

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
CELSO SUCKOW DA FONSECA**

**EFEITO DO ADESIVO E DO COMPRIMENTO DE
SOBREPOSIÇÃO EM JUNTAS COLADAS**

Gabriel França de Souza

Bruno Soares da silva

Prof. Orientador: Doina Mariana Banea

Rio de Janeiro

Dezembro 2015

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a nossa família que sempre nos apoiou e nos incentivou nesta jornada. Agradecemos às nossas namoradas que entenderam os nossos momentos de ausência.

Aos amigos que nos ajudaram durante a longa caminhada. Aos amigos do AERO, que nos permitiram usar o espaço. Dentre eles, em especial, ao Daniel Kawasaki e Rosemere Lima, que estiveram sempre presentes e dispostos a nos ajudar.

A professora Mariana Banea por nos orientar nesse projeto.

RESUMO

As juntas adesivas de sobreposição simples são as juntas mais estudadas na literatura por serem as mais simples de produzir na indústria. No entanto o projeto dessas juntas continua a ser controverso porque a resistência depende de muitos fatores difíceis de quantificar como o comprimento de sobreposição, a cedência do substrato, a plasticidade do adesivo e a espessura da cola.

O objetivo deste trabalho é analisar a influência do comprimento de sobreposição e mudança de adesivo na resistência, alongamento e modo de ruptura da junta.

Palavras chaves: adesivos, sobreposição de colagem, junta de sobreposição simples, epóxi, cianoacrilato

ABSTRACT

The single lap joints are the most studied joint in literature for being the simplest to be produced in industry. However, the project of this joint is still controversial because their strength depends on many factors, hard to quantify as overlap length, the substrate yielding, adhesive plasticity and bondline thickness.

The objective of this project is to analyze the influence of overlap length and the adhesive change in the strength, stretching and failure mode of single lap joints.

Key words: adhesives, overlap length, single lap joint, epóxi, cyanoacrylate

Index

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa	1
1.2 Objetivo	1
1.3 Metodologia e trabalho realizado	1
2 JUNTAS COLADAS	2
2.1 Definição de adesivo	2
2.2 Vantagens e Desvantagens das juntas coladas	3
2.2.1 <i>Vantagens</i>	3
2.2.2 <i>Desvantagens:</i>	3
2.3 Adesão	4
2.3.1 <i>Teoria mecânica</i>	4
2.3.2 <i>Teoria da adsorção</i>	5
2.3.3 <i>Teoria da difusão</i>	6
2.3.4 <i>Defeitos</i>	6
2.4 Tipos de adesivos	10
2.4.1 <i>Adesivos termoendurecíveis</i>	11
2.4.2 <i>Adesivos termoplásticos</i>	11
2.4.3 <i>Adesivos elastoméricos</i>	12
2.4.4 <i>Adesivos híbridos</i>	12
2.5 Tipos de carregamento	13
2.5.1 <i>Tração e compressão</i>	14
2.5.2 <i>Cisalhamento</i>	14
2.5.3 <i>Clivagem e arranchamento</i>	15
2.6 Tipos de juntas	16
2.7 Tipos de ruptura	17
2.8 Ensaio	18
2.8.1 <i>Ensaio de cisalhamento em uma junta de sobreposição simples</i>	18
3 MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1 Adesivos	20
3.1.1 <i>Adesivo Zap Zpox 30 minutes</i>	20
3.1.2 <i>Adesivo Permabond 793</i>	21
3.2 Substratos	22

3.3 Preparação dos corpos de prova	23
4 RESULTADOS.....	28
4.1 Modos de ruptura	28
4.1.1 <i>Modos de ruptura de juntas epóxi de 12.5mm.....</i>	28
4.1.2 <i>Modos de ruptura de cianoacrilato 12.5mm.....</i>	28
4.1.3 <i>Modos de ruptura de epóxi 25mm.....</i>	28
4.1.4 <i>Modos de ruptura de cianoacrilato 25mm.....</i>	29
4.2 Curvas.....	29
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	34
5.1 Conclusões.....	34
5.2 Trabalhos Futuros	34
Referências:.....	35
ANEXO – CATALOGO DOS ADESIVOS	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Nomenclatura da junta adesiva	2
Figura 2- Comparação dos esforços suportados pelas juntas rebitada e colada	3
Figura 3- Imagem ilustrativa da adesão mecânica mostrando a ancoragem	5
Figura 4 – Comparativo das forças das ligações químicas envolvidas na colagem e outras	6
Figura 5 - Explicação esquemática da teoria da adesão por difusão	6
Figura 6 – Principais impurezas em substratos poliméricos e metálicos	7
Figura 7 – Distribuição dos esforços numa junta de sobre posição simples segundo.	7
Figura 8 - Resistência de uma junta de sobreposição simples aumenta com o comprimento de sobreposição até um ponto máximo	8
Figura 9 - Pontos de iniciação de fissuras em superfícies muito irregulares	8
Figura 10 – Efeito da preparação superficial na resistência de juntas adesivas com compósitos	9
Figura 11 – Efeito de vários tratamentos superfícies em juntas de alumínio colado com um epóxico reforçado e sujeitas a envelhecimento em água a 50° C	9
Figura 12 - Tensões mais importantes em uma junta adesiva: a) tração; b) cisalhamento; c) clivagem; d) arrancamento	13
Figura 13 – Aumento de tensões em uma junta pela não axialidade da junta	14
Figura 14 – Distribuição da tensão conforme análise de Volkersen	15
Figura 15 -Diferença ilustrativa de adesivo solicitado em arrancamento tenaz ou frágil	16
Figura 16 – Representação da deformação dos substratos	16
Figura 17 Aparecimento de tensões de arrancamento em juntas de sobreposição simples	16
Figura 18 – Principais tipos de junta	17
Figura 19 – Modos de falha segundo norma ASTM D5573	17
Figura 20 – Foto de um teste D1002 sendo realizado.	19
Figura 21 – Foto de adesivo ZAP ZPOXY 30- MINUTES	21
Figura 22 – Foto de adesivo PERMABOND 793	22
Figura 23 – Dimensões dos corpos de prova em mm	23
Figura 24 – Foto dos substratos sendo lixados	24

Figura 25 – Foto dos substratos sendo limpos com acetona	24
Figura 26 – Dimensoes dos corpos de prova em mm	25
Figura 27 – Foto dos pesos sendo colocados nos corpos de prova	25
Figura 28 – Foto do excesso de adesivo sendo retirado	26
Figura 29 – Corpos de prova prontos para serem ensaiados	26
Figura 30 – Foto da máquina utilizada nos ensaios	27
Figura 31 – Software próprio do fabricante	27
Figura 32 - Corpos de provas fraturados (epóxi 12.5mm)	28
Figura 33 - Corpos de provas fraturados (cianoacrilato 12.5mm)	28
Figura 34 - Corpos de provas fraturados (epóxi 25 mm)	28
Figura 35 - Corpos de provas fraturados (cianoacrilato 25mm)	29
Figura 36 – Curvas do ensaio do adesivo epóxi 12.5 mm	29
Figura 37 – Curvas do ensaio do adesivo cianoacrilato 12.5 mm	30
Figura 38 – Curvas do ensaio do adesivo epóxi 25 mm	30
Figura 39 – Curvas do ensaio do adesivo cianoacrilato 25 mm	31
Figura 40 – Curva da comparação dos diversos ensaios	31
Figura 41 – Influência do comprimento na resistência da junta	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Carga para os diferentes comprimentos de sobreposição e adesivos	32
Tabela 2 – Tensão para os diferentes comprimentos de sobreposição e adesivos	33
Tabela 3 – Alongamento para os diferentes comprimentos de sobreposição e adesivos	33

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

Neste projeto serão estudadas juntas adesivas de sobreposição simples. Estas juntas são as mais estudadas na literatura, existindo vários critérios simples de dimensionamento. No entanto, o projeto dessas juntas continua a ser controverso pois a resistência depende de muitos fatores difíceis de quantificar, como o comprimento de sobreposição, a cedência do substrato, a plasticidade e a espessura do adesivo.

Este trabalho tem como objetivo caracterizar uma junta colada quanto a sua resistência, tensão suportada e modos de ruptura.

1.2 Objetivo

O objetivo deste projeto é analisar o comportamento de juntas coladas. O efeito de diferentes adesivos e do comprimento de sobreposição da junta na tensão da junta, o alongamento e seu modo de ruptura foram avaliados.

1.3 Metodologia e trabalho realizado

No capítulo 1 foi realizada uma introdução dos objetivos desse trabalho, foi informado as variações nos ensaios e quais parâmetros seriam analisados nesse estudo.

No capítulo 2 foi feita uma pesquisa sobre juntas adesivas, suas principais propriedades incluindo as suas diversas propriedades e implicações e seus ensaios, em diversos livros, outros trabalhos acadêmicos e normas internacionais.

No capítulo 3 foi detalhado os experimentos, desde o material envolvido na fabricação dos corpos de prova e máquinas para realização dos testes, passando por preparação dos corpos de prova no laboratório e a realização dos ensaios.

No capítulo 4 foram apresentados e comentados os resultados dos experimentos, como as curvas representativas e fotos dos corpos de prova pós ensaio.

E no capítulo 5 foram apresentadas as conclusões sobre os experimentos.

2 JUNTAS COLADAS

2.1 Definição de adesivo

Um adesivo pode ser definido como um material polimérico que, quando aplicado em superfícies, pode ligá-las devido a interação entre as superfícies e/ou forças das ligações químicas e resistir à sua separação.

Os registros históricos apontam que os adesivos começaram a ser utilizados no Egito há mais de 4000 anos, que utilizavam adesivos naturais a base de gelatina, caseína, albumina, ovo, grude, bálsamos e resinas extraídas de diferentes árvores. Eram utilizados para fazer sarcófagos, vasos e papiros. O grande avanço para a indústria foi quando começou a produção de adesivos sintéticos e assim surgiram os adesivos estruturais, que são adesivos que resistem a forças substanciais maiores que 5 Mpa, e que são responsáveis pela resistência e rigidez de uma estrutura.

A indústria, em todos os seus níveis, utiliza adesivos para as mais diversas finalidades. Desde “hotmelts” para fabricação de fraldas, poliuretanos expansíveis na construção civil, passando por adesivos acrílicos de cura UV na fabricação de agulhas médicas, até epóxis estruturais aplicados na carroceria de veículos.

A ASTM D907-89 apresenta uma nomenclatura de junta colada, conforme pode ser evidenciado na Figura 1:

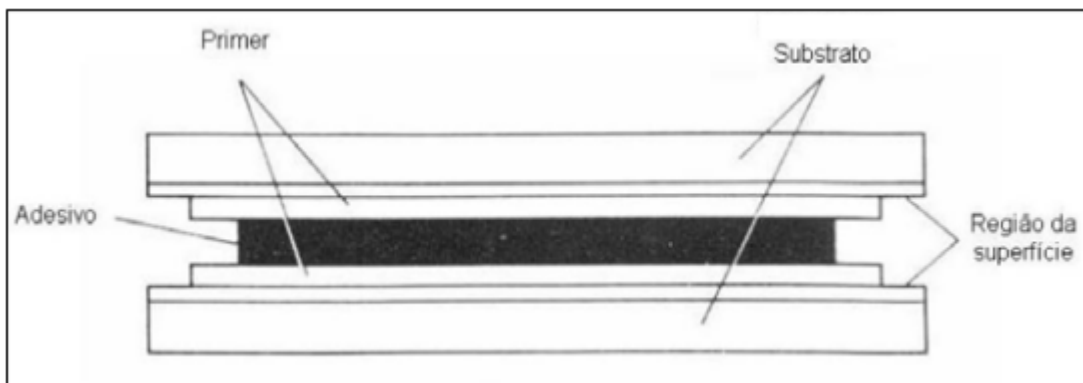
ADESIVO – substância capaz de manter unidos elementos pelo contato das superfícies.

SUBSTRATO – camada mais superficial do elemento, que caso seja aplicado o adesivo, possibilita sua junção a outro elemento.

JUNTA ADESIVADA – conjunto de elementos unidos pelo adesivo.

