e interações ácido base. No nível atômico através das ligações químicas primárias, a adsorção química ocorre pela existência de ligações iônicas, covalentes e metálicas. Os dois tipos de adsorção podem ser visualizados na Figura 7.

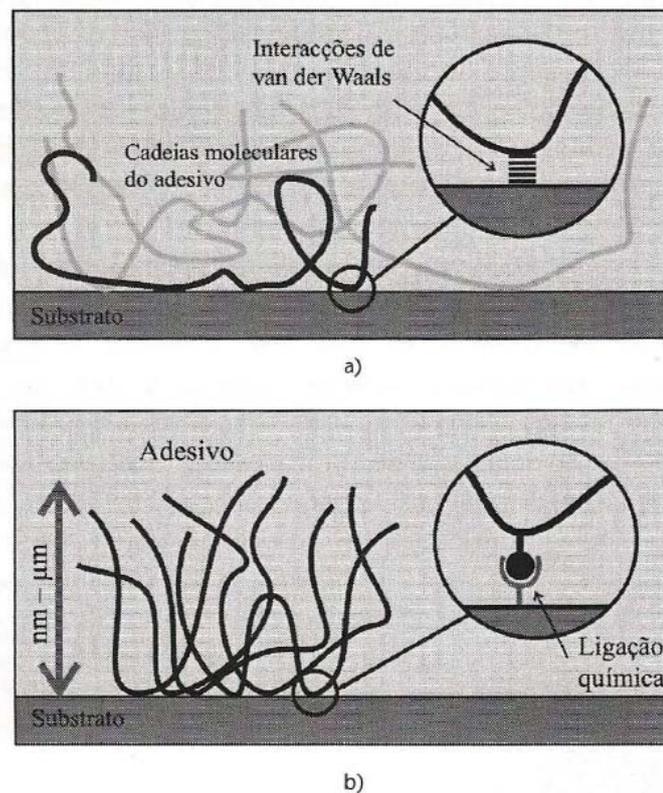


Figura 7 – Esquema da adesão; a) por adsorção física; b) por adsorção química

É importante salientar que as forças primárias (adsorção química) não estão presentes em diversos adesivos. Todavia, é desejável a existência deste tipo de forças (mais fortes), especialmente para o bom desempenho de adesivos estruturais. A Figura 8 mostra a energia de ligação em função da distância para algumas forças de superfície.

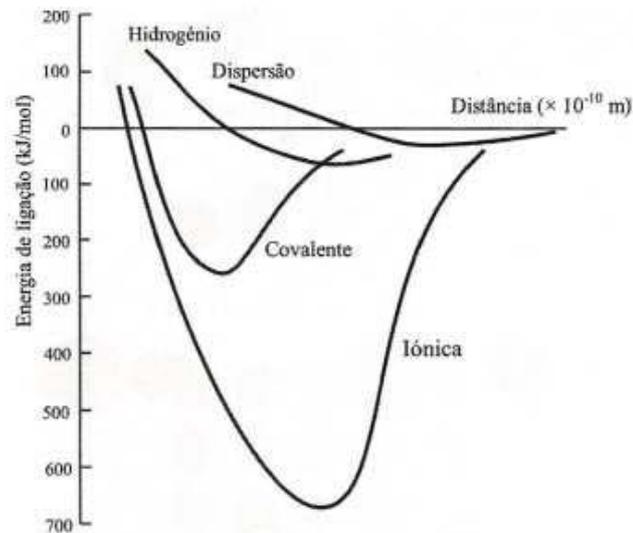


Figura 8 – Energia de ligação em função da distância

### 2.5.3 Teoria da Difusão

A teoria da difusão foi desenvolvida por uma escola russa de química e tem sua validade para os mecanismos de adesão apenas de materiais poliméricos, não sendo válida para a adesão entre adesivos e substratos metálicos. Segundo esta teoria, a adesão corre através da difusão da cadeia molecular da superfície de um polímero sobre a superfície de outro polímero, resultando em uma ponte ou ligação através da interface, como mostrado na Figura 9.

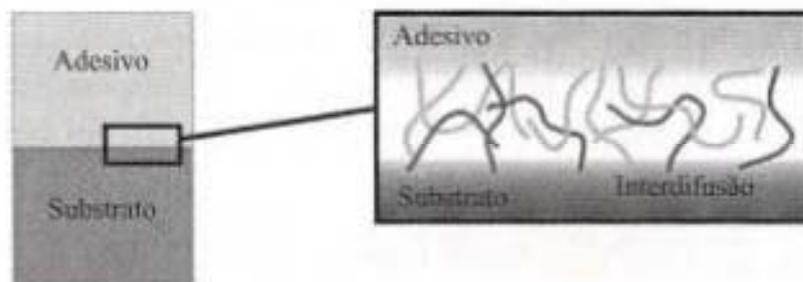


Figura 9 - Esquema da teoria da adesão por difusão

Quando este tipo de adesão ocorre entre um material polimérico e ele próprio, é dado o nome de autoadesão, enquanto ao tratar-se de dois polímeros distintos é chamado de heteroadesão. Ainda, é importante salientar que a teoria da difusão não se aplica quando os materiais a ligar não são solúveis ou o movimento da cadeia do polímero é restringida pela sua estrutura reticulada ou cristalina, ou quando o adesivo está abaixo da sua temperatura de transição vítrea [1].

### 2.5.4 Teoria eletrostática

Também desenvolvida na por um russo, esta teoria se aplica especificamente à adesivos de fita sensíveis à pressão. A teoria propõe que a adesão ocorre pela transferência de elétrons através da interface, criando cargas positivas e negativas que se atraem. Conseqüentemente, desenvolve-se uma dupla camada elétrica entre as cargas opostas que se atraem, provocando assim o surgimento de forças que atuam de forma a impedir a separação, como mostrado na Figura 10. Apesar da existência de resultados experimentais que apontam a ocorrência de descargas elétricas ao separar o adesivo do substrato, existe a controvérsia de que as forças eletrostáticas não seriam a causa, mas sim o resultado, de uma junta resistente.

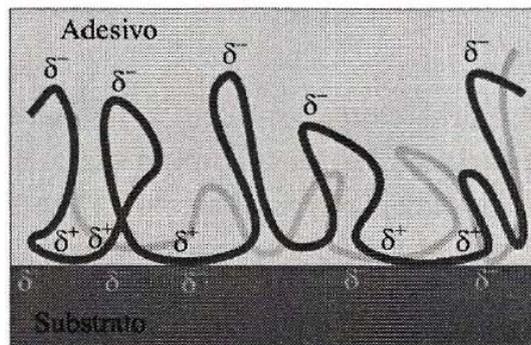


Figura 10 – Esquema da teoria eletrostática

## 2.5 Defeitos em Juntas coladas

Após ensaios em juntas coladas, os resultados obtidos divergem do esperado de acordo com os modelos teóricos, às vezes até em grandes ordens de grandeza. Existem três justificativas propostas para tal fato, a serem discutidas nos itens a seguir.

### 2.5.1 Camada Fraca

A primeira razão para a diferença entre os valores teóricos e experimentais foi proposta por Bikerman [25], apresentando a hipótese de que as superfícies em contato seriam isentrópicas e de composição uniformes estava equivocada, dando origem à uma camada fraca, conforme mostrado na Figura 11.

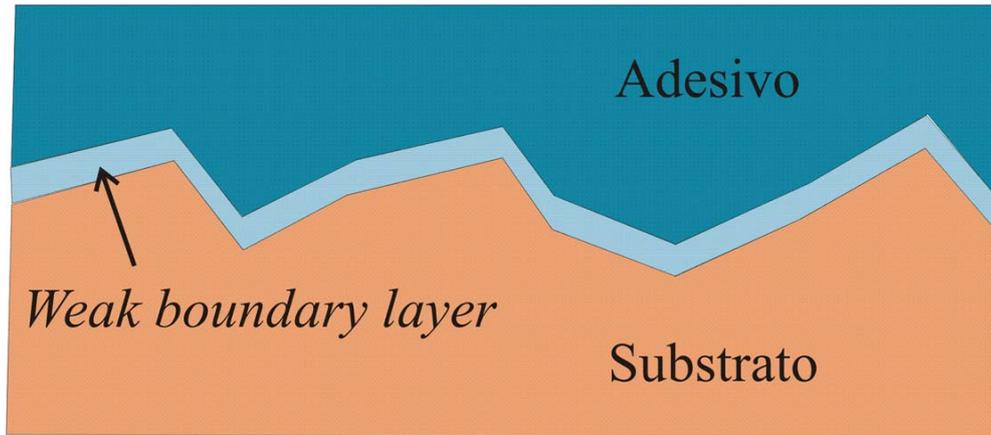


Figura 11 – Representação esquemática de uma camada fraca [1].

Na realidade a superfícies dos materiais reais tem propriedades distintas em relação ao seu interior, e dão origem a uma camada fraca por diversos motivos como:

1. Inclusão de gases em vazios ou bolhas;
2. Formação de filmes de óxidos mais fracos ou com baixa energia de ligação às camadas adjacentes;
3. Concentração de outros constituintes na superfície, mesmo em pequenas proporções.

### 2.5.2 Concentração de Tensões

A segunda razão que explica os valores menores de resistência é explicada pelo fenômeno da concentração de tensões. A distribuição de tensões sobre uma junta colada não é uniforme, ocorrendo concentração de tensões em suas extremidades como mostrado na Figura 12. Esse fato, explica também a existência de um valor limite de comprimento de sobreposição para o qual seu aumento não representa um aumento na resistência da junta, conforme Figura 13.

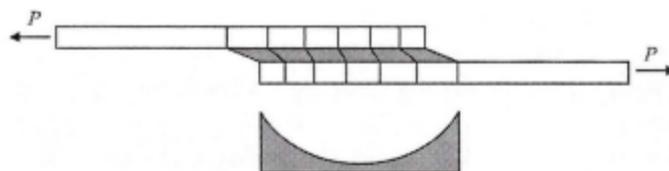


Figura 12 – Distribuição de tensões em uma junta de sobreposição simples [1]

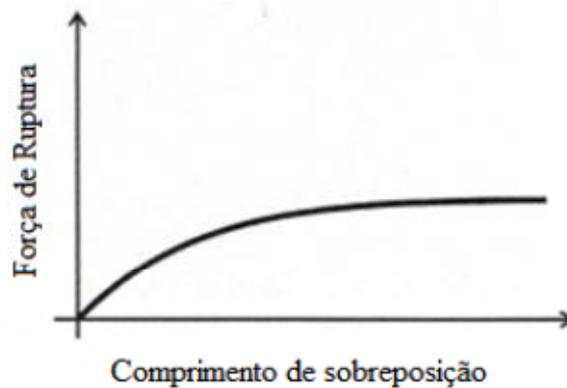


Figura 13 – Resistência de uma junta de sobreposição simples em função do comprimento de sobreposição [1]

### 2.5.3 Irregularidades de Superfícies

A terceira e última causa, recorrente em todos os materiais, é a existência de irregularidades de superfície, que agem como iniciadores e propagadores de trincas. Conforme as teorias clássicas de Griffith e Irwin, uma trinca pode ter resultados catastróficos pela sua natureza de propagação rápida depois de um comprimento crítico. A divergência entre os valores teóricos esperados e os resultados práticos pode ser atribuída, a defeitos, vazios e outras irregularidades geométricas, que agem como concentradores de tensão durante o carregamento, conforme mostrado na Figura 14.

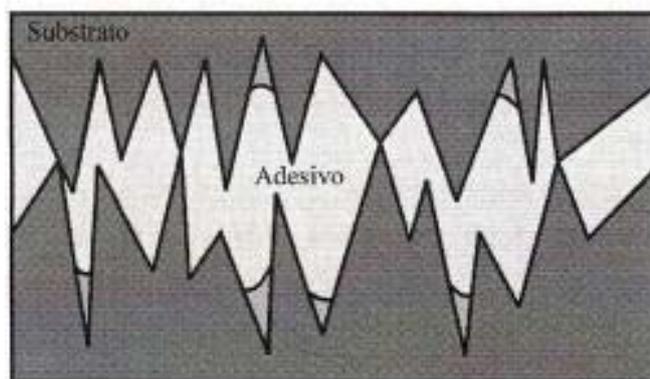


Figura 14 - Pontos de iniciação de fissuras em superfícies muito irregulares [1]

## 2.6 Modos de Carregamento

Para que o projeto de uma junta colada apresente um desempenho satisfatório em operação, se faz necessário conhecer a natureza das tensões atuantes sobre a junta e o respectivo comportamento produzido ao ser submetida à estas tensões.

Existem essencialmente quatro modos fundamentais de carregamento: Corte (cisalhamento), tração, arrancamento e clivagem. Qualquer combinação ou variação destes pode ser encontrada na prática [1]. Os modos citados neste parágrafo podem ser vistos na Figura 15 – Modos fundamentais de carregamento.

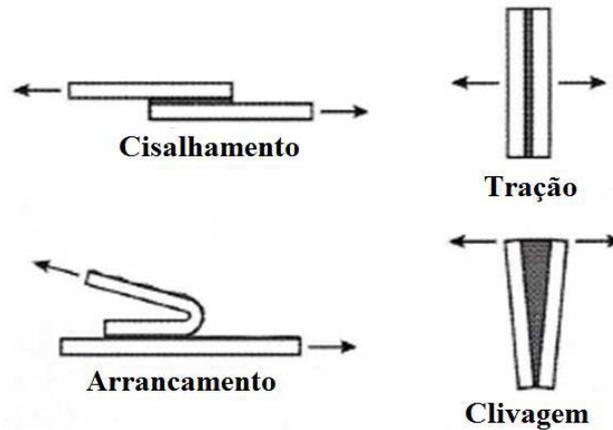


Figura 15 – Modos fundamentais de carregamento

### 2.7.1 Tração e Compressão

As tensões de tração ocorrem quando as forças aplicadas ocorrem de forma perpendicular à junta, de forma que os substratos sejam paralelos e todas as tensões atuantes sejam normais à superfície. Todavia, em juntas reais, isso não ocorre de maneira idêntica ao modelo teórico, devido à variação da espessura do adesivo ao longo da junta, e pelo fato das forças não serem perfeitamente perpendiculares, isso resulta primeiramente em uma distribuição de tensões ao longo da junta que alternam entre tração e compressão, conforme mostrado na Figura 16, além de forças de corte e cisalhamento.

