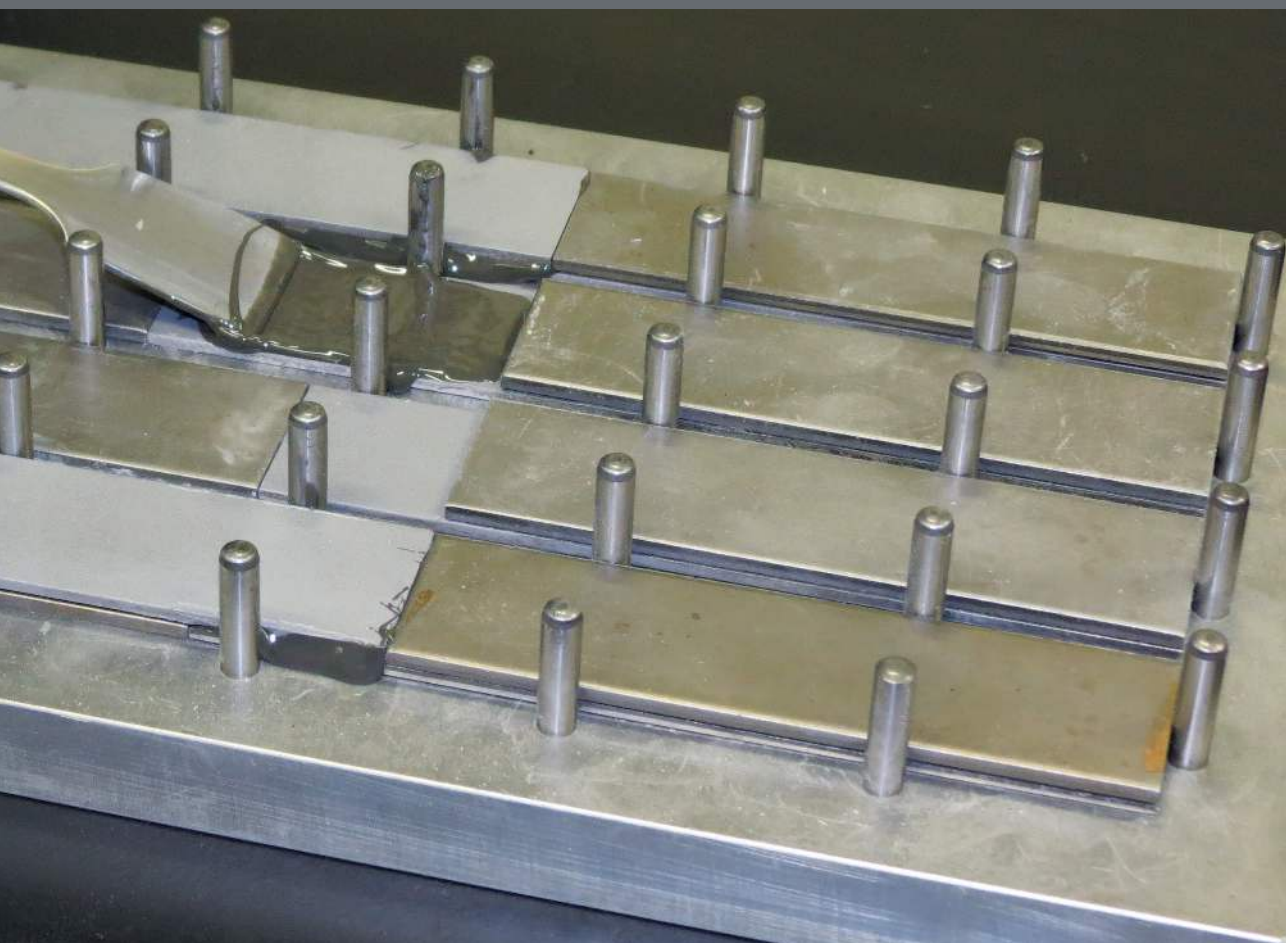


PROBLEMAS E TRABALHOS PRÁTICOS DE

JUNTAS ADESIVAS ESTRUTURAIS



*Lucas Filipe Martins da Silva
Ricardo Carbas
Eduardo Marques*

Autores

Lucas Filipe Martins da Silva · Ricardo Carbas · Eduardo Marques

Título

Problemas e Trabalhos Práticos de Juntas Adesivas Estruturais

Editora

Publindústria, Edições Técnicas

Praça da Corujeira n.º 38 · 4300-144 PORTO

www.publindustria.pt

Distribuidor

Engebook - Conteúdos de Engenharia e Gestão

Tel. 220 104 872 · Fax 220 104 871

E-mail: apoiocliente@engebook.com · www.engebook.com

Revisão

Diogo Resende

Publindústria, Produção de Comunicação, Lda.

Design

Luciano Carvalho

Publindústria, Produção de Comunicação, Lda.

Impressão

Impresso em Espanha

Abril, 2017

Depósito Legal

421958/17



A cópia ilegal viola os direitos dos autores.
Os prejudicados somos todos nós.

Copyright © 2017 | Publindústria, Produção de Comunicação, Lda.

Todos os direitos reservados a Publindústria, Produção de Comunicação, Lda.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida, no todo ou em parte, sob qualquer forma ou meio, seja eletrónico, mecânico, de fotocópia, de gravação ou outros sem autorização prévia por escrito do autor.

Este livro encontra-se em conformidade com o novo Acordo Ortográfico de 1990, respeitando

as suas indicações genéricas e assumindo algumas opções específicas.

Para uma maior coerência ortográfica, e nos casos em que esta situação se verifique, converteram-se todos os textos transcritos à nova ortografia, independentemente de a edição original ser ou não anterior à adoção do novo Acordo Ortográfico.

CDU

621 - Engenharia Mecânica

ISBN

978-989-723-223-7 (Papel)

978-989-723-224-4 (E-book)

Engebook - Catalogação da publicação

Família: Engenharia Mecânica