ADESÃO – fenômeno que possibilita ao adesivo transferir uma carga do substrato para a junta adesivada. [1]

Figura 1 – Nomenclatura de uma junta adesiva

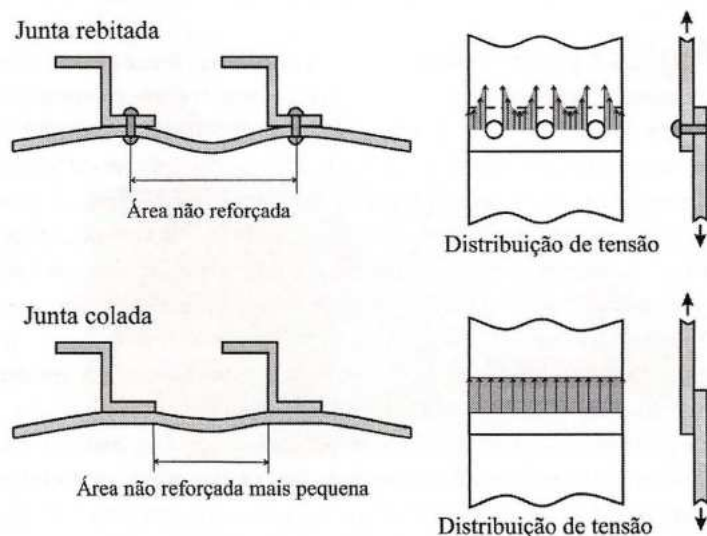


2.2 Vantagens e Desvantagens das juntas coladas

2.2.1 Vantagens

Distribuição mais uniforme das tensões ao longo da área ligada ao contrário de ligações mecânicas conforme figura 2, o que permite uma maior rigidez e transmissão de carga, possibilitando assim uma redução de peso, ou seja, um menor custo.

Figura 2 – Comparação dos esforços suportados pelas juntas rebitada e colada



Amortecimento de vibrações, o que permite que as tensões sejam parcialmente absorvidas, aumentando a resistência à fadiga dos próprios componentes ligados.

Ligação de materiais diferentes em composição e com distintos coeficientes de expansão.

Ligação de chapas eficientemente, o que pode constituir uma aplicação importante dos adesivos para ligar materiais metálicos ou não.

Permitem ter estruturas com contornos regulares porque evitam furos (rebites, parafusos etc) e marcas devidas à soldadura.

Adesivo estrutural é o método mais eficiente para ligar materiais compósitos.

2.2.2 Desvantagens:

É necessário um projeto da ligação que elimine ao máximo as forças de arrancamento (principal inimigo das ligações adesivas), clivagem e impacto. Quando um dos dois materiais não é rígido, a ligação pode estar sujeita a forças de

arrancamento. Quando os dois materiais são rígidos, a ligação pode estar sujeita a forças de clivagem.

É importante usar geometrias que evitem tensões localizadas e que garantam uma distribuição uniforme de tensões. Se as tensões não estiverem perfeitamente perpendiculares ao adesivo podem surgir forças de arrancamento ou de clivagem. A melhor solução é conceber uma ligação em que o adesivo esteja sujeito a tensões de corte. Neste caso, as tensões são paralelas à ligação adesiva e estão melhor distribuídas.

Apresentam limitada resistência a condições extremas, tais como a temperatura e a umidade, devido à natureza polimérica do adesivo.

A ligação normalmente não é realizada instantaneamente, o que leva à utilização de ferramentas de fixação para manter as peças.

Os adesivos são freqüentemente curados a elevadas temperaturas (forno, prensa, etc.). Para obter bons resultados é necessária uma cuidada preparação das superfícies através de, por exemplo, abrasão mecânica, desengorduramento com solvente, ataques químicos, etc.

O controle de qualidade e segurança são mais difíceis embora tenham sido desenvolvidas recentemente técnicas não destrutivas adequadas.

Um dos grandes problemas da utilização mais freqüente de adesivos estruturais é o fato de não haver um critério de dimensionamento universal que permita projetar qualquer estrutura. Existem muitos que funcionam bem apenas em determinadas situações. [3]

2.3 Adesão

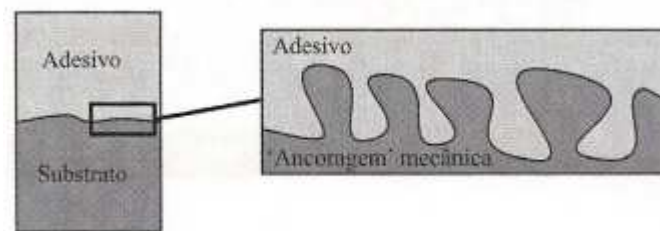
Não existe uma única teoria capaz de explicar a adesão dos materiais relacionando todas as forças envolvidas.

2.3.1 Teoria mecânica

É a mais antiga das teorias. A superfície de um material sólido nunca é totalmente lisa, ela é composta por picos e vales, rugosidade. Logo, uma boa adesão ocorre quando o adesivo penetra nas fendas e outras irregularidades da superfície do substrato, e assim fica presa mecanicamente como se estivesse ancorado como mostrado esquematicamente na figura 3. O adesivo deve molhar convenientemente o substrato e também ter uma viscosidade adequada para penetrar nos poros e aberturas em um tempo razoável. Porém apesar de explicar o mecanismo em superfícies porosas uma boa

adesão também pode ocorrer em superfícies lisas, o que mostra que apesar de o encravamento mecânico ajudar a adesão, não é um único mecanismo de adesão que se pode aplicar a todos os casos. [3]

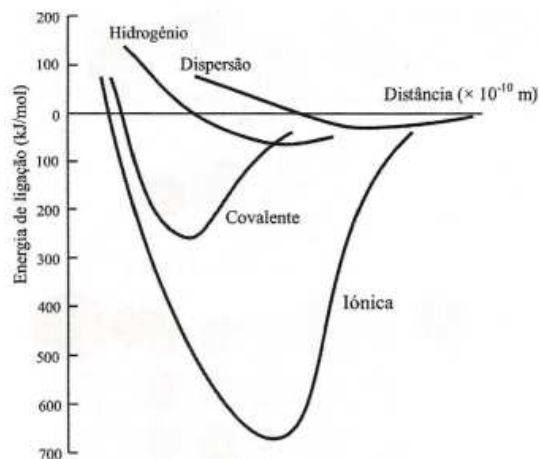
Figura 3 – Imagem ilustrativa da adesão mecânica mostrando a ancoragem



2.3.2 Teoria da adsorção

Essa teoria é a adesão química e é a principal teoria de adesão. Vendo que as forças envolvidas entre o adesivo e o substrato são as mesmas no interior do adesivo, deve se conhecer as forças químicas do adesivo. As forças adesivas e coesivas são classificadas como primárias e secundárias. As primárias são iônica, covalente e metálica; com 600 a 1000 kJ/mol, 60 a 700 kJ/mol e 100 a 350 kJ/mol de energia de ligação respectivamente. As forças secundárias, também chamadas de forças de van der Waals, são dipolo induzido, dipolo permanente e ligação de hidrogênio. Vale destacar que as forças primárias não estão presentes em diversos adesivos, porém ela é imprescindível para o adesivo ter um bom desempenho e assim ser estrutural. Conforme o comparativo de distância e força química na figura 4, é importante que as superfícies do adesivo de substrato tenham um bom contato, não mais que 50 nanômetros. Por isso a importância de uma boa molhabilidade do adesivo. [3] e [4]

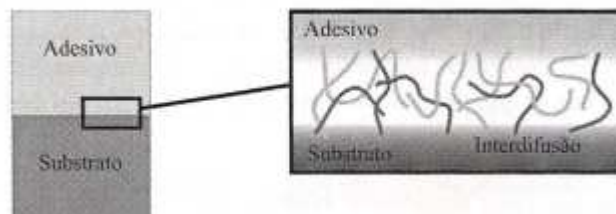
Figura 4 – Comparativo das forças de ligações químicas envolvidas na colagem e outras.



2.3.3 Teoria da difusão

Aplica-se por exemplo aos termoplásticos por solvente ou calor. Esta teoria explica a adesão de substratos poliméricos, e não é válida para ligações de adesivo com metais. Ela é explicada esquematicamente na figura 5. A extremidade de uma cadeia de uma molécula de polímero de uma superfície difunde na estrutura de uma segunda superfície formando uma ponte ou ligação através da interface. Esta teoria requer que os substratos e o adesivo sejam poliméricos, que tenham capacidade de movimento e que sejam compatíveis e miscíveis. Quando se trata de adesão de um material com ele próprio, designa-se por 'auto adesão'. No caso de polímeros diferentes, o fenômeno é denominado por 'hetero adesão'. Importante lembrar que essa teoria da difusão não se aplica quando os materiais ligados 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. [3]

Figura 5 – Explicação esquemática da teoria da adesão por difusão



2.3.4 Defeitos

Em testes práticos foi verificado que juntas reais não são tão resistentes quanto a teoria o sugere. E existem três fatores principais que justificam a diferença: a existência de uma camada fraca, o fato da distribuição de tensão em juntas não ser perfeitamente

uniforme e a existência de irregularidades na superfície que podem constituir pontos de iniciação de fendas.

O conceito da camada fraca que foi introduzido por Bikerman (1961), sugere que a idéia de duas fases em contato serem completamente isotrópicas e de composição uniforme é equivocada. Já que a superfície dos materiais é diferente do interior e por isso formariam a camada fraca por diversos motivos como: a inclusão de gases, formação de filme de óxidos (na figura 6 segue exemplo de diversas impurezas na superfície de substratos de metal e poliméricos) e concentração de constituintes em pequenas proporções. Por isso é de suma importância antes de aplicar o adesivo preparar a superfície e isso inclui limpá-la e diminuir sua rugosidade.

Figura 6 – Principais impurezas em substratos poliméricos e metálicos



A concentração de tensões é problemática porque as tensões de uma junta se concentram perto das extremidades (como exemplificado na figura 7, um gráfico mostrando a distribuição dos esforços numa junta de sobreposição simples) e por isso a partir de um momento o aumento do comprimento de sobreposição não irá resultar em um aumento de resistência, conforme figura 8.

Figura 7 – Distribuição dos esforços numa junta de sobreposição simples

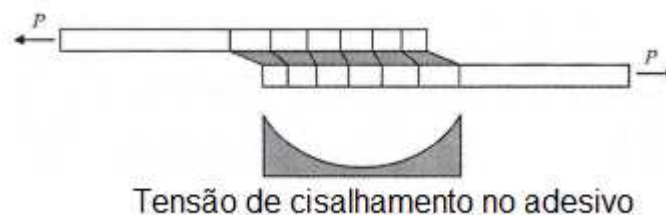
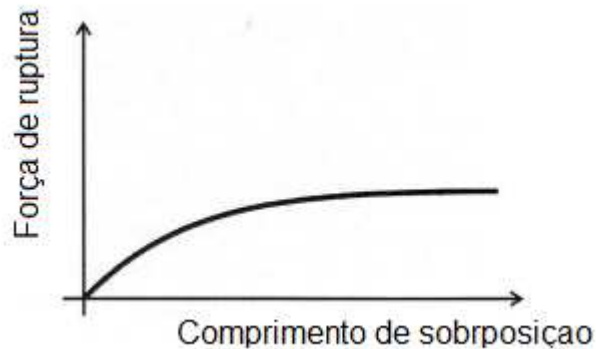
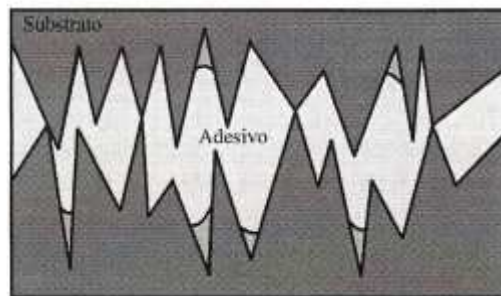


Figura 8 – Resistência de uma junta de sobreposição simples aumenta com o comprimento de sobreposição até um ponto máximo



As irregularidades de superfície causam bolsões de ar, conforme figura 9, que não contribuem para a resistência da junta e assim se comportam como pontos iniciadores de trinca. 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.

Figura 9 – Pontos de iniciação de fissuras em superfícies muito irregulares



Como podemos ver, grande parte dos defeitos na colagem são causados principalmente por uma má molhabilidade ou presença de impurezas na superfície.