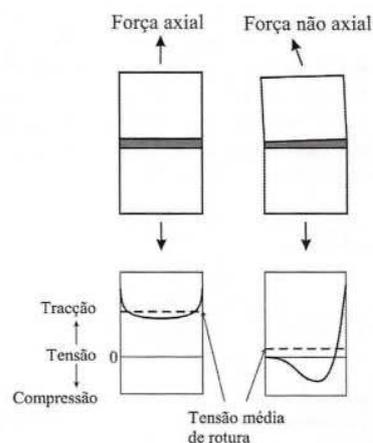


Figura 16 – Distribuição de tensões em uma junta devido à em função da variação da axialidade

As juntas submetidas a carregamentos de tração, em especial para juntas topo a topo, podem vir, mesmo para forças perfeitamente axiais, tensões de arrancamento e corte caso o módulo de elasticidade do adesivo seja menor que do substrato, devido à contração lateral do adesivo.

### 2.7.2 Cisalhamento

As tensões de corte, também chamadas de cisalhamento, ocorrem quando as forças atuando no plano do adesivo tendem a separar os substratos [1]. De maneira geral, juntas coladas são mais resistentes quando submetidas à tensões de cisalhamento. Isso, juntamente com a relativa facilidade de fabricar este tipo de junta, faz com que estas sejam as mais utilizadas na prática, especialmente as juntas de sobreposição simples, ou *single lap joint*.

Os valores da tensão de cisalhamento podem ser determinados de maneira simples dividindo-se a força aplicada pela área colada. Porém, a tensão não é distribuída uniformemente no adesivo, estando mais concentrada nos extremos do comprimento de sobreposição e mais reduzida na região central como mostrado na Figura 17, conforme o método de deformação diferencial introduzido por Volkersen em 1983.

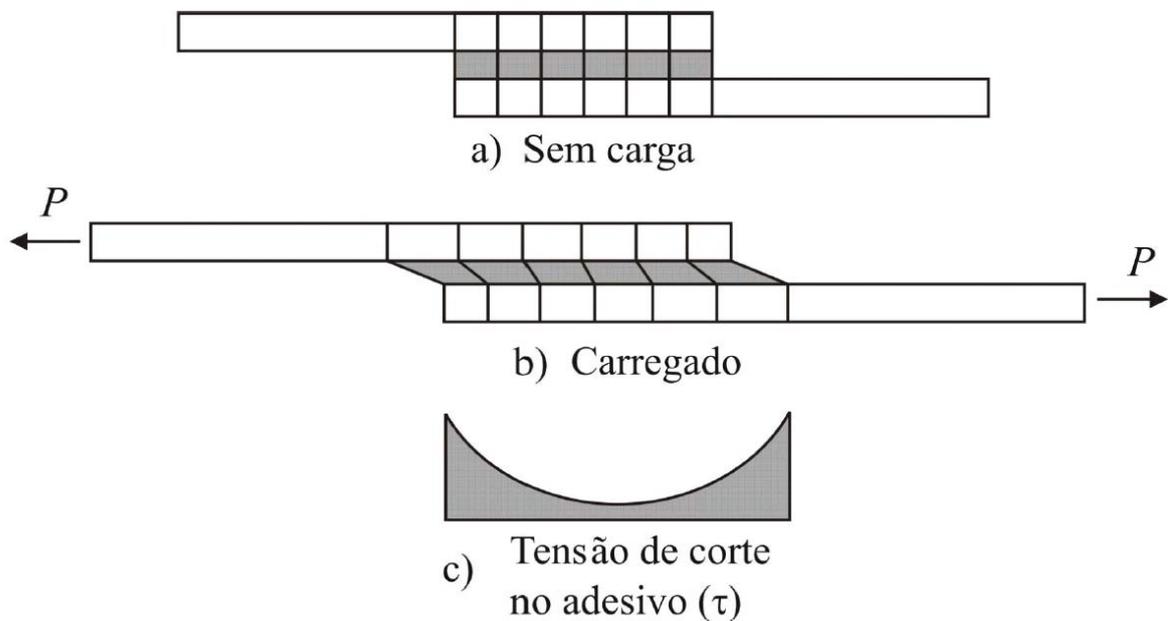


Figura 17 – Distribuição de Tensões conforme análise de Volkersen

### 2.7.3 Clivagem e arrancamento

As tensões de clivagem e arrancamento são as mais críticas para uma junta colada. A clivagem é definida como a tensão que ocorre quando forças na extremidade de uma junta rígida atuam de modo a separar os substratos como pode ser visto na Figura 18. As tensões de arrancamento são similares às de clivagem com a diferença de que um ou ambos os substratos são flexíveis, podendo assim deixar-se deformar plasticamente e levar à concentração das forças trativas numa zona muito mais localizada numa das extremidades da ligação conforme mostrado na Figura 19.

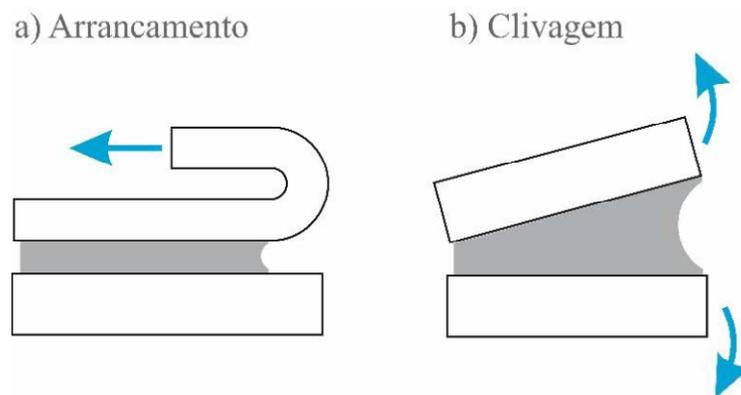


Figura 18 – Esforços de arrancamento (a) e clivagem (b) [5]

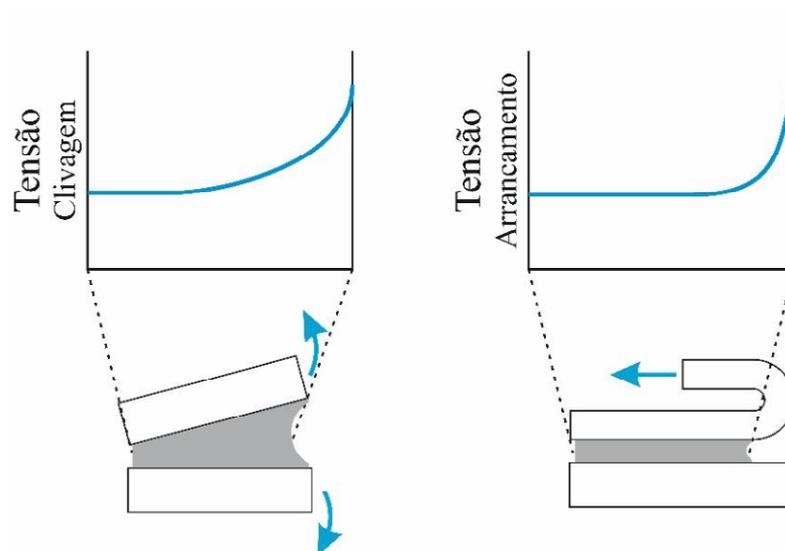


Figura 19 - Distribuição da tensão de clivagem e arrancamento [5]

As juntas coladas apresentam resistência mecânica muito menor quando submetidas a carregamentos de clivagem ou arrancamento, comparado à resistência ao cisalhamento puro. Isso ocorre, porque nestes tipos de carregamento a tensão está localizada na extremidade da junta e está concentrada numa área muito menor. Os adesivos frágeis e rígidos são

particularmente sensíveis às forças de arrancamento. Por outro lado, os adesivos mais dúcteis e flexíveis permitem uma distribuição de tensões menos concentrada e também uma maior resistência como ilustrado na Figura 20.

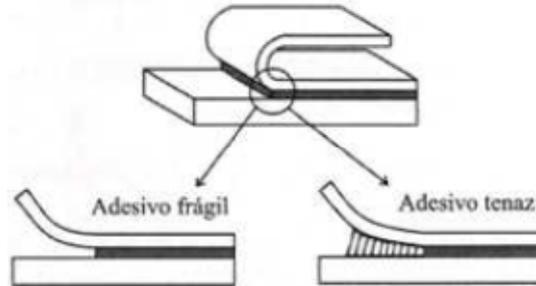


Figura 20 – Distribuição de tensões em adesivos frágeis e tenazes

## 2.7 Tipos de Juntas

As juntas coladas podem possuir diversas formas em função de fatores como: tensões envolvidas, intensidade da tensão e facilidade de fabricação.

Os diversos formatos de juntas, mostrados na Figura 21 foram evoluindo para diminuir as tensões envolvidas nela com base nos avanços teóricos dos modelos de tensões, porém devido ao custo, as juntas mais simples continuam sendo as mais utilizadas. As juntas mais comuns encontradas são de sobreposição simples, dupla e chanfro [5].

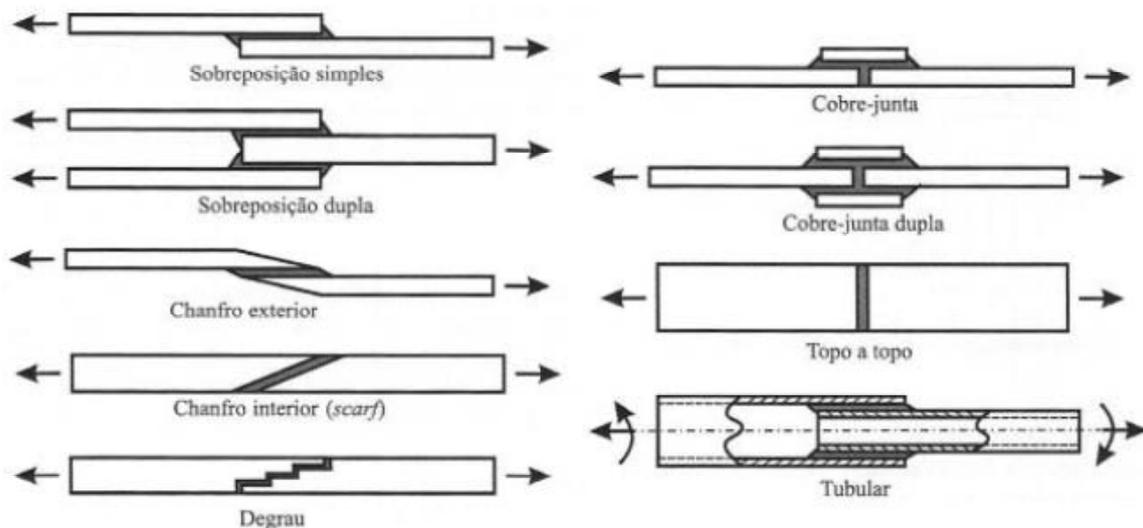


Figura 21 - Principais tipos de juntas [1]

## 2.8 Preparação da Superfície

A preparação da superfície é uma das etapas mais importantes no processo de fabricação de juntas coladas, que envolve processos químicos, físicos e/ou mecânicos de acordo com o material do substrato, e possui grande influência na resistência mecânica final da junta. Partindo do que foi apresentado pela Teoria da Adesão, nota-se que os tratamentos superficiais são quase sempre necessários, e não somente para a obtenção de uma molhagem perfeita, e sim para buscar uma coexistência entre os diversos tipos de ligação propostos pelas teorias da adesão e melhoria dos parâmetros físicos e químicos envolvidos.

Para reduzir a influência de impurezas junto à superfície, processos de preparação, também denominados de tratamento de superfície, são realizados, provocando um acréscimo considerável na resistência mecânica de juntas adesivas, entre os quais podemos destacar o tratamento mecânico por meio de abrasivos [1]. Partindo desta afirmação, o capítulo 3, 4 e 5 apresentam a influência da variação do tratamento mecânico efetuado sobre a superfície do substrato, e seus consequentes parâmetros de rugosidade, resistência mecânica e modo de ruptura.

Como já exposto anteriormente, numa junta colada ideal espera-se que o elo mais fraco seja o adesivo ou o aderente e não a interface, sendo o objetivo da preparação da superfície obter este resultado. A Figura 22 mostra o esquema de “elos de adesão” em uma junta colada.

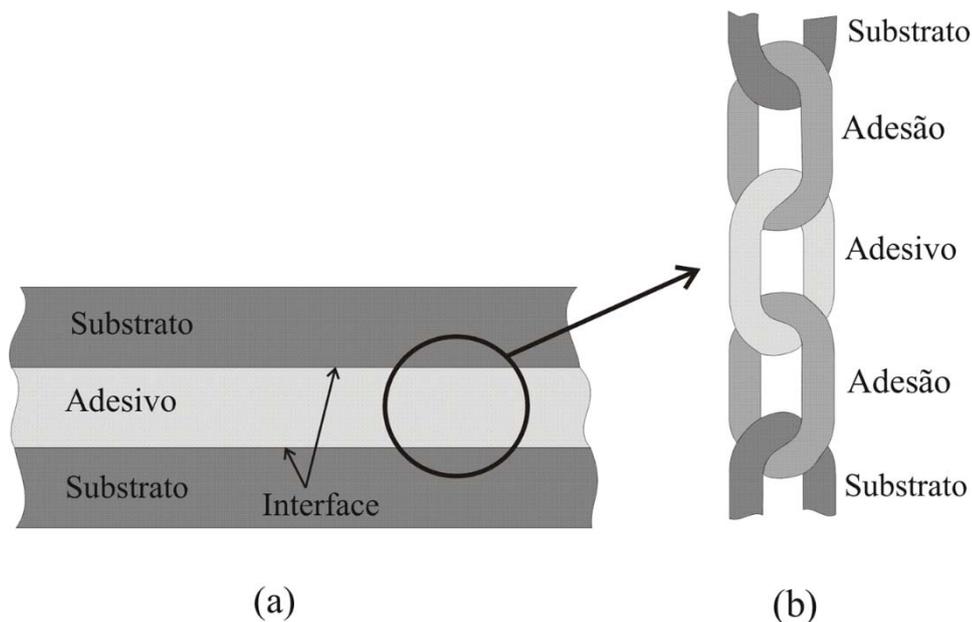


Figura 22 – Adesão em uma junta colada

Tendo em vista que os valores de resistência do adesivo e do substrato são conhecidos na literatura, a compreensão e controle da superfície do aderente se faz necessária em juntas coladas onde a interface é o elo mais fraco, à baixa resistência sendo associada à ruptura adesiva. Sendo a ruptura adesiva resultado das camadas fracamente ligadas à superfície, como óxidos e partículas soltas e/ou contaminantes como óleos, gorduras e agentes desmoldantes, que devido à sua baixa energia superficial impedem a boa molhagem do substrato pelo adesivo.