Subfamília: Materiais / Metalurgia

ÍNDICE

PREFÁCIO	V
PARTE A - PROBLEMAS	1
1 Desenvolvimento	3
2 Escolha múltipla	5
PARTE B - DEMONSTRAÇÕES	17
3 Fita adesiva	19
4 Molhagem de diferentes superfícies	23
5 Efeito do substrato e do meio ambiente usando juntas simples com supercola	25
6 Análise de tensões de uma junta de sobreposição simples com um modelo de borracha	27
7 Análise da rotura de juntas adesivas	29
8 Teste da quebra de água	33
9 Identificação visual de defeitos em juntas adesivas	35
10 Ensaio de batimento ou <i>tap test</i>	37
11 Juntas reais de estruturas aeronáuticas	39
12 Juntas reais de partes de veículos	41
13 Juntas reais de partes de barcos	43
PARTE C - TRABALHOS LABORATORIAIS	45
14 Efeito do tratamento superficial na resistência de juntas adesivas	47
15 Efeito do tipo de adesivo na resistência de juntas adesivas	57
16 Efeito da espessura do adesivo	61
17 Efeito do comprimento de sobreposição na resistência de juntas adesivas	65
18 Juntas adesivas com compósitos	69
REFERÊNCIAS	73

ANEXOS DOS TRABALHOS LABORATORIAIS

Anexo 1	Produção de uma junta adesiva estrutural e efeito do tratamento superficial na sua resistências.....	75
Anexo 2	Efeito do tipo de adesivo na resistência de juntas adesivas	113
Anexo 3	Efeito da espessura do adesivo na resistência de juntas adesivas.....	125
Anexo 4	Efeito do comprimento de sobreposição na resistência de juntas adesivas de simples sobreposição.....	137
Anexo 5	Juntas adesivas com compósitos	159

CAPÍTULO 1

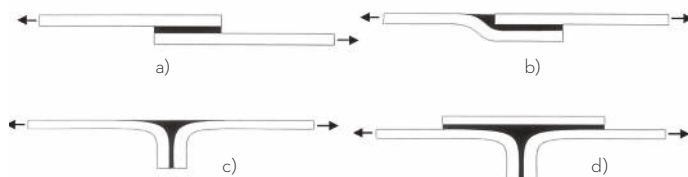
DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo são propostas várias perguntas de desenvolvimento relativas ao tema das juntas adesivas estruturais. Recomenda-se a leitura do livro “Juntas adesivas estruturais” como material auxiliar para a elaboração das respostas.

