CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

ENSAIO DE ADERÊNCIA EM JUNTAS METÁLICAS COLADAS COM CARREGAMENTO EM MODO I

Marcos Henrique Falcão Da Costa

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Tecnologia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica e Tecnologia de Materiais.

Orientador: Dr. Silvio Romero De Barros

Rio de Janeiro

Outubro de 2017

ENSAIO DE ADERÊNCIA EM JUNTAS METÁLICAS COLADAS COM CARREGAMENTO EM MODO I

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Tecnologia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica e Tecnologia de Materiais.

Marcos Henrique Falcão Da Costa

Banca Examinadora:

_____

Presidente, Professor Dr. Silvio Romero de Barros, (CEFET/RJ) (Orientador)

_____

Professora Drª Doina Mariana Banea, (CEFET/RJ)

_____

Professora Drª Silvana de Abreu Martins, (UEZO)

Rio de Janeiro

Outubro de 2017

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

C837 Costa, Marcos Henrique Falcão da
Ensaio de aderência em juntas metálicas coladas com carregamento em modo I / Marcos Henrique Falcão da Costa.— 2017.
43f. + anexos : il. (algumas color.) , grafs. , tabs. ; enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2017.
Bibliografia : f. 43
Orientador : Silvio Romero de Barros

1. Engenharia mecânica. 2. Juntas (Engenharia). 3. Juntas (Engenharia) – Ensaios e provas. 4. Análise numérica. 5. Resinas epóxi. I. Barros, Silvio Romero de (Orient.). II. Título.

CDD 621.825

Dedicatória

““A minha esposa Gabrielle K.F. Falcão, aos meus pais Carlos Henrique R.da Costa e Vivelina F. da Costa e a minha irmã Viviane Falcão.”.

Agradecimentos

- Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, Carlos Henrique R. da Costa e Vivelina Falcão da Costa, pois sem eles este trabalho e muitos dos meus sonhos não se realizariam. Obrigado mesmo por tudo que vocês fizeram, e fazem por mim, por toda luta e esforço para que eu conseguisse alcançar meus objetivos.

- A minha esposa Gabrielle K.F. Falcão pela paciência, e incentivo, sem ela certamente iria ser muito mais difícil, obrigado por suportar meus defeitos, tolerar meus humores e, principalmente, por me entender. Obrigado por aceitar ser minha esposa, por ser minha companheira, e acima de tudo uma amiga, com quem posso contar e confiar sempre. Amo você!

- A minha irmã por me lembrar todos os dias que sou um homem que tem sorte, e tenho mesmo, por ter uma irmã como você, uma esposa maravilhosa, pais e amigos perfeitos que colocam inveja em muita gente!!rs Obrigado Nanane, pelo carinho, pela sua amizade e por ser essa pessoa que você é.

- Aos meus cunhados e sogros, por me incentivarem e me apoiarem sempre.

- Um agradecimento especial ao meu orientador, Professor Silvio de Barros, pelo precioso apoio incondicional, direcionamento da pesquisa, pela sua disponibilidade, pela ajuda prestada na orientação das metodologias adotadas e na informação e conhecimento profundos sobre adesivos compartilhado comigo.

- Ao Professor Hector Reynaldo Meneses Costa, por ser um professor sempre disponível a ajudar, incentivador e amigo.

- Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Tecnologia de Materiais (PPEMM) do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ) pelos meios disponibilizados para a realização dessa dissertação de Mestrado.

- Aos meus amigos do grupo “Ninguém sai”, que sempre me incentivaram e me deram forças, Amigos que posso contar sempre, na alegria e na tristeza.

- E finalmente agradeço a Deus, por proporcionar estes agradecimentos à todos que tornaram minha vida mais afetuosa, além de ter me dado uma família maravilhosa e amigos sinceros. Deus, que a mim atribuiu alma e missões pelas quais já sabia que eu iria batalhar e vencer, agradecer é pouco. Por isso lutar, conquistar, vencer e até mesmo cair e perder, e o principal, viver é o meu modo de agradecer sempre.

Resumo

ENSAIO DE ADERÊNCIA EM JUNTAS METÁLICAS COLADAS COM CARREGAMENTO EM MODO I

Dois modelos de zona de coesão, um desenvolvido por Valoroso e Champaney e outro proposto inicialmente por Crisfield et al. e, posteriormente modificado por Alfano&Crisfield, esses modelos foram usados para estudo de um conjunto de testes de aderência. Os modelos consideram danos irreversíveis da interface e representam de modo misto descolamento, satisfazendo um critério interação elíptico. Em seguida é feita uma análise comparativa dos modelos, apresentando para simulações numéricas referindo-se tanto situações de modo puro e quanto de modo misto.Nesse trabalho foram feitas modificações nos testes e nas amostras a serem ensaiadas, a fim de testar e descobrir quais propriedades da junta podem ser levadas em consideração em relação à aplicação industrial pesada, e dentre os modelos, qual é o mais relevante para um estudo prático com juntas estruturais rígidas. Os estudos demonstraram que o modelo que se aproximou mais do resultado experimental foi o desenvolvido por Alfano/Crisfield (bilinear), logo poderá ser levado em conta em futuros ensaios e estudos dentro do assunto.

Palavras-chave**:** Adesivo; Análise Experimental; Análise Numérica; Colagem; Ensaios de Aderência.

.

Abstract

ADHESION TEST IN METTALIC BONDED JOINTS UNDER MODE I STRESS.

Two cohesive zone models, one developed by Valoroso and Champaney and one initially proposed by Crisfield and coworkers and later modified by Alfano & Crisfield, are used to study a set of adhesion tests. Models consider irreversible interface damage and represent mixed mode loading, satisfying an ellipse like criterion. Comparative analyses of the models are performed presenting numerical simulations for both cases, single-mode and mixed mode situations. In this work some modifications of the type of test and the size of substrates were considered. The aim was to investigate which properties of the adhesive joint must be taken into account for industrial application and which model is the most relevant to a practical study of stiff structural joints. The studies demonstrated that the model that approached the experimental result more was it developed by Alfano / Crisfield (bilinear), soon it will inside be able to be taken into account in futures rehearsals and studies of the subject.

Keywords: Adhesive; Experimental Analysis; Numerical Analysis; Adhesive Bonding; Adhesion Tests.

Sumário

Introdução **13**

1 Revisão Bibliográfica **15**

1.1 Tecnologias Envolvidas 15

1.2 Aplicações 15

1.2.1 Vantagens 17

1.2.2 Desvantagens 18

1.3 Colagem 18

1.3.1 Adesivos Epóxidos 20

1.4 Tratamento da Superfície 24

1.5 Teoria da Adesão 25

1.5.1 Teoria Mecânica 25

1.5.2 Teoria da Adsorção 26

1.5.3 Teoria da Difusão 28

1.5.4 Teoria da Eletrostática 28

1.5.5 Pontos Fracos 27

2 Análise Experimental **29**

2.1 Análise Experimental 29

2.1.1 Adesivo e o Material do Substrato 29

2.1.2 Material do Substrato 30

2.1.3 Preparação do Substrato e do Adesivo 31

2.1.4 Processo de Cura 33

2.1.5 Ensaio Mecânico 33

3 Análise Numérica **35**

Resultados **39**

Conclusão **40**

Referências Bibliograficas **41**

Anexos I Programações Numéricas **43**

Programação - Alfano 43

Programação - Allix 50

Programação - Valoroso 55

Anexo II Ficha Técnica Aço 1020 **61**

Propriedades Aço 1020 62

Anexo III Ficha Técnica de PoliMetalico 2040 HTS **63**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Disciplinas Envolvidas Fonte: Livro “Juntas Adesivas Estruturais” 15

Figura 2: Indústria Aeronáutica Fonte: Adesivos Eestruturais Uretânicos Aplicados Combinações de Compósitos, Plásticos e Metais, São Paulo, SP, Brasil, 2011 15

Figura 3: Indústria Desportiva Fonte: Adesivos Eestruturais Uretânicos Aplicados Combinações de Compósitos, Plásticos e Metais, SP, Brasil, 2011 16

Figura 4: Indústria Naval Fonte: Adesivos Eestruturais Uretânicos Aplicados a Combinações de Compósitos, Plásticos e Metais, São Paulo, SP, Brasil, 2011 16

Figura 5: Construção Civil Fonte: Adesivos Eestruturais Uretânicos Aplicados Combinações de Compósitos, Plásticos e Metais, São Paulo, SP, Brasil, 2011 17

Figura 6: Junta Adesiva Fonte: Livro “Juntas Adesivas Estruturais” 21

Figura 7: Resina Poliamina (Autor) 22

Figura 8 : Resina Epóxi (Autor) 22

Fig ura 9: Adesão Mecânica Fonte: Livro “Juntas Adesivas Estruturais” 25

Figura 10: Molhabilidade do Adesivo Epóxi Fonte: “Juntas Adesivas Estruturais” 26

Figura 11: Adesão por Adsorção Fonte: Livro “Juntas Adesivas Estruturais” 26

Figura 12: Adesão Química Fonte: Livro “Juntas Adesivas Estruturais” 26

Figura 13: Adesão Eletrastática Fonte: Livro “Juntas Adesivas Estruturais 26

Figura 14: Camada Fraca Fonte: Livro “Juntas Adesivas Estruturais” 28

Figura 15: Formação de Poros (Autor) 28

Figura 16: Componente A (preto) (Autor) 30

Figura 17: Componente B (laranja) (Autor) 30

Figura 18: Aço 1020 (Autor) 31

Figura 19: Aço 1020 Antes (Autor) 31

Figura 20: Aço 1020 Depois (Autor) 31

Figura 21: Aço 1020 Usinado (Autor) 32

Figura 22: Peças Coladas e Alinhadas no gabarito (Autor) 32

Figura 23: Peças coladas e Alinhadas no gabarito (Autor) 32

Figura 24: Corpo de Prova na Estufa (Autor) 33

Figura 25 : Ensaio de Três Pontos (Autor) 34

Figura 26: Análise Experimental (Autor) 34

Figura 27: Ensaio Numérico (Autor) 35

Figura 28: Malha (1) CAST3M (Autor) 36

Figura 29: Malha (2) CAST3M (Autor) 37

Figura 30: Malha (3) CAST3M (Autor) 37

Figura 31: Malha (4) CAST3M Autor) 38

Figura 32: Análises numéricas (CAST3M) (Autor) 39

Figura 33: Gráfico Comparativo (CAST3M) (Autor) 40

Lista de Tabelas

Tabela 1: Desenvolvimento Cronológico dos Adesivos - Fonte: Adaptado ao Livro "Juntas Adesivas Estruturais" 14

Tabela 2: Tipos de Adesivos - Fonte: Caracterização do Comportamento Mecânico de Juntas de Sobreposição Simples Coladas com Adesivos Estruturais 19

Tabela 3: Colagem JOSUE G. QUINI, Adesivos Eestruturais Uretânicos Aplicados a Combinações de Compósitos, Plásticos e Metais, São Paulo, SP, Brasil, 2011. 20

Tabela 4: Geometria do Corpo de Prova (Autor) 31

Tabela 5: Processo de Cura (Autor) 33

Introdução

O uso de adesivos no setor industrial tem crescido mais do que outras técnicas mais convencionais, como a soldagem e a rebitagem. Contrariamente às técnicas com o uso de rebites, grampos e parafusos que tendem a causar áreas de concentração de tensão, os adesivos podem distribuir a carga sobre toda a área de ligação da junta. Nesse trabalho, vamos realizar um ensaio mecânico, “Flexão de Três Pontos”, e assim comparar com os modelos propostos por Valoroso e Champaney, Crisfield et al. e, posteriormente modificado por Alfano&Crisfield, afim de descobrir qual o modelo é mais relevante para esse estudo prático. Para comparar com tais modelos, recorreu-se ao software CAST3M, foram obtidos valores numéricos e experimentais (no ensaio mecânico), e assim foi possível comparar os resutados obtidos com os modelos já desenvolvidos citados acima.

A ideia de se unir corpos sólidos por meio de colagem, já existe há muito tempo. A principal responsável pelo desenvolvimento de juntas adesivas estruturais tem sido a indústria voltada ao transporte aéreo, mas nem sempre com bons resultados, porque no inicio da invenção desses modelos a maior dificuldade era manter as asas coladas. As ceras usadas para colar as asas não resistiam ao calor do Sol e a umidade do ar. Este fato mostra que as ligações adesivas são um tema que abrange diferentes áreas.

Com os avanços das pesquisas, produziu se equipamentos mais modernos trazendo melhores resultados. Os antigos aviões do inicio do século XX usavam um material polimérico natural à base de caseína (derivado do leite), muito utilizado como adesivo e até funcionavam bem, porém quando submetidos a ambientes úmidos, absorvia água, o que os tomavam muito fracos e exalavam odores muito fortes. Com isso permitiam os engenheiros da época detectar a deteriorização do adesivo, o que constituiu uma forma primitiva de controle não destrutivo da qualidade da ligação. (DA SILVA, 2004)

Por volta dos anos trinta, começou a se estudar e desenvolver novos adesivos baseados em resinas sintéticas e outros materiais com propriedades melhores, o que promoveu a ampla utilização de adesivos em grandes quantidades, o que levou ao surgimento da ciência dos adesivos.

A primeira resina a ser usada foi a resina fenol-formaldeído que era utilizada na fabricação de juntas de madeira. Por exemplo, na segunda guerra mundial o famoso caça britânico *Mosquito* usava uma resina de ureia- formaldeído para colar a sua estrutura de madeira. Esse tipo de adesivo era, no entanto muito frágil e fraturava com facilidade. Outros tipos de adesivos mais adaptados para a ligação de metais, como as resinas fenólicas, também eram bastante frágeis. (DA SILVA, 2004)

Mais tarde, devido à necessidade de adequar a colagem em materiais metálicos, principalmente na indústria aeronáutica, junto à dificuldade da soldabilidade das ligas de alumínio da série 2000, foram desenvolvidos novos adesivos com borracha sintética. A tabela 1 apresenta o desenvolvimento cronológico dos adesivos.