### 2.8.1 Superfícies Metálicas

As superfícies metálicas são constituídas por regiões bem demarcadas, ainda que suas fronteiras não estejam bem definidas como mostrado na Figura 23, pois o trabalho mecânico executado durante a fabricação e/ou serviço destes materiais torna essas camadas heterogêneas.



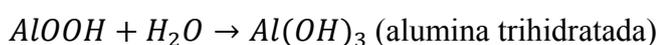
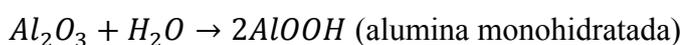
Figura 23 - Camadas superficiais em metais

Após o metal base encontram-se camadas de segregação proveniente nos processos de fabricação deste tipo de material. Acima desta camada, desenvolve-se a camada de óxido metálico que é sucedida por uma camada de hidróxidos e água e por fim outros contaminantes como óleos, gorduras e pós. Para que ocorra uma boa adesão, é importante que o adesivo utilizado seja compatível com as camadas superficiais às quais vai se ligar. Para as ligas metálicas tratadas superficialmente, estas camadas correspondem à camada de óxidos e na maioria das vezes hidróxidos e água. Por isso, se faz necessário entender o surgimento e comportamento destas camadas, bem como a compatibilidade do adesivo utilizado.

### 2.8.1.1 Alumínio

O alumínio e suas ligas são os materiais metálicos mais estudados quanto à preparação de superfície em juntas coladas, o que se deve à sua extensa aplicação na indústria aeronáutica e automotiva devido à sua resistência mecânica em função de uma baixa densidade associada à confiabilidade e durabilidade.

O contato do alumínio com a atmosfera resulta em um processo de oxidação imediato que leva à formação de alumina  $Al_2O_3$  de estrutura amorfa (não cristalina). Esse óxido é sensível à umidade e temperatura presentes no meio ambiente, reagindo e formando assim hidróxidos. Em contato com a água, a alumina hidrata-se segundo a reação abaixo:



Esses diferentes hidróxidos possuem estruturas cristalinas e poderes adsorventes distintos. A aderência sobre as camadas  $Al$  e  $Al_2O_3$  é forte, porém a aderência sobre a camada  $Al(OH)_3$  é fraca, devido à sua configuração espacial que não resiste bem às tensões resultantes do processo de colagem, facilitando a difusão da umidade nas camadas inferiores e levando à ruptura adesiva.

A superfície de uma peça de alumínio simplesmente oxidada é constituída por alumina, como mostrado na Figura 24.

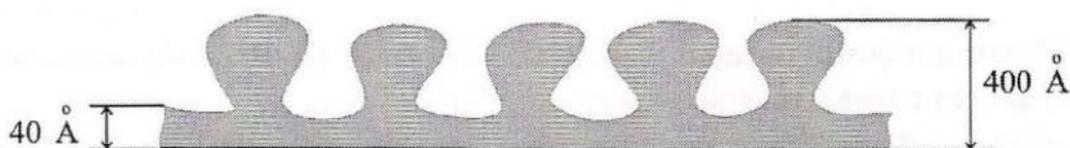


Figura 24 - Aspecto da alumina simplesmente oxidada [1]

Quando essa camada de óxido sofre um tratamento em meio úmido, a uma temperatura superior à  $70^\circ$ , a alumina  $Al_2O_3$  transforma-se em alumina monohidratada ( $AlOOH$ ) que se expande e preenche os poros, como mostrado na Figura 25, em um processo conhecido como colmatagem.

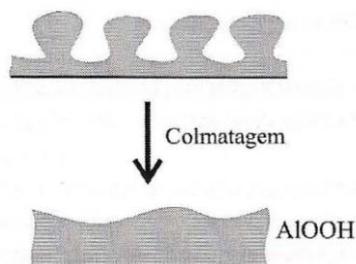


Figura 25 - Processo de colmatagem

A superfície colmatada apresenta duas características que servem como objeto de estudo e compreensão no âmbito de juntas coladas. A superfície colmatada melhora nitidamente a resistência à hidratação. Todavia, a energia de superfície é diminuída. Para superfície de alumínio colmatado, por exemplo, esse decréscimo pode atingir valores por volta de 70%.

O tratamento superficial a ser empregado em juntas de alumínio depende do nível de adesão exigido em função do custo associado. Em síntese, três condições podem existir na superfície do alumínio:

1. Camadas simplesmente oxidadas (decapagem ou anodização), que possuem o melhor encaixe mecânico porém muito à sensíveis à hidratação;
2. Camadas monohidratadas (colmatadas) tem uma adesão menor que a camada simplesmente oxidada, porém são mais resistentes à hidratação;
3. Camadas trihidratadas, que como já descrito anteriormente possui baixos níveis de adesão, devendo assim ser evitada.

## 2.8.2 Princípios da Preparação da Superfície

Como já descrito anteriormente, a preparação da superfície visa garantir que a adesão entre o adesivo e o substrato seja forte o suficiente que a interface não seja o elo mais fraco de uma junta colada, atuando de forma a inibir a ocorrência de uma cada fraca, baixas forças de ligação e molhagem insuficiente. Os métodos utilizados neste trabalho atuam na remoção de material e na alteração da topografia da superfície.

### 2.8.2.1 Remoção de Material

O primeiro método de preparação da superfície envolve a remoção de material de forma excluir os materiais formadores de uma camada fraca, que atuam de forma a reduzir a

energia da superfície e dificultam a molhagem dos substratos, como os óleos, gorduras, óxidos pouco resistentes (baixa adesão), pós, contaminantes e agentes desmoldantes.

#### 2.8.2.2 Modificação Química da Superfície

A modificação química da superfície tem por objetivo remover ou adicionar elementos químicos de forma que as superfícies do adesivo e substrato forças polares mais fortes possam operar de forma a garantir a resistência mecânica da junta, como descrito no tópico 2.5.

#### 2.8.2.3 Alteração da Topografia da Superfície

Finalmente, a alteração da topografia da superfície, como já descrito no tópico 2.5, atua de forma a criar uma superfície rugosa e capilar que favoreça o encravamento mecânico.

### 2.8.3 Métodos de Preparação da Superfície

A preparação da superfície de uma junta colada pode ser extremamente longa, complexa e cara. Por isso, é importante selecioná-la de forma adequada de acordo com as características, objetivo, função e desempenho que se espera da junta.

Basicamente, a preparação de superfície pode ser realizada por métodos físicos (ou mecânicos) e por métodos químicos. Ainda, estes métodos podem ser subdivididos em processos passivos ou processos ativos. Os processos passivos não alteram quimicamente a superfície, só limpam e removem as camadas fracas. Já os processos ativos alteram quimicamente a natureza da superfície. A seleção do método a ser utilizado depende de diversos fatores, mas pode ser sintetizado no processo ou combinação de processos que tenha o menor custo associado que atinja o resultado mínimo necessário para atingir as características funcionais desejadas. A Figura 26 apresenta o efeito de alguns métodos de preparação da superfície sobre juntas envelhecidas em água.

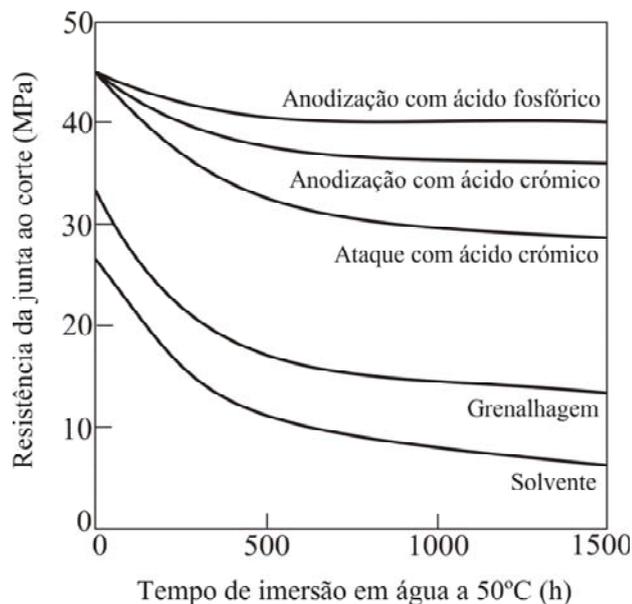


Figura 26 - Efeito de vários tratamentos superficiais em juntas de alumínio colado com um epóxi [1]

### 2.8.3.1 Métodos Físicos

#### 2.8.3.1.1 Limpeza com ferramentas manuais

Remoção da camada de óxidos, óleos, gorduras, pós e contaminantes com baixos níveis de adesão. Pode ser feito por meio de lixamento, escovamento, raspagem ou qualquer outro método manual. Os resultados podem ser inconsistentes, visto que depende da habilidade de quem o executa.

#### 2.8.3.1.2 Jateamento abrasivo

Utilizam-se partículas abrasivas projetadas através da utilização de ar comprimido sobre a superfície a ser preparada. Os abrasivos mais comuns são areia, óxido de alumínio sinterizado ou granalha de aço. As granalhas metálicas podem ser esféricas ou angulares com diversos tamanhos de grão. O material, tipo e tamanho da granalha são selecionados de acordo com o material a ser jateado e de acordo com a rugosidade final desejada, conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Alturas do perfil de rugosidade em função da granulometria e tipo de abrasivos [18]

Tipo de Abrasivo	Granulometria	Altura máxima do perfil ( $\mu\text{m}$ )
Granalha de aço angular	G-14	150
	G-25	100
	G-40	75
	G-50	50
Granalha de aço esférica	S-390	110
	S-330	85
	S-280	75
	S-230	65
Óxido de alumínio sinterizado angular	# 8/16	130
	# 12/20	100
	# 20/40	80
Óxido de alumínio sinterizado esférica	# 8/16	100
	# 12/20	85
	# 20/40	65

Antes do jateamento, a superfície deve ser limpa com solventes para a remoção de graxas, gorduras e óleos. Posteriormente ao jateamento a superfície deve ser limpa com escovas, aspiradores ou jato de ar seco para remoção do abrasivo.

Para o jateamento com areia, o tempo de exposição é o fator determinante para o valor final de rugosidade obtido, enquanto no jateamento com granalhas metálicas o tamanho do grão define a rugosidade final obtida. Teoricamente, a pressão de jateamento não influencia no valor final da rugosidade obtida. Todavia, durante o jateamento de chapas finas, a ocorrência de deformação plástica no substrato influencia no valor final da rugosidade obtida. Ainda, no jateamento de chapas finas, como as utilizadas em juntas coladas, se faz necessário que ambos os lados sejam jateados como forma de minimizar a deformação plástica longitudinal no perfil da peça.

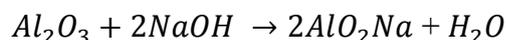
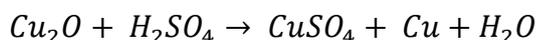
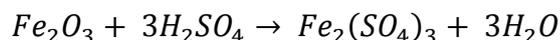
### 2.8.3.2 Métodos Químicos

#### 2.8.3.2.1 Solventes

A utilização de solventes visa remover da superfície os óleos ou gorduras que estejam presentes. Todavia, esses componentes não são completamente removidos apenas pela utilização de um solvente, pois em geral uma camada monomolecular permanece aderida à superfície do material. Por isso, a utilização de solventes costuma ser combinada com um outro processo de preparação de superfície de forma a se complementarem. Os solventes mais utilizados são o tolueno, acetona, metiletilcetona (MEK) e o álcool de metilo. Por fim, os solventes podem ser aplicados sobre os substratos através de sucessivos panos, até que fique limpo, por imersão no solvente em fase líquida ou por contato com o solvente vaporizado.

#### 2.8.3.2 Decapagem química

A decapagem química atua de forma a remover os óxidos e demais camadas fracas da superfície, proteger contra a corrosão e aumentar a rugosidade em uma escala microscópica. Este processo utiliza-se da solubilidade dos óxidos, hidróxidos e demais camadas fracas nos ácidos fortes como H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, HNO<sub>3</sub> e HF ou bases fortes como a soda cáustica, como mostrado nas reações abaixo:



## 2.9 Modos de Ruptura

O objetivo de uma junta é resistir e transmitir os carregamentos estáticos e dinâmicos ao qual está submetida dentro de determinadas condições ambientais, mantendo sua integridade estrutural. Por isso, se faz necessário a compreensão da forma que essas tensões atuam sobre as juntas e os consequentes modos de ruptura por elas induzidos. Além disso, é necessário projetar as juntas coladas de forma que a ligação entre o adesivo e o aderente não seja a mais fraca presente. Por isso se faz necessário estudar os modos de ruptura de uma ligação adesiva para que se obtenham melhores propriedades. De maneira geral, existem três modos de ruptura distintos: ruptura coesiva no interior do adesivo, ruptura adesiva na interface entre o adesivo e o substrato, ou ruptura interfacial, e a ruptura no substrato, ou ruptura coesiva no substrato. Ainda, a ruptura pode ocorrer parcialmente de forma adesiva e

parcialmente de forma coesiva, denominada de ruptura mista. Esses modos de ruptura podem ser visualizados na Figura 27.

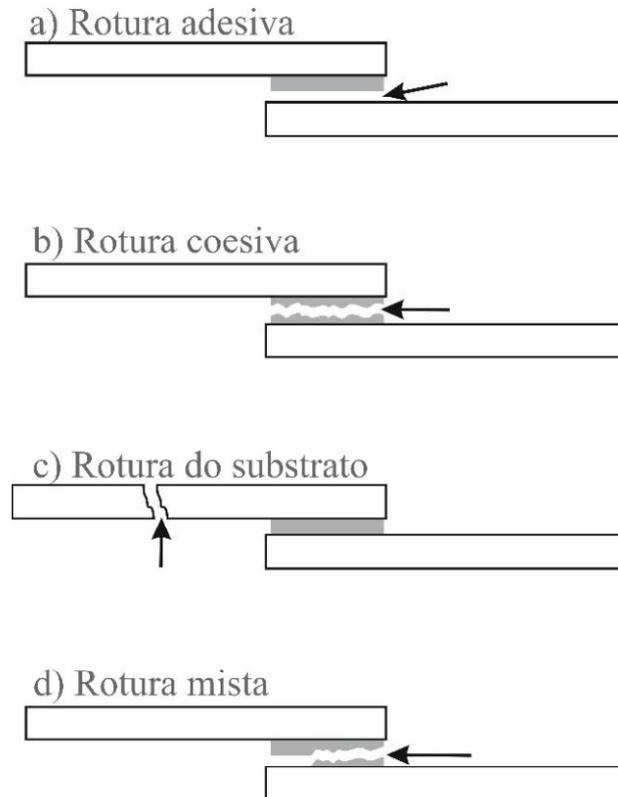


Figura 27 - Modos de ruptura em juntas adesivas

A ruptura adesiva ocorre na interface entre o adesivo e o substrato. Após a ruptura é possível ver que uma das superfícies do substrato não apresenta qualquer resíduo de adesivo. Em geral, esse tipo de ruptura ocorre devido à uma má preparação das superfícies ou à não compatibilidade entre o adesivo e o substrato.