A molhabilidade é a capacidade de um líquido molhar um sólido e é baseado na natureza das substâncias e sua limpeza. Empiricamente estabeleceu-se que a tensão crítica da superfície do sólido deve ser no mínimo igual numericamente a tensão do líquido, se não o adesivo não irá molhar por completo e vão aumentar os vazios entre ele e o substrato. Por exemplo, é muito simples fazer uma boa molhagem de um adesivo polimérico em um metal, mas deve se analisar os materiais no projeto de uma junta com substrato e adesivos poliméricos. Para diminuir a concentração de impurezas e assim garantir uma boa molhabilidade deve se preparar a superfície antes da colagem.

Dependendo do material e dos resultados desejados deve-se decidir se vai ser feito uma abrasão mecânica (esmerilhamento, jateamento etc) ou até mesmo um ataque químico [3].

Nas figuras 10 e 11 segue dois estudos sobre a influência da preparação da superfície na resistência final da junta.

Figura 10 – Efeito da preparação superficial na resistência de juntas adesivas com compósitos [5]

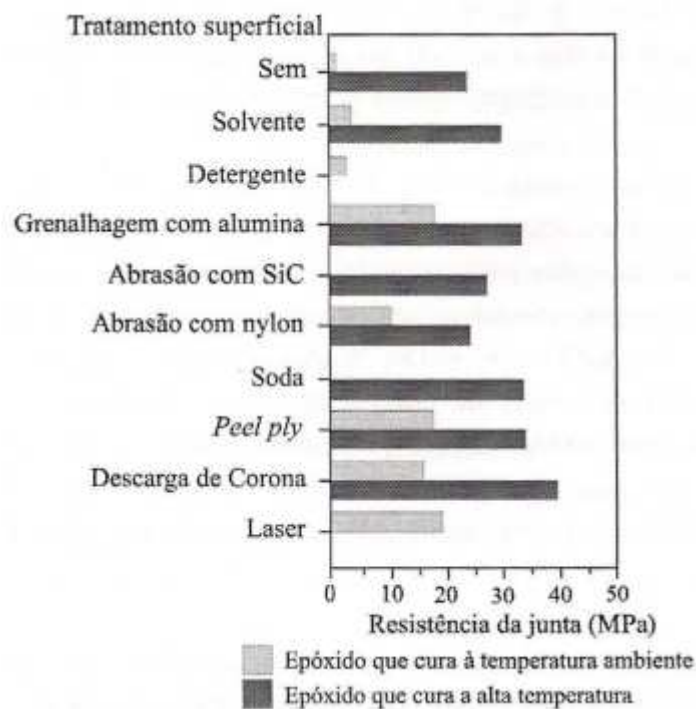
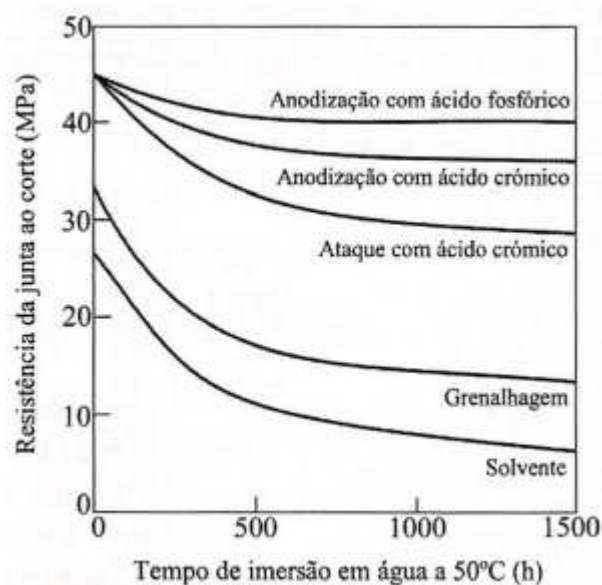


Figura 11- Efeito de vários tratamentos superficiais em juntas de alumínio colado com um epóxi reforçado e sujeitas a envelhecimento em água a 50°C. [6]



2.4 Tipos de adesivos

Os adesivos podem ser classificados por vários métodos. A mais ampla classificação é distinguir entre um adesivo fabricado a partir de produtos que são sintéticos ou naturais.

Os adesivos sintéticos são fabricados a partir de materiais feitos pelo homem e os adesivos naturais são fabricados a partir de materiais naturais, como subprodutos animais ou de agricultura.

Os polímeros mais antigos usados para adesivos eram de origem natural. Muitas vezes pensa-se que os adesivos naturais têm propriedades inferiores aos polímeros sintéticos devido à sua menor resistência e menor liberdade de processamento. No entanto, em muitas aplicações, como colagem de papel e madeira cujo aspecto mais importante é o fato do adesivo ser biodegradável, os adesivos naturais têm mais mercado.

Os adesivos modernos são usados em aplicações estruturais muito exigentes e são feitos de polímeros sintéticos. A classificação dos adesivos em sintéticos e naturais é demasiado ampla para muitas das aplicações. A indústria usa outros métodos para classificar os adesivos de acordo com os seus objetivos. Essas classificações são feitas por: função, modo de cura, forma física e composição química.

A classificação funcional define os adesivos como sendo estruturais ou não estruturais. Os adesivos estruturais são materiais de elevada resistência e desempenho. Geralmente, os adesivos estruturais são definidos como aqueles que possuem uma resistência ao corte superior a 5-10 MPa e uma boa resistência aos meios ambientes mais comuns. A sua função principal é a de manter ligadas as estruturas e de serem capazes de resistir a cargas elevadas sem grande deformação.

Os adesivos também se classificam sobre ao modo como reagem ou solidificam (curam). Os adesivos podem solidificar segundo vários métodos: por reação química (incluindo reação com um endurecedor ou reação com energia exterior tal como calor, radiação, catalisador de superfície, etc.), por perda de solvente, por perda de água, por arrefecimento a partir do estado fundido. O modo como um adesivo cura pode ser um fator muito importante no processo de seleção. O método de cura pode limitar significativamente as características do adesivo para uma aplicação particular.

Os adesivos podem apresentar-se sob diversas formas físicas. As mais comuns são: várias partes sem solvente (líquido ou pasta), uma parte sem solvente (líquido ou pasta), uma parte em solução (líquido), sólido (pó, fita, filme, etc.).

A classificação dos adesivos segundo a sua composição química descreve adesivos como sendo termoendurecíveis, termoplásticos, elastômeros ou misturas desses. Geralmente a composição química está subdividida em tipos ou famílias dentro de cada grupo, tais como os epóxidos, os uretanos, o neopreno e os cianoacrilatos.

2.4.1 Adesivos termoendurecíveis

Os adesivos termoendurecíveis são materiais que não podem ser aquecidos e amolecidos repetidamente após a sua cura inicial. Uma vez curados e reticulados, o adesivo pode ser amolecido até certo ponto com calor, mas não pode ser refundido ou restaurado até atingir o estado fundido que existia antes da cura. Os materiais termoendurecíveis não são fundíveis e insolúveis. Esses adesivos degradam-se e elevando a temperatura suficiente tornam-se fracos devido à oxidação ou quebras nas cadeias moleculares. Os sistemas adesivos curam por uma reação química irreversível a temperatura ambiente ou a temperaturas elevadas, dependendo do tipo de adesivo. A reticulação que ocorre na reação de cura é devida à ligação de dois polímeros lineares, resultando numa estrutura tridimensional rígida algumas reações requerem calor para iniciar e completar a cura, outras podem ser completadas a temperatura ambiente.

Exemplo de resinas termoendurecíveis: fenólicas, epóxies, poliéster, etc.

2.4.2 Adesivos termoplásticos

Os termoplásticos são originalmente polímeros sólidos que amolecem ou fundem quando aquecidos. Diferem dos termoendurecíveis na medida em que não curam ou endurecem com calor. Como as moléculas não curam numa estrutura reticulada podem ser fundidos com a aplicação de calor e aplicados a um substrato. A exposição repetida a elevadas temperaturas requeridas para a fundição pode causar degradação do material por oxidação, e isto limita o número de ciclos térmicos. Uma vez aplicado no substrato, as partes são encostadas e o adesivo endurece por arrefecimento. Os adesivos termofusíveis, muito usados nas embalagens, são exemplos de um material sólido termoplástico que é aplicado em um estado fundido. A adesão desenvolve-se na solidificação gerada pelo arrefecimento. Os adesivos plásticos têm uma temperatura de serviço mais limitada do que os termoendurecíveis. Apesar de alguns termoplásticos originarem uma excelente resistência ao corte a temperaturas

moderadas, esses materiais não são reticulados e tendem a fluir sob carga a baixas temperaturas. Essa fluência, ou deformação a longo prazo sob carga, pode ocorrer em temperatura ambiente ou até a mais baixas temperaturas dependendo do adesivo. A fluência a longo prazo é muitas vezes a característica que impede esses adesivos de serem usados em aplicações estruturais. Os adesivos termoplásticos também não têm uma tão boa resistência a solventes ou agentes químicos como os termoendurecíveis.

Exemplo de resinas termoplásticas: acrílicas, celulósicas, vinílicas, poliamidas, etc

2.4.3 Adesivos elastoméricos

Os adesivos elastoméricos têm uma classificação própria devido às suas características únicas. São baseados em polímeros elastoméricos que têm uma grande tenacidade e capacidade de deformação, retomam o seu comprimento inicial após a remoção da carga e dão uma boa resistência a juntas submetidas a um carregamento não uniforme. Os adesivos elastoméricos podem ser termoendurecíveis ou termoplásticos.

Devido ao fato dos adesivos elastoméricos serem materiais muito viscoelásticos, são caracterizados por terem um alto grau de deformação, baixo módulo de elasticidade e elevada tenacidade. Conseqüentemente, 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 usados para vedantes, amortecimento de vibrações e isolamento sonoro.

Exemplo de elastômeros: poliuretanos, nitrilos, policloroprenos, silicones, etc

2.4.4 Adesivos híbridos

Os adesivos híbridos são feitos combinando resinas termoendurecíveis, termoplásticas e elastoméricas em um único adesivo. Foram desenvolvidos para tirar partido das propriedades mais úteis de cada componente. Geralmente, resinas rígidas e frágeis para altas temperaturas são combinadas com um adesivo elastomérico ou termoplástico flexível e tenaz para melhorar a resistência ao arrancamento e a capacidade de absorver energia.

Recentemente foram melhoradas as propriedades de tenacidade de adesivos termoendurecíveis sem reduzir substancialmente a sua resistência a altas temperaturas. Esses sistemas consistem em híbridos reativos, onde dois componentes líquidos reagem, e híbridos de fase dispersa, onde um agente flexibilizante é incorporado na matriz com partículas discretas. Nos sistemas híbridos reativos, a resina flexibilizante reage com a

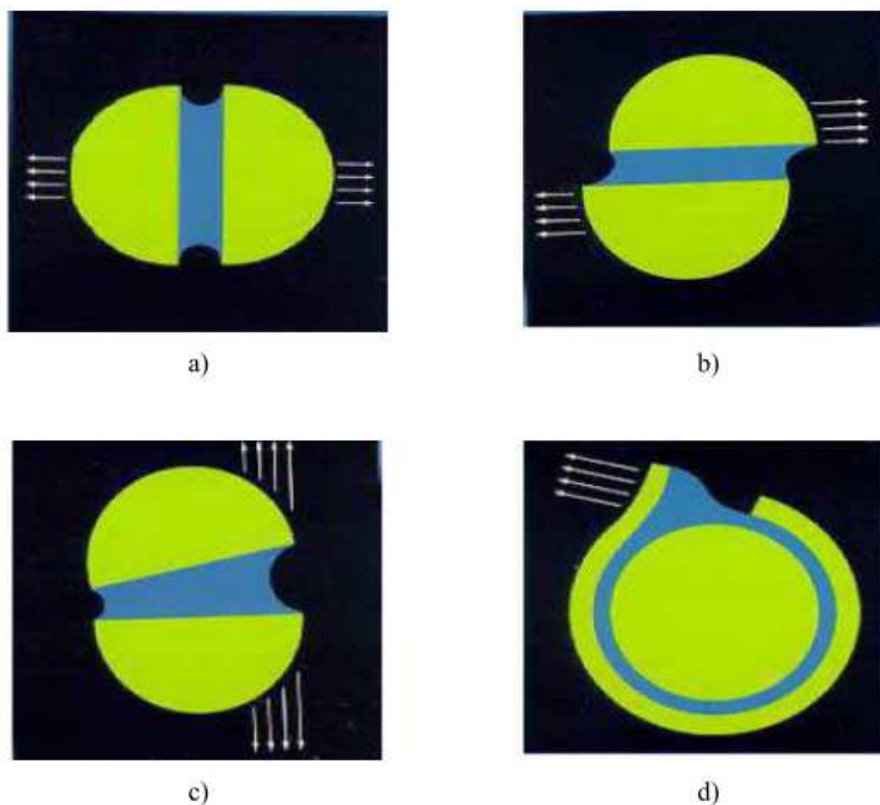
resina base originando flexibilidade e tenacidade sem redução significativa de outras propriedades. Um exemplo típico deste tipo de sistema é o adesivo epóxico - uretano.