O problema da fragilidade dos primeiros adesivos usados foi resolvido nos anos 40, modificando diretamente as composições químicas dos adesivos adicionando polímeros com uma boa tenacidade. Um ótimo exemplo disto foi a combinação de polivinilo formal com resol fenólico, muito usado pelos engenheiros nos anos 50, dando uma boa rigidez e resistência, juntamente a um peso baixo na fuselagem metálica. Hoje em dia os polímeros sintéticos são os mais usados, na sua maioria fenólicos, epóxidos, acrílicos e os uretanos, que geralmente são modificados para melhorar a sua tenacidade. (DA SILVA, 2004)

Tabela 1: Desenvolvimento Cronológico dos Adesivos - Fonte: Adaptado ao Livro “Juntas Adesivas Estruturais”

ANO	ADESIVO
1910	FENOL - FORMALDEIDO
1930	UREIA - FORMALDEIDO
1940	NITRÍLO - FENÓLICO VIILO - FENÓLICO ACRÍLICO POLIURETANA
1950	EPÓXIDO
	CIANOACRILATOS ANAERÓBICOS
1960	POLIMIDA POLIBEZIMIDAZOL POLIQUINOXALINA
1970	SEGUNDA GERAÇÃO DE ACRÍLICOS

1 – Revisão Bibliográfica

1.1 – Tecnologias Envolvidas

O estudo das juntas adesivas envolve várias disciplinas cientificas a figura 1 ilustra as vertentes que podem ser relevantes. As disciplinas primárias física, mecânica e química sobrepõem-se em certas áreas para formar as disciplinas de ciência das superfícies, materiais poliméricos e projeto da junta que são importantes na ciência da adesão. Cada uma dessas matérias especializadas contribui significativamente para a ciência da adesão e para a sua aplicação em produtos industriais. (DA SILVA, 2004)

.

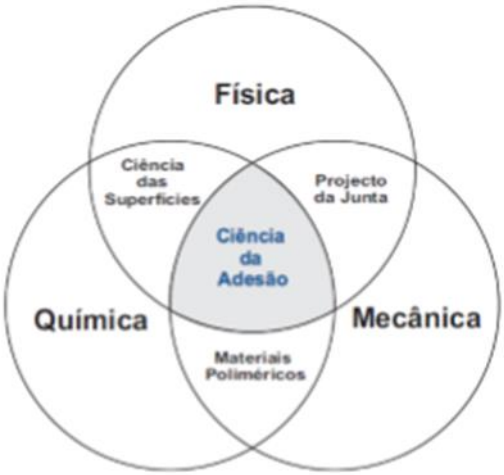


Figura 1: Disciplinas Envolvidas Fonte: Livro “Juntas Adesivas Estruturais”

1.2 - Aplicações

Os adesivos são muito utilizados nas indústrias aeronáutica, automobilística, naval, desportivas, e na construção civil.

Um exemplo de utilização na indústria aeronáutica é na fabricação das pás dos helicópteros, conforme podemos ver na figura 2. Esta pá é constituída por varias seções de aço inox na parte frontal e uma estrutura de ninhos de abelha (estrutura em plástico colada e folhas de compósito reforçadas de fibra de vidro) e todos esses diferentes materiais são unidos com adesivos.



Figura 2: Indústria Aeronáutica – Fonte: Adesivos Eestruturais Uretânicos Aplicados a Combinações de Compósitos, Plásticos e Metais, São Paulo, SP, Brasil, 2011

Já nas indústrias automobilística e desportiva há uma preocupação maior em diminuir o peso e aumentar seu desempenho, pensou-se em utilizar materiais mais leves como alumínio, plásticos reforçados com fibras vidro, fibras de carbono, kevlar, etc. Porém suas ligações são difíceis com métodos tradicionais, neste caso da figura 3, o adesivo é o recurso ideal. (AMANDIO, 2006)



Figura 3: Indústria Desportiva – Fonte: Adesivos Eestruturais Uretânicos Aplicados a Combinações de Compósitos, Plásticos e Metais, São Paulo, SP, Brasil, 2011

Na indústria naval usa-se cada vez mais plásticos compósitos devido ao seu baixo peso e sua resistência a corrosão. De fato os compósitos e os adesivos são duas tecnologias muito associadas e neste caso da figura 4, a resistência do adesivo ao meio marinho é muito mais eficaz. (AMANDIO, 2006)



Figura 4: Indústria Naval Fonte: Adesivos Eestruturais Uretânicos Aplicados a Combinações de Compósitos, Plásticos e Metais, São Paulo, SP, Brasil, 2011

Neste último exemplo da figura 5, a aplicação de adesivos tem crescido gradativamente, pois na construção civil ainda está inicializando essa técnica em pontes, postes, painéis, ideal para ancoragem em concreto, cola até embaixo d'água, produto bi componente, excelente desempenho para colagem de materiais diversos utilizados na construção, resiste à água, óleo e graxas, usado em chumbamentos, ancoragem, cola concreto, ferro, madeira, azulejos, cerâmicas, pedras, fibrocimento, vidro e plásticos, permite repor azulejos soltos em piscinas e tanques sem esvaziá-los. (AMANDIO, 2006)



Figura 5: Construção Civil – Fonte: Adesivos Eestruturais Uretânicos Aplicados a Combinações de Compósitos, Plásticos e Metais, São Paulo, SP, Brasil, 2011

1.2.1 - Vantagens

A justificação para o crescente uso de uniões coladas utilizando adesivos estruturais reside no fato desta técnica ter as seguintes vantagens:

1- Garante uma fixação contínua, em vez de contatos em pontos determinados;
2- É possível rea1izar juntas de ligações simples, resistentes e econômicas;
3- Obtenção de uma estrutura com uma mais uniforme distribuição de tensões e uma maior rigidez;
4- Menores temperaturas de processamento, quando comparadas com a soldadura;
5 - Possibilidade de união de vários componentes entre si numa única operação;
6- Fabricação de formas complexas;
7- Obtenções de importantes reduções de custo de fabricação e de ligação (refere-se, a título de exemplo, que o uso de adesivos para quadros de bicicleta se traduz numa redução de cerca de 50% dos custos de fabricação);
8- Permitem ter estruturas com contornos regulares porque evitam furos (rebites, parafusos) e marcas devidas a soldadura;
9- Criam um contato continuo entre as superfícies ligadas;
10- Amortecimento de vibrações;
11- Ligações de chapas eficientemente;
12- Método mais conveniente e efetivo (pode ser automatizado);
13- Torna o projeto mais flexível;

1.2.2- Desvantagens

1- A resistência à temperatura é relativamente fraca;
2- Os tempos de endurecimento dos adesivos são relativamente longos e em altas temperaturas;
3- Para que a colagem seja eficaz torna-se necessário preparar as superfícies a colar;
4- Se as peças não forem coladas com precisão suficiente, não é possível retificar a união, após endurecimento do adesivo;

5- É necessário eliminar ao máximo as forças de arrancamento, clivagem e impacto;

1.3 - Colagem

Os adesivos ideais para suportarem a transmissão de esforços de uma considerável grandeza são os estruturais, que são muito utilizados na realização de colagens em que há a necessidade de suportar uma grande transmissão de esforços de uma peça para outra. Nestas ligações o adesivo pode apresentar uma resistência equiparada aos materiais presentes na estrutura a ser colada, sendo o adesivo uma das partes integrantes da estrutura. Estes são normalmente produzidos com base em resinas termoendurecíeis e termoplásticas. Podemos dizer que são cinco grandes famílias de adesivos estruturais, os anaeróbicos, os acrílicos reativos, os epóxidos, os cíanoacrilatos e os poliuretanos. Na tabela 2 apresentam-se as principais características e aplicações de cada uma das famílias.

.

Tabela 2: Tipos de Adesivos Fonte: Caracterização do Comportamento Mecânico de Juntas de Sobreposição Simples Coladas com Adesivos Estruturais, Porto, 2000.

Tipo de Adesivo	Constituição	Endurecimento	Características Funcionais Positivas	Características Funcionais Negativas	Aplicações
Epóxido	Resina e Endurecedor	Dependendo do endurecedor, solidifica com rapidez a temperatura ambiente ou exige aquecimento	Resistência as condições atmosféricas; resistência a deformação plástica; resistência ao choque	Rigidez	Industria aeroespacial (união de peças de alumínio e peças de plástico)
Anaeróbicos	Resina acrílica	Solidifica espontaneamente na ausência do ar	Maior ou menor força de ligação conforme se deseja	As peças tem de sofrer manutenção	Travar roscas de porcas e outras peças, em motores e máquinas
Acrílicos Reativos	Dois elementos (enchimento e iniciador/ endurecedor)	Endurecimento a frio	Resistência as condições ambientais; resistência ao choque; resistência a temperaturas elevadas	Tem de se aplicar os dois elementos em separado	Automação (união de peças de plástico, etc)
Cianoacrílatos	Tipo especial de um adesivo acrílico	Endurecem com grande rapidez na presença da umidade	Resistência ao choque; fácil manipulação quando estão líquidos	Mau para preenchimento de lacunas; pouca resistência ao calor;	Industria eletrônica (montagem de peças pequenas) de medicina
Adesivos de Poliuretano	De um elemento	Endurecem mediante absorção de umidade. O seu endurecimento acelera na presença de calor	Flexíveis e elásticos após a cura; resistentes ao choque; podem diluir-se para aplicação em grandes superfícies	Mau comportamento em ambientes úmidos devido a rapidez de encurecimento	Automação (fixação de para-brisas e janelas)
Adesivos de Poliuretano	De dois elementos	Endurecem mais rapidamente na ausência de calor ou umidade	Boa resistência ao choque; flexíveis e elásticos		Automação (painéis de comando)
Colas reativas a quente		Comportamento idêntico ao das colas convencionais aplicadas a quente e por vezes reagem com umidade ambiente endurecido	Estáveis mesmo a altas temperaturas (180ºC); Grande força de coesão	Ligeiramente tóxicos	Moveis, peças de automóvel, caixas de televisão, etc

1.3.1 – Adesivos Epóxidos

Se tratando de colagem, os adesivos epóxidos são os mais utilizados devido às suas ótimas propriedades mecânicas. Foram Preiswerk e Gauss , em 1944, os primeiros a descobrir as propriedades dos adesivos e assim fazendo a aplicação direta no local da colagem, são elas:

- Boa resistência mecânica, excelente dureza
- Excelente durabilidade
- Excelente aderência sobre os metais e outros substratos;
- Possibilidade de cura rápida ou lenta numa grande gama de temperaturas;
- Ausência de água ou de outros produtos voláteis durante a reação de cura;

Como podemos ver na tabela 3, esse adesivo é muito utilizado também para selagem e preenchimento de materiais, entre eles: vidro, metal, cerâmica louça e muitos plásticos, no mercado é mais conhecido pelas marcas Araldite e Durepóxi, mas existem outros adesivos e outras marcas que proporcionam excelentes resultados de colagem. Na tabela 3, podemos ver quais tipos de adesivos são indicados para a colagem de determinados materiais.

Tabela 3 – Tipos de Colagem JOSUE G. QUINI, Adesivos Eestruturais Uretânicos Aplicados a Combinações de Compósitos, Plásticos e Metais, São Paulo, SP, Brasil, 2011.

O QUE VOCÊ QUER COLAR?	METAL	VIDRO	BORRACHA	COURO	TÊXTEIS	MADEIRA
METAL	EPOXI, COLA DE CONTATO, PVA, LÁTEX NATURAL	EPOXI, COLA DE CONTATO, LÁTEX NATURAL	COLA DE CONTATO, LATEX NATURAL	EPOXI, COLA DE CONTATO, PVA, LÁTEX NATURAL	COLA DE CONTATO, LÁTEX NATURAL, PVA	COLA DE CONTATO, LÁTEX NATURAL
VIDRO	EPOXI, COLA DE CONTATO, LÁTEX NATURAL	EPOXI, COLA CELULÓSICA, LÁTEX NATURAL	COLA DE CONTATO, LATEX NATURAL	EPOXI, COLA CELULOSICA, CASEÍNA, COLA DE CONTATO, PVA	COLA CELULOSICA, CASEÍNA, COLA DE CONTATO, PVA	_____
BORRACHA	COLA DE CONTATO, LATEX NATURAL	COLA DE CONTATO, LATEX NATURAL	COLA DE CONTATO, LATEX NATURAL	COLA DE CONTATO, LATEX NATURAL	COLA DE CONTATO, LATEX NATURAL	COLA DE CONTATO, LATEX NATURAL
COURO	EPOXI, COLA DE CONTATO, PVA, LÁTEX NATURAL	EPOXI, COLA CELULÓSICA, CASEÍNA, COLA DE CONTATO, PVA	COLA DE CONTATO, LATEX NATURAL	EPOXI, COLA CELULÓSICA, CASEÍNA, COLA DE CONTATO, PVA	COLA CELULOSICA, CASEÍNA, COLA DE CONTATO, LÁTEX NATURAL	COLA CELULOSICA, CASEÍNA, COLA DE CONTATO, LÁTEX NATURAL
TÊXTEIS	COLA DE CONTATO, LATEX NATURAL, PVA	COLA CELULOSICA, CASEÍNA, COLA DE CONTATO, PVA	COLA DE CONTATO, LATEX NATURAL	COLA CELULOSICA, CASEÍNA, COLA DE CONTATO, LÁTEX NATURAL	COLA DE CONTATO, LATEX NATURAL, COLA CELULÓSICA	COLA CELULOSICA, CASEÍNA, COLA DE CONTATO, PVA

Resina Epóxi ou Poliepóxido é um plástico termofixo que se irrigesse quando misturado com um agente catalisador ou "endurecedor". Dessas resinas as mais frequentes são produtos de uma reação entre Epiclorohidrina e Bisfenol-A. A mistura, assim como recomendada pelo fabricante do produto, é de fundamental importância para o desempenho ideal das colagens, na figura 6, pode-se observar um exemplo de colagem. (DA SILVA, 2004)

A grande variedade dos epóxidos permite desfrutar de diversas propriedades no adesivo conforme a sua aplicação. Entre elas está o nível de flexibilidade/rigidez do sistema (por exemplo: um adesivo mais rígido serve para situações mecânicas de corte e tração; soluções mais flexíveis garantem uma maior resistência à temperatura).