A ruptura coesiva no adesivo ocorre quando a ligação entre o adesivo e o substrato é mais forte que a resistência do próprio adesivo, além do substrato também ser mais resistente que o adesivo. Ao analisar juntas coladas após romperem desta forma, é possível visualizar que ambos os substratos estão cobertos pelo adesivo.

A ruptura coesiva no substrato ocorre quando a junta é bem projetada e sua carga de ruptura coincide com a resistência mecânica do substrato.

Finalmente, a ruptura mista, ou combinação das rupturas adesiva e coesiva, ocorre devido a uma má limpeza durante a preparação da junta ou mesmo devido ao próprio adesivo escolhido para a aplicação.

As juntas coladas devem ser sempre projetadas e fabricadas com os cuidados necessários para que a ruptura ocorra de forma coesiva, haja visto que os cálculos executados

para estimar a resistência da junta são baseados na resistência máxima do adesivo ou aderente, e não na resistência da ligação adesiva. Evitar a ruptura adesiva é primordial para um bom funcionamento da junta, e uma das melhores formas de evitar isso, é através de uma boa preparação da superfície.

## **2.10 Ensaios**

Na indústria e no desenvolvimento de tecnologias, todo material, elemento ou equipamento necessita ser submetido a ensaios de forma a compreender seu comportamento nas condições a qual será submetido, bem como obter suas propriedades físicas, mecânicas, térmicas, químicas e etc. As condições físicas ao qual uma junta adesiva estará submetida durante sua utilização influencia na forma que se dará a preparação da junta, além do seu comportamento quando em operação. Por isso o ideal é que as juntas adesivas sejam ensaiadas nas condições mais próximas às condições reais aos quais serão submetidas, de forma compreender seu comportamento, obter os resultados mais verossímeis possíveis e utilizar manter o controle da qualidade da junta colada.

De maneira geral, os ensaios em juntas adesivas são realizados a partir da utilização de um corpo de prova, sendo assim caracterizados como destrutivos. Estes ensaios mostram como será a ligação, comportamento e esforços necessários para o rompimento da junta. Os ensaios devem levar diversos fatores em consideração, como a geometria da junta, a interface, a camada primária, a preparação da superfície e o tempo de cura do adesivo.

Entre os diversos ensaios podem ser destacados:

- Ensaios de dureza, utilizados para verificação do grau de cura dos adesivos garantindo assim uma cura correta. Podem ser realizados através do método Shore, Método Barcol e Nanoidentação.
- Avaliação das propriedades térmicas, para obtenção da temperatura de transição vítrea, variação do módulo de elasticidade, volume específico e coeficiente de expansão térmica linear.
- Ensaios através da aplicação de tensões, como os ensaios de tração, compressão e arrancamento em suas mais diversas variações.

### 2.10.1 Ensaio de Cisalhamento por Tração

O ensaio de cisalhamento por tração é o método mais comum utilizado em juntas de sobreposição simples, pois pode ser realizado em máquinas universais convencionais o que torna o método simples e barato. O ensaio é executado de forma idêntica a um ensaio de tração convencional. São fixadas garras nas extremidades do corpo de prova, que é submetido a um carregamento axial crescente. A sobreposição entre os dois substratos unidos pelo adesivo resulta em uma tensão cisalhamento sobre o adesivo, até sua ruptura.

A principal função do ensaio de tração é obter a tensão média de ruptura ao corte (cisalhamento)  $\bar{\tau}$ , parâmetro mais comum para avaliação da resistência mecânica de uma junta de sobreposição, obtido através da razão entre a carga máxima aplicada ( $F$ ) e a área de sobreposição das chapas.

$$\bar{\tau} = \frac{F}{b \cdot l}$$

(Equação 1)

O ensaio em uma junta de sobreposição simples pode ser utilizado também como método comparativo entre o desempenho de dois adesivos distintos, desde que sejam mantidos constantes todos os outros parâmetros que podem influenciar os resultados.

Em geral, os substratos utilizados neste tipo de ensaio são chapas finas. Os métodos para preparação dos corpos de prova e realização dos ensaios são descritos nas normas ASTM D1002 e ISO 4587.

## Capítulo 3

### Materiais e Métodos

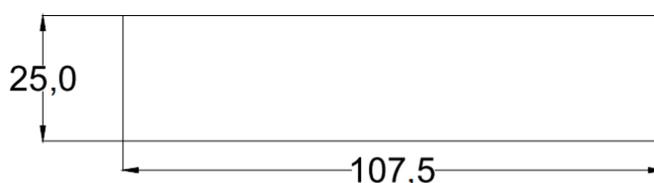
#### 3.1 Substratos

O material utilizado para confecção dos substratos dos corpos de prova foi o alumínio 1200 H14, similar ao utilizado na indústria automotiva. Este material foi submetido aos processos de encruamento e têmpera para obtenção de suas propriedades, conforme descrito na Tabela 5.

Tabela 5 – Propriedades Mecânicas do Alumínio 1200 H14 [13]

Designação		Têmpera	Limite de Resistência à tração Mínimo	Limite de Resistência à Tração Máximo	Limite de Escoamento Mínimo	Alongamento Mínimo	Dureza Brinell
ABNT ASTM	DIN						
1200	Al 99,0	H14	110 Mpa	145 Mpa	95 Mpa	3%	32 HB

Foram confeccionados 40 corpos de prova de alumínio, para a fabricação de 20 juntas coladas de sobreposição simples, divididas em 4 grupos serem descritos nos tópicos 3.1.1 à 3.1.4. Os corpos de prova foram fabricados conforme os requisitos da ASTM D1002, sendo adotadas as seguintes dimensões: Largura de 25,0 mm, espessura de 1,6 mm, comprimento de 107,5 mm e comprimento de sobreposição de 12,5 mm, conforme mostrado na Figura 28 - Layout dos corpos de provas



Espessura: 1,6

Figura 28 - Layout dos corpos de provas (dimensões em mm)

Conforme já exposto no título e resumo deste texto, o presente trabalho visa demonstrar a influência da preparação da superfície na resistência mecânica da junta e modo de ruptura de juntas de sobreposição simples submetidas ao cisalhamento por tração.

Os corpos de prova tiveram suas superfícies preparadas da seguinte maneira: Primeiramente, foi realizado um tratamento mecânico, com exceção do Grupo 1, para

obtenção de uma superfície mais rugosa e capilar, proveniente da junta com a alteração da topografia do material no comprimento de sobreposição. Posteriormente, foi realizado um tratamento químico, visando remoção de óleos e gorduras, evitando assim a formação de uma camada fraca e garantindo uma melhor molhagem da superfície. Os corpos de prova foram divididos em quatro grupos de acordo com o tratamento mecânico que receberam, como apresentado na Tabela 6.

Tabela 6- Tipo de preparação superficial mecânica por grupo de substrato

Grupo	Tratamento superficial mecânico
G1	Sem tratamento
G2	Abrasão com lixa N° 60 à + 45° e -45°
G3	Jateamento com óxido de alumínio a 3 bar-g
G4	Jateamento com óxido de alumínio a 6 bar-g

### 3.1.1 Grupo 1 – Corpos de prova sem preparação de superfície

O primeiro grupo de substratos, apresentados na Figura 29, não sofreu qualquer tipo de preparação de superfície.

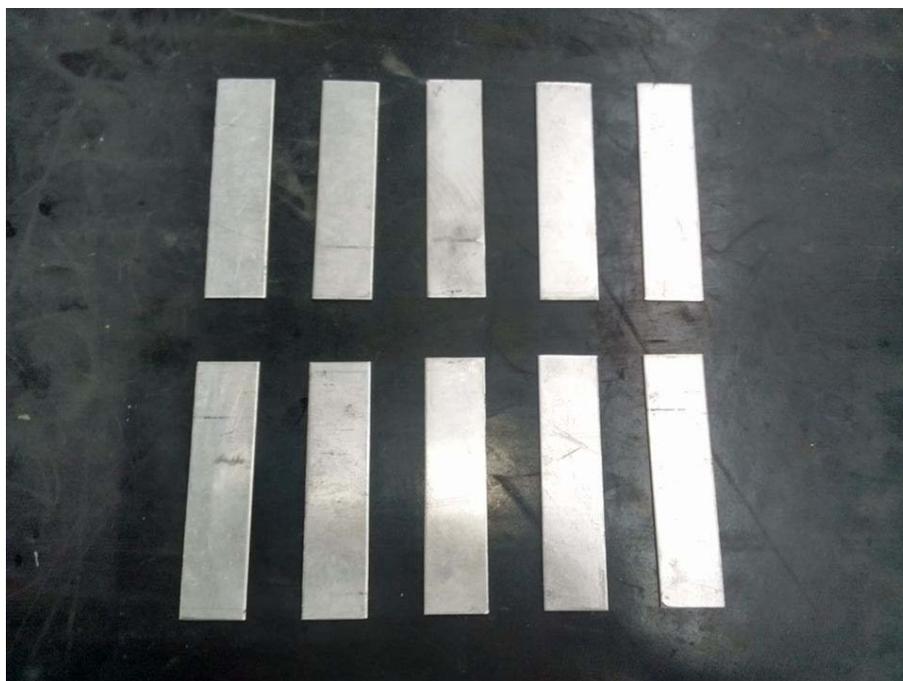


Figura 29 - Corpos de prova sem preparação de superfície

Para este grupo, foi realizada apenas a limpeza com acetona, conforme mostrado na Figura 30.



Figura 30 - Limpeza dos substratos

### 3.1.2 Grupo 2 – Corpos de prova lixados

Os substratos pertencentes ao segundo grupo tiveram suas superfícies alteradas mecanicamente, utilizando-se uma lixa d'água em forma de folha, com granulometria 60, conforme mostrado na Figura 31.



Figura 31 - Preparação de Superfície por lixamento

Os substratos foram lixados em ângulos de  $45^\circ$  em relação ao material e  $90^\circ$  entre si, resultando no perfil de estrias mostrado na Figura 32.

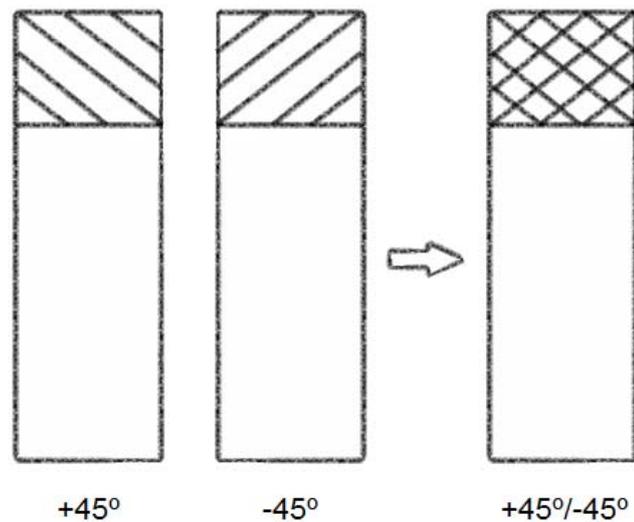


Figura 32 - Geometria do perfil de rugosidade para lixamento +45°/-45°

Posteriormente, os substratos também foram limpos com acetona antes da confecção da junta.

### 3.1.3 Grupo 3 – Corpos de prova jateados a 3,0 bar-g

O terceiro grupo de substratos teve a topografia de sua superfície alterada por meio jateamento com granalhas de óxido de alumínio sinterizado angular com granulometria entre #20 e #40, conforme padrões estabelecidos pela ABNT NBR 16267:2014 [18]. Foi utilizada o grau de jateamento Sa 2½, jateamento ao metal quase branco, removendo assim as camadas de óxido, marcas de laminação e quaisquer partículas estranhas ao material.

Os corpos de prova foram protegidos utilizando-se fita adesiva, feita de polietileno e tecido de algodão com adesivo, comercialmente conhecida como *Silver Tape*. Foi adotado um comprimento a ser jateado de 25,0 mm, o dobro do comprimento de sobreposição, como mostrado na Figura 33.



Figura 33 - Preparação para o jateamento

As chapas foram jateadas nas instalações da Leser Válvulas de Segurança LTDA, utilizando-se uma cabine industrial de jateamento fabricada pela Aspersul. Para este grupo de substratos, foi adotada uma pressão de jateamento de 3,0 bar-g.

Posteriormente ao jateamento foram removidos os invólucros de fita, e realizada a limpeza com acetona, como mostrado na Figura 34.



Figura 34 - Remoção dos invólucros e limpeza química

Depois de finalizada a limpeza, as chapa foram envolvidas em papel alumínio (Figura 35) para proteger contra oxidação e quaisquer contaminações durante o transporte até o LADES.



Figura 35 - Proteção contra oxidação com papel alumínio

### 3.1.4 Grupo 4 – Corpos de prova jateados a 6,0 bar-g.

O grupo IV foi preparado da mesma maneira que o grupo 4, divergindo apenas na pressão de jateamento utilizada, que foi de 6,0 bar-g. Os demais parâmetros e métodos utilizados foram os mesmos. O relatório do jateamento encontra-se Anexo A deste trabalho.

## 3.2 Determinação da Rugosidade

Para melhor entender e avaliar a influência da preparação de superfície foram determinados os parâmetros de rugosidade dos substratos pertencentes a cada grupo. Os parâmetros medidos foram a rugosidade média da superfície ( $R_a$ ), a rugosidade quadrática média ( $R_q$ ), a rugosidade máxima ( $R_t$ ), a rugosidade total ( $R_z$ ), a altura média do elemento de perfil ( $R_c$ ) e o espaçamento médio dos elementos de perfil ( $R_{Sm}$ ). As medições foram feitas utilizando-se o rugosímetro *rugosurf 10* (Figura 36) do fabricante Tesa, disponível no LAMDI/CEFET-RJ.