1. Identifique as etapas do processo de ligação adesiva e descreva sucintamente cada uma das etapas.
2. O que entende por molhagem e *pot (working) life*? Defina cada um destes conceitos.
3. Num projeto de ligações adesivas, a seleção do adesivo é um processo que deve ter em conta diferentes aspetos. Dê exemplos de 3 famílias de adesivos que conhece, identificando as principais características, processo de cura e aplicações típicas para cada família.
4. Identifique o tipo de junta mais usada na indústria e apresente as suas principais vantagens e desvantagens. Dê exemplos de mais 3 tipos de juntas que conhece.
5. Numa junta de sobreposição simples existe uma elevada concentração de tensões nos extremos de sobreposição. Dê 3 exemplos de como poderia reduzir essas concentrações de tensões e justifique.
6. Existem dois grandes grupos de tratamentos superficiais a que os substratos poderão ser sujeitos. Identifique cada um deles e para cada um identifique 3 tratamentos superficiais. Indique em que tipos de materiais poderão ser aplicados.
7. Existem diferentes técnicas para controlar a espessura do adesivo numa junta. Descreva 3 técnicas que conhece para controlar a espessura do adesivo de uma junta.

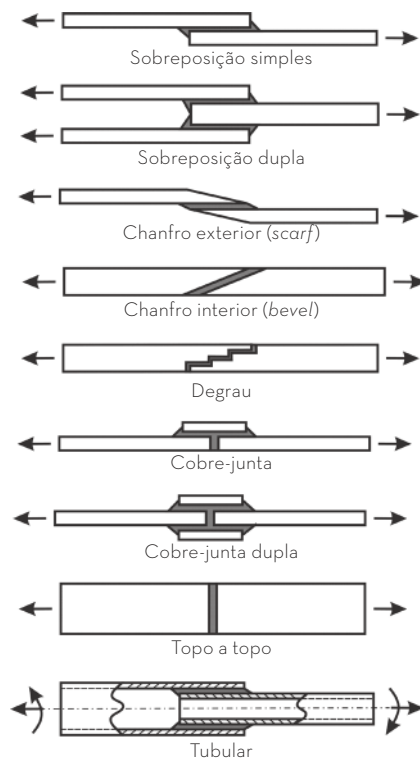
- C. Pode usar o critério de cedência no substrato para projetar a junta.....☐
- D. O adesivo é demasiado tenaz☐

16. Na seleção de uma junta adesiva é necessário ter em conta dois fatores importantes: o desempenho mecânico e o custo. Destas quatro juntas e supondo que o carregamento é o indicado na figura:



- A. A junta d) é a mais resistente.....☐
- B. A junta c) é a mais resistente.....☐
- C. A junta b) é a mais barata de implementação na indústria☐
- D. A junta a) é a mais complexa de implementação na indústria☐

17. Na seleção de uma junta adesiva é necessário ter em conta dois fatores importantes: o desempenho mecânico e o custo. Destas juntas e supondo que o carregamento é o indicado na figura:



CAPÍTULO 3

FITA ADESIVA

3.1. INTRODUÇÃO

Os adesivos são, por natureza, materiais poliméricos que têm resistências muito menores do que os materiais que ligam em aplicações estruturais como os metais e os compósitos. As tensões de corte aparecem quando forças, atuando no plano do adesivo, tendem a separar os substratos. As juntas que dependem da resistência ao corte do adesivo são relativamente fáceis de fabricar e são muito usadas na prática. As juntas são geralmente mais resistentes quando solicitadas ao corte, porque toda a área colada contribui e é relativamente fácil manter os substratos alinhados. As juntas sujeitas a esforços de clivagem ou arrancamento são muito menos resistentes do que aquelas sujeitas a corte porque a tensão está concentrada numa área muito pequena. Toda a tensão fica localizada na extremidade da junta.