Outro método de melhorar a tenacidade é introduzir uma microestrutura específica no adesivo. Adesivos híbridos têm resistências elevadas ao arrancamento, impacto e corte sem sacrificar a resistência química e a resistência a altas temperaturas. Têm também a capacidade para ligar substratos oleosos. Pensa-se que o óleo no substrato é absorvido na formulação e age como outro flexibilizante no adesivo. [3]

2.5 Tipos de carregamento

O projeto da junta tem como parte principal conhecer as tensões envolvidas nela, e como cada modo de tensão gera um comportamento diferente nela é imprescindível conhecer o efeito dos principais. As principais solicitações em que as juntas adesivas estão sujeitas, estão representadas na figura 12, e são: tração e compressão onde a força é perpendicular ao plano da junta, cisalhamento onde a força é paralela ao plano da junta, clivagem e arrancamento que ocorrem quando a força não está perfeitamente alinhada com o plano da junta.

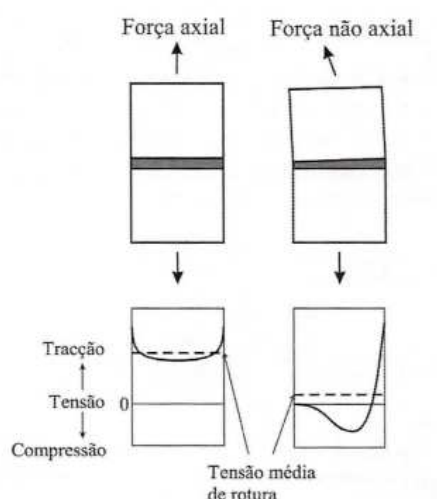
Figura 12 – Tensões mais importantes em uma junta adesiva: a) tração; b) cisalhamento; c) clivagem; d) arrancamento. [2]



2.5.1 Tração e compressão

Projeta-se a junta de maneira a ter as superfícies dos substratos paralelos. Infelizmente, na prática, a espessura da cola é difícil de controlar e as forças raramente são rigorosamente axiais, o que origina aumento e surgimento de tensões indesejáveis de clivagem ou de arranchamento conforme na figura 13. Os substratos também devem ser suficientemente rígidos para garantir que a tensão fique uniformemente distribuída. Tal como as forças de tração, as forças de compressão devem manter-se alinhadas de modo a que o adesivo permaneça em compressão pura. Uma junta adesiva em compressão só rompe se a distribuição de tensões não for uniforme. Na realidade, uma junta em 'pura' compressão quase não precisa de adesivo. Forças não axiais necessitarão de uma junta muito mais robusta conforme a figura vemos como são maiores as tensões nesses casos

Figura 13 – Aumento de tensões em uma junta pela não axialidade da junta

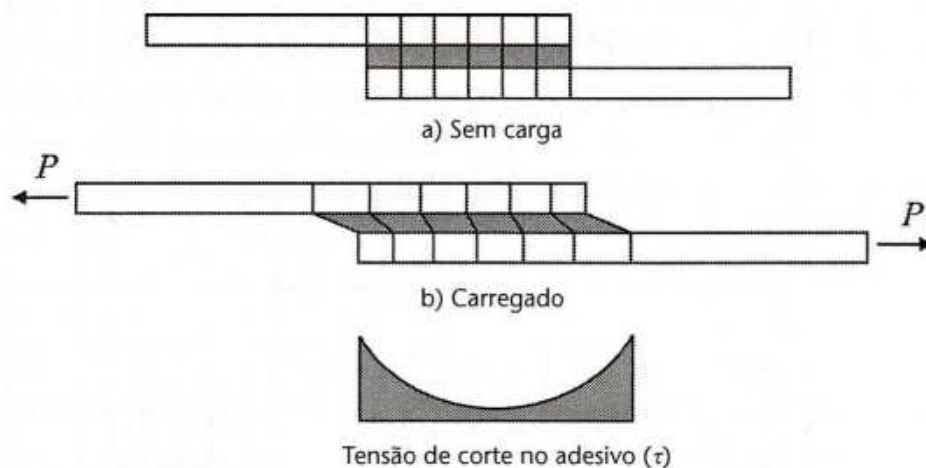


2.5.2 Cisalhamento

As tensões de cisalhamento aparecem quando forças atuando no plano do adesivo tendem a separar os substratos. As juntas que dependem da resistência ao corte do adesivo são relativamente fáceis de fabricar e são muito usadas na prática. As juntas são geralmente mais resistentes quando solicitadas ao cisalhamento, porque toda a área colada contribui e é relativamente fácil manter os substratos alinhados. A junta de sobreposição simples futuramente mostrada no tópico 6 representam o tipo de junta mais comum. Sobrepondo os substratos, o adesivo fica solicitado sobretudo ao cisalhamento. Note-se que a maior parte da tensão está localizada nos extremos da

sobreposição e a região central da sobreposição pouco contribui para a sustentação da carga, conforme figura 14, na qual é usada a análise de Volkersen.

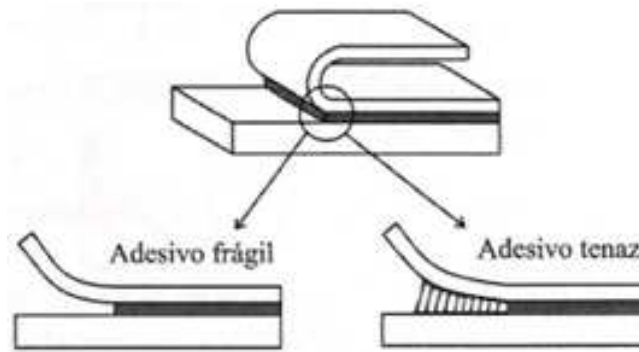
Figura 14 – Distribuição da tensão conforme análise de Volkersen



2.5.3 Clivagem e arrancamento

As tensões de clivagem e de arrancamento são os principais inimigos das juntas adesivas. A clivagem é definida como a tensão que ocorre quando forças na extremidade de uma junta rígida atuam de modo a separar os substratos. As tensões de arrancamento são semelhantes às de clivagem, mas aplicam-se ao caso onde um ou ambos os substratos são flexíveis. Por conseguinte, o ângulo de separação pode ser muito maior para o arrancamento do que para a clivagem. As juntas sob clivagem ou arrancamento são muito menos resistentes do que aquelas sujeitas a corte porque a tensão está concentrada numa área muito pequena. A distribuição de tensão no adesivo numa junta em clivagem é mostrada na figura 15. Toda a tensão fica localizada na extremidade da junta, o adesivo que está na outra extremidade pouco contribui para a resistência da junta. 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 permitem uma maior resistência, conforme mostrado ilustrativamente na figura. Os adesivos epóxis rígidos têm uma resistência ao arrancamento de apenas 0,35 N/mm de largura, enquanto que os adesivos mais tenazes podem chegar aos 4-8 N/mm.

Figura 15 – Diferença ilustrativa de adesivo solicitado em arrancamento tenaz ou frágil



Conforme houve evolução nos modelos analíticos notou-se a existência de deformação de substrato pela existência de um momento fletor que é originário da não linearidade dos substratos e suas forças, inclusive os rígidos (conforme figura 16). Tal deformação introduz solicitações indesejadas até em juntas com solicitações simples como cisalhamento, conforme figura 17, os primeiros notarem esse fenômeno foram Goland e Reissner. [3]

Figura 16 – Representação da deformação dos substratos

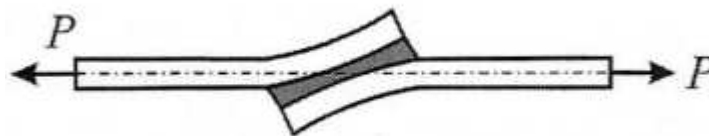
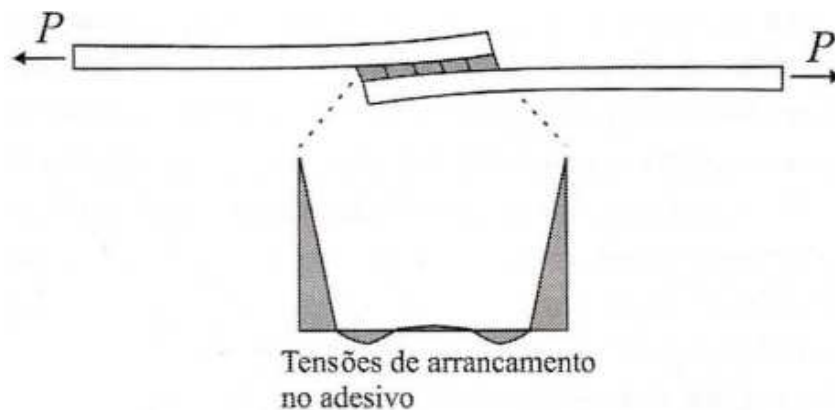


Figura 17 – Aparecimento de tensões de arrancamento em juntas de sobreposição simples



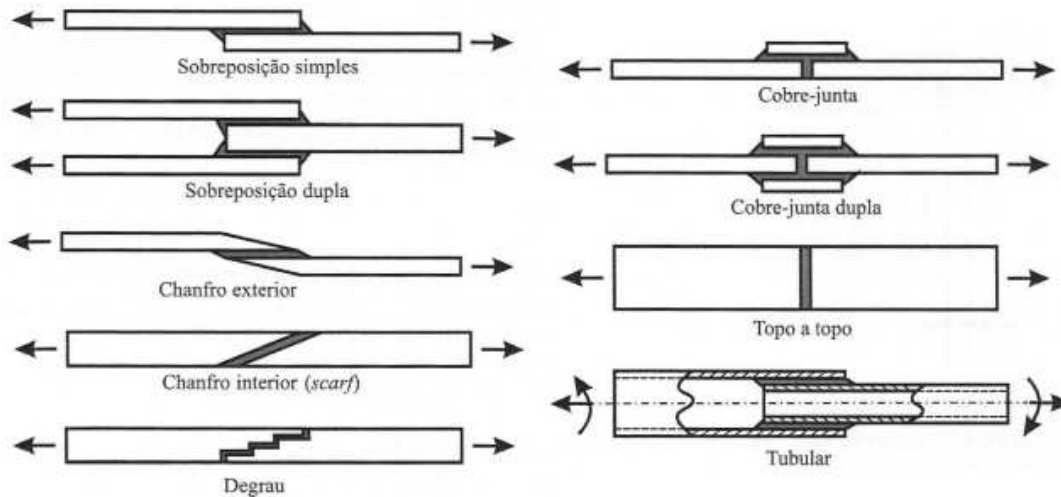
2.6 Tipos de juntas

A junta pode ter diversas formas dependendo de diversos fatores como: tensões envolvidas, intensidade da tensão e facilidade de fabricação.

Os diversos formatos de juntas, vide figura 18, foram evoluindo para diminuir as tensões envolvidas nela com base nos avanços teóricos dos modelos de tensões, porém

pelos limitantes de custo ainda se usam muitas juntas mais simples. As juntas mais comuns são sobreposição simples, dupla e chanfro.