Figura 36 - Rugosímetro em funcionamento

Os valores de rugosidade encontrados para cada grupo são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores de rugosidade médios encontrados para cada grupo

Grupo	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_q$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_t$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_z$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_c$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_{Sm}$ ( $\mu\text{m}$ )
G1	$0,25 \pm 0,15$	$0,34 \pm 0,19$	$3,23 \pm 1,13$	$1,98 \pm 0,97$	$0,74 \pm 0,38$	$90,8 \pm 33,75$
G2	$1,91 \pm 0,21$	$2,37 \pm 0,26$	$14,67 \pm 1,39$	$11,28 \pm 1,07$	$5,42 \pm 0,52$	$102,40 \pm 14,81$
G3	$15,27 \pm 0,66$	$19,52 \pm 1,06$	$131,11 \pm 18,59$	$101,82 \pm 8,45$	$41,74 \pm 1,81$	$212,4 \pm 12,18$
G4	$18,57 \pm 1,64$	$23,23 \pm 2,18$	$142,43 \pm 20,78$	$112,86 \pm 8,29$	$50,16 \pm 4,50$	$249,20 \pm 21,99$

### 3.3 Adesivo

Foi utilizado neste trabalho o adesivo BETAMATE 2096, fornecido pela empresa DOW Química, situada em Pindamonhangaba, São Paulo. Trata-se de um adesivo bi componente, com base epóxi. Mais especificamente, o componente A é uma resina epóxi e componente B é uma amina polimérica. Este adesivo tem sua principal utilização da indústria automobilística, tanto para construção quanto para reparo, devido à sua capacidade de prolongar a vida útil das peças aliado à sua resistência ao impacto e rigidez, muito importante nas situações de colisão. Além disso, possui também excelente adesão a aços automotivos, incluindo aços revestidos, e também ao alumínio pré-tratado, além de alta durabilidade, coesão, proteção contra corrosão além de sua capacidade selante.

De acordo com as especificações técnicas do fabricante, a cura do adesivo pode ser realizada a quente ou em temperatura ambiente. Para a cura em temperatura ambiente, em 2 dias o adesivo atinge 90% de sua resistência final, sendo o processo de cura concluído após 7 dias. Para o processo de cura à quente, o fabricante recomenda 2 horas à 60 °C.

As propriedades mecânicas do adesivo informadas pelo fabricante são apresentadas na Tabela 8 elaborada a partir dos Anexos B e C.

Tabela 8 - Propriedades do adesivo BETAMATE 2096

Propriedade	Cura	Valor
Módulo de Young	7 dias 20 °C	1700 MPa
Tensão de Ruptura	7 dias 20 °C	29 MPa
Resistência ao Cisalhamento	2 dias 20 °C	18 MPa
Resistência ao Cisalhamento	2 horas 60 °C	20 MPa
Alongamento	7 dias 20 °C	9 %

### 3.4 Molde

Foi utilizado o molde projetado pela aluna Rosemere Lima [24] e fabricado pelo aluno e funcionário Brenno Duarte, mostrado na Figura 37.



Figura 37 - Molde Usado para a Produção de Juntas Coladas

### 3.4.1 Preparação do molde

O molde deve ser limpo antes do início da fabricação da junta. Para isso, todos os resíduos de adesivo devem ser removidos com o auxílio de uma espátula. Depois, deve-se utilizar um pano ou papel embebido em acetona para efetuar a remoção de qualquer sujidade existente em sua superfície. Depois de finalizada a limpeza, o molde deve ser introduzido em uma prensa à quente numa temperatura de aproximadamente 45 °C, e removido 10 minutos depois. Finalmente, deve ser aplicado um agente desmoldante sobre a superfície do molde de forma a evitar a ancoragem do adesivo e colagem entre as juntas, pinos e lados do molde. O agente desmoldante deve ser aplicado 3 vezes sobre a superfície do molde com o auxílio de uma escova. Devido à alta toxicidade dos agentes desmoldantes, deve se utilizar respiradores com filtro, luvas de proteção e executar a aplicação dentro de uma capela, como mostrado na Figura 38 ou em local aberto como mostrado na Figura 39.



Figura 38 - Aplicação do agente desmoldante dentro da capela



Figura 39 - Aplicação do agente desmoldante em local aberto

### 3.4 Fabricação da Junta Colada

Inicialmente os aderentes foram posicionados no interior do molde com os batentes de forma a garantir a manutenção das posições dos elementos durante o processo de fabricação. Foram utilizados espaçadores em PTFE de 2,0 mm de espessura e 94,5 mm de comprimento, garantindo assim o comprimento de sobreposição de 12,5 mm e a espessura do adesivo de 0,4 mm através da diferença entre as dimensões dos espaçadores e dos substratos. Primeiramente, metade dos substratos foi posicionados no interior do molde, junto com os espaçadores, como mostrado na Figura 40.

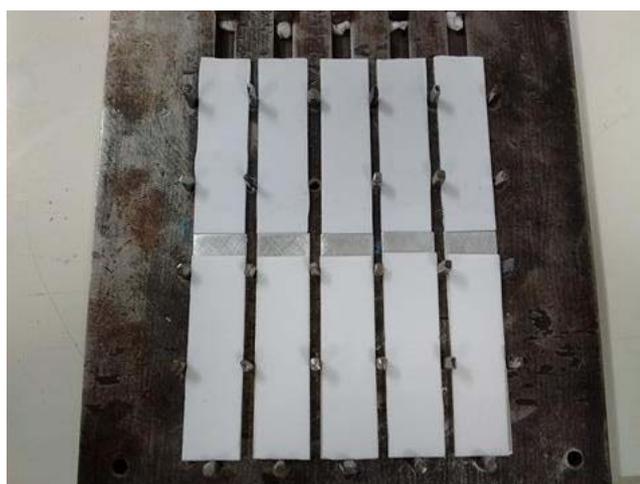


Figura 40 - Posição inicial dos substratos e espaçadores

Depois de posicionadas, ajustadas e fixadas estas partes, procede-se com a homogeneização das duas partes do adesivo com o auxílio de uma espátula (Figura 41).



Figura 41 - Homogeneização do adesivo

A seguir, o adesivo foi aplicado sobre ambos os aderentes e eles foram posicionados um sobre o outro de forma a montar a configuração da junta colada, como mostrado na Figura 42.



Figura 42 – Montagem da junta

Finalmente, os blocos de pressão foram ajustados e a parte superior do molde foi posicionada sobre a parte inferior e o molde foi fechado (Figura 43) para dar prosseguimento com o processo de cura.



Figura 43 - Molde fechado

### 3.4.1 Cura da junta

Os adesivos foram curados utilizando-se a prensa hidráulica de pratos quentes, SL – 12/20 fornecida pelo fabricante SOLAB, disponível no LADES, apresentada na Figura 44. Foi utilizado o tempo de cura de 2 horas a uma temperatura de 60 °C, como recomendado pelo fabricante do adesivo. Adicionalmente, utilizou-se de uma carga de 2 toneladas aplicada sobre o molde de forma a pressionar o molde e os espaçadores para uniformizar a espessura do adesivo entre os substratos.



Figura 44 - Prensa hidráulica com aquecimento do LADES

Após o processo de cura, as juntas foram removidas do molde e o excesso de adesivo curado foi removido utilizando ferramentas de corte e lixas. As chapas foram identificadas como GXYZ, onde X é o número do grupo de preparação de superfície pertencente de 1 à 4, Y é o número da junta de 1 à 5 e Z e o lado A ou B, como mostrado na Figura 45.



Figura 45 - Juntas do grupo 1 com identificação

### 3.5 Ensaio

O ensaio de cisalhamento por tração foi realizado na Máquina de Ensaio Mecânicos de Parafusos INSTRON (Figura 46) de 10 kN do LADES (CEFET/RJ), munida de garras pneumáticas, células de carga e extensômetros. Foi utilizada uma velocidade de carregamento de 1mm/min.



Figura 46 - Máquina de Ensaio Mecânicos de Parafusos INSTRON

## Capítulo 4

### Resultados e Discussão

Neste capítulo serão apresentados os resultados quantitativos e qualitativos obtidos ao fim dos ensaios. Serão comparados a força de ruptura, tensão, alongamento e rugosidade. Alguns parâmetros serão utilizados somente para comparar o resultado médio obtido de cada grupo, enquanto outros servirão para comparar juntas pertencentes ao mesmo grupo de preparação superficial.

#### 4.1 Resultados

Após o ensaio de tração, as saídas de dados da máquina foram trabalhadas para se obter as curvas Força x Deslocamento, eliminando-se a variável do tempo e agrupando as curvas de acordo com o grupo de substrato ao qual pertencem, como apresentado através das Figuras 47 a 50. A Tabela 9 apresenta os valores de força máxima e deslocamento neste ponto, além de apresentar a Tensão Média de Ruptura ao Cisalhamento ( $\bar{\tau}$ ), calcula através da Equação 1.

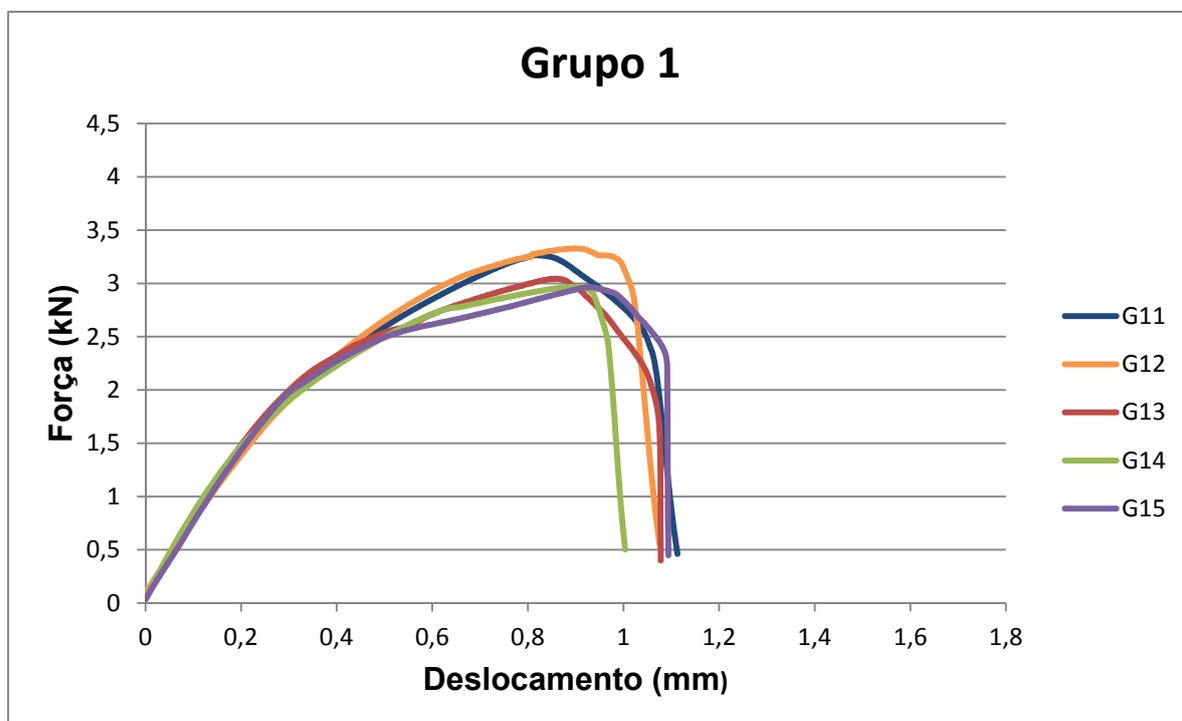


Figura 47 - Curvas Força x Deslocamento (Grupo 1)

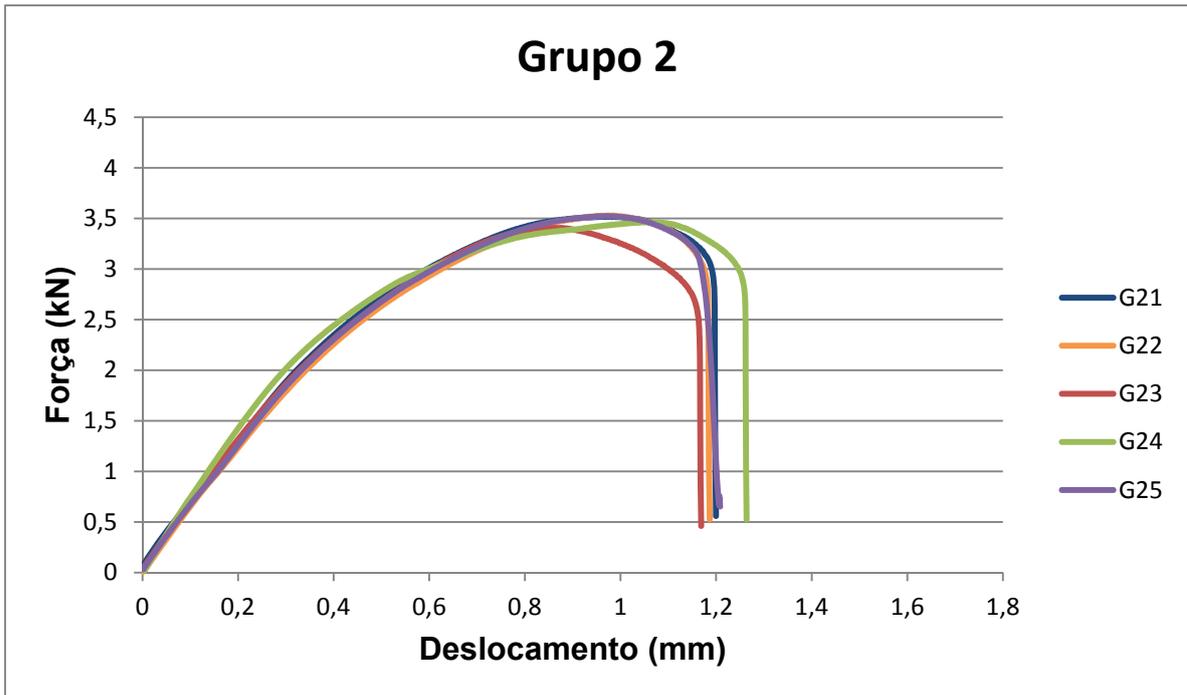


Figura 48 - Curvas Força x Deslocamento (Grupo 2)