A modificação dos Epóxidos através da adição de outras resinas (como poliamida, fenólicas, polisulfido) ou de elastômeros (silicone, poliuretano, nitrilo). Esses adesivos são comercializados sob a forma de um só componente ou de vários componentes (dois geralmente).

No caso de um componente, a resina e endurecedor como o mesmo componente, podendo ser em diferentes formas, líquidas, pastosas (gel), barras e pastilhas.

Quando dois componentes, um sendo a resina e o outro o endurecedor podendo ser nas mesmas formas já citadas acima.

As proporções dos componentes A e B devem ser colocados e misturados exatamente como indicados pelo fabricante, com o risco de que, quando realizada de maneira diferente não proporcionar o melhor desempenho desse excepcional adesivo.

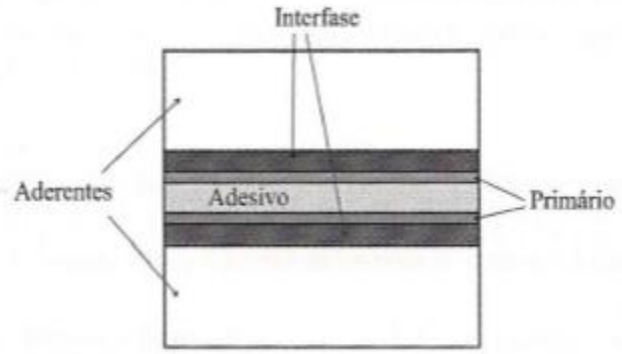


Figura 6: Junta Adesiva Fonte: Livro “Juntas Adesivas Estruturais”

Utilizando um só componente o processo de cura efetua-se a quente utilizando temperaturas a partir de 100°C, enquanto que utilizando adesivos com dois componentes a cura pode ser processada para temperaturas superiores a 5°C.

O processo de cura destes adesivos necessita apenas de um simples posicionamento das peças a serem coladas, os adesivos de um só componente apresentam uma boa resistência mecânica e uma duração superior, as propriedades mecânicas dos adesivos de dois ou mais componentes dependem do tipo de endurecedor utilizado (poliamida, amina alifática, amina aromática, etc.).

Os resultados são bastante significativos, quando se tratando deste assunto mesmo entre superfícies irregulares e de diferentes materiais (entre metal, pedra, vidro, madeira e alguns plásticos) sem ser necessário recorrer à aplicação de qualquer tipo de pressão durante a cura, depois de curado o adesivo epóxi é resistente à água, aos ácidos, solventes e a maioria dos produtos químicos. E também proporciona excelente resistência ao descolamento. (DA SILVA, 2004)



Figura 7: Resina Poliamina (Autor)



Figura 8: Resina Epoxi (Autor)

1.4 – Tratamento da Superfície

Ao longo desse capitulo será abordado a preparação das superfícies metálicas, como se deve fazer para que o processo de colagem ocorra com sucesso e quais precauções se deve tomar. A preparação de um metal é muito importante para a integridade e durabilidade da junta da peça sujeita a elevadas tensões e severas condições de uso.

Após um tratamento químico, a superfície torna-se altamente vulnerável e pode facilmente se contaminar através do ar como poeira e umidade, com isso tonar-se necessário efetuar a colagem o mais rápido possível. Além dessas contaminações, devemos tomar cuidado com óleos e graxas, logo temos que fazer uma limpeza com um desengraxante, pode ser usado solventes ou a passagem de vapor do solvente, o que é mais efetivo. Este desengraxe deve ser profundo e os contaminantes não podem ser depositados novamente na superfície após a evaporação do solvente, e um enxague final sempre é recomendável. Depois disso realiza-se teste para verificar a eficiência do desengraxante, basta apenas aplicar água sobre a superfície metálica, caso o desengraxe tenha sido bem feito, haverá formação de um filme uniforme, isento de bolhas ou descontinuidades (bolhas são um indicativo de contaminação).

Os métodos de abrasão mecânica são utilizados onde há presença de oxidação na superfície e são utilizados para retirar a camada oxidada, e em seguida encaminhar par outro tratamento ou mesmo para colagem direta. No caso do alumínio, a formação do oxido após abrasão é rápida, porem para metais como aço inox ou titânio isto não representa um problema, então o processo poderá variar dependendo do sistema abrasivo utilizado, como por exemplo, o emprego de lixamento manual, de lixadeiras mecanizadas e de lixadeiras pneumáticas, porém o processo é de difícil controle se comparado aos métodos químicos. (DA SILVA, 2004)

Os métodos químicos e eletroquímicos são preferíveis aos mecânicos onde controle da qualidade e reprodutibilidade são necessários, e podem promover a formação de uma camada quimicamente mais resistente na junta quando em condições de exposição. O tratamento envolve imersão em soluções diluídas ou concentradas acidas ou alcalinas a temperatura ambiente ou elevada. Após a camada de oxido ser removida, o metal e geralmente tratado sob condições controladas com

soluções oxidantes, como por exemplo, soluções ácidas para produzirem camadas de oxido com estrutura e espessura controladas.

É necessário o controle de qualidade em cima da água utilizada nos processos, o enxague final deve ser feito com água o mais pura possível, que depende do tipo de aplicação e o sistema adesivo a ser utilizado. Adesivos a base de resinas epoxidicas tem menor resistência a ácidos do que alguns outros adesivos, que por sua vez são mais tolerantes a alcalinidade e presença de cloretos do que adesivos nitro-fenolicos. (DA SILVA, 2004)

1.5 – Teoria da Adesão

Neste capítulo será comentado sobre as diversas teorias existentes sobre adesão na superfície. Entre elas a teoria mecânica, a da adsorção, difusão e eletrostática, mencionando também alguns pontos fracos existentes em um modo geral

1.5.1 – Teoria Mecânica

Essa teoria é uma das mais antigas existentes. Segundo ela, uma boa adesão, ocorre quando o adesivo penetra nos poros, cavidades, fendas e outras irregularidades da superfície do substrato, e se fixa mecanicamente no substrato como mostrado esquematicamente na Figura 9. O adesivo deve molhar convenientemente o substrato e também ter as propriedades adequadas para penetrar nos poros e aberturas num tempo determinado. É possível também explicar alguns casos práticos de adesão, por exemplo, ao se colar couro, é importante que a superfície esteja mais rugosa para levantar as fibras do cório e o adesivo envolve-las. Da mesma forma, na adesão entre têxteis e borrachas (de grande importância na construção de pneus), o fator mais importante para uma forte ligação é garantir que as fibras estejam bem unidas. Uma boa adesão também pode acontecer entre superfícies lisas, o que mostra

que apesar do atrito mecânico ajudar a adesão, não é apenas isso que define e se aplica a todos os casos.

A adesão melhora com tratamentos superficiais, tendo assim um substrato com uma micro rugosidade, o que melhora a resistência e a durabilidade devido ao atrito mecânico, ajuda também na eficiência da limpeza das camadas superficiais fracas, formando uma maior área de contato, e um aumento dos mecanismos de dissipação de energia do adesivo (deformação plástica do adesivo). (DA SILVA, 2004)

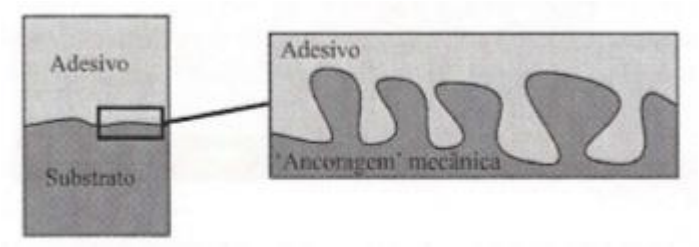


Figura 9: Explicação Esquemática da Teoria da Adesão Mecânica Fonte: Livro "Juntas Adesivas Estruturais"

1.5.2 – Teoria da Adsorção

Esta teoria depende da utilização das forças superficiais. As forças de Van der Waals permitem ter adsorção física, como mostrado esquematicamente na figura 11, sendo este o mais importante mecanismo de adesão, os resultados do contato molecular entre dois materiais e as forças de atração se desenvolvem na superfície. Para estas forças se desenvolverem as respectivas superfícies não deve ser separadas mais do que 50 nanômetros de distância, com isso o adesivo deve ter um contato molecular muito próximo com a superfície do substrato, para esse contato ocorra tem que haver uma molhabilidade muito boa que acontece quando o adesivo consegue fluir entre as irregularidades existentes na superfície preenchendo os vales da superfície. Quando isto não ocorre pode haver o acumulo de minúsculas bolhas de ar ao longo da interface dando origem a regiões de estresse. A molhabilidade é favorecida quando a energia de superfície do substrato é alta e a tensão superficial do liquido é baixa.

Os adesivos líquidos comuns molham rapidamente superfícies metálicas, cerâmicas e muitas superfícies poliméricas de alta energia, porém não são capazes de molhar superfícies poliméricas de baixa energia, como por exemplo, polietileno, polipropileno e polímeros fluorados. (DA SILVA, 2004)

Como se nota para uma boa molhabilidade a tensão superficial do adesivo tem que ser menor do que a do substrato conforme na figura 10. Era de se esperar que polímeros de baixa energia como polietileno ou polifluoroetileno atuariam muito bem como adesivos sobre outras superfícies de difícil molhabilidade. Realmente são capazes de promover uma boa adesão, porém no caso do polietileno, apresenta muitos constituintes de baixa massa molar que formam uma camada fraca impedindo assim o seu uso.

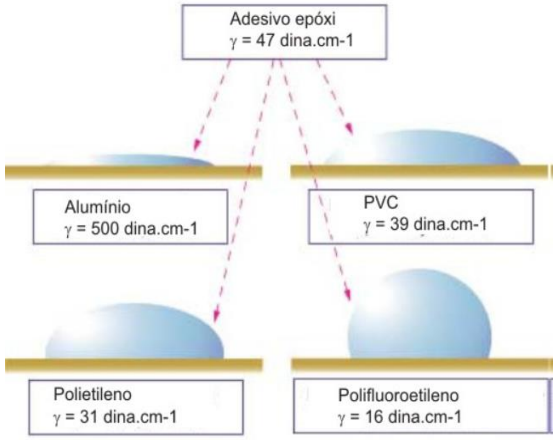


Figura 10: Molhabilidade do adesivo epóxi Fonte: Livro “Juntas Adesivas Estruturais”

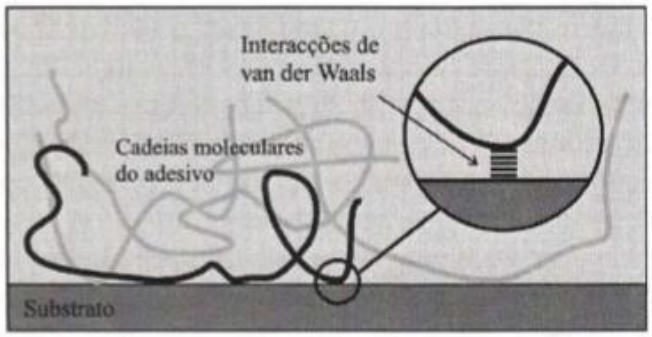


Figura 11: Explicação Esquemática da Teoria de Adesão por Adsorção Fonte: Livro “Juntas Adesivas Estruturais”



Figura 12: Explicação Esquemática da Teoria de Adesão Química Fonte: Livro “Juntas Adesivas Estruturais”

1.5.3 – Teoria da Difusão

Essa teoria foi introduzida por uma escola russa de química por volta dos anos 60, e é válida para adesão de materiais poliméricos, e não válida para ligações de adesivo com metais, portanto não iremos nos aprofundar no assunto. (DA SILVA, 2004)

1.5.4 – Teoria Eletrotostática

Embora haja aplicações onde a eletrostática seja considerada, esta teoria não tem sido aplicada tanto quanto as teorias de adsorção e mecânica. Ela propõe que forças eletrostáticas ocorrem na forma de uma interface entre o adesivo e substrato, atuando como uma resistência à separação como podemos ver na figura 13, e pode ser confirmada pela ocorrência de descargas elétricas quando um adesivo sofre despelamento do substrato, e ainda é aceita e aplicada principalmente para explicar a adesão de células biológicas e demonstrada na formação de filmes finos de polímeros sobre superfícies metálicas.

