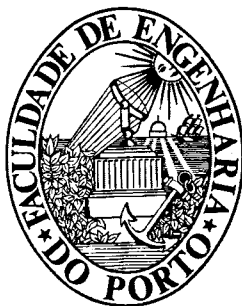


Delfim Ferreira Monteiro

Analise do Comportamento
à Fractura

DEMEGI
FEUP
1995



**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
E GESTÃO INDUSTRIAL**

TESE DE MESTRADO

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO À FRACTURA
DE JUNTAS DE AÇO EFECTUADAS
COM ADESIVOS ESTRUTURAIS.**

DELFIN FERREIRA MONTEIRO

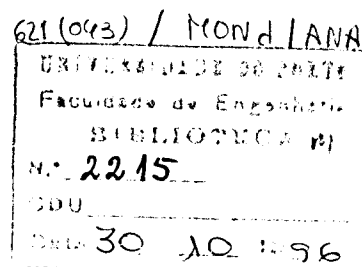
PORTO

1995

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
E GESTÃO INDUSTRIAL

TESE DE MESTRADO

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO À FRACTURA
DE JUNTAS DE AÇO EFECTUADAS
COM ADESIVOS ESTRUTURAIS.



DELFIN FERREIRA MONTEIRO

PORTO

1995

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
E GESTÃO INDUSTRIAL

ANÁLISE DO
COMPORTAMENTO À FRACTURA DE JUNTAS
DE AÇO EFECTUADAS COM ADESIVOS ESTRUTURAIS

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO
PORTO COMO PARTE DOS REQUISITOS, PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA MECÂNICA, OPÇÃO MATERIAIS E PROCESSOS TECNOLÓGICOS.

SUPERVISOR: PROFESSOR ANTÓNIO
AUGUSTO FERNANDES

DELFIN FERREIRA MONTEIRO

PORTO

1995

*À MINHA ESPOSA, AO LUÍS MIGUEL,
À MINHA FAMÍLIA.*

SUMÁRIO

Este trabalho é constituído por duas partes: Parte bibliográfica e parte experimental.

A Revisão Bibliográfica visa fundamentalmente a identificação e estudo dos aspectos fundamentais do trabalho, designadamente a apresentação sumária dos adesivos estruturais, sua natureza, classificação, propriedades, principalmente dos adesivos de epóxico, os mecanismos de colagem, as teorias de adesão, os princípios fundamentais a considerar na preparação de juntas coladas de aço, os factores que afectam a durabilidade das mesmas, a descrição sucinta dos principais tipos de ensaios mecânicos, com especial destaque para o impacto de juntas, e finalmente, uma abordagem simples sobre o design de juntas coladas.

No estudo experimental apresenta-se, de modo não exaustivo, a Metodologia e procedimento de ensaio com a Máquina Rosand e faz-se a análise paramétrica do comportamento à factura de juntas coladas de aço, isto é, estuda-se a influência do tipo de adesivo, da espessura do substrato, do tratamento da superfície de colagem, das condições ambientais, e do tipo de ensaio (estático ou dinâmico), sobre a resistência da ligação. Esta confirmação é feita por intermédio da realização de ensaios de corte e rasgamento (arrancamento), meramente comparativos, e realizados, cada um deles, sempre nas mesmas condições.

ABREVIATURAS:

DGEBA - Diglicidiléter de bisfenol A.

MGE - Metil - glicidiléter.

TGMDA - Tetraglicidil derivado da metileno - amilina.

TGAP - Triglicidil derivado do p-aminofenol.

DDA - Dicianodiamida.

PGE - Fenil Glicidiléter.

BDMA - Benzil dimetilamina.

SEC - Cromatografia de exclusão molecular.

FTIR - Espectroscopia de infravermelhos por transformadas de Fourier.

RMN - Espectroscopia de ressonância magnética.

HPLC - Cromatografia líquida de alta resolução.

CDSC - Calorimetria de Varrimento diferencial.

LSS - Resistência ao corte (Tensão de corte).

LET - Laboratório de Ensaio Tecnológicos.

LA - Laboratório de adesivos.

FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

INEGI - Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial.

AT - Alcalinidade Total.

LST - Lap Shear Test.

HR - Humidade Relativa

SIMBOLOGIA

W_c - Trabalho de coesão.

γ - Tensão superficial.

W_A - Trabalho de adesão.

γ_1 e γ_2 - Tensões superficiais das duas superfícies.

γ_{12} - Tensão resultante das interações entre superfícies.

θ - Ângulo de contacto.

γ_{LV} - Tensão superficial do líquido.

γ_{SV} - Tensão superficial do sólido.

γ_{SL} - Tensão resultante das interações entre sólido e líquido.

γ_c - Tensão superficial crítica.

τ_r - Resistência á rotura.

r - rugosidade.

W_{Ar} - Trabalho de adesão da superfície real.

γ_{Cr} - Tensão superficial crítica da superfície real.

θ_r - Ângulo de contacto das superfícies reais.

Al_2O_3 - Alumina.

SiC - Carboneto de silício.

SiO_2 - Areia.

T_f - Temperatura de transição vítrea.

H_2SO_4 - Ácido sulfúrico.

Hcl - Ácido clorídrico.

H_2O - Água.

σ_c - Resistência à tracção.

P_c - Carga máxima aplicada ao Provete.

A - Área da secção recta de colagem.

L - Comprimento de sobreposição.

σ_y - Tensão de cedência do metal.

b - Espessura do metal.

R_m - Tensão de rotura à tracção.

A_m - Extensão após roptura.

Q_r - Resistência à clivagem com cunha.

R_p -Tensão limite convencional de proporcionalidade a 0, 2%.

INDICE

PÁG.

I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 - INTRODUÇÃO	2
1.2 - ADESIVOS ESTRUTURAIS	5
1.2.1 - ADESIVOS DE EPÓXIDO	9
1.2.1.1 - RESINAS DE EPÓXIDO	12
1.2.1.2 - SÍNTESE DE RESINAS DE EPÓXIDO	16
1.2.2 - QUÍMICA DOS ADESIVOS DE EPÓXIDO	16
1.2.3 - SISTEMA ADESIVO EPÓXIDO/DICIANODIAMIDA	18
1.2.4 - REFERÊNCIA ÀS TÉCNICAS EXPERIMENTAIS PARA A CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE UM ADESIVO DE EPÓXIDO	21
1.3 - MECANISMOS DE COLAGEM	23
1.3.1 - TRABALHO DE COESÃO E TRABALHO DE ADESÃO	23
1.3.2 - FACTORES DE RESISTÊNCIA DAS JUNTAS COLADAS	25
1.3.3 - TEORIAS DE ADESÃO	27
1.3.3.1 - ASPECTOS TECNOLÓGICOS	33
1.3.3.1.1 - TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE	39
1.3.3.1.2 - APLICAÇÃO DOS ADESIVOS. (COLAS)	44
1.3.3.1.3 - PROCESSOS DE CURA	47
1.3.3.2 - TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE DE AÇOS, PARA ADESIVOS DE EPÓXIDO	48
1.3.3.3 - ADESÃO METAL/RESINA DE EPÓXIDO	50
1.3.3.3.1 - PARTICULARIDADES DE JUNTAS COLADAS COM ADESIVOS DE EPÓXIDO	52
1.3.3.3.2 - ASPECTOS REOLÓGICOS NA ADESÃO DE JUNTAS EFECTUADAS COM ADESIVOS DE EPÓXIDO	53
1.4 - ENVELHECIMENTO DE JUNTAS EFECTUADAS COM ADESIVOS DE EPÓXIDO	55
1.4.1 - EFEITO DA HUMIDADE E DA EXISTÊNCIA DA ÁGUA	55
1.4.2 - EFEITO DA TEMPERATURA	58

1.4.3 - SIMULAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS SOBRE	
JUNTAS COLADAS.....	58
1.5 - ENSAIOS. ANÁLISE E DESIGN DE JUNTAS EFECTUADAS COM	
ADESIVOS ESTRUTURAIS.....	59
1.5.1 - GENERALIDADES.....	59
1.5.2 - ENSAIOS MECÂNICOS.....	61
1.5.2.1 - INTRODUÇÃO.....	61
1.5.2.2 - ENSAIOS DE TRACÇÃO.....	62
1.5.2.3 - ENSAIOS DE CORTE.....	64
1.5.2.4 - ENSAIOS DE ARRANCAMENTO.....	65
1.5.2.5 - OUTROS ENSAIOS.....	68
1.5.3 - ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO.....	72
1.5.4 - IMPACTO DE JUNTAS.....	73
1.5.4.1 - INTRODUÇÃO.....	73
1.5.4.2 - COMPORTAMENTO DE UMA ESTRUTURA COLADA	
SOLICITADA POR UM CHOQUE FRONTAL.....	75
1.5.4.2.1 - MODO DE DEFORMAÇÃO DA ESTRUTURA COLADA.....	76
1.5.4.2.2 - COMPORTAMENTO DA JUNTA.....	76
1.5.4.2.3 - APRESENTAÇÃO DOS ENSAIOS DINÂMICOS SOBRE	
JUNTAS COLADAS.....	78
1.5.5 - DESIGN DE JUNTAS COLADAS.....	83
1.5.5.1 - INTRODUÇÃO.....	83
1.5.5.2 - JUNTAS TOPO A TOPO.....	83
1.5.5.3 - JUNTAS SOBREPOSTAS.....	84
1.5.5.4 - OUTROS TIPOS DE JUNTAS.....	87
1.5.5.5 - CRITÉRIOS DE DESIGN.....	87
II - ESTUDO EXPERIMENTAL.....	90
2 - MATERIAIS E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	91
2.1 - CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	91
2.1.1 - MATERIAL DE BASE.....	91
2.1.2 - ADESIVOS.....	92
2.1.3 - PARÂMETROS.....	92

2.1.4 - EQUIPAMENTO UTILIZADO.....	94
2.1.5 - PRODUTOS QUÍMICOS UTILIZADOS.....	95
2.1.6 - PROVETES.....	103
2.1.6.1 - OBTENÇÃO E PREPARAÇÃO DAS PARTES A COLAR.....	103
2.1.6.2 - COLAGENS.....	107
2.1.6.2.1 - JUNTAS DE SIMPLES SOBREPOSIÇÃO.....	107
2.1.6.2.2 - JUNTAS DOS PROVETES ISO.....	110
2.1.7 - ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO.....	112
2.1.8 - ENSAIOS DE TRACÇÃO.....	112
2.1.8.1 - ESTÁTICOS.....	112
2.1.8.2 - DINÂMICOS.....	113
2.1.8.2.1 - LAP SHEAR TEST.....	113
2.1.8.2.2 - ENSAIOS DE RASGAMENTO (IMPACTO POR CUNHA SIMÉTRICA), PARA OS PROVETES ISO.....	116
 3 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	 117
 4 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	 151
4.1 - DOS ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO.....	151
4.2 - DOS ENSAIOS ESTÁTICOS DE TRACÇÃO POR CORTE.....	151
4.3 - DOS ENSAIOS DE TRACÇÃO (CORTE),POR IMPACTO.....	161
4.4 - DOS ENSAIOS DE IMPACTO POR CUNHA (RASGAMENTO)- “ IMPACT WEDGE METHOD “.....	170
 5 - CONCLUSÕES.....	 179
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 185
AGRADECIMENTOS.....	190
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	192

I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 - INTRODUÇÃO

A possibilidade dos sólidos poderem ser fortemente unidos se, sobre a superfície a colar, se espalhar uma fina camada de uma substância que, durante o contacto, endureça e solidifique de modo gradual, é já de longa data [1,2].

Começaram por existir as colas animal e vegetal que foram, durante muitos anos, usadas na colagem de materiais porosos, como o papel. Por exemplo, a cola de caseína foi a primeira a ser utilizada como cola estrutural, durante a 1ª Guerra Mundial, no campo de aeronáutica, na construção de estruturas em Madeira, embora com fraca resistência à humidade e à Moldagem.

O estudo e desenvolvimento de novos adesivos baseados em resinas sintéticas e outros materiais, com melhores propriedades e maior reprodutibilidade, promovem, em larga escala a utilização de adesivos o que levou ao aparecimento da ciência dos Adesivos. Em colagem, a primeira resina a ser usada foi a de fenol-formaldeído, sobretudo para a execução das juntas de madeira e de contraplacados. Mas a descoberta de adesivos com borracha sintética (Quadro 1), e seu avanço, esteve na necessidade de arranjar adesivos apropriados para a colagem de metais.

ANO	ADESIVO
1910	Fenol-Formaldeído
1930	Ureia-Formaldeído
1940	Nitrilo-Fenólico Vinilo-Fenólico Acrílico Poliuretana
1950	Epóxido Cianoacrilatos Anaeróbicos
1960	Poliimida Polibenzimidazol Poliquinoxalina
1970	Segunda geração de Acrílicos

QUADRO 1 - Desenvolvimento cronológico dos adesivos

Ultimamente, o que tornou possível o desenvolvimento de adesivos mais resistentes, mais duradouros e versáteis na colagem de superfícies que antes, seriam impossíveis de colar, foi o aparecimento de resinas sintéticas. Ao desenvolvimento dos adesivos, está subjacente o desenvolvimento de equipamentos e de técnicas de colagem, dada a sua vital importância na colagem de metais e de outros materiais, em aplicações estruturais e para diversos fins [1].

Apesar da evolução tecnológica verificada, subsistem ainda dúvidas sobre os princípios básicos do mecanismo de adesão [3], definindo-se esta como o fenómeno químico, físico ou físico-químico que mantém unidas duas superfícies, as quais são designadas por aderentes e mantêm-se unidas através de forças intersuperficiais por intermédio de uma substância que é o adesivo. No entanto, consoante o tipo de interação que existe entre o adesivo e os aderentes, assim podemos definir diferentes tipos de adesão: Mecânica, se resultar de interbloqueamento entre as duas partes; Electrostática, se resultar da atracção de cargas eléctricas; de atracção molecular, se resultar de forças de valência.

A tecnologia de adesão é, hoje em dia, essencialmente aplicada no desenvolvimento de juntas metálicas estruturais fortes e em revestimento protectores duradouros [4].

O seu emprego na formação de juntas estruturais é interessante, dado que oferece muitas vantagens relativamente às técnicas convencionais usadas na união de metais - aço, alumínio, etc, utilizando a soldadura o aparafusamento ou a rebitagem, tais como [4] :

- Evitar o fendilhamento , e consequente corrosão por picadas, em estruturas e nas juntas rebitadas;
- Simplificar as técnicas de concepção e de construção de juntas estruturais;
- Ligar materiais com propriedades diferentes; geralmente os adesivos são dieléctricos e por isso evita-se a corrosão electrolítica entre metais diferentes; Colar materiais que seriam impossíveis de unir de outro modo;
- Permitir operações mais rápidas e mais baratas do que a soldadura, aparafusamento ou rebitagem.
- Proporcionar uma repartição de tensões por áreas maiores, reduzindo assim a concentração de tensões, tal como acontece em rebitagem e aparafusamento.

Actualmente, o campo de aplicação dos adesivos é diversificado e vai desde os processos industriais que consomem grandes porções de adesivos até às juntas que envolvem pequenas quantidades de adesivos. Mesmo assim, apontam-se algumas limitações, relativamente aos modos convencionais de união [1,3]. Geralmente a resistência de uma junta adesiva é "direccional", isto é, vai depender da direcção de solicitação externa. Os adesivos usados na colagem de metais têm normalmente uma excelente resistência ao corte, baixa resistência ao arrancamento e à clivagem e uma boa resistência à tracção. Por outro lado, as superfícies a colar exigem uma preparação mais cuidada do que os outros processos, assim como uma escolha adequada do adesivo de acordo com os aderentes a unir. Um outro factor a considerar é a resistência química da junta adesiva que pode sofrer degradação pela acção do calor, da humidade e de agentes químicos. Após a cura de uma junta adesiva, é muito difícil a descolagem das peças para reparação (a cura é uma operação que origina a solidificação de um adesivo pela ocorrência da reacção de polimerização da resina base com o agente de cura, entre outros aditivos).

Finalmente, o que limita a sua utilização é não existir um teste não-destrutivo para as juntas coladas.

Na base da tecnologia contemporânea dos adesivos está o aparecimento dos adesivos estruturais e, concretamente dos adesivos de Epóxico, atendendo às suas boas propriedades químicas e mecânicas, embora com algumas limitações. Estas são intrínsecas à própria estrutura química do Epóxico de base, designadamente a resistência a temperaturas elevadas e a permanência em ambiente adversos, como por exemplo a presença de água. O efeito da água numa junta colada com um adesivo de epóxico manifesta-se pela perda de adesão entre o adesivo e o aderente metálico, havendo muitas teorias que tentam explicar este fenómeno; no entanto, todas elas são incompletas ao fazê-lo.

Todavia, estes adesivos deram e continuarão a dar contribuições indispensáveis para o desenvolvimento da tecnologia dos adesivos estruturais, com especial destaque para as Indústrias aeronáutica e aeroespacial, e noutros campos que dependam de Adesivos de elevada performance. As ligações adesivas, neste tipo de indústrias, são muito importantes porque permitem a obtenção de boas relações Resistência / Peso, especialmente em estruturas de aviões comerciais, naves espaciais, mísseis e foguetes. Hoje em dia, nota-se a extensão da utilização desta tecnologia às indústrias de grande série, mormente à indústria automóvel. Assim, neste caso específico, e por intermédio de um aquecimento das juntas por indução magnética de alta frequência, consegue-se acelerar a cura na linha de fabricação.

1.2 - ADESIVOS ESTRUTURAIS

O desenvolvimento da ciência dos adesivos possibilitou a introdução de adesivos sintéticos que eram produzidos de harmonia com a utilização que lhe estava destinada, isto é, com propriedades adequadas no sentido de suportarem as solicitações em serviço. Os adesivos utilizados em construção mecânica são, por natureza, materiais da família dos materiais Poliméricos, sendo um Polímero uma longa cadeia de átomos ligados entre si por ligações covalentes. Como exemplo, pode referir-se o caso da molécula de uma amostra típica de Polietileno conter uma média de 50.000 átomos, apresentando um comprimento de ordem de $25.000 \text{ \AA}$ (10^{-10} m).

A produção de um Polímero efectua-se através de um processo designado por polimerização em que as moléculas do Monómero reagem quimicamente para formar cadeias lineares ou uma Rede Tridimensional de cadeias de Polímeros. A principal característica destas cadeias é a ligação química ser forte e direccional ao longo das cadeias, sendo estas ligadas lateralmente pelas fracas ligações de Van Der-Waals, ou ocasionalmente por ligações de hidrogénio.

Se o Polímero é formado por um monómero apenas, a molécula resultante é designada por homopolímero. A utilização de diferentes monómeros na formação de Moléculas traduz-se normalmente pelo aparecimento de melhores propriedades, sendo estes Polímeros designados por copolímeros. No caso de Polímeros de adição ou nos casos em que é usado um simples monómero, o prefixo "Poly" é acrescentado ao nome do monómero. Por exemplo, o etileno polimeriza para dar o Polietileno, o estireno para dar o Poliestireno e o metil-metacrilato para formar o Polimetil-metacrilato. Alguns polímeros de condensação são realizados fazendo reagir dois tipos diferentes de monómeros que formam uma sequência alternada na cadeia Polimérica.

Os adesivos sintéticos resultam, portanto, de reacções de Polimerização entre monómeros, que dependendo da sua estrutura, reactividade e proporção na mistura, originam polímeros de cadeias macromoleculares lineares ou em rede tridimensional.

Nestas reacções intervêm ainda outros componentes, como sejam os agentes de cura (ou endurecedores) - os catalizadores e os solventes que, após a reacção da cura, tornam o sistema resultante bastante complexo. Ainda é possível, para os mesmos parâmetros anteriores, variar as condições de reacção, temperatura, pressão e tempo de cura, o que leva à obtenção de sistemas com estruturas diferentes e que, consequentemente, exibem propriedades distintas. Assim, é possível obter uma grande gama de sistemas pelo que é muito difícil encontrar um modo de classificação que inclua todos os tipos de adesivos. Normalmente, estes são classificados em função da sua origem, estrutura molecular, composição química, modo de apresentação e de aplicação, condições de cura, estabilidade e se são ou não adesivos estruturais [1,2].

Podem classificar-se os adesivos segundo as três famílias características dos materiais Poliméricos:

- Resinas termoplásticas: acrílicas, celulósicas, vinílicas, poliamidas, etc.
- Resinas termoendurecíveis: fenólicas, epóxido, poliéster, poliamida, etc.
- Elastómeros: poliuretanos, nitrilos, policloroprenos, silicones, etc.

Nesta classificação em três grandes grupos, as resinas termoplásticas são polímeros lineares ou ramificados que podem ser fundidos pela adição de calor, podendo ser moldados e remoldados usando técnicas convencionais, permitindo uma fácil deposição das juntas a serem coladas. As resinas termoplásticas podem ser ainda subdivididas em dois grandes grupos diferentes: os materiais cristalinos que cristalizam ao arrefecer e os materiais amorfos que não cristalizam ao arrefecer e que são, normalmente, usados como polímeros vítreos. A capacidade para cristalizar depende de vários factores tais como: o grau de ramificação e a regularidade das suas moléculas. Contudo, as resinas termoplásticas são invariavelmente semi-cristalinas, pois não cristalizam rapidamente quando arrefecidas a partir da fusão.

As resinas termoendurecíveis são polímeros largamente reticulados (pontos de ligação entre cadeias de moléculas) possuindo normalmente uma grande rigidez após a sua polimerização. São constituídas por uma densa rede molecular tridimensional com um grau de reticulação bastante grande, e quando sujeitas à aplicação de calor excessivo, isto conduz à sua degradação em vez da sua fusão.

Relativamente aos elastómetros, estes tanto, podem ser materiais termoendurecíveis como termoplásticos, tudo depende da sua composição. Estes materiais apresentam propriedades elastoméricas, ou seja, elas podem ser extendidas sob a acção de forças elevadas e recuperam rapidamente as suas dimensões iniciais quando a força é retirada. Esta propriedade característica dos elastómeros, está devidamente relacionada com a estrutura molecular do polímero que consiste numa rede macromolecular e levemente reticulada, permitindo o deslizamento das moléculas umas em relação às outras quando o polímero é sujeito a deformações, sendo o fluxo de deslizamento permanente impedido pela reticulação da rede, fazendo com que as moléculas recuperem a sua posição inicial quando é retirada a força aplicada. A presença de reticulantes nos elastómeros impossibilita a sua fusão devido à adição de calor após a reticulação do elastómero; quando se submetem a aquecimentos excessivos, isto conduz à sua degradação.

Assim, a diferença de comportamento dos adesivos (materiais poliméricos), em função da temperatura, tem origem no tipo da sua estrutura molecular, condicionando ou não a sua capacidade de movimentação das cadeias de moléculas entre si, condicionando assim o seu comportamento.

A figura 1 elucida sobre os diferentes tipos de estruturas moleculares dos adesivos referidos [2].

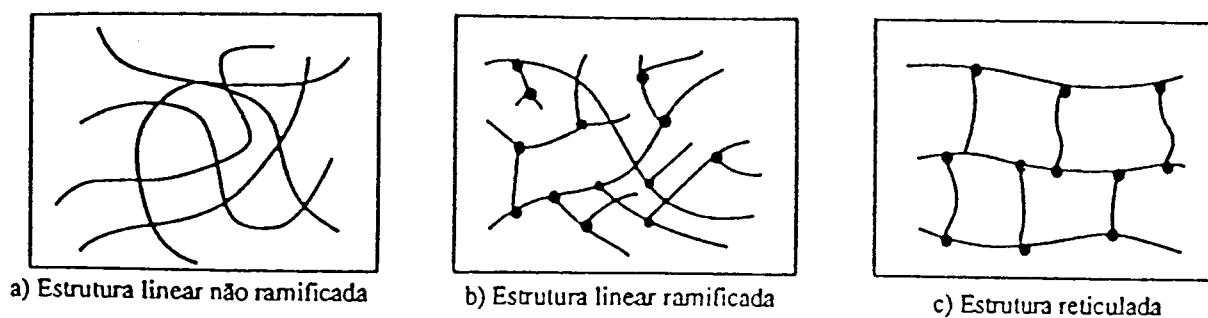


Fig 1 - Estruturas moleculares dos materiais poliméricos.

São cinco as grandes famílias de adesivos estruturais, nomeadamente os anaeróbicos, os acrílicos reactivos, os epóxicos, os cianoacrilatos e os poliuretanos. No Quadro 2 apresentam-se as principais características e aplicações de cada um deles.

TIPO DE ADESIVO	CONSTITUIÇÃO	ENDURECIMENTO	CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS POSITIVAS	CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS NEGATIVAS	APLICAÇÕES
EPOXIDO	Resina e Endurecedor	Dependendo do endurecedor, solidifica com rapidez à temperatura ambiente ou exige aquecimento	Resistência as condições atmosféricas, Resistência a deformação plástica, Resistência ao choque	Rigidez	Indústria aeroespacial (união de peças de alumínio e estas com peças de plástico)
ANAERÓBICOS	Resina acrílica	Solidifica espontaneamente na ausência de ar	Maior ou menor força de ligação conforme se deseja	As peças têm de sofrer manutenção	Travar rosas de porcas e outras peças, em motores e máquinas
ACRÍLICOS REACTIVOS	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.)
CIANOACRILATOS	Tipo especial de um adesivo acrílico	Endurecem com grande rapidez na presença da humidade	Resistência ao choque, Fácil manipulação quando estão líquidos	Mau para o preenchimento de lacunas, Pouca resistência ao calor, Mau comportamento em ambientes húmidos pela sua rapidez em endurecer-se	Indústria electrónica (montagem de peças pequenas) Medicina
ADESIVOS DE POLIURETANO	De um elemento	Endurecem mediante absorção de humidade. O seu endurecimento acelera-se 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 húmidos devido à rapidez de endurecimento	Automação (fixação de pára-brisas e janelas)
ADESIVOS DE POLIURETANO	De dois elementos	Endurecem mais rapidamente na ausência de humidade ou calor	Boa resistência ao choque, Flexíveis e elásticos		Automação (painéis de comando)
COLAS REACTIVAS A QUENTE		Comportamento idêntico ao das colas convencionais aplicadas a quente e, por vezes, reagem com a humidade ambiente endurecendo	Estáveis mesmo a altas temperaturas (180°); Grande força de coesão.	Ligeiramente tóxicos	Móveis, peças de automóvel, caixas de televisão, etc.

QUADRO 2 - Adesivos estruturais mais importantes, propriedades e aplicações.

Esteves [2] apresenta um sistema de classificação de adesivos, incluindo-os, como já disse, em três grandes classes características dos materiais Poliméricos que lhe servem de base: Resinas Termoendurecíveis, Termoplásticos e Elastómeros. As diferenças entre elas residem na rigidez e fragilidade, na Resistência mecânica e térmica e na resistência à acção de Agentes químicos (QUADRO 3).

MATERIAL	PROPRIEDADES			
	Flexibilidade (Resistência)	Resistência Mecânica	Resistência Térmica	Resistência a agentes Químicos
Resinas Termoendurecíveis	má	boa	boa	boa
Resinas Termoplásticas	média	mediocre	mediocre	boa
Elastómeros	muito boa	má	variável	mediocre

QUADRO 3 - Diferentes classes de Materiais Poliméricos e suas propriedades [2].

1.2.1 - ADESIVOS DE EPÓXIDO.

Estes adesivos têm maior consumo na colagem de metal, sobre metal, devido à sua alta resistência mecânica e fácil aplicação. São estes que se apresentam com maior diversidade de aplicações, podendo ser utilizados na Indústria de Construção Mecânica para ligar quase todos os materiais.

Os adesivos epóxicos são comercializados sob a forma de um só componente ou de vários componentes (dois geralmente):

- Um só componente (resina e endurecedor no mesmo componente); líquidos, pastosos (gel), pós, barras, filmes e pastilhas.
- Dois ou mais componentes (o endurecedor é separadamente apresentado); pastoso (gel) ou líquidos.

Nos adesivos epóxicos de um só componente, o seu processo de cura efectua-se normalmente a quente utilizando temperaturas a partir de 120°C, enquanto que para os adesivos de dois componentes a sua cura pode ser processada a partir de

temperaturas de 5°C. O processo de cura dos adesivos epóxicos precisa apenas de um simples posicionamento das peças a serem coladas, não havendo necessidade de aplicar pressão.

No entanto, os de um só componente apresentam uma boa resistência mecânica e uma duração superior, quando comparados com os adesivos epóxicos de dois componentes, e nestes, as propriedades mecânicas dependem do tipo de endurecedor utilizado (anidrido ácido, poliamida, amina alifática, amina aromática, etc). Um caso particular é a utilização dos endurecedores de poliamida para a obtenção de um bom comportamento para temperaturas baixas, de ordem de -200°C. A resistência mecânica destes adesivos, geralmente, não é afectada por temperaturas inferiores a 80°C, sendo algumas resinas comercializadas para serem usadas em aplicações a temperaturas de serviço que rondam os 150°C.

As propriedades destes adesivos modificam-se quando adicionamos outras resinas (poliamida, fenólicas, polisulfido, etc) ou de elastómeros (silicone, poliuretano, nitrilo, etc).

Há diversos tipos de adesivos:

- Epóxico-Fenólicos. Nestes, a fase fenólica garante uma grande estabilidade e resistência ao Corte a temperaturas elevadas, sensivelmente de 200°C. No entanto, têm uma resistência ao arrancamento e à clivagem inferior à dos outros adesivos epóxicos. Comercialmente, apresentam-se sob a forma de fitas que sob acção de pressão podem ser curadas usando uma temperatura de 170°C.
- Epóxico-Polisulfido. Oferecem uma grande versatilidade e são aplicados especialmente para ligar materiais com características térmicas diferenciadas (coeficientes de dilatação ou exposições térmicas diferentes). São resistentes às intempéries e têm vocação em aplicações sujeitas a vibrações e choques.
- Epóxico-Poliamida. Estes assumem a função de agente flexibilizante e de endurecedor e o seu doseamento deverá ser tal que aumente a razão poliamida/Epóxico para ser mais flexível. A cura demora entre 12 a 16 horas, segundo um processo lento à temperatura ambiente.

Dentro deste grupo, há os adesivos comercialmente conhecidos por adesivos "epóxido - nylon ®". São fornecidos na forma de filmes suportados ou não por um tecido de fibra de vidro e foram especialmente concebidos para a Indústria Aeronáutica devido sobretudo à sua boa resistência ao arrancamento, embora a temperaturas da ordem dos -70°C possuam igualmente boas características.

- Epóxido-Nitrilo. O seu desenvolvimento deu-se em 1967 e são constituídos por uma resina epóxido modificada por um copolímero de nitrilobutadieno do tipo do B. F. Googrich's "Hycar". Tem boa resistência ao arrancamento e comercialmente aparecem sob a forma de filmes e podem ser utilizados entre -55 a 120°C , encontrando uma grande aplicação na construção e manutenção de aviões comerciais a jacto.
- Epóxido-Poliuretano. São adesivos termoplásticos e têm finalidades idênticas aos adesivos Epóxido-Poliamidas.

O QUADRO 4 ILUSTRA OS PRINCIPAIS TIPOS DE ADESIVOS ESTRUTURAIS E SUAS PROPRIEDADES.

TIPOS DE ADESIVOS	APRESENTAÇÃO	RESISTÊNCIA AO CORTE [MPa]	TEMPERATURA MÁXIMA DE UTILIZAÇÃO EM CONTÍNUO [°C]	RESISTÊNCIA À FLEXÃO	RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO	RESISTÊNCIA A CHOQUES	RESISTÊNCIA A SOLVENTES
Fenólico - Vinílico	Líquido monocomponente Líquido - Po Filme	17 a 35	100 a 130	boa	média	boa	mediocre
Fenólico-Nitrilo	Líquido monocomponente Filme	15 a 30	140 a 170	boa	média	boa	boa
Anaeróbicos (acrílicos)	Líquido monocomponente	10 a 40	120 a 150	média	boa	boa	média
Cianoacrilato	Líquido monocomponente	10 a 35	80	má	mediocre	má	má
Poliuretano	Líquido de dois componentes	8 a 15	90	boa	média	boa	boa
Polimida	Filme	10 a 15	250 a 300	má	boa	mediocre	boa
Epóxico-Poliâmida	Diversa	15 a 45	80 a 150	mediocre	boa	má	boa
Epóxico-Polisulfida	Líquido de dois componentes	15 a 25	80	boa	mediocre	boa	mediocre
Epóxico-Fenólico	Líquido de dois componentes	15 a 25	80	boa	mediocre	boa	boa
Epóxico-Nitrilo	Filme	20	200 a 250	mediocre	boa	má	boa
	Filme	10 a 46	100 a 120	média	boa	boa	boa

QUADRO 4 - Principais tipos de adesivos estruturais e suas propriedades [2].

1.2.1.1. - Resinas de Epóxico.

Preiswerk e Gauss, em 1944, [5] foram os primeiros a reconhecer as ótimas propriedades adesivas das Resinas de Epóxico. O seu reconhecimento assentou fundamentalmente no facto de terem sido os primeiros a fazer aplicação directa no local de colagem e por demonstrarem possuir uma funcionalidade muito versátil do ponto de vista químico. Mas o grande sucesso dos adesivos de epóxico prende-se com as excelentes propriedades destas resinas, nomeadamente [4]:

- boa resistência mecânica;
- boas propriedades eléctricas e de resistência térmica;
- excelente dureza e resistência química;
- óptima adesão a metais e outros substractos;
- possibilidade de cura rápida ou lenta numa grande gama de temperaturas;
- ausência de água ou de outros produtos voláteis durante a reação de cura;
- baixo grau de encolhimento durante a cura e boas propriedades de molhabilidade sobre o aderente (grau de espalhamento do adesivo).

Assim, é bom referir que estas propriedades são importantes porque, pela primeira vez, foi possível obter juntas adesivas com um baixo nível de tensões residuais, coesão excelente, integridade estrutural, e óptima adesão a qualquer tipo de substractos (por exemplo, era possível a ligação metal-vidro sem problemas de adesão de superfícies irregulares e sem necessidade de aplicar qualquer pressão durante a cura).

A tecnologia dos adesivos evoluiu e conduziu ao desenvolvimento de muitos e diversificados sistemas de adesivos de base epóxico, obtidos segundo várias especificações e critérios de utilização. Mas a grande variedade de adesivos que existem é, no que concerne a formulações, e que diferem nos pré-polímeros de epóxico, nos aditivos e nos agentes de cura a utilizar. Existem assim umas dezenas de conversões de pré-polímeros numa rede reticulada e, igualmente, há também muitos pré-polímeros que contém o peculiar grupo oxirano ou epóxico, anel de três membros.

Como cada uma das formulações referidas exhibe propriedades distintas, uma mesma formulação pode variar a razão resina-epóxico/ agente de cura e induzir na estrutura resultante níveis de reticulação e rigidez diferentes. Esta diversidade de propriedades que se podem obter, depende da formulação do sistema, o que justifica o largo espectro de aplicações estruturais das resinas de epóxico. Enquanto que, por exemplo, o sistema nylon-epóxico, produz juntas muito resistentes a solicitações mecânicas de corte e tracção, as resinas de epóxico fenólico modificadas produzem adesivos bastante resistentes à temperatura.

As principais aplicações dos adesivos de epóxido são, no domínio da ligação estrutural, em menor escala em conjuntos plásticos/metál [5] e em maior escala na Indústria de equipamento militar e aeroespacial.

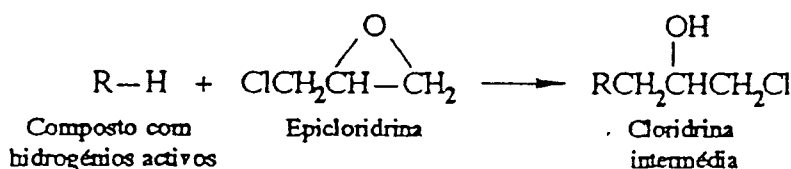
O quadro 5 mostra as principais aplicações dos adesivos estruturais e não estruturais.[2]

TIPO	ADESIVOS	ADERENTES	APLICAÇÕES
Naturais	Amido. Dextrina. Colas de Peixe, Bálsamo do Canadá, etc.	Papel. Cortiça. Têxteis, Madeira, alguns plásticos e metais.	Aplicações. domésticas. embalagem.
Termoplásticos	Derivados da Celulose, Acetato de polivinilo, Álcool de polivinilo, EVA, Acrílicos, Polietileno, Polipropileno, Poliâmidas.	Metais, Madeira, Pele, Têxteis e papel.	Ligações sujeitas a cargas baixas.
Termoendurecíveis	Ureia e Melamina, Formaldeídos, Poliésteres, Epóxidos, Fenólicos.	Metais, Madeira, Cerâmicos e vidro.	Ligações estruturais sujeitas a níveis significativos de tensões em metal ou madeira.
Elastómeros	Borracha natural, Borracha sintética, Poliuretano, Policloropreno, Butadieno-Estireno, Nitrilo.	Plásticos, Borrachas, Tecidos e Pele.	Juntas flexíveis sujeitas a cargas baixas.
Adesivos de dois Polímeros	Fenólicos-Nitrilo, Fenólicos-Neopreno, Fenólicos-Vinílicos, Epóxido-Poliâmida, Epóxido-Polisulfido, Epóxido-Fenólico, Epóxido-Poliuretano, Epóxido-Silicone, Epóxido-Nitrilo	Metais, cerâmicos, vidro e resinas termoendurecíveis.	Estruturas sujeitas a tensões elevadas e condições ambientais de serviço desfavoráveis.

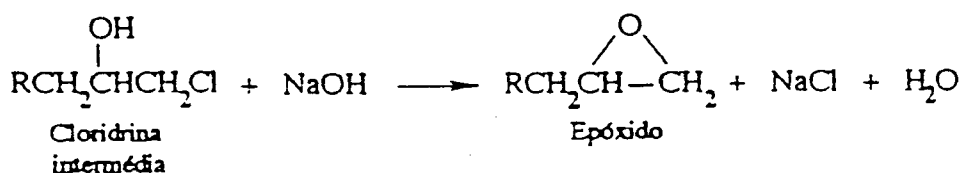
QUADRO 5 - Tipos de adesivos e respectivas aplicações.

1.2.1.2 - Síntese de Resinas Epóxido.

Um dos factores que mais influencia as propriedades de um adesivo, em relação à resina base, é a sua síntese. No tocante aos adesivos de epóxido, as resinas base são as resinas de epóxido que se obtêm a partir da reação entre a epicloridrina e um composto que possua hidrogénios activos segundo a equação seguinte [3]:



Seguidamente, passa-se uma desalogenação por acção duma fase, formando-se o epóxido:



Dependendo do grupo $\textcircled{\text{R}}$, assim teremos as diferentes estruturas de resina de epóxido, alifáticas e aromáticas e, consequentemente, de adesivos de epóxido.

1.2.2 - QUÍMICA DOS ADESIVOS DE EPÓXIDO.

Os adesivos de epóxido envolvem, de acordo com a sua composição química, para além das resinas de Epóxido, uma grande variedade de agentes de cura e de modificadores que não contêm grupos de epóxido [6].

A maioria dos adesivos de epóxido baseiam-se na epicloridrina e no diglicidiléter de bisfenol - A (DGEBA), pré-polímero difuncional [6,7] e na fig. 2 representa-se a sua fórmula de estrutura.

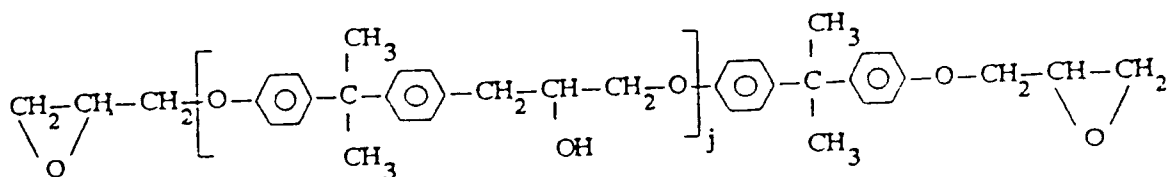


Fig. 2 - Fórmula química do diglicidiléter de bisfenol-A (DGEBA).

Outros pré-polímeros que se usam bastante são o fenil-glicidiléter (PGE), o metil-glicidiléter (MGE), ambos monofuncionais, o tetraglicidil derivado da metileno-anilina (TGMDA), tetrafuncional e o triglicidil derivado do p-amino fenol (TGAP), trifuncional.

Como agentes de cura mais comumente usados são as aminas aromáticas e alifáticas, a melamina e a decianodiamida (DDA), a qual é muito utilizada para colar juntas metálicas (Fig. 3).

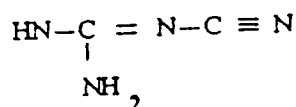


Fig. 3 - Fórmula química da dicianodiamida (DDA).

Portanto, a obtenção de polímeros com diferentes estruturas depende dos pré-polímeros e dos agentes de cura que se fazem reagir, conduzindo naturalmente a reticulações diferentes e, conseqüentemente, a diferentes propriedades. Todavia, não é possível estabelecer uma relação coerente do tipo estrutura/propriedades, devido à complexidade das estruturas resultantes e a muitas outras reacções que ocorrem durante a reticulação, dificultando assim o estabelecimento da estrutura final. A Fig. 4 representa o esquema da reacção entre a DDA e a DGEBA.

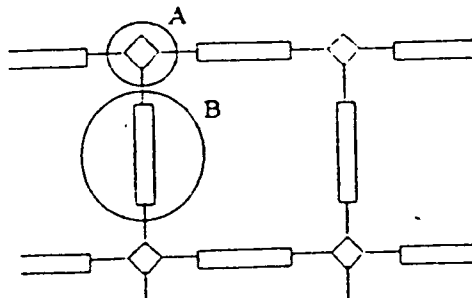


Fig. 4 - Representação esquemática da reticulação do polímero que surge da reacção entre a DDA (A) e a DGEBA (B).

Por vezes é preciso incorporar substâncias modificadoras para melhorar substancialmente as propriedades das resinas epóxico, principalmente, as que se baseiam na DGEBA por serem muito frágeis. Utilizam-se assim reforçantes de suporte, em tecido ou não, aumentando deste modo, a resistência mecânica das resinas [7]. Referem-se exemplarmente os suportes de fibras de vidro, carbono e nylon, muito usados em adesivos de material de alta performance, nos domínios de aeronáutica e da aviação.

De salientar a elevadas resistência ao corte e especialmente ao arrancamento, às temperaturas ambiente e da ordem dos 120°C [1], obtidas em juntas sobrepostas efectuadas com adesivos de epóxico contendo nylon. Também se verificou que, juntas de aderentes em aço apresentam tensões de corte mais baixas do que em juntas de aderentes de alumínio, usando naturalmente um adesivo de epóxico com nylon. No entanto, estes adesivos introduzem muita humidade, visto que o nylon é um material hidrófilo, o que limita a sua utilização na prática. Assim, para aplicações que exijam elevadas resistências ao arrancamento, sobretudo para utilização em aviões, os adesivos de epóxico reforçados com nylon estão especialmente indicados, atendendo às suas propriedades.

1.2.3. - SISTEMA ADESIVO EPÓXIDO / DICLANODIAMIDA.

Como agente de cura de resinas de epóxico, é muito utilizada a diclanodiamida, DDA, apresentando um ponto de fusão elevado, à volta dos 207°C, sendo solúvel em água, álcoois, dimetilformamida e dimetilsulfóxido, mas relativamente insolúvel em solventes menos polares, incluindo as resinas de epóxico. Por isso, uma boa homogeneização do adesivo [8,9] pode ser impedida atendendo à baixa solubilidade das resinas de epóxico.

A reacção da DDA com pré-polímeros de epóxico tem sido estudada por alguns tratadistas [8-12], apesar de não existir acordo em relação a um mecanismo racional geral. Pelo contrário, surgem diferentes possibilidades para o mecanismo racional e diferentes estruturas para os produtos de reacção, sugeridas por cada tratadista.

Segundo Saunders et al e Zahir [8,10,11], que realizaram um importante estudo com o mesmo sistema, constituído pelo pré-polímero fenil glicidiléter (PGE), o agente de cura DDA e o catalizador benzil dimetilamina (BDMA). As conclusões a que ambos chegaram são bastante diferentes, sobretudo nas reacções do grupo nitrilo da DDA..

Os grupos de epóxico reagem com os grupos amina (-NH₂) e imina (ligação dupla C=N) da DDA formando α - hidroxí - N - alquilcianoguanidinas (Fig. 5), formando-se também uma pequena quantidade de polieter (- C - O - C -), de acordo com Saunders.

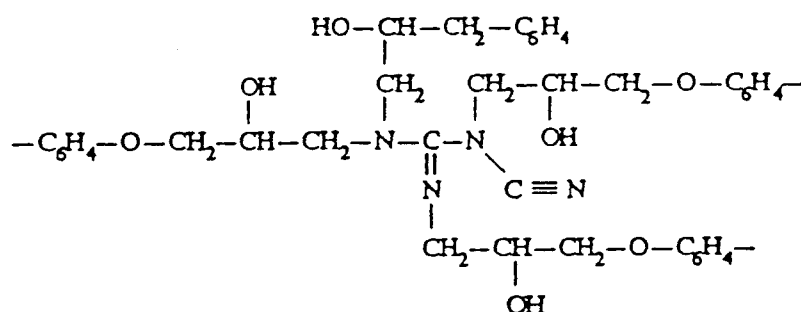
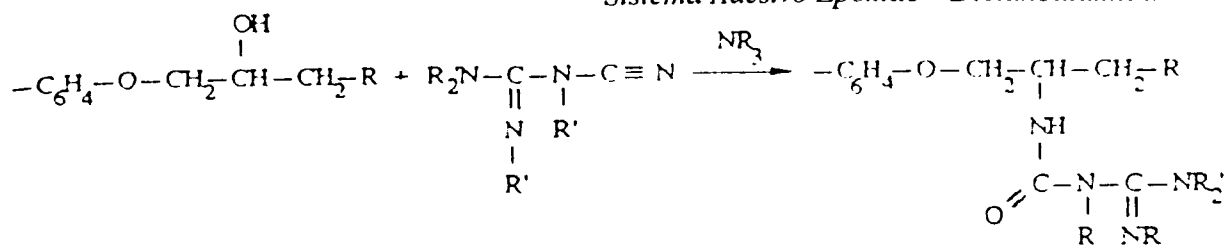


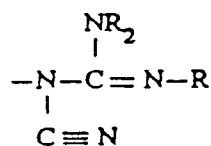
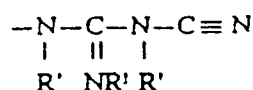
Fig. 5 - Estrutura das α - hidroxí - N - alquilcianoguanidinas segundo

Saunders, como o primeiro produto de reacção entre grupos amina e imina com os epóxidos.

A estrutura referida, que possui grupos hidróxido (-OH), reage depois com os grupos nitrilo (ligação tripla C-N) da DDA, havendo a formação de uma estrutura com grupos imina, esse produto sofre então rearranjos estruturais com formação de ureías (grupo - N - CO - N -), cíclicas ou alifáticas. A estrutura final não é cíclica mas a alifática, de harmonia com o sugerido por Saunders et al, Fig. 6.



onde R pode ser: $-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-$



e R' pode ser: $-\text{H}$ ou $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4$

Fig. 6 - Estrutura final da reacção de epóxico com DDA, segundo Saunders et al.

Os grupos que reagem com os epóxidos são os grupos amina e nitrilo que sofrem, a altas temperaturas, rearranjos intra e intermoleculares com formação de guanilureias cíclicas e alifáticas, respectivamente, (Figs. 7 e 8), isto significa que a dicianodiamida funciona como cianoamida, assim a sugere Zahir.

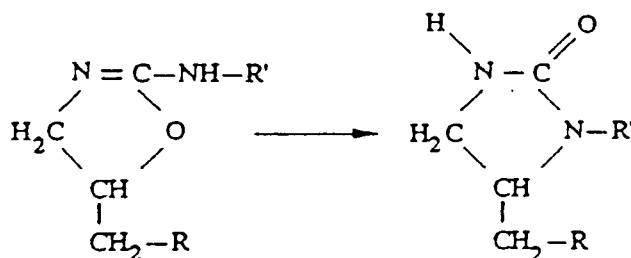


Fig. 7 - Arranjo intramolecular das guanilureias, segundo Zahir et al.

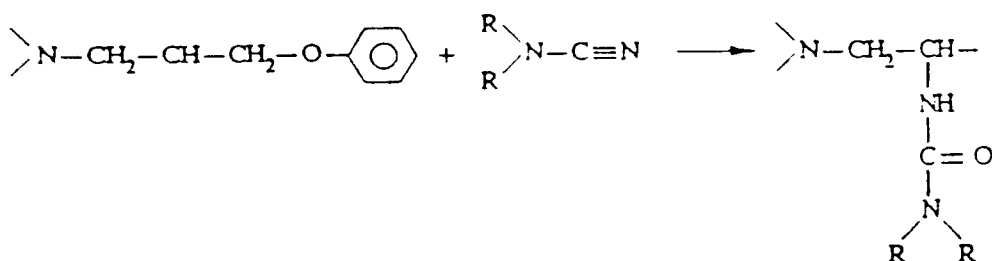


Fig. 8 - Arranjo intermoléculas das guanilureias, segundo Zahir et al.

1.2.4 - REFERÊNCIA ÀS TÉCNICAS EXPERIMENTAIS PARA O ESTUDO QUÍMICO DE UM ADESIVO DE EPÓXIDO

Há várias técnicas que podem ser utilizadas para caracterizar um adesivo de epóxico. Por intermédio delas, pretendeu-se, de um modo geral, caracterizar estruturalmente o adesivo e conhecer algumas das suas propriedades físicas e químicas mais importantes, designadamente a entalpia da reacção, a temperatura de transição vítrea (TG) e a sorção de humidade.

Não farei uma abordagem destas técnicas utilizadas no estudo químico, nem a explicitação das condições de ensaio, definição de parâmetros ou de equações que naturalmente são necessários, para a obtenção dos resultados experimentais, uma vez que não é objectivo deste trabalho a caracterização química do sistema; mas sim a análise do comportamento à fractura de juntas de aço efectuadas com adesivos estruturais sujeitas a envelhecimento, sob certas condições, realizando a seguir ensaios estáticos de tracção sobre algumas juntas e, posteriormente, ensaios de impacto na máquina ROSAND.

No entanto, referirei apenas algumas dessas técnicas, como por exemplo [2,13,14]:

- (SEC) - Cromatografia de exclusão molecular.

- Técnica (FTIR) - Espectroscopia de infravermelhos por transformadas de Fourier, muito usada também em filmes adesivos.
- Técnicas laboratoriais de titulação, como sendo as técnicas: (RMN) - Espectroscopia de ressonância magnética nuclear; (HPLC) - Cromatografia líquida de alta resolução; outras técnicas de espectroscopia de infravermelhos e ainda as técnicas (DSC) - Calorimetria de varrimento diferencial.

1.3 - MECANISMOS DE COLAGEM.

1.3.1. - TRABALHO DE COESÃO E TRABALHO DE ADESÃO.

A primeira condição a verificar-se para que se estabeleça uma ligação adesiva é que o adesivo, que deve ser líquido no momento da aplicação molhe o substracto, isto é, que se espalhe espontâneamente sobre ele.

Considere-se a situação em que se pretende separar uma substância em duas partes; O trabalho de coesão, (W_c) por unidade de área, a realizar para tal clivagem, desprezando-se a dissipação da energia, há-de ser igual à quantidade de energia necessária, para formar as duas novas superfícies unitárias:

$$W_c = 2\gamma \quad (1)$$

em que γ é a variação da energia livre da superfície por unidade de área-tensão superficial.

Quando se pretende separar duas substâncias diferentes pela interface, na qual se verificam interacções, o trabalho de adesão (W_A) será:

$$W_A = \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_{12} \quad (2)$$

em que γ_1 e γ_2 são as tensões superficiais das duas superfícies e γ_{12} é a tensão resultante das suas interacções.

Uma gota líquida sobre uma superfície é sujeita a um conjunto de forças, como se representa na Fig. 9, em que θ é o ângulo de contacto, γ_{LV} e γ_{SV} são as tensões superficiais do líquido e do sólido em equilíbrio com a atmosfera envolvente e γ_{SL} é a tensão resultante das interacções entre o líquido e o sólido.

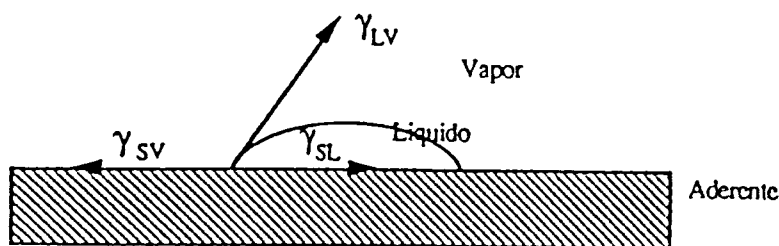


Fig. 9 - Sistema de forças numa gota líquida sobre um sólido [13].

A equação de Young - Dupré traduz o balanço dessas forças no equilíbrio:

$$\gamma_{LV} \cdot \cos \theta = \gamma_{SV} - \gamma_{SL} \quad (3)$$

O trabalho W_A é então:

$$W_A = \gamma_{LV} + \gamma_{SV} - \gamma_{SL} \quad (4)$$

e conjugando as equações (3) e (4); temos:

$$W_A = \gamma_{LV} (1 + \cos \theta) \quad (5)$$

Portanto W_A é :

- proporcional à tensão superficial do líquido e ao $\cos \theta$;
- nunca é nulo, pois todos os líquidos têm tensão superficial;
- é máximo quando $\theta = 0$, sendo então igual ao trabalho de coesão do líquido.