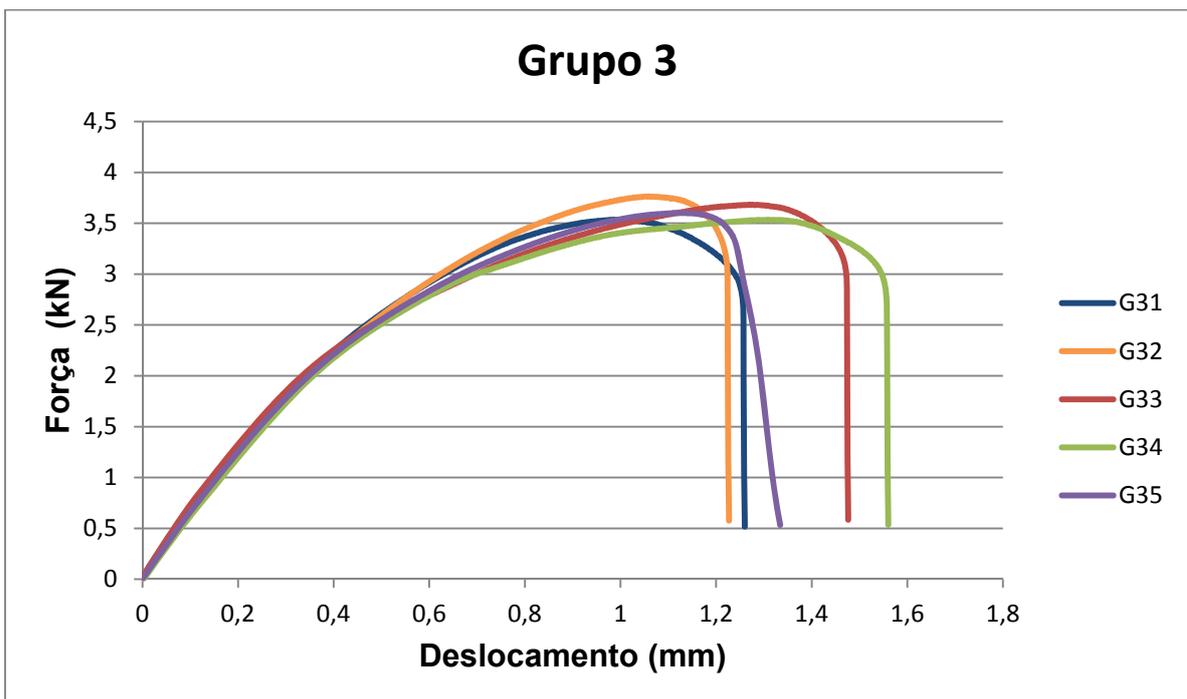


Figura 49 - Curvas Força x Deslocamento (Grupo 3)

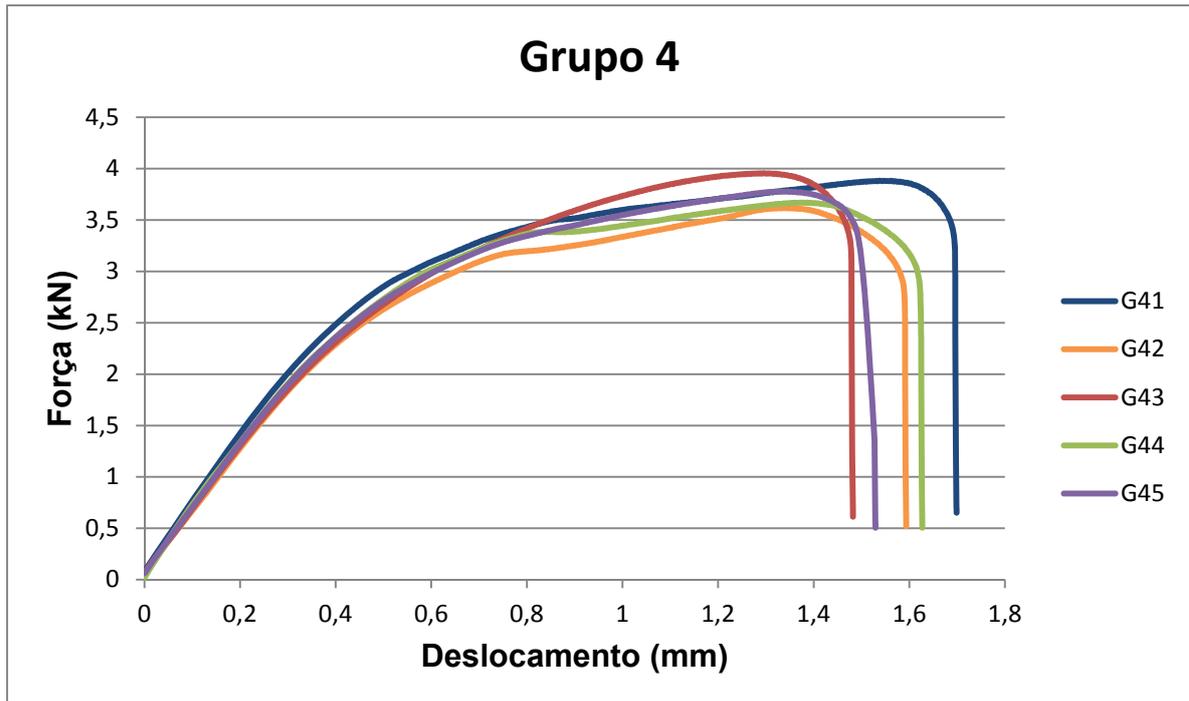


Figura 50 - Curva Força x Deslocamento (Grupo 4)

Tabela 9 - Força, Deslocamento e Tensão experimental para cada corpo de prova

Grupo 1				Grupo 2			
Amostra	Força (kN)	Deslocamento (mm)	Tensão (MPa)	Amostra	Força (kN)	Deslocamento (mm)	Tensão (MPa)
G11	3,27	0,81	10,45	G21	3,52	0,98	11,26
G12	3,33	0,90	10,65	G22	3,53	0,98	11,29
G13	3,04	0,86	9,74	G23	3,41	0,86	10,91
G14	2,97	0,90	9,50	G24	3,46	1,06	11,09
G15	2,97	0,92	9,49	G25	3,52	0,97	11,27
Média	3,11	0,88	9,97	Média	3,49	0,97	11,16
Desvio Padrão	0,15	0,04	0,55	Desvio Padrão	0,05	0,07	0,17
Grupo 3				Grupo 4			
Amostra	Força (kN)	Deslocamento (mm)	Tensão (MPa)	Amostra	Força (kN)	Deslocamento (mm)	Tensão (MPa)
G31	3,54	0,99	11,31	G41	3,88	1,54	12,42
G32	3,77	1,06	12,05	G42	3,62	1,34	11,58
G33	3,68	1,27	11,79	G43	3,96	1,30	12,66
G34	3,54	1,31	11,31	G44	3,67	1,39	11,74
G35	3,60	1,13	11,53	G45	3,78	1,36	12,09
Média	3,62	1,15	11,60	Média	3,78	1,38	12,10
Desvio Padrão	0,10	0,14	0,32	Desvio Padrão	0,14	0,09	0,45

Analisando a Tabela 9, é visível o crescimento das forças máximas, bem como do alongamento em função da mudança de preparação da superfície e o aumento dos parâmetros de rugosidade associados a cada uma delas conforme mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Parâmetros obtidos no ensaio de tração x parâmetros de rugosidade

Grupo	Carga (Kn)	Deslocamento (mm)	$\bar{\tau}$ (MPa)	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )
1	3,11 $\pm$ 0,15	0,88 $\pm$ 0,04	9,97 $\pm$ 0,55	0,25 $\pm$ 0,15	1,98 $\pm$ 0,97
2	3,49 $\pm$ 0,05	0,97 $\pm$ 0,07	11,16 $\pm$ 0,17	1,91 $\pm$ 0,21	11,28 $\pm$ 1,07
3	3,62 $\pm$ 0,10	1,15 $\pm$ 0,14	11,60 $\pm$ 0,32	15,27 $\pm$ 0,66	101,82 $\pm$ 8,45
4	3,78 $\pm$ 0,14	1,38 $\pm$ 0,06	12,10 $\pm$ 0,45	18,57 $\pm$ 1,64	112,86 $\pm$ 8,29

Os grupos 2, 3 e 4 tiveram um aumento nos valores de  $\bar{\tau}$  de 12%, 16% e 21% em relação ao grupo 1, respectivamente. A variação de  $\bar{\tau}$  em função de Ra pode ser visto na Figura 51.

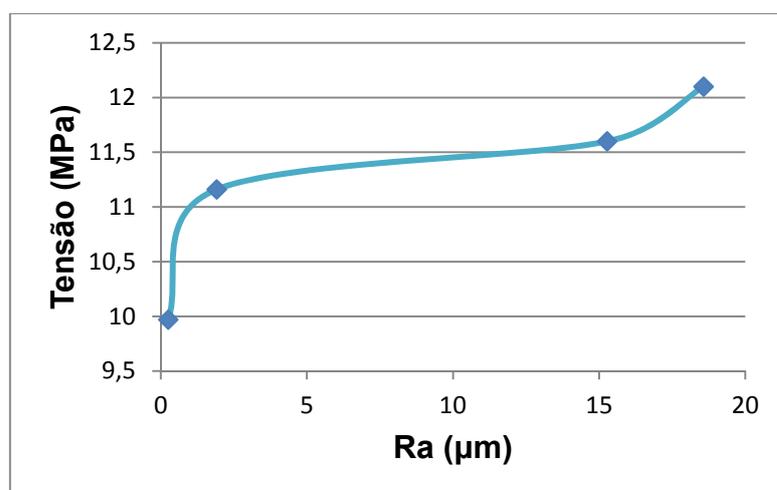


Figura 51 - Tensão de cisalhamento em função da rugosidade Ra

Diferentemente dos valores apresentados, esperava-se que a mudança na preparação de superfície levasse a diferenças maiores nas tensões de ruptura encontradas. Uma hipótese para que tal fato não tenha ocorrido, é que durante os ensaios das juntas os substratos sofreram deformação plástica no comprimento como pode se visualizar nos gráficos apresentados nas Figuras 47 a 50. Devido à sua pequena espessura, os substratos também sofreram flexão (Figura 52), criando um ângulo entre as duas partes. A deformação plástica deforma os eixos dos gráficos de força versus deslocamento, pois passa a contemplar os esforços gastos para deformar plasticamente o substrato. Já o ângulo entre os substratos

devido à flexão, pode provocar tensões não previstas no adesivo, como arrancamento. Além da deformação plástica ocorrida durante os ensaios, é importante notar que os substratos dos grupos 3 e 4 já estavam previamente deformados por conta do processo de jateamento, mesmo tendo sido realizado o jateamento em ambos os lados do substrato. O aderente jateado a 6 bar-g possuía uma quantidade de deformação ainda maior que o à 3 bar-g. Porém tendo em vista que as chapas do grupo 1 e 2 também deformaram plasticamente durante o ensaio, a razão do escoamento é o próprio material e a sua pequena espessura, e não o jateamento. Além disso, é importante levar-se em consideração que a resistência mecânica da junta não está relacionada apenas com a ancoragem mecânica, mas sim à condição de superfície [23].



Figura 52 - Chapa deformada plasticamente durante o ensaio de tração.

## 4.2 Modos de Ruptura

Como já descrito no tópico 2.10, as juntas adesivas podem sofrer ruptura adesiva, coesiva ou mista. Os quatro grupos de juntas que compõem esse trabalho, e a totalidade das 20 juntas, sofreram fratura mista durante o ensaio a que foram submetidas. A seguir, será discutida a variação do percentual de fratura adesiva e coesiva em função da preparação de superfície, cujos perfis estão são apresentados nas Figura 53 e Figura 54.