Figura 18 – Principais tipos de juntas

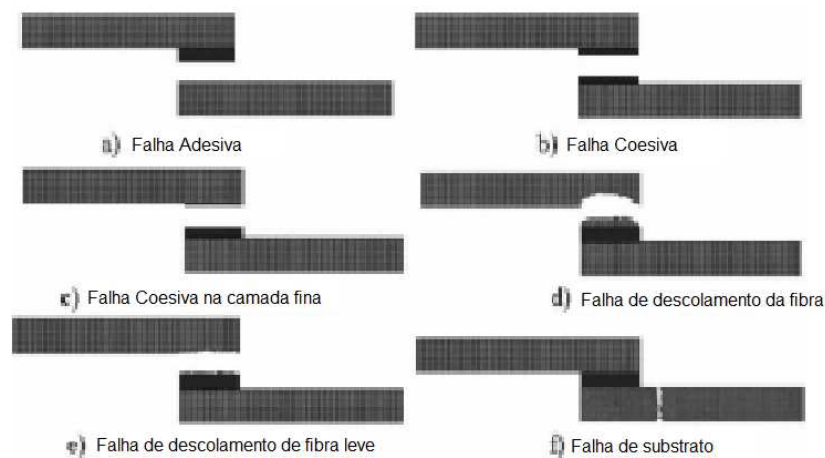


2.7 Tipos de ruptura

Os tipos de ruptura ou modos de falha são determinados pela quantidade de materiais em cada interface, geometria e carregamento. É importante que seja feita a caracterização da falha para se ter um entendimento completo das propriedades da junta.

Em juntas adesivas de compósitos, de acordo com a norma ASTM D5573, existem sete modos de falha caracterizados. Eles são falha adesiva, coesiva, coesiva na camada-fina, descolamento da fibra, descolamento da fibra leve, substrato ou uma mistura das anteriores, ilustrada na figura 19.

Figura 19 – Modos de falha segundo norma ASTM D5573.[7]



As principais falhas são: adesiva quando o adesivo apresenta falha ao aderir no substrato, coesiva quando rompe dentro do adesivo ou de substrato quando a junta se rompe e o adesivo mantém-se.

2.8 Ensaios

Os ensaios, em geral consistem em avaliar e verificar as características dos materiais, podendo elas ser física, química, mecânicas, térmicas, dentre outras. As propriedades físicas e térmicas são propriedades diretamente ligadas aos adesivos, que influenciam na sua preparação, utilização e como irá se comportar nas mais diversas condições ambientais e mecânicas. Os ensaios mais usuais requerem uma amostra real (corpo de prova), sendo assim destrutivos, demonstrando como será a ligação que será formada entre o adesivo e o substrato correto. Os ensaios reais devem levar diversos fatores em consideração, dentre eles, à geometria da junta, a interface, a camada primária, a preparação da superfície, o tempo de cura e o adesivo.

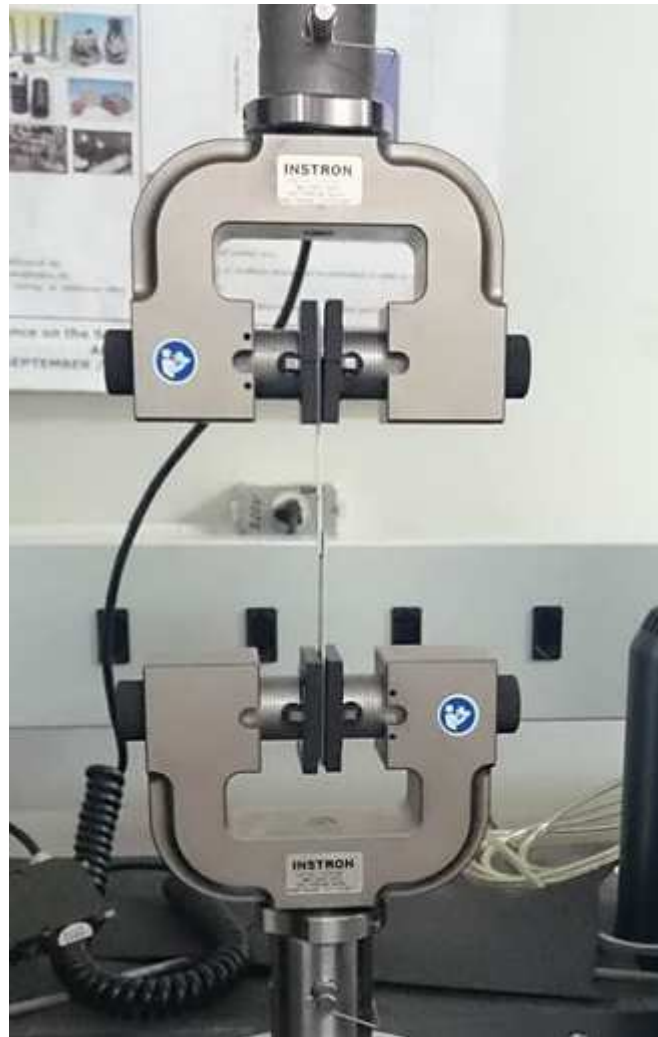
Os principais ensaios são os de dureza (método Shore, método Barcol e Nanoindentação) com a função de se avaliando a dureza para saber se houve a cura correta do adesivo, temperaturas de transição para se ter a caracterização da variação do módulo de elasticidade e volume específico e de juntas que tem como objetivo ver como se comporta o material em diversos formatos de juntas sobre tensão. Por exemplo ensaio de junta de sobreposição simples, Notched plate shear method (Arcan), topo em torção e outros.

2.8.1 Ensaio de cisalhamento em uma junta de sobreposição simples

O ensaio de cisalhamento por tração é o mais utilizado na determinação da resistência de junções adesivas por sobreposição simples. Os resultados obtidos são de extrema utilidade para determinação das condições geométricas da junção e do tipo de adesivo em aplicação na indústria. Através do ensaio de cisalhamento é possível determinar características importantes dos adesivos e das junções, como por exemplo, a tensão média de ruptura τ média, propriedade do adesivo, dada pela relação entre a força máxima aplicada (F) e a área de sobreposição das chapas (τ média = F/b*l).

Este ensaio é regulamentado pelas normas ASTM D1002, ISO 4587 ou outras similares. O ensaio em junta de sobreposição simples pode ser usado como método comparativo para estudo de adesivos, desde que se garantam a padronização dos parâmetros restantes que podem afetar o resultado dos ensaios. Na figura 20 temos uma máquina realizando o teste.

Figura 20 – Foto de um corpo de prova sendo ensaiado



Neste trabalho foi realizado o ensaio de cisalhamento em 2 adesivos comerciais e 2 comprimentos de sobreposição de corpos de prova em alumínio.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Adesivos

Para este trabalho foram utilizados os seguintes adesivos:

3.1.1 Adesivo Zap Zpoxy 30 minutes

Os adesivos epóxicos são provavelmente a família de adesivos mais versátil que temos hoje em dia, porque aderem bem a diversos substratos, exceto os polímeros e os elastômeros que têm uma energia de superfície muito baixa e podem ser facilmente modificados para atingir uma grande variedade de propriedades. Têm uma excelente resistência à tração e ao cisalhamento, porém tem uma fraca resistência ao arrancamento a não ser que sejam modificados com um polímero mais tenaz. Têm uma excelente resistência ao óleo, umidade e muitos solventes. Têm uma baixa contração na cura e uma elevada resistência à fluência.

Os epóxicos comerciais são compostos por uma resina epóxida e um endurecedor. O endurecedor pode ser incorporado na resina originando um adesivo de um componente, ou pode ser fornecido em um recipiente separado que deve depois ser misturado com a resina antes da aplicação. Os epóxicos podem ser líquidos, pastas, filmes e sólidos. Os adesivos de uma parte curam com calor enquanto os de duas partes podem curar à temperatura ambiente ou a altas temperaturas. Os que curam a altas temperaturas têm uma maior temperatura de transição vítrea do que os que curam à temperatura ambiente. Os epóxicos que curam a temperaturas elevadas têm maior resistência ao corte, especialmente a altas temperaturas, e uma maior resistência ao meio ambiente. No entanto, têm menos tenacidade e resistência ao arrancamento. Os epóxicos que curam à temperatura ambiente podem, em alguns casos, endurecer em segundos, mas geralmente é necessário um período de 18 a 72 horas. Podem ser curados a temperaturas mais altas com tempos mais curtos. Os epóxicos que curam à temperatura ambiente tem um tempo limite curto para aplicar o adesivo. Para os adesivos de um componente o tempo permitido desde a mistura (feita pelo fabricante) até à aplicação é relativamente longo, e depende das condições de armazenamento.

Para se ter melhores propriedades pode se misturar adesivos epóxis com polímeros como: nitrilo, fenólicos, nylon e polisulfeto, para reagir com o adesivo ou para ficarem incluídas como modificadores.

Zap Z-Poxy 30 Minutos é um adesivo estrutural epóxi de alta qualidade em 2 partes. Possui uma coloração transparente antes da cura e amarelo claro após a mesma,

necessita de um tempo de fixação de 30 minutos em temperatura ambiente e a cura após 24 horas em temperatura ambiente, podendo ser menor quando aquecida. Ao final do tempo de cura, possui a resistência de 9,65 MPa, em substrato de alumínio. Na figura 21 pode ser vista uma foto deste adesivo.

Figura 21 – Foto de adesivo ZAP ZPOXY 30 – MINUTES. [10]



3.1.2 Adesivo Permabond 793

Os cianoacrilatos tornaram-se muito conhecidos após a sua introdução no mercado no início dos anos 70 com a designação de 'supercola'. São geralmente à base de cianoacrilato de metilo ou etilo. São líquidos de um só componente e têm uma cura rápida, excelente resistência ao corte e um bom tempo de prateleira. Embora muito parecidos em termos de cura com os anaeróbicos, os cianoacrilatos são mais rígidos e menos resistentes à umidade. Os cianoacrilatos estão disponíveis apenas como líquidos de baixa viscosidade que curam em poucos segundos à temperatura ambiente.

Os cianoacrilatos aderem bem a muitos substratos. Os cianoacrilatos têm normalmente uma baixa resistência ao calor e à umidade. A sua resistência ao arrancamento e ao impacto são também baixas. A sua aplicação estrutural restringe-se aos casos onde o meio ambiente não é muito severo e quando é fundamental ter uma ligação rápida de executar. [3]

Permabond é um adesivo instantâneo a base de cianoacrilato de etila, monocomponente de polimerização espontânea por ação da umidade ambiente. Possui um aspecto líquido de média viscosidade e com odor característico, é incolor e

ligeiramente amarelado. É uma cola rápida, pois sua cura se da em menos de 1 minuto. O adesivo tem uma resistência máxima, depois de 24 horas de cura em temperatura ambiente, de 25 MPa em aço segundo a norma ASTM-D2095 e pode ser usado em uma faixa de temperatura de – 50 a 80° C. Na foto 21 mostra este adesivo.

Figura 22- Foto do adesivo PERMABOND 793. [11]



3.2 Substratos

O alumínio, apesar de ser o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, é o metal mais jovem usado em escala industrial. Mesmo utilizado milênios antes de Cristo, o alumínio começou a ser produzido comercialmente há cerca de 150 anos.

Sua produção atual supera a soma de todos os outros metais não ferrosos. Esses dados já mostram a importância do alumínio para a nossa sociedade. Antes de ser descoberto como metal isolado, o alumínio acompanhou a evolução das civilizações.