Para um líquido se espalhar sobre um sólido é necessário que o trabalho de coesão seja inferior ao de adesão sobre o sólido. A diferença entre os dois, $S = W_A - W_C$, define o coeficiente de molhabilidade :

$$S = \gamma_{LV} + \gamma_{SV} - \gamma_{SL} - 2\gamma_{LV} \quad (6)$$

$$S = \gamma_{SV} - \gamma_{LV} - \gamma_{SL} \quad (7)$$

Zisman e seus colaboradores [14,15] chegaram, empiricamente, ao conceito de tensão superficial crítica, γ_c , definida como o limite superior da tensão superficial do líquido para se espalhar espontaneamente sobre um sólido determinado. Se e só se $\gamma_{LV} < \gamma_c$ se verifica a molhagem.

Gorduras, ceras e outras impurezas como finas camadas de óxidos sobre aderentes metálicos têm muitas vezes o efeito de baixar a tensão superficial da superfície exposta ao adesivo. Devem por isso ser eliminadas antes de se proceder à colagem.

Com tratamento adequado a adesividade dos substratos pode ser reforçada aumentando a tensão superficial crítica, o que se traduz numa maior probabilidade de encontrar líquidos que sobre elas se espalhem facilmente. Num ponto posterior, desta revisão Bibliográfica, falar-se-á da pré-preparação e preparação das superfícies.

1.3.2 - FACTORES DE RESISTÊNCIA DAS JUNTAS COLADAS

Uma junta colada é formada pelos aderentes e pelo adesivo, unidos através de uma ligação adesiva, ligação esta condicionada por determinados factores que afectam a sua resistência, como são as características mecânicas dos aderentes e do adesivo, a geometria da junta, o tratamento superficial, as solicitações externas e as condições ambientais [2].

Conforme se esquematiza na figura 10, pode ver-se a relação entre estes factores e a resistência das juntas.

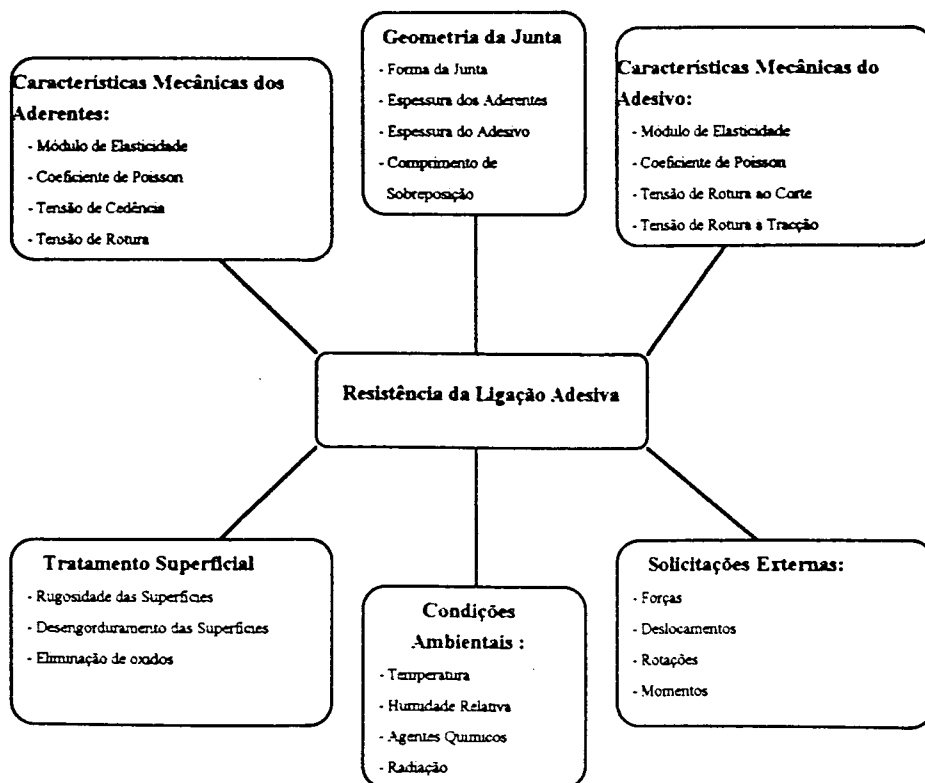


Fig. 10 - Representação esquemática dos principais factores que afectam a resistência da ligação adesiva.

A espessura da camada adesiva é também uma característica funcionalmente importante na resistência da junta. O seu efeito é ainda mais importante quando se utilizam adesivos de alta performance.

Se analisarmos a fórmula de Volkersen [16] ou aquelas que são deduzidas desta, apercebemo-nos que um aumento da espessura da junta de cola provoca uma diminuição das tensões máximas.

Estas observações também foram feitas por outros autores que constataram o decréscimo das tensões específicas, calculadas na vizinhança das descontinuidades, quando a espessura da junta aumenta. Normalmente, são acompanhadas também de aumento da resistência mecânica da junta.

Estas diferentes observações incitam-nos a ter muita atenção para não executar juntas de espessura da camada adesiva muito fraca porque a sua resistência decresce rapidamente. Mas é necessário, também, não aumentar demasiadamente a espessura da cola porque corremos o risco de introduzir defeitos de difícil ou impossível remediação, nomeadamente o caso de bolhas de ar.

Concretamente, podemos esquematizar o comportamento da seguinte maneira:

R cisaillement

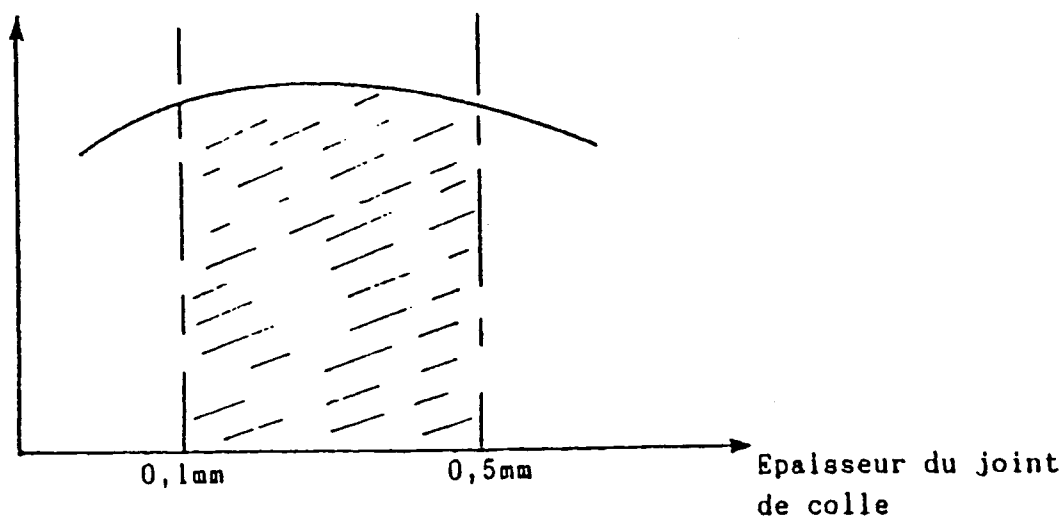


Fig.11 - Curva de variação da resistência ao corte versus espessura da camada adesiva [17].

Dito de outra forma, para ter o melhor compromisso entre a resistência máxima, por um lado, e a ausência de defeito, por outro, a espessura da junta de cola deve ser da ordem de 0.2 a 0.3 mm [17, 18].

O comprimento de sobreposição da junta não deve ser grande por causa dos efeitos parasitas nos extremos.

É melhor ter uma junta mais larga do que comprida para uma mesma área de sobreposição, fig. 12.

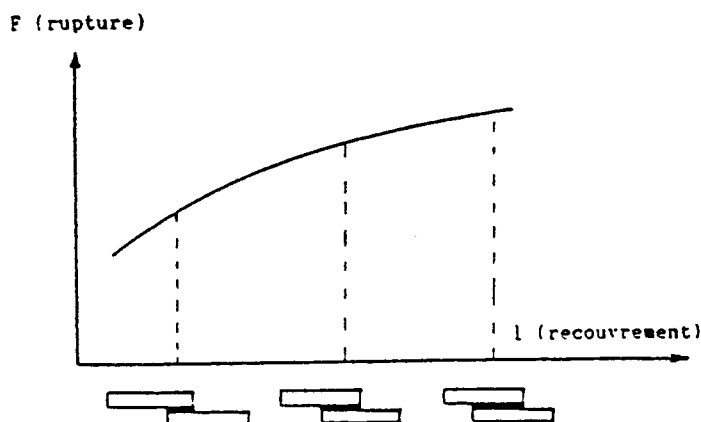


Fig.12 - Evolução da carga de fractura em função do comprimento de sobreposição [17].

Também a espessura do material de base tem influência no valor das tensões de corte da junta. Tudo depende do tipo de junta, mas inicialmente a resistência ao corte aumenta com o acréscimo da espessura do substrato, e a partir de um determinado valor, a tensão de corte mantém-se praticamente constante. Falarei neste assunto no ponto que diz respeito a Ensaaios e Design de Juntas.

1.3.3 - TEORIAS DA ADESÃO

Os fenómenos de adesão são explicados por diferentes e inúmeras teorias e a cada uma delas estão associados resultados experimentais, verificando-se a existência, por vezes, de atitudes contraditórias, o que indica que os fenómenos de adesão não dependem em separado de uma só teoria, mas da associação de mais do

que uma, não permitindo atribuir a uma das teorias um carácter de generalidade na explicação de tais fenómenos.

A adesão é, portanto, um fenómeno essencialmente interfacial no qual estão envolvidas forças químicas e físicas.

A resistência da adesão de uma interface corresponde ao grau de atracção entre duas superfícies unidas e o seu valor depende do teste utilizado na sua avaliação . Na prática, a base molecular da adesão raramente é estruturada, por isso se recorre a interpretações secundárias para a determinação da resistência da adesão.

Assim, a compreensão da teoria da adesão exige, cada vez mais, uma resposta científica, mais concretamente, para provar o papel da sorção química e da difusão nos efeitos de adesão, embora, do ponto de vista químico, o fenómeno de adesão possa resultar da actuação de diferentes forças na Interface Aderente/Adesivo [6]. Estas forças podem ser polares e não polares, como são as forças de Van der Waals (absorção química) e as ligações de hidrogénio (atracção polar muito forte) ou ainda iónicas, covalentes ou de coordenação (absorção química). A natureza exacta destas ligações e a sua importância relativamente ao fenómeno de adesão, nunca foi directamente estabelecido.

No quadro 6 apresentam-se os diferentes tipos de ligações conhecidas, indicando as suas respectivas energias de rotura e as distâncias de interacção das respectivas forças de ligação.

TIPOS DE LIGAÇÕES	ENERGIAS em Kcal/mole	DISTÂNCIA em Å (1Å= 10 ⁻¹⁰ m)
Ligações interatômicas ou primárias Iônica } Covalente } Metálica } Ligações químicas	140 a 250 15 a 170 27 a 85	1 a 2
Ligações intermoleculares ou secundárias Hidrogénio } Dispersão } Orientação } Indução } Ligações do tipo Van der Waals	até 15 até 10 até 5 até 0,5	3 4 a 5 3 a 4 4 a 5

Quadro 6 - Tipo de ligações interatômicas e intermoléculares [6].

Na ausência de uma teoria geral de adesão, observa-se que a adesão se dá quando os átomos ou as moléculas da superfície de um corpo estão suficientemente perto dos átomos ou moléculas da superfície de outro corpo. Deve ser, sensivelmente, da ordem de alguns Angstroms ($1\text{Å} = 10^{-7}\text{mm}$), a distância entre as moléculas ou átomos de dois corpos.

Não há razão, à priori, para se pensar que as forças de adesão sejam de natureza diferente das forças de coesão, sendo as ligações constituídas por estas forças igualmente ligações interatômicas ou intermoleculares.

Tecerei, então, algumas considerações relativamente aos diferentes tipos de ligações e respectivas forças de ligação:

- As ligações primárias são mais sólidas e resistentes que as ligações secundárias;
- As ligações químicas provêm de uma utilização comum ou de uma transferência de electrões entre átomos;
- As ligações de hidrogénio advêm das interacções entre dipolos constituídos por átomos de hidrogénio e de oxigénio ou azoto.

As forças de Van der Waals surgem da interação entre os dipolos das moléculas. Se as moléculas tiverem um dipolo de modo permanente ou induzido, as forças correspondentes serão forças de orientação ou de indução. Todavia, podem ser consideradas forças de dispersão se as moléculas tiverem um dipolo de média nulo mas, no decorrer do tempo, não nulo instantaneamente.

Cumpre-me, antes de mais, referir resumidamente as teorias de adesão existentes [6, 20 - 22]:

- **Teoria da absorção:** Nesta teoria, as interações químicas e físicas são as principais forças de atracção. O adesivo, no estado líquido, fixa-se sobre a superfície sólida do aderente graças às forças intermoleculares que provêm de interações entre os dipolos das moléculas do aderente e do adesivo.
- **Teoria da difusão:** De acordo com esta teoria a adesão é atribuída a uma interpenetração molecular na interface do adesivo e do aderente. As moléculas encontram-se ligadas por efeito mecânico e por forças intermoleculares.
- **Teoria eléctrica:** Explica as forças de atracção na adesão em termos de efeitos electrostáticos na interface; o sistema adesivo/aderente é comparado a um condensador, no qual as armaduras são as duas camadas eléctricas formadas pelo contacto dos dois substratos. A adesão resulta das forças de atracção desenvolvidas entre as duas armaduras.
- **Teoria Mecânica :** O adesivo preenche as microcavidades da superfície ou infiltra-se nos poros, se estes existirem. Na superfície ocorre ancoragem mecânica do adesivo.
- **Teoria da Polaridade:** Nesta teoria, obtêm-se juntas com boas características quando o adesivo e o aderente são ambos polares ou não polares.
- **Teoria da camada limite :** Bikerman em 1968 [23] introduziu uma interpretação teórica da adesão que é a " teoria da camada limite ". Esta teoria propõe a existência, na interface, de uma camada limite finita composta por moléculas absorvidas, que são diferentes, na sua constituição,

das moléculas constituintes do adesivo e do aderente. A Figura 13 mostra um diagrama esquemático da camada limite. Note-se que,

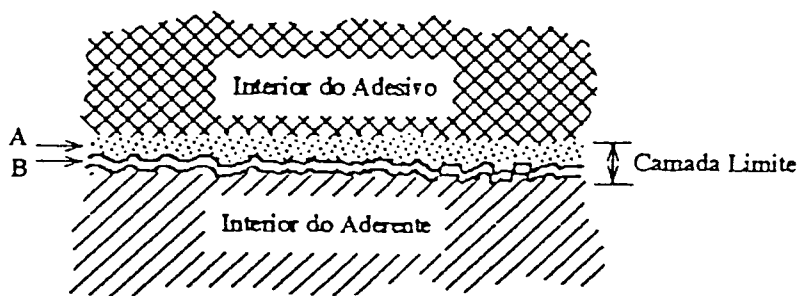


Fig. 13 - Camada limite de uma junta colada na interface Polímero/Metal [6].

a camada limite também inclui a camada superficial do aderente. A fase A corresponde à fase do polímero absorvida cuja espessura pode ir de 10 a 600 Å. A fase B corresponde à fase limite do aderente que possui a mesma rugosidade que a superfície metálica e inclui a camada de óxidos, espécies absorvidas, impurezas, etc. A rugosidade da superfície influencia a sua espessura.

Como já disse atrás, nenhuma teoria é completa para explicar os fenómenos de adesão, mas estes antes serão o resultado da associação de mais do que uma destas teorias.

Contudo, nas ligações por adesão, apesar da grande variedade de factos observados experimentalmente, é bastante provável que se as forças de ligação interatómicas e intermoleculares não existissem, não seria possível obter-se uma ligação por adesão, sendo a adesão considerada mecânica, não uma adesão segundo o próprio sentido do termo, mas por efeito do engrenamento e ancoragem mecânica da ligação. Este mecanismo de ancoragem foi introduzido por Mac Bain [24], em 1926 para analisar a adesão Polímero/Metal. Na presença de asperezas ou de poros o adesivo infiltra-se naturalmente. A rugosidade é um parâmetro preponderante. Ela favorece um aumento da área de contacto entre os dois materiais e um aumento das ligações da interface. Existe uma rugosidade óptima para que a resistência da junta seja máxima (figura 14) - (Charbonnier, 1985 [25]).

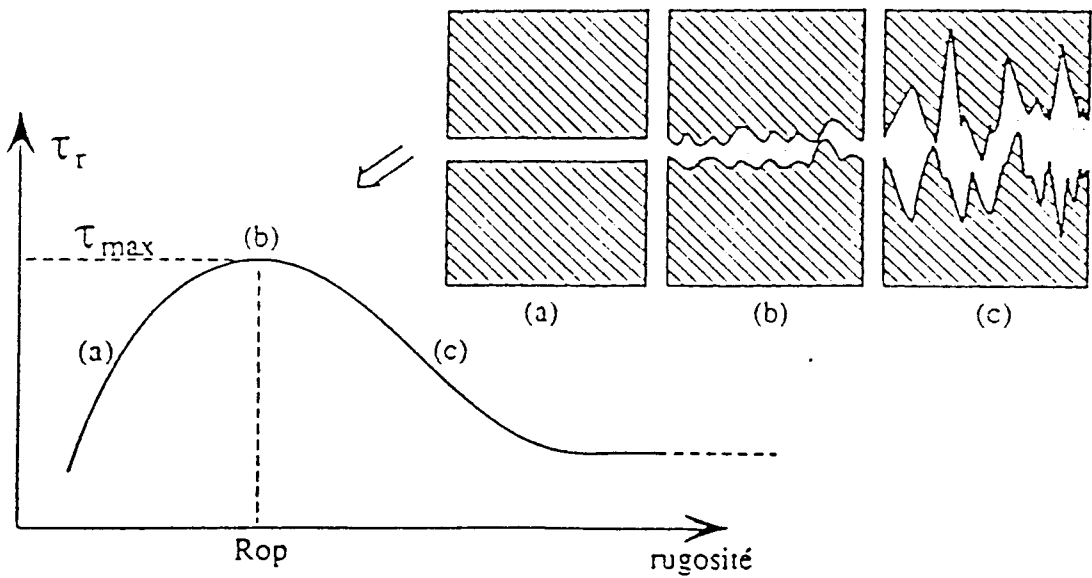


Fig.14 - Evolução da Resistência à rotura em função do parâmetro rugosidade [26].

Estes resultados mostram a influência notável da rugosidade. Na presença de uma superfície lisa (a) ou muito rugosa, a colagem pode ser defeituosa. No primeiro caso, o adesivo não encontra nenhum ponto de ancoragem e adere dificilmente. Com um substrato muito rugoso (c), a cola não penetra o suficiente nas cavidades. Os vazios adivinham zonas de concentração de tensões (figura 14). O adesivo, quando no estado líquido, deve apresentar boas propriedades de molhagem para garantir um bom casamento com o substrato.

Neste caso, Sharpe e Schonhorn (1963) [27], desenvolveram a teoria da molhagem ou termodinâmica .

As forças de ligação primárias e secundárias tornam-se rapidamente desprezáveis quando a distância entre os "pontos activos" (zonas onde se produzem forças de ligação) passa a ser superior a $5A^\circ$, conforme pode ser observado na figura 15. Conclui-se assim que para a obtenção de uma boa colagem [2,20] é necessário proceder à aproximação o mais perto possível dos "pontos activos" do adesivo aos "pontos activos da superfície do aderente ".

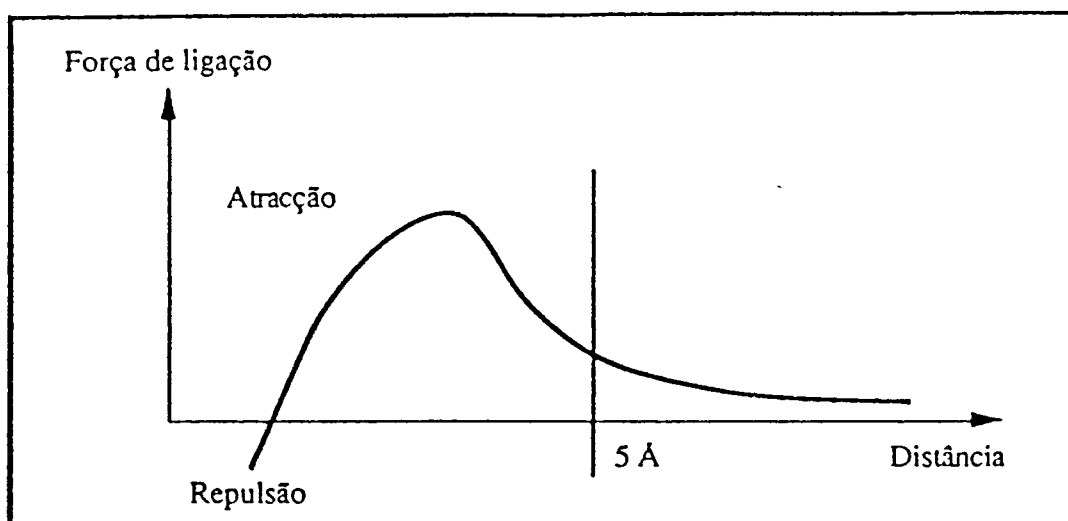


Fig.15 - Variação das Forças de ligação versus distâncias interatômicas e intermoleculares .

Quando a proximidade entre os corpos não permite o estabelecimento de nenhuma daquelas ligações, diz-se que a adesão é mecânica e que resulta da ancoragem mecânica entre o adesivo e o aderente.

Outro factor importante no estabelecimento das ligações referidas é o tipo de grupos funcionais presentes, quer no adesivo quer no aderente. É por intermédio desses grupos que as ligações se estabelecem e consoante a sua natureza, podemos ter a formação de ligações metálicas, de hidrogénio e até covalentes. Quando o aderente é um metal, o Quadro 7 mostra alguns dos grupos funcionais mais comuns em adesivos e as ligações que se estabelecem neste caso.

1.3.3.1 - Aspectos tecnológicos

A ligação de juntas, por colagem, envolve uma preparação que consta na [20]:

- Criação de pontos activos sobre a superfície do aderente compatíveis com os pontos activos do adesivo;

- Aproximação ao máximo do maior número de pares de pontos activos do adesivo e do aderente, criando o maior número de pontos de ligação possíveis.
- Garantia de solidez dos pontos de ligação obtidos.

A operação desenvolve-se em três etapas.

A realização da primeira etapa consiste em obter uma preparação adequada da superfície, de modo a eliminar corpos estranhos fixos à superfície do aderente, eliminando obstáculos à aproximação dos corpos a serem ligados. Consideram-se corpos estranhos diversificados, água, óxidos, gorduras, poeiras etc.

Assim a superfície metálica deve sofrer um tratamento superficial, antes de aplicação do adesivo, de modo a assegurar, posteriormente, uma boa aderência do adesivo [4].

Excluindo adesivos especiais e conforme o objectivo as superfícies podem ser pré-peradas por:

- Desengorduramento
- Abrasão da superfície e desengorduramento
- Tratamento químico

a que normalmente correspondem juntas com :

- Adesão moderada e fraca durabilidade
- Boa adesão e durabilidade moderada
- Óptima adesão e boa durabilidade

- Desengorduramento -

Esta operação tem como finalidade a remoção de óleos, gorduras e outras sujidades da superfície.

Consiste em lavagem com um solvente apropriado ou em imersão numa atmosfera de vapores desengordurantes.

Após o desengorduramento é comum fazer-se uma limpeza com um produto alcalino.

Muitas vezes associa-se a esta técnica o uso de outras como o ataque com ácidos ou técnicas abrasivas. Estes últimos removem as camadas de óxidos superficiais, mas formam-se outras camadas logo a seguir. A presença destes óxidos na superfície é fundamental uma vez que são estes que após sofrerem hidratação induzem ao aparecimento dos grupos hidróxilo que irão reagir com os grupos polares do adesivo, estabelecendo assim a ligação aderente/adesivo [4]. No entanto, estes grupos podem-se, simultaneamente tornar responsáveis pela deteriorização da junta adesiva porque permitem a ocorrência de interações com a água e com outros contaminantes polares em que o mesmo tipo de ligações se podem estabelecer. Portanto, a abrasão das superfícies a colar tem como objectivo alterar as suas texturas de modo a aumentar a adesividade.

Entre partículas atômicas e moleculares existem como já vimos, forças de atracção e repulsão que, como sabemos, variam de formas diferentes com a distância relativa, alterando o potencial interpartícula, como mostra a figura 16.

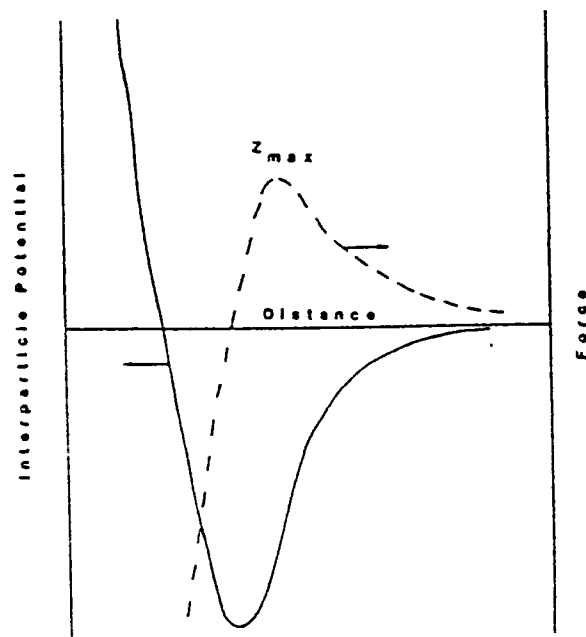


Fig. 16 - Força e Potencial interpartícula, em função da distância relativa [14].

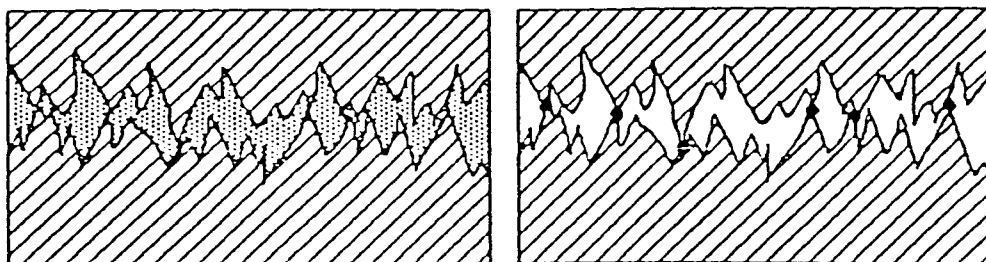
Para distâncias muito pequenas, as forças de repulsão são dominantes e as partículas repelem-se. Para distâncias grandes os dois tipos de forças equilibram-se. Mas há uma gama de afastamentos em que as forças de atracção são superiores às de repulsão, atingindo-se o mínimo de Potencial. Estes afastamentos, variáveis com o tipo de partículas em causa, são da ordem dos 0.1 mm.

Se fosse possível aproximar duas superfícies a colar, de forma a que as suas partículas se pudessem aproximar até a tal ponto, as forças de atracção garantiriam uma colagem perfeita. Não seriam necessários adesivos.

Na prática, com superfícies muito regulares observa-se de facto um certo grau de adesão, mas apenas pontualmente entre pequeníssimas áreas.

Por aplicação de pressão é possível deformar as superfícies e aumentar a área de contacto íntimo. No entanto, a maioria da energia de deformação é conservada sobre a forma de energia elástica que, logo que a pressão deixa de actuar, é usada para romper as ligações adesivas entretanto estabelecidas.

A segunda etapa consiste na aplicação cuidada do adesivo sobre a superfície metálica de modo a evitar a presença de bolhas de ar na interface entre os dois materiais, para o que o adesivo deverá apresentar uma boa fluidez e uma tensão superficial menor do que a do aderente, isto é $\gamma_c < \gamma_s$, o que se verifica quase sempre no caso da colagem de metais, que têm tensões superficiais da ordem de 500 a 800 erg/cm^2 , sendo a dos adesivos normalmente inferior a 50 erg/cm^2 . Como a superfície do aderente, normalmente, não se deforma, têm que ser as moléculas do adesivo a aproximar-se desta superfície assegurando uma boa união entre as rugosidades da superfície e do adesivo (figura 17).



a) Contacto sem deformação,
com baixo número de ponto de contacto

b) superfícies coladas, com muito
maior número de pontos de contacto

Fig. 17 - Rugosidade média entre duas superfícies e seu contacto [2].

O adesivo ao ser aplicado, em forma líquida, deve preencher, portanto, todos os interstícios de ambas as superfícies, formando, ao solidificar entre elas, uma interface em contacto íntimo com ambas.

Como já vimos, a rugosidade r tem então que ser considerada nos processos de adesão; é normalmente definida como [14].

$$r = \frac{\text{Área Superficial Total}}{\text{Área geométrica aparente}}$$

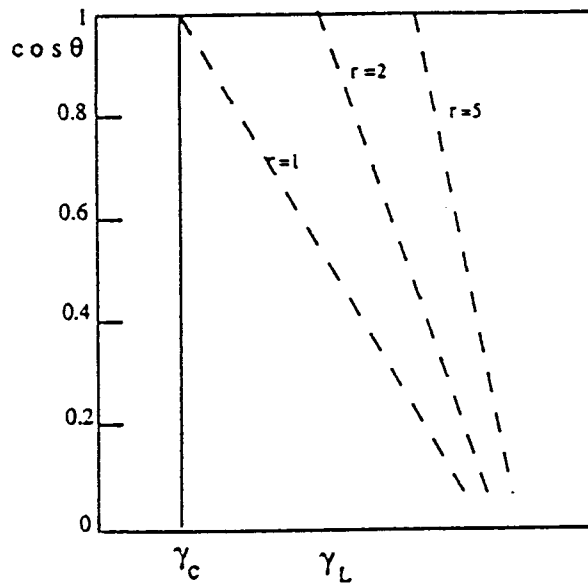


Fig. 18 - Influência da rugosidade do substrato sobre γ_c - Representação gráfica segundo Zisman [15].

D. Eagland [15] define rugosidade como a razão entre os cosenos dos ângulos de contacto real e ideal, entre o líquido e o substrato.

$$r = \frac{\cos \theta_r}{\cos \theta}$$

e redefine o trabalho de adesão e a tensão superficial crítica de superfícies reais:

$$W_{Ar} = W_A + (r-1)(\gamma_{SV} - \gamma_{SL})$$

$$\gamma_{Cr} = \gamma_c + (r-1).rb$$

em que b é o declive da recta definida pela relação existente entre $\cos\theta$ e a tensão superficial dos líquidos que molham um substracto (figura 18).

A terceira e última etapa consiste na cura do adesivo, pois o adesivo vai endurecer e estabelecer fortes ligações com a superfície metálica.

A ligação mecânica pode também ser importante na resistência final da junta, principalmente se a superfície metálica for previamente preparada de modo a produzir uma camada rugosa, porosa ou oxidada, regiões onde o adesivo pode ficar retido após a cura, por nelas poder ter penetrado [4].

1.3.3.1.1 - Tratamento de superfície

Como já disse, a eliminação das partes poluídas pode ser realizada por diferentes processos:

- Por via mecânica (jacto de areia, abrasão);
- Por via química (solventes, decapagem);
- Por combinação destes dois tratamentos, quando as performances devem ser optimizadas.

1) Tratamentos mecânicos - jactos de ar .

Consistem em projectar particulas abrasivas na superfície a tratar. Os pós adesivos são, em geral, óxidos muito duros por exemplo AL_2O_3 ou então carbonetos (Ex. SiC). Estas particulas são interessantes porque têm arestas vivas cortantes. Estes pós abrasivos têm melhor performance que a areia (SiO_2), porque esta é menos dura e as suas arestas são menos cortantes. O jacto de areia é essencialmente utilizado para superfícies metálicas. No entanto, após o tratamento, recomendam-se as seguintes precauções:

- Atenção à limpeza das superfícies e o uso de luvas é aconselhado.
- As superfícies tratadas podem ser protegidas por um filme de etileno ou por um induto primário de adesão.

- No caso de tratamento por jactos de areia de chapas finas, corre-se o risco de empenamento. Os metais mais duros (Ex: aço) necessitam de pressões mais elevadas e deformam-se mais. A solução é tratar de igual modo a superfície oposta.

2) Abrasão por lixagem

O inconveniente deste método reside na substituição de partículas na superfície que serão eliminadas por decação química (haver risco de decação química). Será de evitar no caso dos metais, nomeadamente metais macios. Observe-se o Quadro 8.

	JACTOS DE AR 0 50<0<100 mm	LIXAGEM	
		Granulometria 120 - 240	Granulometria 320 - 400
Al + Ligas			
Cr + Ligas			
Cu + Ligas			
Fl + Ligas			
Metais Preciosos (Ag, Au, Pt)			
Ni + Ligas			
Ti + Ligas			
Zn			

QUADRO 8 - Tratamentos mecânicos usados em muitos metais e ligas [17].

3) Limpeza por ultrasons

É um tratamento que é simultaneamente mecânico e químico. As ondas são emitidas por vibração de lamelas de quartzo dentro do domínio ultrasonoro

(frequências compreendidas entre 20.000 Hz e alguns MHzs) . A peça deverá ser imersa no líquido, este mesmo condicionado numa cuba especial, dita cuba de ultrasons. A propagação da onda sonora traduz-se em vibração das moléculas do líquido. Cada elemento líquido é então objecto de sobrepressão-depressão em volta de uma posição de equilíbrio. A partir de determinado momento a pressão gerada fica inferior à pressão de vapor saturante do líquido. Verifica-se então a formação de bolhas de vapor (cavitação). A explosão das bolhas provoca pressões muito elevadas em espaços curtos.

Estas variações de pressão por cavitação são então suficientes para destacar os corpos estranhos à superfície. É um processo eficaz em banhos solventes, e é caro.

4) Limpeza por solventes

Tem por base retirar vestígios de óleos ou gorduras , fontes de má molhabilidade e aderência.

É, no entanto, importante notar que essas manchas de gordura nunca serão totalmente limpas, pois fica sempre uma camada monomolecular à superfície do material. Esta limpeza, pode ser suficiente no caso das colagens não estruturais, mas é a primeira fase de um tratamento, no caso de uma colagem estrutural. Decapagens básicas ou ácidas serão, então, necessárias para activar as superfícies. Há diversos tipos de solventes, nomeadamente os hidrocarbonetos alifáticos, aromáticos e alifáticos halogenados.

Então como escolher um solvente ?

Interessam os seguintes critérios:

- Poder solvente;
- Ponto de ebulição;
- Concentração limite para a segurança;
- Inércia relativamente aos materiais a limpar ;
- Reacção com água (caso de peças húmidas).

Como utilizar os solventes ?

— A limpeza, a quente, atinge altas performances e realiza-se de duas maneiras :

- Por imersão (inconveniente - Contaminação do banho e sujar as outras peças);
- Em fase de vapor. O contacto do vapor com a superfície fria provoca o escorrimento da superfície. A limpeza acaba quando a peça atinge a temperatura do vapor.

5) *Limpeza alcalina*

Geralmente, faz-se este tratamento tendo em vista outros tratamentos químicos. Os banhos utilizados são à base de hidróxidos, carbonatos ou fosfatos de sódio, aos quais se adicionam agentes complexantes e tensoactivos.

Princípio:

Considerando um filme gorduroso numa superfície metálica pode o mecanismo de reacção ser decomposto em duas fases:

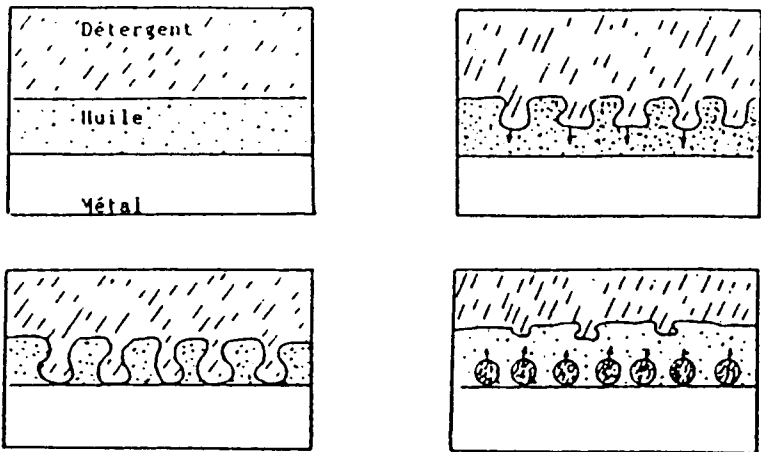
1ª - Penetração do filme gorduroso pelas moléculas tensoactivas (Fig.19).

2ª - Deslocamento do filme na solução detergente (Fig.20).

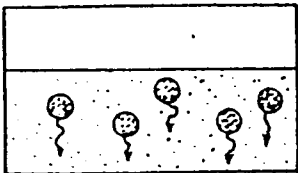
No caso de partículas sólidas, no seio de um líquido, fala-se então de peptização e floculização. Há uma reacção entre os elementos básicos dos detergentes e os ácidos contidos nas gorduras.

6) *Decapagem química*

Os metais, quase sempre, têm uma camada de óxidos ou hidróxidos.



- Fig. 19 -



- Fig. 20 -

O princípio de decapagem química dos metais reside na solubilidade de alguns desses óxidos, hidróxidos e outros compostos de superfície, nos ácidos. Os ácidos mais utilizados são: H_2SO_4 , Hcl , HNO_3 e HF Em alguns casos as bases fortes são utilizadas (exemplo : sódio). Para aços, excepto casos inoxidáveis, ver o Quadro 9 [17].

METAIS	COMPOSIÇÕES POSSÍVEIS
Aços não Inoxidáveis	Oxidos : - Hematite: Fe_2O_3 Hidróxidos : $Fe(OH)_2$ - Magnetite: Fe_2O_4 Hidróxidos : $Fe(OH)_3$ - Ostite: FeO Ferrugem: Fe_3O_4 : Magnetite. + Fe_2O_3 , H_2O : Goetite + FeO, H_2O : Lepidocrocite .

QUADRO 9 - Exemplo de óxidos e hidróxidos usados para aços não inoxidáveis [17].

1.3.3.1.2 - Aplicação do adesivo

As performances de um adesivo de ligação dependem não só do produto utilizado, mas também do modo como é aplicado. Partindo do princípio de que:

O adesivo foi bem escolhido;

A optimização geométrica e mecânica da junta também foi conseguida;

Um ou mais tratamentos de superfície foram bem executados.

Posto isto, cabe ao utilizador colocar o adesivo e executar a colagem convenientemente. Neste último caso, podem aparecer apenas erros.

Técnicas utilizadas na colagem:

- Projecção ou pulverização;
- Vazamento ;

1) Aplicação por vazamento

Pode ser realizada por gravidade ou por pressão. A repartição do produto pode ser feita manualmente com o pincel ou com espátula, via artesanal. Pode ser também realizado por meios industriais:

- Vazamento por pontos que consiste na distribuição regular das gotículas de volume bem definido;
- Vazamento por cordões, com distribuição contínua do produto sob a forma de cordão;
- Vazamento por endução (camada homogénia).

2) Pulverização

Esta pode fazer-se por:

- Pulverização de alta e baixa pressão;
- Pulverização a quente (o calor destina-se a diminuir a viscosidade da cola).

- Pulverização electrostática. (O campo eléctrico destina-se a criar uma polaridade diferente entre o substrato e o adesivo).

Tendo em vista um Processo Industrial, há que ter em conta se o adesivo é mono ou biconstituinte. Neste último, a mistura deve ser realizada numa cavidade antes de ser aplicada. Além disso, tem que se ver se se trata ou não de um adesivo em meio solvente e deverá saber-se como se faz a vaporização dos solventes. A viscosidade deve ser adaptada aos meios de execução e deve também ter-se em conta a sua variação em função da temperatura. Os adesivos são agitados antes de se usarem, evitando problemas de sedimentação, e ter o Stock num meio ambiente bem estabilizado e controlado, sendo isto o garante de juntas de alta performance e alta durabilidade. O local onde se faz a colagem deve ser limpo, ventilado, estritamente reservado para esse efeito (laboratório de adesivos) e as operações de tratamento de superfícies devem ser feitas em sítio diferente . evitar a contaminação por agentes de desmoldagem (exp. - Silicone). As condições de temperatura devem ser bem controladas (18° - 25°), e ter o cuidado de não contaminar novamente as peças, antes da colagem, usando luvas .

A realização prática da colagem, implica:

- Preparação da Instalação;
- Aplicação da cola;
- Colocação das peças;
- Colocação dos dispositivos de sujeição ou fixação, se necessário.
- Afinação da espessura da junta;
- Aplicação de pressão necessária, seja uma sujeição, seja uma polimerização;
- Ciclo de cura necessário à polimerização;
- Retirar as peças delicadamente porque ainda estão quentes e a junta pode deformar-se.

O posicionamento das peças a colar é também importante, devendo ser tomadas certas precauções, nomeadamente, quando se ligam as chapas há que evitar rebarbas e no caso de ligações coaxiais o adesivo deve ser repartido de uma forma

uniforme. Os dispositivos de fixação servem para manter as peças a colar sob pressão, no sentido de:

- Manter as superfícies em contacto durante o endurecimento do adesivo (cola);
- Evitar sobreespessuras de cola;
- Permitir uma boa molhabilidade das cavidades;
- Evitar a formação de bolhas de gás e de água, no caso de colas que endurecem por policondensação (ex: Adesivos tipo fenólico).

Caso contrário, a acção da gravidade chega. No entanto, é necessário evitar que as peças se desloquem umas em relação às outras, havendo necessidade, neste caso, de prever serra-juntas, pinças, etc.

Em qualquer dos casos, é importante prestar atenção à pressão exercida durante a colagem, que não deve ser superior à pressão máxima prescrita pelo fabricante de adesivos, evitando que o adesivo seja expulso da junta. Refiro como elementos de sujeição, os seguintes:

- Pinças, serra-juntas, dispositivos especiais elásticos, molas, cavilhas, etc.;
- Prensas planas, prensas de rolos, etc.;
- Sistemas deformáveis sob pressão (elementos de borracha...) ou por vácuo e sacos de plástico;

A espessura da junta de cola e a sua homogeneidade são parâmetros importantes para a optimização geométrica e mecânica da mesma. Esta deve ser da ordem de 0,1 a 0,2 mm para ser óptima.

Para conseguir esse valor 0,1 a 0,2mm podem encarar-se as seguintes soluções:

- Utilização de microesferas de vidro calibradas;
- Utilização de calços.

Este último método, se não for convenientemente executado, pode introduzir dispersões nas características obtidas.

- Utilização de fios calibrados.

1.3.3.1.3. - Processos de cura.

O processo de colagem de duas superfícies por um adesivo tem como principal finalidade que a junta assim resultante apresente a máxima resistência, tanto à aplicação de forças externas, como a condições ambientais desfavoráveis.

Como já foi referido, para que ocorra um contacto íntimo interfacial, o adesivo deve encontrar-se no estado líquido com baixa viscosidade. Porém, para que a junta obedeça aos seus objectivos, terá de ser rígida e resistente. Esta modificação de fase do adesivo é designada por cura, e consiste num endurecimento do material.

A cura dos adesivos líquidos pode ser efectuada por vários processos.

- 1) Endurecimento por remoção do solvente ou do meio dispersante;
- 2) Arrefecimento;
- 3) Reacção química.

Existem outros adesivos que não têm que passar por este processo, por já se encontrarem devidamente polimerizados.

Quando os adesivos já se encontram polimerizados, mas estão dissolvidos ou dispersos num meio orgânico ou em água, têm de ser endurecidos por remoção do solvente ou do meio dispersante.

Os termoplásticos fundem quando aquecidos, como já disse, e só solidificam quando são arrefecidos.

O endurecimento é feito por reacção química quando a polimerização se dá no local da aplicação.

Os adesivos de epóxido são, como já referi, os mais usados devido aos excelentes resultados que apresentam. A sua constituição e caracterização do ponto de vista químico, já foi feita. Uma reacção de endurecimento típica é característica da reacção do éter diglicil de bisfenol A (contendo dois grupos oxiranos, peculiares dos compostos epóxidos) com uma diamina primária, resultando um adesivo de epóxido.

As cadeias moleculares originam uma rede tridimensional cuja massa e viscosidade vão aumentando até se formar uma rede infinita. Atinge-se assim o ponto de gelificação, o polímero deixa de fluir e solidifica.

A gama de temperaturas a que dá a gelificação, influencia muitas características importantes da ligação final resultante. Deve, por este motivo, ser cuidadosamente estudada.

A temperatura de cura, assim como as proporções de resina ou endurecedor, são condicionadas pelos tipos comerciais dos produtos a utilizar. Na formulação industrial dos produtos encontram-se determinados aditivos (plasticizantes, anti-óxidantes, anti-sedimentantes, catalizadores, etc.), que influenciam as características químicas do adesivo e as propriedades mecânicas das juntas. Por esta razão é recomendado seguir as instruções dos fornecedores dos produtos, a menos que se opte por formular um adesivo com as especificações referidas.

É necessário procurar o melhor compromisso temperatura-tempo, o que se traduz, simultaneamente, por uma reactividade o mais adaptada possível com os imperativos de produção e para uma temperatura de transição vítrea (T_f), o mais alta possível. Os materiais utilizados são fornos a circulação de ar com resistência de aquecimento.

Portanto, a fase de colagem é importante porque a segurança da ligação depende do bom desenrolar da operação. Assim, há que ter cuidado para evitar erros [17].

1.3.3.2. - Tratamentos de superfície dos aços para adesivos de epóxico.

Natureza da superfície: Quando o meio é seco, a superfície de um aço ordinário ou de liga é formada por diferentes óxidos, a saber (FeO , só existe quando a temperatura é superior a 570°C). Quando a superfície está num meio húmido, as moléculas de água penetram nos poros, e começa então o processo de formação de ferrugem, constituída pelos seguintes elementos: Magnetite, Goetite e Lepidocrite, Fig. 21.

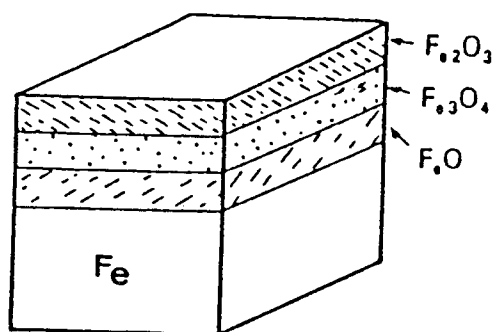


Fig. 21 - Formação dos óxidos e hidróxidos à superfície do aço.

Estes óxidos e hidróxidos, sendo de pouca aderência e de fraca coerência, deverão ser eliminados por meio de tratamentos:

1) Tratamentos mecânicos.

Utilizamos jactos de areia ou lixamento.

No caso de jactos de areia é necessário ter em atenção as deformações geradas pelas tensões de compressão, nomeadamente no caso de chapas finas.

2) Tratamentos químicos.

Utilizam-se geralmente os ácidos clorídricos (HCl) e sulfúricos (H_2SO_4). O inconveniente é que provocam uma camada negra que deve ser eliminada com escova aquando da lavagem.

Alguns exemplos de tratamento:

Exemplo 1

- Desengorduramento em fase solvente 10 a 20 min.;
- Decapagem por jacto de areia fina ou lixamento;
- Lavagem mais escovagem;
- Desengordurar com solvente durante 10 min.

- Desengordurar com solvente durante 10 min.

Exemplo 2

- Desengorduramento na fase solvente, 10 a 20 min;
- Decapagem num banho de Hcl + H₂O (Densidade do Hcl 1,86 + H₂O), durante 5 a 10 min a 20°C.
- Lavagem em água corrente destilada;
- Secagem durante 10 min a 90°C.

O tratamento dos aços de alta resistência (estrutura martensítica, martensítica revenida e bainítica), corresponde a durezas superiores a 350 a 400 HB, pode conduzir à fragilização pelo hidrogénio. Esta fragilização pode provocar roturas frágeis brutais, não permissíveis, durante o serviço.

Para anular este efeito, há um tratamento de desidrogenação, consistindo em aquecer a peça a uma temperatura de 200°C, durante algumas horas [17].

A Norma [19], especifica tratamentos adequados e diversificados para as superfícies dos aços.

1.3.3.3. - Adesão metal/Resina de epóxido

Segundo Randall (1986) e Brockman (1987) a adesão resina de epóxido/metal produz-se por intermédio de grupos hidroxido. Ao ar livre forma-se, em geral, uma camada de óxido à superfície do metal. Em presença da água as moléculas de H₂O misturam-se com óxidos para formar os grupos hidroxido. Há, então, à superfície uma molécula contendo um átomo de hidrogénio e um átomo de oxigénio electronegativo (figura 22). A superfície apresenta-se fortemente polarizada e vai poder interagir com os grupos polares X da resina de epóxido (figura 23).

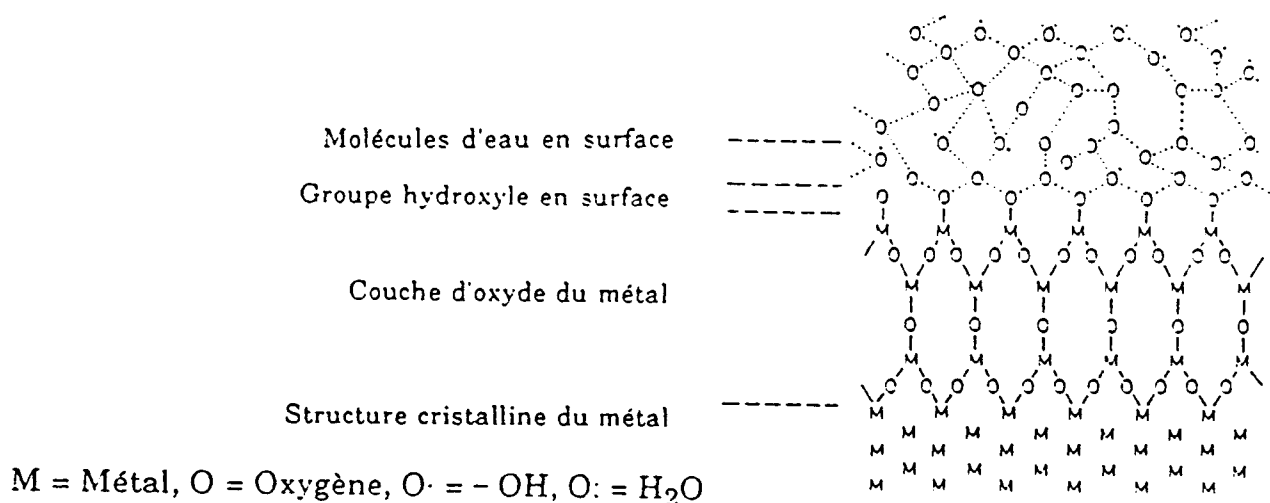


Fig. 22 - Representação esquemática da camada superficial à superfície do metal (Randall 1986) [26].

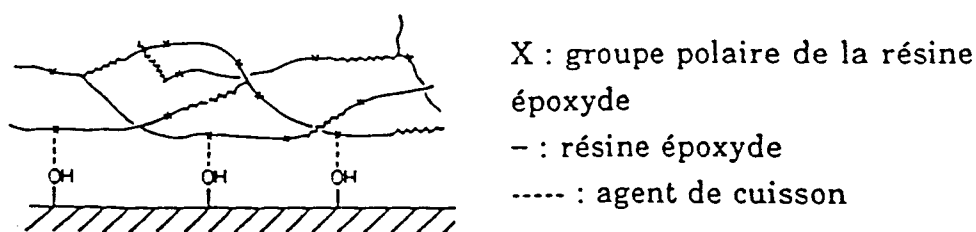
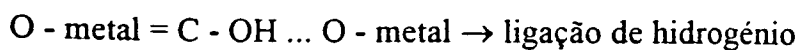
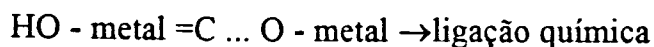


Fig. 23 - Representação esquemática das interações entre a Resina de Epóxico e o metal (Randall 1986) [26].

O grupo funcional epóxico por abertura do ponto oferece uma ligação química e uma ligação de hidrogénio com o metal:



Randall considera que um desivo adere facilmente à maior parte dos metais pelo facto de existir aquela camada de óxido na superfície. A adesão resina de epóxico/metal, caracteriza-se então por uma ligação de hidrogénio de forte energia.

Contudo, os contaminantes não polares são susceptíveis de existir ou de se instalar à superfície do metal, e de interferir na aproximação dos pontos activos da

cola e do substrato. Eles, apresentam-se em camada fina e são de natureza muito variada. Os substratos utilizados podem ser de produtos industriais vulgares, tais como chapas de aço. Os contaminantes são então, as crostas de laminagem, dos óleos e das poeiras. Outros depósitos levados à poluição do ar ambiente se podem acrescentar. Neste caso, a preparação da superfície do substrato condiciona em parte a adesão entre os dois materiais.

1.3.3.3.1 - Particularidades de juntas coladas com adesivos de Epóxico.