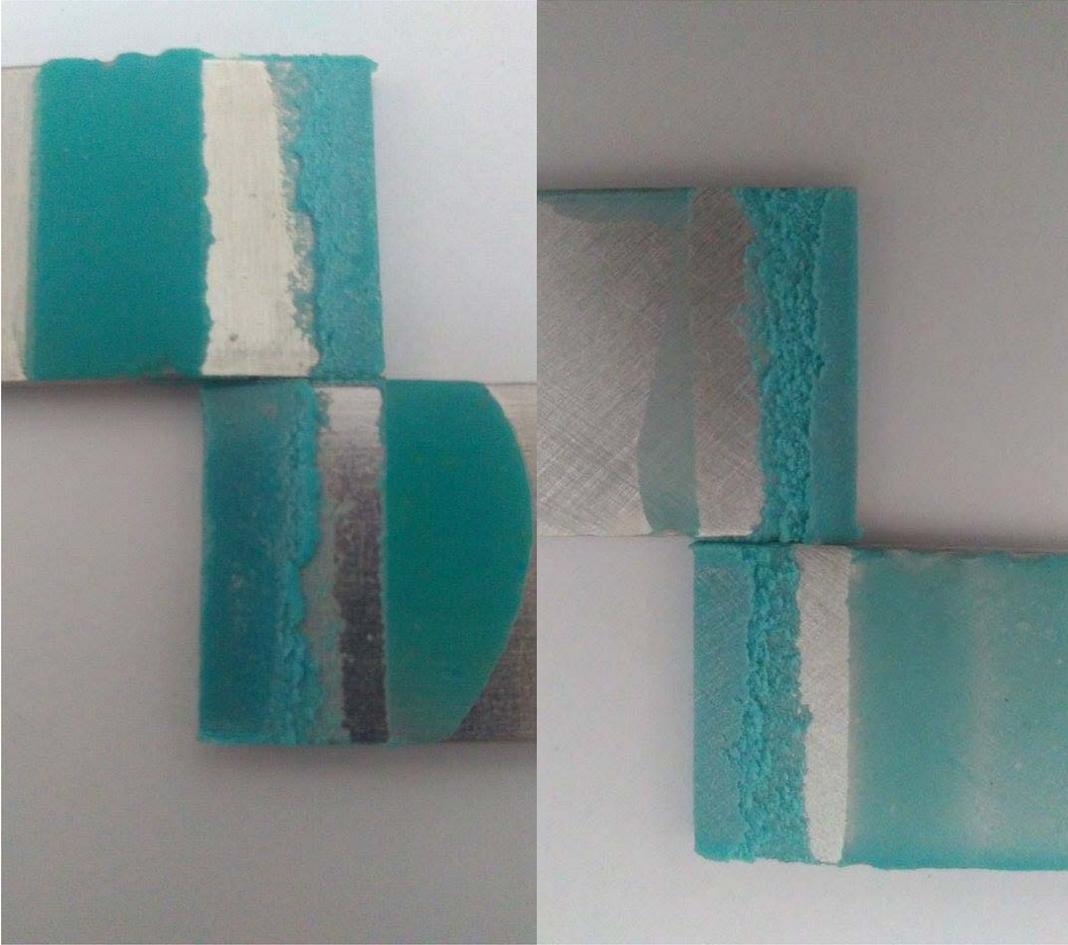


Figura 53 - Superfícies das Juntas dos grupos G1 e G2

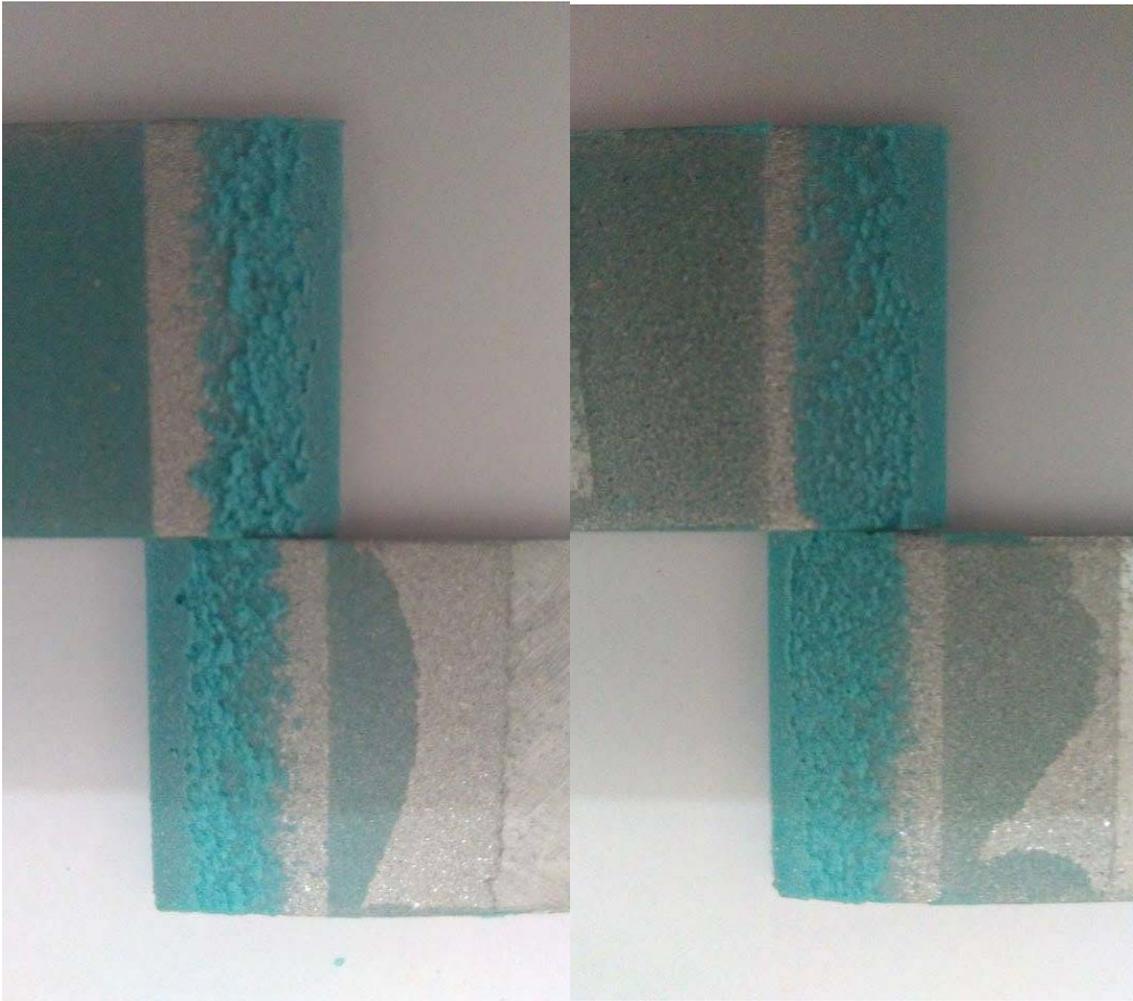


Figura 54 - Superfícies das Juntas dos grupos G3 e G4

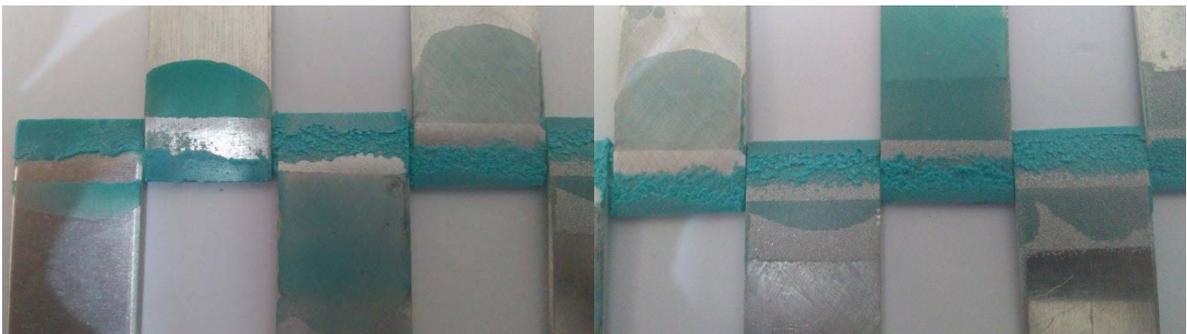


Figura 55 - Evolução do modo de ruptura em função da preparação superficial

No grupo 1 a fratura foi quase integralmente adesiva, com somente algumas pequenas regiões de fratura coesiva. Esse resultado é melhor do que o esperado, visto que não houve preparação mecânica na superfície deste grupo. Isso se deve ao fato de que os fabricantes cada dia mais têm buscado melhorar a composição química do adesivo, visando uma melhor adesão à qualquer tipo de substrato. Isso possibilita minimizar a necessidade da preparação de superfície, reduzindo assim o custo e o tempo de fabricação.

O segundo grupo apresentou um percentual de fratura coesiva superior à 50% do comprimento de sobreposição, porém com uma região adesiva bem definida.

Os grupos 3 e 4 tiveram ainda menos regiões adesivas, presente apenas nas extremidades e menos definidas como no grupo 2. É válido notar que as regiões se formaram em forma de lamelas, ao longo do comprimento de sobreposição. Pode-se pressupor com certo grau de confiança, que para os grupos 3 e 4, a ruptura adesiva pode ter sido causada pelas tensões de arrancamento desenvolvidas por conta da deformação plástica que causou a flexão dos substratos. A Figura 55 apresenta a evolução do modo de ruptura para cada grupo com uma preparação de superfície distinta.

## Capítulo 5

### Conclusões

Este trabalho abordou juntas coladas de alumínio de sobreposição simples, submetidas a quatro processos de preparação de superfície distintos, onde foram avaliados a força máxima, tensão média de cisalhamento, deformação, rugosidade e modo de fratura. Após a análise dos resultados encontrados, pode-se concluir que:

O adesivo utilizado possui uma excelente adesão, pois mesmo para as superfícies que não sofreram preparação mecânica e apesar da deformação plástica, existiam regiões de fratura coesiva. Adicionalmente, mesmo para uma condição quase completa de fratura adesiva, a ligação foi capaz de suportar esforços suficientes para que o alumínio escoasse, o que é de grande utilidade em aplicações práticas, visto que de maneira geral os esforços em uma estrutura encontram-se dentro do regime elástico do material, cujo o limite de escoamento é inferior à tensão de ruptura da junta.

A espessura utilizada para a chapa foi inadequada para uma análise apenas da ligação adesiva, pois sofreu deformação plástica tanto nos processos de jateamento, quanto nos ensaios, o que levou a um ensaio também do substrato, e não apenas do adesivo.

Apesar da deformação plástica, foi possível obter resultados que mostram um aumento da resistência mecânica da junta em função do aumento dos parâmetros de rugosidade oriundos da variação na preparação da superfície.

Avaliando o modo de fratura, foi visível o aumento de regiões de fratura coesiva no adesivo a partir do grupo 2, onde passou a ser realizado sobre os substratos um processo mecânico de preparação de superfície, associado à um aumento da rugosidade, visando a melhoria da ancoragem mecânica, o que ocorreu.

A ocorrência de flexão originou tensões de arrancamento, o que contribuiu para a ocorrência de uma parcela de fratura adesiva mesmo nas superfícies jateadas, além da diminuição da resistência mecânica das juntas.

Por fim, pode-se concluir também que o entendimento da teoria mecânica e do mecanismo ancoragem é muito importante para propor e avaliar uma boa preparação superficial, visando o resultado desejado. Todavia, entender apenas o fenômeno mecânico não é suficiente, visto que as ligações químicas desempenham um importante papel no mecanismo da adesão, além de ser necessário para a compreensão da junta colada como um todo.

## **5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros**

Tendo em vista o ocorrido ao longo do trabalho, ficam as seguintes sugestões para que se obtenham melhores resultados e conclusões mais seguras:

- Utilizar substratos com 2,5 mm de espessura;
- Utilizar mais métodos de preparação de superfície de forma que haja mais pontos, perfis e valores distintos de rugosidade a serem analisados;
- Utilizar outros adesivos.

## Referências Bibliográficas:

- [1] DA SILVA, L.F. M; DE MAGALHAES, ANTÔNIO G.; DE MOURA, MARCELO F. S. F.; *Juntas ADESIVAS Estruturais*, 2007.
- [2] KINLOCH, A. J. *Adhesion And Adhesives*. London: Chapman and Hall, 1987.
- [3] BSA; *History of Adhesives*, Volume 1, 1991.
- [4] ASTM D 907; *Standard Terminology of Adhesives*, 2004.
- [5] FUCUHARA, KARINA AYUMI; *Aplicação De Adesivos Estruturais Em Painéis De Carros*, Guaratinguetá, 2014.
- [6] MONTEIRO, JOÃO PEDRO RAMOS, *Caraterização das propriedades mecânicas e de fratura de um adesivo estrutural de alta ductilidade*, ISEP, 2015.
- [7] MOREIRA, DELFIM FERREIRA, *Análise do Comportamento à Fratura*, FEUP, 1995.
- [8] MORAIS, JOÃO FRANCISCO ALVES; *Desenvolvimento de ferramentas e provetes para o ensaio Thick Adherend Shear Test (TAST)*, ISEP, 2013.
- [9] A. BECKWITH; B. STRONG; W. SCOTT; *Joining Composite Materials - Mechanical or Adhesive? Plastics: Materials and Processing*, Prentice- Hall, Inc., 1996.
- [10] Charbonnier J. C.; *Influence des Traitments de surface sur le collage des aciers*, 1985.
- [11] ASTM D1002; *Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal)*.
- [12] ISO 4587; *Tensile lap-shear strength of rigid-to-rigid bonded assemblies*, 2003.
- [13] Shockmetais; *Propriedades Mecânicas do Alumínio*. Disponível em <http://www.shockmetais.com.br/especificacoes/aluminio/pmec>

[14] RAFAEL KOPPEL, CHARLES LEONARDO ISRAEL; DANIEL DANIEL GASPARIN; *Influência da preparação de superfície em união metálica de sobreposição simples por meio de adesivo acrílico*, Revista Thema, 2016.

[15] U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION; *Effects of Surface Preparation on the Long-Term Durability of Adhesively Bonded Composite Joints*, 2004.

[16] DANIEL O. ADAMS; K. L. DEVRIES; CLINT CHILD, *Durability of adhesively bonded joints for aircraft structures*, University of Utah Salt Lake City.

[17] A. GHUMATKAR; S. BUDHE, R. SEKHAR, M.D. BANEJA, S. DE BARROS, *Influence of Adherend Surface Roughness on the Adhesive Bond Strength*, Latin American Journal of Solids and Structures 13 (2016).

[18] ABNT NBR 16267; *Determinação de granulometria de abrasivos para jateamento*, 2014.

[19] ISO 8501-1; *Preparation of Steel Substrates Before Application and Related Products*, 2007.

[20] ABNT NBR 7348; *Preparação de superfície de aço com jato abrasivo e hidrojateamento*, 2007.

[22] ABNT NBR 15239; *Tratamento de superfícies de aço com ferramentas manuais e Mecânicas*, 2005.

[23] FERREIRA, N. M. A. J.; SILVA, L. F. M. DA; RICHTER-TRUMMER, V.; MARQUES E. A. S.; *Effect of grooves on the strength of adhesively bonded joints*, International Journal of Adhesion & Adhesives, n. 30, p. 735-746, 2010.

[24] R. A. A. LIMA; M. D. BANEJA; *Desenvolvimento de Ferramentas e Corpos de Prova Para Ensaio de Adesivos e Juntas Coladas*, JIPP, 2016.

[25] BIKERMANN J. J.; *The science of adhesive joints*, Academic, London, 1961.

## **Anexos**

## **ANEXO A: Relatório de Jateamento**

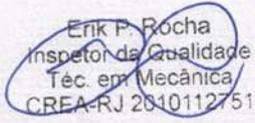
Nº (No)	001/17	Data (Date)	03/05/17
Ordem de Fabricação (Order Manufacturing)	-	Pedido de Compra (Purchase order)	-
Cliente (Customer)	Mateus Reis		

Preparação da Superfície (Surface Preparation)	
Especificação do substrato (Specification of the substrate)	<input checked="" type="checkbox"/> Alumínio (Aluminium) <input type="checkbox"/> Aço Inoxidável (Stainless Steel)
Limpeza por ação físico-química (Cleaning by chemical physical action)	<input checked="" type="checkbox"/> Sim (Yes) <input type="checkbox"/> Não (Not)
Lavagem com água a alta pressão (Washing with high pressure water)	<input type="checkbox"/> Sim (Yes) <input checked="" type="checkbox"/> Não (Not)

Método de Preparação da Superfície (Surface Preparation Method)					
<input type="checkbox"/> Manual (Manual)	<input type="checkbox"/> Mecânico (Mechanic)	<input checked="" type="checkbox"/> Jateamento abrasivo (Abrasive blasting)	Padrão (Standard)	Sa 2 1/2	
Tipo de abrasivo (Abrasive type)	Óxido de Alumínio #20 / #40	Grau de intemperismo (Weathering degree)	A		
Início (Data e hora) (Beginning (Date and Time))	03/05/17 08:00	Término (Data e hora) (End (Date and Time))	03/05/17	08:40	
Temperatura do Ar (°C) (Air Temperature (°C))	28,7	Temperatura da Superfície (°C) (Surface Temperature (°C))	29,2		
Umidade Relativa do Ar (%) (Relative Air Humidity (%))	70	Ponto de Orvalho (°C) (Dew Point (°C))	22,7		

Inspeção (Inspection)		
Preparação da superfície (Surface Preparation)		
Componente	Perfil de rugosidade (µm) / Roughness profile (µm)	
	Ra	Rz
Junta 1 (3 bar)	15,68	105,61
Junta 2 (3 bar)	14,35	93,99
Junta 3 (3 bar)	14,78	93,24
Junta 4 (3 bar)	15,84	104,97
Junta 5 (3 bar)	15,70	112,31
Junta 1 (6 bar)	17,65	111,62
Junta 2 (6 bar)	16,69	112,91
Junta 3 (6 bar)	19,66	115,10
Junta 4 (6 bar)	20,79	123,91
Junta 5 (6 bar)	18,05	100,76

Observações (Remark)		

<b>Inspetor de Pintura</b> (Painting Inspector)   Rodrigo Cesar N. Santos Inspetor de Pintura N 1 SNQC CP 1962	<b>Controle da Qualidade</b> (Quality Control)   Erik P. Rocha Inspetor de Qualidade Téc. em Mecânica CREA-RJ 2010112751	<b>Cliente / Fiscalização</b> (Customer / Supervision)  
Data (Date): 03/05/17	Data (Date): 03/05/17	Data (Date): ___/___/___

protected

## **ANEXO B: Folha de Dados Técnicos do Adesivo**



**Dow Automotive**

Technical Datasheet

---

# BETAMATE 2096

Crashresistant 2-Component Structural Adhesive

---

## Description / Application:

BETAMATE 2096 is a two component, epoxy based adhesive especially developed for the body shop and the repair of vehicles. The adhesive is used in the car to increase the operation durability, the crash performance and the body stiffness.