3.2. EQUIPAMENTO

Uma tesoura.

3.3. MATERIAIS

Um rolo de fita cola.

3.4. SEGURANÇA

Nenhum perigo a registrar.

3.5. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1. Descolar a fita-cola do rolo aplicando uma força de arrancamento ou uma ação de ‘descascar’, como mostrado na **Figura 1**.

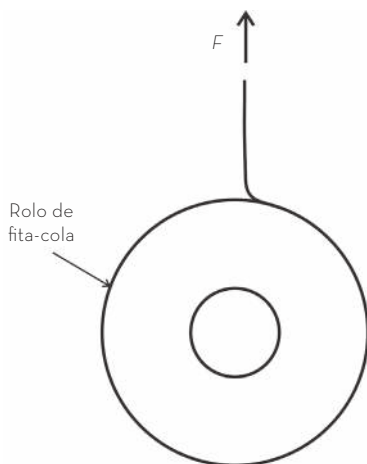


Figura 1. Junta adesiva sujeita a arrancamento

2. Cortar 2 tiras com aproximadamente 10 cm de comprimento. Colar as duas tiras paralelas uma à outra com uma sobreposição de aproximadamente 3 cm. Aplicar o lado que tem cola de uma das tiras no lado da outra tira que não tem cola (ver **Figura 2**). Puxar pela junta assim formada de modo a tentar separar as tiras aplicando um esforço paralelo às tiras submetendo assim o adesivo a corte.

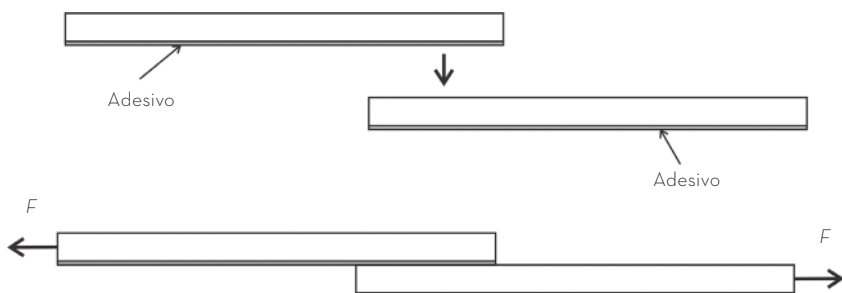


Figura 2. Junta adesiva sujeita a corte, experiência 2

CAPÍTULO 4

MOLHAGEM DE DIFERENTES SUPERFÍCIES

4.1. INTRODUÇÃO

A molhagem de uma superfície sólida por um líquido é crucial para uma adesão satisfatória. A formação de uma gota de líquido numa superfície sólida é descrita em termos científicos pelo ângulo de contacto, θ , entre a superfície sólida e a tangente à superfície do líquido no ponto de contacto como se mostra na **Figura 4**.

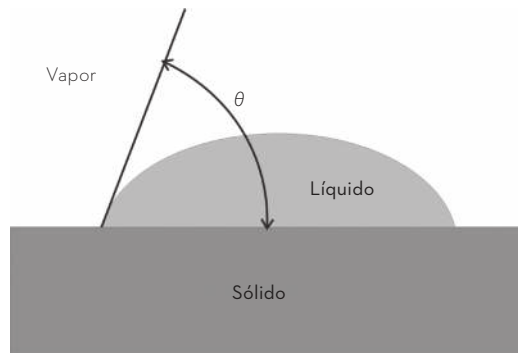


Figura 4. Ângulo de contacto entre um líquido e um sólido.

O valor de θ pode variar de zero – molhagem completa pelo líquido – a 180° quando o líquido tem a forma de uma gota esférica e não molha de todo o sólido como mostrado na **Figura 5**.