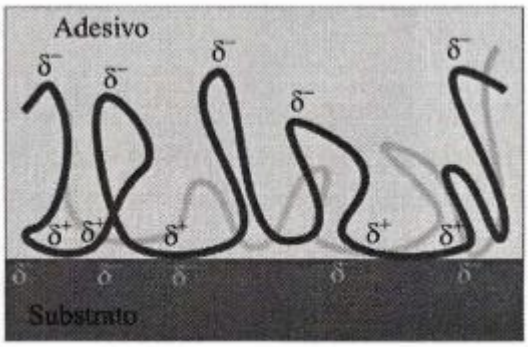


Figura 13: Explicação Esquemática da Teoria de Adesão Eletrostática Fonte: Livro “Juntas Adesivas Estruturais”

1.5.5 – Pontos Fracos

Foi citado até agora muito sobre mecanismo de adesão do adesivo, porém muitas vezes podemos reparar que juntas reais não são tão resistentes como a teoria

sugere. De fato, existem discrepâncias de varias ordens de grandeza e podemos justificar tais fenômenos de três maneiras:

- A existência de uma camada fraca, figura 14 (Weak boundary layer);
- Distribuição de tensão não uniforme;
- Irregularidades na superfície (podem constituir pontos de iniciação de fenda) figura 15;

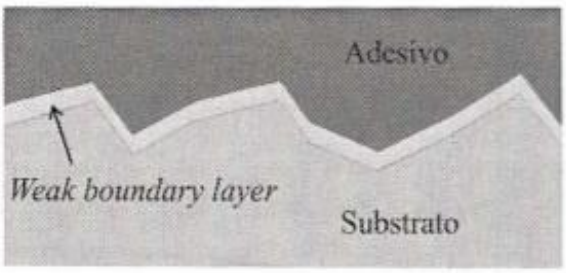


Figura 14: Representação Esquemática de uma Camada Fraca Fonte: Livro “Juntas Adesivas Estruturais”

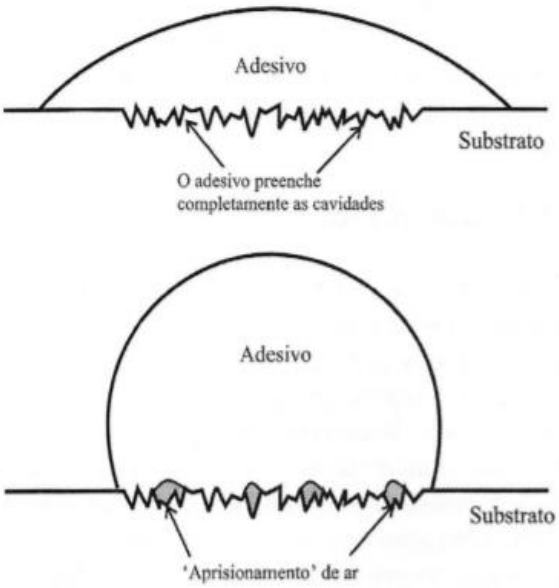


Figura 15: Formação de Poros na Interface Substrato – Adesivo Fonte: Livro “Juntas Adesivas Estruturais”

2 – Análise Experimental

Será discutido nesse capítulo a continuação de um experimento teórico de dois modelos de zona de coesão, um desenvolvido pelo Valoroso e Champaney e a outra proposta inicialmente por Crisfield e colegas de trabalho e, posteriormente modificado por Alfano & Crisfield. (GIULIO ALFANO, 2004)

Ambos os modelos consideram danos irreversíveis da interface e representam uma descolagem de modo misto satisfazendo um critério de interação elíptica semelhante generaliza. Esse estudo foi retirado do artigo “Comparison between two cohesive-zone models for the analyses of interface debonding”, onde foi realizado a análise comparativa de dois modelos, e os resultados foram apresentados e discutidos para simulações numéricas referindo-se tanto de modo único e modo misto. (GIULIO ALFANO, 2004)

Essa continuação consiste em usar a teoria do artigo, porém com algumas mudanças, utilização de peças maiores e realização de outro tipo de ensaio, afim de certificar o uso de adesivos em maiores proporções. No artigo foi realizado um teste “DCB Double Cantilever Beam”, com uma peça de 100mm de comprimento, 20 mm de largura, 3 mm de espessura.

2.1 – Análise Experimental

No trabalho experimental apresenta-se a caracterização do comportamento mecânico de juntas topo a topo simples em aço 1020 unidas utilizando adesivos estruturais. Este estudo dedica-se a análise da carga máxima suportada pelo adesivo.

Seguindo a metodologia anteriormente adotada no projeto em anexo, com características diferentes foram realizados quatro ensaios “Flexãao de Três Pontos”.

2.1.1 – Adesivo e o Material do Substrato

O adesivo utilizado para a realização destes testes é o POLIMETALICO 2040 HTS, produzido pela POLINOVA. Este adesivo, a base de resina epoxido, é composto por dois componentes, como podemos ver na figura 16 e 17, designados por componente A e componente B, que ao serem misturados dão origem ao adesivo pronto para aplicar.



Figura 16: Resina Epoxi - Componente A – PRETO (Autor)



Figura 17: Resina Poliamina – Componente B – LARANJA (Autor)

2.1.2 – Material do Substrato (Geometria) – Aço 1020

As propriedades mecânicas do material (aço 1020) e do adesivo estão anexadas ao trabalho, a geometria da peça pode ser vista na figura 18.

Tabela 4: Geometria Corpo de Prova (Autor)

Largura da peça (mm)	Comprimento da peça (mm)	Espessura da peça (mm)	Espessura nominal do adesivo (mm)
50 mm	**100 mm**	**20 mm**	**1 mm**

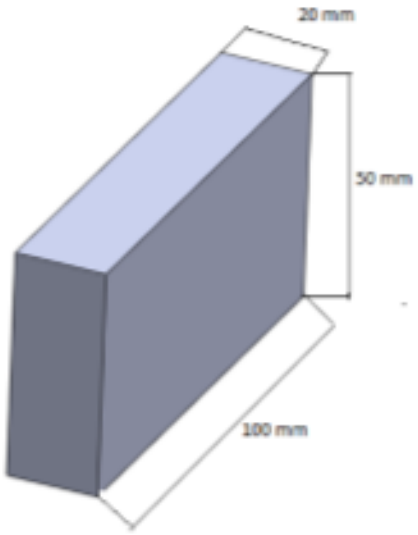


Figura 18: Aço 1020 (geometria) (Autor)

2.1.3 – Preparação do Substrato e do Adesivo

A primeira operação a ser realizada nas peças foi a de usinagem para deixa-las na geometria correta, e com um acabamento superficial linear, figuras 19 e 20.

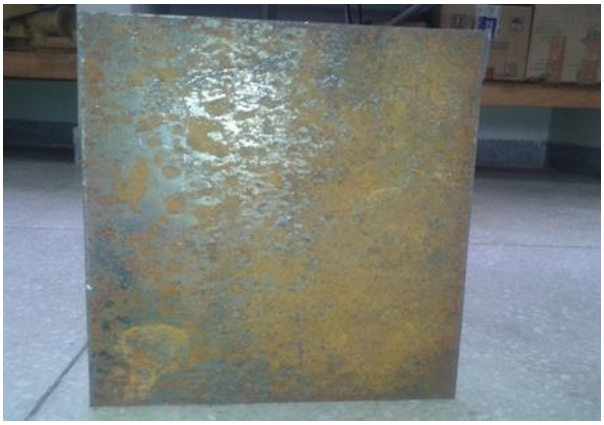


Figura 19: Aço 1020 Antes (Autor)



Figura 20: Aço 1020 Depois (Autor)

Depois foi realizado o tratamento da superfície por meio de um jateamento abrasivo padrão de Sa 2 1/2, para deixa-lo com o nível de rugosidade correto, pode ser visto na figura 21.

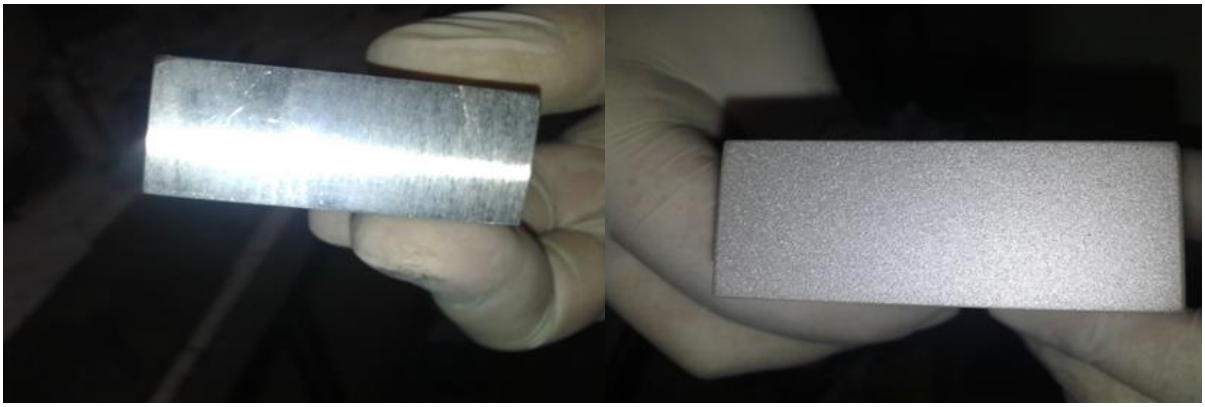


Figura 21: Aço 1020 Usinado e Jateado (Autor)

Logo após o jateamento, foi realizada a limpeza das peças com desengraxante, desengordurante, entre outros.

Em seguida foi realizado a mistura do adesivo, que ficou com a aparência pastosa, e de razão de mistura – volume 1 de A para 1 de B, e razão mistura – peso 1,2 de A para 1 de B, e respeitando o tempo para colagem de 25 minutos, foi feito a montagem para o ensaio topo a topo, e devidamente alocadas no gabarito, figuras 22 e 23, para que todas tivessem um padrão, e assim obter sucesso na realização dos ensaios.



Figura 22 e 23: Peças Coladas e alinhadas no gabarito (Autor)

2.1.4 – Processo de Cura

O processo cura ocorre logo após a colagem, neste tipo de adesivo temos os seguintes requisitos para a cura, como pode ser visto na tabela 5.

Tabela 5: Tempo de Cura (Autor)

Características	Tempo
Manuseio	25 mim
Cura Inicial	30 min
Cura Funcional (100 ◦C)	24 horas



Figura 24: Corpo de Prova na Estufa (Autor)

2.1.5 – Ensaio Mecânico (Experimental)

Com o adesivo já curado, iniciamos os testes. Utilizamos uma máquina especifica para ensaios SHIMADZU, vista na figura 25, em ambiente laboratorial, assim como em todos os processos até aqui.



Figura 25: Ensaio Três Pontos (Autor)

Como resultado dos ensaios foram obtidos os seguintes gráficos, figura 26 (foram colocados os quatro ensaios em um mesmo gráfico para melhor visualização).

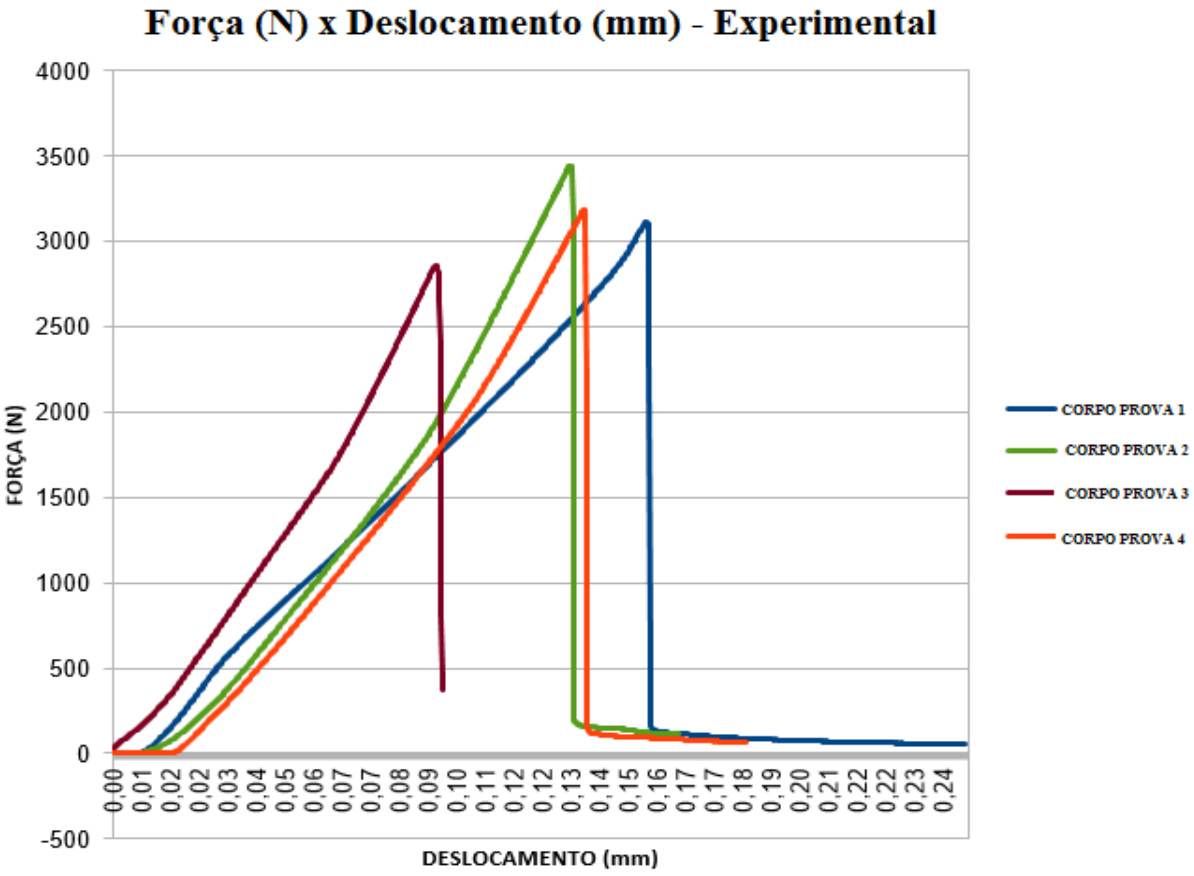


Figura 26: Analise Experimental Força (N) x Deslocamento (mm) – (Autor)

3 – Análise Numérica

Para se chegar a um consenso final, após a analise experimental, foram feitas diversas simulações numéricas, até que se conseguisse obter um resultado satisfatório e coerente entre os dois.

Para se obter os valores teóricos, recorreu-se ao software CAST3M®, e foi considerado o adesivo modelado por elementos sólidos convencionais, com 8 nós em cada peça, sendo 2 peças unidas topo a topo. Foram utilizados 3 modelos de interface diferentes, são eles Allix Ladevèze, Champaney/Valoroso (Exponencial) e Alfano/Crisfield (bilinear). (GIULIO ALFANO, 2004)

Outro passo a que se deu atenção na construção deste modelo numérico foi a definição da malha. Conforme se analisou necessário, uma fenda inicial para a descolagem, adotada neste caso por 5 mm de comprimento. No entanto adotou-se uma malha mais refinada apenas na zona adesivada.

As condições de contorno e alguns outros parâmetros usados são dados abaixo, e poderá ser melhor entendido com a figura 27.