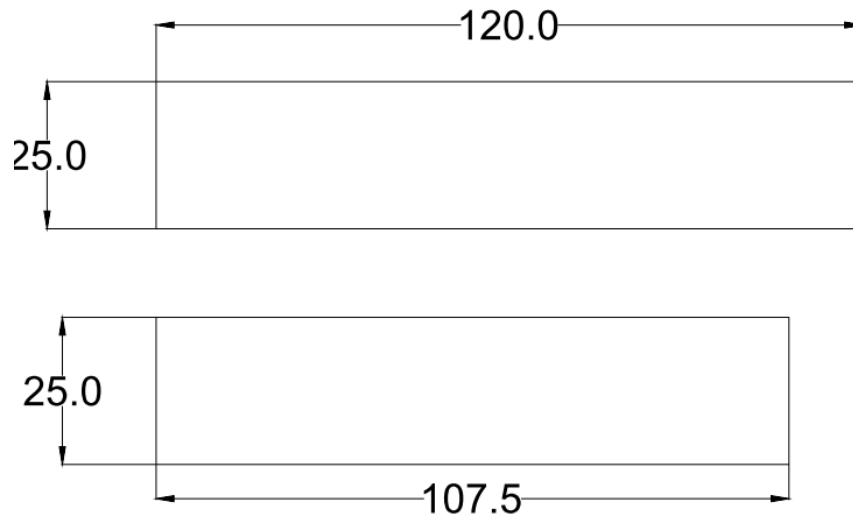
As características do alumínio permitem que ele tenha uma diversa gama de aplicações. Por isso, o metal é um dos mais utilizados no mundo todo. Material leve, durável e bonito, o alumínio mostra uma excelente performance e propriedades superiores na maioria das aplicações. Produtos que utilizam o alumínio ganham também competitividade, em função dos inúmeros atributos que este metal incorpora. Suas técnicas de fabricação permitem a manufatura do produto acabado a preços competitivos. Cada segmento utiliza o metal na forma mais adequada às suas finalidades, de acordo com os diferenciais e propriedades de cada produto. [12]

O material utilizado neste trabalho foi o alumínio 1200 H 14. Este material é um material encruado e que foi temperado. Este material possui o limite, mínimo, de resistência a tração entre 75 e 110 MPa, limite, máximo, de resistência a tração entre 105 e 145 MPa e uma dureza máxima de 32 HB [13, 14].

3.3 Preparação dos corpos de prova

Foram preparados 18 corpos de prova. Foi considerada como base a norma ASTM D1002. Os corpos de prova tiveram as dimensões fixas 25mm de largura e 1,5mm de espessura. Os comprimentos foram de 107.5 e 120mm, que são diferentes pela variação de comprimento colado de 12.5 e 25mm. Os substratos de alumínio foram cortados na guilhotina com as dimensões apresentadas na figura 23.

Figura 23 – Dimensões dos corpos de prova em mm

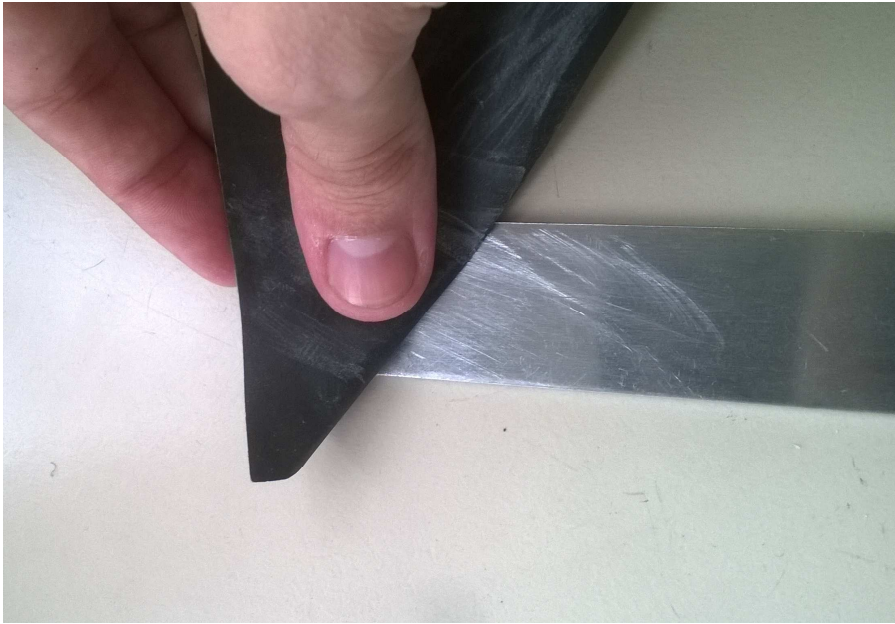


Espessura: 1.5

Os corpos de prova foram preparados no laboratório LADES do CEFET/RJ. Para aumentar a aderência do adesivo no substrato, os substratos tem que ser tratados mecanicamente e quimicamente, já que a maior parte dos problemas na colagem são decorrentes de uma má preparação dos substratos.

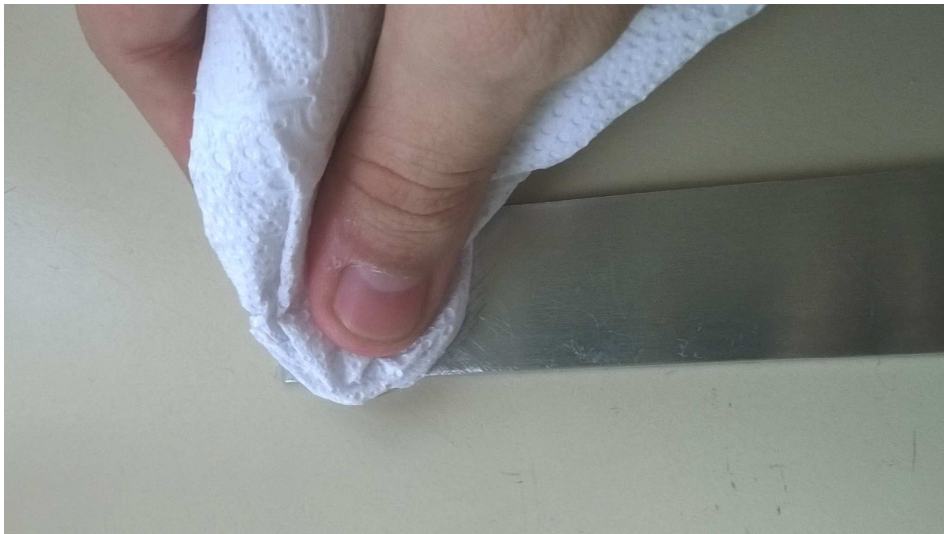
Para início dos testes foi retirado o filme plástico de proteção dos substratos que já vem comercialmente. Após a retirada do filme, os substratos foram lixados com lixas d'água de 60 e 240 em ângulos de 45° em relação as dimensões do material, conforme figura 24.

Figura 24 – Foto dos substratos sendo lixados



Após se obter a superfície lixada foi realizada uma limpeza com acetona para eliminar qualquer impureza que tenha se depositado na superfície, conforme figura 25.

Figura 25 – Foto dos substratos sendo limpos com acetona



Os dois adesivos foram usados para fabricar os corpos de prova. Gabaritos para garantir a espessura do adesivo em 0.27 mm para as amostras com 12.5 e 25mm de comprimento de adesivo (conforme figura 26) foram usados.

A resina epóxi foi preparada com auxílio de uma balança de precisão, por ela ser de dois componentes (1:1). A seguir foram colocados pesos nas amostras por 48 horas, conforme figura 27, para realização da cura.

Figura 26 – Dimensões dos corpos de prova em mm

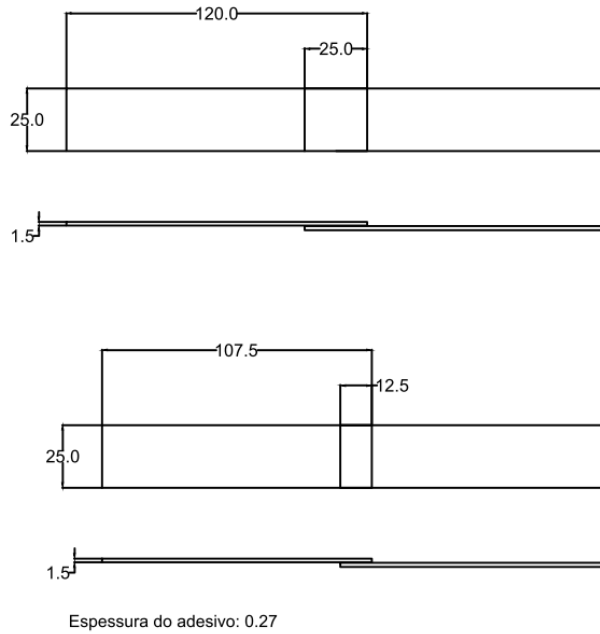


Figura 27 – Foto dos pesos sendo colocados nos corpos de prova



Após a cura, foi retirado o excesso de adesivo nas laterais dos corpos de prova, com o auxílio de uma lima conforme figura 28.

Os corpos de prova prontos para ser ensaiados podem ser vistos na figura 29.

Figura 28 – Foto do Excesso de adesivo sendo retirado



Figura 29 – Corpos de prova prontos para serem ensaiados



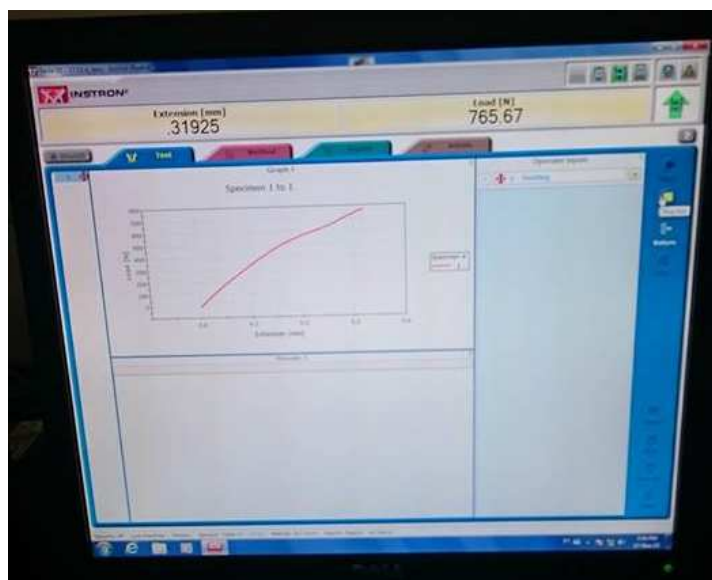
Os ensaios foram realizados à temperatura ambiente utilizando a máquina INSTRON 5966 no laboratório LADES. A célula de carga foi de 10 kN e a velocidade de ensaio foi de 1 mm/min. Na figura 30 a máquina utilizada no trabalho é mostrada.

Figura 30 – Foto da máquina utilizada nos ensaios



Durante o procedimento foram registradas a força e o deslocamento de forma a produzir posteriormente a curva característica de cada ensaio efetuado com auxílio de um computador e um software específico (ver Figura 31).

Figura 31 – Software própria do fabricante



4 RESULTADOS

4.1 Modos de ruptura

4.1.1 Modos de ruptura de juntas epóxi de 12.5mm

Figura 32 – Corpos de prova fraturados (epóxi 12.5mm)



4.1.2 Modos de ruptura de cianoacrilato 12.5mm

Figura 33 – Corpos de provas fraturados Cianoacrilato 12.5mm



4.1.3 Modos de ruptura de epóxi 25mm

Figura 34 – Corpos de provas fraturados epóxi 25mm



4.1.4 Modos de ruptura de cianoacrilato 25mm

Figura 35 – Corpos de provas fraturados cianoacrilato 25mm



Após os ensaios de junta de sobreposição simples, os modos de ruptura foram avaliados visualmente.

Ruptura mista nos corpos de prova de epóxi de 12.5 mm (figura 32) foi observada.

Nos demais corpos de prova das figuras 32 a 35 ruptura adesiva pode ser observada, onde o adesivo ficou quase todo em um substrato. Esses tipos de ruptura acontecem quando há uma má adesão do adesivo no substrato.

Podemos deste modo concluir que a preparação utilizada não foi satisfatória para os materiais utilizados nesse trabalho. O ideal é que haja uma ruptura coesiva nos corpos de prova.

4.2 Curvas

As curvas de força vs deslocamento de juntas de sobreposição simples com comprimentos de sobreposição de 12,5 e 25 mm estão representadas nas figuras 36 a 39.