## Properties:

- Excellent adhesion to automotive steels, including coated steels and pretreated aluminium with good tolerance to oil and drylubes.
- Helps to increase or restore the stiffness and the crash stability of the entire car body.
- High durability of the adhesive and the adhesive bond.
- Due to its sealing capability the metal and weld points are protected against corrosion.
- Compatible with other mechanical and thermal joining techniques.

## Application:

The product is cold pumpable and applicable as a bead (mixing ratio 2:1; static or dynamic). It can be applied with the following parameters:

application speed	200 - 300 mm/s
temperatures:	
follower plate	cold
follower plate - doser	cold
nozzle	25 - 50°C

For an optimum tack of the adhesive, the parts to bond should be stored at 15°C or higher. In case of an application break longer than 30 minutes the heating of the application equipment should be switched of.

---

All Dow Automotive products are primarily developed in co-operation with the automobile manufacturers, according to their needs and their specifications; they are approved for the specific applications as defined by the customer.

The use of the product other than approved application have to be released in written form by the Technical Service of Dow Automotive.

---

## Technical Data:

Basis	component A: epoxy resin / component B: polymeric amines
Colour	A: blue / B: white
Density (DIN 52451) (23°C)	1.12 g/ml
Mixing Ratio	A:B = 2:1

Viscosity/Yield Point (23°C, Bohlin, Casson)	component A: 142 Pas / 1.7 Pa component B: 1.6 Pas / 269 Pa
Time to Handle	approx. 1 hour
Curing Condition	ambient temperature: after 2 days 90% of end toughness temperatures up to 180 °C feasible
Standard Curing	60°C / 2 hours, 2 or 7 days at room temperature (Drive away strength after approx. 10 hours)
Tensile Strength (DIN EN ISO 527-1); after 7 days at room temperature	29 MPa
Elongation at Break (DIN EN ISO 527-1); after 7 days at room temperature	approx. 9 %
E-Modulus (DIN EN ISO 527-1); after 7 days at room temperature	1700 MPa
Precuring: CRS 1403 0.75mm induction 60s/105°C 30s/115°C	3 MPa 2.5 MPa
Lap Shear Strength (EN 1465) CRS 1403, 0.75 mm 2d rt 2h 60°C 30min 180°C AA6016, pretreated 1.3mm 2d rt 2h 60°C 30min 180°C	18 MPa 20 MPa 18 MPa 18 MPa 20 MPa 21 MPa
Impact Peel Strength (ISO 11343) (CRS 1403, 1.0 mm, 23°C, 2m/s) 2d rt 2h 60°C 30min 180°C	11 N/mm 13 N/mm 13 N/mm
Bonding Surface Preparation	Oily surfaces should be cleaned before the application. Depending on the oil, bonding on such surfaces may be possible. Further careful tests have to be done.
Application Tool	Cartridges: hand-operated gun with mechanical piston: Mixpac DM 200-01. Drums, pails: With standard 2K-based systems 1. For the Aftermarket (curing temp <=60°C) it is recommended to clean the surface with Betaclean 3350 before the application. On oily surfaces lower mechanical properties might be achieved. 2. If BM 2096 is applicated from cartridges it is necessary to equalize the filling levels. 3. For the best performance it is recommended to reject the first few gramms of mixed adhesive. 4. During the storage time a cristallization of the resin may occur. By heating the adhesive to 40 - 50 °C htis physical process is reversible. All properties stay on the same level.
Cleaning	Uncured material can be removed with BETACLEAN 3510. <u>Attention:</u> The contact with bonded areas should be avoided.
Containers	20 kg pails with PE-liner. Cartridges: 0,24 kg (215ml /A+B) 56g (50ml /A+B)
Shelf life	Storable at temperatures below 25°C for 12 months.

The given data are standard values.

---

#### Health and Safety

##### - Bulk Exothermic Reaction

The material curing reaction is exothermic. If the material is held in bulk the reaction is accompanied by a rapid build-up of exothermic heat. To avoid the risk of this bulk exothermy, containers of the material should in no circumstances be heated by e.g. hot plates or simple drum heaters. If heating a bulk quantity of the material is considered necessary, advice should be sought.

##### - Caution

The adhesive resins are generally quite harmless to handle provided that certain precautions normally taken when handling chemicals are observed. The uncured materials must not, for instance, be allowed to come into contact with foodstuffs or food utensils, and measures should also be taken to prevent the uncured materials, from coming into contact with skin, since people with particularly sensitive skins may be affected. The wearing of impervious rubber or plastic gloves will normally be necessary; likewise the use of eye protection. The skin should be thoroughly cleaned at the end of each working period by washing with soap and warm water. The use of solvents is to be avoided. Disposable paper - not cloth towels - should be used to dry the skin. Adequate ventilation of the working area is recommended. For further and more detailed precaution measures see the Health and Safety Data Sheet.

#### Dow Automotive Quality Management

Quality is our highest priority. Dow Automotive works with a highly modern Quality Management System which meets all international requirements of QS 9000, VDA-6 and ISO 9001.

The above information implies no liability as to the usage of our products. Since the applications, utilisation and processing of our products are beyond our control, the information given is not intended to replace your own trials with the products to establish their suitability for your particular application.

Our liability is limited to the value of the products supplied by us and used by you.

The information on this data sheet corresponds to the latest findings and supersedes all previous versions.

Dow Automotive AG  
CH-8807 Freienbach  
Tel. +41(0)55416 81 11  
Fax +41(0)55416 82 20

Dow Automotive (Italia) S.r.l  
I-20010 Bareggio (MI)  
Tel. +39(0)2 90 36 11 66  
Fax +39(0)2 90 27 66 98

Dow Automotive (France) S.A.  
F-60130 Saint-Just en chaussee  
Tel. +33(0) 3 44 77 61 00  
Fax. +33(0) 3 44 77 61 61

Dow Automotive (Deutschland) GmbH  
D-35683 Dillenburg  
Tel. +49(0)2771 8 71 40  
Fax +49(0)2771 87 14 70

Dow Automotive (España) S.A.  
E-28816 Camarma de Esteruelas (Madrid)  
Tel. +34 (9)1 886 61 43  
Fax +34 (9)1 885 75 60

Dow Automotive (UK) Ltd.  
GB-Nuneaton-Warwickshire CV10 7QT  
Tel. +44 (0) 24 7635 72 00  
Fax. +44 (0) 24 7635 72 57

## **ANEXO C: Informações Técnicas do Adesivo**



## BETAMATE™ 2096

**Description** BETAMATE™ 2096 is a two component, epoxy based adhesive especially developed for the body shop and the repair of vehicles.

**Benefits & Features** Excellent adhesion to automotive steels including coated steels (e.g. e-coated or organic coated steel) and pretreated aluminum, helps to increase or restore the stiffness and crash stability of the entire car body, high durability of the adhesive and adhesive bond, corrosion protection due to its sealing capability, compatible with other mechanical and thermal joining techniques

**Typical Applications** Used in the car to increase the operation durability, the crash performance and the body stiffness.

Uncured Properties	Adhesive	Component A	Component B	Unit
Color	--	Blue	White	
Density (23°C)	1.12	--	--	g/cm <sup>3</sup>
Viscosity (23°C, Bohlin, Casson Model)	--	140	2.0	Pa·s

Cured Properties	Adhesive	Unit	Test Method
Lap Shear Strength <sup>1</sup>	18.0	MPa	DIN EN 1465
Peel Strength <sup>2</sup> (T-Peel)	6.00	N/mm	ISO 11339
Tensile Modulus	1700	MPa	ISO 527-1
Tensile Strength	29.0	MPa	ISO 527-1
Tensile Elongation at Break	9.0	%	ISO 527-1

### Application Technique

Cartridges: hand-operated or pneumatic gun with mechanical piston.  
Drums, pails: standard pumping system.

The product is cold pumpable and applicable as a bead (mixing ratio 2:1, static or dynamic). It can be applied with the following parameters:  
Application speed: Up to 200-500 mm/s  
Recommended Temperatures:  
Follower plate: Cold  
Follower plate - doser: Cold  
Nozzle: Cold

For an optimum tack of the adhesive, the parts to bond should be stored at 15°C or higher. In case of an application break longer than 1 hour the mixer should be changed.

### Packaging/Sizes Available

Drums: 200 kg A-Component / 96.6 kg B-Component  
Pails: 20 kg pails (diameter 280 mm) with PE-liner  
Cartridges:  
Side by side 0.24 kg (215 ml / A+B)  
Universal single cartridge 0.22 kg (195 ml / A+B), usable volume: 180 ml  
Side by side 56 g (50 ml / A+B)

### Storage & Stability

Shelf life dependent upon storage temperatures of the material. Optimal storage conditions are three months at less than 25°C. For complete storage stability capabilities, please refer to Customer Test Report.

### Toxicity and Safety Information

Read the Safety Data Sheet before using this material. Toxicity and safety information is included in the SDS.

### Food Contact Applications

Dow Automotive products are not approved for direct or indirect food contact or drinking water applications. If your applications include food contact or drinking water requirements, please contact your Dow representative. For more information on the regulatory status of this product, please refer to the SDS for this product.

**Notes**

These are typical properties only and are not to be construed as specifications. Users should confirm results by their own tests.

---

<sup>1</sup> 2d RT

CRS 1403: 1.5 mm

Adhesive layer thickness: 0.2 mm

Bonding dimension: 25x10 mm

---

<sup>2</sup> H340 LAD + Z Daimler: 0.8 mm

Adhesive thickness: 0.2 mm

Bonding dimension: 25x100 mm

## Product Stewardship

The Dow Chemical Company and its subsidiaries ("Dow") has a fundamental concern for all who make, distribute, and use its products, and for the environment in which we live. This concern is the basis for our Product Stewardship philosophy by which we assess the safety, health, and environmental information on our products and then take appropriate steps to protect employee and public health and our environment. The success of our Product Stewardship program rests with each and every individual involved with Dow products — from the initial concept and research, to manufacture, use, sale, disposal, and recycle of each product.

## Customer Notice

Dow strongly encourages its customers to review both their manufacturing processes and their applications of Dow products from the standpoint of human health and environmental quality to ensure that Dow products are not used in ways for which they are not intended or tested. Dow personnel are available to answer your questions and to provide reasonable technical support. Dow product literature, including safety data sheets, should be consulted prior to use of Dow products. Current safety data sheets are available from Dow.

## Medical Applications Policy

NOTICE REGARDING MEDICAL APPLICATION RESTRICTIONS: Dow will not knowingly sell or sample any product or service ("Product") into any commercial or developmental application that is intended for:

- a. long-term or permanent contact with internal bodily fluids or tissues. "Long-term" is contact which exceeds 72 continuous hours;
- b. use in cardiac prosthetic devices regardless of the length of time involved ("cardiac prosthetic devices" include, but are not limited to, pacemaker leads and devices, artificial hearts, heart valves, intra-aortic balloons and control systems, and ventricular bypass-assisted devices);
- c. use as a critical component in medical devices that support or sustain human life; or
- d. use specifically by pregnant women or in applications designed specifically to promote or interfere with human reproduction.

Dow requests that customers considering use of Dow products in medical applications notify Dow so that appropriate assessments may be conducted. Dow does not endorse or claim suitability of its products for specific medical applications. It is the responsibility of the medical device or pharmaceutical manufacturer to determine that the Dow product is safe, lawful, and technically suitable for the intended use. **DOW MAKES NO WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, CONCERNING THE SUITABILITY OF ANY DOW PRODUCT FOR USE IN MEDICAL APPLICATIONS.**

## Disclaimer

NOTICE: No freedom from infringement of any patent owned by Dow or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, the Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for the Customer's use and for ensuring that the Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Dow assumes no obligation or liability for the information in this document. **NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.**

NOTICE: If products are described as "experimental" or "developmental": (1) product specifications may not be fully determined; (2) analysis of hazards and caution in handling and use are required; (3) there is greater potential for Dow to change specifications and/or discontinue production; and (4) although Dow may from time to time provide samples of such products, Dow is not obligated to supply or otherwise commercialize such products for any use or application whatsoever.

## Additional Information

<b>North America</b>		<b>Europe/Middle East</b>	+800-3694-6367
U.S. & Canada:	1-800-441-4369		+31-11567-2626
	1-989-832-1426	Italy:	+800-783-825
Mexico:	+1-800-441-4369		
<b>Latin America</b>		<b>South Africa</b>	+800-99-5078
Argentina:	+54-11-4319-0100		
Brazil:	+55-11-5188-9000		
Colombia:	+57-1-219-6000	<b>Asia Pacific</b>	+800-7776-7776
Mexico:	+52-55-5201-4700		+603-7965-5392

[www.dowautomotive.com](http://www.dowautomotive.com)

This document is intended for use within Africa & Middle East, Europe

Published: 2013-07-09

© 2015 The Dow Chemical Company