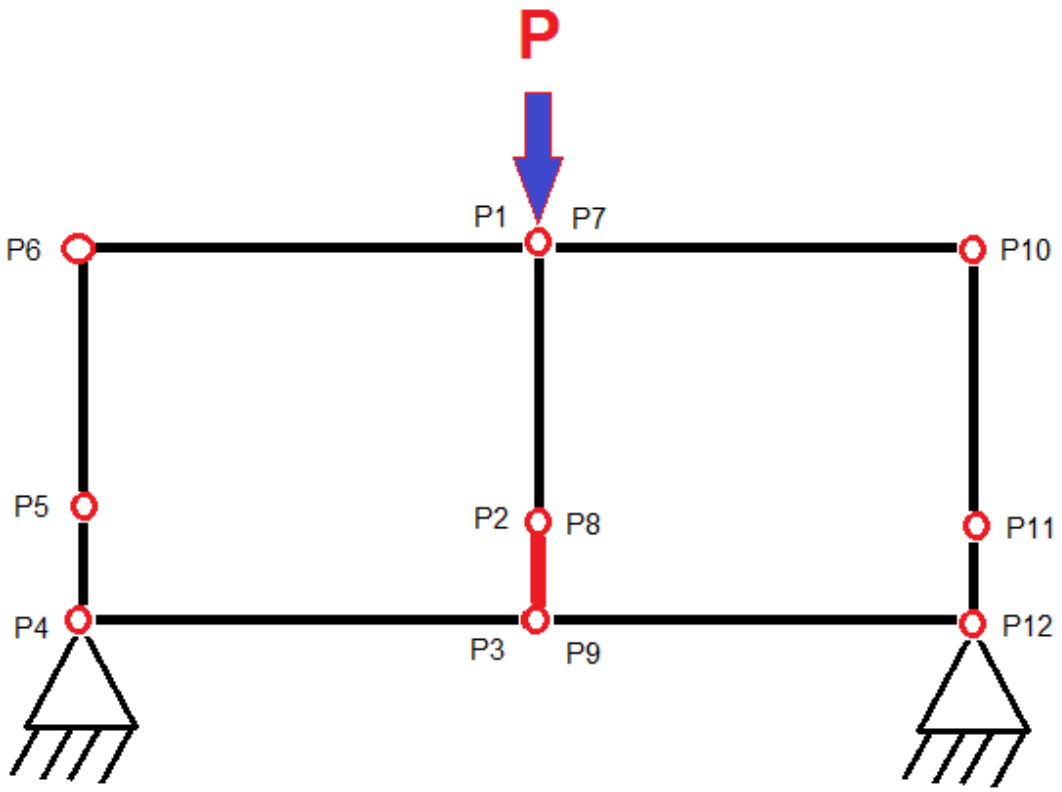


Figura 27: Ensaio Número – 3 Pontos (Autor)

A figura acima foi usada como referência para a programação, onde a linha vermelha central significa a fenda inicial. O tamanho do elemento usado foi quatro, que significa que tem quatro unidades básicas, no caso cada unidade igual a um milímetro, logo teremos uma malha de quatro milímetros quadrados.

Para as condições de contorno iniciais fixamos o ponto um (P1) de modo que não se locomova no eixo Y, o ponto quatro (P4), e o ponto doze (P12), fixos tanto no eixo X como no Y. Porém uma observação para o ponto um (P1), foi acrescido que após o ensaio começar ele se deslocará sim pelo eixo Y (0,3 mm).

Para a evolução do deslocamento do ponto de aplicação da força, foi especificado um avanço de 0,05 mmaté completar a condição de 0,3 mm citado anteriormente.

Segue exemplos de algumas malhas adotadas nas figuras 28, 29,30 e 31.

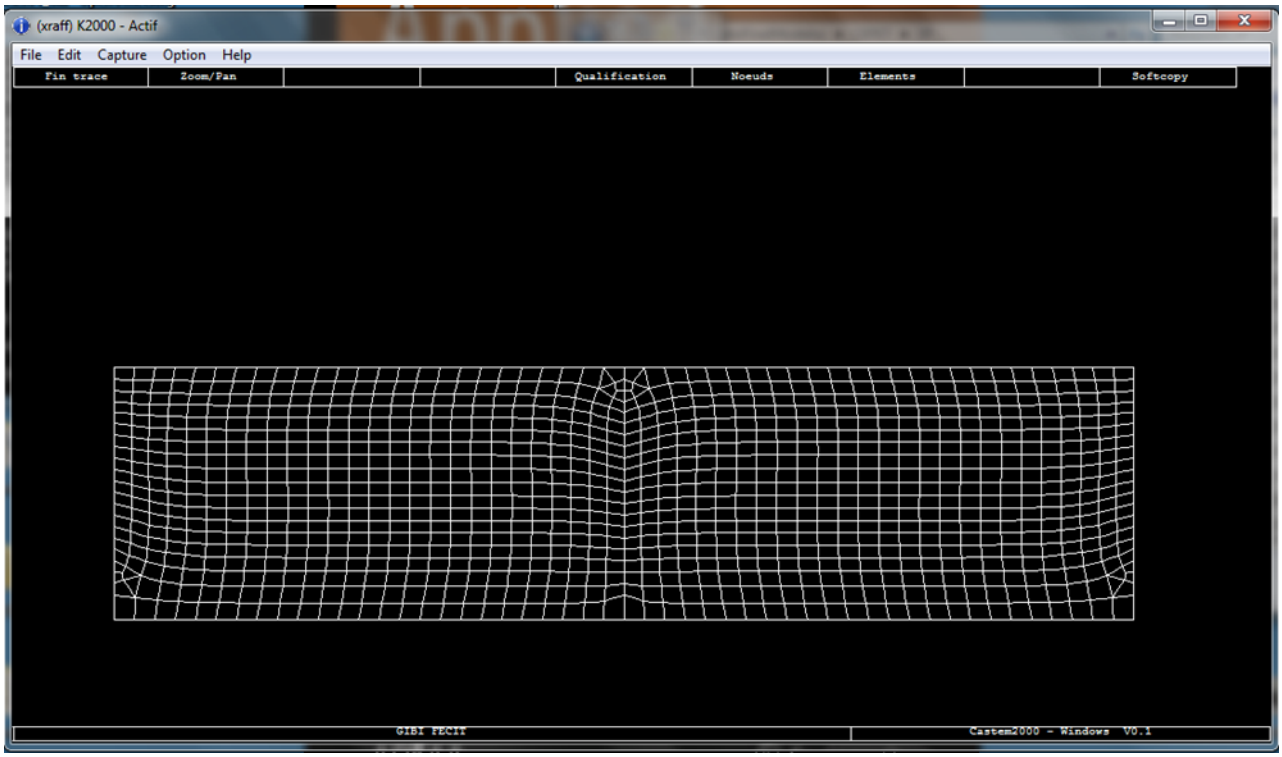


Figura 28: Malha (1) CAST3M (Autor)

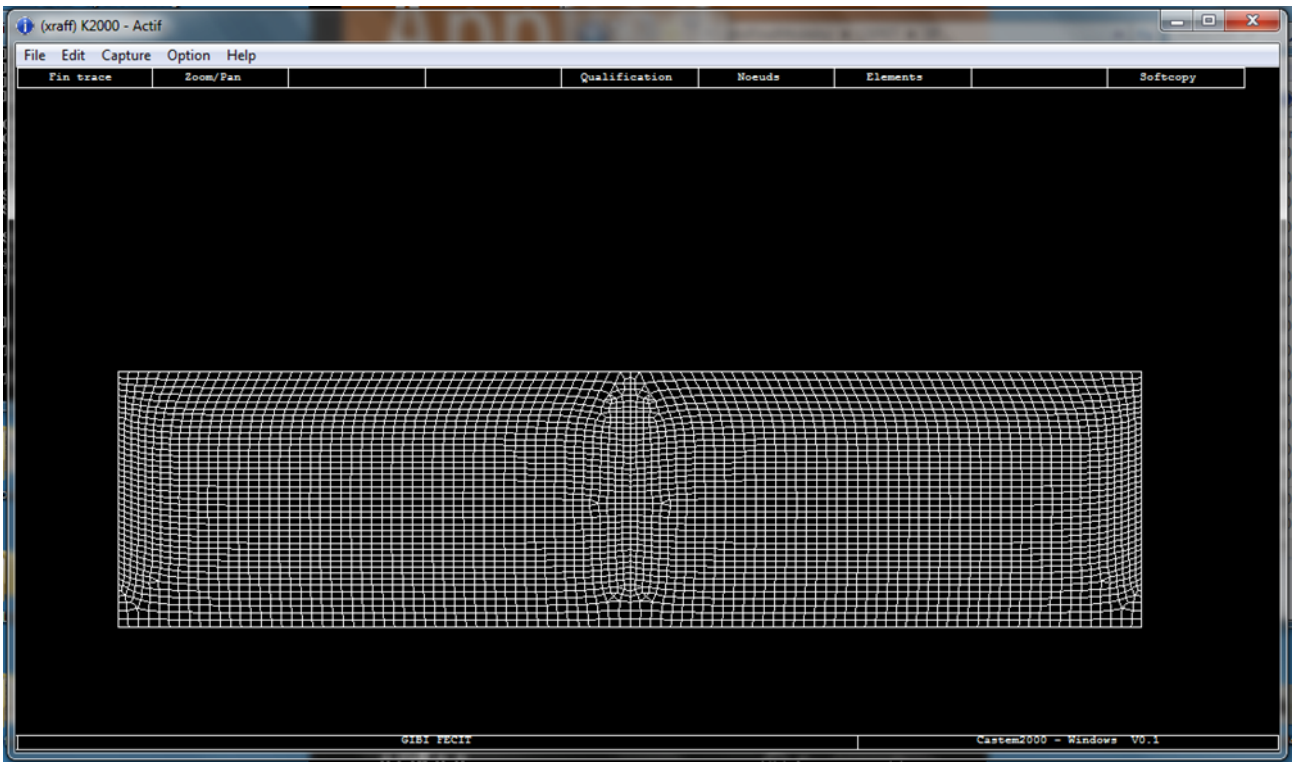


Figura 29: Malha (2) CAST3M - (Autor)

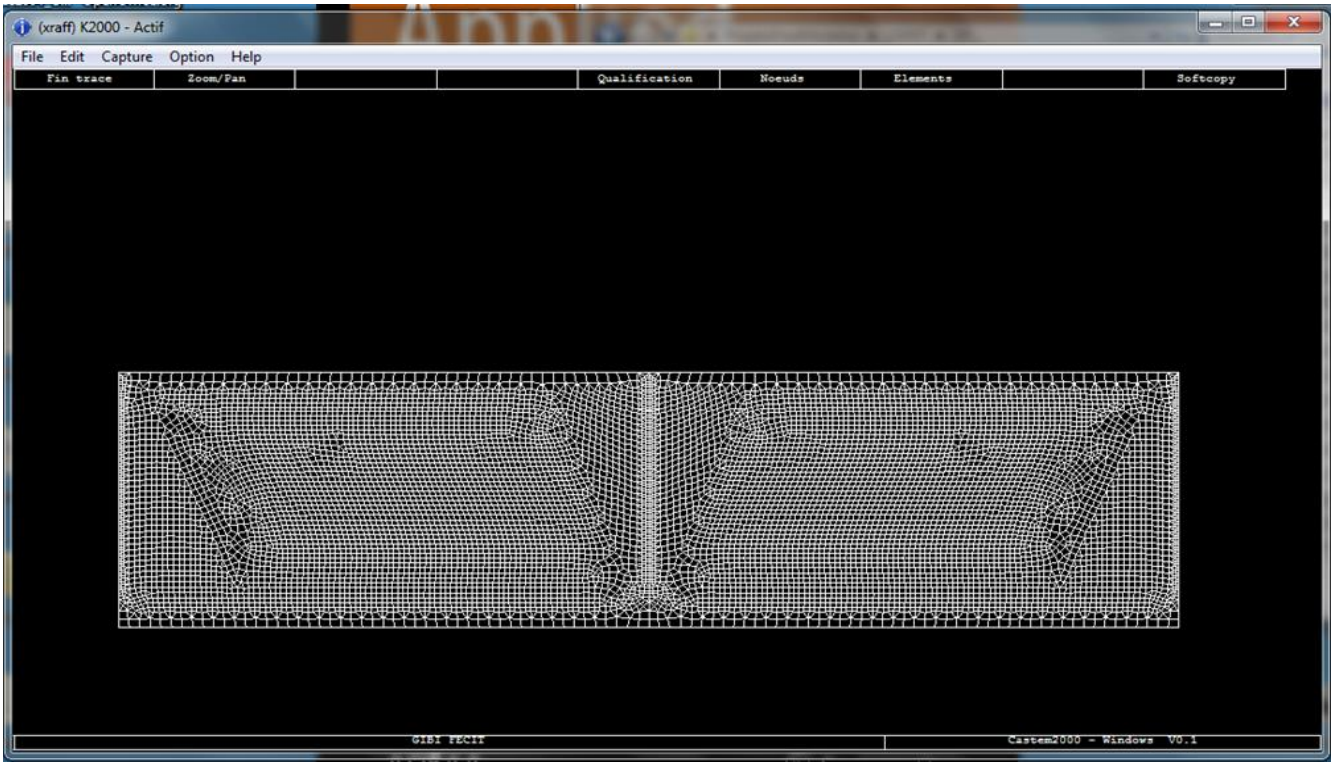


Figura 30: Malha (3) CAST3M - (Autor)