A natureza química dos epóxidos garante-lhes uma superfície quimicamente mais activa do que outras resinas. O anel oxirano ou grupo epóxico, reage facilmente com espécies que contenham hidrogénios activos, como o caso dos grupos hidróxilo, amina, ácidos, fenólicos, grupos encontrados com frequência em superfícies cerâmicas e plásticas, de madeira, e em superfícies metálicas.

O comportamento de adesão permite definir três estados interfaciais, dependendo do grau de ligação superficial existente e que contribuem para o reconhecimento do tipo de fractura que ocorre numa junta: uma zona adesiva (condição de falha limite), uma zona de transição (mista adesiva/coesiva) e uma zona coesiva [6].

a_1 - Uma condição de falha limite, caracterizada por uma baixa resistência da junta adesiva e com conseqüente rotura na interface adesivo/aderente, rotura adesiva.

a_2 - Uma zona de transição na qual ocorre uma rotura mista adesiva /coesiva.

a_3 -Uma zona coesiva na qual a resistência da camada limite interfacial é maior do que a resistência coesiva do polímero (adesivo) devido à saturação das ligações superficiais. Nesta zona, há rotura coesiva a que corresponde a resistência máxima de adesão.

1.3.3.3.2 - Aspectos reológicos na adesão de juntas efectuadas com adesivos de epóxico

A tenacidade da ligação superficial, a resistência coesiva do adesivo ou do aderente e o grau de deformação que o material adesivo sofre durante a rotura da junta controlam bastante a resistência das juntas coladas. Por isso, a resistência reológica do adesivo, função das estruturas, é muito importante na determinação da resistência da junta adesiva. Quando a resistência coesiva do material adesivo aumenta no sentido estado líquido → estado de borracha → estado de transição → estado vítreo, a resistência da junta também aumenta. Note-se que a maioria dos adesivos epóxico classificam-se vítreos por possuírem uma temperatura de transição vítrea (T_g) mais elevada que a temperatura ambiente. Alguns sistemas modificados com borracha ou com poliamidas podem ser considerados como pertencentes à zona de transição porque a sua temperatura de transição vítrea ocorre à temperatura ambiente ou perto dela.

Tratando-se de juntas de tracção ou de corte, recomenda-se o uso de adesivos vítreos, dado que estes apresentam uma elevada resistência a essas solicitações, embora fraca resistência à clivagem e ao arrancamento. Sempre que sujeitos a estas últimas solicitações, com estes adesivos ocorre a abertura de uma fenda a partir da qual começa a propagação de fractura frágil até à rotura por aqueles terem sofrido uma grande descontinuidade de tensões que induziu à abertura da respectiva fenda [6].

No entanto, os adesivos tipo borracha deformam-se elásticamente antes da rotura ocorrer, permitindo uma maior distribuição das tensões ao longo da colagem, durante o processo de arrancamento. A resistência do adesivo ao arrancamento será tanto maior quanto mais borracha existir no adesivo, se o estado interfacial for o correcto.

Há ainda a considerar sistemas adesivos termoplásticos não cristalinos, acima da sua T_g (estado tipo borracha) que formam juntas de baixa resistência porque, nesse estado, o adesivo é coesivamente fraco. No entanto, a baixas temperaturas, ao aproximar da T_g , a resistência da junta aumenta e é máxima para temperaturas

muito próximas da T_g . Na zona vítrea a resistência da junta depende da fragilidade do material, se o adesivo for frágil no estado vítreo a resistência diminui. Quando se trata de resinas reticuladas, como é o caso dos epóxidos, não há quase nenhuma perda de resistência da junta imediatamente após a T_g , pelo contrário observa-se que a resistência atinge um valor máximo muito largo [6]. Os adesivos de epóxico usam-se muito em juntas topo a topo e de sobreposição por resistirem às solicitações de tracção e de corte, e uma vez que são materiais vítreos, rígidos e resistentes. No entanto, em juntas solicitadas a arrancamento, usam-se adesivos de epóxico modificados com borracha por terem maior flexibilidade.

1.4 - ENVELHECIMENTO HIGROMÉTRICO DE JUNTAS EFECTUADAS COM ADESIVOS DE EPÓXIDO.

A existência simultânea de uma tensão e de condições ambientais adversas constitui uma acção que limita a durabilidade das juntas adesivas [6]. Especialmente no caso dos epóxidos, a exposição a ambientes húmidos por tempos determinados de abientação e a temperaturas relativamente elevadas, possibilita a formação de microcavidades e do efeito plasticizante da humidade [28,29], contribuindo para uma redução das suas propriedades físicas e mecânicas.

1.4.1 - EFEITO DA HUMIDADE E DA EXISTÊNCIA DA ÁGUA.

Determinados autores [3,4,6,30,31,32,33,34,35,36] confirmaram o efeito nefasto do ar húmido nas juntas adesivas, através da primeira publicação que surgiu em 1964 em relação a este assunto.

Sabe-se que a água reduz imenso a resistência química das juntas adesivas e não há, no entanto, uma teoria geral que justifique o seu modo de actuação na deteriorização da junta. Esta deteriorização, segundo Schmidt [4] pode ser causada pela quebra das ligações de hidrogénio existentes entre o metal e o adesivo na camada limite. Ora se se atribuir, neste último caso, a responsabilidade da adesão às ligações de hidrogénio, então caímos numa contradição. Então surge agora a hipótese de que a acção da água poderá envolver a quebra de ligações covalentes que eventualmente se tenham formado durante a cura [36]. No entanto, esta hipótese foi confirmada por intermédio da realização de testes de recuperação das juntas, colocando-as em ambientes secos onde era possível voltarem as ligações de hidrogénio; Kwei [4,43] verificou que não houve uma recuperação completa da resistência das juntas. Tais pressupostos implicam a hidrólise de determinadas ligações covalentes da estrutura epoxídica. Não há, ainda, a certeza sobre onde ocorre essa hidrólise, mas o mais provável, segundo Kwei, é recair sobre a hidrólise das ligações C-N que resultam da reacção entre os grupos amina aromáticos e os grupos epóxido.

A presença da água plastifica as resinas de Epóxico, diminui a reticulação do adesivo quando sujeito a esses ambientes, provocando uma diminuição da sua temperatura de transição vítrea (T_g) [41].

A presença da humidade provoca elevados níveis de porosidade, segundo sugere Ennis [36], entre outros, o que permite o agrupamento de grupos de moléculas de água, que contribuem para a destruição da sua integridade física e mecânica, uma vez que vão actuar como plasticizantes e como iniciadores de fendas na estrutura do adesivo.

A migração das moléculas de água ocorre, segundo Dellolis [37] e Kerr [39,40] na interface metal/adesivo, onde se absorvem preferencialmente devido a aí poderem existir mais grupos funcionais por reagir ou parcialmente reagidos, provocando o deslocamento do adesivo dessa superfície [37,40]. A perda de resistência é então interpretada em termos da quebra de ligações de hidrogénio naquela região.

O aumento da concentração de moléculas de água na camada limite, segundo Falconer [38], é o principal responsável pelo aumento da concentração de tensões nas juntas, quando expostas a ambientes húmidos, sendo este factor o responsável pela rotura das juntas.

Quanto ao problema da absorção de água em epóxidos reticulados com aminas, Bellenger [42] e outros consideram duas aproximações distintas:

- Uma aproximação volúmica que despreza a existência de interacções específicas entre a água e locais hidrofílicos da rede. Propõe antes, que a concentração de equilíbrio da água é principalmente governada pelo volume livre disponível, ou que as moléculas de água ocupam essencialmente microcavidades ou outros defeitos morfológicos que podem oferecer caminhos preferenciais para a sua difusão.
- Uma aproximação interacção que sugere que as moléculas não estão aleatoriamente distribuídas na rede, nem concentradas nos defeitos morfológicos mas ligadas por fortes ligações de hidrogénio a alguns locais hidrofílicos, principalmente hidróxidos ou aminas.

Todavia pode haver interdependência no que toca à contribuição destas duas aproximações. Na primeira, o comportamento do sistema água/epóxico é

fundamentalmente controlado pelo estado físico do polímero, enquanto que na segunda o papel principal é representado pela estrutura química.

No que concerne ao tipo de rotura observada em situações de humidade ambiental, todos os autores parecem concordar que é adesiva, embora Bikerman [23] considere ser impossível uma rotura perfeitamente adesiva.

Sobre condições secas, a falha dos Sistemas metal/polímero ocorre geralmente coesivamente no interior do adesivo [4]. Todavia, uma extensa exposição à água conduz à rotura na interface polímero/metal que é adesiva.

Associado à mudança do tipo de rotura com as condições ambientais, verificou-se uma diminuição da resistência adesiva, o que levou Schmidt [4] a concluir que a água reduz a resistência da interface adesivo/metal. A água pode entrar na junta ou por difusão, através da matriz de epóxico ou transportada ao longo da interface metal/epóxico. Alguns autores [4] concluíram, que dependendo do adesivo e da sua espessura e da temperatura a água penetra por difusão ao longo da interface.

Têm sido estudados alguns mecanismos para explicar este fenómeno mas nenhum deles explica isoladamente o comportamento observado. Seguidamente proceder-se-á à descrição sucinta de dois destes mecanismos [46].

α_1 - Deslocamento do epóxico pela água: em condições húmidas a água chega invariavelmente à região interfacial formando ligações de hidrogénio com a superfície metálica, após romper as ligações existentes entre o metal e o epóxico. O resultado é o deslocamento do adesivo de epóxico da superfície do metal e a formação de uma fraca camada de água na interface, diminuindo a resistência do sistema. A figura 23 mostra esquematicamente as fortes ligações de hidrogénio que se pensa existirem na interface [26].

α_2 - A presença da água reduz a resistência da camada oxidada do metal hidratando-a, podendo também diminuir a resistência da junta. Os hidratos resultantes exibem geralmente má adesão, agindo assim como uma camada fraca, sendo a hidratação prejudicial.

1.4.2 - EFEITO DA TEMPERATURA

O processo de degradação é acelerado, se o ambiente húmido, no qual o sistema adesivo está inserido, se encontrar a temperaturas moderadamente elevadas. A aceleração do processo foi confirmada através de estudos efectuados [28,38] sobre a influência simultânea da água e da temperatura em juntas adesivas. Junto à camada limite interfacial a temperatura acelera a permeação das moléculas de água [38].

Dois factores responsáveis pela durabilidade das juntas a temperaturas elevadas são [6, 44, 45]:

- A estabilidade térmica do adesivo na camada limite;
- A estabilidade térmica do adesivo no seu interior;

1.4.3 - SIMULAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS SOBRE JUNTAS COLADAS

Como se sabe, as juntas coladas, quando submetidas a condições ambientais adversas (temperatura, humidade, água, etc.), sofrem alterações da resistência, que afectam a sua durabilidade. Assim, para ver a influência dos aspectos ambientais sobre a resistência da ligação os provetes são colocados em câmaras climáticas, de simulação ambiental, segundo ciclos de ambientação ou envelhecimento determinados.

Na FEUP há dois tipos de Câmaras;

- 500 SB/+10IU/40 DU

- 1000SB/+10IU/40 DU

Os aspectos acerca da constituição, funcionamento, manutenção, segurança e programação destas câmaras estão descritos na referência [47].

Os ciclos climáticos a usar no trabalho experimental terão a duração de 500 e 1000 horas e serão definidos na parte experimental, assim como as condições de cura (à temperatura ambiente), e de envelhecimento, para juntas de aço.

1.5 - ENSAIOS, ANÁLISE E DESIGN DE JUNTAS EFECTUADAS COM ADESIVOS ESTRUTURAIS.

1.5.1. - GENERALIDADES

Os adesivos estruturais que têm campos de aplicação nas Indústrias, aeroespacial, de construção, automobilística e electrónica podem atenuar os problemas causados pela concentração de tensões e introduzir vantagens adicionais para a ligação (colagem) do sistema, relativamente às técnicas de união tradicionais (aparafusamento, cravações, enchavetamento e rebitagem). Muitas aplicações adesivas envolvem a junção de substratos de elevado módulo, tais como metais, madeira, compósitos e plásticos, onde os adesivos promovem uma transferência de tensões médias entre os substratos e a camada de adesivo, melhora a capacidade de vibração da humidade do sistema de ligação e, embora este seja susceptível de degradação das propriedades por exposição ao ambiente, aquela promove também um aumento da resistência à corrosão, quando se colam metais diferentes.

Do ponto de vista da fabricação, os adesivos requerem alguns cuidados para se processar a colagem, tal como a preparação da superfície do substrato a aplicação controlada do adesivo e o tempo de cura. Todavia, a eliminação das ligações mecânicas tradicionais permite a fabricação de formas complexas, maior estética e melhor aparência dos produtos.

No que concerne ao design, é necessário o controle de qualidade em toda a fase de execução da colagem de modo a garantir a segurança desta, o que se consegue com vantagem quando os substratos são leves e delgados, devido a uma maior uniformidade na distribuição das tensões nas juntas coladas.

As capacidades dos adesivos estruturais permitem melhorar a performance em relação a outras técnicas de união. Para assegurar a performance dos adesivos estruturais são necessários ensaios, análise de tensões e design de juntas coladas. Estes ensaios servem para testar as propriedades mecânicas dos adesivos estruturais.

Estas propriedades são dependentes do modo de aplicação da carga, tais como, tracção, corte, arrancamento, impacto ou qualquer combinação destas.

A análise estrutural das juntas coladas, permite determinar as tensões consoante a variação da geometria da junta causada pela aplicação da carga, e como resultado, prever a performance do adesivo. Estas análises têm sido conduzidas por métodos numéricos e analíticos. O design inclui o conhecimento das propriedades mecânicas dos adesivos estruturais e das tensões, tão importantes para analisar e garantir a resistência da junta. A variação da geometria das juntas, tais como, juntas topo a topo, sobrepostas, ou modificadas destas podem ser utilizadas para encontrar critérios específicos de Design. A interdependência entre os parâmetros, ensaios, análise e design (geometria e tipos de adesivos e de substratos) causam complexidade na análise das tensões.

Todos os materiais incluindo os adesivos estruturais, contêm defeitos naturais (fendas por exemplo). Para avaliar a influência dos defeitos na performance é preciso utilizar métodos da Mecânica da fractura.

Neste ponto, apresentam-se os principais tipos de ensaios realizados, usando substratos metálicos, dando uma maior atenção aos ensaios de tracção e de impacto. Por fim, far-se-á uma abordagem sobre o Design de juntas. Além dos ensaios de tracção e impacto que, como já se disse, são os que mais interessam no estudo experimental, há outros tipos de ensaios, designadamente de corte, arrancamento, fluência e fadiga, sobre os quais se fará uma breve descrição. Algumas considerações serão feitas relativamente aos efeitos ambientais, usando ensaios avaliativos. Como se sabe, é muito importante o conhecimento das tensões de tracção, corte e arrancamento quando ocorrem variações da geometria das juntas coladas com adesivos estruturais. A análise dos elementos finitos é uma das técnicas mais usadas para fazer a simulação numérica das tensões e deformações. No entanto, esta questão, por razões óbvias, não será tratada, nomeadamente por não ser objectivo deste trabalho [14].

1.5. 2. - ENSAIOS MECÂNICOS

1. 5. 2. 1. - Introdução

Os ensaios, em geral, constituem uma avaliação das propriedades do material, quer sejam físicas, químicas, mecânicas, térmicas ou outras.

Os ensaios mecânicos servem para determinar o comportamento do material, quando solicitado por alguns tipos de cargas. O material é solicitado na forma de provete em máquinas de ensaios mecânicos (i. e, MTS, Instron, etc), onde se procede á avaliação daquelas propriedades que tipicamente, incluem o módulo de elasticidade, o módulo de rigidez, a tensão de cedência, a tensão de fractura, o alongamento e o coeficiente de Poisson. Estas propriedades variam com o modo de carregamento, tais como, tracção, compressão, corte, ou flexão. Os ensaios mais comuns requerem uma amostra real (provete), como seja o sistema de ligação, formado pelo adesivo em questão e substratos apropriados. Os ensaios reais e actuais sobre juntas adesivas envolvem toda a ligação isto é, os substratos, a geometria da junta, a interface, a camada primária, a preparação da superfície, o tempo de cura (ciclos de cura) e o próprio adesivo.

Os ensaios normalmente usados, fornecem informação válida para o controle de qualidade e permitem ainda uma avaliação comparativa dos diferentes adesivos. Se todas as condições necessárias e técnicas de colagem se mantêm constantes, podem fornecer uma informação proveitosa da qualidade das diferentes séries de adesivos idênticos ou uma comparação das propriedades dos grupos de adesivos. Se o ensaio é alterado por variação de outros parâmetros, que não o adesivo, a metodologia de ensaio pode fornecer informação vantajosa acerca da performance, como por exemplo o primário ou a preparação da superfície.

A avaliação de um adesivo por variação do método de ensaio também ajuda a conhecer o procedimento quanto ao Design da junta, usando um adesivo particular. Contudo é difícil transpôr os resultados obtidos em termos de performance, em juntas coladas com adesivos para as condições reais de serviço que são de certo modo diferentes. Esta dificuldade ocorre em muitas técnicas de ensaios

normalizados para simular as condições actuais da geometria da junta, condições ambientais e tensões no sistema em questão [14].

Por esta razão, para realizar o ensaio, é necessário utilizar um adesivo, utilizando muitas técnicas, no sentido de simular as condições, o mais próximas das condições de serviço.

No ponto seguinte (1. 5. 2. 2.), serão discutidos os ensaios estáticos de tracção, corte e arrancamento, visto serem bastante comuns e fornecerem uma informação bastante útil para garantia da existência e Design das juntas. Logo a seguir, no ponto (1.5.2.5.), falar-se-á dos ensaios dinâmicos, tais como, fadiga, fluência e impacto, dispensando maior relevo a este último, sobretudo no estudo da resistência ao impacto.

1. 5. 2. 2. - Ensaio de tracção

Na prática, é desejável evitar a aplicação de cargas de tracção sobre qualquer sistema adesivo. As resistências à tracção da maioria dos substratos são tipicamente mais altas do que as do adesivo. Por esta razão a fractura da estrutura de ligação ocorre predominantemente no adesivo, durante o seu uso. Embora as cargas de tracção sejam de evitar, no momentos da concepção e Design das juntas adesivas, contudo elas devem ocorrer em ambos os lados dos substratos com o modo de carregamento excêntrico aplicado à junta. Por conseguinte, este ensaio é necessário para avaliar as propriedades mecânicas dos adesivos estruturais.

As cargas são aplicadas perpendicularmente à camada adesiva como ilustra a figura 24. O valor da resistência à tracção σ_c é dada pela relação entre a carga máxima aplicada ao provete P_c que determina a fractura e a área da secção recta de colagem A (equação 8).

$$\sigma_c = P_c/A \quad (8)$$

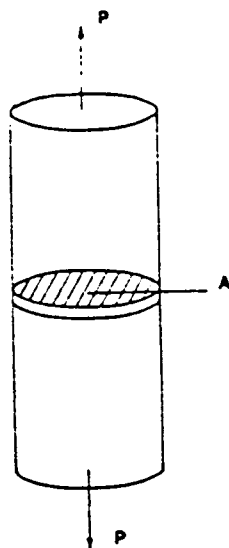


Fig 24 - Solicitação axial de tração numa junta topo a topo.

Isto é uma simples definição baseada nas tensões normais, médias na junta.

Geralmente, a distribuição das tensões no adesivo não é uniforme e são mais elevadas do que os valores normais médios usados para o cálculo da resistência à tração.

Como já foi referido na pág. 52 podem ocorrer três tipos de fractura. A fractura coesiva, ocorre quando o provete rotura dentro da camada adesiva; fractura adesiva, quando o provete fractura na interface adesivo/aderente e, em alguns casos, pode resultar fractura do próprio aderente. É recomendado que para cada amostra a percentagem de fractura coesiva e adesiva seja registada. Quaisquer provetes onde ocorra fractura dos substratos poderão ser rejeitados visto que, tais casos não constituem um ensaio de materiais adesivos.

Há vários tipos de ensaios de tração que poderiam ser descritos mas para não alongar muito este assunto, limitar-me-ei a fazer uma breve referência dos ensaios de curta e longa duração, em especial, os ensaios de tração por corte, em juntas sobrepostas, e os ensaios de impacto.

1. 5. 2. 3. - Ensaio de Corte.

Neste ponto, começo por fazer referência ao ensaio de corte em juntas simplesmente sobrepostas, por ser um daqueles tipos de ensaios que vai ser feito no trabalho experimental, usando substratos de aço, em tracção.

Estes ensaios de corte, envolvem dois aderentes que são sobrepostos por um certo comprimento, determinado pelas normas.

O adesivo estrutural forma uma camada entre a área sobreposta. Outros ensaios de corte em juntas sobrepostas podem ser feitos usando uma tensão até à rotura. A tensão de corte crítica é igual à carga de fractura dividida pela área de colagem.

O ensaio de corte mais conhecido é efectuado em juntas simplesmente sobrepostas (ASTM D1002 - 72), muito usado em substratos metálicos. A amostra normalizada para este ensaio, consiste de dois substratos metálicos de espessura 0.064 polegadas ($\approx 1,7$ mm), para um comprimento de sobreposição de aproximadamente 0.5 polegadas ($\approx 12,7$ mm), ver Fig. 25.

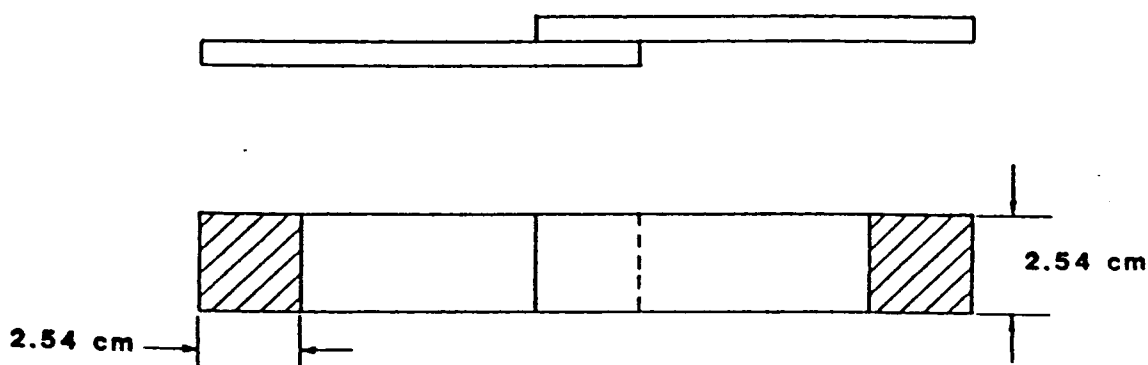


Fig. 25 - Amostra Standardizada, de simples sobreposição para Ensaio de corte [14].

Esta geometria é apropriada para comparar a resistência ao corte de diferentes adesivos (LSS). Se o substrato metálico tiver uma outra espessura, diferente da

atrás referida, então o máximo comprimento de sobreposição deverá ser determinado usando a equação (9).

$$L = \frac{\sigma_y \times b}{\tau} \quad (9)$$

Onde L é o comprimento de sobreposição em polegadas; σ_y é a tensão de cedência do metal em psis; b, espessura do metal em polegadas e τ é igual a 150% da tensão de corte média da junta adesiva em psis. Este cálculo só é necessário se a tensão de cedência do metal não puder ser obtida antes da fractura da ligação adesiva.

Os Provetes podem ser ensaiados na Máquina respectiva e a qualquer tensão. Uma polegada ($\approx 25\text{mm}$), em cada extremidade da Amostra, é ocupada para fixação às garras da Máquina. As cargas são aplicadas a uma velocidade de 1200 a 1400 libras por polegada quadrada da área sobreposta e por minuto até à fractura. Pode também ser usada uma velocidade de 0.05 in/min (1,27 mm/min), o tipo de fractura (isto é, coesiva, adesiva ou outra) e características da amostra (tipo adesivo, tipo de metal, dimensões da amostra, condições de colagem, etc) devem ser consideradas.

Posto isto, farei uma breve descrição dos ensaios de arrancamento; (Peel-Tests).

1.5.2.4 - Ensaio de Arrancamento

Muitos sistemas colados com adesivos são utilizados para eliminar as tensões de arrancamento. Porém, a ligação dos aderentes ou o carregamento não uniforme da junta colada, causa tensões de arrancamento.

Os ensaios de arrancamento não fornecem uma informação empírica das propriedades mecânicas do adesivo, mas antes indicam a habilidade (aptidão) dos diferentes adesivos para resistir ao arrancamento. Estes testes podem ser usados para comparar diferentes adesivos ou como um método para controle de qualidade.

Geralmente, estes ensaios envolvem o arrancamento controlado de um aderente rígido ou flexível que está adesivamente ligado a um outro aderente rígido ou flexível. A distribuição das tensões, nestas juntas, é complexa e depende da geometria da junta e das propriedades dos aderentes. A resistência ao arrancamento é directamente proporcional à largura do aderente arrancado e à área varrida em libras por polegada. A força de arrancamento é determinada pela carga média que é necessária para manter a tira do aderente após a iniciação. As forças médias de arrancamento são obtidas através de gráficos (diagramas), carga de arrancamento versus distância de arrancamento.

Um ensaio original e simples de arrancamento é feito a 180° , descrito pela norma ASTM D903 - 49. O aderente flexível é arrancado a um ângulo de 180° de um outro aderente, flexível ou rígido. O aderente flexível deverá ser capaz de resistir à ligação a 180° , sem ocorrer fractura.

As amostras consistem de um substrato flexível (1x12 polegadas), e outro substrato de (1x 8 polegadas), colados ao longo de um comprimento de 6 polegadas. Ver figura 26 [14]. Os aderentes devem ser



Fig. 26 - Ensaio de arrancamento a 180°

suficientemente fortes ou espessos para resistir às tensões e deformações durante o ensaio. As espessuras do material estão normalizadas.

A amostra é apertada pelas suas extremidades livres e puxada a uma velocidade de sollicitação de 12" /min. No mínimo, metade da área colada deve ser arrancada para obter uma carga de arrancamento média e devem ser ensaiadas, no mínimo, dez amostras para efectuar o cálculo da resistência ao arrancamento em libras por plegada de largura, ou extensão da faixa arrancada.

A norma, ASTM D1876-72 descreve um outro tipo de ensaio de arrancamento em T e as amostras ou provetes têm uma simples configuração e são facilmente executáveis. Dois aderentes flexíveis (1 x 12 polegadas) são colados ao longo de um comprimento de nove polegadas. Cada uma das extremidades da amostra é dobrada a 90° relativamente

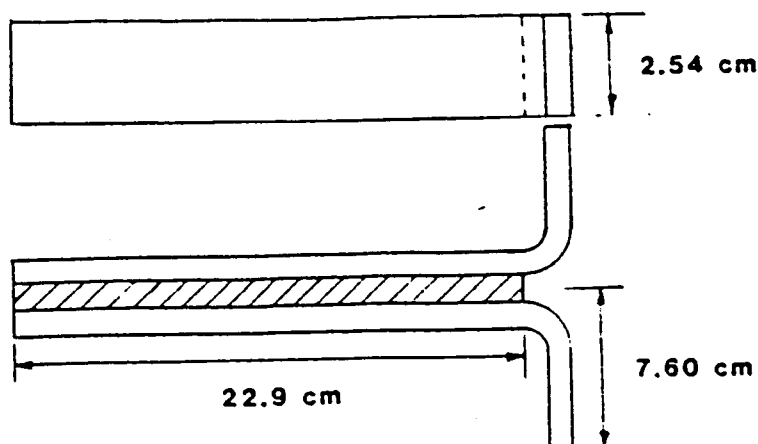


Fig. 27 - Amostra para o ensaio de arrancamento em T (T - peel - test).

à camada adesiva (ver Fig. 27). Os aderentes devem ser suficientemente flexíveis para permitir uma colagem sem fractura. Normalmente, os aderentes são metálicos e são ligados como caixilhos, dos quais as amostras referidas são cortadas. A amostra é então apertada nas extremidades e ensaiada a uma determinada tensão, aplicada na Máquina. A velocidade de carregamento é da ordem de 10 in/min para 5 polegadas de arrancamento. Tal como no ensaio de arrancamento a 180°, as resistências ao arrancamento são determinadas pelo quociente entre a carga de arrancamento, média e a largura da ligação, e para um mínimo de dez amostras.

No entanto, alguns problemas ocorrem com a realização destes ensaios, nomeadamente a variação do ângulo de arrancamento. Este deverá ser controlado e mantido constante. Por exemplo, o crescimento do ângulo de contacto pode introduzir severas tensões e diminuir a resistência ao arrancamento. No caso do ensaio a 180° pode ocorrer fricção, quando o aderente flexível é puxado atrás contra si mesmo. Esta fricção pode causar resistência ao arrancamento e conduzir erroneamente a altas cargas de arrancamento. No sentido de contrariar a fricção, usa-se um lubrificante que é aplicado sobre a superfície do aderente flexível.

1.5.2.5 - Outros Ensaio

Estes três tipos de ensaios, previamente discutidos, podem ser agrupados numa categoria geral e são chamados ensaios estáticos, porque são feitos a taxas constantes de carregamento e, normalmente, ao longo de pequenos períodos de tempo (isto é, minutos). Os ensaios que sinteticamente vou descrever, neste ponto, aplicam carregamento dinâmico e envolvem curtos períodos de tempo (isto é segundos) ou longas durações (isto é, horas semanas ou meses). Os ensaios com interesse são impacto e fadiga ou fluência, respectivamente. Naturalmente que para o estudo experimental deste trabalho, o que interessa são os ensaios de impacto, que para além dos ensaios de corte (tracção) em juntas simplesmente sobrepostas, serão também feitos no decorrer da parte experimental. Todos estes ensaios são importantes porque eles avaliam a durabilidade das juntas a longo prazo e os danos tolerados.

Na fadiga, é definido o carregamento cíclico do material para um carregamento pré-definido ou limite de deformação (fadiga de adesivos estruturais, tem sido executada por Wang [48] e Romanko e Jones [49], e a norma ASTM D3166-73 descreve a tensão de fadiga, no carregamento de Amostras ao corte, sobrepostas. As amostras são iguais às descritas na Norma ASTM 1002 - 72 com leves modificações para garantir um alinhamento próprio da amostra (ver figura 28). Uma máquina de ensaios de Tracção ou outro dispositivo fixo de carregamento deverá ser usado para poder aplicar um carregamento sinusoidal sobre o modelo, a 1800 ciclos por minuto. O ensaio de fadiga mede o nº de ciclos até à fractura, para um leve carregamento específico. Recomenda-se que 25 amostras, no mínimo, sejam ensaiadas, para cinco cargas diferentes e deverão ser produzidos no mínimo dez mil ciclos. A máxima carga pode ser aproximadamente 50% da Resistência ao corte do adesivo. É feito um gráfico de resistência à fadiga em lb/in² versus logaritmo do número de ciclos. O limite de resistência à fadiga é definido para 10.000 ciclos por ponto [14].

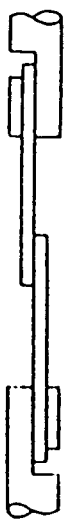


Fig 28 - Ensaio de fadiga ao corte em amostra simplesmente sobreposta ao alto [14].

Outro ensaio que prova o desempenho ou a performance, a longo prazo, da estrutura adesivamente ligada, é o ensaio de fluência que tem sido considerado por Brinsol [50] e Rutherford e Hughes [51]. Os ensaios de fluência medem a deformação do material sob uma carga constante e para um período específico de tempo. A medida da Resistência à fluência de Sistemas adesivos é feita usando amostras sobrepostas solicitadas ao corte. ASTM D 2293 - 69 e ASTM D2294 - 64, usam amostras sobrepostas, submetidas a esforços de corte, para determinar o comportamento à fluência em compressão e tração, respectivamente. Para medir a fluência da Amostra a distância entre navalhas improvisadas, é medida com um microscópio, periodicamente, até à fractura da junta. A grandeza e duração da carga ao longo da deflexão por fluência deve ser registada para todas as amostras. Geralmente termoplásticos ou adesivos plasticizados fluem substancialmente mais que os adesivos de epóxidos duros. Outra norma ASTM D1780 - 72, discute em geral as práticas recomendadas para procedimento de ensaios de fluência.

Contrariamente à longa duração dos ensaios de fadiga e de fluência, os ensaios de impacto ocorrem em segundos. As amostras podem ser feitas de metal (ou outros

materias), como aderentes, e em forma de bloco como descrito na norma ASTM D950 - 82 (Ver figura 29).

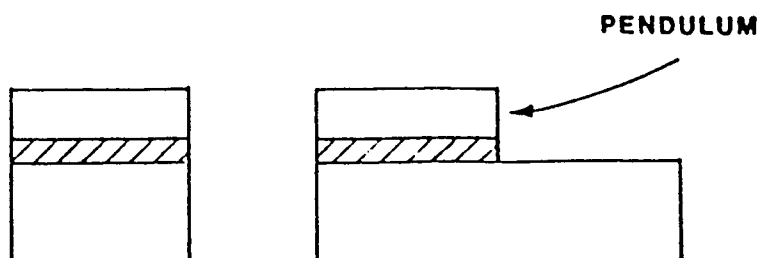


Fig. 29 - Ensaio de impacto [14].

O carregamento é administrado por um braço pendular, que se move a uma velocidade de 11 ft/s (11 pés por segundo). O pêndulo, ao cair, bate (corte) no topo superior do bloco e a energia de impacto é determinada, ou registada em pés ou libras por polegada quadrada da área colada. Notar que os valores do impacto são muito sensíveis à espessura da camada adesiva, camadas espessas originam deformações mais baixas e um aumento na absorção de energia. Este assunto, inerente a Impacto de juntas nomeadamente tipo de ensaios, será apresentado no ponto 1.5.4.

Existem mais ensaios recomendados pela ASTM para avaliar e caracterizar adesivos. Algumas normas descrevem ensaios de durabilidade dos sistemas adesivos e outras descrevem métodos para instrução e tratamento de adesivos, a uma temperatura extrema, ou condições adversas de humidade. Estes efeitos são importantes porque as condições de serviço são raramente ideais. Tudo depende da aplicação das condições ambientais que podem alcançar 100% de humidade relativa e das flutuações de temperatura de - 50°C a 200°C, outros ensaios envolvem avaliações não destrutivas das, propriedades dos adesivos, tais como, densidade, vida de trabalho, e propriedades de fluência, etc. Estas propriedades são importantes no fabrico e processamento dos adesivos estruturais.

Assim, uma descrição completa da variedade de ensaios técnicos pode permitir encontrar uma orientação certa na escolha do ensaio apropriado a determinado fim. Os ensaios descritos, neste capítulo, estão sob a jurisdição do ASTM Committee D - 14 sobre adesivos [52]. Sugere-se que, antes da aplicação de qualquer um destes ensaios técnicos, se faça uma referência específica à norma respectiva, para ver procedimentos detalhados.

No quadro 10 é indicado como se efectua o cálculo dos valores da resistência medidas para os diferentes tipos de ensaios de juntas coladas.

TIPO DE ENSAIO	VALOR DE RESISTÊNCIA MEDIDO
Tracção	$S_r = \text{Carga de rotura} / \text{Superfície de colagem da junta}$
Corte	$T_r = \text{Carga de rotura} / \text{Superfície de colagem da junta}$
Arrancamento	$P_r = \text{Carga de rotura} / \text{Largura do provete}$
Clivagem	$Q_r = \text{Carga de rotura} / \text{Largura do provete}$
Impacto	$W_r = \text{Energia absorvida} / \text{Superfície de colagem da junta}$

QUADRO 10 - Cálculo da Resistência.

1.5.3. ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO.

Consistem em submeter os provetes em atmosfera representativa da realidade. Os tempos reais são, muitas vezes, demasiadamente longos, daí que se proceda a ensaios acelerados em estufas climáticas (ambiente, temperatura, pressão), com ciclos eventualmente programáveis.

O provete é então submetido a ensaio mecânico, representativo da realidade.

1.5.3.1. - Aparelhos utilizados.

- Estufa controlada a $23^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa a $50\pm 5\%$.
- Estufa de calor seco de 20 a 200°C .
- Estufa que permite obter, 25 a 100% de humidade relativa, possibilitando também, a medição, com precisão, da temperatura;
- Estufa a frio a 40°C .

As escalas de duração do tempo são as seguintes:

- Horas:

1, 2, 3, 4, 6, 16, 24, 48, 72, e 96.

- Semanas:

1, 2, 3, 4, 6, 16, 26, 52.

Exemplo de uso:

- Ciclo de 7 dias com calor seco, calor húmido e frio.

- Dias 1 e 2; $T = 55^{\circ}\text{C}$ e $HR \leq 15\%$.
- Dias 3 e 4; $T = 40^{\circ}\text{C}$ e $HR \geq 90\%$.
- Dia 5; $T = -20^{\circ}\text{C}$.
- Dias 6 e 7; $T = 40^{\circ}\text{C}$ e $HR \geq 90\%$.

Este ciclo pode ser repetido n vezes.

Os ensaios de envelhecimento são, geralmente, mais agressivos que a realidade. É necessária muita prudência quanto à generalização destes ensaios [17].

1. 5. 4. - IMPACTO DE JUNTAS.

1. 5. 4. 1. - Introdução

Graças aos adesivos estruturais, caracterizados por propriedades mecânicas elevadas, e às novas técnicas de produção, a ligação por colagem de peças para estruturas em aço é encarada como um complemento na substituição da soldadura por pontos ou da rebiteagem. As vantagens desta técnica consistem numa melhor repartição das solicitações (tensões) sobre toda a superfície de sobreposição, numa diminuição do peso, e numa redução do número de pontos de corrosão. Encontramos assim, no último modelo da « Renault Espace », mais de um milhão de peças coladas. Estas estruturas coladas podem encontrar-se localizadas em zonas do automóvel que têm que respeitar a resistência ao choque, prescrita no caderno de encargos. As preocupações de um Gabinete de estudo serão, então, conhecer os modos de solicitação da junta colada, a localização das deformações na estrutura, e a avaliação das energias em jogo, aquando do impacto. Neste contexto Industrial, é importante a caracterização do comportamento de uma junta colada chapa/chapa, designadamente a altas velocidades de carregamento dinâmico. Por outro lado, o suporte da ligação, sendo uma chapa de carroçaria, esta pode apresentar estados de superfície diferentes, conforma os imperativos industriais. Daí que, o adesivo deverá ser compatível com a superfície do substrato. Tem interesse saber até que ponto a qualidade da superfície da chapa de aço, tem efeito na resistência da junta, por efeito do impacto.

Assim, em primeiro lugar, farei uma breve análise do comportamento das estruturas coladas e definirei proveitos de ensaios, representativos duma secção colada numa estrutura real, o que me leva a apresentar os principais ensaios mecânicos utilizados para estudar a resistência ao choque, duma junta colada.

Por outro lado, as grandezas macroscópicas obtidas a partir de um teste mecânico só serão interpretáveis se tivermos o conhecimento dos fenómenos que regem a colagem. A aderência é um fenómeno vital para assegurar uma boa coesão do par aço/adesivo e para compreender os mecanismos em jogo durante a rotura da junta e assim alguns ensaios destrutivos, aliás como já vimos, foram desenvolvidos.

As principais solicitações (tracção, corte, arrancamento e clivagem) estão ilustradas na fig. 30.

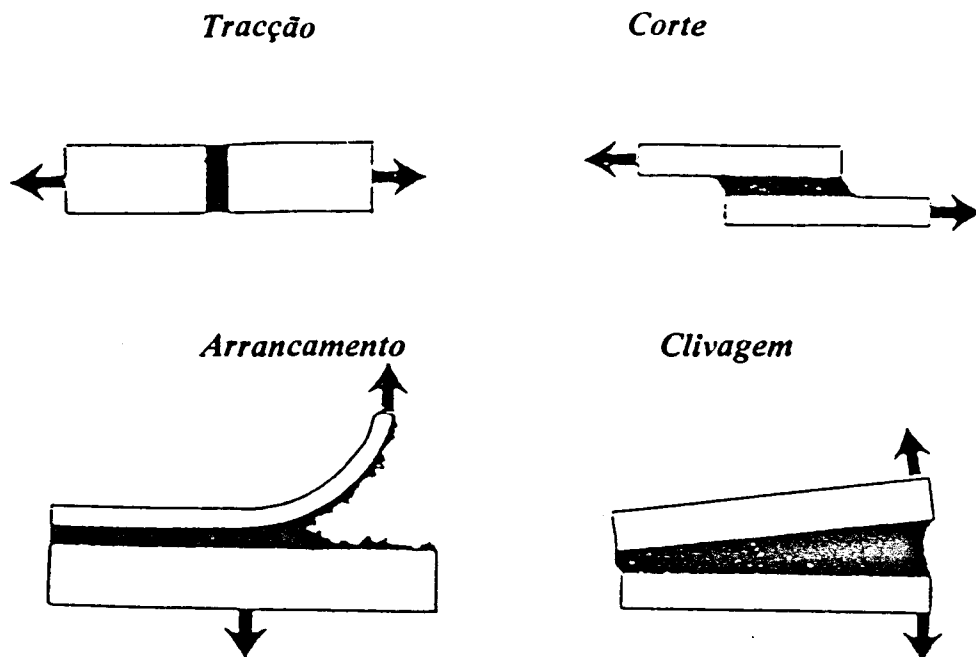


Fig 30. - Representações das principais solicitações [26].

A partir de um ensaio mecânico, determinam-se os parâmetros à rotura da junta. É geralmente a força ou o deslocamento no momento da fractura. No entanto, é necessário distinguir dois tipos de ensaios mecânicos:

- Uns destinados a caracterizar a junta colada, ou seja interface substrato/adetivo (conjunto), como por exemplo, o de corte, sobre provetes de simples sobreposição, ou ensaios de arrancamento.
- Outros destinados a medir a aderência, como por exemplo, o teste de Picot (tracção), ou de flexão em três pontos.

A aderência representa a força necessária para romper as forças de adesão e assim separar o adesivo e o substrato na medida onde a fissura se inicia e se propaga à interface. No caso em que a rotura é adesiva, a força, medida representa uma medida da aderência. Se a fissura se propaga até ao coração (núcleos) da junta (rotura coesiva), a força global medida representa a resistência à rotura da junta colada.

Por outro lado, factores intrínsecos dos materiais ou afectos às condições experimentais podem influenciar as propriedades à rotura da junta adesiva. Alguns desses parâmetros afectam directamente a zona intermediária, entre o adesivo e o substrato:

- Características físico-químicas do substrato, rugosidade, química da superfície;
- Propriedades físico-químicas do adesivo ; natureza do adesivo, natureza e diminuição das cargas incorporadas.;
- Condições de reticulação do adesivo; temperatura, natureza do material base;

Outros factores que afectam a resistência da estrutura colada sem modificar, no entanto, o estado dos materiais colados:

- Natureza da solicitação;
- Velocidade de carregamento;
- Geometria do provete;

1.5.4.2 - Comportamento de uma estrutura colada, solicitada por um choque frontal.

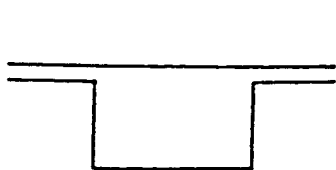
A principal motivação, na Indústria Automóvel, dos estudos feitos sobre estruturas é a protecção do passageiro, aquando da colisão, e os critérios gerais procurados são:

- Grande absorção de energia, numa distância curta;
- Pequena deformação, durante o choque frontal;

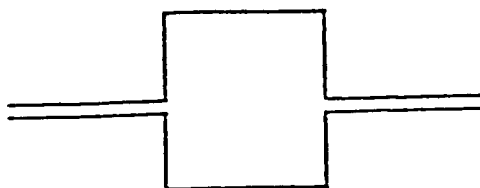
Convém compreender os mecanismos implicados no escorregamento dessas estruturas . O elemento constituinte utilizado em aplicações automóveis destina-se a sofrer um esmagamento por flambagem, e a absorver a energia em estruturas do tipo barra representativa de uma longarina (Barras de Chassis), Fig.31 [26].

1.5.4.2.1 - Modo de deformação da estrutura colada.

Se nos interessarmos por tubos de secção quadrada ou rectângular, submetidos a uma solicitação de compressão axial, os autores [53] concordam em afirmar que o modo de deformação dinâmico é muito semelhante ao estático. Globalmente, a estrutura colada, do tipo barra, tem sensivelmente o mesmo comportamento. Quando a força atinge um valor crítico as paredes laterais encurvam-se (flambagem). Segundo Timoshenko, as placas laterais são consideradas como placas simplesmente apoiadas em compressão. A esta deformação elástica das paredes, somam-se as deformações locais (plasticidades locais), com aparecimento da formação de rótulas plásticas, Fig. 32 [54]. A formação dessas rótulas plásticas dá origem a tensões de corte ao nível da junta colada, o que nos leva, neste caso, a descrever o comportamento da junta.



Estrutura Ω simples



Estrutura Ω dupla

1.5.4.2.2 - Comportamento da junta.

A concepção da estrutura influencia:

Por um lado a rotura da ligação;

Para uma estrutura simples Ω , verifica-se o arrancamento da chapa colada, na zona dobrada. Enquanto que, para uma estrutura dupla Ω , as duas chapas (Fig. 32) ficam coladas ao longo da dobra (da zona deformada).

Por outro lado, a gama de tensões impostas ao adesivo para uma estrutura dupla Ω durante o processo de deformação, implica uma combinação da tensão de arrancamento e de corte. Para uma estrutura Ω simples, as tensões de arrancamento predominam [26]. Para avaliar a rigidez de uma estrutura do tipo barra, é conveniente determinar, primeiro o comportamento dinâmico da junta colada, por efeito de uma tensão de corte ou de arrancamento.

1.5.4.3. - Apresentação dos ensaios dinâmicos, sobre juntas coladas.

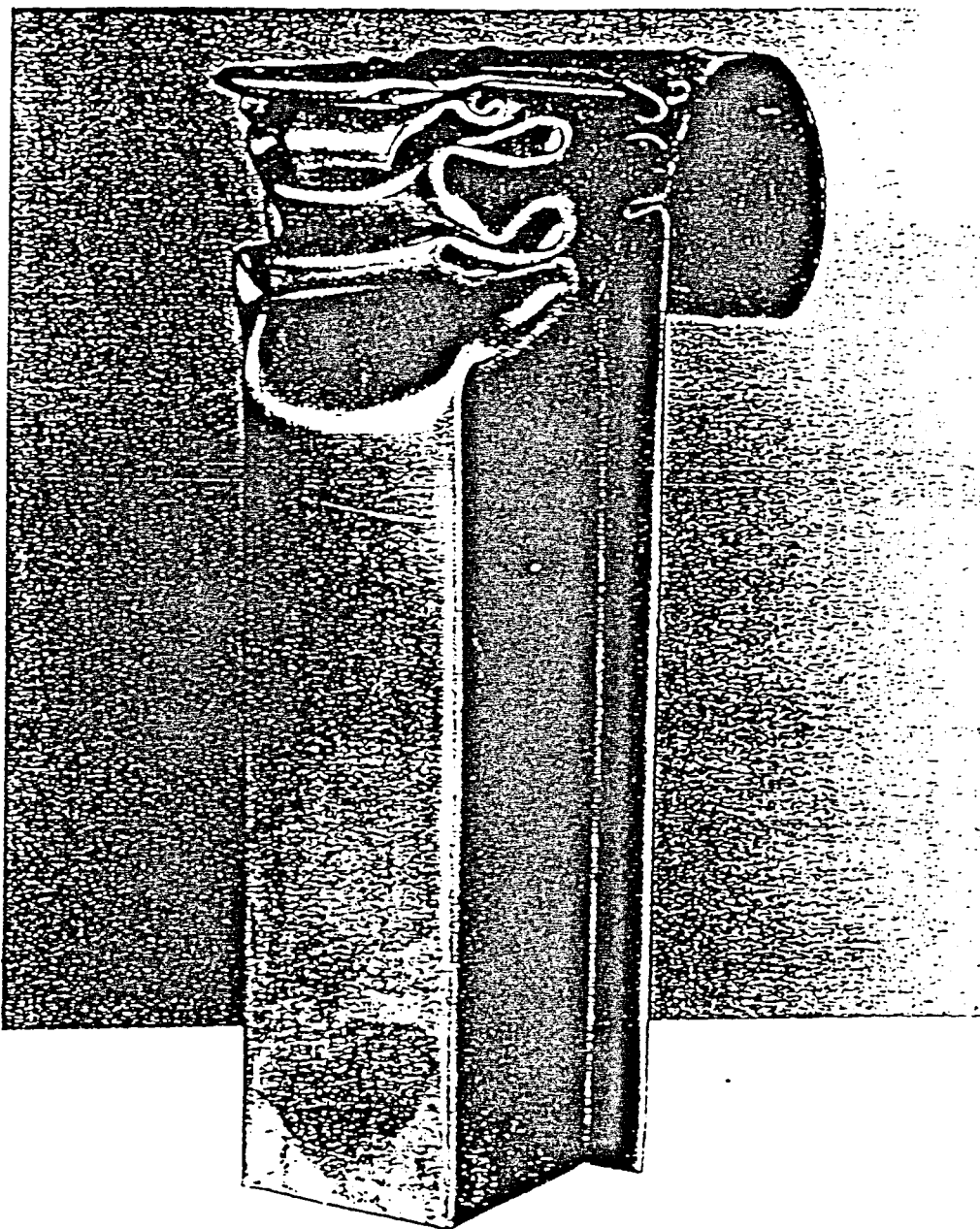


Fig. 32 - Exemplo do modo de deformação, de uma estrutura colada, simples Ω [54].

Que seja do meu conhecimento, poucos trabalhos estudaram a resistência ao choque de juntas coladas. Os ensaios que se encontram na literatura, dos quais já descrevi um (Ensaio de impacto por corte, no ponto 1. 5. 2. 5.), são principalmente ensaios de corte com um pêndulo, Fig. 33 [26] ou ensaios de peso em queda livre.

Por outro lado, Kinloch e Kodokian (1987) [55], desenvolveram um teste de impacto para estudar as propriedades de um adesivo estrutural e de uma junta colada, submetidas a grandes velocidades de carga, aplicando a mecânica da fractura. Para cada um destes casos, as velocidades de deformação da junta são da ordem de 1 s^{-1} .

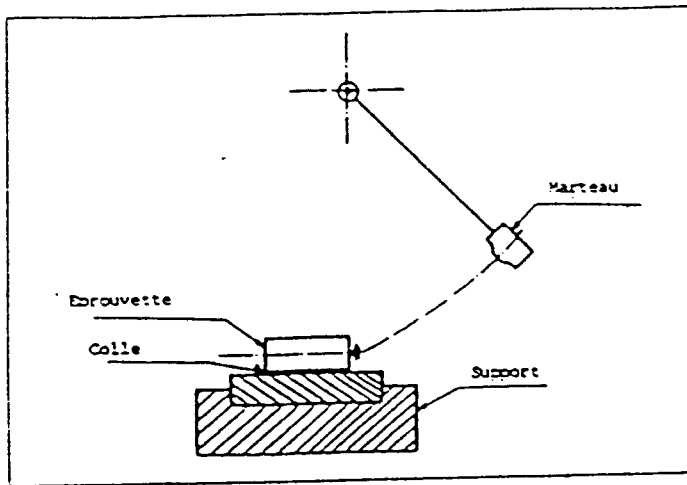


Fig. 33 - Máquina de ensaio de choque Charpy [26].

Recentemente, Grapotte [56] em 1992, desenvolveu uma nova técnica de caracterização das ligações coladas, utilizando um sistema de barras Hopkinson [25] (em tracção), permitindo atingir velocidades de deformação entre 10^2 e 10^4 s^{-1} .

No entanto, o ensaio de impacto mais importante para o estudo experimental deste trabalho é o ensaio de impacto por cunha (ensaio de escachamento ou rasgamento) [57]. O método consiste na determinação da resistência média ao arrancamento de dois aderentes metálicos. O arrancamento corresponde à separação dos aderentes por uma cunha que se propaga a alta velocidade, sendo o seu deslocamento iniciado pelo impacto. As amostras a ensaiar têm a forma e dimensões indicadas na Figura 34. A cunha simétrica é usada para causar impacto em materiais de alta performance.

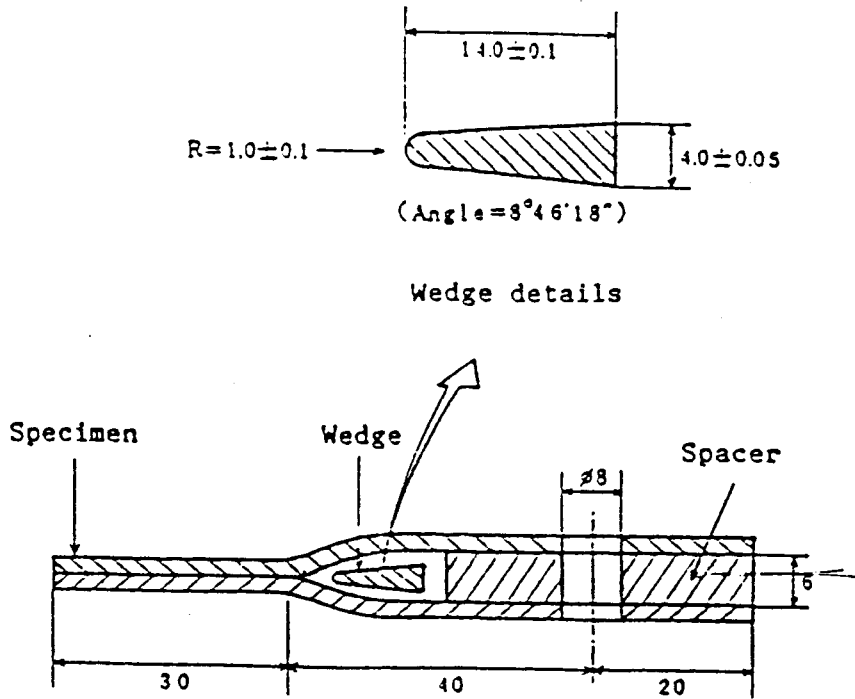


Fig. 34 - Amostra a usar no caso do impacto por cunha simétrica [57].