Figura 36 – Curvas do ensaio do adesivo epóxi 12.5mm

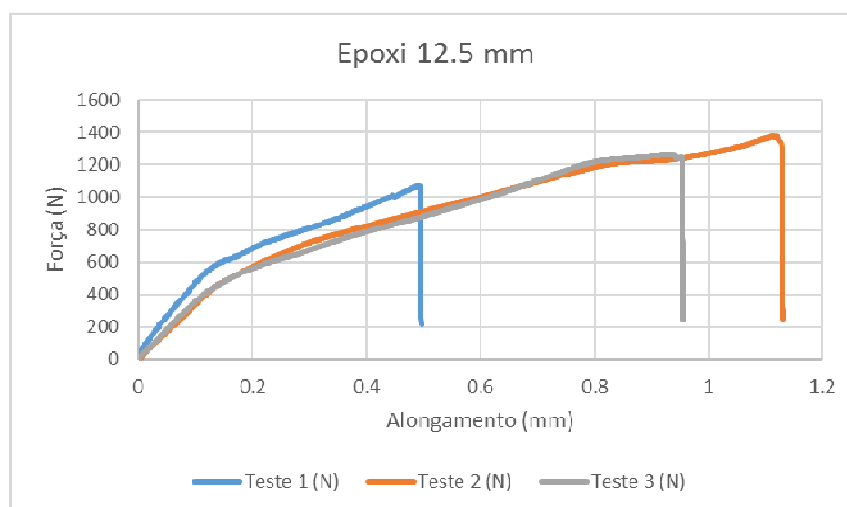


Figura 37 – Curvas do ensaio do adesivo cianoacrilato 12.5 mm

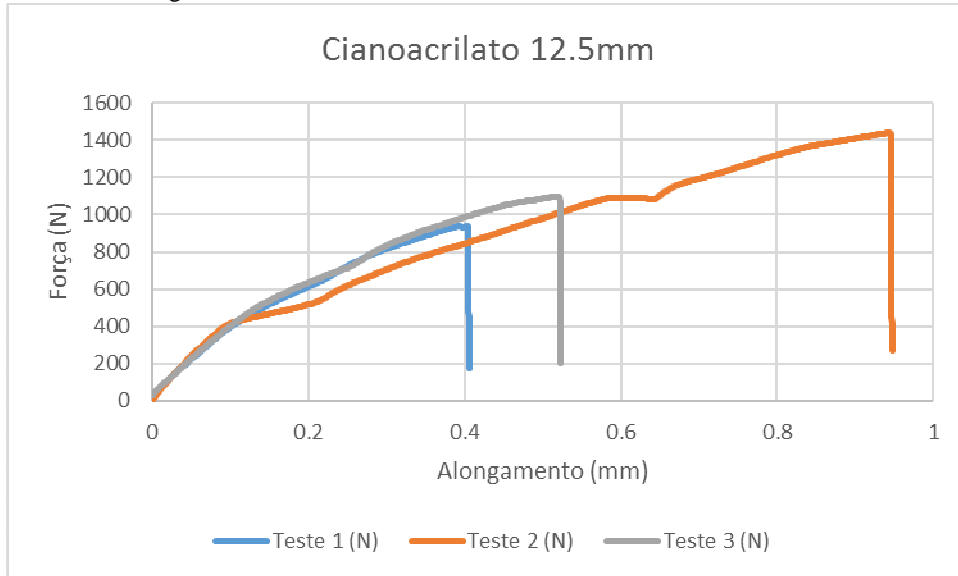


Figura 38 – Curvas do ensaio do adesivo epóxi 25mm

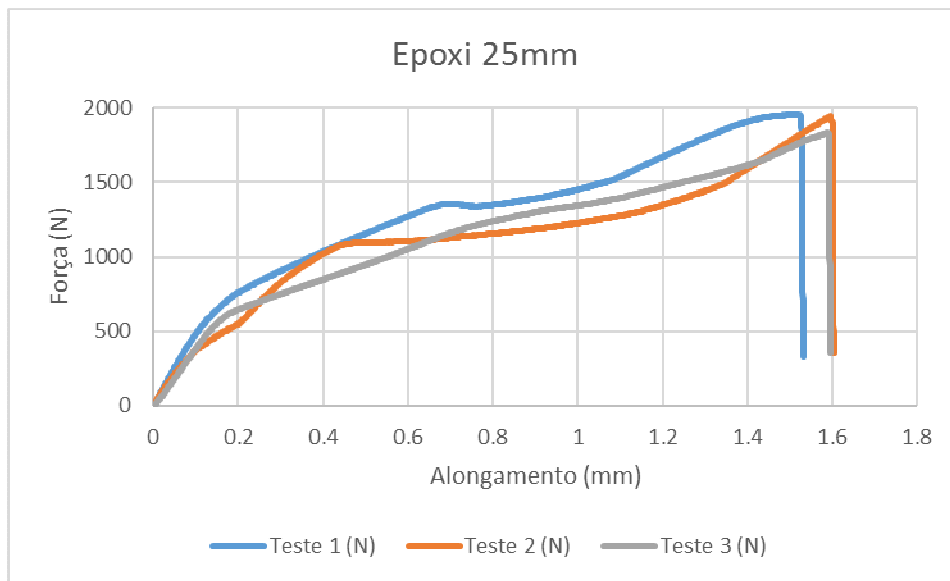


Figura 39 – Curvas do ensaio do adesivo cianoacrilato 25 mm

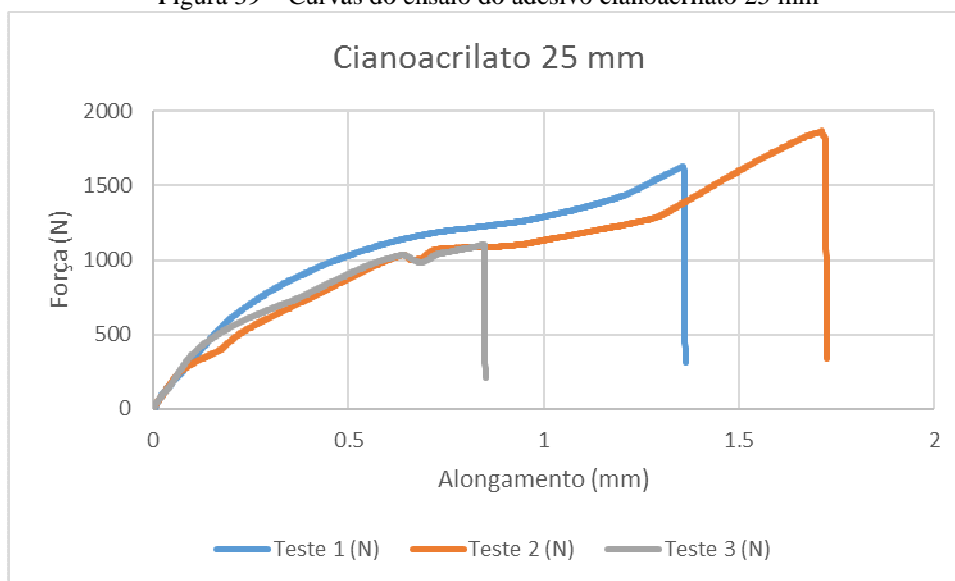
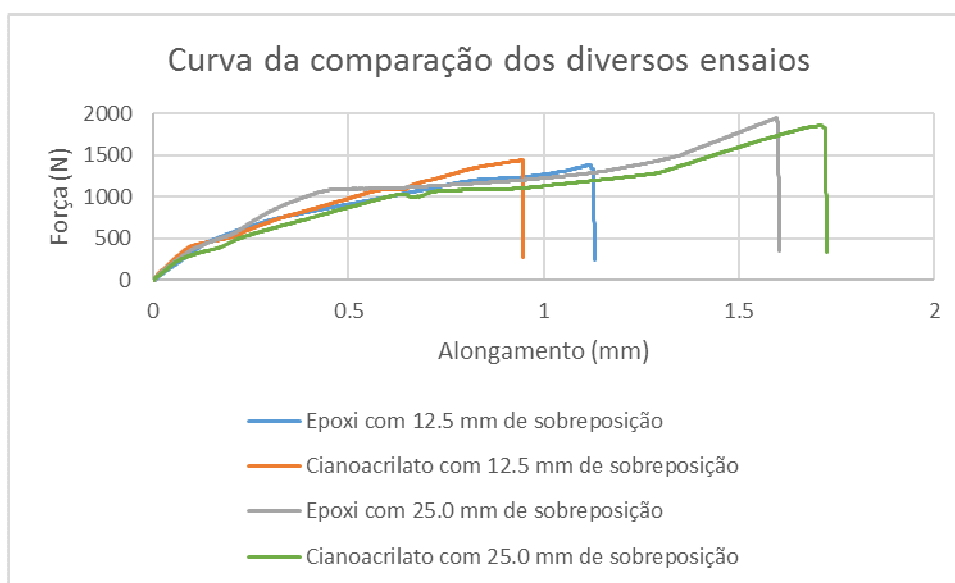
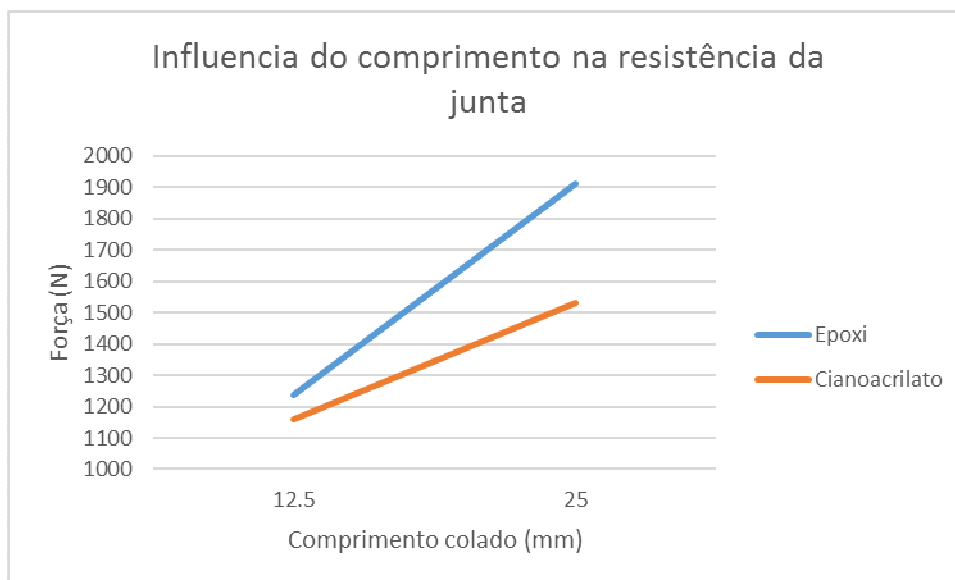


Figura 40 – Curva da comparação dos diversos ensaios



A influência do comprimento de sobreposição na força máxima está apresentada na figura 41, onde se verifica um aumento da força máxima com o aumento do comprimento de sobreposição. A força máxima aumentou cerca de 54 % para o epóxi e 32% para o cianoacrilato com o dobro do comprimento de sobreposição. O que corrobora com as teorias das juntas que desde Vorkersen considera que as tensões estão principalmente concentradas perto dos extremos das juntas.

Figura 41 – Influência do comprimento da sobreposição na resistência da junta



Como foi referido anteriormente, a tensão de cisalhamento média pode ser calculada recorrendo à Equação:

$$\tau_{\text{média}} = F/b \cdot l.$$

Os valores obtidos para a tensão de corte média com o desvio padrão do ensaio calculado para os diferentes comprimentos de sobreposição e adesivos são apresentados nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Carga para os diferentes comprimentos de sobreposição

Material	Carga (N)				Desvio Padrão ±
	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Média	
Epóxi com 12.5 mm de sobreposição	1072,05	1377,70	1261,74	1237,16	154.30
Cianoacrilato com 12.5 mm de sobreposição	940,228	1441,60	1097,80	1159,87	256.38
Epóxi com 25.0 mm de sobreposição	1955,78	1945,06	1831,79	1910,88	68.70
Cianoacrilato com 25.0 mm de sobreposição	1626,69	1865,03	1103,08	1531,60	389.77

Tabela 2 - Tensão para os diferentes comprimentos de sobreposição e adesivos

Material	Carga (N)				Desvio Padrão ±
	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Média	
Epóxi com 12.5 mm de sobreposição	3,43	4,40	4,03	3,95	0,40
Cianoacrilato com 12.5 mm de sobreposição	3,00	4,61	3,51	3,71	0,66
Epóxi com 25.0 mm de sobreposição	3,12	3,11	2,93	3,05	0,08
Cianoacrilato com 25.0 mm de sobreposição	2,60	2,98	1,76	2,45	0,50

Os valores obtidos de alongamento para os diferentes comprimentos de sobreposição e adesivos estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Alongamento para os diferentes comprimentos de sobreposição e adesivos

Material	Alongamento (mm)				Desvio Padrão ±
	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Média	
Epóxi com 12.5 mm de sobreposição	0,49	1,13	0,95	0,86	0.32
Cianoacrilato com 12.5 mm de sobreposição	0,40	0,94	0,52	0,62	0.28
Epóxi com 25.0 mm de sobreposição	1,53	1,603	1,59	1,57	0.03
Cianoacrilato com 25.0 mm de sobreposição	1,36	1,72	0,85	1,31	0.43

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

Neste trabalho o efeito do adesivo e do comprimento da sobreposição foram investigados numa junta colada de sobreposição simples. Foram avaliados a resistência, modos de ruptura e deformação da junta.