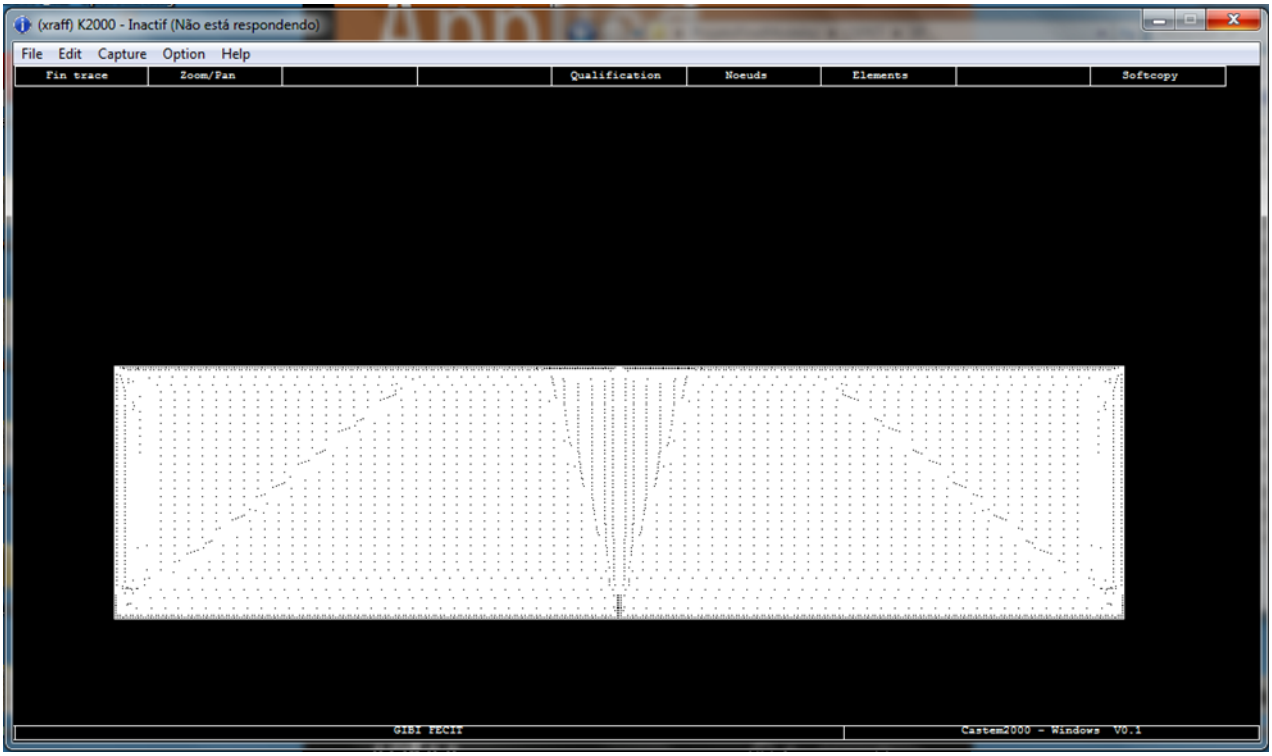


Figura 31: Malha (4) CAST3M - (Autor)

Uma situação curiosa foi identificada após estes ensaios, quanto mais refinadas as malhas mais os resultados se destacavam do ensaio experimental, logo a malha utilizada foi a ilustrada pela figura 30.

Depois de o modelo ter terminado a simulação, foi necessário manipular a informação de força a obter-se a curva Força-Deslocamento da simulação. A força máxima obtida é a previsão da força de ruptura da junta. Neste capítulo serão apresentados os valores obtidos pelos diferentes critérios usados assim como será feita a comparação dos valores experimentais e numéricos para a resistência das juntas adesivas com os valores previstos.

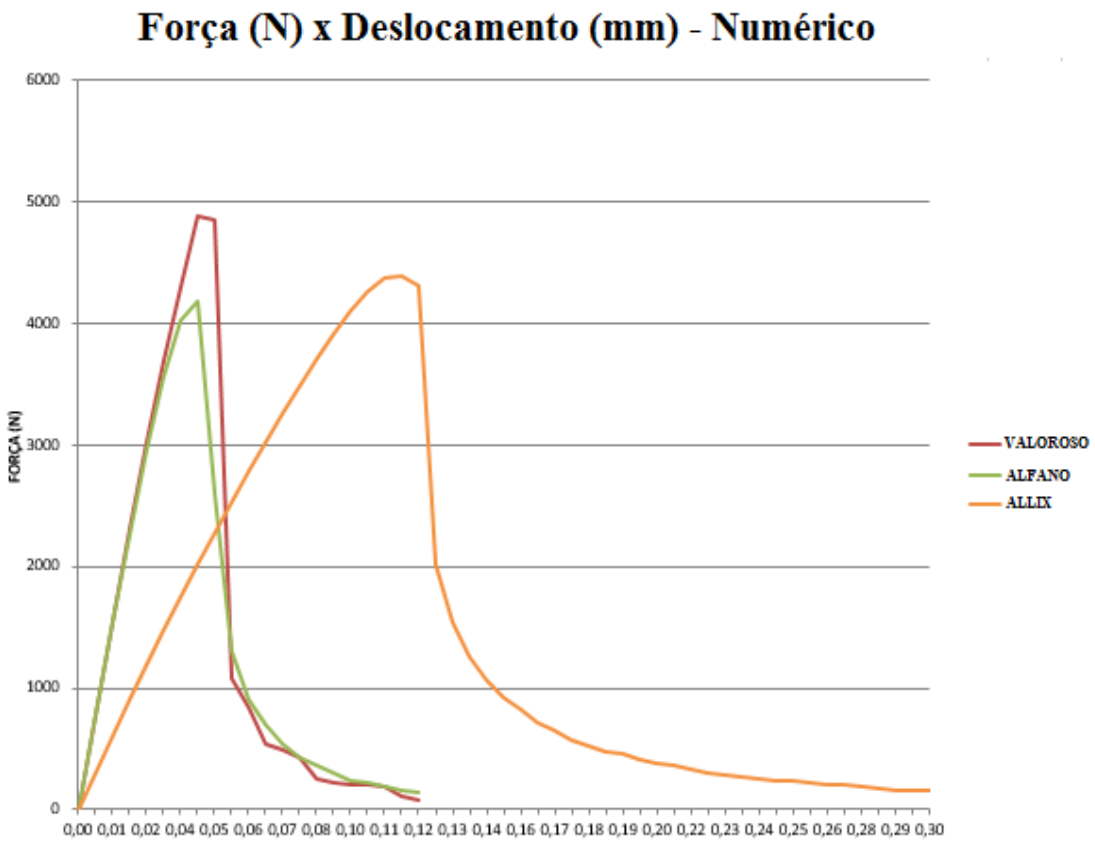


Figura 32: Analises Numéricas (CAST3M) Força (N) x Desocamento (mm) - (Autor)

Resultados

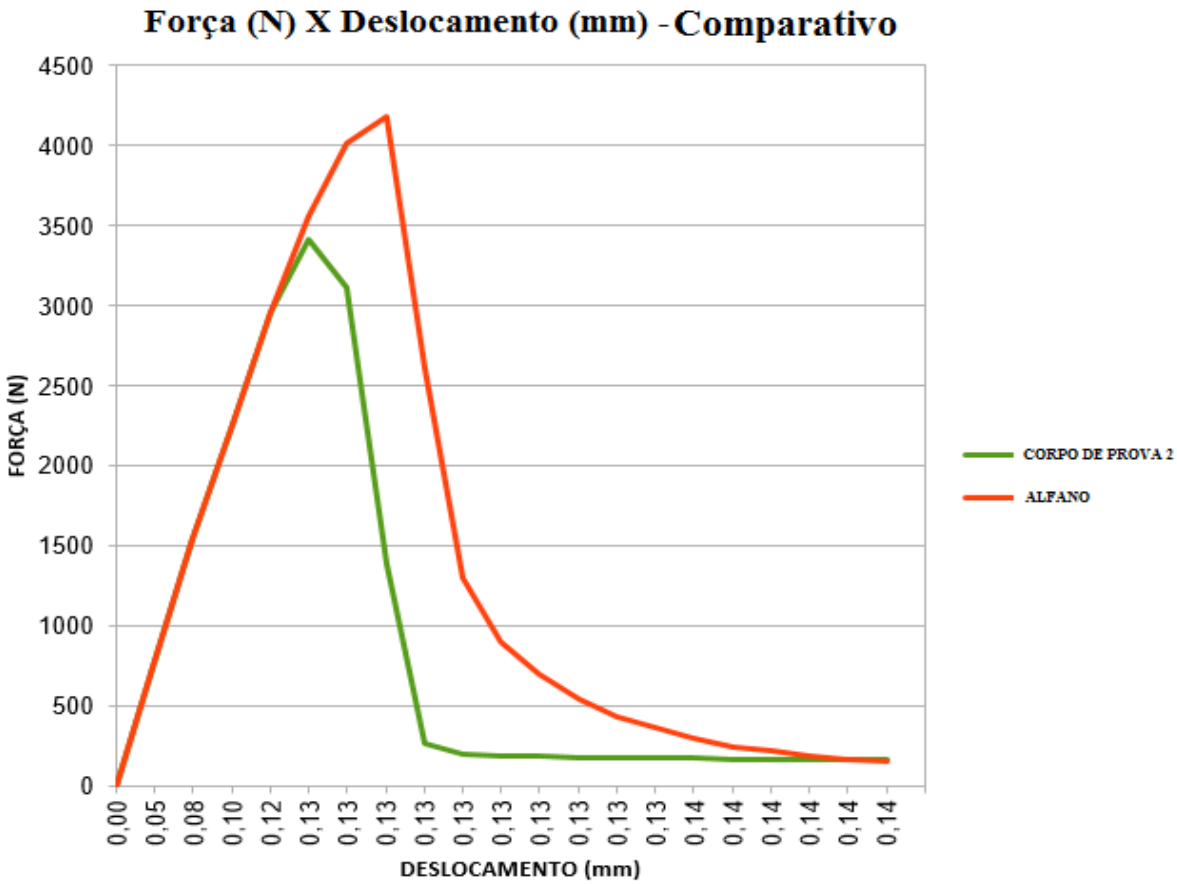


Figura 33: Gráfico Comparativo (Autor)

No ensaio experimental, foram realizados 4 ensaios obtendo uma média de força de ruptura de 3200 N, sendo que o corpo de prova 2, obteve a maior força de ruptura com 3396 N.

No ensaio numérico através dos 3 modelos já citados no trabalho, tivemos valores bem próximos um do outro, podendo destacar o resultado do Valoroso, com 4178 N, sendo o mais próximo do ensaio experimental.

Como pode ser observado, as analises numéricas e experimentais foram muito próximas com uma taxa de convergência de 78%, podendo assim concluir que os modelos serviram bem para este caso, e poderá ser aplicado futuramente em novos estudos, tanto como aperfeiçoamento deste, como para ovas geometrias. Observou-se também que o modelo desenvolvido por Alfano/Crisfield (bilinear) foi o que se assemelhou mais entre os três modelos.

Em anexo segue a programação no software CAST3M, nos três modelos citados.

Conclusão

Do ponto de vista experimental, os resultados obtidos nos ensaios foram bastante satisfatórios. Os valores encontrados para a força de ruptura em todos os corpos de prova foram compatíveis com a dispersão esperada para esse tipo de colagem. Os resultados poderiam ser ainda melhores se as juntas tivessem sido produzidas por profissionais especializados em colagem, porém dentro os objetivos desse trabalho pode ser incluído também o de ter uma experiência prática na produção desse tipo de união.

Do ponto de vista numérico, os estudos demonstraram que o modelo que se aproximou mais do resultado experimental foi o desenvolvido por Alfano/Crisfield (bilinear), logo poderá ser levado em conta em futuros ensaios e estudos dentro do assunto. Um estudo mais aprofundado, talvez em nível de doutorado, poderá ser feito ainda com outras geometrias de ensaios e por isso os outros modelos não podem ser descartados de uma futura análise. De qualquer forma foi considerado um avanço muito grande para o conhecimento dessa tecnologia ainda em ascensão, e importante saber que o ensaio numérico se aproximou bastante ao ensaio prático, podendo-se dar continuidade ao estudo com maior segurança.

Do ponto de vista da formação em engenharia, pode-se afirmar que esse trabalho proporcionou um conhecimento de uma técnica de união pouco estuda na formação clássica do engenheiro no Brasil. O trabalho proporcionou ainda um contato com uma ferramenta de simulação numérica, sendo que esse tipo de conhecimento é hoje fundamental para o engenheiro mecânico.

Referências

LUCAS F. M. SILVA, ANTONIO G. MAGALHAES, MARCELO F. S. MOURA; Juntas Adesivas Estruturais, 1 ed, Editora Publindustria, FEUP universidade do Porto,2007.

JOSUE G. QUINI, Adesivos Eestruturais Uretânicos Aplicados a

Combinações de Compósitos, Plásticos e Metais, São Paulo, SP, Brasil, 2011.

FERRARESI, DINO; Fundamento da Usinagem dos Metais, Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, SP, Brasil, 1970.

AMANDIO T. PINTO, Introdução ao Estudo dos Geopolímeros, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro**,** Vila Real, 2006.

JOÃO D. R. B. SOUZA, Adesivos Alcalinamente ativados: Ativação com Silicato de Potássio e Silicato de Sódio, João Pessoa, Paraíba, Brasil, 2009.

LUÍZ M. B. S. TEIXEIRA, Caracterização do Comportamento Mecânico de Juntas de Sobreposição Simples Coladas com Adesivoc Estruturais, Porto, 2000.

CÁTIA BATALHA, PEDRO LÚCIO, PAULO REIS, HUGO SOARES, FREDERICO SILVA, JOSÉ SARILHO, Adesivos Estruturais, Porto, 2010.

GIULIO ALFANO, SILVIO DE BARROS, LAURENT CHAMPANEY, NUNZIANTE VALOROSO, Comparasion Between Two Cohesive-Zone Models For The Analysis of Interface Debonding, Europa, 2004.

DA SILVA, L. F. M.; MAGALHÃES, A. G.; MOURA, M. F. S. F. Juntas Adesivas Estruturais. Porto: Publindústria, Edições Técnicas, 2007.