Este método é o que vai ser usado na parte experimental do trabalho, utilizando a Máquina Rosand. O dispositivo simétrico e o seu posicionamento com a cunha a meio do provete está representado na Figura 35.

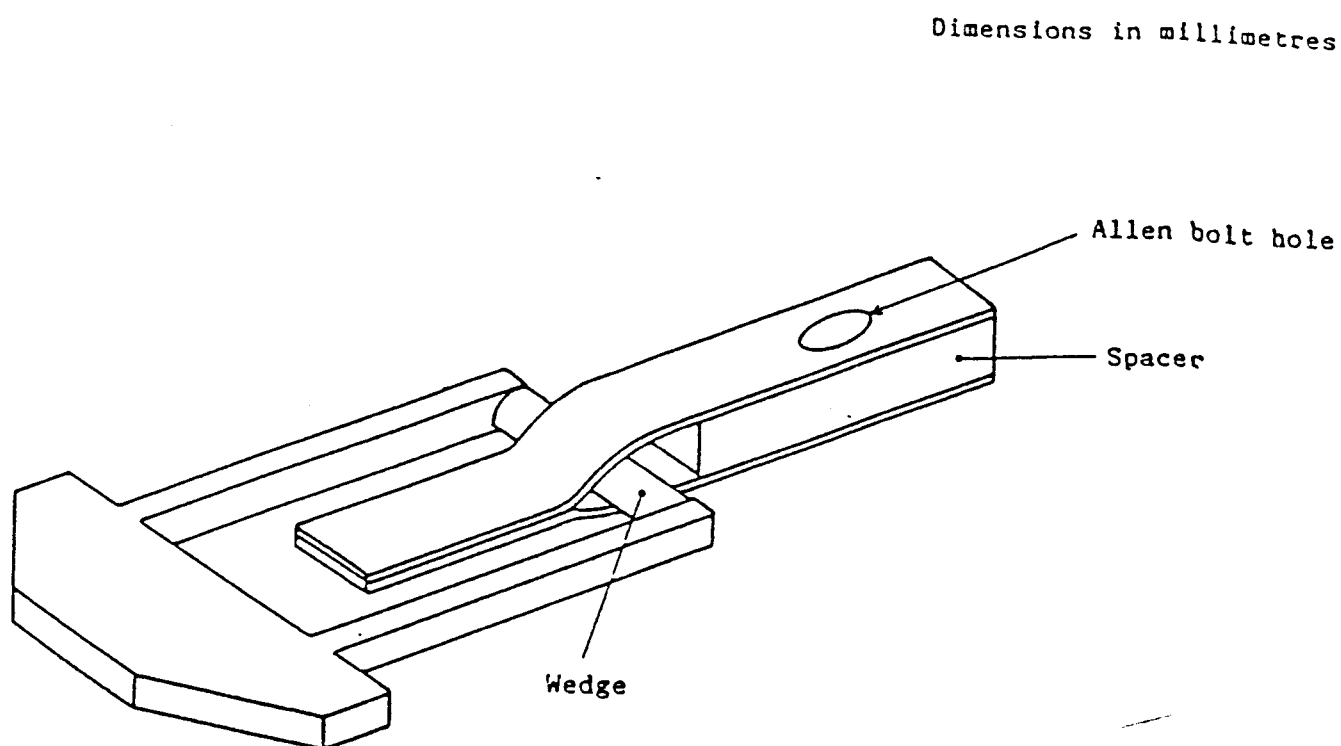


Fig. 35 - Dispositivo com cunha simétrica [57].

A largura da amostra deve ser de preferência de 20 mm e a espessura da camada adesiva entre os dois aderentes de 0.3 mm. As amostras devem ser preparadas individualmente e coladas ao longo de um comprimento de 30 mm. As Figuras 36 e 37 representam respectivamente, as curvas força-deslocamento, em materiais de alta e baixa performance ao impacto [57]. Para melhor esclarecimento, sobre este tipo de ensaio, recomenda-se a consulta da Norma [57].

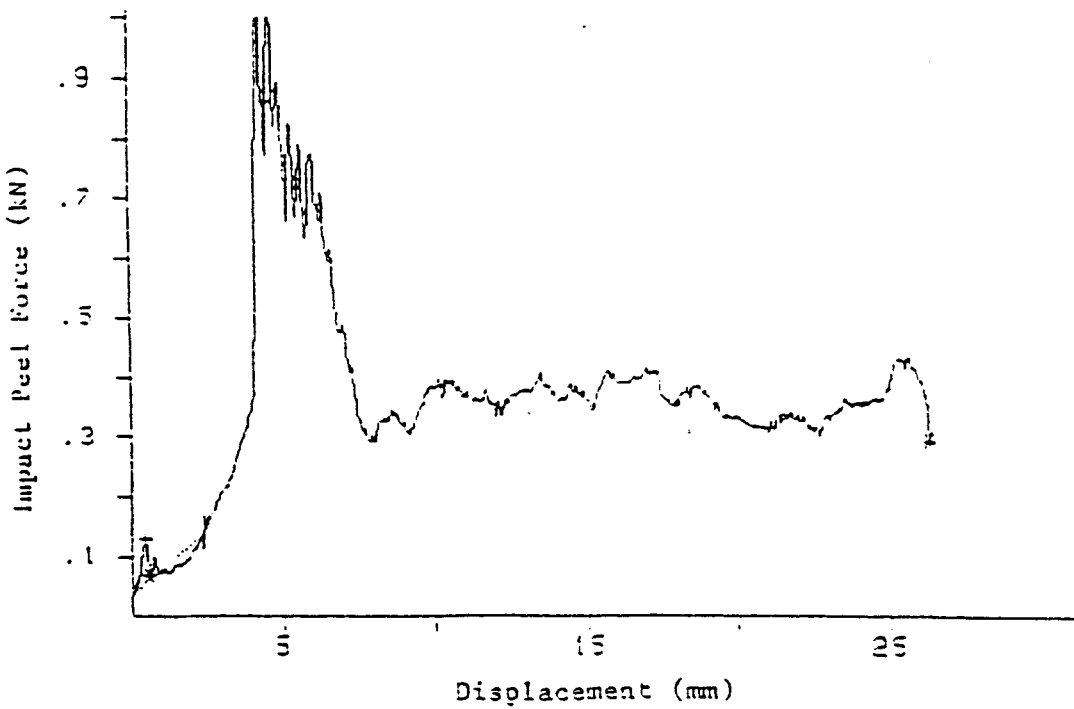


Fig. 36 - Curva típica força-deslocamento para “High impact Performance” adhesive [57].

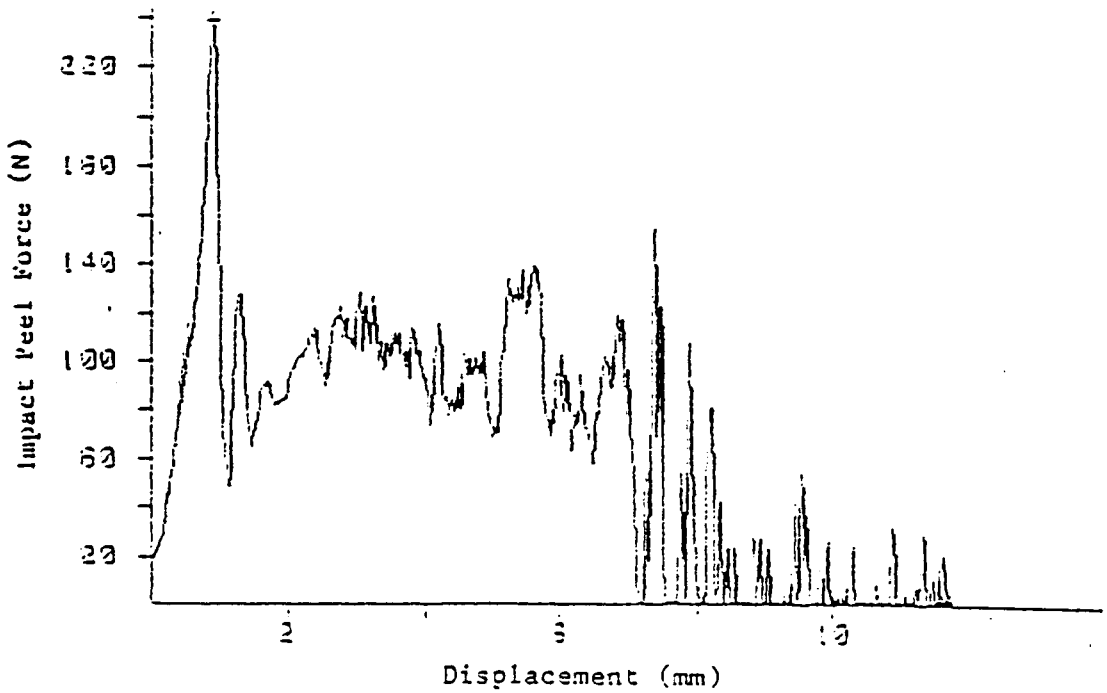


Fig. 37 - Curva típica força-deslocamento para “Low impact performance” adhesive (Notar a diferença de escala no espaçamento axial), [57].

1.5.5 - DESIGN DE JUNTAS COLADAS

1.5.5.1 - Introdução

O Design em Engenharia deve prever a última performance da junta adesiva. Um design próprio ajuda a garantir a segurança da estrutura em serviço. É necessária uma compreensão mútua entre o adesivo e os substratos, particularmente um conhecimento das propriedades mecânicas da junta, da distribuição das tensões na junta e do comportamento do sistema, perante condições ambientais e condições de carga. O Design para uma aplicação específica inclui a escolha da própria geometria da junta, o Sistema adesivo, o próprio carregamento e as condições de processamento.

A escolha da própria geometria da junta, depende em particular da aplicação. Há uma série de geometrias da junta, e cada uma delas tem maior ou menor resistência em aplicações particulares. A seguir procurar-se-á descrever várias geometrias da junta, prever um conhecimento profundo sobre elas e ilustrar as geometrias mais indicadas perante determinadas aplicações.

1.5.5.2 - Juntas topo a topo.

Embora as juntas topo a topo tenham um design simples, provavelmente são as menos populares. Geralmente a área de contacto entre o adesivo e o aderente é pequena e é determinada pela área da secção recta dos aderentes. O aumento da área de colagem permite melhorar a resistência da junta. Além disso, o carregamento desta junta pode produzir tanto tensões de tracção como de arrancamento e pequenas tensões de corte. Estas tensões de corte ocorrem quando o módulo de elasticidade do adesivo é menor do que o do substrato, devido à contracção lateral do adesivo. Juntas topo a topo, carregadas em tracção podem fracturar para valores mínimos da carga, pelas razões previamente apontadas. Se a junta é carregada doutra forma, então entram em consideração tensões adicionais. No exemplo da

Fig.38, a junta é carregada de um modo semelhante a uma junta encastrada (tipo Cantiliver), podendo então, ser induzida uma alta tensão de arrancamento, no ponto A. Tais tensões podem causar fractura, até mesmo a baixas cargas. O design baseado em tensões médias não é realista, visto que as tensões não são uniformes, a não ser que o módulo de elasticidade seja igual, para ambos (substrato e adesivo).

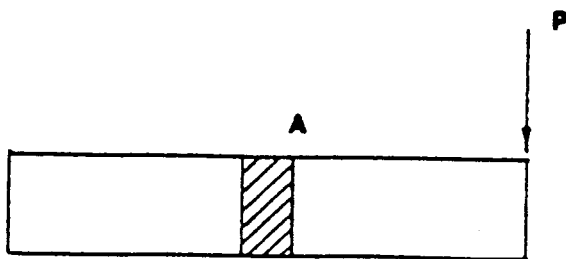


Fig. 38 - Solicitação inadequada, numa junta topo a topo [14].

1.5.5.3 - Juntas sobrepostas.

Há muitas variantes de juntas sobrepostas, mas o tipo mais simples e a que mais se usa, é a de simples sobreposição. Assim os factores geométricos, tais como a área colada, o comprimento de sobreposição e a espessura dos aderentes são bem conhecidos.

A análise das tensões revela que a maior concentração de tensões ocorre nos bordos da junta, simplesmente sobreposta. Uma distribuição não iniforme das tensões na junta, acarreta, normalmente fractura para cargas de valor inferior aos níveis capazes de suportar pelo adesivo. A tensão média é mais baixa do que a tensão actual nos bordos da junta. Visto serem estes que suportam uma maior

quantidade de cargas elevadas, o cálculo da resistência pelo quociente entre a carga máxima e a área total de colagem, é de certa forma enganador.

Em aplicações, onde o realçar do desempenho da junta é requerido, implica que esta seja concebida de modo a aumentar a resistência da ligação. A resistência da junta sobreposta é linearmente proporcional à largura de colagem. Alternativamente, aumentando o comprimento de sobreposição pode também aumentar a resistência da ligação. No entanto, este aumento não é linear. Esta não linearidade resulta porque os bordos da junta suportam uma alta percentagem da carga. Aumentando o comprimento de sobreposição, as tensões nos bordos diminuem e causam uma pequena elevação da resistência.

Outra forma de aumentar a resistência de uma junta sobreposta é aumentar a espessura do substrato, já que esta também garante a segurança da junta. Como a tensão de cedência depende da espessura do aderente, aquela deve ser grande quando comparada com a resistência ao corte do adesivo. De Bruyne[58], introduziu um factor de junta, definido como a raiz quadrada da espessura do aderente dividida pelo comprimento de sobreposição. Para pequenas sobreposições ou elevados factores de junta, a resistência à fractura tem um valor próximo da do adesivo. Assim, a resistência da junta pode ser controlada pelas variações do comprimento de sobreposição e da espessura do aderente.

Variações severas na sobreposição melhoram o desempenho das juntas adesivas. Uma tal junta, está esquematizada na Fig. 39.

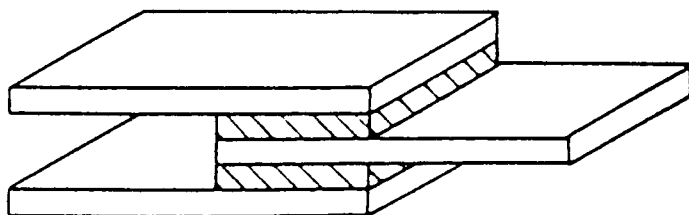


Fig. 39 - Junta de dupla sobreposição.

Para a otimização do design de juntas, modifica-se a sobreposição delas, o que provoca uma redução da concentração de tensões na junta, produzindo uma maior resistência e segurança da ligação. (ver Fig. 40).

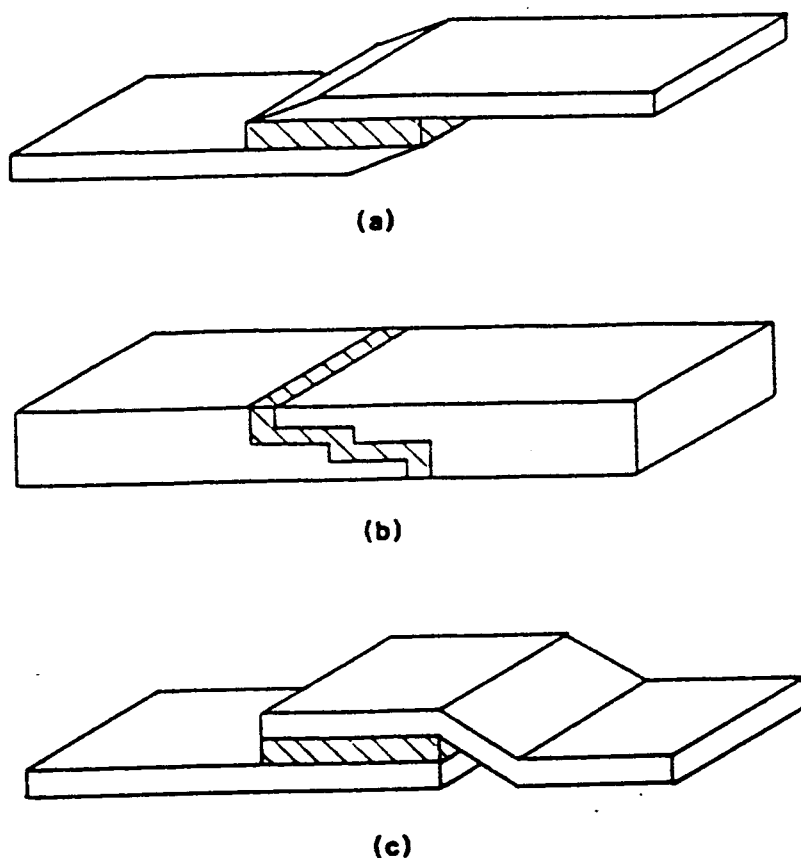


Fig. 40 - Junta de sobreposição chanfrada (a); de sobreposição tipo entalhe longitudinal (b); de sobreposição tipo substrato dobrado e alinhado (c) [14].

Estes designs melhoram a performance e aumentam a resistência da união (garantia, segurança da junta), já que aumentam o limite de excêntricidade do carregamento, ou a área de colagem. A junta do tipo (a) - Fig. 40, reduz a concentração de tensões na junta, porque proporciona maior uniformidade na distribuição das tensões.

1. 5. 5. 4. - Outros tipos de juntas.

A junta em bisel, traduz o mais eficiente design (ver Fig. 41).

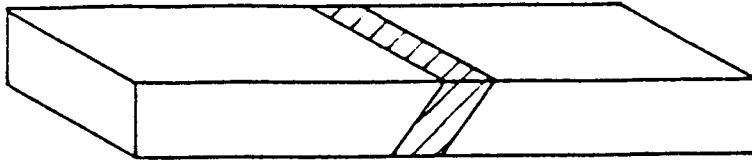


Fig. 41 - Junta em bisel [14].

Esta junta elimina a excêntrica do carregamento e produz uma distribuição uniforme das tensões, ao longo de toda a área de colagem.

Outra família de juntas que proporciona um alto nível de performance, resulta da combinação de designs (ver Fig. 42). Todavia, estas juntas melhoram e aperfeiçoam as características de performance, mas são mais difíceis as operações de preparação, processamento e colagem, durante a fabricação.

As performances das diferentes juntas podem ser esquematizadas da forma apresentada na Fig. 43, [17].

1. 5. 5. 5. - Critérios de Design.

Há critérios gerais de design, que devem ser respeitados, e que garantem a segurança das juntas, nomeadamente:

- Maximizar a área de colagem, da junta;
- Permitir que as tensões aplicadas, operem na direcção de máxima resistência;
- Minimizar a concentração de tensões, particularmente nos bordos da junta;

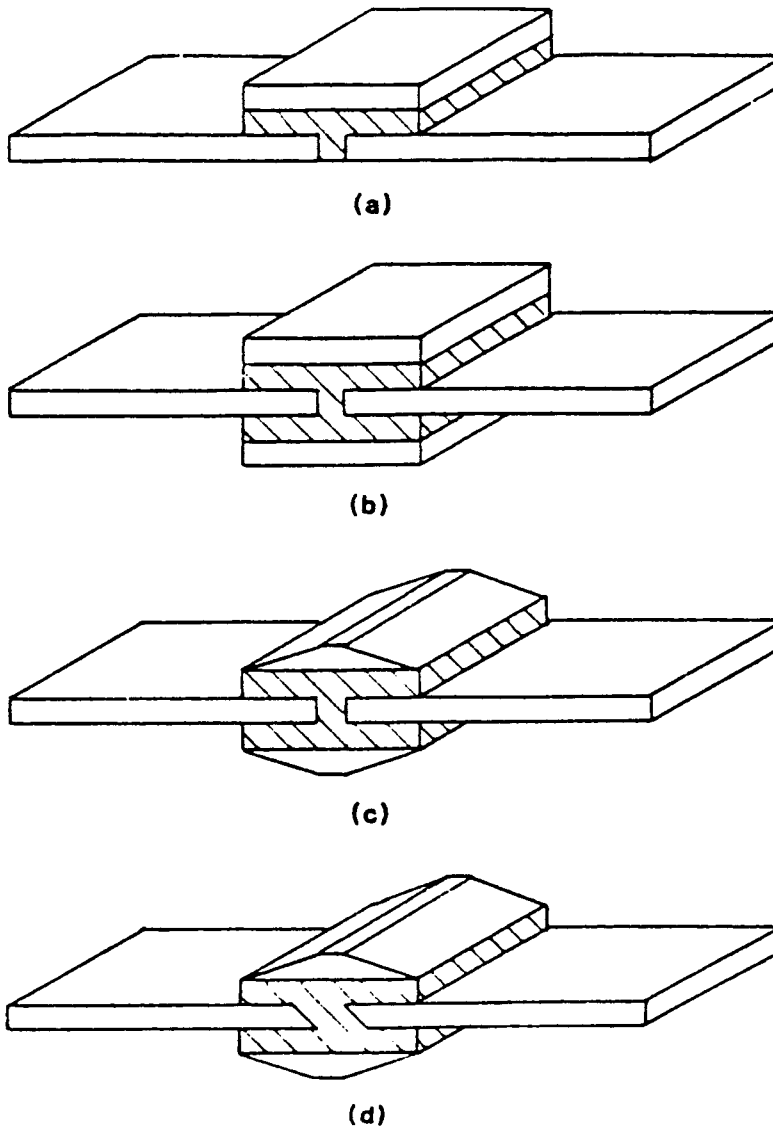


Fig. 42 - Junta de recobrimento simples (a); junta de recobrimento duplo (b); junta de recobrimento duplo, chanfrada (c); junta de recobrimento duplo, em bisel, chanfrada (d); [14].

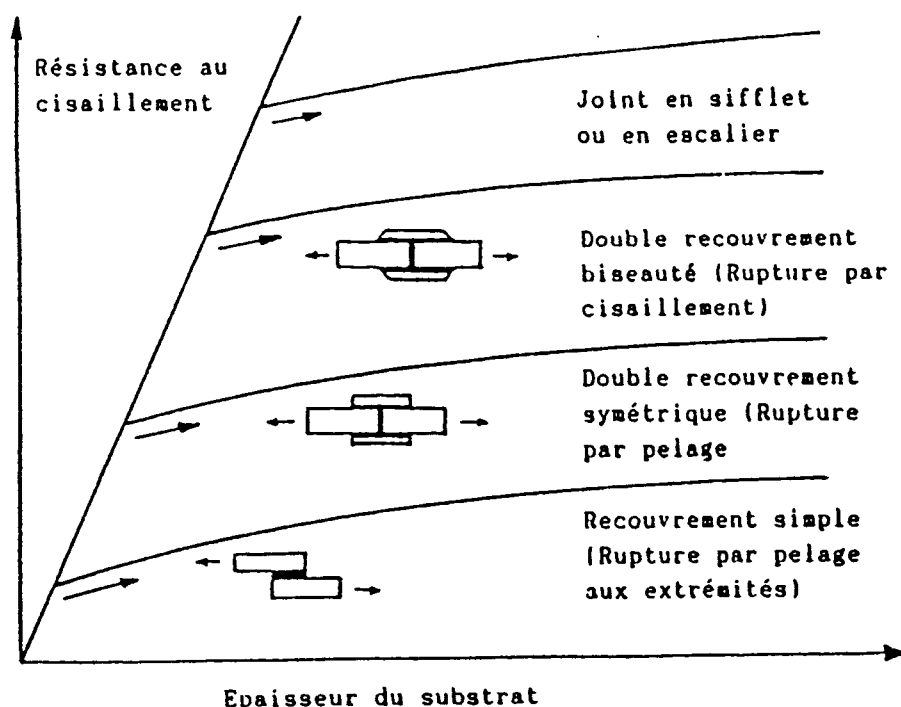


Fig. 43 - Variação das tensões de corte com a espessura do substrato, para diferentes tipos de juntas [17].

- Preferir solicitações ao corte e evitar arrancamento.
- Adoptar uma camada adesiva que se deseja uniforme, fina e contínua.

O design das juntas envolve uma complexa afinidade entre as propriedades do adesivo e do substrato e a geometria da junta. Não obstante, o design não deve ser um assunto apenas relativo às performances da junta mas deve também considerar factores económicos, tais como equipamento, processamento e custos da laboração [14].

II - ESTUDO EXPERIMENTAL

II - ESTUDO EXPERIMENTAL

2. MATERIAIS E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1- CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

2.1.1 - MATERIAL DE BASE

O material de base ou aderente é chapa de aço, de espessuras 1, 1,5 e 2 mm . Para fazer a sua caracterização mecânica foram feitos ensaios de tracção estáticos na Máquina TINIUS ^{OLSEN}, existente no laboratório de ensaios Tecnológicos (LET). A preparação dos provetes fez-se de acordo com a Norma NP-EN 10 002-1 de 1990, tendo sido ensaiados dois provetes de cada espessura, cuja forma e dimensões se apresentam no Des. N° 1 do Anexo 2.

As características mecânicas básicas medidas, estão indicadas no Quadro 11.

ESPESSURA DA CHAPA DE AÇO (mm)	TENSÃO DE ROTURA À TRACÇÃO -Rm (Mpa)	TENSÃO LIMITE CONVENCIONAL DE PROPORCIONALIDADE A 0,2 % - RP (Mpa)	EXTENSÃO APÓS ROTURA - Am (%)
1	303,8	169,5	41,7
1,5	294,5	143	49,8
2	425,3	251	31,2

Quadro 11 - Principais propriedades mecânicas do Sustracto

2.1.2 - ADESIVOS

Os adesivos usados são Terokal 5045 e Terokal 5050. Ambos são produtos experimentais, pelo que os dados técnicos podem alterar-se. São constituídos à base de uma resina de Epóxido e de um endurecedor, que é um solvente livre, tixotrópico, tratando-se portanto de um adesivo bicomponente. São fabricados pela “TEROSON - SYSTEMS” - Bonding Sound, Deadening Rust - Protection. São adesivos de alta performance, com reologia baseada numa resina de Epóxido. São ambos de origem Alemã, e as suas características, campo de aplicação, condições de stockagem e de cura, limpeza, modo de aplicação, etc, encontram-se no Anexo 1 [59].

2.1.3 - PARÂMETROS

1 - Espessura do material base

Ⓐ - $\ell_1 = 1 \text{ mm}$

Ⓑ - $\ell_2 = 1,5 \text{ mm}$

Ⓒ - $\ell_3 = 2 \text{ mm}$

2 - Adesivo.

Ⓓ - TEROKAL 5045

Ⓔ - TEROKAL 5050

3 - Tratamento de Superfície

- Ⓕ - Estado de Fornecimento
- Ⓖ - Desengorduramento com RIDOLENE
- Ⓕ - Desengorduramento com RIDOLENE + lixagem com escova de aço inoxidável + desengorduramento com RIDOLENE.

4 - Tipo de ensaio

- Ⓘ - Estático: Lap Shear test

Dinâmicos:

- Ⓙ - Lap Shear test
- Ⓙ' - Provetes ISO

5 - Envelhecimento

- Ⓛ - 500 horas (21 dias)
- Ⓜ - 1000 horas (42 dias)

O envelhecimento só foi feito para os provetes com 1,5 mm de espessura do material base. A espessura da camada adesiva é constante, usando um diâmetro dos ballotins de 0.25 mm. Foram ensaiados, no máximo, três provetes por cada condição. Usou-se o mesmo ciclo climático do BRITE -EURAM [47].

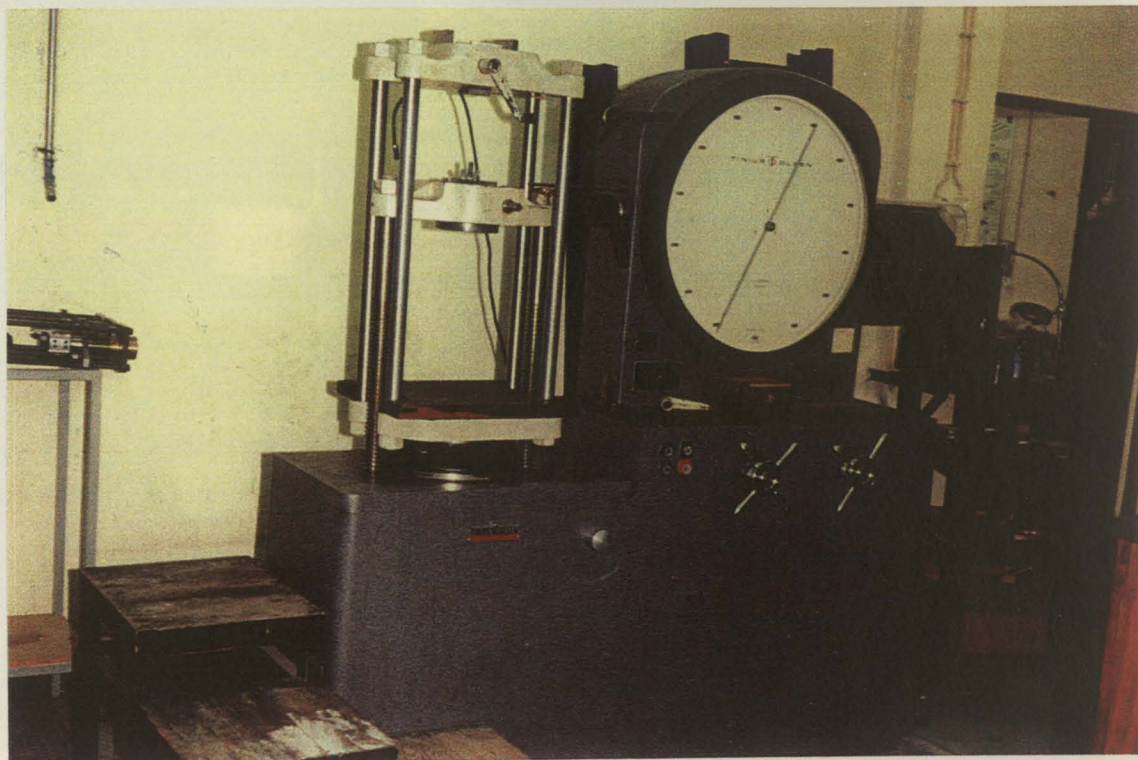
2.1.4 - Equipamento utilizado

- Máquina de ensaios de tracção estáticos, TINIUS ~~OLSEN~~ OLSEN, LET-FEUP, (Fotografia 1).
- Estufa WTC binder - Laboratório de Adesivos (LA)-FEUP,(Fotografia 2).
Câmara climática Weiss 500 SB /+10 IV/40 DV, LA - FEUP,(Fotografia 3).
- Bancada de colagem; Termómetro até 50°C; Disco eléctrico; Pipetas; Tina de aço inox; Grampos; Dispositivos de colagem; espátulas com cabo de madeira 10 cm; espátula inox com colher 25cm ; micro-espátula longa; bobina de papel Ph 1-10; pinça de dissecação de 14 cm, etc - LA - FEUP, (Fotografia 4).
- Balança de precisão GOBOS, modelo 501, LA-FEUP, (Fotografia 5).
- Instalação de água desionizada, usada no banho de desengorduramento das amostras e na alimentação das câmaras - LA - FEUP, (Fotografias 6 e 7).
Máquina INSTRON, modelo 4208, secção de Materiais compósitos - Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (INEGI), (Fotografia 8).
- Guilhotina de precisão , existente na Firma Matos & Filhos - Bairro do Pinheiro - Guarda, (Fotografia 9).
- Fresadora Universal, oficinas de Mecânica da Escola Secundária da Sé, na Guarda , (Fotografia 10).
- Prensa Manual, equipada com ferramenta (matriz-punção), para furação das amostras dos provetes ISO - Oficinas de Mecânica - Escola Secundária da Sé , (Fotografia 11).
- A mesma Prensa, anterior, mas equipada agora com ferramenta (matriz-punção) para conformação das amostras destinadas aos Provetes ISO, (Fotografia 12).
- Máquina de impacto ROSAND IFW5HV, do INEGI, (Fotografia 13).

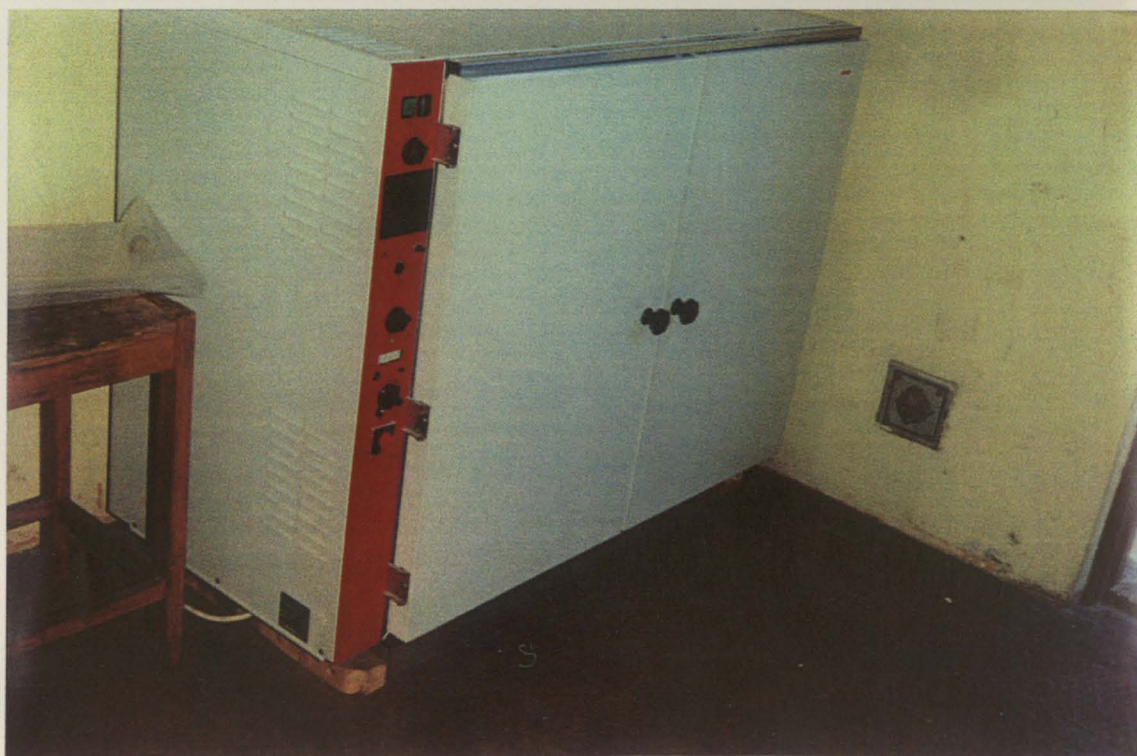
- Dispositivo de fixação dos provetes (Lap Shear test), ao suporte da máquina ROSAND, (Fotografia 14).
- Dispositivo de fixação para impacto dos provetes ISO (Ensaio de Rasgamento por Cunha) ao suporte da Máquina ROSAND, (Fotografia 15).

2.1.5 - Produtos químicos utilizados

- Resina TEROKAL 5045;
- Endurecedor TEROKAL 5045;
- Resina TEROKAL 5050;
- Endurecedor TEROKAL 5050;
- Ridolene 1402;
- Diluente;
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4);
- Bromocresol.