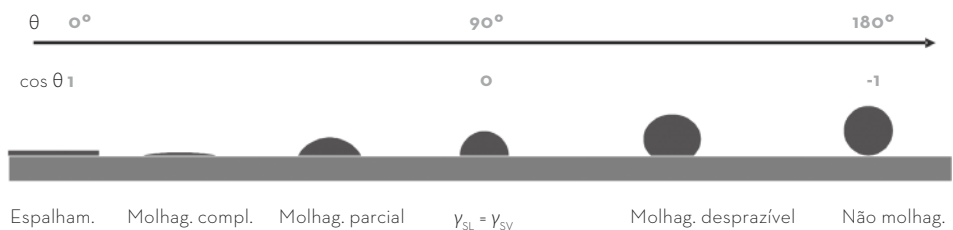


Figura 5. Variação do ângulo de contacto.

É geralmente aceite que a rotura adesiva se deve a uma má preparação das superfícies. Por outro lado, assume-se que uma junta deve ser projetada de modo a que a rotura nunca ocorra pelo adesivo. Daqui se depreende que uma junta corretamente projetada e concebida será aquela onde ocorra rotura do substrato.

Nos substratos metálicos a deformação plástica que, devido à concentração de tensões, pode ocorrer na vizinhança das extremidades do comprimento de sobreposição (**Figura 8**), pode originar a rotura prematura do adesivo. Neste caso, a rotura da junta é controlada pela cedência do substrato.

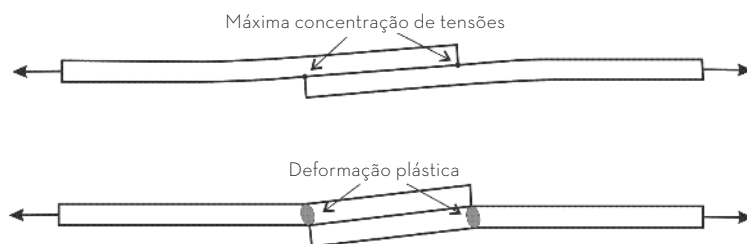


Figura 8. Plastificação dos substratos metálicos

No caso dos laminados compósitos é aconselhável que estes tenham camadas superficiais com as fibras orientadas paralelamente à direção da solicitação para se evitar uma rotura intralaminar destas camadas. De qualquer modo, as tensões de arrancamento podem provocar a rotura interlaminar do substrato de compósito por via de delaminagens localizadas na proximidade da singularidade (ver **Figura 9**). De modo a diminuir o esforço de arrancamento exercido sobre o compósito, a geometria do substrato pode ser alterada através de um chanfro e de um filete de adesivo na extremidade da sobreposição.

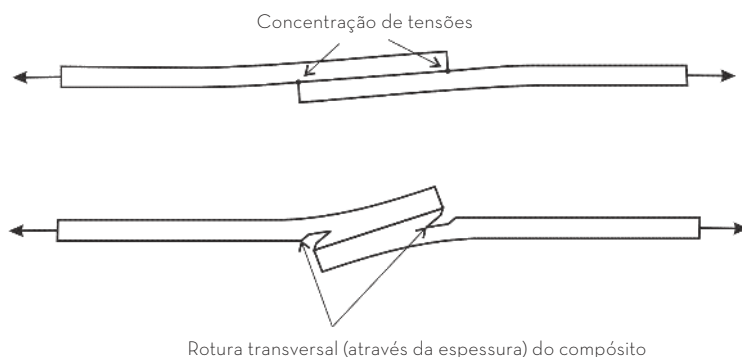


Figura 9. Rotura interlaminar em juntas de sobreposição simples

CAPÍTULO 12

JUNTAS REAIS DE PARTES DE VEÍCULOS

12.1. INTRODUÇÃO

Os adesivos estruturais começaram a ser usados desde a introdução de compósitos nos automóveis nos anos 80 do século passado. Uma das primeiras utilizações importantes de peças em compósito na Europa foi a Renault Espace em 1984, na qual todos os painéis da carroçaria eram em materiais compósitos (poliéster reforçado com fibras de vidro) moldados por compressão ou injetados. Esses painéis foram colados ou aparafusados com inserts numa estrutura interna metálica.

Os para-choques metálicos foram substituídos a partir de 1972 por proteções em SMC (*Sheet Moulding Compound*), e evoluíram mais tarde para peças em compósito em duas partes com reforços colados (ver **Figura 13**).