R. D. S. G. Campilho, “Repair Of Composite And Wood Structures, PhD thesis” Porto, 2009.

L. F. M. da Silva, A. G. Magalhães e M. F. S. F. Moura, Juntas Adesivas Estruturais, Porto: Publindústria, 2007.

ANEXO I

Anexo I – Programações Numéricas

Programação - Alfano

```
*Interface endommageable
*
* 1) Malha
OPTI DIME 2 ELEM QUA8;
L1 = 100.; H1 = 50; A = 5.; B = 20.;
dens 4.;
P1 = 0. 0.;
P2 = 0. (((-1)*H1)+A);
P3 = 0. ((-1)*H1);
P4 = ((-1)*L1) ((-1)*H1);
P5 = ((-1)*L1) (((-1)*H1)+A);
P6 = ((-1)*L1) 0.;
P7 = 0. 0.;
P8 = 0. (((-1)*H1)+A);
P9 = 0. ((-1)*H1);
P10 = L1 ((-1)*H1);
P11 = L1 (((-1)*H1)+A);
P12 = L1 0.;
L1 = DROI P1 P2;
L2 = DROI P2 P3;
L3 = DROI P3 P4;
L4 = DROI P4 P5;
L5 = DROI P5 P6;
L6 = DROI P6 P1;
```

```
L7 = DROI P7 P8;
L8 = DROI P8 P9;
L9 = DROI P9 P10;
L10 = DROI P10 P11;
L11 = DROI P11 P12;
L12 = DROI P12 P7;

CONT1 = L1 ET L2 ET L3 ET L4 ET L5 ET L6;
CONT2 = L7 ET L8 ET L9 ET L10 ET L11 ET L12;
*CONTTOT = (CONT1 ET CONT2);
TRAC (CONT1 et CONT2);

SURF1 = SURF CONT1;
SURF2 = SURF CONT2;
SURFT = (SURF1 ET SURF2);
*
* Raccord pour l'interface
INT1 = RACC 0.00001 L1 L7;

*TRAC INT1;

TRAC (SURFT);

*
*
* Modele interface endommageable
* ------------------------------
* Param matériau
*  KN, KS : raideurs normale et tangentielle
*  RHO, ALPH : masse volumique et coef de dilatation thermique
*  ALP1 : puissance critere d'activation
*  ALP2 : puissance critere de rupture
```

```
*  GCN  : Energie critiqe en mode 1
*  GCT  : Energie critiqe en mode 2
*  G0N  : Energie d'activation en mode 1
*  G0T  : Energie d'activation en mode 2
*  ALP3 : forme de la loi d'evolution :
*         = 0 : bilinéaire (Alfano/Crisfield)
*         > 0 : Allix/Ladevèze
*         < 0 : Champaney/Valoroso
*  MU   : coefficient de frottement
*  EXP  : exposant pour la prise en compte du frottement
LCMAT1 = MOTS 'KN' 'KS' 'RHO' 'ALPH' 'ALP1' 'ALP2'
           'GCN' 'GCT' 'GON' 'G0T' 'ALP3' 'MU' 'EXP';
*
* Variables internes
* DAMA : endommagement
* YDB : seuil
* P0  : pression
LCVAR1 = MOTS 'EPSE' 'DAMA' 'YDB' 'P0';
* Lista de variaveis internas - observe que EPSE é referente à déformation
plastique équivalente. equações para escrever as equações de tensão e
deformação na zona plastica (Calcul_meca2)

MOD1 = MODE INT1 mecanique elastique isotrope
  'NON_LINEAIRE' 'UTILISATEUR' joi3
  'NUME_LOI' 2 'C_MATERIAU' LCMAT1
  'C_VARINTER' LCVAR1 ;
MAT1 = MATR MOD1 'KN' 10000. 'KS' 10000.
           'RHO' 1. 'ALPH' 0.
           'ALP1' 0. 'ALP2' 0.
           'GCN' 0.5 'GCT' 0.5
           'GON' 0.04500 'G0T' 0.04500
           'ALP3' 0. 'MU' 0. 'EXP' 0.;
```

```
MOD0 = MODE SURFT mecanique elastique;
MAT0 = MATE MOD0 'YOUN' 70000. 'NU' 0.3;
*
con1 = rela mini ux L7 - ux L1;
*
* Chargement en deplacement impose
*un1 = 5.;
un2 = -0.3;
cl1 = (bloq uy P4);
cl2 = (bloq uy P10);
cl3 = (bloq uy P1);
cl4 = (bloq ux P4);
ef1 = depi cl3 un2;
LI1 = PROG 0. pas 0.05 1.;
EV1= EVOL MANU T LI1 F(T) LI1 ;
CHA01 = char 'MECA' ef1 EV1;
*CHA02 = char 'MECA' ef4 EV1;
*CHA1 = CHA01 et CHA02;
* Table pour calcul PASAPAS
tab1 = table;
tab1.'CHARGEMENT' = CHA01;
*tab1.'BLOCAGES_MECANIQUES'= cl1 et cl2 et cl3 et cl4;
tab1.'BLOCAGES_MECANIQUES'= cl1 et cl2 et cl3 et cl4 et con1;
tab1.'MODELE' = MOD0 et MOD1;
tab1.'CARACTERISTIQUES' = MAT0 et MAT1;
tab1.'TEMPS_CALCULES' = LI1;
tab1.'MAXITERATION' = 150;
tab1.'PRECISION' = 1.e-6;
tab1.'MAXSOUSPAS' = 100000;
tab1.'MAXISOUSPAS' = 100000;
*
* calcul PASAPAS
```

```
PASAPAS tab1;
*
* Post-traitement
tv1 = tab1 . 'VARIABLES_INTERNES';
td1 = tab1 . 'DEPLACEMENTS';
ts1 = tab1 . 'CONTRAINTES';
tp1 = tab1 . 'DEFORMATIONS_INELASTIQUES';
te1 = tab1 . 'DEFORMATIONS';
*
*
pr1 = prog ;pr2 = PROG;pr3 = prog;pr4=prog;
prc1 = prog; prc2 = prog;
nb1 = dime td1;i1 = -1;
repe blo1 nb1;i1 = i1 + 1;

  vari1 = exco (tv1 . i1) DAMA;
  pr2 = pr2 et (prog (maxi vari1 ));
  vari2 = exco (tv1 . i1) DAMA;
  pr4 = pr4 et (prog (maxi vari2 ));

  dep1 = td1 . i1;
  def1 = defo SURFT dep1 1.;
  def0 = defo SURFT dep1 0. roug;
  si (i1 > 0);
    ry1 = (maxi (exco (resu (reac dep1 cl3)) FY)) ;
  sinon; ry1 = 0. ; finsi;
  uy1 = (extr dep1 UY P1);
  prc1 = prc1 et (prog (uy1));
  prc2 = prc2 et (prog (ry1 * B));
*  trac (def1 et def0) nclk;
fin blo1;
```

```
*
evc1 = evol manu prc1 prc2;
dess evc1;
*
titr 'dano normal(t)';
ev2n = evol roug manu 't' li1 'dn' pr2;
*
titr 'dano tangencial(t)';
ev2t = evol bleu manu 't' li1 'dt' pr4;
dess ev2n;
dess ev2t;
*
@excel1 evc1 '3PAlfano1.dat';
*
*
```

Programação - Allix

```
*Interface endommageable
*
* 1) Malha
OPTI DIME 2 ELEM QUA8;
L1 = 100.; H1 = 50; A = 5.; B = 20.;
dens 4.;



P1 = 0. 0.;
P2 = 0. (((-1)*H1)+A);
P3 = 0. ((-1)*H1);
P4 = ((-1)*L1) ((-1)*H1);
P5 = ((-1)*L1) (((-1)*H1)+A);
P6 = ((-1)*L1) 0.;
P7 = 0. 0.;
P8 = 0. (((-1)*H1)+A);
P9 = 0. ((-1)*H1);
P10 = L1 ((-1)*H1);
P11 = L1 (((-1)*H1)+A);
P12 = L1 0.;
L1 = DROI 40 P1 P2;
L2 = DROI P2 P3;
L3 = DROI P3 P4;
L4 = DROI P4 P5;
L5 = DROI 40 P5 P6;
L6 = DROI P6 P1;

L7 = DROI 40 P7 P8;
L8 = DROI P8 P9;
L9 = DROI P9 P10;
```

```
L10 = DROI P10 P11;
L11 = DROI 40 P11 P12;
L12 = DROI P12 P7;

CONT1 = L1 ET L2 ET L3 ET L4 ET L5 ET L6;
CONT2 = L7 ET L8 ET L9 ET L10 ET L11 ET L12;
*CONTTOT = (CONT1 ET CONT2);
TRAC (CONT1 et CONT2);

SURF1 = SURF CONT1;
SURF2 = SURF CONT2;

SURFT = (SURF1 ET SURF2);
*
* Raccord pour l'interface
INT1 = RACC 0.00001 L1 L7;

*TRAC INT1;

TRAC (SURFT);

*
*
* Modele interface endommageable
* ------------------------------
* Param matériau
*  KN, KS : raideurs normale et tangentielle
*  RHO, ALPH : masse volumique et coef de dilatation thermique
*  ALP1 : puissance critere d'activation
*  ALP2 : puissance critere de rupture
*  GCN  : Energie critiqe en mode 1
*  GCT  : Energie critiqe en mode 2
```

```
*  G0N  : Energie d'activation en mode 1
*  G0T  : Energie d'activation en mode 2
*  ALP3 : forme de la loi d'evolution :
*         = 0 : bilinéaire (Alfano/Crisfield)
*         > 0 : Allix/Ladevèze
*         < 0 : Champaney/Valoroso
*  MU   : coefficient de frottement
*  EXP  : exposant pour la prise en compte du frottement
LCMAT1 = MOTS 'KN' 'KS' 'RHO' 'ALPH' 'ALP1' 'ALP2'
           'GCN' 'GCT' 'GON' 'G0T' 'ALP3' 'MU' 'EXP';
*
* Variables internes
* DAMA : endommagement
* YDB : seuil
* P0  : pression
LCVAR1 = MOTS 'EPSE' 'DAMA' 'YDB' 'P0';
* Lista de variaveis internas - observe que EPSE é referente à déformation
plastique équivalente. equações para escrever as equações de tensão e
deformação na zona plastica (Calcul_meca2)

MOD1 = MODE INT1 mecanique elastique isotrope
  'NON_LINEAIRE' 'UTILISATEUR' joi3
  'NUME_LOI' 2 'C_MATERIAU' LCMAT1
  'C_VARINTER' LCVAR1 ;
MAT1 = MATR MOD1 'KN' 10000. 'KS' 10000.
           'RHO' 1. 'ALPH' 0.
           'ALP1' 2. 'ALP2' 2.
           'GCN' 0.5 'GCT' 0.5
           'GON' 0.01125 'G0T' 0.01125
           'ALP3' 0.198 'MU' 0. 'EXP' 1.;
MOD0 = MODE SURFT mecanique elastique;
MAT0 = MATE MOD0 'YOUN' 70000. 'NU' 0.3;
```

```
*
*con1 = rela mini ux L7 - ux L1;
*
* Chargement en deplacement impose
*un1 = 5.;
un2 = -0.3;
cl1 = (bloq uy P4);
cl2 = (bloq uy P10);
cl3 = (bloq uy P1);
cl4 = (bloq ux P4);
ef1 = depi cl3 un2;
LI1 = PROG 0. pas 0.02 1.;
EV1= EVOL MANU T LI1 F(T) LI1 ;
CHA01 = char 'MECA' ef1 EV1;
*CHA02 = char 'MECA' ef4 EV1;
*CHA1 = CHA01 et CHA02;
* Table pour calcul PASAPAS
tab1 = table;
tab1.'CHARGEMENT' = CHA01;
tab1.'BLOCAGES_MECANIQUES'= cl1 et cl2 et cl3 et cl4;
*tab1.'BLOCAGES_MECANIQUES'= cl1 et cl2 et cl3 et cl4 et con1;
tab1.'MODELE' = MOD0 et MOD1;
tab1.'CARACTERISTIQUES' = MAT0 et MAT1;
tab1.'TEMPS_CALCULES' = LI1;
tab1.'MAXITERATION' = 150;
tab1.'PRECISION' = 1.e-6;
tab1.'MAXSOUSPAS' = 100000;
tab1.'MAXISOUSPAS' = 100000;
*
* calcul PASAPAS
PASAPAS tab1;
*
```

```
* Post-traitement
tv1 = tab1 . 'VARIABLES_INTERNES';
td1 = tab1 . 'DEPLACEMENTS';
ts1 = tab1 . 'CONTRAINTES';
tp1 = tab1 . 'DEFORMATIONS_INELASTIQUES';
te1 = tab1 . 'DEFORMATIONS';
*
*
pr1 = prog ;pr2 = PROG;pr3 = prog;pr4=prog;
prc1 = prog; prc2 = prog;
nb1 = dime td1;i1 = -1;
repe blo1 nb1;i1 = i1 + 1;

  vari1 = exco (tv1 . i1) DAMA;
  pr2 = pr2 et (prog (maxi vari1 ));
  vari2 = exco (tv1 . i1) DAMA;
  pr4 = pr4 et (prog (maxi vari2 ));

  dep1 = td1 . i1;
  def1 = defo SURFT dep1 1.;
  def0 = defo SURFT dep1 0. roug;
  si (i1 > 0);
    ry1 = (maxi (exco (resu (reac dep1 cl3)) FY)) ;
  sinon; ry1 = 0. ; finsi;
  uy1 = (extr dep1 UY P1);
  prc1 = prc1 et (prog (uy1));
  prc2 = prc2 et (prog (ry1 * B));
*  trac (def1 et def0) nclk;
fin blo1;

*
evc1 = evol manu prc1 prc2;
```

```
dess evc1;
*
titr 'dano normal(t)';
ev2n = evol roug manu 't' li1 'dn' pr2;
*
titr 'dano tangencial(t)';
ev2t = evol bleu manu 't' li1 'dt' pr4;
dess ev2n;
dess ev2t;
*
@excel1 evc1 '3PAllix6.dat';
*
*
```