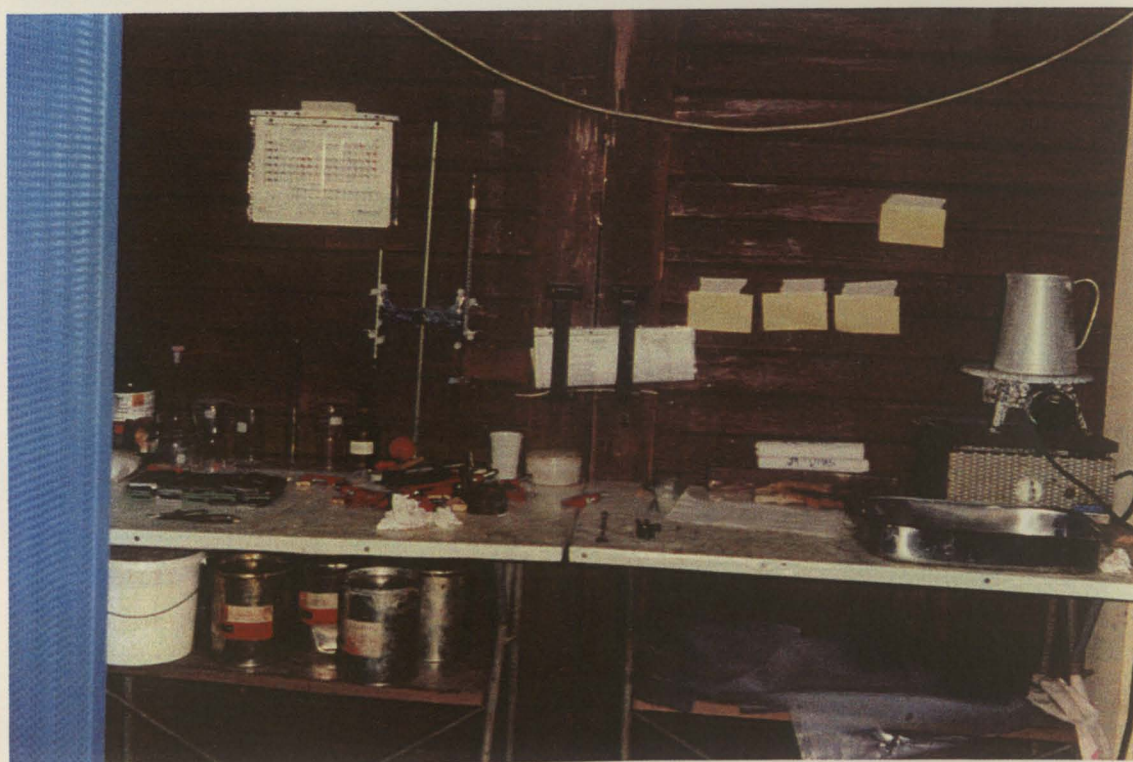
FOTOGRAFIA 1



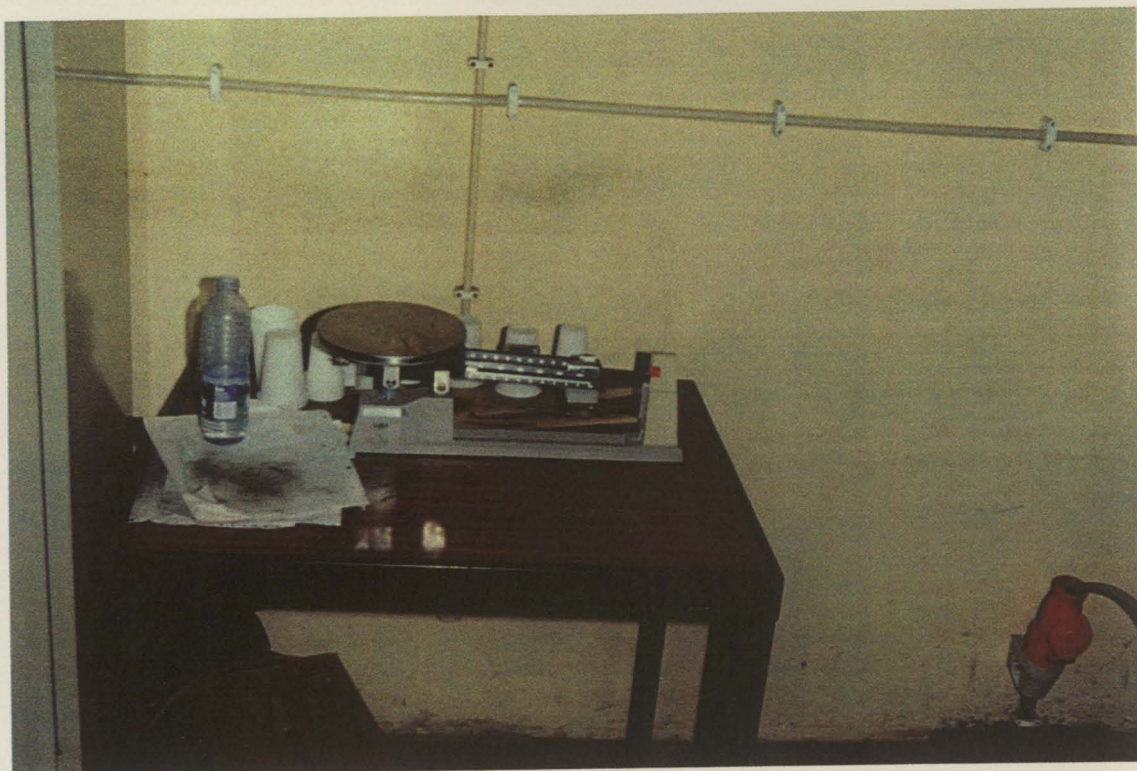
FOTOGRAFIA 2



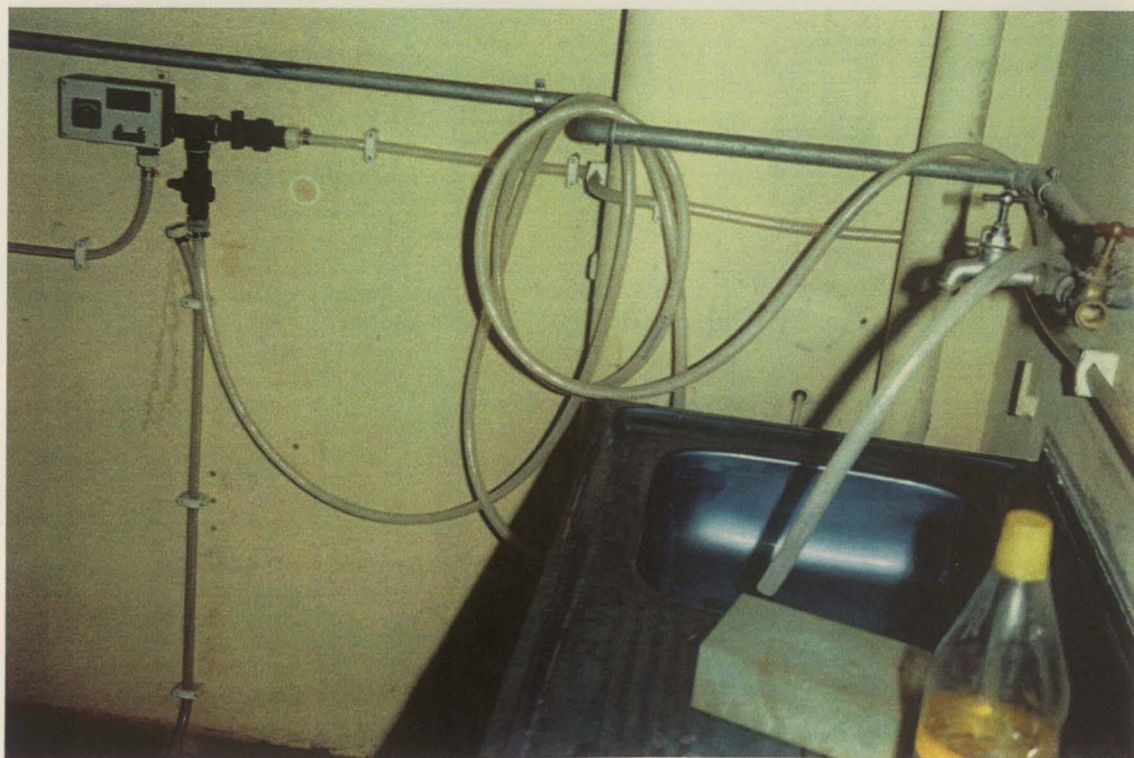
FOTOGRAFIA 3



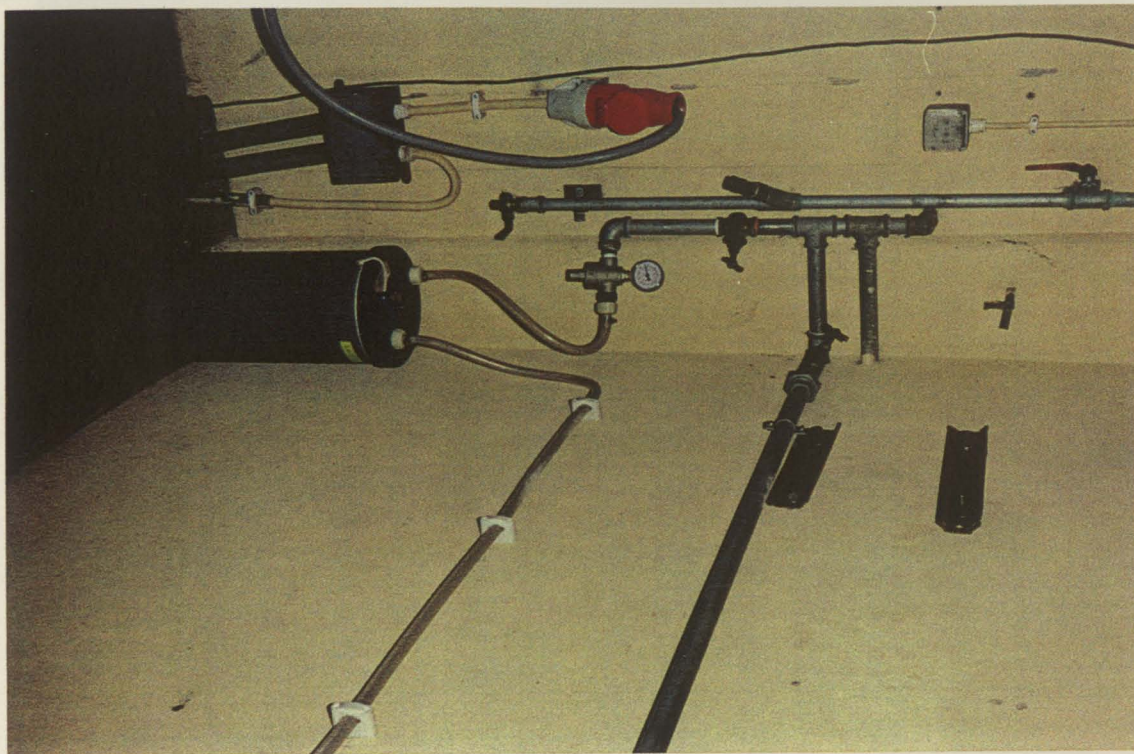
FOTOGRAFIA 4



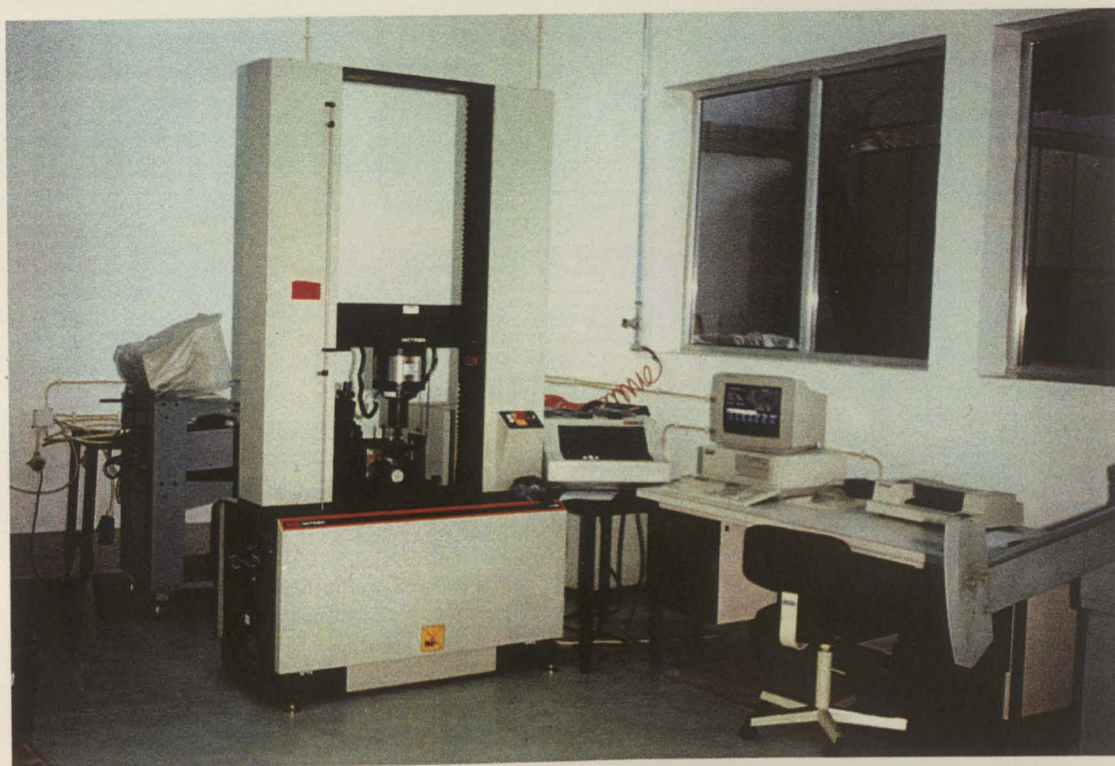
FOTOGRAFIA 5



FOTOGRAFIA 6



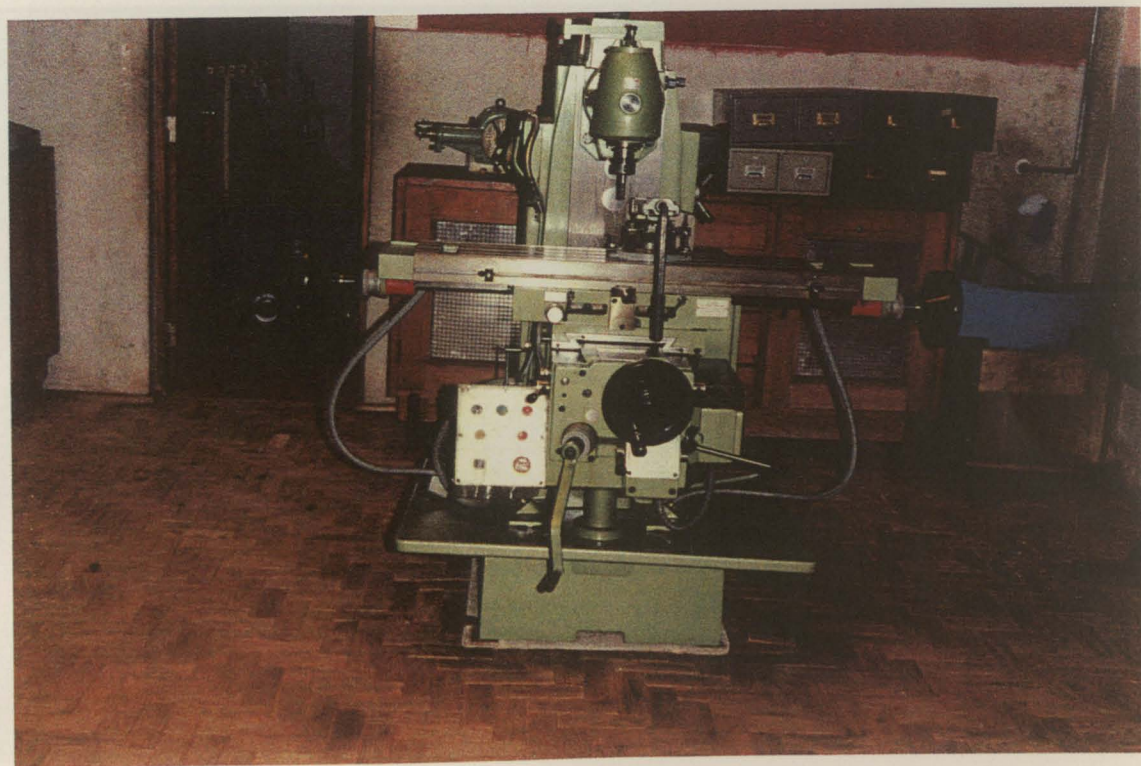
FOTOGRAFIA 7



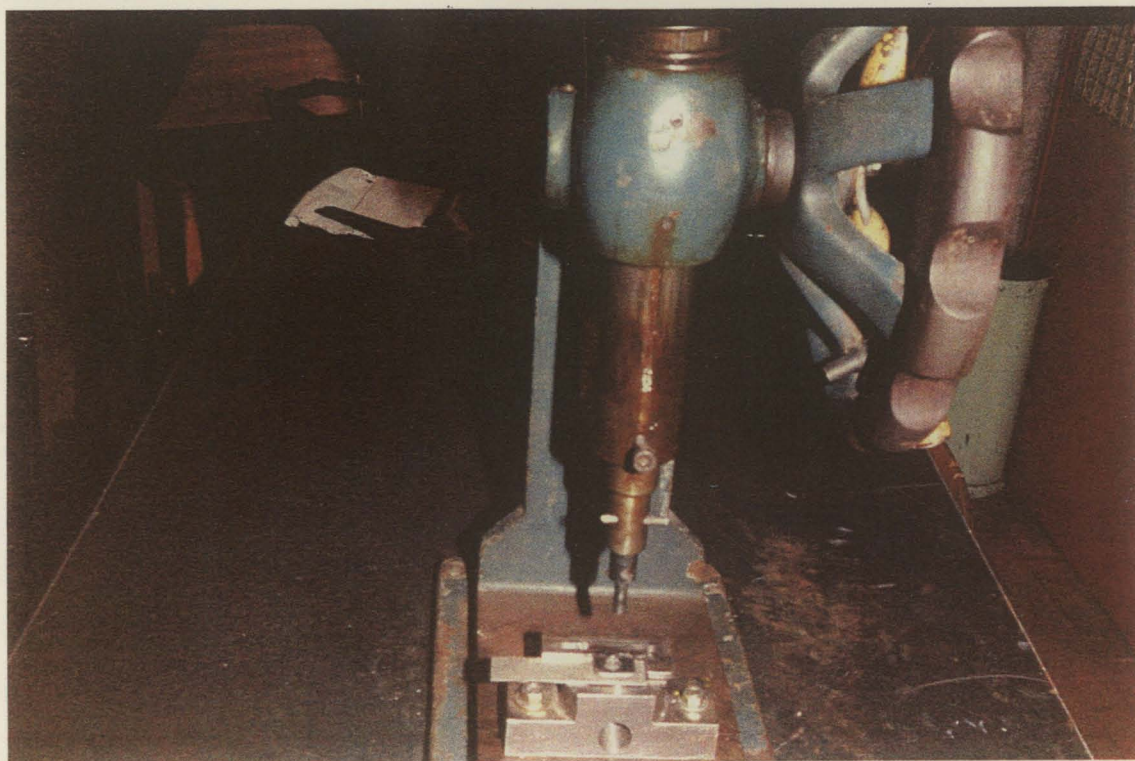
FOTOGRAFIA 8



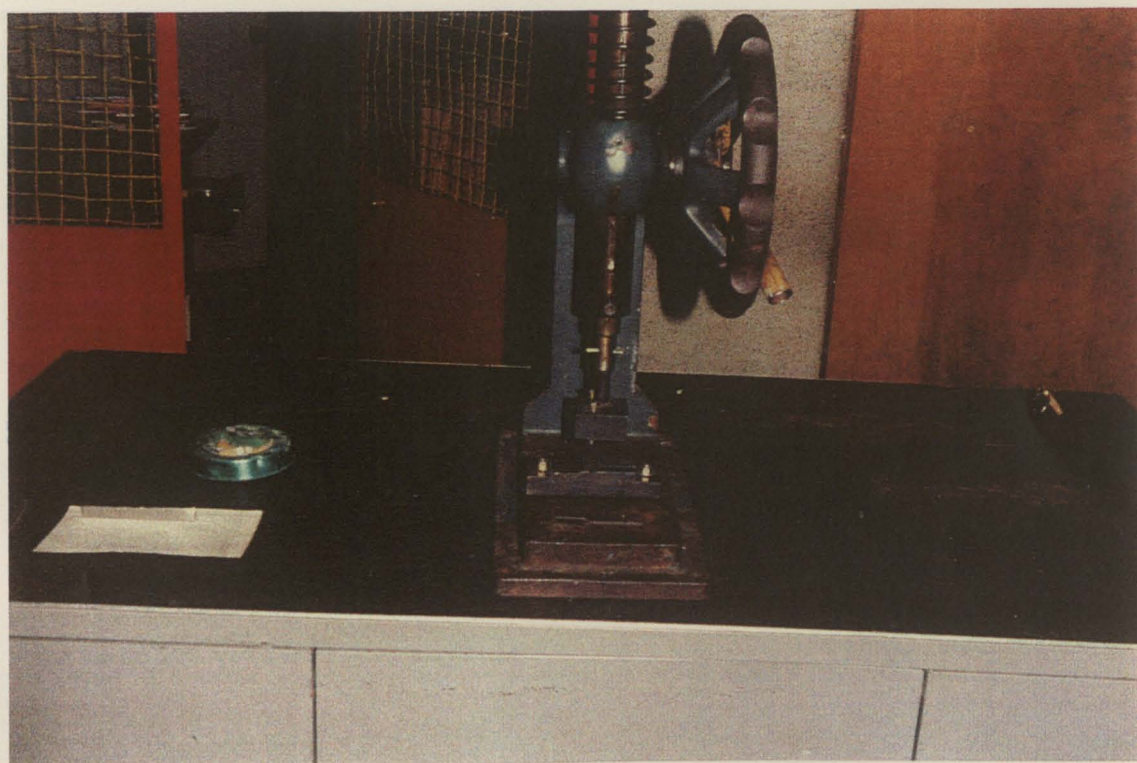
FOTOGRAFIA 9



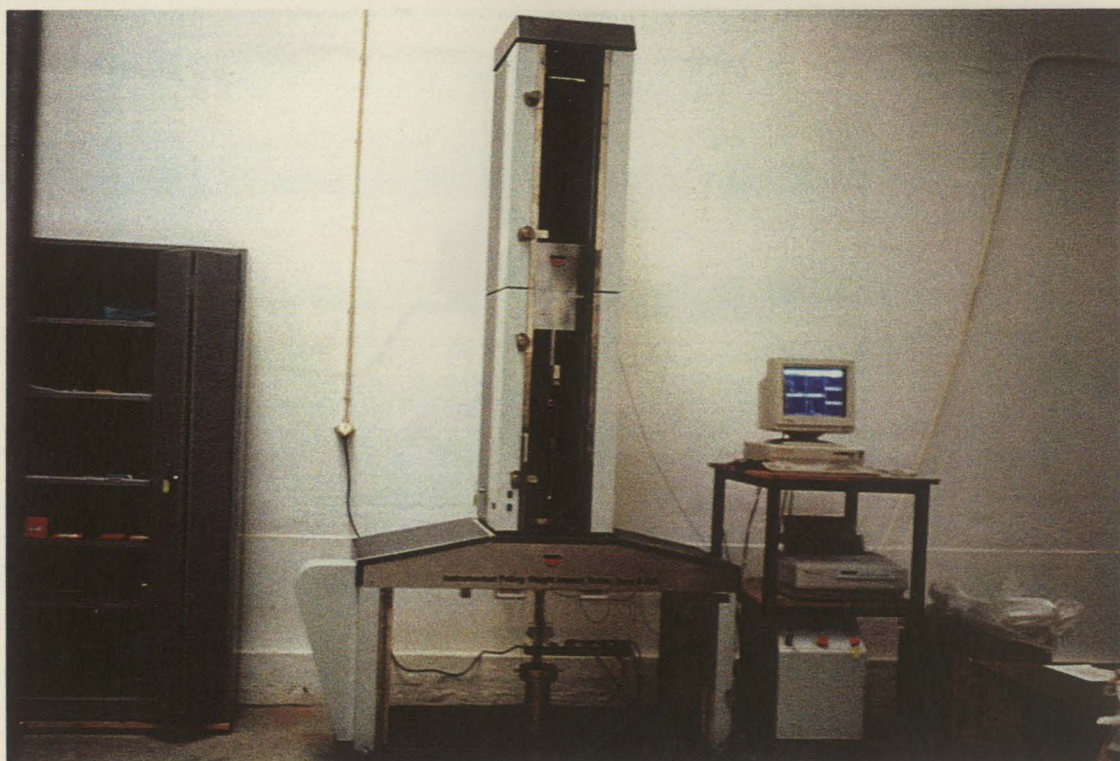
FOTOGRAFIA 10



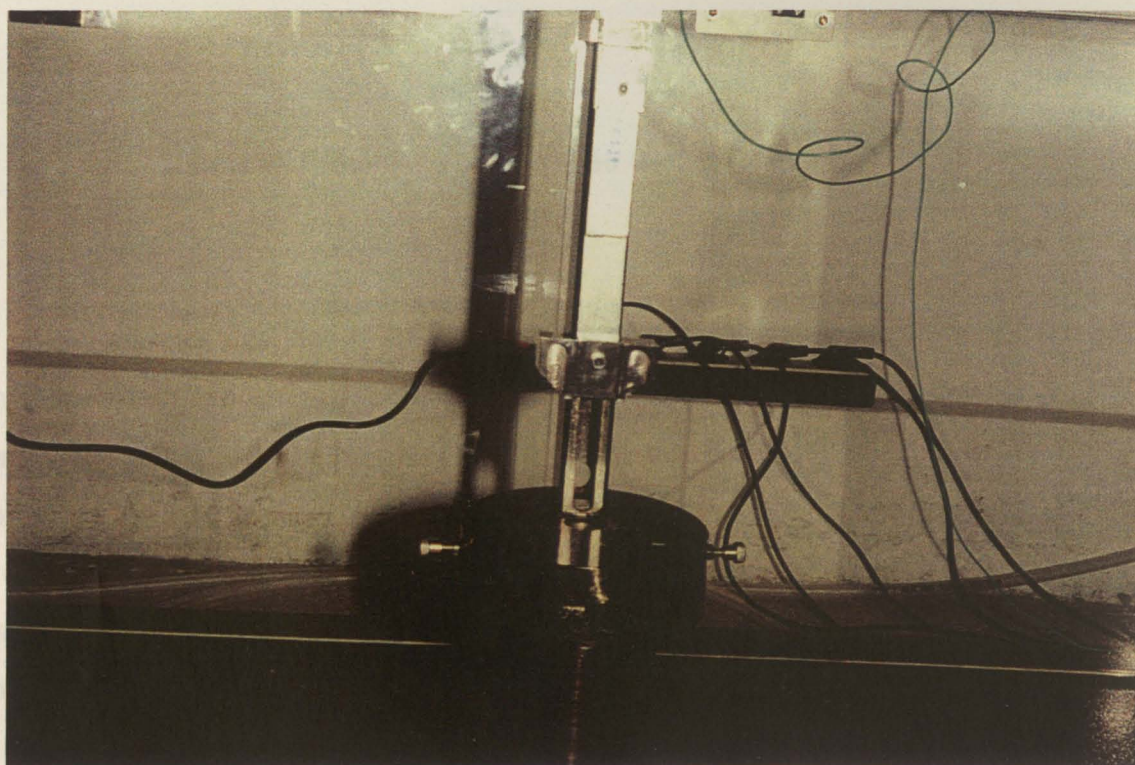
FOTOGRAFIA 11



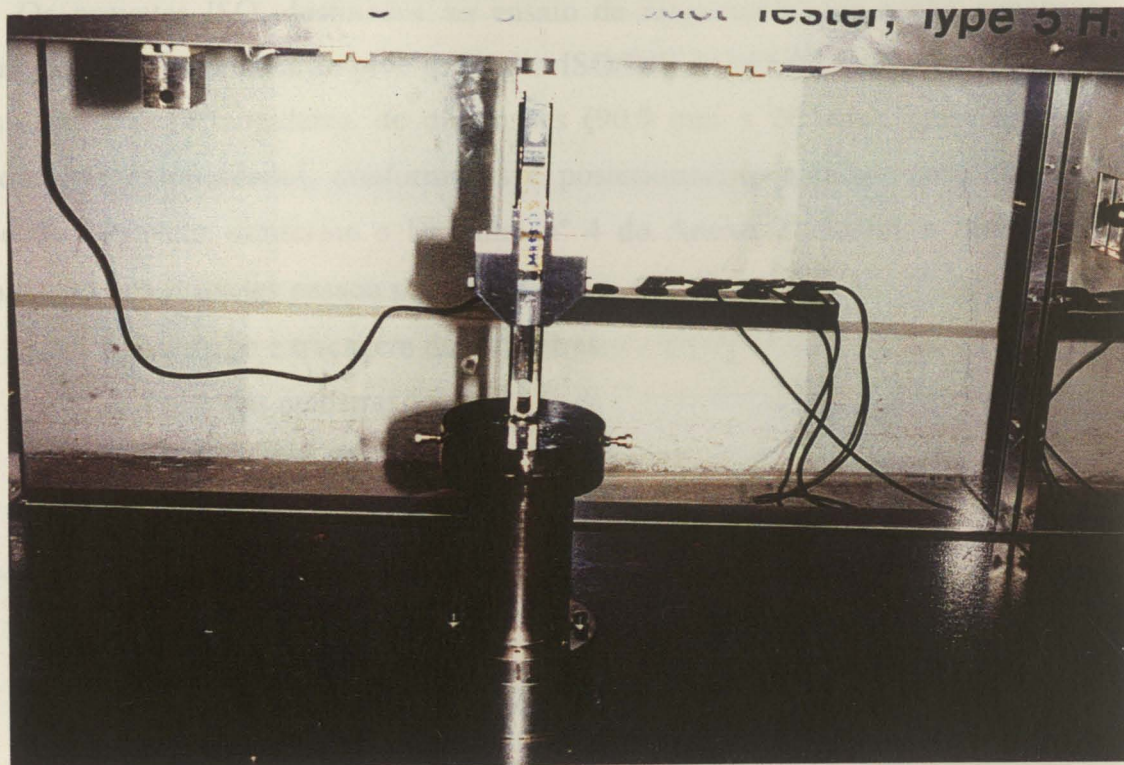
FOTOGRAFIA 12



FOTOGRAFIA 13



FOTOGRAFIA 14



FOTOGRAFIA 15

2.1.6 - PROVETES

2.1.6.1 - Obtenção e preparação das partes a colar

Os provetes destinados ao Lap Shear test, quer por tracção estática, quer por impacto, são constituídos por duas amostras de aço rectangulares, de dimensão (100 mm x 25 mm), que depois de coladas, com um comprimento de sobreposição constante e igual a 12,5 mm, constituem os respectivos Provetes. Estes foram preparados de acordo com a Norma ASTM 1002-72 (ver Desenho nº 2 do Anexo 2). Estes provetes, ditos de junta simples sobreposta, são, como já disse, usados em ensaios de tracção estáticos e em ensaios de tracção por impacto. Todavia para a realização de ensaios dinâmicos há necessidade de furar os provetes nas extremidades de acordo com o Desenho nº3 do Anexo 2.

Os provetes ISO, destinados ao ensaio de rasgamento por cunha simétrica, foram preparados de acordo com a Norma ISO/DIS 11343-92 e são formados por duas Amostras rectangulares, de dimensões (90,9 mm x 20 mm), que depois de furadas nas extremidades, conformadas e posteriormente coladas, constituem o respectivo Proвете, conforme o Desenho nº 4 do Anexo 2. Assim, a obtenção e preparação dos Provetes passou por várias fases:

1. Medição e traçagem das amostras.
2. Corte das amostras.
3. Maquinagem das Amostras.
4. Eliminação das rebarbas.
5. Eventual furação ou puncionamento.
6. Conformação das amostras para os Provetes ISO.
7. Referênciação das Amostras.
8. Eventual preparação das superfícies de colagem.
9. Colagens.

A seguir apresenta-se uma descrição do Procedimento adoptado nas diferentes fases que levaram à execução dos Provetes.

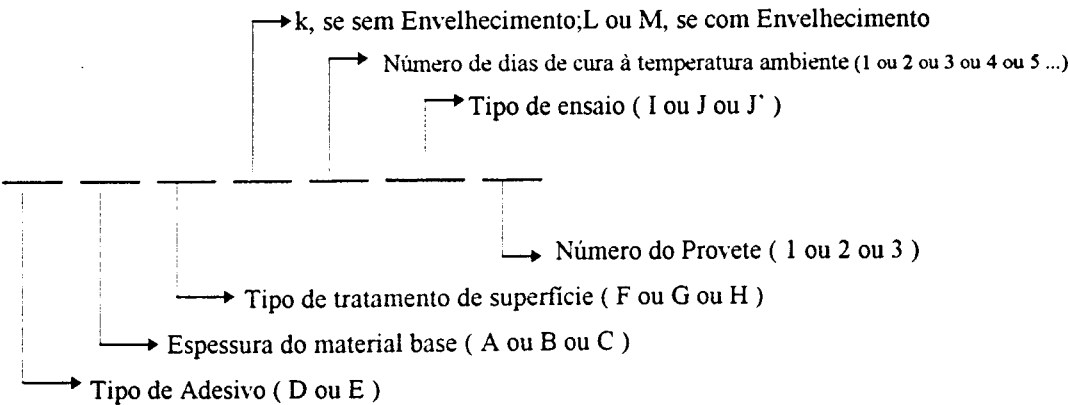
Partindo de chapas de aço de 2 m x 1 m, de espessuras 1mm, 1,5 mm e 2 mm, retiraram-se porções de chapa, nas quais se fez a traçagem de sucessivas tiras com 1m de comprimento e com 28 e 23 mm de largura. Seguidamente, as tiras foram cortadas numa guilhotina de precisão, as quais por sua vez, se cortaram ainda em pedaços de 100 e 90,9 mm de comprimento. Assim, conseguimos um grande número de chapas rectangulares de (100 mm x 28 mm) e (90,9 mm x 23 mm), em igual quantidade para todas as espessuras.

Por conseguinte, houve necessidade de fazer a maquinagem das amostras. Estas foram então empilhadas, apertadas na prensa duma Fresadora, e maquinadas, longitudinalmente, no sentido da espessura. Após a maquinagem, as amostras ficaram, respectivamente, com as dimensões de (100mm x 25mm) e de (90.9 mm x 20 mm), o que corresponde a sobresspessuras de maquinagem de 3 mm, em cada caso.

Uma vez concluída esta operação, a qual teve por objectivo evitar a introdução de tensões secundárias, no momento de ensaio dos provetes, aquando da sua solicitação, já que se conserva o paralelismo das faces, procedeu-se, obviamente, à eliminação das rabarbas, resultantes do processo de maquinagem. Para isso usou-se uma lima.

A furação das partes que formam os Provetes destinados ao ensaio de tracção por impacto fez-se num engenho de furar usando uma broca de 5 mm de diâmetro. Depois, teve lugar a furação das amostras que constituem os provetes ISO, por puncionamento, utilizando um punção de 8 mm de diâmetro e uma matriz, ambos adaptados a uma prensa manual, e criando ao mesmo tempo um sistema de posicionamento adequado, de modo a garantir a geometria das amostras. Seguidamente, foi executada a operação de conformação das mesmas, através de uma ferramenta (punção - matriz) com forma e dimensões apropriadas.

Para isso, adoptou-se como referência, no posicionamento da Amostra, uma marca circular de tinta, coincidente com o furo da mesma, assegurando assim a geometria das partes constituintes dos Provetes ISO. Após a limpeza das Amostras com um desperdício, estas foram referenciadas, de acordo com o seguinte esquema:



As amostras para os provetes que não sofreram envelhecimento, foram referenciadas com um marcador azul à prova de água, enquanto que as destinadas aos Provetes, que sofreram envelhecimento, foram referenciadas com um marcador

eléctrico, existente no LET. É agora o momento de descrever o procedimento seguido para o tratamento da superfície das amostras, sobretudo nas zonas de colagem.

As amostras coladas no estado de fornecimento (F), apenas foram limpas com um desperdício.

Os passos fundamentais, seguidos para fazer o desengorduramento com ridolene das amostras em aço, foram os seguintes:

— PREPARAÇÃO DO BANHO.

Retirei com uma colher, ridolene 1402 de um balde plástico e introduzi-o num copo de plástico, o qual pus na balança, para uma pesagem de 20 gr de produto. Seguidamente, abri a torneira de água desionizada e vazei cerca de 1 litro de água para uma jarra de Alumínio, a qual coloquei no disco eléctrico até amornar. Neste momento misturei as 20 gr de ridolene, agitei e aqueci a mistura até uma temperatura de 65°C , sensivelmente, e despejei esta mistura na tina de aço inox.

—PONTOS CONTROLADOS

- Alcanidade Total 9.5 a 29.
- Temperatura 50 a 75°C
- Tempo de imersão 2 a 10 min.

O grau de alcalinidade foi determinado titulando 10 ml do banho com H_2SO_4 (0.1N), gastando-se cerca de 15 ml de ácido, o que correspondeu a um grau de alcalinidade Total (AT) de 15, valor situado no intervalo anteriormente referido. Vou enunciar o procedimento adoptado no controle do nível de alcalinidade.

- Tirei 10 ml do banho para o balão de Erlenmeyer
- Adicionei mais 50 ml de água desionizada
- Deitei H_2SO_4 (0.1 N) na bureta e aferi no Zero com a torneira
- Adicionei no balão 3 gotas de bromocresol

- Agitei até obter uma mistura uniforme
- Deixei cair gotas de H_2SO_4 da bureta até o conteúdo do balão mudar de cor
- Anotei o número de ml de H_2SO_4 gastos e, por consequência, o nº de ml =
Grau de alcalinidade Total = (AT)

Após a constituição e controle do banho, coloquei as amostras no banho de Ridolene durante 6 minutos, à temperatura de 65°C. Retirei as amostras do banho e passei-as por água desionizada e, seguidamente, usando uma pinça, coloquei-as na estufa à temperatura de 60°C durante 5 minutos. Finalmente, retirei as amostras da estufa e, após arrefecimento, fiz as colagens.

O tratamento de superfície (H) é caracterizado por uma lixagem das zonas de colagem do substrato, utilizando uma escova de aço inoxidável adaptada a um berbequim eléctrico , manual, entre as duas operações de desengorduramento.

2.1.6.2 - Colagens

2.1.6.2.1 - Juntas de Simples Sobreposição

A execução destas juntas, as quais permitem obter os Provetes a ensaiar à tracção, quer estática quer por impacto, pauta-se pela realização de uma operação de colagem, que passo a descrever pormenorizadamente:

1. PREPARAÇÃO DA MISTURA ADESIVA

Em copos separados foram preparadas as misturas que dizem respeito aos dois adesivos, Terokal 5045 e Terokal 5050, nas seguintes proporções:

- Terokal 5050

Componente A (resina)

6,75 gr

Componente B (endurecedor)

3,25 gr

Utilizei a balança de preciso GOBOS para efectuar as pesagens, sendo preparadas, de cada vez, 10 gr de mistura adesiva de cada tipo.

- Terokal 5045

Componente A (resina)

5 gr

Componente B (endurecedor)

5 gr

Quer a resina, quer o endurecedor foram retirados das embalagens com duas espátulas com cabo de madeira (10 cm), as quais eram lavadas com diluente nos períodos intermédios de mudança do tipo de resina ou do tipo de endurecedor. Seguidamente, com uma colher contida num dos lados de uma espátula, introduzi pequenas porções de esferas de vidros de 0,25 mm de diâmetro em cada um dos copos, e agitei a mistura convenientemente, servindo-me naturalmente da mesma espátula, mas agora do lado oposto ao anterior. Preparadas as misturas adesivas e marcado o comprimento de sobreposição (12,5 cm), em duas faces de cada um dos lados das amostras, usando um compasso de bico, o qual fez a traçagem, deu-se início às colagens.

Utilizando uma espátula espalhei uniforme e adequadamente cada um dos adesivos nas duas faces a colar, procurando, na medida do possível, obter uma camada fina e homogénea do adesivo. Assim, as duas amostras foram colocadas e devidamente posicionadas num dispositivo apropriado (ver fotografia 16 e Desenho nº5 do Anexo 2), e pondo um calço de madeira sobre o provete, na zona da junta, fixei o conjunto com grampos, usando naturalmente uma pressão adequada. Durante todo o processo de colagem utilizei umas luvas de nylon. O facto do dispositivo estar furado, permite destacar a cola em excesso nos bordos da junta .

O (LA) possuía 8 daqueles dispositivos, com mais doze que eu fabriquei, foi possível colar 20 provetes de cada vez. Assim, comecei por colar 3 provetes de cada espessura, e para cada tipo de adesivo, apenas no estado de Fornecimento (F), o que corresponde a colar em cada etapa, 18 provetes. Mais concretamente, e com o

objectivo de ver a influência do tempo de cura à temperatura ambiente, sobre a resistência da ligação, aqueles 18 provetes foram submetidos a ensaios estáticos de tracção, na Máquina TINIUS OLSEN, após um dia de cura à temperatura ambiente. Repetiu-se este procedimento, colando mais 5 grupos de 18 provetes, ensaiados respectivamente ao fim de 2 dias de cura, ao fim de 3 dias, e assim sucessivamente até ao sexto dia. Foi possível colar dezoito provetes de manhã, e passadas 7 horas, tempo necessário para a junta adquirir a resistência inicial, colar mais 18 provetes. Verificou-se então que os valores das tensões de corte (ver ponto 3 - Resultados Experimentais), estabilizaram para ambos os adesivos ao quinto dia. No entanto, em alguns casos e para a cola Terokal 5050 e para 2 mm de espessura do material base, a reprodutividade de resultados notou-se ao fim do quarto dia.

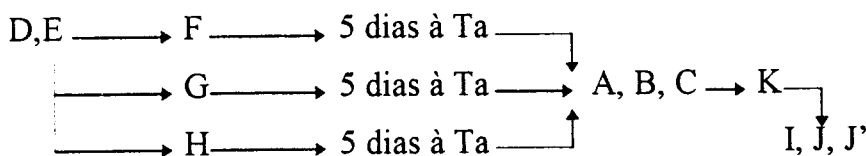
Após esta constatação, aliás já confirmada no trabalho [47] surgiu uma nova etapa de colagem. Passei então a colar amostras, cujos Provetes se destinaram aos ensaios estáticos (I) e dinâmicos (J). No primeiro caso, colei 3 provetes de cada espessura (A,B,C), para cada tipo de adesivo (D,E) e para cada tipo de tratamento de superfície (F,G e H). Claro que tive o cuidado de fazer as colagens imediatamente a seguir ao desengorduramento. Um pormenor verificado, após este tratamento foi a presença de pontos oxidados nas zonas do aço, destinadas à colagem, sobretudo naquelas que foram submetidas a anterior lixagem, mas somente nas espessuras de 1 e 1,5 mm do material base. Nas amostras de aço de 2 mm de espessura notou-se a ausência daqueles pontos. Provavelmente, este fenómeno poderá estar relacionado com a formação dos grupos Hidróxido. O tempo de cura à temperatura ambiente, foi de 5 dias para os dois tipos de adesivos. Portanto, foram colados 18 provetes de cada espessura nas diferentes condições, sem envelhecimento (K).

A colagem das amostras dos Provetes submetidos ao ensaio dinâmico (J), Lap Shear test (LST), foi realizada nos mesmos moldes, mas apenas foram colados dois provetes por cada condição. Surgiu então o momento de proceder às colagens das juntas destinadas aos mesmos ensaios mas submetidas a envelhecimento de 21 dias (L) e 42 dias (M). Assim, para este efeito só foram coladas juntas com substracto de 1,5 mm de espessura, nas mesmas condições das anteriores, sendo colados 6 provetes

no estado de fornecimento (F), seis provetes no estado (G) e seis provetes no estado (H). Evidentemente que metade dos provetes de cada série foram envelhecidos 21 dias e outra metade a 42 dias. Relativamente aos provetes para ensaio de tracção por impacto (J) adoptei o mesmo procedimento de colagem, colando apenas dois provetes por condição. Convém referir que os provetes resultantes destas colagens foram ensaiados na Máquina Instron (Ensaio estático de Tracção - I) e na Máquina ROSAND (Ensaio Dinâmicos - J).

A figura 44 mostra o esquema de ensaio dos Provetes, para uma cura de 5 dias à temperatura ambiente (Ta).

Parte 1 - Sem ciclo Climático



Parte 2 - Com ciclo Climático

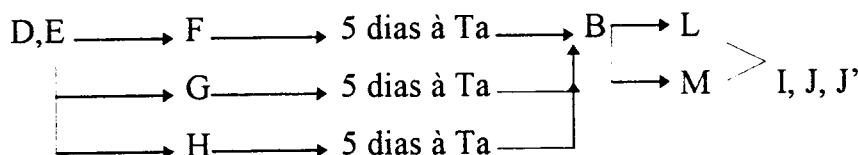


Fig 44 - Esquema para testagem dos Provetes

2.1.6.2.2 - Juntas dos Provetes ISO

Estas juntas foram efectuadas com os mesmos tipos de adesivos e nas mesmas condições das juntas descritas no ponto anterior, sendo colados três provetes por cada condição. Todavia, usei dois dispositivos de colagem, iguais, que julgo terem sido adequados para este tipo de provetes por etapa (ver Fotografia 17 e Desenho nº 6 do Anexo 2). Por conseguinte, coleí 9 provetes em cada dispositivo, de cada vez,

isto é dezoito provetes por etapa. Depois de ter preparado convenientemente as partes a colar, nomeadamente o tratamento das superfícies de colagem, espalhei a cola com a ajuda de uma espátula, primeiro com Terokal 5045 e depois com Terokal 5050. A seguir, posicionei as partes do Provete nas várias ranhuras ou faixas dos dispositivos, e depois coloquei um casquilho com um furo cilíndrico de 8 mm de diâmetro sobre o Provete, coaxialmente com os furos roscados M₈ existentes nos próprios dispositivos. O passo seguinte foi pôr as outras partes dos Provetes sobre as primeiras e estabelecer a ligação com parafusos M₈, entre as partes do Provete, o casquilho e o dispositivo. Finalmente, para pressionar a zona de colagem, utilizei uma barra de aço, que com a ajuda de Grampos grandes, mantiveram o conjunto solidário. De salientar a colagem de Provetes ISO, unicamente para espessuras do substrato de 1,5 mm, que posteriormente submeti a ensaios de envelhecimento, em conjunto e simultaneamente com os outros provetes, os quais foram testados na máquina Rosand, no chamado ensaio de impacto por cunha simétrica (J').

2.1.7 - ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO

Nesta fase, os Provete colados são sujeitos a testes climáticos em câmaras apropriadas. Nestas vai procurar-se simular as condições ambientais mais adversas a que a junta poderá estar sujeita. Desta forma a temperatura variará de - 40 a 80°C e a humidade relativa atingirá 80 %.

Esta aceleração do envelhecimento presta-se a uma análise comparativa da vida útil dos diferentes adesivos.

Pretende-se estudar a influência dos factores climáticos, temperatura e humidade no comportamento da junta colada. Este será avaliado no resultado dos testes de corte e de rasgamento a que os Provete foram sujeitos.

Um conjunto de Provete permanece na câmara durante 21 dias (L) e um outro lote permanece 42 dias (M). Todos eles se sujeitam a repetidos ciclos climáticos como o apresentado no Gráfico nº1 do ponto 3 (Resultados Experimentais).

Foi utilizada a Máquina de simulação ambiental da WEISS, modelo 500 SB/+10 IU/40 DU. A câmara é controlada por interface depois de pré-instalado o respectivo software (PC control) num PC. Esta forma permite armazenar em ficheiros tanto os programas como os resultados obtidos.

Depois de retirados das câmaras, os provetes foram ensaiados nas Máquinas INSTRON e ROSAND.

2.1.8 - ENSAIOS DE TRACÇÃO

2.1.8.1 - Estáticos

Considerando o número de Provete já preparados e o número de variáveis envolvidas no processo de adesão, apresentei um programa para testagem dos provetes.

Como já disse, para avaliar a influência do tempo à temperatura ambiente T_a (15 a 25°C) no processo de cura dos adesivos Terokal 5045 e Terokal 5050 (TEROSON), coleí seis séries de Provetes, apenas no estado de Fornecimento (F), que foram ensaiados na Máquina TINIUS-OLSEN ao fim de um dia de cura, e assim sucessivamente até ao sexto dia, conseguindo-se obter, nesta altura, uma relativa estabilização de resultados, nos valores da tensão de corte (LSS - Lap Shear Strenght). O ensaio dos restantes Provetes fez-se na Máquina INSTRON, sendo assim possível obter para além dos valores de tensão de corte, o registo das respectivas curvas, Força - Deslocamento.

Porém, mantiveram-se constantes os seguintes parâmetros:

1. - Material base: Aço cujas características mecânicas referi.
2. - Tamanho das Amostras : 100 x 25 x 1 ; 100 x 25 x 1,5 e 100 x 25 x 2 mm.
3. - Comprimento de sobreposição : 12,5 mm.
4. - Espessura da camada adesiva : valor nominal 0.25mm, valores médios medidos: $0.25 + 0.09$
- 0.07 mm .
5. - Velocidade de ensaio: 25 mm/ min.
6. - Ciclo climático quando aplicado:
4 h a 80°C/80% HR $\Rightarrow$ 2 h change $\Rightarrow$ 4 h a - 40°C $\Rightarrow$ 2 h change $\Rightarrow$ 4 h a 80°C/80% HR, sendo (HR - Humidade relativa).

Os ensaios foram conduzidos de acordo com a Norma ASTM.
D1002 - 72 - R1983

2.1.8.2 - Dinâmicos

2.1.8.2.1 - Lap Shear test

Os ensaios de tracção por impacto, em juntas de simples sobreposição (J), foram realizados na Máquina de impacto ROSAND IFW5HV.

Os aspectos acerca da sua constituição, características fundamentais, características opcionais, ON-OFF do sistema, dispositivos de fixação do provete, dispositivo de tracção (tensile test), ensaios de alta velocidade, descrição sumária do software, normas de segurança, calibrações, rotina para a execução de um ensaio e outras informações encontram-se na referência [60].

O Software que acompanha o equipamento trabalha em ambiente Windows e é bastante acessível para o utilizador. Permite a fácil fixação dos parâmetros de ensaio (massa, velocidade, energia ou altura de queda) que devem estar concordantes com as opções mecânicas. Após a realização do ensaio pode ser feito um tratamento numérico da curva real força-tempo, com o objectivo de obter outro tipo de informação, como por exemplo: força - deslocamento, energia - tempo, velocidade - tempo, etc.

Foram ensaiados 2 provetes por cada condição. Para isso, os provetes foram amarrados a um dispositivo de fixação existente na SAMPLE AREA da Máquina, conforme ilustram as fotografias 18 e 19 e o Desenho N°7 do Anexo 2. Vemos que o aperto do provete se fez às maxilas superior e inferior do dispositivo de fixação por intermédio de dois parafusos CHC M5.

Depois de termos colocado massas no valor de 5.830 Kg, o qual resulta da soma da massa do carrinho (1.288 Kg), da massa do suporte das massas (1.992 Kg) e da calha (2.550 Kg), procedemos ao espalhamento de uma massa lubrificante na base circular onde vai assentar o suporte de fixação dos provetes na SAMPLE AREA .

Seguidamente, desligou-se o transdutor de forças da sua posição habitual no impactor hemisférico e colocou-se directamente no dispositivo de tracção. O cabo usado, naturalmente o mais longo, foi ligado directamente à consola de comando na tomada referenciada por “Tower“. Depois colocou-se o dispositivo de tracção sobre a base circular lubrificada e procedeu-se à sua afinação e centragem, o que se fez através de 4 parafusos existentes no dispositivo (Parafuso (4) - Desenho nº7 do Anexo 2), os quais devem ser convenientemente apertados, mediante as respectivas porcas de fixação, o que permitiu fazer o posicionamento entre o impactor (calha) e o transdutor (Pormenor P - Desenho nº7 do Anexo 2). Houve também o cuidado

de voltar o cabo de ligação para a parte traseira da câmara de ensaio, conforme indica o Desenho nº7 em Anêxo 2. Fixou-se o provete ao dispositivo, apertando-o primeiro na maxila superior e seguidamente na maxila inferior do suporte de fixação e fecharam-se as portas da câmara de ensaio.

A partir daqui o Processo de ensaio desenrolou-se da seguinte forma:

- Verificar se o computador e respectivo monitor estão ligados e em situação de aquisição do sinal;
- Fazer o mesmo para a consola e montante da máquina;
- Verificar se o ar comprimido está ligado;
- Uma vez que o provete já está apertado no dispositivo de encastramento, seleccionar no software a opção de baixo regime de velocidade de ensaio;
- Aproximar o mais possível o impactor (calha), do provete utilizando o comando manual;
- Fazer o zero do sistema no software;
- Afinar o Trigger;
- Definir os parâmetros de ensaio:
 - Velocidade de ensaio - 3.5 m/s
 - Massa - 5.830 Kg
 - Energia - 35.71 joules
- Fazer GOTO para posicionamento automático do impactor;
- Fazer “ arm System “, e nesta altura dispõe-se apenas de 10 s (após o led vermelho no comando manual, piscar) para realizar o ensaio, pressionando o botão vermelho do comando manual.
- Retirar o provete do dispositivo e fixar outro provete.
- Imprimir as respectivas curvas Força - Deslocamento e Força-Tempo.

Tornou-se assim possível obter os valores da tensão de corte, o tipo de fractura e o registo das curvas Força - Deslocamento e Força-Tempo. Estes resultados serão apresentados no ponto 3.

2.1.8.2.2 - Ensaio de rasgamento por cunha simétrica, para os Provetes ISO

Estes ensaios foram também executados na Máquina ROSAND, tendo sido ensaiados três provetes por cada condição. A metodologia de ensaio é, em tudo semelhante, à anterior, à excepção do sistema de encastramento do Provede ao suporte de fixação da máquina. Foi então concebido um novo dispositivo de fixação como mostram as fotografias 43 e 44 e o Desenho nº8 do Anexo 2, que representa o esquema funcional do conjunto que caracteriza as diferentes ligações entre a maxila superior de fixação, o gancho, o provede e o receptor de impacto. Este último, possui uma cunha que permite a suspensão deste elemento na junta do provede. O impactor (calha), ao descer, embate nesta peça e provoca o rasgamento da junta. A articulação entre a maxila superior, o gancho e o provede fez-se por meio de cavilhas circulares devidamente ajustadas. Os desenhos nº9 a 15 do Anexo 2, representam as Projecções ortogonais das peças simples que integram o conjunto.

Os parâmetros de ensaio foram os seguintes:

- Velocidade de ensaio..... 2 m/s;
- Energia disponível..... 11,66 joules;
- Massa..... 5, 83 Kg
- Transiente Record
 - Força10 KN
 - Sweep50 ms
 - Height0.2 m

Por conseguinte, houve possibilidade de registar além das curvas Força versus Tempo e Força versus deslocamento, a energia absorvida na fractura e a profundidade de penetração da cunha até à fractura. Os ensaios foram conduzidos segundo a Norma ISO/DIS 11343 [57].

3 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os valores da tensão de corte (LSS), registados nos ensaios de tracção estáticos (por corte), destinados a estudar a influência do tempo de cura à temperatura ambiente no processo de cura dos dois tipos de colas, estão apresentados nos Quadros 11 a 16, inclusivé.

Nos Quadros 17 a 22 inclusivé, indicam-se os valores da resistência ao corte (LSS), no que diz respeito a provetes de diferentes espessuras, para diversos estados de preparação da superfície de colagem, sem envelhecimento e submetidos a ensaios de tracção estáticos (I) por corte, para ambos os tipos de adesivos. Veremos no ponto 4 (Discussão dos Resultados) que estes valores permitirão estudar a influência do grau de preparação da superfície, e da espessura do substracto, no comportamento à fractura das juntas coladas, com ambos os adesivos. O Quadro 23 refere os mesmos valores da resistência ao corte, para provetes ensaiados nas mesmas condições dos anteriores, mas submetidos a 21 e a 42 dias de exposição na Câmara climática. Estes resultados dizem apenas respeito à espessura de 1.5 mm (B) do material base, e para diversos estados de preparação da sua superfície.

Nos Quadros 24 a 29, estão indicados os valores de tensão de corte e das Energias de Fractura e do Pico, relativamente a juntas coladas nas mesmas condições das referidas no parágrafo anterior, embora submetidas a ensaios de tracção (ao corte), por impacto. O Quadro 30 mostra as mesmas propriedades, mas testadas após 21 e 42 dias de envelhecimento.

Os Quadros 31 a 36 inclusivé mostram os valores da resistência à clivagem por cunha - Qr, da Energia de Fractura e da profundidade de penetração da cunha até à fractura, relativamente a provetes de diferentes espessuras, com diferentes estados de preparação da superfície de colagem, sem envelhecimento (K), e submetidos a Ensaios de impacto por cunha (rasgamento) (J'), para os dois tipos de colas. O Quadro 37 indica os emsmos valores mas para juntas coladas, anteriormente sujeitas a 21 e a 42 dias de ciclo climático.

Finalmente, exibem-se a título exemplificativo seis curvas típicas Força - Deslocamento, no que concerne a juntas coladas com Terokal 5045, só para a espessura de 1.5 mm (B) do material base, ensaiadas ao impacto por cunha (Rasgamento- Arrancamento) (J'). A superfície de colagem destas juntas foi objecto de diferentes preparações, tendo algumas delas sido sujeitas a Envelhecimento durante 21 dias. Da análise destas curvas, verifica-se que a fractura deve ser descrita como frágil, já que a carga baixa para zero dentro de um certo valor de deslocamento (contar 20 mm) [57], e não um valor médio do arrancamento calculado. Este efeito coloca os materiais de baixa performance fora do registo da especificação, o que não é razoável, embora o descrito na Norma seja enganador ao referir a alta resistência dos adesivos, os quais são obviamente frágeis.

No entanto, citar a energia absorvida na fractura é melhor do que indicar a força de arrancamento média. Esta semelhança traduz, automaticamente o efeito de “good materials“ para altos valores da Energia e de “ poor materials “ para baixos valores da Energia, apesar de nos afastarmos do princípio de ensaio estabelecido pela Norma [57].

Nota-se, então, que o tratamento de superfície não influencia praticamente as performances em relação a juntas não desengorduradas. Porém, há uma degradação das propriedades após o envelhecimento a 21 dias, sobretudo em juntas desengorduradas e não desengorduradas. Se, ao desengorduramento, se associar a lixagem, as performances mantêm-se mesmo depois de a cola ser exposta 21 dias na Câmara climática.

Os Gráficos 21 e 23, mostram as unidades repetitivas dos ciclos de temperatura e humidade, usados nos ensaios de envelhecimento, respectivamente em relação ao comportamento programado e ao comportamento real.

As curvas Força versus deslocamento relativas aos Ensaios estáticos encontram-se no Anexo 3. As curvas Força versus Tempo e Força versus Deslocamento, das juntas submetidas a ensaios de tracção por impacto, apresentam-se no Anexo 4. As mesmas curvas, mas resultantes dos Ensaios de impacto por cunha (Rasgamento), mostram-se no Anexo 5.

PROVETE	LAP SHEAR STENGTH LSS (N/MM ²)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
DAFK1I1	6,664	ADESIVA	0.40	
DAFK1I2	7,934		0.35	
DAFK1I3	8,404		0.30	
MÉDIA	7,667		0.35	
DAFK2I1	11,285	ADESIVA	0.30	
DAFK2I2	11,015		0.30	
DAFK2I3	9,640		0.40	
MÉDIA	10,647		0.33	
DAFK3I1	2,082	COESIVA ADESIVA (30/70%) ADESIVA	0.30	
DAFK3I2	6,182		0.30	
DAFK3I3	6,778		0.40	
MÉDIA	5,014		0.33	
DAFK4I1	7,315	ADESIVA	0.40	
DAFK4I2	8,246		0.30	
DAFK4I3	8,624		0.40	
MÉDIA	8,062		0.36	
DAFK5I1	-----	ADESIVA	0.40	REJEITADO
DAFK5I2	11,335		0.30	
DAFK5I3	11,300		0.40	
MÉDIA	11,317		0.36	
DAFK6I1	11,452	ADESIVA	0.30	
DAFK6I2	11,237		0.30	
DAFK6I3	11,303		0.30	
MÉDIA	11,337		0.30	

Quadro 11 - Lap Shear Test para juntas coladas com Terokal 5045 (D), sem envelhecimento (K), não desengorduradas (F), ensaiadas estáticamente (I), ao fim de 1 a 6 dias de cura à temperatura ambiente, e para uma espessura do material base de 1 mm (A).

PROVETE	LAP SHEAR STRENGTH LSS (N/MM ²)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
EAFK1I1	11,446	ADESIVA	0.30	
EAFK1I2	11,681		0.30	
EAFK1I3	11,524		0.30	
MÉDIA	11,550		0.30	
EAFK2I1	13,767	ADESIVA	0.30	
EAFK2I2	11,493		0.34	
EAFK2I3	14,990		0.30	
MÉDIA	13,417		0.31	
EAFK3I1	11,760	ADESIVA	0.30	
EAFK3I2	9,710		0.30	
EAFK3I3	10,267		0.40	
MÉDIA	10,579		0.33	
EAFK4I1	9,259	ADESIVA	0.45	
EAFK4I2	8,297		0.40	
EAFK4I3	9,475		0.45	
MÉDIA	9,010		0.43	
EAFK5I1	11,068	ADESIVA	0.40	
EAFK5I2	11,235		0.30	
EAFK5I3	-----		0.45	
MÉDIA	11,151		0.38	
EAFK6I1	11,098	ADESIVA	0.30	
EAFK6I2	10,983		0.40	
EAFK6I3	11,253		0.30	
MÉDIA	11,111		0.33	

Quadro 12 - Lap Shear Test para juntas coladas com Terokal 5050 (E), sem envelhecimento (K), não desengorduradas (F), ensaiadas estaticamente (I), ao fim de 1 a 6 dias de cura à temperatura ambiente e para uma espessura do material base de 1 mm (A).

PROVETE	LAP SHEAR STENGTH LSS (N/MM ²)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
DBFK1I1	7,683	ADESIVA	0.34	
DBFK1I2	7,745		0.34	
DBFK1I3	8,153		0.30	
MÉDIA	7,860		0.32	
DBFK2I1	2,257	COESIVA COESIVA COESIVA/ADESIVA (90%/10%)	0.30	
DBFK2I2	2,104		0.30	
DBFK2I3	5,691		0.30	
MÉDIA	3,350		0.30	
DBFK3I1	2,178	COESIVA COESIVA ADESIVA	0.40	
DBFK3I2	3,481		0.40	
DBFK3I3	7,302		0.40	
MÉDIA	4,320		0.40	
DBFK4I1	7,362	ADESIVA	0.30	
DBFK4I2	6,881		0.30	
DBFK4I3	9,078		0.30	
MÉDIA	7,774		0.30	
DBFK5I1	12,212	ADESIVA	0.30	
DBFK5I2	11,812		0.30	
DBFK5I3	12,279		0.30	
MÉDIA	12,101		0.30	
DBFK6I1	12,301	ADESIVA	0.30	
DBFK6I2	11,913		0.30	
DBFK6I3	12,409		0.30	
MÉDIA	12,207		0.30	

Quadro 13 - Lap Shear test para juntas coladas com Terokal 5045 (D), nas mesmas condições das anteriores, sendo a espessura do material base de 1.5 mm (B).

PROVETE	LAP SHEAR STENGTH LSS (N/MM ²)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
EBFK1I1	8,435	ADESIVA	0.45	
EBFK1I2	10,474		0.30	
EBFK1I3	9,545		0.34	
MÉDIA	10,009		0.36	
EBFK2I1	9,408	ADESIVA	0.40	
EBFK2I2	10,928		0.30	
EBFK2I3	10,599		0.30	
MÉDIA	10,312		0.33	
EBFK3I1	11,837	ADESIVA	0.45	
EBFK3I2	5,253		0.30	
EBFK3I3	10,927		0.40	
MÉDIA	9,339		0.38	
EBFK4I1	9,924	ADESIVA	0.30	
EBFK4I2	11,697		0.30	
EBFK4I3	10,041		0.30	
MÉDIA	10,869		0.30	
EBFK5I1	11,831	ADESIVA	0.40	
EBFK5I2	11,974		0.30	
EBFK5I3	12,144		0.30	
MÉDIA	11,983		0.30	
EBFK6I1	12,012	ADESIVA	0.30	
EBFK6I2	12,148		0.30	
EBFK6I3	12,021		0.30	
MÉDIA	12,060		0.30	

Quadro 14 - Lap Shear Test para juntas coladas com Terokal 5050 (E), nas mesmas condições das anteriores, sendo a espessura do material base, 1.5 mm (B).

PROVETE	LAP SHEAR STENGTH LSS (N/MM ²)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
DCFK1I1	8,655	ADESIVA	0.34	
DCFK1I2	8,514		0.34	
EBFK1I3	5,299		0.45	
MÉDIA	7,489		0.37	
DCFK2I1	5,841	ADESIVA COESIVA/ADESIVA (10%/90%) COESIVA/ADESIVA (60%/40%)	0.40	
DCFK2I2	2,490		0.40	
DCFK2I3	5,522		0.40	
MÉDIA	4,618		0.40	
DCFK3I1	2,116	COESIVA ADESIVA ADESIVA	0.40	
DCFK3I2	7,739		0.40	
DCFK3I3	9,728		0.40	
MÉDIA	6,528		0.40	
DCFK4I1	8,439	ADESIVA	0.30	
DCFK4I2	8,016		0.30	
DCFK4I3	9,210		0.40	
MÉDIA	8,555		0.33	
DCFK5I1	11,197	ADESIVA	0.30	
DCFK5I2	11,174		0.30	
DCFK5I3	11,347		0.30	
MÉDIA	11,240		0.30	
DCFK6I1	11,360	ADESIVA	0.40	REJEITADO
DCFK6I2	-----		0.40	
DCFK6I3	11,413		0.30	
MÉDIA	11,387		0.36	

Quadro 15 - Lap Shear Test para juntas coladas com Terokal 5045(D), nas mesmas condições das anteriores, sendo a espessura do material base, 2 mm (C).

PROVETE	LAP SHEAR STENGTH LSS (N/MM ²)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
ECFK1I1	8,874	ADESIVA	0.34	
ECFK1I2	8,310		0.34	
EBFK1I3	5,456		0.45	
MÉDIA	7,457		0.37	
ECFK2I1	7,949	ADESIVA	0.40	
ECFK2I2	9,172		0.30	
ECFK2I3	8,749		0.40	
MÉDIA	8,623		0.36	
ECFK3I1	12,123	ADESIVA	0.30	
ECFK3I2	7,733		0.40	
ECFK3I3	11,693		0.30	
MÉDIA	10,516		0.33	
ECFK4I1	11.860	ADESIVA	0.40	
ECFK4I2	12,345		0.30	
ECFK4I3	12,682		0.40	
MÉDIA	12,278		0.36	
ECFK5I1	12,551	ADESIVA	0.30	
ECFK5I2	12,621		0.30	
ECFK5I3	12,658		0.30	
MÉDIA	12,610		0.30	
ECFK6I1	-----	ADESIVA	0.40	REJEITADO
ECFK6I2	12,799		0.30	
ECFK6I3	12,362		0.30	
MÉDIA	12,581		0.33	

Quadro 16 - Lap Shear Test para juntas coladas com Terokal 5050(E), nas mesmas condições das anteriores, sendo a espessura do material base, 2 mm (C).

PROVETE	LAP SHEAR STENGTH LSS (N/MM ²)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
DAFK5I1	-----	ADESIVA	0.40	Rejeitado
DAFK5I2	10,640		0.40	Não desengordurada (F)
DAFK5I3	11,060		0.30	“
MÉDIA	10,850		0.36	
DAGK5I1	13,660	ADESIVA	0.40	Desengordurada
DAGK5I2	12,840		0.40	“
DAGK5I3	-----		0.30	Rejeitado
MÉDIA	13,780		0.36	
DAHK5I1	-----	ADESIVA	0.40	(Deseng+lixada+deseng.)
DAHK5I2	12,250		0.30	(H).
DAHK5I3	12,153		0.40	“
MÉDIA	12,202		0.36	“

Quadro 17 - Lap Shear Test (I) para juntas coladas com Terokal 5045 (D), sem envelhecimento (K), submetidas a ensaios estáticos (I) e para uma espessura do material base de 1 mm (A).

PROVETE	LAP SHEAR STENGTH LSS (N/MM ²)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
EAFK5I1	14,089	ADESIVA	0.42	Não desengordurada (F)
EAFK5I2	14,863		0.40	“
EAFK5I3	14,300		0.30	“
MÉDIA	14,417		0.32	
EAGK5I1	13,080	ADESIVA	0.30	Desengordurada
EAGK5I2	13,570		0.40	“
EAGK5I3	-----		0.40	Rejeitado
MÉDIA	13,325		0.36	
EAHK5I1	-----	ADESIVA	0.30	Rejeitado
EAHK5I2	14,080		0.45	(Deseng+lixada+deseng) (H)
EAHK5I3	14,530		0.34	“
MÉDIA	14,305		0.35	

Quadro 18 - Lap Shear Test (I) para juntas coladas com Terokal 5050 (E), sem envelhecimento (K), submetidas a ensaios estáticos (I) e para uma espessura do material base de 1 mm (A).

PROVETE	LAP SHEAR STENGTH LSS (N/MM ²)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
DBFK5I1	11,570	ADESIVA	0.40	Não desengordurada (F)
DBFK5I2	11,740		0.40	“
DBFK5I3	-----		0.40	Rejeitado
MÉDIA	11,655		0.40	
DBFK5I1	11,996	ADESIVA	0.30	Desengordurada (G)
DBFK5I2	12,840		0.30	“
DBFK5I3	12,410		0.30	“
MÉDIA	12,415		0.30	
DBFK5I1	-----	ADESIVA	0.40	Rejeitado
DBFK5I2	10,905		0.30	(Deseng+Lixada+deseng)(H)
DBFK5I3	11,280		0.30	“
MÉDIA	11,093		0.33	

Quadro 19 - Lap Shear test (I)para juntas coladas com Terokal 5045 (D), sem envelhecimento (K), submetidas a ensaios estáticos (I) e para uma espessura do material base de 1.5 mm (B).

PROVETE	LAP SHEAR STENGTH LSS (N/MM ²)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
EBFK5I1	13,190	ADESIVA	0.30	Não desengordurada (F)
EBFK5I2	14,030		0.40	“
EBFK5I3	13,410		0.40	“
MÉDIA	13,543		0.36	
EBFK5I1	13,280	ADESIVA	0.40	Desengordurada (G)
EBFK5I2	13,260		0.30	“
EBFK5I3	13,540		0.30	“
MÉDIA	13,360		0.33	
EBFK5I1	15,377	ADESIVA	0.30	(Deseng-Lixada+deseng xH)
EBFK5I2	15,720		0.34	“
EBFK5I3	-----		0.40	Rejeitado
MÉDIA	15, 549		0.34	

Quadro 20 - Lap Shear test (I) para juntas coladas com Terokal 5050 (E), sem envelhecimento (K), submetidas a ensaios estáticos (I) e para uma espessura do material base de 1.5 mm (B).