As seguintes conclusões podem ser tiradas:

O aumento do comprimento de sobreposição teve como efeito o aumento da força de ruptura da junta.

A tensão suportada na junta caiu com o aumento do comprimento de sobreposição. Tal contradição ocorre pela distribuição das tensões na junta, as tensões do adesivo se concentram perto das extremidades da sobreposição, resultando em um aumento não linear de resistência.

Foi verificado que o tratamento de superfície (abrasão por lixas e depois limpeza por acetona) não é satisfatório para os materiais utilizados neste trabalho.

O adesivo epoxy teve uma resistência e alongamento maior do que o do adesivo cianoacrilato.

Como a junta escorregou no ensaio, a garra para segurar os corpos de prova durante o ensaio foi insatisfatória para esse ensaio.

5.2 Trabalhos Futuros

Ficou concluído que o trabalho teve alguns resultados insatisfatórios, assim como sugestão para trabalhos futuros deve-se:

- Realizar os ensaios com outra preparação da superfície como, por exemplo o jateamento.
- Realizar o ensaio com um corpo de prova furado, que estaria preso a máquina de ensaio por meio dele e não por atrito como foi realizado.

Também fica como sugestão realizar o ensaio com outras juntas como a junta de sobreposição dupla.

Referências:

- [1] Karina Ayumi Fucuhara - Aplicação De Adesivos Estruturais Em Painéis De Carros Guaratinguetá, 2014
- [2] FAUNER, G.; ENDLICH, W. Manuel de techniques de collage. Paris: Soproge SA, 1984
- [3] Lucas F. M. da Silva, António G. de Magalhães, Marcelo F. S. F. de Moura Juntas Adesivas Estruturais - - 2007
- [4] Josué Garcia Quini – Adesivos estruturais uretânicos aplicado a combinação de compósitos, plásticos e metais – SP,2011
- [5] J.R.J. Wingfield Treatment of composite surfaces for adhesive bonding – 1993
- [6] A. J. Kinloch Adhesion and Adhesives -1987
- [7] BANEJA, M.D; SILVA, L.F.M. Adhesively bonded joints in composite materials: an overview. Journal of Materials Design and Applications. 2008.
- [8] <http://www.instron.com/pt-br/testing-solutions/by-test-type/peel-tear--friction/astm-d1002?region=Brasil>
- [9] ASTM D1002 Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal)
- [10] <http://www.supergluecorp.com/?q=zap/z-poxy-line/zap-30-minute-z-poxy>
- [11] http://www.permabondadesivos.com.br/index.php?page=shop.product_details&category_id=54&flypage=flypage.tpl&product_id=265&option=com_virtuemart&Itemid=81
- [12] <http://www.latapack.com.br/mundo-da-lata/historia-do-aluminio/>
- [13] <http://www.shockmetais.com.br/especificacoes/aluminio/pmec>
- [14] <http://www.vmetais.com.br/ptBR/Negocios/Aluminio/Documents/Cat%C3%A1logo%20Laminados.pdf>

ANEXO – CATALOGO DOS ADESIVOS

FOLHA DE INFORMAÇÕES TÉCNICAS

PRODUTO

Adesivo instantâneo a base de cianoacrilato de etila , monocomponente de polimerização espontânea por ação da umidade ambiente.

PROPRIEDADES GERAIS

Produto sem polimerizar.

Aspecto:	líquido de média viscosidade de odor característico
Cor:	incolor, ligeiramente amarelado
Solubilidade:	metiletilcetona (MEK), acetona, nitrometano
Densidade(25 °C):	1,04 a 1,06 g/cm ³
Viscosidade(25 °C):	80 a 120 m Pa.s (Brookfield RTV , aste 1,20 RPM)
Folga máxima de aplicação:	0,10 mm.
Velocidade de cura (segundos):	aço/aço: 10 a 25
	borracha/borracha: 2 a 5
	vidro/vidro: 3 a 5
	acrílico/acrílico: 5 a 10
	papel: 20 a 45

Vida útil : 6 meses a temperatura ambiente.

Produto polimerizado:

Aspecto:	sólido, matéria plástica rígida
Cor:	incolor
Temperatura de trabalho:	-54 a 80°C

Os dados contidos nesta folha são de caráter informativo e foram produzidos de acordo com os melhores conhecimentos e experiências adquiridos até agora. Não podemos assumir nenhuma responsabilidade pelos resultados obtidos por terceiros, cujos procedimentos e métodos não tenham sido submetidos a nosso controle. Certificamos que o material foi testado e atende totalmente sua especificação.

DESEMPENHO DO MATERIAL CURADO

(Após 24 h a 22°C)

Resistência a tração paralela em lâminas.

		TÍPICOS	
		Valor	Faixa
Aço (jateado)	N/mm ² (psi)	22 (3.200)	18 a 26 (2.600 a 3.800)
Alumínio apassivado,	N/mm ² (psi)	15 (2.200)	11 a 19 (1.600 a 2.800)
Dicromato de zinco,	N/mm ² (psi)	10 (1.450)	6 a 14 (870 a 2.000)
ABS,	N/mm ² (psi)	13 (1.900)	6 a 20 (870 a 2.900)
PVC,	N/mm ² (psi)	13 (1.900)	6 a 20 (870 a 2.900)
Polycarbonato,	N/mm ² (psi)	12,5 (1.810)	5 a 20 (730 a 2.900)
Fenólicas,	N/mm ² (psi)	10 (1.450)	5 a 15 (730 a 2.900)
Borracha de Neoprene,	N/mm ² (psi)	10 (1.450)	5 a 15 (730 a 2.200)
Borracha de Nítrilica,	N/mm ² (psi)	10 (1.450)	5 a 15 (730 a 2.200)

Carga de Ruptura, ASTM-D2095, DIN-53282

		TÍPICOS	
		Valor	Faixa
Aço (jateado)	N/mm ² (psi)	18,5 (2.680)	12 a 25 (1.740 a 3.630)
Borracha Buna-N	N/mm ² (psi)	10 (1.450)	5 a 15 (730 a 2.200)

b) Polimerizado:

Aspecto:

sólido, matéria plástica rígida

Cor:

incolor

Temperatura de trabalho:

-50 a +80 °C (-65 a +180 °F)

Resistência à tração (ASTM-D-2095):

20-25 MPa sobre uniões aço sobre aço, endurecido a temperatura ambiente durante 24 horas. Com outros substratos não metálicos, normalmente cola mais rápido o material.

Resistência química:

% da resistência original depois de duas semanas de imersão a 20° C:

Querosene: 84%
Etilenglicol: 72%
Água (1): 56%
HCl 10%: 60%

(1) Com materiais flexíveis são observados valores mais elevados

APLICAÇÃO

Adesivo instantâneo para uso geral.

Validade: 6 meses

MODO DE USO

PRECAUÇÕES

a) Para armazenagem:

Manter em lugares frescos e secos as embalagens originais fechadas (a menos de +25 °C). A vida útil do produto é prolongada se for conservado refrigerado a menos de +5° C. Esperar que volte à temperatura ambiente antes de usar.

b) Para uso:

Cola a pele e olhos em segundos.

Não forçar a separação das áreas epidérmicas coladas.

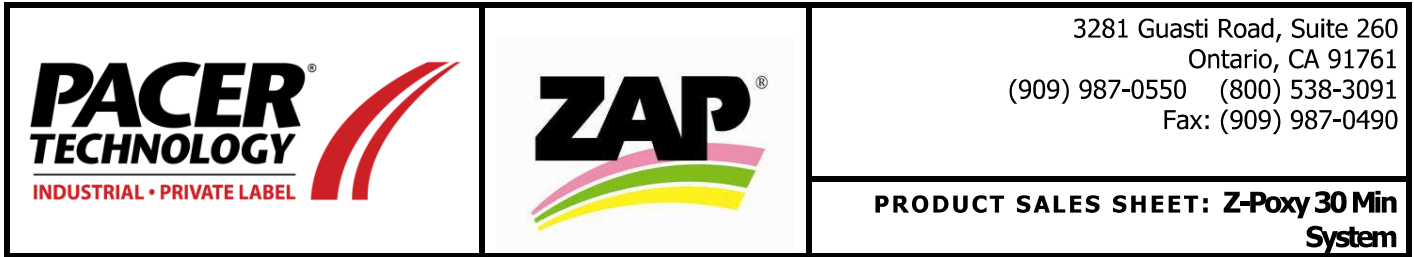
Em caso de contato com os olhos lavá-los com abundante água, mantendo-os irrigados e abertos.

Consultar um médico se a irritação continuar. Manter longe do alcance das crianças.

c) Toxicidade:

Xi –Irritante. Consultar a folha de instruções de segurança correspondente.

Os dados contidos nesta folha são de caráter informativo, e foram produzidos de acordo com os melhores conhecimentos e experiências adquiridas até agora. Não podemos assumir nenhuma responsabilidade pelos resultados obtidos por terceiros, cujos procedimentos e métodos não tenham sido submetidos a nosso controle.



Pacer Technology's Hobby product Z-Epoxy 30 Min System (PT39) works for installing firewalls and bulkhead in fiberglass fuselages and boat hulls.

PROPERTIES

Initial color: Clear hazy to light yellow

Final color: Light yellow

Set Time: 30 minutes @ 65-80F

Handling Time: After 7 hours

Full Strength: 24 hours

Maximum Gap: .25"

Hardness, Shore D: 75-83 (After full cure)

Shear Strength, Steel: 2500 psi ($\pm 20\%$)

Aluminum: 1400 psi ($\pm 20\%$)

Operating Temperature Range: -65°F to +225°F
(-54°C to +107°C)

USE INSTRUCTIONS

1. Surfaces should be clean and dry, free from oil and grease.
2. Roughen surfaces with emery cloth or sandpaper for best results.
3. Refer to opening instructions on card. Dispense equal amounts from both bottles and mix thoroughly, approximately 1 minute.
4. Apply to both surfaces and mate parts together.
5. Remove excess epoxy immediately with denatured alcohol.
6. Sets in 30 minutes at room temperature (77F or 25C) with full cure in 24 hours. Note – For cooler temperatures, setting time may be longer. Product can also be heat cured at 200F for 35-45 minutes for full cure properties.

STORAGE AND SHELF LIFE

After use, wipe tips to remove residual product and reseal with plug. Store product sealed, with tips up, in a cool, dry location. Stored under these conditions, a one-year shelf life can be expected.

SAFETY AND HANDLING PRECAUTIONS

Contains Epoxy resin & Mercaptan hardener. May cause eye/skin irritation with direct contact. In case of direct eye contact, flush with water for 15 minutes and consult physician. Wash hands and skin thoroughly with soap and water after use. If swallowed, seek medical advice immediately and show container label. Keep out of reach of children.

For more information, refer to Material Safety Data Sheet available upon request or obtain from our Pacer Technology website @ www.supergluecorp.com and click on the ZAP logo. In case of emergency, call CHEMTREC at (800) 424-9300 or call Pacer Technology (800) 538-3091 (outside CA only) or call (909) 987-0550.

2015 – rev 2 mkr

The data contained herein is furnished for descriptive purposes only and is believed to be reliable. Users of any products described in the data sheet have the responsibility to determine the suitability for their particular use thereof, and Pacer relies upon such users to adopt all necessary precautions to ensure the protection of property and persons against hazards involved in the use thereof.

Pacer Technology specifically makes no warranty, representation, or condition of any nature, kind or character, whether express or implied, including, but not limited to, warranties or merchantability or fitness for a particular purpose arising from the sales or use of products described in this data sheet, and none shall be implied by law. Pacer Technology specifically disclaims any liability for consequential or incidental damage of any kind, including lost profit.