Programação - Valoroso

```
*Interface endommageable
*
* 1) Malha
OPTI DIME 2 ELEM QUA8;
L1 = 100.; H1 = 50; A = 5.; B = 20.;
dens 4.;
P1 = 0. 0.;
P2 = 0. (((-1)*H1)+A);
P3 = 0. ((-1)*H1);
P4 = ((-1)*L1) ((-1)*H1);
P5 = ((-1)*L1) (((-1)*H1)+A);
P6 = ((-1)*L1) 0.;
P7 = 0. 0.;
P8 = 0. (((-1)*H1)+A);
P9 = 0. ((-1)*H1);
P10 = L1 ((-1)*H1);
P11 = L1 (((-1)*H1)+A);
P12 = L1 0.;
L1 = DROI P1 P2;
L2 = DROI P2 P3;
L3 = DROI P3 P4;
L4 = DROI P4 P5;
L5 = DROI P5 P6;
L6 = DROI P6 P1;

L7 = DROI P7 P8;
L8 = DROI P8 P9;
L9 = DROI P9 P10;
L10 = DROI P10 P11;
L11 = DROI P11 P12;
```

```
L12 = DROI P12 P7;

CONT1 = L1 ET L2 ET L3 ET L4 ET L5 ET L6;
CONT2 = L7 ET L8 ET L9 ET L10 ET L11 ET L12;
*CONTTOT = (CONT1 ET CONT2);
TRAC (CONT1 et CONT2);

SURF1 = SURF CONT1;
SURF2 = SURF CONT2;

SURFT = (SURF1 ET SURF2);
*
* Raccord pour l'interface
INT1 = RACC 0.00001 L1 L7;

TRAC INT1;

TRAC (SURFT);

*
*
* Modele interface endommageable
* ------------------------------
* Param matériau
*  KN, KS : raideurs normale et tangentielle
*  RHO, ALPH : masse volumique et coef de dilatation thermique
*  ALP1 : puissance critere d'activation
*  ALP2 : puissance critere de rupture
*  GCN  : Energie critiqe en mode 1
*  GCT  : Energie critiqe en mode 2
*  G0N  : Energie d'activation en mode 1
*  G0T  : Energie d'activation en mode 2
```

```
*  ALP3 : forme de la loi d'evolution :
*         = 0 : bilinéaire (Alfano/Crisfield)
*         > 0 : Allix/Ladevèze
*         < 0 : Champaney/Valoroso
*  MU   : coefficient de frottement
*  EXP  : exposant pour la prise en compte du frottement
LCMAT1 = MOTS 'KN' 'KS' 'RHO' 'ALPH' 'ALP1' 'ALP2'
            'GCN' 'GCT' 'GON' 'G0T' 'ALP3' 'MU' 'EXP';
*
* Variables internes
* DAMA : endommagement
* YDB : seuil
* P0  : pression
LCVAR1 = MOTS 'EPSE' 'DAMA' 'YDB' 'P0';
* Lista de variaveis internas - observe que EPSE é referente à déformation
plastique équivalente. equações para escrever as equações de tensão e
deformação na zona plastica (Calcul_meca2)

MOD1 = MODE INT1 mecanique elastique isotrope
  'NON_LINEAIRE' 'UTILISATEUR' joi3
  'NUME_LOI' 2 'C_MATERIAU' LCMAT1
  'C_VARINTER' LCVAR1 ;
MAT1 = MATR MOD1 'KN' 10000. 'KS' 10000.
           'RHO' 1. 'ALPH' 0.
           'ALP1' 2. 'ALP2' 2.
           'GCN' 0.5 'GCT' 0.5
           'GON' 0.01125 'G0T' 0.01125
           'ALP3' -1. 'MU' 0. 'EXP' 0.;
MOD0 = MODE SURFT mecanique elastique;
MAT0 = MATE MOD0 'YOUN' 70000. 'NU' 0.3;
*
*con1 = rela mini ux L7 + ux L1;
```

```
*
* Chargement en deplacement impose
*un1 = 5.;
un2 = -0.3;
cl1 = (bloq uy P4);
cl2 = (bloq uy P10);
cl3 = (bloq uy P1);
cl4 = (bloq ux P4);
ef1 = depi cl3 un2;
LI1 = PROG 0. pas 0.05 1.;
EV1= EVOL MANU T LI1 F(T) LI1 ;
CHA01 = char 'MECA' ef1 EV1;
*CHA02 = char 'MECA' ef4 EV1;
*CHA1 = CHA01 et CHA02;
* Table pour calcul PASAPAS
tab1 = table;
tab1.'CHARGEMENT' = CHA01;
tab1.'BLOCAGES_MECANIQUES'= cl1 et cl2 et cl3 et cl4;
*tab1.'BLOCAGES_MECANIQUES'= cl1 et cl2 et cl3 et con1;
tab1.'MODELE' = MOD0 et MOD1;
tab1.'CARACTERISTIQUES' = MAT0 et MAT1;
tab1.'TEMPS_CALCULES' = LI1;
tab1.'MAXITERATION' = 150;
tab1.'PRECISION' = 1.e-6;
tab1.'MAXSOUSPAS' = 100000;
tab1.'MAXISOUSPAS' = 100000;
*
* calcul PASAPAS
PASAPAS tab1;
*
* Post-traitement
tv1 = tab1 . 'VARIABLES_INTERNES';
```

```
td1 = tab1 . 'DEPLACEMENTS';
ts1 = tab1 . 'CONTRAINTES';
tp1 = tab1 . 'DEFORMATIONS_INELASTIQUES';
te1 = tab1 . 'DEFORMATIONS';
*
*
pr1 = prog ;pr2 = PROG;pr3 = prog;pr4=prog;
prc1 = prog; prc2 = prog;
nb1 = dime td1;i1 = -1;
repe blo1 nb1;i1 = i1 + 1;

  vari1 = exco (tv1 . i1) DAMA;
  pr2 = pr2 et (prog (maxi vari1 ));
  vari2 = exco (tv1 . i1) DAMA;
  pr4 = pr4 et (prog (maxi vari2 ));

  dep1 = td1 . i1;
  def1 = defo SURFT dep1 1.;
  def0 = defo SURFT dep1 0. roug;
  si (i1 > 0);
    ry1 = (maxi (exco (resu (reac dep1 cl3)) FY)) ;
  sinon; ry1 = 0. ; finsi;
  uy1 = (extr dep1 UY P1);
  prc1 = prc1 et (prog (uy1));
  prc2 = prc2 et (prog (ry1 * B));
  trac (def1 et def0) nclk;
fin blo1;

*
evc1 = evol manu prc1 prc2;
dess evc1;
*
```

```
titr 'dano normal(t)';
ev2n = evol roug manu 't' li1 'dn' pr2;
*
titr 'dano tangencial(t)';
ev2t = evol bleu manu 't' li1 'dt' pr4;
dess ev2n;
dess ev2t;
*
@excell evc1 '3PValoroso1.dat';
```

Anexo II – Ficha Técnica Aço 1020

Propriedades Aço 1020

SAE1020 é aço de baixo carbono segundo norma SAE. Tem 0,2 % de carbono, de fácil usinabilidade, alta tenacidade, baixa dureza, porém não pode ser temperado e beneficiado. É aplicado na mecânica em geral como peças comuns por ter baixo custo.

SAE 1020				
Composição química: C = 0,20%, Mn = 0,45%, P = 0,04% max, S = 0,05% max				
Propriedade	**Valor em unidade métrica**		**Valor em unidade EUA**	
Densidade	7,872 * 10 ^{3}	kg / m^{3}	491,4	lb / ft ^{3}
Módulo de elasticidade	200	GPa	29000	ksi
A expansão térmica (20 º C)	11.9 * 10 $^{-6}$	º C $^{-1}$	6,61 * 10 $^{-6}$	em / (in * º F)
Calor específico	486	J / (kg * K)	0.116	BTU / (lb * º F)
Condutividade térmica	51.9	W / (m * K)	360	BTU * in / (hr * m^{2} * º F)
Resistividade elétrica	1,59 * 10 $^{-7}$	Ohm * m	1,59 * 10 $^{-5}$	Ohm * cm
Resistência à tração (laminado a quente)	380	MPa	55100	psi
Força Rendimento (laminado a quente)	165	MPa	29700	psi
Alongamento (laminado a quente)	25	%	25	%
Dureza (laminados a quente)	66	RB	66	RB
Resistência à tração (trefilados)	420	MPa	60900	psi
Força Rendimento (trefilados)	205	MPa	50800	psi
Alongamento (trefilados)	15	%	15	%
Dureza (trefilados)	73	RB	73	RB

Anexo III - Ficha Técnica de PoliMetalico 2040 HTS

Revisão:01
Data: JAN/13

POLINOVA
Soluções em Revestimentos e Polímeros Especiais

PoliMetalico 2040 HTS



Folha de Dados Técnicos

Descrição do Produto

PoliMetalico 2040 HTS é uma massa epóxi de alto desempenho desenvolvida para ser aplicada sobre superfície metálica quente (> 70°C). Sua formulação exclusiva permite a realização de serviços com *pot life* de cerca de 30 minutos a 100°C. Produto ideal para realização de serviços de colagem, recuperação de furos e revestimentos em equipamentos em operação, tais como, tanques, chaminés, trocadores de calor, caldeiras e tubos.

Principais Caracteristicas

- Possibilidade de aplicação em superfícies quentes
- Alta dureza
- Revestimento tixotrópico de alta espessura
- Produto usinável como o aço.

Aplicações Usuais

- Recuperação de equipamentos em operação
- Preenchimento de partes desgastadas
- Vedações de dutos, tanques, radiadores
- Colagem de diferentes tipos de materiais.
- Revestimento de alta espessura

Caracteristicas do Revestimento

Aparência: Massa pastosa
Razão de mistura - volume: 1A : 1B
Razão de mistura - peso: 1,2A : 1B
Rendimento teórico: 2,0 kg /m² /1 mm de espessura
Dureza ASTM D2240 Shore D (24 h de cura): 85
Dureza ASTM D2240 Shore D (72 h de cura): 87
Resistência a abrasão - DIN 53516 (% de perda de massa) : 3,98
Perda de Massa - tg (°C): >300
Cura do produto

Caracteristicas	100°C
Manuseio	25 min.
Cura Inicial	30 min.
Cura Funcional	24 horas

Vida útil da mistura: Após a mistura dos componentes o produto deve ser utilizado em até 25 minutos a temperatura de 100°C.

Resistência Química (após 30 dias de imersão a 25°C)

Sistema	Aplicação	Sistema	Aplicação
Ácido Clorídrico 10%	Satisfatório	Amônia 15%	Bom
Ácido Sulfúrico 10%	Bom	Hidróxido de sódio 10%	Bom
Ácido Sulfúrico 20%	Bom	Hidróxido de sódio 20%	Bom
Álcool etílico (combustível)	Bom	Hexano	Excelente
Ácido Nítrico 10%	Bom	Gasolina	Bom
Acetona	Bom	Xileno	Satisfatório
Água salina	Excelente	Tolueno	Satisfatório

Modo de Aplicação

1- Preparo de superfície

1.1 - Superfície seca: O tratamento de superfície deve ser realizado, preferencialmente, por meio de jateamento abrasivo padrão Sa 2 1/2. Na falta de jateamento pode ser realizado por meio de lima de aço ou pelo uso de lixamento (lixa de ferro nº 36). Posteriormente, a superfície deve ser limpa e estar isenta de poeira, óleos, graxas ou outras substâncias que possam dificultar a aderência do produto.

1.2 - Superfície úmida: O produto não pode ser aplicado em superfície úmida ou em baixo da água.

2 - Preparo da Massa

Os componentes A e B devem ser misturados segundo a razão de mistura descrita, de uma vez só ou em partes até atingir uma homogeneidade de cor e consistência.

3 - Aplicação da Massa

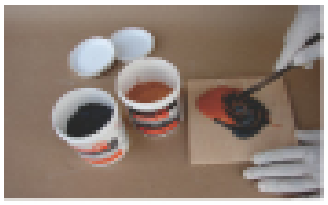
A massa deve ser aplicada com uma espátula de forma homogênea evitando a retenção de bolhas no produto. Podem ser utilizar materiais de reforço conforme exemplificado no site www.polinova.com.br.

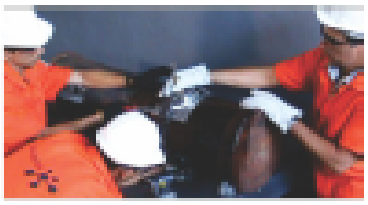
Embalagens A+B

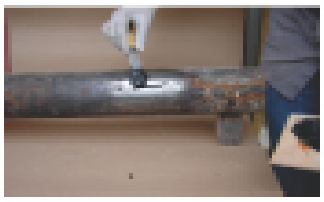
1 kg / 5 kg

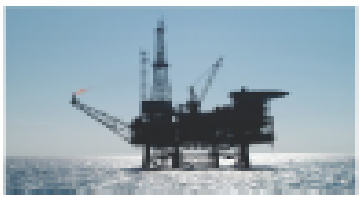
Cores

Padrões: Preto e cinza.









Informações Adicionais

A POLINOVA disponibiliza aos usuários das Massas Estruturais e Reparo um serviço de assistência técnica customizada, no que se referem à especificação do produto mais indicado, ensaios de resistência mecânica e química, adequação da formulação a condições específicas de aplicação, entre outros serviços.

Os Dados Técnicos apresentados neste Boletim foram obtidos por técnicas reconhecidas de análises, realizadas em laboratórios especializados e na POLINOVA.

Armazenamento

Os componentes devem ficar armazenados em suas embalagens fechadas, em local seco e a temperatura em torno de 25ºC. Sobras de produtos retirados das embalagens, mesmo quando não misturados, não devem ser retornados às suas embalagens originais a fim de evitar contaminação dos produtos e perda de propriedades. O Prazo de validade de ambos os componentes é de 12 meses.

Polinova Desenvolvimento e Produção de Materiais Poliméricos S.A.
CNPJ: 05.975.494/0001-43- Insc. Est.: 78.394.625
Rua Marques de Oliveira, 56- Ramos- RJ- CEP 21031-710
Tel: (21) 3867-6702 | contato@polinova.com.br

www.polinova.com.br

Indústria Brasileira - Made in Brazil