PROVETE	LAP SHEAR STENGTH LSS (N/MM ²)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
DCFK5I1	-----	ADESIVA	0.30	Rejeitado
DCFK5I2	13,480		0.20	Não desengordurada (F)
DCFK5I3	13,310		0.40	“
MÉDIA	13,395		0.30	
DCFK5I1	-----	ADESIVA	0.20	Rejeitado
DCFK5I2	14,720		0.20	Desengordurada(G)
DCFK5I3	-----		0.40	Rejeitado
MÉDIA	14,720		0.26	
DCFK5I1	-----	ADESIVA	0.34	Rejeitado
DCFK5I2	11,700		0.40	(Deseng+Lixada+Deseng)(H)
DCFK5I3	-----		0.34	Rejeitado“
MÉDIA	11,700		0.36	

Quadro 21 - Lap Shear test (I) para juntas coladas com Terokal 5045 (D), sem envelhecimento (K), submetidas a ensaios estáticos (I) e para uma espessura do material base de 2 mm (C).

PROVETE	LAP SHEAR STENGTH LSS (N/MM ²)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
ECFK5I1	-----	ADESIVA	0.30	Rejeitado
ECFK5I2	13,154		0.18	Não desengordurada (F)
ECFK5I3	13,360		0.34	“
MÉDIA	13,257		0.27	
ECFK5I1	15,390	ADESIVA	0.30	Desengordurada (G)
ECFK5I2	15,660		0.30	“
ECFK5I3	15,740		0.40	“
MÉDIA	15,597		0.33	
ECFK5I1	-----	ADESIVA	0.40	Rejeitado
ECFK5I2	20,352		0.30	(Deseng+Lixada+Deseng)(H)
ECFK5I3	20,990		0.30	“
MÉDIA	20,671		0.33	

Quadro 22 - Lap Shear test (I) para juntas coladas com Terokal 5050 (E), sem envelhecimento (K), submetidas a ensaios estáticos (I) e para uma espessura do material base de 2 mm (C).

Terokal 5045 (D)

PROVETE	LSS (N/mm ²)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA DO ADESIVO (mm)	COMENTARIO
DBFL511	11,540	ADESIVA REJEITADO	0.30	Rejeitado
BDFL512	10.860		0.35	
DBFL513	-----		0.40	
MÉDIA	11,200		0.35	
DBFM511	-----	ADESIVA	0.40	Rejeitado
DBFM512	7,330		0.34	
DBFM513	6,231		0.40	
MÉDIA	6,781		0.38	
DBGL511	13,059	COESIVA/	0.30	
DBGL512	12,582	/ADESIVA	0.30	
MÉDIA	12,820	(70% - 30%)	0.30	
DBGM511	9,192	ADESIVA	0.45	
DBGM512	9,863		0.30	
MÉDIA	9,527		0.37	
DBHL511	13,265	COESIVA/	0.20	
DBHL512	13,101	/ADESIVA	0.30	
MÉDIA	13,133	(70% - 30%)	0.25	
DBHM511	-----	ADESIVA COESIVA/ /ADESIVA (70% - 30%)	0.20	Rejeitado
DBHM512	14,758		0.30	
MÉDIA	11,758		0.25	

Terokal 5050 (E)

PROVETE	LSS (N/mm ²)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA DO ADESIVO (mm)	COMENTARIO
EBFL511	14,105	ADESIVA	0.30	Rejeitado
EBFL512	-----		0.30	
EBFL513	14,029		0.30	
MÉDIA	14,067		0.30	
EBFM511	-----	ADESIVA	0.30	Rejeitado
EBFM512	14,174		0.40	
EBFM513	13,877		0.34	
MÉDIA	14,025		0.38	
EBGL511	15,354	ADESIVA	0.20	
EBGL512	15,354		0.30	
MÉDIA	15,354		0.25	
EBGM511	11,433	ADESIVA	0.30	
EBGM512	11,852		0.30	
MÉDIA	11,643		0.30	
EBHL511	16,014	ADESIVA	0.35	
EBHL512	15,067		0.25	
MÉDIA	15,540		0.30	
EBHM511	14,009	ADESIVA	0.30	
EBHM512	13,573		0.30	
EBHM513	-----		0.30	
MÉDIA	13,791		0.30	

F - Sem desengorduramento G - Com desengorduramento H - Com (Deseng. - Lixag. + Deseng.)

Quadro 23 - Lap Shear test (I) para juntas coladas com ambos os adesivos, com envelhecimento a 21 (L) e a 42 (M) dias, submetidas a ensaios estáticos (I) e apenas para uma espessura do material base de 1.5 mm (B).

PROVETE	LSS (N/mm^2)	ENERGIA DO PICO (J)	ENERGIA DE FRACTURA (J)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTARIO
DAFK5J1	31,194	21,61	23,62	COESIVA/ADESIVA (90% / 10 %) -----	0.30	Não desengordurada (F) Rotura pelo Furo
DAFK5J2	-----	-----	-----		0.20	
MÉDIA	31,194	21,61	23,62		0.25	
DAGK5J1	36,367	5,92	19,89	COESIVA/ADESIVA (70% / 30 %)	0.20	Desengordurada (G) “
DAGK5J2	35,723	30,66	33,39		0.34	
MÉDIA	35,545	18,24	26,54	COESIVA/ADESIVA (60% / 30 %)	0.27	
DAHK5J1	37,695	7,74	14,85	COESIVA/ADESIVA (90% / 10 %) COESIVA	0.30	(Deseng+Lixada+deseng XH) “
DAHK5J2	38,049	15,45	27,95		0.34	
MÉDIA	37,872	11,595	21,40		0.32	

Quadro 24 - Lap Shear test (J) para juntas coladas com Terokal 5045 (D), sem envelhecimento (K), submetidas a ensaios de tracção por impacto (J) e para uma espessura do substracto de 1 mm (A).

PROVETE	LSS (N/mm^2)	ENERGIA DO PICO (J)	ENERGIA DE FRACTURA (J)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
EAFK5J1	33,102	5,63	9,07	ADESIVA	0.34	Não desengordurada (F) “
EAFK5J2	32,557	4,73	7,43		0.34	
MÉDIA	32,830	5,18	8,25		0.34	
EAGK5J1	28,349	4,16	7,10	ADESIVA	0.30	Desengordurada (G) “
EAGK5J2	27,667	3,20	5,64		0.34	
MÉDIA	28,008	3,68	6,37		0.32	
EAHK5J1	32,582	6,78	9,36	ADESIVA	0.34	(Deseng+Lixada+deseng XH) “
EAHK5J2	33,266	7,79	13,45		0.34	
MÉDIA	32,924	7,285	11,405		0.34	

Quadro 25 - Lap Shear test (J) para juntas coladas com Terokal 5050 (E), sem envelhecimento (K), submetidas a ensaios de tracção por impacto (J) e para uma espessura do substracto de 1 mm (A).

PROVETE	LSS (Nmm ²)	ENERGIA DO PICO (J)	ENERGIA DE FRACTURA (J)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
DBFK5J1	38,496	8,48	16,34	COESIVA COESIVA/ADESIVA (90% / 10 %)	0.40	Não desengordurada (F)
DBFK5J2	38,769	8,08	29.95		0.25	“
MÉDIA	38,633	8,28	23,145		0.325	
DBGK5J1	41,108	14,47	17.52	COESIVA/ADESIVA (75% / 25 %) COESIVA/ADESIVA (90% / 10 %)	0.20	Desengordurada (G)
DBGK5J2	40,288	9,56	17,34		0.30	“
MÉDIA	40,698	12,015	17,43		0.25	
DBHK5J1	42,131	9,37	16.47	COESIVA	0.30	(Deseng+Lixada+deseng xH)
DBHK5J2	43,780	27,59	28.07	COESIVA	0.20	“
MÉDIA	42,980	18,48	22,27		0.25	

Quadro 26 - Lap Shear test (J) para juntas coladas com Terokal 5045 (D), sem envelhecimento (K), submetidas a ensaios de tracção por impacto (J) e para uma espessura do substracto de 1.5 mm (B).

PROVETE	LSS (Nmm ²)	ENERGIA DO PICO (J)	ENERGIA DE FRACTURA (J)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
EBFK5J1	39,655	5,62	8.50	ADESIVA	0.40	Não desengordurada (F)
EBFK5J2	40,070	7,80	12,45		0.34	“
MÉDIA	39,863	6,71	10,475		0.37	
EBGK5J1	41,448	8,38	14,85	ADESIVA	0.25	Desengordurada (G)
EBGK5J2	40,733	8,21	15.36		0.20	“
MÉDIA	41,091	8,295	15,105		0.225	
EBHK5J1	-----	-----	-----	ADESIVA	0.40	Rejetado
EBHK5J2	45,051	9,64	12,31		0.34	(Deseng+Lixada+deseng xH)
MÉDIA	45,051	9,64	12,31		0.37	

Quadro 27 - Lap Shear test (J) para juntas coladas com Terokal 5050 (E), sem envelhecimento (K), submetidas a ensaios de tracção por impacto (J) e para uma espessura do substracto de 1.5 mm (B).

PROVETE	LSS (N/mm ²)	ENERGIA DO PICO (J)	ENERGIA DE FRACTURA (J)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTARIO
DCFK5J1	41,100	11,58	14,59	COESIVA	0.40	Não desengordurada (F)
DCFK5J2	42,092	10,88	18,03	COESIVA	0.34	“
MÉDIA	41,596	11,23	16,31		0.37	
DCGK5J1	46,767	10,13	20,55	COESIVA	0.34	Desengordurada (G)
DCGK5J2	45,273	11,72	14,43	COESIVA/ADESIVA (95% / 5 %)	0.34	“
MÉDIA	46,020	10,925	17,49		0.34	
DCHK5J1	35,874	14,16	15,98	COESIVA	0.34	(Deseng+Lixada+deseng XH)
DCHK5J2	35,085	10,98	14,62	COESIVA	0.40	“
MÉDIA	35,480	12,57	15,30		0.37	

Quadro 28 - Lap Shear test (J) para juntas coladas com Terokal 5045 (D), sem envelhecimento (K), submetidas a ensaios de tracção por impacto (J) e para uma espessura do substracto de 2 mm (C).

PROVETE	LSS (N/mm ²)	ENERGIA DO PICO (J)	ENERGIA DE FRACTURA (J)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
EBFK5J1	33,600	5,36	8,37	ADESIVA	0.34	Não desengordurada (F)
EBFK5J2	32,406	5,98	9,02		0.30	“
MÉDIA	33,003	5,67	8,695		0.32	
EBGK5J1	32,378	7,85	10,67	ADESIVA	0.30	Desengordurada (G)
EBGK5J2	31,767	7,97	9,57		0.30	“
MÉDIA	32,973	7,91	10,12		0.30	
EBHK5J1	32,620	7,09	10,47	ADESIVA	0.25	(Deseng+Lixada+deseng XH)
EBHK5J2	31,500	4,73	9,87		0.30	“
MÉDIA	32,060	5,91	10,17		0.275	

Quadro 29 - Lap Shear test (J) para juntas coladas com Terokal 5050 (E), sem envelhecimento (K), submetidas a ensaios de tracção por impacto (J) e para uma espessura do substracto de 2 mm (C).

Terokal 5045

PROVETE	LSS (N/mm ²)	ENERGIA DO PICO (J)	ENERGIA DE FRACTURA	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA DO ADESIVO (mm)	COMENTARIO
DBFL5J1	---	---	---	ADESIVA/COESIVA (60% / 40 %) COESIVA/ADESIVA (90% / 10 %)	0.20	Rejeitado
DBFL5J2	19,633	4,71	7,97		0.34	
MÉDIA	19,633	4,71	7,97		0.27	
DBFM5J1	20,060	3,23	4,820	COESIVA COESIVA/ADESIVA (97% / 3 %)	0.30	
DBFM5J2	18,785	1,750	2,55		0.40	
MÉDIA	19,423	2,49	3,685		0.35	
DBGL5I1	---	---	---	ADESIVA/COESIVA (95% / 5 %) COESIVA/ADESIVA (90% / 10 %)	0.30	Rejeitado
DBGL5I2	22,720	4,50	10,09		0.40	
MÉDIA	22,720	4,50	10,09		0.35	
DBGM5J1	27,118	4,73	9,40	COESIVA/ADESIVA (95% / 5 %) COESIVA	0.40	
DBGM5J2	25,927	5,08	7,43		0.34	
MÉDIA	26,523	4,905	8,415		0.37	
DBHL5I1	26,912	4,60	10,63	COESIVA COESIVA/ADESIVA (90% / 10 %)	0.25	
DBHL5I2	27,968	3,94	7,39		0.30	
MÉDIA	27,440	4,27	9,01		0.275	
DBHM5I1	32,064	4,91	8,33	COESIVA COESIVA	0.25	Rejeitado
DBHM5I2	---	---	---		0.34	
MÉDIA	32,064	4,91	8,33		0.295	

F - Sem desengorduramento G- Com desengorduramento C - Com (Deseng+Lixag.+Deseng.)

Quadro 30 - Lap Shear test (J) para juntas coladas com ambos os adesivos, com envelhecimento a 21 (L) e a 42 (M) dias, submetidas a ensaios de tracção por impacto (J) e apenas para uma espessura do substracto de 1.5 mm (B).

Terokal 5050

PROVETE	LSS (N/mm ²)	ENERGIA DO PICO (J)	ENERGIA DE FRACTURA	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA DO ADESIVO (mm)	COMENTARIO
EBFL5J1	18,800	1,620	2,50	ADESIVA	0.30	
EBFL5J2	18,400	2,23	3,45		0.40	
MÉDIA	18,600	1,925	2,975		0.35	
EBFM5J1	24,951	2,10	3,31	ADESIVA	0.34	Rejeitado
EBFM5J2	-----	-----	-----		0.30	
MÉDIA	24,951	2,10	3,31		0.32	
EBGL5J1	21,869	2,710	3,670	ADESIVA	0.34	Rejeitado
EBGL5J2	-----	-----	-----		0.40	
MÉDIA	21,869	2,710	3,670		0.37	
EBGM5J1	18,754	2,850	3,530	ADESIVA	0.30	
EBGM5J2	17,735	1,120	1,830		0.30	
MÉDIA	18,245	1,985	2,68		0.30	
EBHL5J1	26,369	3,50	5,210	ADESIVA	0.20	
EBHL5J2	25,382	5,18	6,150		0.30	
MÉDIA	25,876	4,34	5,680		0.25	
EBHM5J1	23,015	3,740	4,770	ADESIVA	0.40	
EBHM5J2	24,504	2,60	3,850		0.30	
MÉDIA	23,759	3,170	4,310		0.35	

F - Sem desengorduramento G - Com desengorduramento H - Com (Deseng. +Lixag. +Deseng.)

Quadro 30 - Continuação - Juntas coladas com Terokal 5050 (E).

PROVETE	QR (N/MM)	ENERGIA DE FRACTURA (JOULES)	DESLOCAMENTO ATÉ À FRACTURA (MM)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
DAFK5J'1	-----	-----	-----	-----	-----	Rejeitado
DAFK5J'2	22.6	0.340	0.350	COESIVA	0.30	Não desengordurada (F)
DAFK5J'3	-----	-----	-----	-----	-----	Rejeitado
MÉDIA	22.6	0.340	0.350		0.30	
DAGK5J'1	-----	-----	-----	-----	-----	Rejeitado
DAGK5J'2	22.58	1.26	0.670	COESIVA	0.34	Desengordurada (F)
DAGK5J'3	20.00	2.90	1.327	COESIVA/ADESIVA (90% / 10%)	0.21	“
MÉDIA	21.29	2.080	0.999		0.275	
DAHK5J'1	21.90		0.456	COESIVA/ADESIVA (90% / 10%)	0.34	Deseng. + Lixada +Deseng. (H)
DAHK5J'2	20.77		0.521	COESIVA	0.34	“
DAHK5J'3	20.22		0.559	COESIVA/ADESIVA (70% / 30%)	0.30	“
MÉDIA	20.96		0.512		0.327	

Quadro 31 - Carga de rotura / largura do provete (Qr) em (N/mm), Energias de Fractura (Joules), e deslocamentos até à fractura (mm), resultantes dos Ensaios de impacto por cunha (J') (Rasgamento), sem Envelhecimento (K) para juntas coladas com Terokal 5045 (D) com 1 mm de espessura do aderente (A) .

PROVETE	QR (N/MM)	ENERGIA DE FRACTURA (JOULES)	DESLOCAMEN TOATÉ À FRACTURA (MM)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
EAFK5J'1	-----	-----	-----	-----	-----	Rejeitado
EAFK5J'2	23.80	1.37	0.784	ADESIVA ADESIVA/ COESIVA (90% / 10%)	0.30	Não desengordurada (F)
EAFK5J'3	20.97	1.44	0.709		0.30	“
MÉDIA	22.39	1.445	0.746		0.30	
EAGK5J'1	20.00	0.30	0.443	ADESIVA	0.30	Desengordurada (G)
EAGK5J'2	-----	-----	-----	-----	-----	Rejeitado
EAGK5J'3	-----	-----	-----	-----	0.30	Rejeitado
MÉDIA	20.00	0.30	0.443		0.30	
EAHK5J'1	-----	-----	-----	-----	-----	Rejeitado
EAHK5J'2	21.62	1.09	0.609	ADESIVA	0.25	Deseng. + Lixada + Deseng. (H)
EAHK5J'3	24.39	0.93	0.613	ADESIVA	0.20	“
MÉDIA	23.01	1.01	0.611		0.225	

Quadro 32 - Carga de rotura / largura do provete (Qr) em (N/mm), Energias de Fractura (Joules), e deslocamentos até à fractura (mm), resultantes dos Ensaios de impacto por cunha (Rasgamento) - J', sem Envelhecimento (K) para juntas coladas com Terokal 5050 (E) com 1 mm de espessura do aderente (A) .

PROVETE	QR (N/MM)	ENERGIA DE FRACTURA (Joules)	DESLOCAME NTOATÉ À FRACTURA (MM)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
DBFK5J'1	-----	-----	-----	-----	-----	Rejeitado
DBFK5J'2	21.05	3.660	0.983	COESIVA	0.34	Não desengordurada (F)
DBFK5J'3	-----	-----	-----	-----	-----	Rejeitado
MÉDIA	21.05	3.660	0.983		0.34	
DBGK5J'1	21.05	3.40	1.051	COESIVA	0.25	Desengordurada (G)
DBGK5J'2	-----	-----	-----	-----	-----	Rejeitado
DBGK5J'3	17.77	3.58	1.154	COESIVA	0.30	Desengordurada (G)
MÉDIA	19.41	3.49	1.103		0.275	
DBHK5J'1	22.45	3.03	1.142	COESIVA / ADESIVA (95% / 5%)	0.20	Deseng. + Lixada +Deseng. (H)
DBHK5J'2	17.74	3.350	1.040	COESIVA / ADESIVA (95% / 5%)	0.25	"
DBHK5J'3	21.70	2.970	1.262	COESIVA	0.25	"
MÉDIA	20.63	3.12	1.148		0.23	

Quadro 33 - Carga de rotura / largura do provete (Qr) em (N/mm), Energias de Fractura (Joules), e deslocamentos até à fractura (mm), resultantes dos Ensaios de impacto por cunha (J') (Rasgamento), sem Envelhecimento (K) para juntas coladas com Terokal 5045 (D) com 1,5 mm de espessura do aderente (B) .

PROVETE	QR (N/MM)	ENERGIA DE FRACTURA (Joules)	DESLOCAMENT OATE A FRACTURA (mm)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
EBFK5J'1	-----	-----	-----	-----	-----	Rejeitado
EBFK5J'2	-----	-----	-----	-----	-----	Rejeitado
EBFK5J'3	21.62	0.890	0.670	ADESIVA	0.30	Não desengordurada (F)
MÉDIA	21.62	0.890	0.670		0.30	
EBGK5J'1	19.30	2.03	0.854	ADESIVA	0.20	Desengordurada (G)
EBGK5J'2	-----	-----	-----	-----	-----	Rejeitado
EBGK5J'3	-----	-----	-----	-----	-----	“
MÉDIA	19.30	2.03	0.854		0.20	
EBHK5J'1	-----	-----	-----	-----	-----	Rejeitado
EBHK5J'2	21.70	0.890	0.856	ADESIVA ADESIVA / COESIVA (70% / 30%)	0.34	Deseng. + Lixada + Deseng. (H)
EBHK5J'3	20.50	0.790	1.086		0.30	“
MÉDIA	21.10	0.840	0.971		0.32	

Quadro 34 - Carga de rotura / largura do provete (Qr) em (N/mm), Energias de Fractura (Joules), e deslocamentos até à fractura (mm), resultantes dos Ensaios de impacto por cunha (J') (Rasgamento), sem Envelhecimento (K) para juntas coladas com Terokal 5050 (E) com 1,5 mm de espessura do aderente (B) .

PROVETE	QR (N/MM)	ENERGIA DE FRACTUR A (JOULES)	DESLOCAMENT OATÉ A FRACTURA (MM)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTARIO
DCFK5J'1	17.35	2.92	1.482	COESIVA ADESIVA/ COESIVA (90% / 10%) COESIVA	0.30	Não desengordurada (F)
DCFK5J'2	21.28	2.78	1.129		0.34	“
DCFK5J'3	20.54	3.01	1.709		0.34	“
MÉDIA	19.72	2.90	1.44		0.33	
DCGK5J'1	18.97	3.82	1.742	COESIVA / ADESIVA (95% / 5%) ----- COESIVA	0.34	Desengordurada (G)
DCGK5J'2	-----	-----	-----		-----	Rejeitado
DCGK5J'3	18.87	3.78	1.802		0.34	Desengordurada (G)
MÉDIA	18.92	3.80	1.772		0.34	
DCHK5J'1	-----	-----	-----	----- COESIVA COESIVA	-----	Rejeitado
DCHK5J'2	20.99	3.35	1.124		0.25	Deseng. + Lixada +Deseng. (H)
DCHK5J'3	20.00	3.71	1.384		0.34	“
MÉDIA	20.50	3.53	1.254		0.295	

Quadro 35 - Carga de rotura / largura do provete (Qr) em (N/mm), Energias de Fractura (Joules), e deslocamentos até à fractura (mm), resultantes dos Ensaios de impacto por cunha (J') (Rasgamento), sem Envelhecimento (K) para juntas coladas com Terokal 5045 (D) com 2 mm de espessura do aderente (C) .

PROVETE	QR (N/MM)	ENERGIA DE FRACTURA (Joules)	DESLOCAMENTOATÉ À FRACTURA (MM)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
ECFK5J'1	19.10	1.57	0.991	ADESIVA	0.25	Não desengordurada (F) Rejeitado “
ECFK5J'2	-----	-----	-----	-----	-----	
ECFK5J'3	-----	-----	-----	-----	-----	
MÉDIA	19.10	1.57	0.991		0.25	
ECGK5J'1	19.64	2.85	1.123	ADESIVA	0.30	Desengordurada (G) “ “
ECGK5J'2	21.28	2.78	0.874	ADESIVA	0.25	
ECGK5J'3	20.45	3.00	1.055	ADESIVA	0.30	
MÉDIA	20.46	2.88	1.02		0.28	
ECHK5J'1	19.23	1.86	0.818	ADESIVA	0.20	Deseng.+ Lixada +Deseng. (H) Deseng.+ Lixada +Deseng. (H) Rejeitado
ECHK5J'2	16.90	3.55	1.001	ADESIVA	0.20	
ECHK5J'3	-----	-----	-----	-----	-----	
MÉDIA	18.07	2.71			0.20	

Quadro 36 - Carga de rotura / largura do provete (Qr) em (N/mm), Energias de Fractura (Joules), e deslocamentos até à fractura (mm), resultantes dos Ensaios de impacto por cunha (Rasgamento)-J', sem Envelhecimento (K) para juntas coladas com Terokal 5050 (E) com 2 mm de espessura do aderente (C) .

Terokal 5045 (D)

PROVETE	QR (N/MM)	ENERGIA DE FRACTURA (JOULES)	DESLOCAMENTO ATE A FRACTURA (MM)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA DO ADESIVO (mm)	COMENTÁRIO
DBFL5J'1	---	---	---	---	---	Rejeitado
DBFL5J'2	19.80	1.53	1.825	ADESIVA / COESIVA (80% / 20%)	0.34	21 dias
DBFL5J'3	---	---	---	---	---	Rejeitado
MÉDIA	19.80	1.53	1.825		0.34	
DBFM5J'1	20.8	1.48	2.373	ADESIVA / COESIVA (60% / 40%)	0.30	42 dias
DBFM5J'2	---	---	---	---	---	Rejeitado
DBFM5J'3	21.42	1.67	0.949	ADESIVA / COESIVA (85 % / 15%)	0.34	42 dias
MÉDIA	21.11	1.575	1.661		0.32	
DBGL5J'1	20.00	0.24	0.347	ADESIVA / COESIVA (90% / 10%)	0.34	21 Dias
DBGL5J'2	19.34	0.48	0.879	ADESIVA / COESIVA	0.30	"
DBGL5J'3	20.45	1.71	1.235	(80 % / 20%) "	0.34	"
MÉDIA	19.93	0.810	0.820		0.33	
DBGM5J'1	---	---	---	---	---	Rejeita do
DBGM5J'2	20.49	1.76	1.254	ADESIVA / COESIVA (80 % / 20%)	0.34	42 dias
DBGM5J'3	20.95	2.66	2.135	COESIVA/ ADESIVA (90% / 10%)	0.34	"
MÉDIA	20.72	2.21	1.69		0.34	
DBHL5J'1	20.96	3.01	1.774	COESIVA/ ADESIVA (90% / 10%)	0.20	21 dias
DBHL5J'2	20.00	3.49	1.880	COESIVA/ ADESIVA	0.34	"
DBHL5J'3	19.67	1.85	0.895	(80% / 20%) ADESIVA / COESIVA (90% / 10%)	0.30	"
MÉDIA	20.21	2.78	1.52		0.28	
DBHM5J'1	20.9	1.81	2.016	COESIVA / ADESIVA (70% / 30%)	0.34	42 dias
DBHM5J'2	20.45	1.07	0.954	ADESIVA / COESIVA (50% / 50%)	0.30	"
DBHM5J'3	20.39	1.00	0.994	ADESIVA / COESIVA (80% / 20%)	0.30	"
MÉDIA	20.58	1.29	1.32		0.31	

- F - Sem desengorduramento
G - Com desengorduramento
H - Com desengorduramento+lixagem+desengorduramento

Quadro 37 - Carga de rotura / Largura do provete (Qr) em N/mm, Energias de fractura (joules) e deslocamentos até à fractura (mm), dos Provetes submetidos a ensaios de impacto por cunha (Rasgamento) (J'), envelhecidos a 21 (L) e a 42 (M) dias, para a cola Terokal 5045, e apenas para uma espessura de 1,5 mm (B) do aderente.

Terokal 5050 (E)

PROVETE	QR (NºMM)	ENERGIA DE FRACTURA (JOULES)	DESLOCAMENTO ATE A FRACTURA (MM)	TIPO DE FRACTURA	ESPESSURA MEDIDA DA CAMADA ADESIVA (MM)	COMENTÁRIO
EBFL5J'1	20.83	0.32	0.401	ADESIVAS	0.30	21 dias
EBFL5J'2	19.89	0.47	0.470		0.30	"
EBFL5J'3	19.14	2.03	0.799		0.30	"
MÉDIA	19.95	0.94	0.560		0.30	
EBFM5J'1	21.27	0.76	0.482	ADESIVA	0.34	42 dias
EBFM5J'2	---	---	---	ADESIVA	---	Rejeitado
EBFM5J'3	20.96	0.84	0.892		0.34	42 dias
MÉDIA	21.12	0.80	0.687		0.34	
EBGL5J'1	20.38	0.81	0.702	ADESIVAS	0.34	21 Dias
EBGL5J'2	20.59	1.17	0.651		0.30	"
EBGL5J'3	20.45	1.54	0.747		0.34	"
MÉDIA	20.47	1.17	0.70		0.33	
EBGM5J'1	---	---	---	---	---	Rejeita do
EBGM5J'2	---	---	---	ADESIVA	---	"
EBGM5J'3	21.84	0.55	0.839		0.34	42 dias
MÉDIA	21.84	0.55	0.839		0.34	
EBHL5J'1	19.23	0.63	0.429	ADESIVA	0.34	21 dias
EBHL5J'2	21.25	0.72	0.952	ADESIVA	0.34	"
EBHL5J'3	20.00	0.38	0.592	ADESIVA / COESIVA (75% / 25%)	0.34	"
MÉDIA	20.16	0.576	0.658		0.34	
EBHM5J'1	21.74	0.36	0.397	COESIVA / ADESIVA (70% / 30%)	0.34	42 dias
EBHM5J'2	20.92	0.31	0.350	COESIVA / ADESIVA (85% / 15%)	0.40	"
EBHM5J'3	19.53	0.47	0.378	COESIVA / ADESIVA (80% / 20%)	0.34	"
MÉDIA	20.73	0.38	0.375		0.36	

F - Sem desengorduramento

G - Com desengorduramento

H - Com desengorduramento + Lixagem + Desengoruramento

Quadro 37 (Continuação) - Os mesmos valores, para juntas coladas com Terokal 5050 (E).

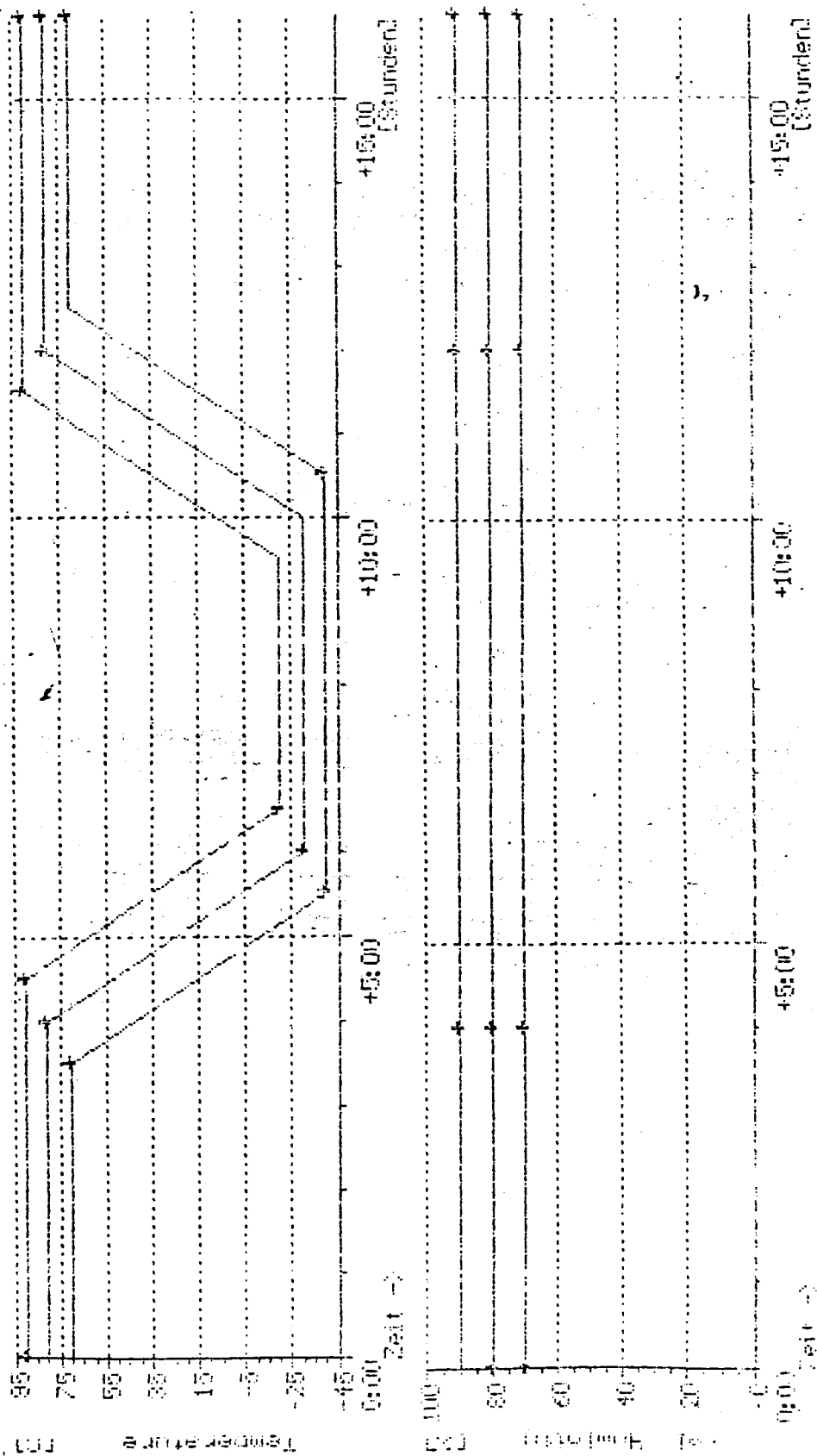


GRÁFICO 1- Unidade repetitiva do ciclo de temperatura e humidade utilizado nos ensaios. Programa.

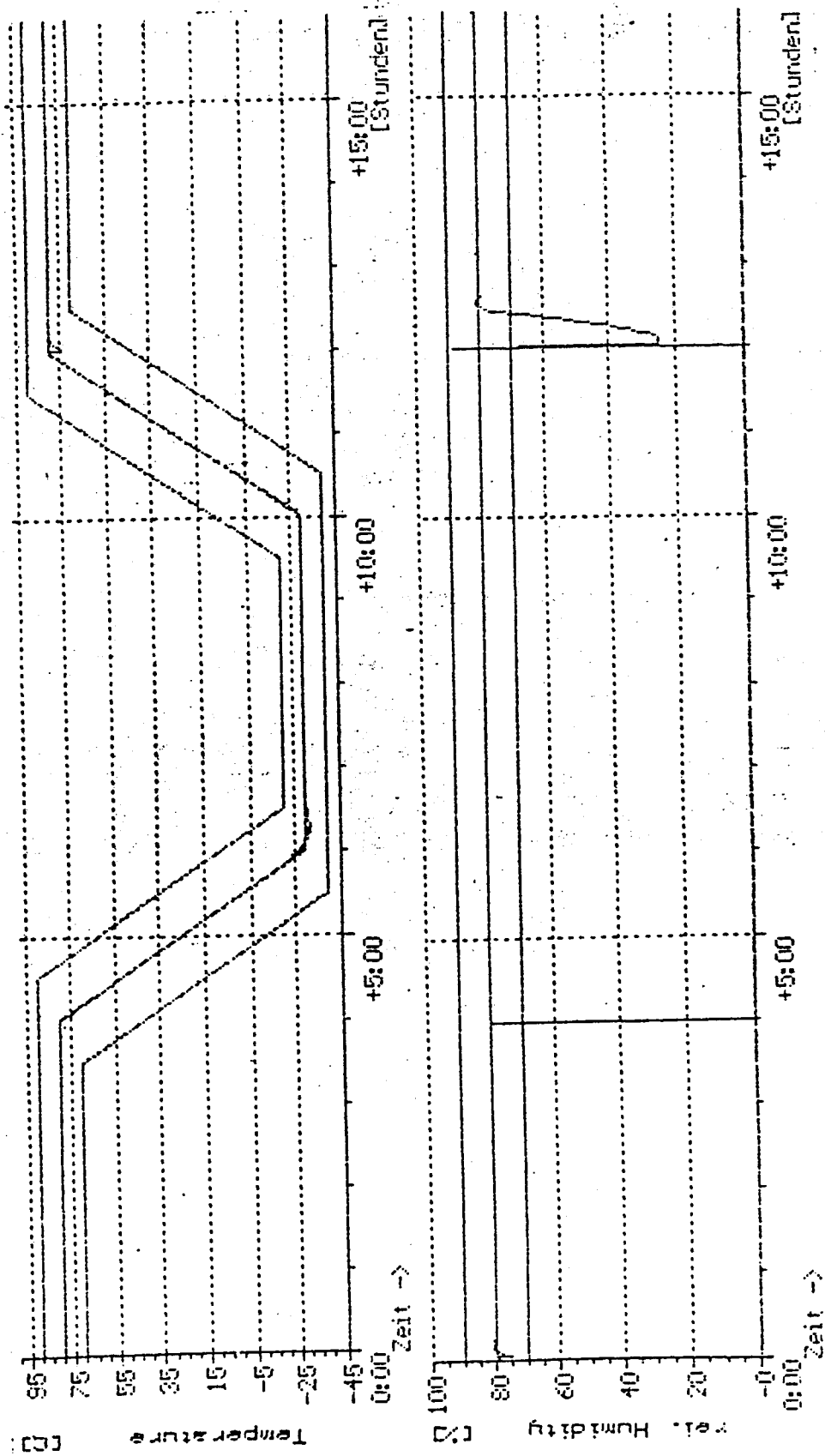
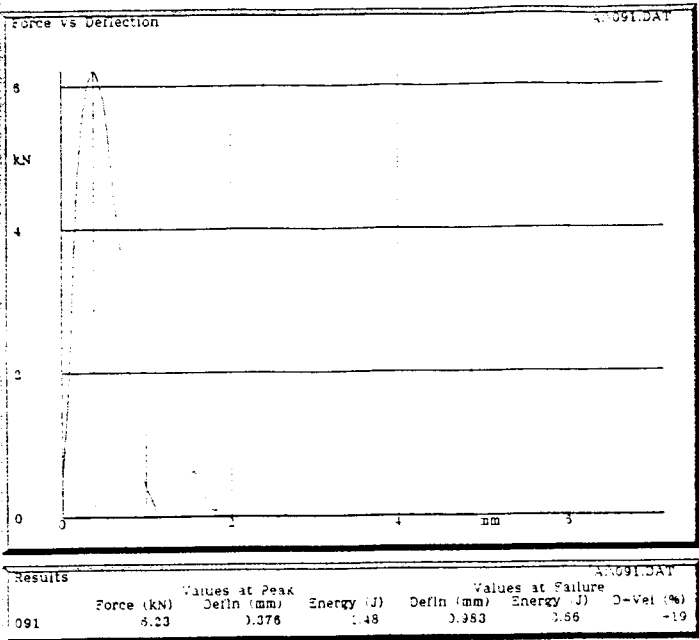
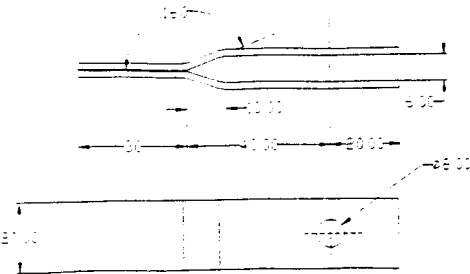


GRÁFICO 2- Unidade repetitiva do ciclo de temperatura e humidade utilizado nos ensaios.Comportamento real.

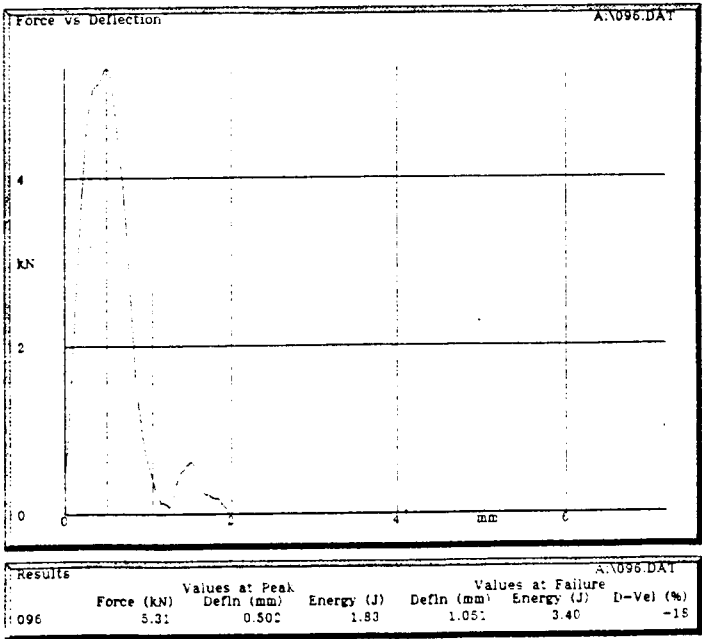
PROVETES[57] :



Adesivo : Terokal 5045 (D)
Aderente : Aço
Espessura do aderente: 1.5 mm (B)
Preparação da superfície de colagem: Estado de Fornecimento (F)
Condições de cura: 5 dias a temperatura ambiente.
Exposição Climática : Condições ambientes (K)
Condições de ensaio:
Velocidade : 1.88 m/s
Massa: 5.83 Kg
Temperatura: 18°C
Ensaio : Impacto por cunha (Rasgamento) [57]
Espessura da camada adesiva: 0.34 mm
Tipo de fractura:

	% Area
Falta de coesão	100
Falta de adesão	0

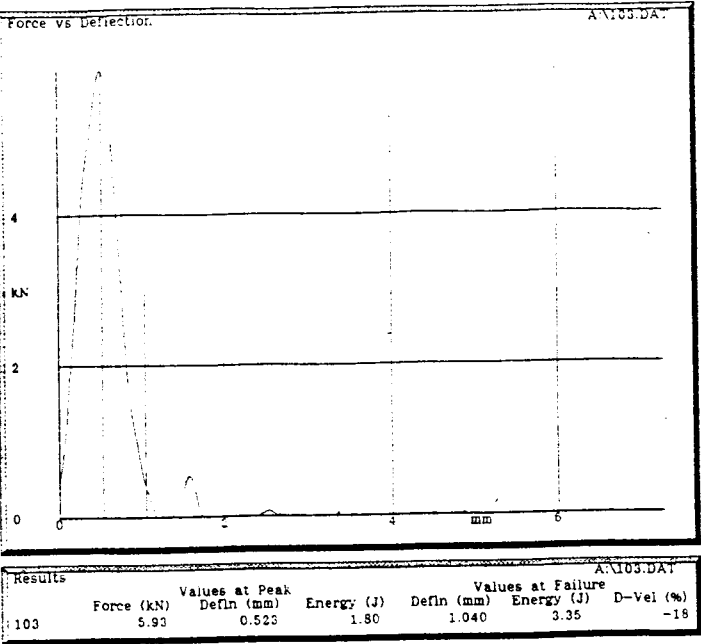
Curva, Força - Deslocamento do Provete : DBFK5J'2



Adesivo : Terokal 5045 (D)
Aderente : Aço
Espessura do aderente: 1.5 mm (B)
Preparação da superfície de colagem: Desengordurada (G)
Condições de cura: 5 dias a temperatura ambiente.
Exposição Climática : Condições Ambientes (K)
Condições de ensaio:
Velocidade : 1.86 m/s
Massa: 5.83 Kg
Temperatura: 18°C
Ensaio : Impacto por cunha (Rasgamento) [57]
Espessura da camada adesiva: 0.25 mm
Tipo de fractura:

	% Area
Falta de coesão	100
Falta de adesão	0

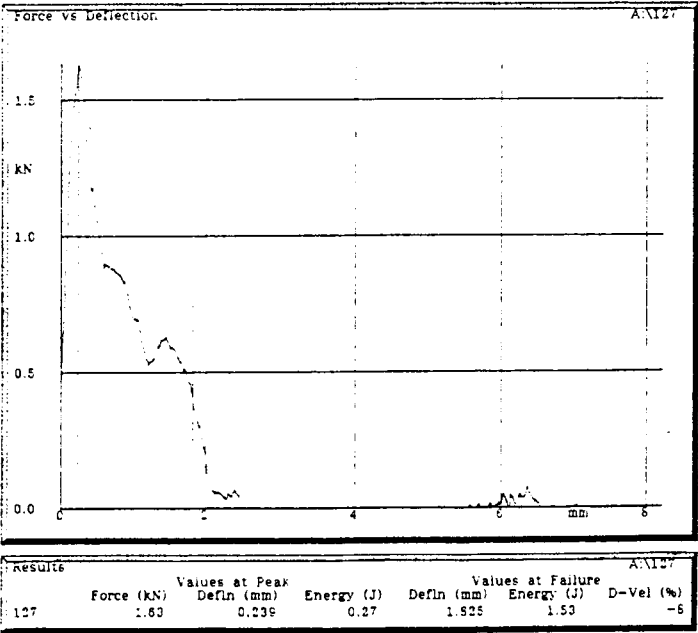
Curva, Força-Deslocamento do Provete : DBGK5J'1



Adesivo : Terokal 5045 (D)
Aderente : Aço
Espessura do aderente: 1.5 mm (B)
Preparação da superfície de colagem: (Deseng+Lixado+Deseng) (H)
Condições de cura: 5 dias à temperatura ambiente.
Exposição Climática : Condições ambientes (K)
Condições de ensaio:
Velocidade : 1.83 m/s
Massa: 5.83 Kg
Temperatura:18°C
Ensaio : Impacto por cunha (Rasgamento) [57]
Espessura da camada adesiva: 0.25 mm
Tipo de fractura:

	% Area
Falta de coesão	60
Falta de adesão	40

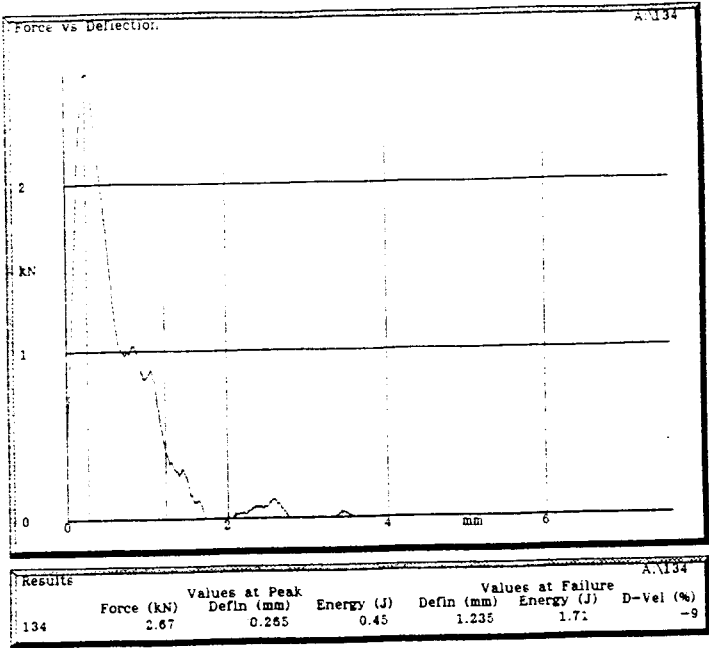
Curva, Força - Deslocamento do Provete : DBHK5J'2



Adesivo : Terokal 5045 (D)
Aderente : Aço
Espessura do aderente: 1.5 mm (B)
Preparação da superfície de colagem: Estado de Fornecimento (F)
Condições de cura: 5 dias à temperatura ambiente.
Exposição Climática : 21 dias (L); (-40°C a 80°C); (HR=80%)
Condições de ensaio:
Velocidade : 1.78 m/s
Massa: 5.83 Kg
Temperatura:18°C
Ensaio : Impacto por cunha (Rasgamento) [57]
Espessura da camada adesiva: 0.34 mm
Tipo de fractura:

	% Area
Falta de coesão	20
Falta de adesão	80

Curva, Força-Deslocamento do Provete : DBFL5J'2

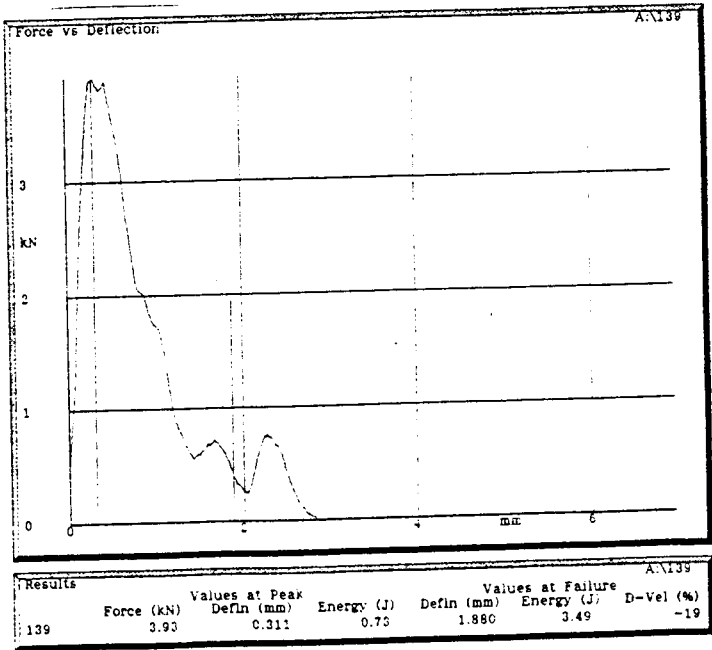


Adesivo : Terokal 5045 (D)
Aderente : Aço
Espessura do aderente: 1.5 mm (B)
Preparação da superfície de colagem: Desengordurada (G)
Condições de cura: 5 dias à temperatura ambiente.
Exposição Climática : 21 dias (L); (-40°C a 80°C); (HR-80%)

Condições de ensaio:
Velocidade : 1.78 m/s
Massa: 5.83 Kg
Temperatura:18°C
Ensaio : Impacto por cunha (Rasgamento) [57]
Espessura da camada adesiva: 0.34 mm
Tipo de fractura:

	% Area
Falta de coesão	20
Falta de adesão	80

Curva, Força - Deslocamento do Provete : DBGL5J'3

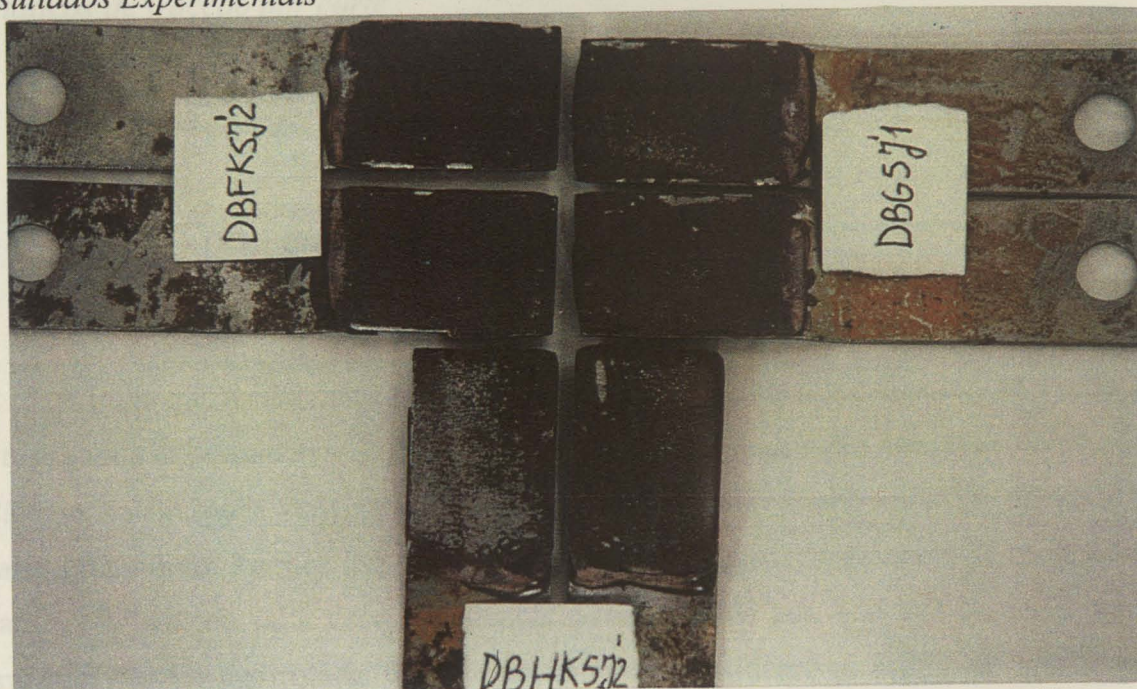


Adesivo : Terokal 5045 (D)
Aderente : Aço
Espessura do aderente: 1.5 mm (B)
Preparação da superfície de colagem:(Deseng+Lixada+Deseng) (H)
Condições de cura: 5 dias à temperatura ambiente.
Exposição Climática : 21 dias (L); (-40°C a 80°C); (HR=80%)

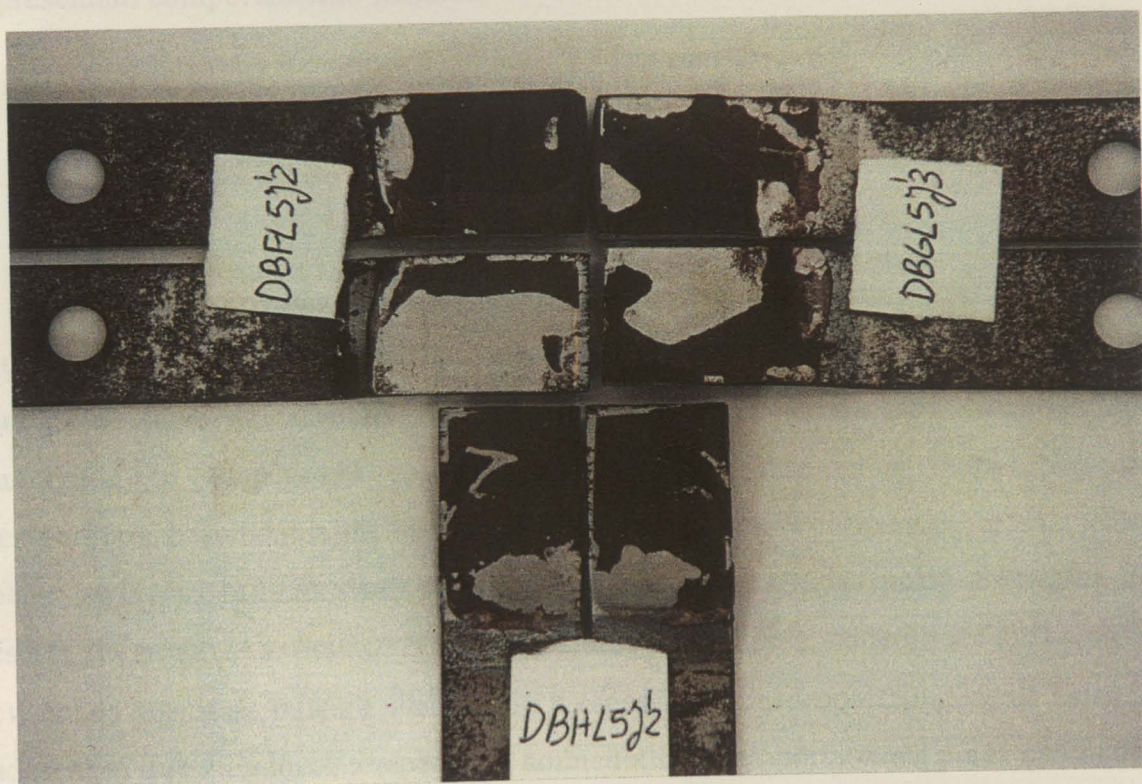
Condições de ensaio:
Velocidade : 1.80 m/s
Massa: 5.83 Kg
Temperatura:18°C
Ensaio : Impacto por cunha (Rasgamento) [57]
Espessura da camada adesiva: 0.34 mm
Tipo de fractura:

	% Area
Falta de coesão	80
Falta de adesão	20

Curva, Força-Deslocamento do Provete : DBHL5J'2



Fotografia 22 - Aspecto final da roptura das juntas nas condições ambientes (K). À esquerda não desengordurada; À direita desengordurada; Em baixo (Desengordurada+Lixada+Desengordurada)



Fotografia 23 - Aspecto final da roptura das juntas após 21 (L) dias de Envelhecimento. À esquerda não desengordurada; À direita desengordurada; Em baixo (Desengordurada+Lixada+desengordurada).