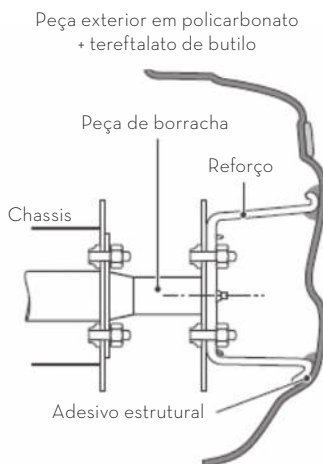


Figura 13. Para-choque de automóvel com reforço colado

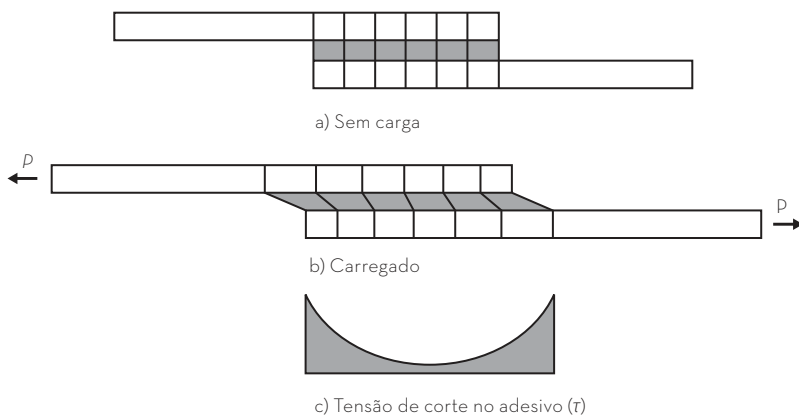


Figura 16. Análise de Volkersen

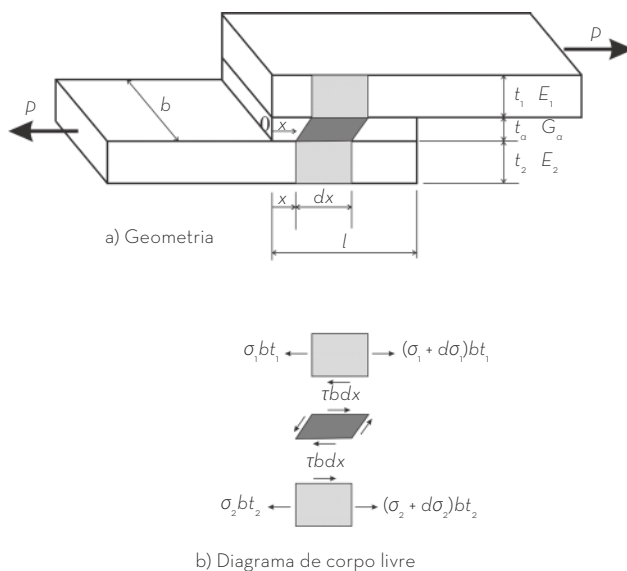


Figura 17. Junta de sobreposição simples analisada por Volkersen (1938)

Considerando a **Figura 17**, a solução analítica de Volkersen pode ser obtida da seguinte forma:

Balanco das forças do substrato superior:

$$\sigma_1 b t_1 + \tau b dx = (\sigma_1 + d\sigma_1) b t_1 \Rightarrow \frac{d\sigma_1}{dx} = \frac{\tau}{t_1} \quad (2)$$

Porém, para valores sucessivamente superiores do comprimento de sobreposição o valor de k vai diminuindo. Quando a relação $l/t \geq 20$, $k \approx 0$, ou seja,

$$P_{\text{máx}} = \sigma_y bt \quad (23)$$

o que corresponde à plastificação completa da seção do substrato. Os autores aplicaram o modelo retratado no diagrama da **Figura 19** à previsão da resistência de juntas coladas de aço-epóxico, considerando três tipos de aço diferentes (alta, média e baixa resistência), e obtiveram boa concordância com os resultados experimentais.