4 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 - DOS ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO

A linha que se encontra no Gráfico 2 e que não aparece no Gráfico 1 (Ponto 3 - resultados experimentais), corresponde aos valores realmente atingidos dentro da Câmara. Assim, pode verificar-se que a temperatura segue muito aproximadamente o valor pretendido. Por seu lado, a humidade relativa necessita de cerca de meia hora para estabilizar no valor desejado, depois de ter passado por uma fase de seis horas, em que não foi controlada. Esta variação pode considerar-se aceitável, tendo em conta a extensão do ensaio, não acarretando consigo alterações nos resultados finais.

O Gráfico 2, corresponde ao primeiro ciclo da série, onde todos os restantes apresentam comportamento idêntico.

4.2 - DOS ENSAIOS ESTÁTICOS DE TRACÇÃO POR CORTE

Observando o Quadro 38 e o Gráfico 3, verifica-se que até ao terceiro dia de cura à temperatura ambiente, houve grandes flutuações da tensão de corte, para ambos os tipos de adesivos. Os picos e vales devem-se no meu entender, aos aumentos de temperatura e diminuições da humidade e às diminuições de temperatura e aumentos da humidade, respectivamente, ocasionados, obviamente, pelas variações bruscas das condições ambientais, motivadas pelas alterações do estado do tempo. As oscilações para os valores mais baixos, poderão ser atribuídas a eventuais lapsos da mistura adesiva, ou a espessuras desproporcionadas da camada adesiva, o que duvido. A temperatura ambiente foi a proporcionada pelas condições ambientais reais. Os Provetes destinados a este estudo foram ensaiados na máquina TINIUS OLSEN.

Dias de cura	TEROKAL 5045			TEROKAL 5050		
	cura a Ta (15 a 25°)			cura a Ta (15 a 25°)		
	espessura do material base			espessura do material base		
	A	B	C	A	B	C
1	7,667	7,86	7,489	11,55	10,009	7,547
2	10,647	3,35	4,618	13,417	10,312	8,623
3	5,014	4,32	6,528	10,579	9,339	10,516
4	8,062	7,774	8,555	9,01	10,869	12,278
5	11,317	12,101	11,24	11,151	11,983	12,61
6	11,331	12,207	11,387	11,111	12,06	12,581

Quadro 38 - LSS (MPa), em função do tempo de cura à temperatura ambiente para diversas espessuras do material base.

A = 1 mm
B= 1.5 mm
C = 2 mm

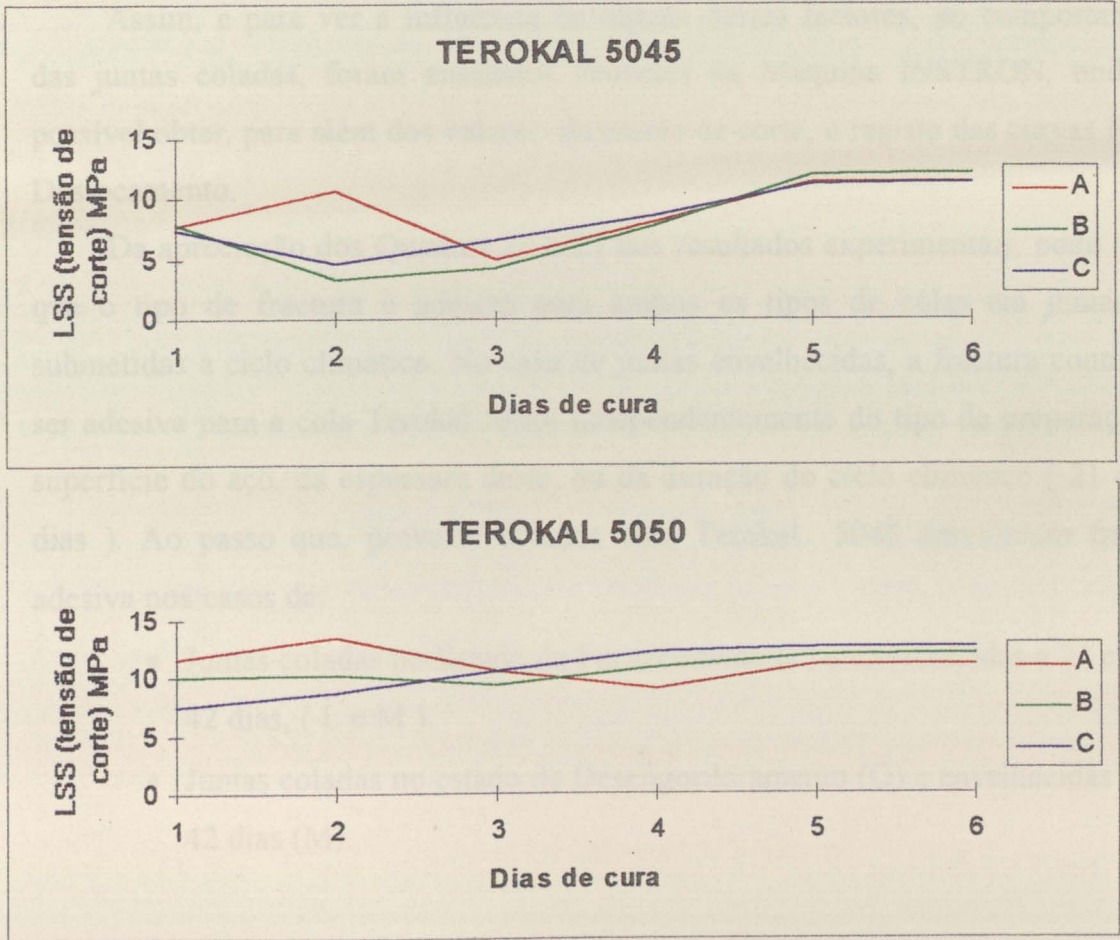


Grafico 3 - Curvas de cura, tensão de corte (LSS - MPa) versus tempo de cura (dias) à temperatura ambiente (Ta) e em função da espessura do material base para os dois tipos de adesivos.

A reprodutividade de resultados foi conseguida, no caso da cola Terokal 5045 e para as três espessuras do material base, ao fim do 5º dia de cura à temperatura ambiente (T_a). O mesmo se passou com a cola Terokal 5050, à excepção do caso em que a espessura do substrato é 2 mm , para a qual a repetitilidade de resultados se notou logo, ao fim do 4º dia de cura à (T_a). Isto significa que, de um modo geral, a aceleração da velocidade de reticulação das resinas, não favorece as propriedades de adesão das colas, a não ser no caso da cola Terokal 5050 e para a espessura de 2 mm do aderente, que apresenta os maiores valores da resistência ao corte ao fim do 4º dia. Todavia, ainda não podemos tirar ilações sobre que tipo de cola se prefere, porque há outros factores a ter em conta, nomeadamente a facilidade de aplicação da cola, no aço, o tratamento da superfície deste, os efeitos ambientais, o tipo de ensaio, etc.

Assim, e para ver a influência de alguns destes factores, no comportamento das juntas coladas, foram ensaiados Provetes na Máquina INSTRON, onde foi possível obter, para além dos valores da tensão de corte, o registo das curvas Força-Deslocamento.

Da apreciação dos Quadros 17 a 23 dos resultados experimentais, pode ver-se que o tipo de fractura é adesiva para ambos os tipos de colas em juntas não submetidas a ciclo climático. No caso de juntas envelhecidas, a fractura continua a ser adesiva para a cola Terokal 5050, independentemente do tipo de preparação da superfície do aço, da espessura deste, ou da duração do ciclo climático (21 ou 42 dias). Ao passo que, provetes colados com Terokal 5045 apresentam fractura adesiva nos casos de:

- Juntas coladas no Estado de Fornecimento (F) e envelhecidas a 21 e a 42 dias, (L e M).
- Juntas coladas no estado de Desengorduramento (G) e envelhecidas a 42 dias (M).

E fractura essencialmente coesiva no casos de:

- Juntas coladas no Estado de Desengorduramento(G) envelhecidas a 21 dias (L).

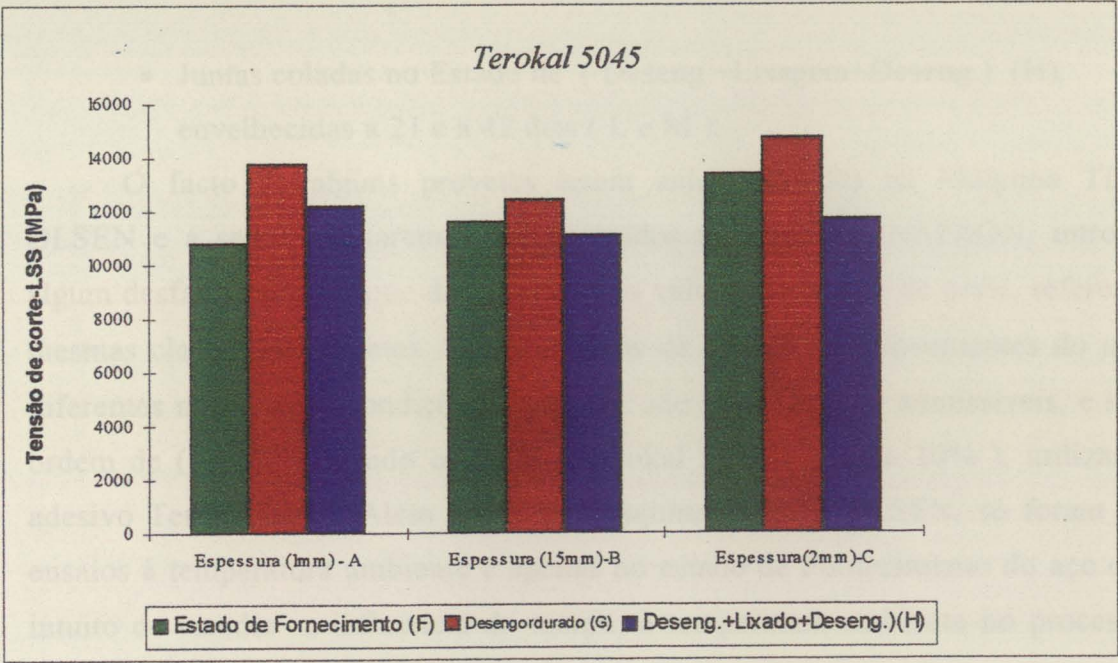


Gráfico 4 - Valores Médios da tensão de corte (Mpa), apresentados pelas juntas coladas com Terokal 5045, nas condições acima identificados, em função da espessura dos substractos e sem envelhecimento, obtidos nos ensaios estáticos de tracção.

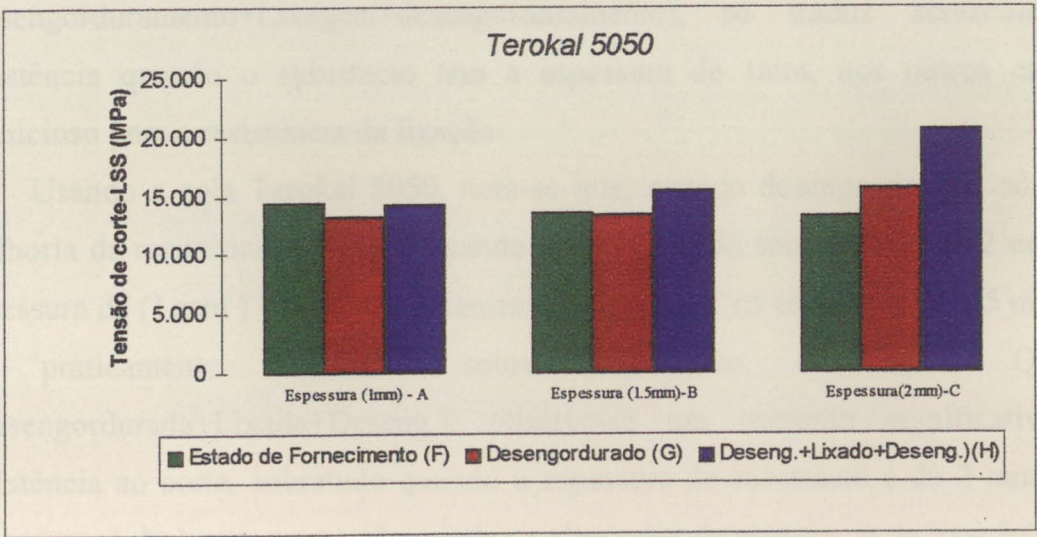


Gráfico 5 - Valores médios da tensão de corte (Mpa), apresentados pelas juntas coladas com Terokal 5050, nas condições acima identificadas, em função da espessura dos substractos e sem envelhecimento , obtidos nos ensaios estáticos de tracção.

- Juntas coladas no Estado de (Deseng.+Lixagem+Deseng.) (H), envelhecidas a 21 e a 42 dias (L e M).

O facto de alguns provetes terem sido ensaiados na Máquina TINIUS OLSEN e a seguir passarem a ser ensaiados na máquina INSTRON, introduziu algum desfasamento no que diz respeito aos valores da tensão de corte, referente às mesmas classes de provetes . Estes desvios de resultados, provenientes do uso de diferentes máquinas e condições de ensaio, são perfeitamente admissíveis, e são da ordem de ($\pm 5\%$) usando o adesivo Terokal 5045 e de ($\pm 10\%$), utilizando o adesivo Terokal 5050. Além disso, na Máquina TINIUS OLSEN, só foram feitos ensaios à temperatura ambiente e apenas no estado de Fornecimento do aço com o intuito de estudar a influência do tempo, à temperatura ambiente no processo de cura dos Adesivos.

Os Gráficos 4 e 5, mostram o efeito do modo de preparação da superfície do aço, na resistência da ligação, para os dois tipos de adesivos e mantendo constante, em cada caso, a espessura do substrato. Assim, usando a cola Terokal 5045, verifica-se que há uma ligeira melhoria da resistência ao corte, quando desengordurada, isto para todas as espessuras do aderente. O estado de (desengorduramento+Lixagem+desengorduramento), só traduz acréscimo da resistência quando o substrato tem a espessura de 1mm, nos outros casos é pernicioso para a resistência da ligação.

Usando a cola Terokal 5050, nota-se que, quando desengordurada, só causa melhoria da resistência ao corte, quando a espessura do substrato é de 2 mm. Na espessura de (1 mm) o desengorduramento é nefasto. E na espessura de 1.5 mm não há praticamente influência sobre a tensão de corte. Quando (Desengordurada+Lixada+Deseng.), observa-se um aumento significativo da resistência ao corte, sobretudo quando a espessura do substrato é de 2 mm. Se a espessura é de 1 mm, quase não conduz a alterações da resistência da ligação.

Portanto, a cola Terokal 5050 apresenta muito melhores performances, quaisquer que sejam as espessuras do aderente e praticamente quaisquer que sejam os tipos de tratamento da superfície do aço, relativamente à cola Terokal 5045. Quase se pode dizer, que a cola Terokal 5050 tem melhor resistência ao corte, não desengordurada do que a cola Terokal 5045, desengordurada, isto para não falar na

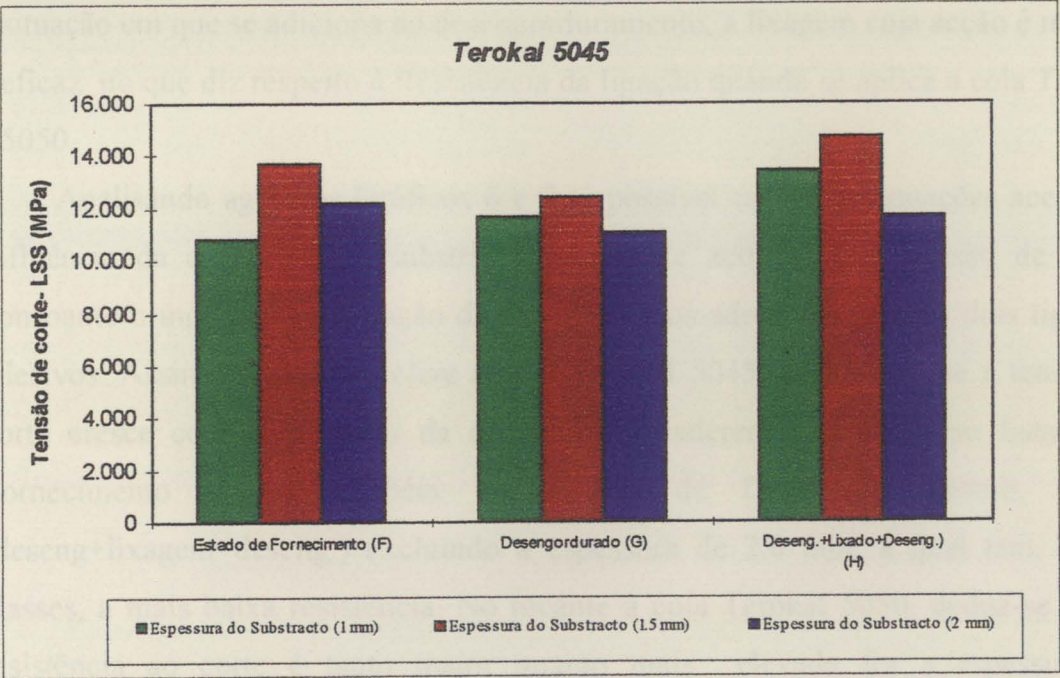


Gráfico 6 - Valores médios, da tensão de corte (Mpa) apresentados pelas juntas coladas com Terokal 5045, obtidos no ensaio estático, nas condições acima especificadas, em função dos tipos de tratamento de superfície e sem envelhecimento.

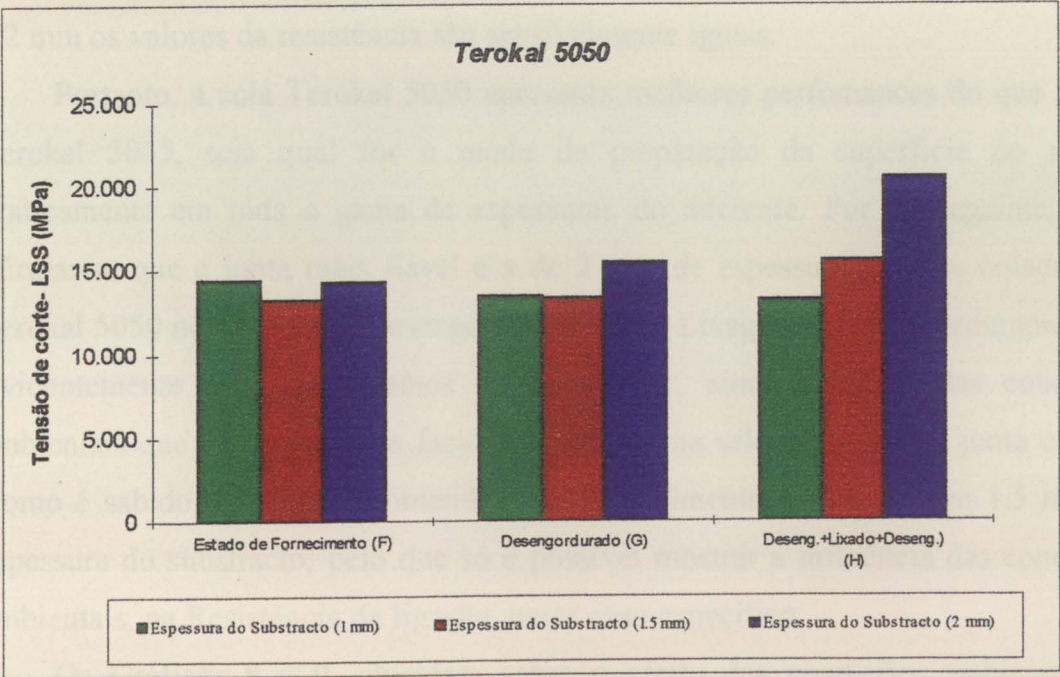


Gráfico 7 - Valores médios da tensão de corte (Mpa), apresentados pelas juntas coladas com Terokal 5050 nas condições acima identificadas em função dos tipos de tratamento de superfície e sem Envelhecimento, obtidos nos ensaios estáticos de tracção.

situação em que se adiciona ao desengorduramento, a lixagem cuja acção é muito eficaz no que diz respeito à Resistência da ligação quando se aplica a cola Terokal 5050.

Analisando agora os Gráficos 6 e 7, é possível colher informações acerca da influência da espessura do substrato (chapa de aço) sobre a tensão de corte, consoante o modo de preparação da superfície dos aderentes para os dois tipos de adesivos. Assim, no que se refere à cola Terokal 5045, consta-se que a tensão de corte cresce com o aumento da espessura do aderente, somente no Estado de Fornecimento (F) e também no Estado de Desengorduramento, e de (deseng+lixagem+deseng.) excluindo a espessura de 2.0 mm, a qual tem, nestas classes, a mais baixa resistência. No tocante à cola Terokal 5050, deduz-se que a resistência ao corte é tanto maior quanto mais elevada for a espessura do substrato, sobretudo no Estado de (Desengorduramento + Lixagem + Desengorduramento) e também no estado de desengorduramento, com maior incidência na espessura de 2 mm. No estado de Fornecimento, a resistência ao corte diminui com o aumento da espessura, notando-se que para as espessuras de 1.5 mm e 2 mm os valores da resistência são sensivelmente iguais.

Portanto, a cola Terokal 5050 apresenta melhores perfomances do que a cola Terokal 5045, seja qual for o modo de preparação da superfície do aço, e praticamente em toda a gama de espessuras do aderente. Por conseguinte, pode afirmar-se que a junta mais fiável é a de 2 mm de espessura do aço, colada com Terokal 5050 no estado de (Desengorduramento + Lixagem + Desengorduramento) . Evidentemente que não estamos a considerar, ainda o efeito das condições ambientais que é também, um factor importante na selecção de uma junta colada. Como é sabido, só foram submetidas a envelhecimento as juntas com 1.5 mm de espessura do substrato, pelo que só é possível mostrar a influência das condições ambientais, na Resistência da ligação, neste caso específico .

Os Gráficos 8 e 9, elucidam sobre o efeito das condições ambientais na resistência ao corte das juntas coladas com 1.5 mm de espessura do substrato.

Relativamente à cola Terokal 5045, só se verifica degradação da resistência ao corte quando envelhecida a 42 dias e não desengordurada. Porém, no estado de desengorduramento e de (Desengorduramento.+Lixagem+Desengord.) nota-se um

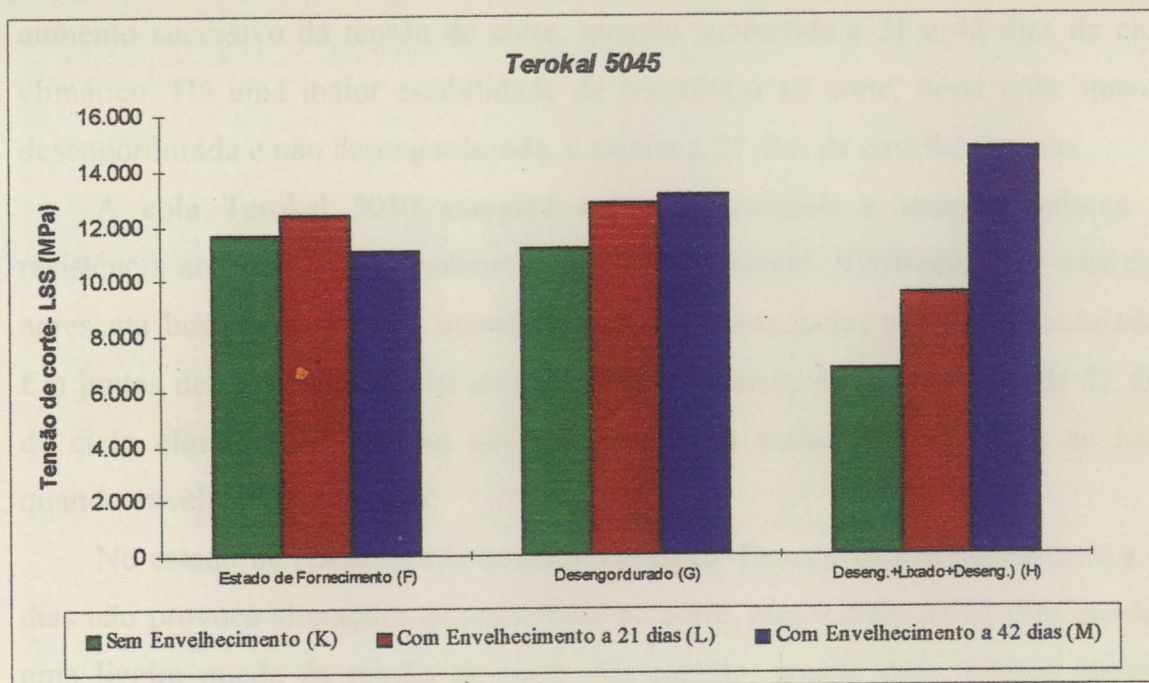


Gráfico 8 - Valores médios da tensão de corte (Mpa), apresentados pelas juntas coladas, para Terokal 5045, nas condições acima identificadas e em função do tipo de tratamento de superfície do material base, sendo a espessura deste constante e igual a 1.5 mm, obtidos nos ensaios estáticos de tracção.

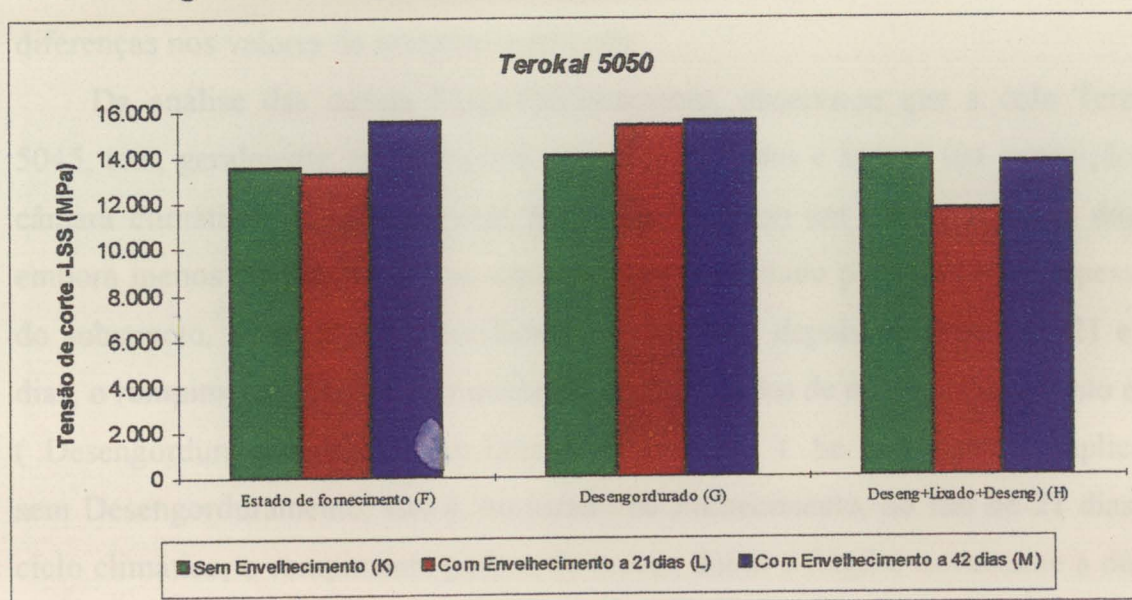


Gráfico 9 - Valores médios da tensão de corte (Mpa), apresentados pelas juntas coladas, para Terokal 5050, nas condições acima identificadas e em função do tipo de tratamento de superfície do material base, sendo a espessura deste constante e igual a 1.5 mm (B), obtidos nos ensaios estáticos de tracção.

aumento sucessivo da tensão de corte, quando submetida a 21 e 42 dias de ciclo climático. Há uma maior estabilidade da resistência ao corte, nesta cola, quando desengordurada e não desengordurada, e sujeita a 21 dias de envelhecimento.

A cola Terokal 5050 assegura maior estabilidade e maiores valores da resistência ao corte quando submetida a envelhecimento. Verifica-se que esta cola apresenta boas performances, quando envelhecida, em juntas não desengorduradas. Em juntas desengorduradas, há uma melhoria da tensão de corte ao fim de 21 dias de ciclo climático, e também um aumento ainda maior da resistência ao corte quando envelhecida a 42 dias.

No estado de (Desengorduramento+Lixagem+Deseng.), o envelhecimento a 42 dias não provoca alterações da resistência ao corte, mas o ciclo de 21 dias provoca uma ligeira queda da tensão de corte. No entanto, aquele caso, poderá também traduzir uma junta ideal, mas a fiabilidade pode ser posta em causa e criar problemas sérios, se se estiver à espera de uma determinada resistência da junta e ainda por uma ligeira incorrecção no Desengorduramento ou eventualmente no controle do nível da rugosidade, aquando da lixagem, acontecerem grandes diferenças nos valores da resistência ao corte.

Da análise das curvas Força-Deslocamento, observa-se que a cola Terokal 5045, tem, geralmente, um comportamento dúctil, antes e após a sua exposição na câmara climática. A cola Terokal 5050, também tem um comportamento dúctil, embora menos acentuado que no caso anterior, sobretudo para 2 mm de espessura do substrato, antes do envelhecimento. No entanto, depois de exposta a 21 e 42 dias, o rompimento passou a ser quebradiço, nos estados de desengorduramento e de (Desengorduramento+Lixagem+Desengorduramento). Se esta cola for aplicada sem Desengorduramento, isto é, no estado de Fornecimento, ao fim de 21 dias de ciclo climático, o rompimento passou de menos dúctil a frágil e novamente a dúctil depois de concluído o Envelhecimento a 42 dias. Todavia, a cola Terokal 5050, no meu entender, é de mais difícil aplicação.

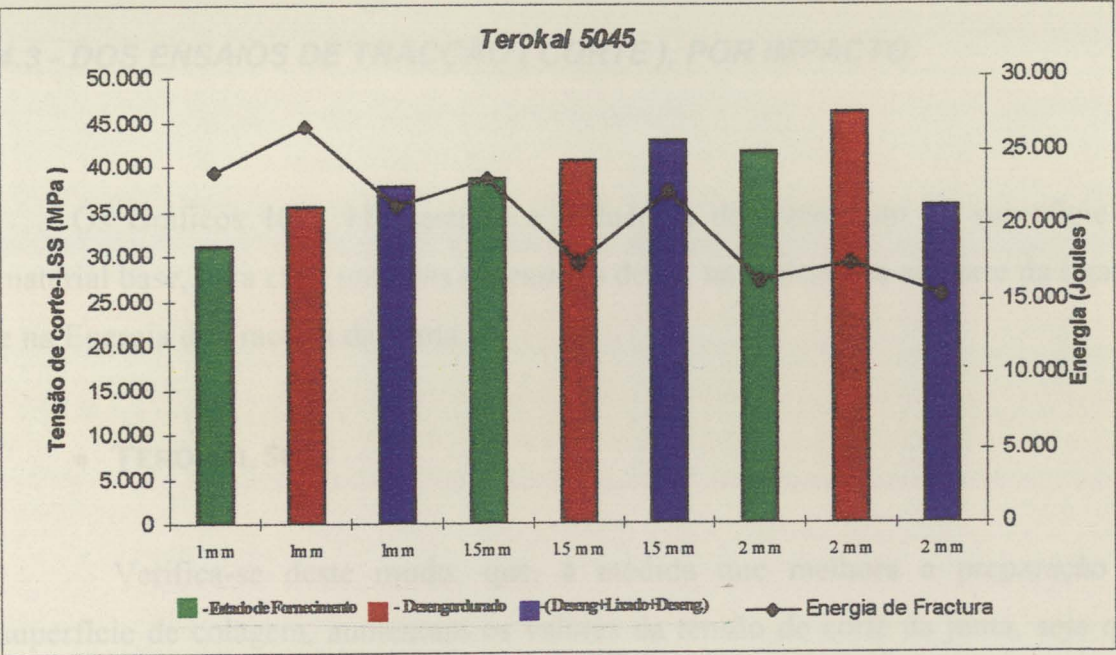


Gráfico 10 - Valores médios da tensão de corte (MPa) e da Energia (joules), apresentados pelas juntas coladas com Terokal 5045, em função da espessura do material base e sem Envelhecimento, obtidos nos ensaios de tracção por impacto.

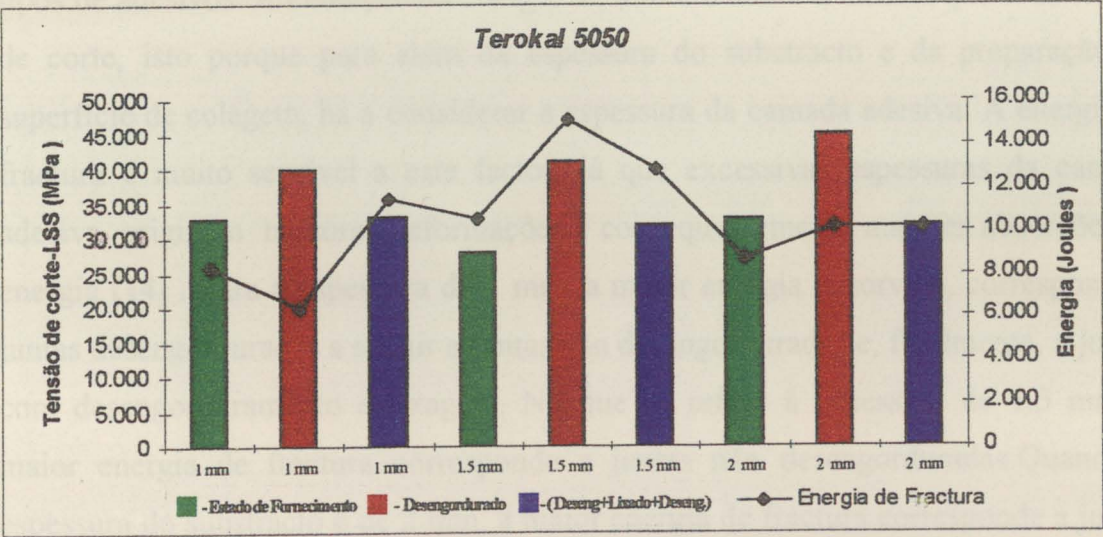


Gráfico 11 - Valores médios da tensão de corte (MPa) e da Energia (Joules), apresentados pelas juntas coladas com Terokal 5050, em função da espessura do material base e sem Envelhecimento e obtidos nos ensaios de tracção por impacto.

4.3 - DOS ENSAIOS DE TRACÇÃO (CORTE), POR IMPACTO.

Os Gráficos 10 e 11 mostram a influência do tratamento da superfície do material base, para cada uma das espessuras deste, na resistência ao corte da ligação e na Energia de Fractura da Junta.

- **TEROKAL 5045**

Verifica-se deste modo, que, à medida que melhora a preparação da superfície de colagem, aumentam os valores da tensão de corte da junta, seja qual for a espessura do substrato [17] . Há, contudo, uma excepção a esta regra, no que diz respeito à espessura de 2 mm, no estado de (Deseng.+Lixagem+Deseng.), notando-se obviamente uma queda razoável da Resistência ao corte da ligação. As energias do Pico são sempre inferiores às energias de fractura, para ambos os tipos de adesivos. A evolução da energia de fractura não é a mesma que a da tensão de corte, isto porque para além da espessura do substrato e da preparação da superfície de colagem, há a considerar a espessura da camada adesiva. A energia de fractura é muito sensível a este factor, já que excessivas espessuras da camada adesiva, originam menores deformações e consequentemente maiores absorções de energia [14] . Para a espessura de 1 mm, a maior energia absorvida, corresponde a juntas desengorduradas a seguir a juntas não desengorduradas e, finalmente, a juntas com desengorduramento e lixagem. No que se refere à espessura de 1.5 mm, a maior energia de fractura corresponde a juntas não desengorduradas. Quando a espessura do substrato é de 2 mm, a maior energia de fractura corresponde a juntas desengorduradas, seguindo-se juntas não desengorduradas e, finalmente, as que são submetidas a desengorduramento e lixagem.

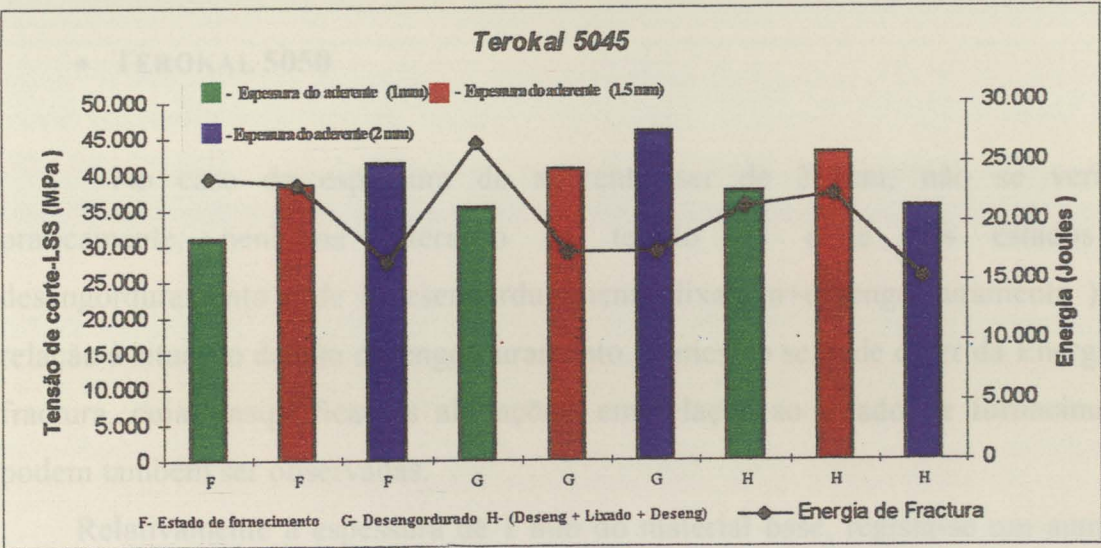


Gráfico 12 - Valores médios da tensão de corte (MPa) e da Energia (Joules), apresentados pelas juntas coladas com Terokal 5045, nas condições acima referidas, em função dos tipos de tratamento de superfície do substracto, sem Envelhecimento e obtidos nos ensaios de tracção por impacto.

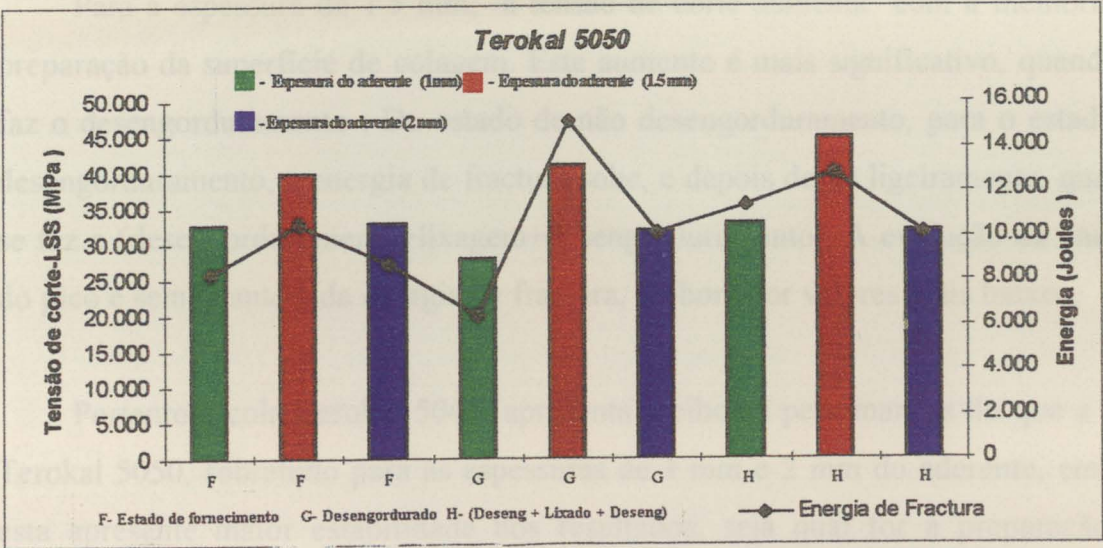


Gráfico 13 - Valores médios da tensão de corte (MPa) e da Energia (Joules), apresentados pelas juntas coladas com Terokal 5050, nas condições acima referidas, em função dos tipos de tratamento de superfície do substracto, sem Envelhecimento e obtidos nos ensaios de tracção por impacto.

- **TEROKAL 5050**

No caso da espessura do aderente ser de 2 mm, não se verifica, praticamente, nenhuma alteração da tensão de corte nos estados de desgorduramento e de (desgorduramento+lixagem+desgorduramento), em relação à situação de não desgorduramento. O mesmo se pode dizer da Energia de fractura, cujas insignificantes alterações, em relação ao estado de fornecimento, podem também ser observadas.

Relativamente à espessura de 1 mm do material base, regista-se um aumento da resistência ao corte quando a cola é desgordurada na zona de colagem, onde apresenta de facto a mais baixa energia de fractura. Nos outros dois estados de preparação da superfície do aço, os valores da tensão de corte são praticamente iguais. O mesmo acontece com a energia de fractura, mas com um diferencial muito maior que o da tensão de corte.

Para a espessura de 1.5 mm, a tensão de corte aumenta com a melhoria da preparação da superfície de colagem. Este aumento é mais significativo, quando se faz o desgorduramento . Do estado de não desgorduramento, para o estado de desgorduramento, a energia de fractura sobe, e depois desce ligeiramente, quando se faz o (desgorduramento+lixagem+desgorduramento). A evolução da energia do pico é semelhante à da energia de fractura, embora por valores mais baixos.

Portanto a cola Terokal 5045, apresenta melhores perfomances do que a cola Terokal 5050, sobretudo para as espessuras de 1 mm e 2 mm do aderente, embora esta apresente maior estabilidade nos resultados, seja qual for a preparação da superfície de colagem e exceptuando juntas desgorduradas. Em relação à espessura de 1.5 mm do material base, a cola Terokal 5045 só apresenta maior resistência ao corte na condição de (desgorduramento +lixagem+ desgorduramento). De resto, para as condições de desgorduramento e não desgorduramento, as perfomances são sensivelmente semelhantes para ambos os adesivos.

Por outro lado, os valores da energia de fractura e da Energia do Pico são muito inferiores, no caso da cola Terokal 5050, mesmo nas situações em que as tensões de corte são muito semelhantes.

Para além disso, observando os Quadros 24 a 30 (Ponto 3 - Resultados experimentais), pode afirmar-se:

- Que a cola Terokal 5045 tem sempre uma fractura essencialmente coesiva, antes e após Envelhecimento.
- Que a cola Terokal 5050 apresenta sempre fractura adesiva, quer nas condições ambientes, quer após exposição na Câmara climática.

Notar que, nos casos em que a fractura é adesiva, a força global medida representa uma medida da aderência. Se a rotura é coesiva, a força global medida representa a resistência à rotura da junta colada [26].

Os gráficos 12 e 13 ilustram o efeito da variação da espessura do material base, sobre a tensão de corte, para cada uma das condições de preparação da superfície de colagem. Nele se pode visualizar, também, a trajectória da Energia de fractura que já falei anteriormente, para os dois tipos de adesivos.

• TEROKAL 5045

A tensão de corte aumenta quando sobe o valor da espessura do material base, [17] e quaisquer que sejam as formas de preparação da superfície de colagem.

Existe, porém, uma excepção no que se refere ao estado de (desengorduramento+lixagem+desengorduramento), para a espessura de 2 mm, em que se nota um ligeiro abaixamento da Resistência ao corte. Observa-se que as melhores propriedades de resistência ao corte são, por ordem decrescente do seu valor, as que correspondem :

- A juntas (desengorduradas+lixadas+desengorduradas), com 1 e 1.5 mm de espessura do aderente.
- A juntas desengorduradas, independentemente da espessura do substracto.
- A juntas não desengorduradas, quaisquer que sejam as espessuras do material base.

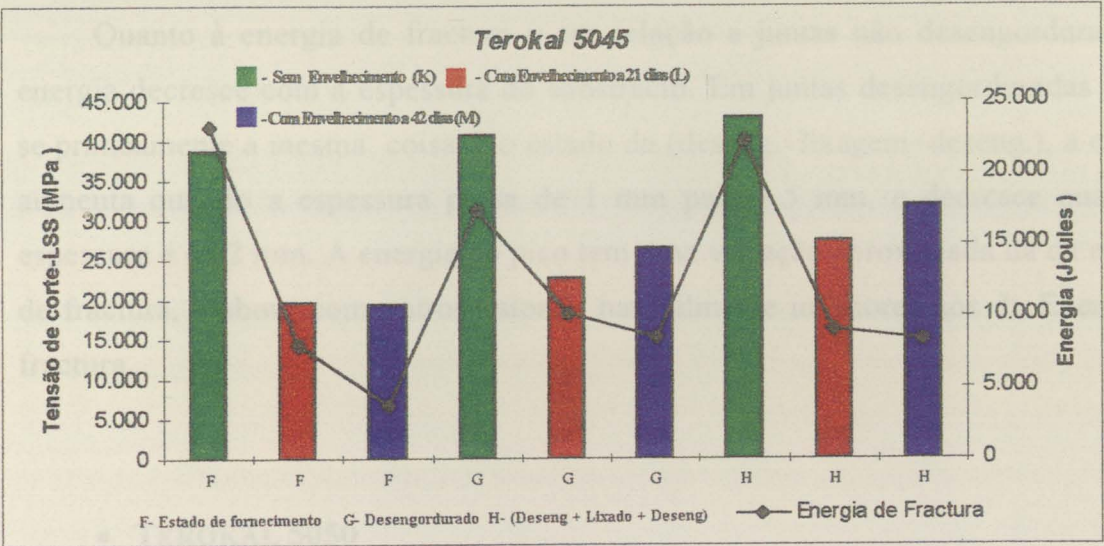


Gráfico 14 - Valores médios da tensão de corte (MPa) e da Energia (Joules), apresentados pelas juntas coladas com Terokal 5045, nas condições acima referidas, em função dos tipos de tratamento de superfície do material base, sendo a espessura deste constante e igual a 1.5 mm (B). Valores obtidos nos ensaios de tracção por impacto.

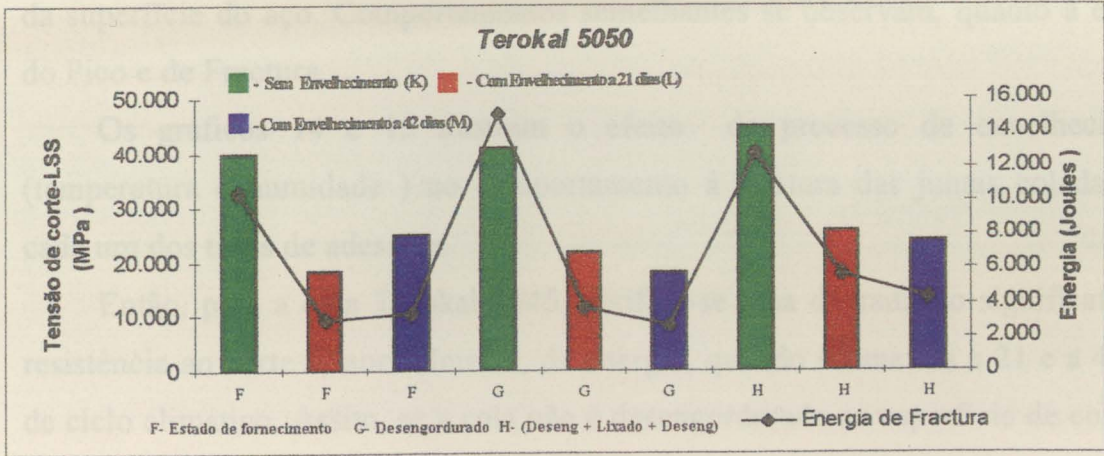


Gráfico 15 - Valores médios da tensão de corte (MPa) e da Energia (Joules), apresentados pelas juntas coladas com Terokal 5050, nas condições acima referidas, em função dos tipos de tratamento de superfície do substracto, sendo a espessura deste constante e igual a 1.5 mm (B). Valores obtidos nos ensaios de tracção por impacto.

Quanto à energia de fractura e em relação a juntas não desgorduradas, a energia decresce com a espessura do substrato. Em juntas desgorduradas passa-se praticamente a mesma coisa. No estado de (deseng.+lixagem+deseng.), a energia aumenta quando a espessura passa de 1 mm para 1.5 mm, e decresce quando a espessura é de 2 mm. A energia do pico tem uma variação aproximada da da energia de fractura, embora com outros valores, naturalmente inferiores aos da Energia de fractura.

- **TEROKAL 5050**

Só se verifica acréscimo acentuado da tensão de corte para uma espessura do material base de 1.5 mm, sejam quais forem os tipos de tratamento da superfície de colagem. Nas outras espessuras do substrato (1 mm e 2 mm), não há praticamente alterações dos valores da resistência ao corte, para cada um dos tipos de tratamento da superfície do aço. Comportamentos semelhantes se observam, quanto à energia do Pico e de Fractura.

Os gráficos 14 e 15 ilustram o efeito do processo de envelhecimento (temperatura e humidade) no comportamento à fractura das juntas coladas com cada um dos tipos de adesivos.

Então, para a cola Terokal 5045, verifica-se uma degradação significativa da resistência ao corte e, normalmente, da energia, quando submetida a 21 e a 42 dias de ciclo climático. Assim, se a cola não é desgordurada na superfície de colagem, a tensão de corte cai, sensivelmente, 50%, quer a 21 quer a 42 dias de exposição na Câmara climática. Quando desgordurada, a resistência ao corte da junta cai 45% ao fim de 21 dias e cerca de 35% ao fim de 42 dias. Quando (desgordurada +lixada+desgordurada) na zona de colagem, a tensão de corte desce 36%, ao fim de 21 dias e 25%, ao fim de 42 dias de ciclo climático. Nota-se também uma queda acentuada da Energia, sobretudo da energia de fractura, com o envelhecimento a 21 dias e mais acentuada ainda com o envelhecimento a 42 dias, mesmo que, neste último caso, a tensão de corte seja superior à obtida ao fim de 21 dias de ciclo climático. Por conseguinte, pode afirmar-se que, a resistência ao corte, após

envelhecimento, é tanto melhor quanto melhor for o grau de preparação da superfície do substracto.

Em relação à cola Terokal 5050, nota-se também uma diminuição significativa da tensão de corte, após envelhecimento [28,38]. No estado de Fornecimento (isto é, não desgordurada na zona de colagem), a resistência ao corte baixa 53 % , ao fim de 21 de exposição, e 37,5% após 42 dias. Se a cola é desgordurada na zona de colagem, a tensão de corte desce 46,7% e 55%, respectivamente após 21 e 42 dias de exposição na câmara climática. No estado de (desgorduramento +lixagem+desgorduramento), verifica-se uma queda de 42,5% após 21 dias de envelhecimento e de 47,25% ao fim de 42 dias de envelhecimento . Então é fácil dizer que juntas coladas com Terokal 5050 sofrem uma maior degradação da resistência ao corte quando desgorduradas do que quando (desgorduradas +lixadas+desgorduradas).A energia de fractura tem uma evolução muito semelhante à apresentada pela tensão de corte, embora com valores diferentes. A energia do pico tem uma trajectória aproximada, embora por valores mais baixos que os da energia de fractura.

Portanto, em condições de não envelhecimento, a cola Terokal 5045 apresenta melhores perfomances, registando-se, geralmente, uma melhoria das propriedades, à medida que aumenta o grau de preparação da superfície de colagem.Isto significa que esta cola é mais sensível à presença de contaminantes . As melhores características obtêm-se com substracto de 2 mm de espessura, a seguir com 1.5 mm e, finalmente, com 1 mm de espessura do material base [17]. Além disso, esta cola apresenta elevadas energias de fractura. Enquanto que a cola Terokal 5050, apresenta, geralmente, menores perfomances, mas com valores mais estáveis, sobretudo para as espessuras de 1mm e 2 mm do substracto, pelo que se pode afirmar que esta cola é menos sensível à presença de contaminantes. No entanto, para uma espessura de 1.5 mm do material base, esta cola apresenta uma resistência ao corte ligeiramente superior à apresentada pela cola Terokal 5045, o que põe em evidência uma sensibilidade semelhante, à presença de contaminantes, para ambos os adesivos. Notar também, que os valores de Energia, para a cola Terokal 5050 são, na generalidade, 50% inferiores aos apresentados pela outra cola. Passarei, agora, a fazer a interpretação dos resultados, de uma forma mais abrangente, tendo

já em conta o efeito das condições ambientais, no comportamento das juntas coladas e a análise das respectivas curvas Força - Deslocamento.

A análise destas curvas permite dizer que a cola Terokal 5045 tem um rompimento dúctil antes do envelhecimento. Este comportamento é mais acentuado na espessura de 1 mm do substrato, a seguir para 1.5 mm e, finalmente, para 2mm de espessura do material base. As energias de fractura correspondem à área situada abaixo das curvas Força-deslocamento, desde a origem até à abcissa do deslocamento correspondente ao ponto de fractura. Estas energias, são apreciáveis. Porém, após envelhecimento a 21 e a 42 dias, observa-se uma queda acentuada das tensões de corte e da energia de fractura o que não invalida que o rompimento seja dúctil, embora menos acentuado.

As juntas coladas com Terokal 5050, evidenciam energias de fractura muito menores (abcissas do deslocamento até à fractura muito baixas, já que a curva Força-deslocamento desce mais rapidamente a zero), correspondendo a áreas mais pequenas, entre o eixo dos deslocamentos, a curva Força-deslocamento e a recta perpendicular ao eixo dos deslocamentos no ponto de fractura, do que no caso da cola Terokal 5045.

Assim, o adesivo Terokal 5050, tem um comportamento pouco dúctil, antes de ser submetido ao envelhecimento. Após envelhecimento a 21 e a 42 dias, o rompimento das juntas coladas com este adesivo, torna-se altamente quebradiço, e com mais intensidade após 42 dias de exposição.

Depois destas reflexões, tudo aponta no sentido de que a cola Terokal 5045, seja preferida, em relação à cola Terokal 5050, apesar de, após envelhecimento, se notar uma queda acentuada das performances para ambos os adesivos.

Mesmo assim, as performances observadas, após 21 e 42 dias de ciclo climático, são ainda iguais ou superiores às conseguidas nos melhores resultados em comportamento estático.

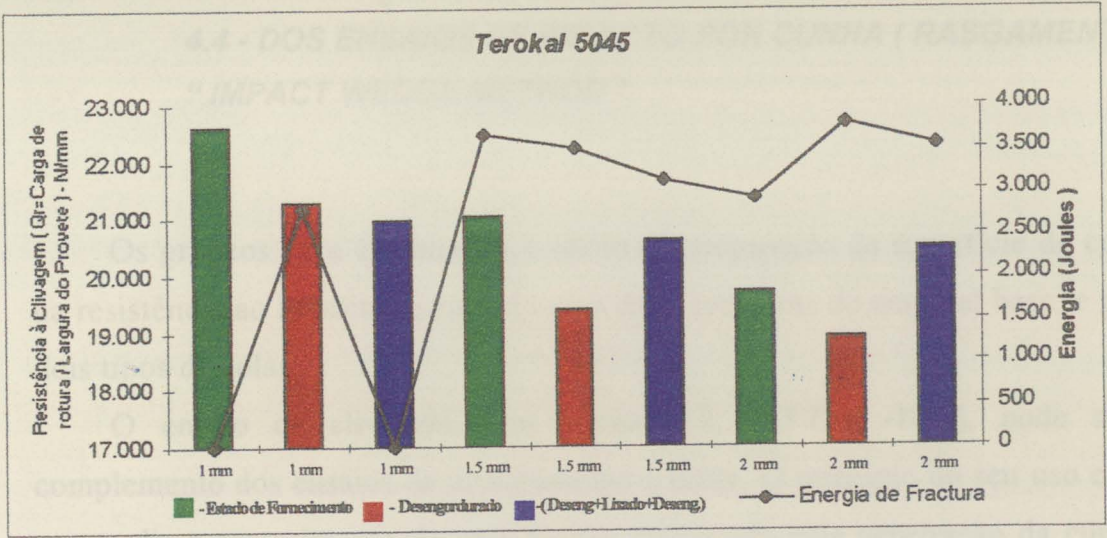


Gráfico 16 - Valores médios Resistência à clivagem (N/mm) e da Energia de fractura (Joules), apresentados pelas juntas coladas com Terokal 5045, em função da espessura dos aderentes, para as condições acima identificadas, sem Envelhecimento e obtidos nos ensaios de impacto por cunha (rasgamento).

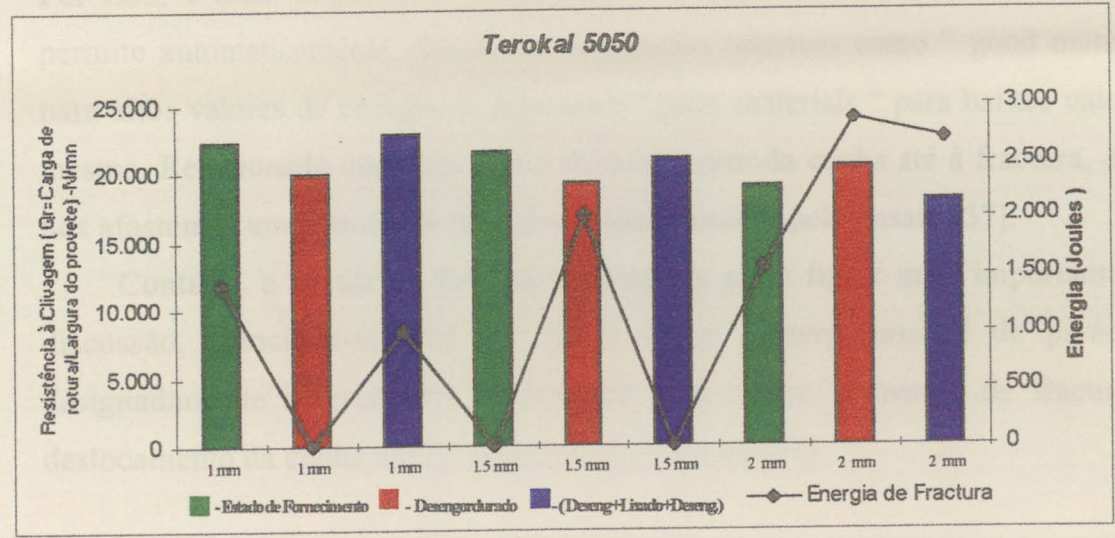


Gráfico 17 - Valores médios Resistência à clivagem (N/mm) e da Energia de fractura (Joules), apresentados pelas juntas coladas com Terokal 5050, nas condições acima identificadas, em função da espessura dos aderentes, sem Envelhecimento (K) e obtidos nos ensaios de impacto por cunha (rasgamento).

4.4 - DOS ENSAIOS DE IMPACTO POR CUNHA (RASGAMENTO) - “ IMPACT WEDGE METHOD “.

Os gráficos 16 e 17 ilustram o efeito da preparação da superfície de colagem na resistência ao impacto, para cada uma das espessuras do material base, e para os dois tipos de colas.

O ensaio de clivagem com cunha [17, (NFT76 -114)], pode ser um complemento dos ensaios de arrancamento e corte. O princípio do seu uso consiste em medir o comprimento de uma fissura provocada pela penetração da cunha em determinadas condições, especificadas na Norma. Todavia, logo que a força caia para zero dentro de um determinado valor do deslocamento (contar até 20 mm) no diagrama de Força versus deslocamento, a fractura deve ser descrita como frágil e não nos preocuparmos em calcular um valor da força de arrancamento média [57]. Por isso, é mais importante contabilizar a energia absorvida na Fractura, o que permite automaticamente classificar as ligações adesivas como “ good materials “ para altos valores de energia de fractura e “ poor materials “ para baixos valores da mesma. Relacionado com isto está o deslocamento da cunha até à fractura, embora nos afastemos um pouco dos objectivos estabelecidos pelo ensaio [57].

Contudo, e apesar da Energia de fractura ser o factor mais importante nesta discussão, preocupei-me em registar o maior número possível de parâmetros, designadamente a resistência à clivagem com cunha, a energia de fractura e o deslocamento da cunha até ao momento da fractura [57].

• TEROKAL 5045

Nota-se que, a resistência à clivagem decresce, geralmente, com o apuramento do grau de preparação da superfície de colagem. Exceptua-se, no entanto, o caso em que a espessura do substrato é de 2 mm, para a qual a resistência à clivagem subiu ligeiramente no estado de (deseng.+lixagem+deseng.). O mesmo não se passa com a energia de fractura, cujos valores, à excepção de juntas com 1.5 mm de espessura do material base, crescem com a melhoria do estado de tratamento da sua superfície,

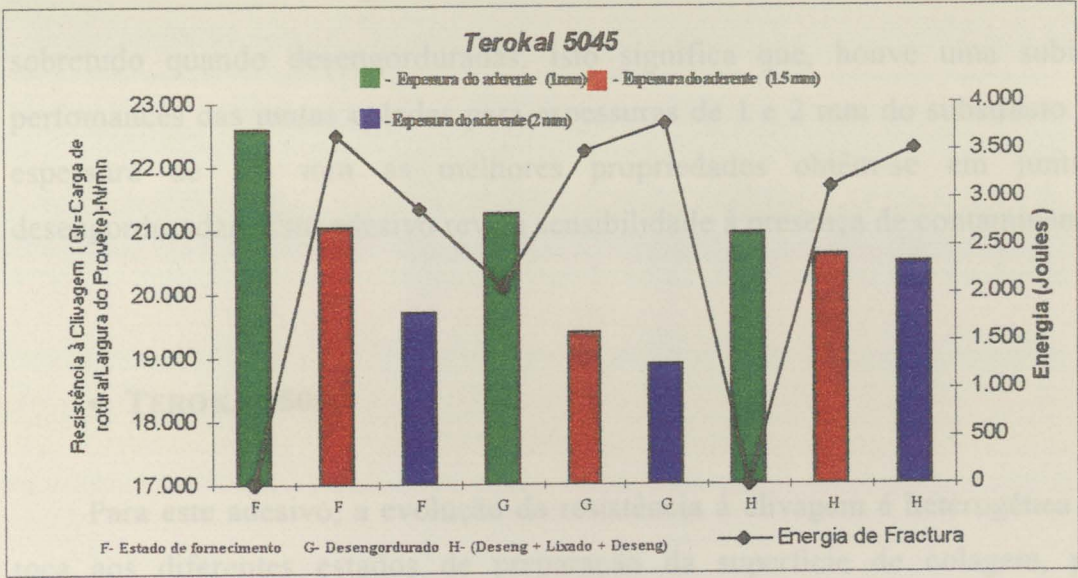


Gráfico 18 - Valores médios da Resistência à clivagem (N/mm) e de Energia de Fractura (Joules), apresentados pelas juntas coladas com Terokal 5045, nas condições acima identificadas, em função do tipo de tratamento da superfície dos substratos, e sem Envelhecimento (K) e obtidos nos ensaios de impacto por cunha (rasgamento).

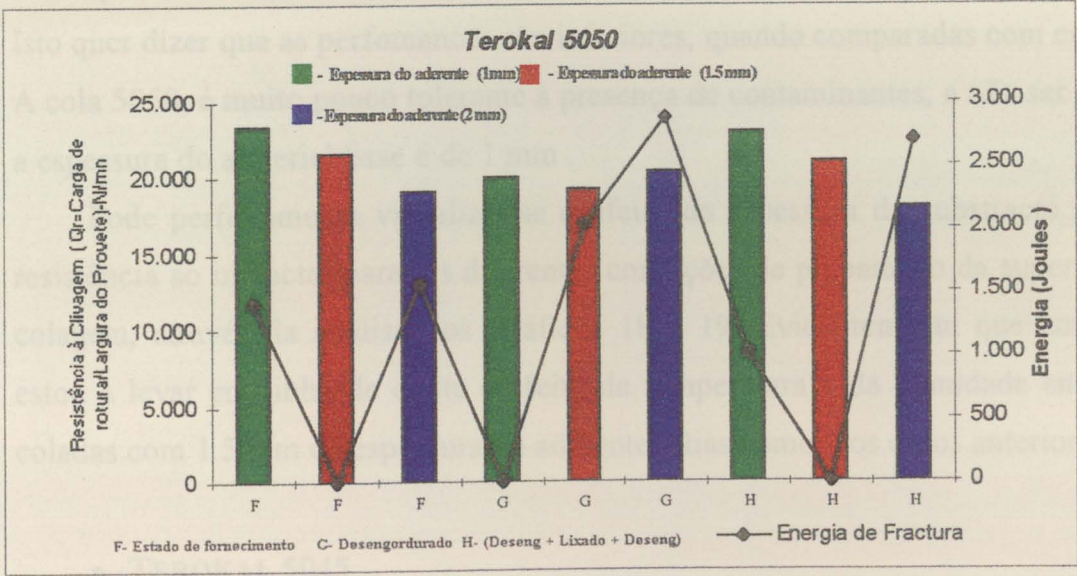


Gráfico 19 - Valores médios da Resistência à clivagem (N/mm) e de Energia de Fractura (Joules), apresentados pelas juntas coladas com Terokal 5050, nas condições acima identificadas, em função dos tipos de tratamento da superfície dos aderentes, sem Envelhecimento (K) e obtidos nos ensaios de impacto por cunha (rasgamento).

sobretudo quando desengorduradas. Isto significa que, houve uma subida das performances das juntas coladas para espessuras de 1 e 2 mm do substracto. Para a espessura de 1.5 mm as melhores propriedades obtêm-se em juntas não desengorduradas. Este adesivo revela sensibilidade à presença de contaminantes.

- **TEROKAL 5050**

Para este adesivo, a evolução da resistência à clivagem é heterogénea no que toca aos diferentes estados de preparação da superfície de colagem, para as diferentes espessuras do aço. Quanto à energia de Fractura, geralmente, também aumenta quando se melhora a preparação da superfície de colagem, com mais intensidade em juntas desengorduradas, à excepção de juntas com 1 mm de espessura do material base, em que acontece precisamente o contrário. No entanto, as resistências à clivagem são semelhantes, embora as energias de fractura sejam na maior parte dos casos inferiores às registadas em juntas coladas com Terokal 5045 . Isto quer dizer que as performances são inferiores, quando comparadas com estas. A cola 5050, é muito pouco tolerante à presença de contaminantes, a não ser quando a espessura do amterial base é de 1 mm .

Pode perfeitamente visualizar-se o efeito da espessura do substracto sobre a resistência ao impacto, para as diferentes condições de preparação da superfície de colagem, através da análise dos Gráficos 18 e 19. Evidentemente que ainda não estou a levar em linha de conta o efeito da temperatura e da humidade em juntas coladas com 1.5 mm de espessura do aderente, aliás como, nos casos anteriores.

- **TEROKAL 5045**

Enquanto que a resistência à clivagem com cunha diminui com o aumento da espessura do aderente, a energia de fractura aumenta. As melhores performances são obtidas em juntas com 1.5 mm e 2 mm de espessura do substracto, qualquer que seja a preparação da superfície de colagem. Quando a espessura do material base é de 1 mm, as melhores performances são registadas em juntas desengorduradas.

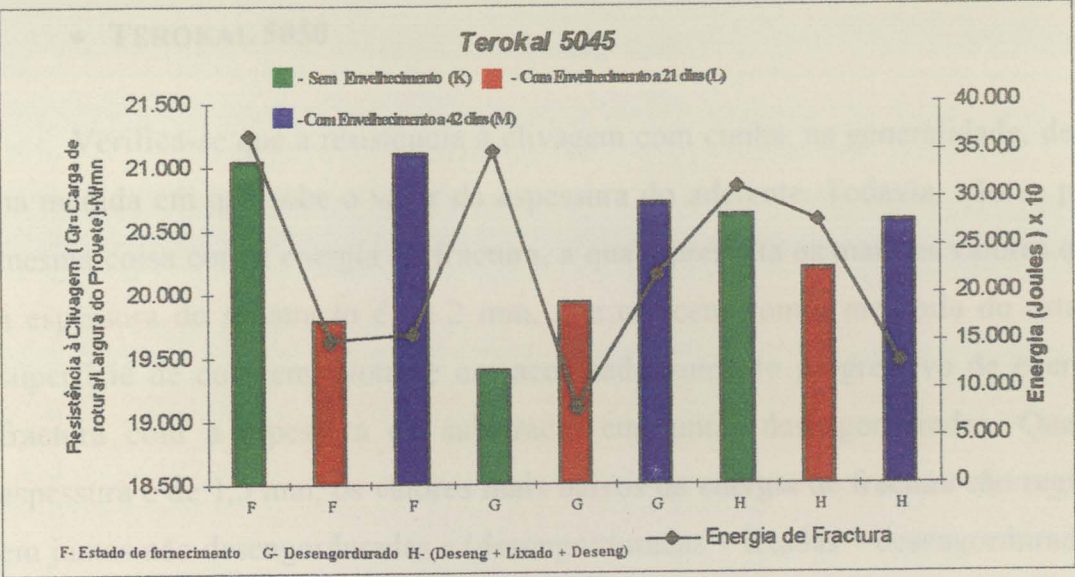


Gráfico 20 - Valores médios da Resistência à clivagem com cunha (N/mm) e de Energia de Fractura (Joules), apresentados pelas juntas coladas com Terokal 5045, nas condições acima identificadas, em função dos tipos de tratamento da superfície do material base, sendo a espessura deste constante e igual a 1.5 mm (B)e obtidos nos ensaios de impacto por cunha (rascamento).

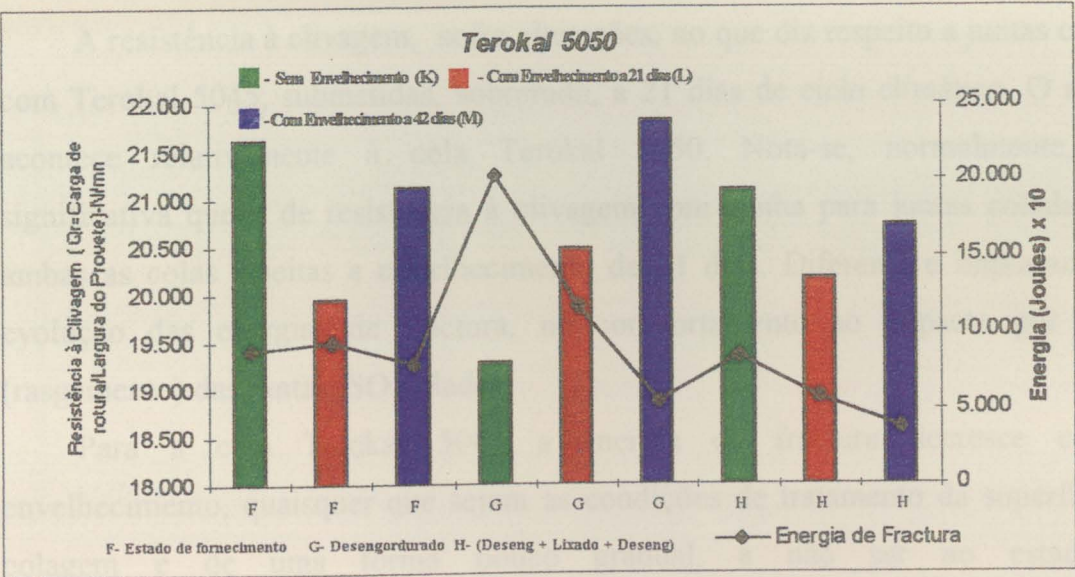


Gráfico 21 - Valores médios da Resistência à clivagem com cunha (N/mm) e de Energia de Fractura (Joules), apresentados pelas juntas coladas com Terokal 5050, nas condições acima identificadas, em função dos tipos de tratamento da superfície do substracto, sendo a espessura deste constante e igual a 1.5 mm (B)e obtidos nos ensaios de impacto por cunha (rascamento).

- **TEROKAL 5050**

Verifica-se que a resistência à clivagem com cunha, na generalidade, decresce na medida em que sobe o valor da espessura do aderente. Todavia, não se passa a mesma coisa com a energia de fractura, a qual apresenta os maiores valores quando a espessura do substracto é de 2 mm, que crescem com a melhoria do estado da superfície de colagem. Nota-se um acentuado aumento progressivo de energia de fractura com a espessura do substracto em juntas desengorduradas. Quando a espessura é de 1,5 mm, os valores mais baixos da energia de fractura são registados em juntas não desengorduradas e (desengorduradas + lixadas + desengorduradas).

É lógico afirmar-se que esta cola exhibe, na maior parte dos casos, energias de fractura muito inferiores às observadas em juntas coladas com Terokal 5045. Os gráficos 20 e 21 ilustram a influência das condições ambientais (humidade e temperatura) no comportamento à fractura das juntas coladas com ambos os tipos de adesivos.

A resistência à clivagem, sofre alterações, no que diz respeito a juntas coladas com Terokal 5045, submetidas, sobretudo, a 21 dias de ciclo climático. O mesmo acontece relativamente à cola Terokal 5050. Nota-se, normalmente, uma significativa queda de resistência à clivagem com cunha para juntas coladas com ambas as colas sujeitas a envelhecimento de 21 dias. Diferente e importante é a evolução das energias de fractura, no comportamento ao impacto por cunha (rascamento) das juntas ISO coladas.

Para a cola Terokal 5045 a energia de fractura decresce com o envelhecimento, quaisquer que sejam as condições de tratamento da superfície de colagem e de uma forma pouco gradual, a não ser no estado de (desengorduramento+lixagem+ desengorduramento). O mesmo acontece com a cola Terokal 5050, em que energia de fractura diminui gradualmente, à medida que se caminha das condições ambientes, para o envelhecimento a 21 e a 42 dias, embora com valores geralmente

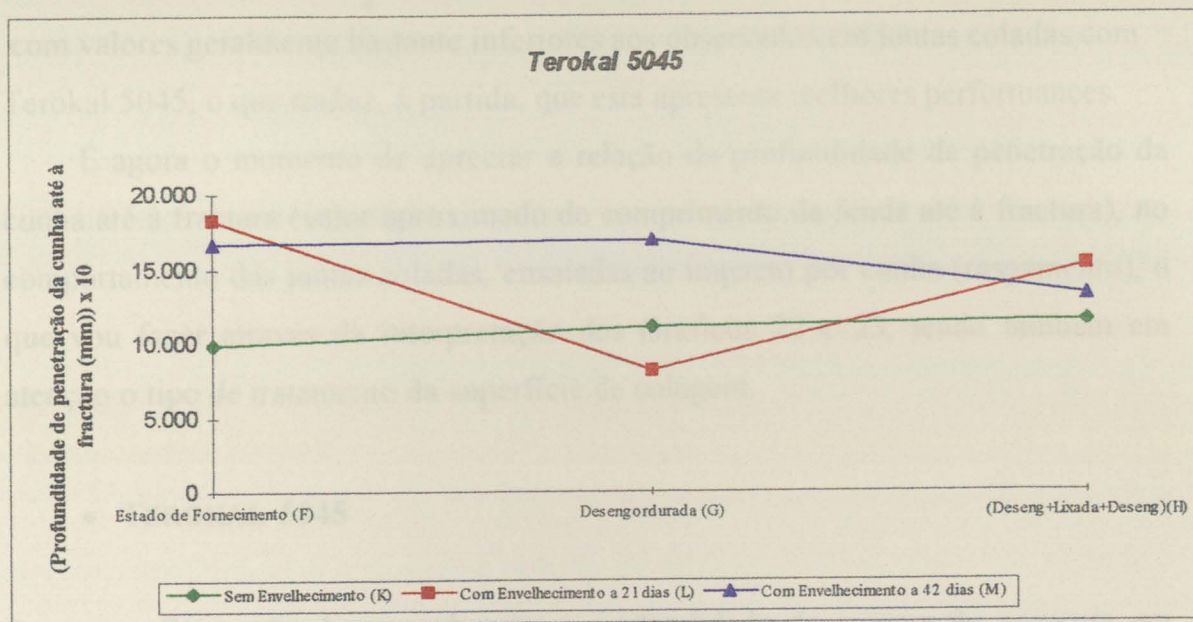


Gráfico 22 - Valores médios da profundidade de penetração da cunha até à fractura (mm), em função da preparação da superfície do substrato para juntas coladas com Terokal 5045 para uma espessura de 1.5 mm (B) do substrato, obtidos no ensaio de Rasgamento por cunha (J')

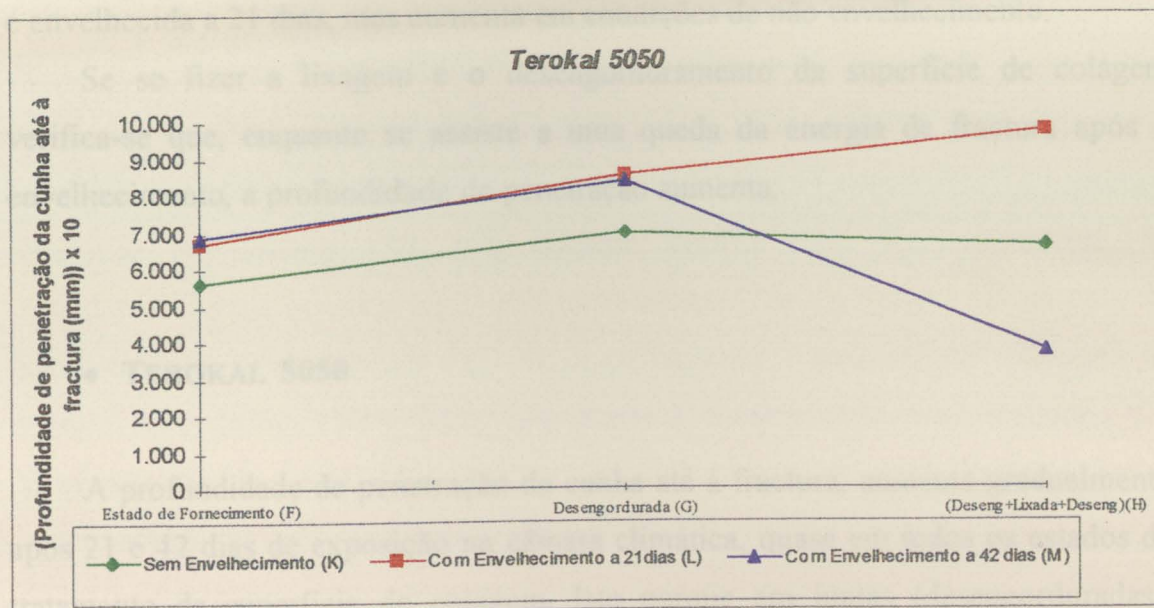


Gráfico 23 - Valores médios da profundidade de penetração da cunha (mm) até à fractura, em função das condições de Envelhecimento, para juntas coladas com Terokal 5050 e para uma espessura de 1.5 mm (B) do substrato, obtidos no ensaio de Rasgamento por cunha (J').

com valores geralmente bastante inferiores aos observados em juntas coladas com Terokal 5045, o que traduz, à partida, que esta apresenta melhores performances.

É agora o momento de apreciar a relação da profundidade de penetração da cunha até à fractura (valor aproximado do comprimento da fenda até à fractura), no comportamento das juntas coladas, ensaiadas ao impacto por cunha (rascamento), o que vou fazer através da interpretação dos Gráficos 22 e 23, tendo também em atenção o tipo de tratamento da superfície de colagem.

• TEROKAL 5045

Para superfícies não desengorduradas a profundidade de penetração aumenta em condições de envelhecimento a 21 e a 42 dias, sendo o maior valor atingido, após 21 dias de exposição. Em contrapartida a energia de fractura varia inversamente. Quando a cola é desengordurada, a profundidade de penetração tem uma variação semelhante à registada pela energia de fractura. A profundidade baixa quando a cola é envelhecida a 21 dias, mas aumenta em condições de não envelhecimento.

Se se fizer a lixagem e o desengorduramento da superfície de colagem verifica-se que, enquanto se assiste a uma queda da energia de fractura após o envelhecimento, a profundidade de penetração aumenta.

• TEROKAL 5050

A profundidade de penetração da cunha até à fractura, aumenta gradualmente após 21 e 42 dias de exposição na câmara climática, quase em todos os estados de tratamento da superfície de colagem. Isto porque em juntas (desengorduradas+lixadas+desengorduradas), a profundidade de penetração aumenta cerca de 30% ao fim de 21 dias de exposição e baixa 30% ao fim de 42 dias de envelhecimento, sendo os intervalos de variação maiores do que nos casos de juntas desengorduradas e não desengorduradas. De salientar que a energia de fractura assume uma evolução inversa à verificada pela “profundidade da fenda” até à fractura, ao fim de 21 dias de envelhecimento. No entanto, esta cola exhibe valores de profundidade de

penetração da cunha até à fractura menores que os da cola 5045, a qual evidencia melhores performances.

A apreciação dos quadros 31 a 37, mostra que a cola Terokal 5045 apresenta fractura essencialmente coesiva quando ensaiada em condições ambientes (sem envelhecimento), e em geral essencialmente adesiva, quando ensaiada após 21 e 42 dias de envelhecimento. Porém apenas em juntas (desengorduradas + lixadas + desengorduradas) e envelhecidas a 21 dias se observa fractura do tipo essencialmente coesiva.

A cola Terokal 5050 tem fractura do tipo essencialmente adesiva antes e após envelhecimento a 21 e a 42 dias. Contudo, há uma excepção a esta regra, quando a cola é (desengordurada+lixada+desengordurada) e ensaiada após 42 dias de exposição na câmara climática, a qual apresenta fractura essencialmente coesiva.

Da análise das curvas Força-tempo e, principalmente, das curvas Força-deslocamento apresentadas no Anexo 5, vê-se que a força cai a zero dentro de um determinado valor (contar até 20 mm) do deslocamento quaisquer que sejam as espessuras do material base, o tratamento da superfície de colagem, ou as condições de envelhecimento. Assim a fractura deve ser descrita como frágil [57], e não inferir o cálculo da força de arrancamento médio. Por isso, o factor preponderante a considerar na análise da resistência ao impacto por cunha (rasgamento) é a energia absorvida na fractura. Ora, esta situação implica que, automaticamente, se consideram juntas adesivas de “ alta perfomance “ se os valores de energia de fractura forem altos, e juntas de “ baixa perfomance “ para valores inferiores da energia de fractura . Outro factor importante a considerar, no meu entender, é a “profundidade da fenda até à fractura”, negligenciando, de certa forma, o factor “resistência à clivagem com cunha “ (Qr).

Chegou agora o momento de fazer uma análise mais sucinta e global dos resultados experimentais, atingidos neste tipo de ensaio.

Por conseguinte, deduz-se que juntas coladas com cada um destes tipos de adesivos, apresentam baixos valores da energia de fractura, o que leva a afirmar que são juntas de “baixa perfomance“, para este tipo de ensaio. No entanto, juntas coladas com Terokal 5045 registam melhores perfomances, isto é , maiores valores de energia de fractura e os correspondentes valores da profundidade de penetração,

do que, juntas coladas com Terokal 5050 que exibem muito menores valores de energia de fractura e, conseqüentemente, da profundidade de penetração da cunha até à fractura. Esta situação favorece a fractura. Verifica-se também uma degradação das propriedades de resistência ao impacto dos provetes ISO, após envelhecimento a 21 e a 42 dias.

5 - CONCLUSÕES

- Nos ensaios de Envelhecimento, o comportamento real é muito próximo do comportamento programado, e esta aproximação não induz erros nos resultados finais.
- A estabilidade de resultados dos testes de corte só foi conseguida, em ambos os adesivos, ao fim do 5º dia de cura, à temperatura ambiente. Exceptua-se o caso em que o material base tem a espessura de 2 mm, usando a cola Terokal 5050, cuja repetitibilidade nos valores da tensão de corte, foi logo conseguido ao fim do 4º dia. O que significa que neste caso a aceleração da velocidade de reticulação da resina poderá favorecer as propriedades de adesão da cola.

Em juntas simples, sobrepostas, solicitadas estáticamente:

- A cola Terokal 5045 apresenta fractura, totalmente adesiva em condições de não envelhecimento. Ao passo que a cola Terokal 5050 apresenta sempre fractura totalmente adesiva. Em ambos os casos a força global medida representa a força de aderência e não a resistência à roptura da junta.
- Em condições de não envelhecimento, as juntas com 2 mm de espessura do material base, coladas com Terokal 5050 evidenciam as mais altas performances, no estado de (desengorduramento + lixagem +desengorduramento), a seguir desengorduradas e, finalmente, não desengorduradas.
- A cola Terokal 5045 tem sempre um rompimento dúctil, antes e após o envelhecimento. Ao passo que a cola Terokal 5050 tem um comportamento menos dúctil, quando não envelhecida e, geralmente, um rompimento quebradiço quando exposta a 21 e a 42 dias.

- Considerando, globalmente, a influência de todos os factores no comportamento das juntas com 1,5 mm de espessura do substracto, conclui-se que a junta mais fiável é a colada com Terokal 5050 no estado de fornecimento. Logo a seguir aparece a mesma junta, mas (desengordurada + lixada + desengordurada), que poderá oferecer fiabilidade se o desengorduramento ou o controle do grau de rugosidade da superfície a colar, não sofrerem incorreções.
- A última ilação a tirar é que a cola Terokal 5050, apresenta melhores performances e maior estabilidade, sobretudo no estado de não desengordurada, embora seja de menos fácil aplicação na superfície do substracto, o que não invalida a sua escolha e preferência, em comportamento estático, relativamente à cola Terokal 5045.

Em juntas, simples, sobrepostas, solicitadas ao impacto:

- O mecanismo de fractura em juntas coladas com Terokal 5045 é do tipo essencialmente coesivo antes e depois de envelhecimento, sendo do tipo totalmente adesivo no caso de se usar a cola Terokal 5050, antes e após exposição a 21 e a 42 dias. O que significa que quando se usa a cola 5045, a força global medida traduz praticamente a resistência à roptura da junta, enquanto que no caso da cola 5050, a força global medida equivale à força de aderência.
- Geralmente, a cola 5045 apresenta melhores performances do que a cola Terokal 5050, mesmo após o envelhecimento. De salientar que as tensões de corte, obtidas com qualquer um dos adesivos são duas a três vezes superiores às registadas em comportamento estático. Isto sem envelhecimento, mas mesmo em juntas envelhecidas as performances exibidas em comportamento dinâmico, são, normalmente, superiores às conseguidas em comportamento estático.

- Antes de Envelhecidas, as juntas coladas com Terokal 5045 evidenciam, sucessivamente, performances crescentes, quando aumenta progressivamente a espessura do substrato, e à medida que se trata a superfície de colagem, principalmente em juntas desengorduradas e lixadas. Regista-se uma excepção a esta evolução em juntas no estado de (desengorduramento + lixagem + deseng.) e para a espessura de 2mm do material base. Do que disse, pode afirmar-se que a cola Terokal 5045 é muito menos tolerante à presença de contaminantes do que a cola Terokal 5050, sobretudo nas espessuras de 1 e 2 mm do substrato, já que para 1,5 mm de espessura do material base, a cola 5050 é muito mais sensível à presença de contaminantes.
- Em condições de não envelhecimento á junta mais fiável é a de 2mm de espessura do material base, desengordurada, logo a seguir juntas no estado de (desengorduramento + lixagem + desengorduramento) e para 1,5 mm de espessura do substrato e, finalmente, juntas com 1 mm de espessura do material base, também desengorduradas e lixadas. As incorrecções que eventualmente possa haver nos processos de desengorduramento ou de controle do grau da rugosidade, têm pouca influência nas propriedades finais, dado que a cola Terokal 5045 é muito sensível à presença de contaminantes.
- A cola Terokal 5045, apresenta sempre um rompimento dúctil, antes e após envelhecimento a 21 e a 42 dias, embora menos dúctil depois de exposta a 21 e a 42 dias, exibindo geralmente maiores energias de fractura antes do envelhecimento . Enquanto que, a cola Terokal 5050, tem um rompimento menos dúctil, antes de envelhecida, especialmente para a espessura de 2 mm do material base, do que a cola Teroakal 5045. Após envelhecimento, a cola 5050 tem um rompimento bastante quebradiço, mais intenso a 42 dias de exposição do que a 21 dias. Outra ilação a tirar é que juntas coladas com Terokal

5050 têm energias de fractura (<50%) em relação aos valores obtidos com a cola 5045.

- Considerando globalmente a influência de todos os parâmetros, no comportamento das juntas com 1.5 mm de espessura do substracto, conclui-se que a junta mais fiável é a colada com Terokal 5045 no estado de (desengorduramento + lixagem + desengorduramento). Logo a seguir, aparece a mesma junta, mas apenas desengordurada e, finalmente, juntas no estado de fornecimento, que na minha opinião são também fiáveis, embora apresentem menores performances, do que nas situações anteriores, isto é, na fase pós-Envelhecimento. Contudo as propriedades de resistência em juntas, não desengorduradas são mais estáveis após exposição, quer a 21 quer a 42 dias.
- Conclui-se que em juntas ao corte, solicitadas ao impacto, é preferível usar a cola Terokal 5045, até porque a sua aplicação, com espátula exige menos afinação e treino na operação de colagem do que a cola Terokal 5050, já que esta é menos viscosa. No entanto, em comportamento estático manifesta-se a preferência pela cola 5050.

Em juntas dos Provetes ISO, solicitadas ao impacto por cunha (Rasgamento):

- A cola Terokal 5045, exhibe fractura, essencialmente coesiva, antes de envelhecida e, regra geral, essencialmente adesiva, após Envelhecimento. Enquanto que a cola Terokal 5050 apresenta fractura essencialmente adesiva antes e após Envelhecimento.

Normalmente,

- A cola Terokal 5045 apresenta as melhores performances no estado de Desengorduramento e a seguir, quando (Deseng.+Lixada+Deseng.) e, finalmente, não desengordurada. No entanto, para as espessuras de

1.5 mm do substrato, as melhores propriedades são observadas, em juntas não desgorduradas. O que significa que esta cola é bastante sensível à presença de contaminantes. Comportamento semelhante revela a cola 5050, sobretudo para 2 e 1.5 mm de espessura do material base, embora com valores mais baixos de energia de fractura e da profundidade de penetração da cunha. todavia, esta cola também é pouco tolerante à presença de contaminantes, a não ser para 1 mm de espessura do material base.

- Regra geral, as performances aumentam com o aumento de espessura do material base, principalmente nos casos em que a cola 5045 é desgordurada e (Desgordurada+Lixada+Desgordurada). Comportamento análogo é evidenciado pela cola 5050, embora com valores inferiores de Energia de fractura e da "profundidade da fenda " até à fractura. Fogem a esta regra, juntas com 1.5 mm de espessura do aderente, coladas com Terokal 5050, para as situações de não desgorduradas e (Desgorduradas+Lixadas+Desgorduradas).
- Juntas Ensaaiadas em condições ambientes (Sem envelhecimento), oferecem a maior fiabilidade quando coladas com terokal 5045, desgorduradas. A mais fiável corresponde a 2 mm de espessura do substrato, a seguir com 1.5 mm e, finalmente, com 1 mm de espessura do mesmo. A segunda prioridade recai sobre as mesmas juntas, mas (desgorduradas+lixadas+deseng.).E, finalmente, juntas coladas no estado de Fornecimento, à excepção da junta com 1.5 mm de espessura do material base que evidenciam as melhores propriedades, situação para a qual, esta cola parece ser pouco sensível à presença de contaminantes.
- A fractura é sempre descrita como frágil antes e após Envelhecimento. Porém, o rompimento é mais quebradiço após 21 e 42 dias de exposição climática, para ambos os tipos de colas.

- As energias de fractura e as profundidades de penetração da cunha até à fractura (" profundidade da fenda ") são maiores no caso de uso da cola Terokal 5045, do que usando a cola Terokal 5050, cujos valores são bastante inferiores áqueles, tornando a fractura mais vulnerável.
- Considerando, globalmente, a influência de todos parâmetros no comportamento das juntas com 1.5 mm de espessura do material base, conclui-se que a junta mais fiável é a colada com Terokal 5045 no estado de (Desengorduramento +Lixagem+Desengorduramento). A seguir aparece a mesma junta mas desengordurada e só para um ciclo de envelhecimento de 42 dias. Finalmente, juntas não desengorduradas, cujo comportamento é estável após Envelhecimento, embora com uma queda mais acentuada das performances quando expostas a 21 e 42 dias de ciclo climático.
- Na maior parte dos casos, a cola Terokal 5045, exibe melhor performances do que a cola Terokal 5050, quando submetida a ensaio de impacto por cunha (Rasgamento), embora as juntas coladas com qualquer uma delas seja de " baixa performance ".

- Das conclusões formuladas, e embora estas colas tenham baixa resistência ao arrancamento em condições de impacto, é preferível usar a cola Terokal 5045, que apesar de tudo é de mais fácil aplicação.

- Outra ilação de âmbito geral, é que estas colas são excelentes e de maior aplicabilidade em juntas simples sobrepostas, submetidas a ensaios de tracção, quer estáticos, quer dinâmicos, onde revelam uma elevada resistência ao corte. No entanto, estas colas apresentam fraca resistência ao arrancamento (Rasgamento), sobretudo em juntas dos Provetes ISO. Esta conclusão confirma o exposto na Literatura [59].

**REFERÊNCIAS
BIBLIOGRÁFICAS**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - Shields J., " Adhesives Handbook ", 1971, Butterworths, London.
- [2] - Esteves J.L., " Estudo do Comportamento de adesivos estruturais ", Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1990.
- [3] - Mark H. F., Gaylord N. G., Bikales N. M., " Encyclopedia of Polymer Science and Technology ", Vol 1, Interscience Publishers, John Wiley & Sons, Inc.- New York.
- [4] - Schmidt R. G., Belle J. P., Adv. Polym. Sci., 75,33 (1985).
- [5] - Preiswerk E., Technica, 4 e 5, 247 (1965).
- [6] - May A. Clayton, " Epoxy Resin - Chemistry and Technology ", 2ª ed, Marcel Dekker, Inc; Cap.7 " Epoxy Resin Adhesives ", Armand F. Lewis.
- [7] - Trotignon J. P., Verdu J., Piperaud M., " Précis de Matières Plastiques ". AFNOR, 1982.
- [8] - Saunders T. F., Levy M.F., Serino J. F., J. Polym. Sci.. Part A-1, 5, 1609 (1967).
- [9] - Hagnaeur G. L., Dum D. A., J. Appl. Polym. Sci., 26 (6), 1837 (1981).
- [10] - Lin. Y. G., " Formation et Caracterisation d'un Resau Epoxyde Effect Renforçant d'une interphase Elastomer entre une charge et se Reseau ", Thèse de Docteur d'Etat ès Sciences, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Março de 1986.
- [11] - Zahir S.A., " Proceedings of 3th Internacional Conference in Organic Coatings Science and Technology ", Julho 14-18, Atenas, 745 (1980).
- [12] - Sacher E. Polymer, 14, 91 (1973).
- [13] - Lopes. D., " Caraterização química e Mecânica de um Adesivo Epóxido Comercial". Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1992.
- [14] - Hortshorn. S. R., Strutural Adhesives - Chemistry and Technology, Plenum Press, New York (1986).
- [15] - Eagland D., chemetch, April, 247 (1990).
- [16] - O. VOLKERSEN, Lufatfhrtfor, Schung, 1938, 15, 41-43.

- [17] - Couvrat. Patrice - Le collage strutural modern (théorie et Pratique). London NewYork (Paris), 1992.
- [18] - Moreira. P. A. " Colagem - A inovação na união de peças " - Tecnometal.
- [19] - ASTM D2651 - Standard Pratic for Preparation of Metal Surfaces for Adhesive Bonding (Pag (5) 166, 167, 169), 1984.
- [20] - Monternot. H., Benazet D. Ancenay H., " Guide du collage ", 1978, cetim, senlis.
- [21] - Lavielle L., Schultz J., Matériaux et Techiques, Junho/Julho 1984.
- [22] - Mavel G., Revue Française de Mécanique, 43 (1972).
- [23] - Bikerman J. J., " Science of Adhesives Joints ", 2ª ed. Academic Press. N. Y.(1968).
- [24] - Charbonnier J. C. (1985)
" Influence des Traitements de surface sur le collage des aciers " Recueil de Conférence CETIM, (1985), p.p. 147-162.
- [25] - Mac Bain J. W., Hopkins D. G. (1985) 2nd Rep. Adhes. Research Committee HM80, London, 1926.
- [26] - Keisler C., " Etude de la Resistance à l' impacto d' assemblages collés. Influence des étates de Surface ". Thèse de Docteur - Universite de Bordeaux, I, (1992).
- [27] - Sharpe L. H., Schonhorn H. (1963). Chem. Eng. News, 15,67,(1963).
- [28] - Apicella A. Nicolais L., Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev., 20, 138-144 (1981).
- [29] - Pogany G. A., Polymer, 17(8) (1976).
- [30] - Rider D. K., Prod. Eng., 35(75), Junho (1964).
- [31] - Sneddon I. N., « Adhesives », D. D. Eley ed., Oxford University Press, Lond, pp 207, (1961).
- [32] - Fargette B., Gilibert Y., Rimlinger L., Mec. Ind. et Mat., 46(1), 16 (1961).
- [33] - Halioni M., Gonçalves F., Lieurade H. P., Cassier O., Bonnard A., Rimlinger L., RE89306 - IRSID, Junho 1989.
- [34] - Imanaka M., Kishimomo W., Zairyo 1986/6 Vol. 35 nº393, pp 623-8 Tradução Francesa IRSID TJ8804, Fevereiro (1988).
- [35] - Vincent G. G., « Adhesives age», 10(8), 38(1967).

- [36] - Ennis B. C., Pearce P. J., Morris C. E. M., J. Appl. Polym. Sci., 37,15 (1989).
- [37] - Delollis N. J., Montoya O., J. Appl. Polym. Sci., 37,15 (1989).
- [38] - Falconer D. J., MacDonald N. C., Walkes P., Chem. Ind., London, 86. 1230 (1964).
- [39] - Kerr C., Orman S., Br. Polym. J., 1970, 2(3), 97-103(1970).
- [40] - Kerr C. MacDonald N. C., Orman S., Br. Polym. J., 2(1) (1970).
- [41] - Jonhcock P., Tudgey G. F., Br. Polym. J., 13(3) (1983).
- [42] - Bellenger V., Verdu J., Morel E., J. Mat. Sci., 24, 63-68 (1989).
- [43] - Kweik K., J. Appl. Polym. Sci., 10,1647 (1966).
- [44] - Olson W. Z., Lulling R. M., « Shear strength of Adhesives in Stainless Steel and aluminum lap joints », ASD-TR61-497, April 1962.
- [45] - Black J. M., Blomquist R. F., Ind. Eng. Chem., 50, 918(1958)
- [46] - Correia A. C. M., « Estudo químico e envelhecimento higrométrico de um adesivo de Epóxico. Comportamento Mecânico de juntas coladas. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (1993).
- [47] - Lage. M. C. Isabel - Trabalho efectuado no âmbito do Projecto BRITE - EURAM, BREU - CT91 - 0550 (1992-93).
- [48] - Wang Y. D., Exp. Mech. 4, 173(1964).
- [49] - Romanko J e Jones. B. W. Jr., 25th Nat. Sampe Symp. Exhib. Proc. p. 154, Azusa, California (1980).
- [50] - Brinson F. H., Herakovich. T. C e Renieri. P. M., Fracture Mechanics of composites, STP 617, p177, ASTM, Philadelphia, Pennsylvania (1975).
- [51] - Rutherford. L. J. e Hughes H. G, SAMPE Q. 10,27(1979).
- [52] - Annual Book of ASTM Standards, Section 15, Adhesives, Volume 1506, Philadelphia., Pennsylvania(1984).
- [53] - Reid S. R., Reddy T. Y. (1986). « Static and dynamical axial crushing of foam filled sheet metal tubes ». Int. J. Mech. Sci., Vol. 28, nº5, pp.295 - 322, (1986).
- [54] - Abbramoowicz W., Jones W. (1984). « Dynamic axial crushing of square tubes ». Int. J. Impact Engng., Vol 2, nº2, pp.179 - 208, (1984).

- [55] - Kinloch A. J., Kodokian G.D. K., Jamarami M. B. (1987). « The impact properties of Engineering adhesives »
Adhesion' 87, Science and Technology Publishers LTD, pp.17/1-17/8,
September 1987.
- [56] - Grapotte D. (1992). « Résistance au choc d'un assemblage collé à base d'une résine époxyde modifiée ». These d'Université de Bordeaux I, n° 796, 1992.
- [57] - ISO/DIS 11343 - Adhesives - Determination of peel resistance of high -
Strength adhesives bonds under impact conditions - impact wedge method -
1992.
- [58] - N. A. De Bruyne, Aircr. Eng. 16,115(1944).
- [59] - Catálogos TEROSON « Terokal 5045 e Terokal 5050 ».
- [60] - Magalhães G. António, Moura Marcelo, « Manual de utilização da Máquina de impacto Rosand ». Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (1994).

AGRADECIMENTOS

AGRADECIMENTOS

Quero aqui expressar, profundamente o meu afectuoso reconhecimento a todos quantos prestaram esclarecimentos, apresentaram sugestões e conselhos e me ajudaram na realização desta dissertação.

Em primeiro lugar ao Professor A. Augusto Fernandes que orientou e acompanhou o desenvolvimento deste trabalho e também pelo seu efeito vigorante, encorajador e dialogante sobejamente manifestado. De igual modo, ao Eng. Fernando de Oliveira pela atenção que me dispensou durante o desenvolvimento do trabalho experimental, a qual foi bastante preciosa.

Ao Professor António Torres Marques pela prontidão e simpatia que demonstrou no fornecimento de informação na área de adesivos estruturais que muito entusiasmou ao iniciar este trabalho.

Aos Engenheiros Balhaco e Tomé a colaboração e ajuda prestada na realização dos Ensaios de Tracção estáticos na Máquina Instron.

Agradeço, especialmente aos colegas, Paulo Vaz, António G. Magalhães, Marcelo Moura, Jorge, Eurico, Oliveira, e Rui Pinto a contribuição dada em múltiplos aspectos da realização deste trabalho.

Ao Engenheiro Sampaio, ao senhor Amândio, ao senhor Nelson, ao Luís, aos funcionários das oficinas de Metalomecânica da FEUP, e a todos quantos se dignaram dar o seu contributo para a concretização efectiva deste trabalho.

Ao Conselho Directivo da Escola Secundária da Sé a compreensão manifestada e ainda aos colegas Carlos Vitor, Mário Aniceto, Manuel Cristão e também ao senhor Fernandes e ao Lucas; pela colaboração oferecida.

À MDA Informática Lda - Guarda, pela digitação deste trabalho.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Seria de todo o interesse a continuação deste trabalho, sobretudo encetar e desenvolver um estudo experimental que vise a análise paramétrica do comportamento à fractura de juntas coladas, de aço com os mesmos adesivos. Seriam feitos ensaios estáticos e dinâmicos (curta e longa duração). Assim, recomenda-se futuramente que:

- Sejam colados, no mínimo, 5 provetes por cada condição para serem submetidas a ensaios estáticos de tracção por corte e tracção por impacto, e também a ensaios de impacto por cunha (rasgamento) e que, neste ultimo caso, se procura fazer uma caracterização mais profunda do mecanismo de fractura.
- Os provetes sejam colados e que o processo de cura tenha lugar em atmosfera controlada a 20° C.
- Se use o mesmo ciclo climático do BRITE, fazendo ensaios de envelhecimento a 21 e a 42 dias, em juntas que abranjam todas as espessuras do substracto (1mm; 1,5mm e 2mm).
- Se façam também ensaios de longa duração (fadiga e/ou fluência), para averiguar da influência dos diversos parâmetros no comportamento das juntas coladas, a longo prazo.
- Se faça o controle do grau da rugosidade da superfície de colagem (medir a rugosidade), sobretudo em juntas que se revelam mais fiáveis.
- Se proceda à execução de dispositivos de colagem de maior rigor, no sentido de assegurar um controle mais apertado da espessura da camada adesiva.



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000002215