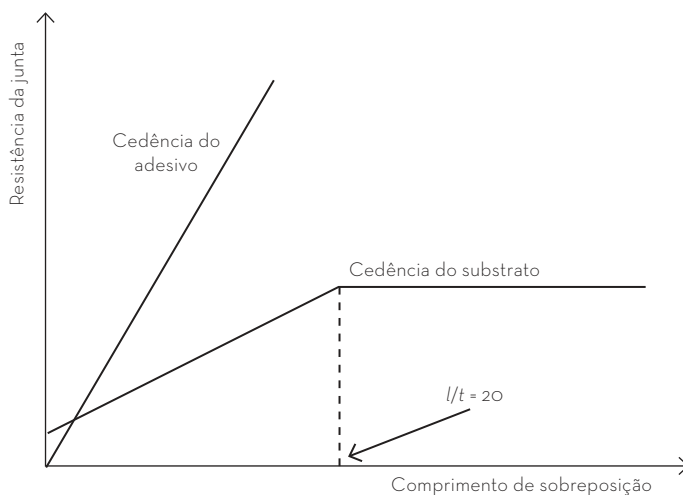


Figura 19. Método de previsão da resistência de juntas baseado na cedência do adesivo e do substrato
(Adams et al., 1997)

14.2. DESCRIÇÃO DO TRABALHO

Fabricar e determinar a resistência de:

- Uma junta de sobreposição simples (JSS) com um comprimento de sobreposição de 25 mm, cujos substratos sofreram um tratamento superficial (lixagem);
- Uma JSS com um comprimento de sobreposição de 25 mm e sem tratamento superficial nos substratos.

O mesmo adesivo será usado para todas as juntas (SikaFast®-5211 NT do fabricante SIKA).

A força de rotura das juntas adesivas será estimada usando o modelo analítico de Volkersen, o critério de cedência generalizada e o critério da cedência dos substratos.

em juntas metal/compósito (ver **Figura 21**). O metal diminui de volume desde a temperatura de cura do adesivo (geralmente a alta temperatura) mas é parcialmente impedido pelo compósito que tem um coeficiente de expansão térmica inferior, introduzindo assim tensões residuais, especialmente no limite da sobreposição. As tensões térmicas são aplicadas considerando $\Delta T = \text{Cura } (^{\circ}\text{C}) - \text{Operação } (^{\circ}\text{C})$. Uma das extremidades da sobreposição fica sob a ação de tensões residuais positivas e a outra de tensões residuais negativas. Aplicando uma solicitação exterior, podemos ver que as tensões têm um efeito benéfico numa extremidade, mas têm o efeito inverso na outra. O projeto de juntas adesivas deve portanto ter em conta as tensões de origem térmica de modo a prever forças de rotura realísticas, especialmente quando materiais diferentes são ligados.

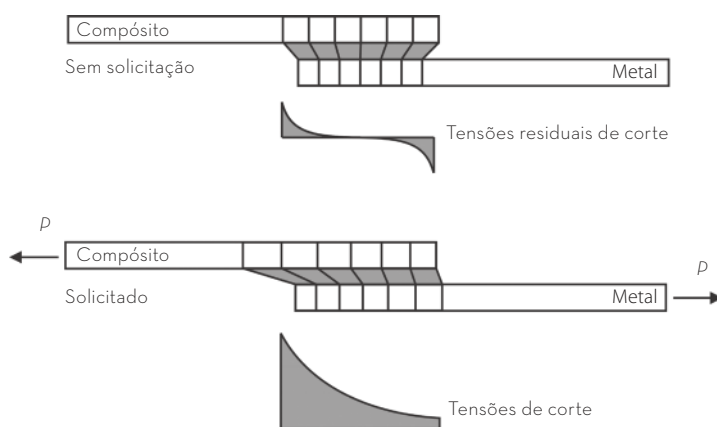


Figura 21. Representação esquemática das deformações no adesivo em juntas com substratos de expansão térmica diferente.

18.2. DESCRIÇÃO DO TRABALHO

Fabricar e determinar a resistência de:

- Uma junta de sobreposição simples (JSS) metal-compósito com um comprimento de sobreposição de 20 mm;
- Uma JSS compósito-compósito com um comprimento de sobreposição de 20 mm.

O mesmo adesivo será usado para todas as juntas (BETAMATE™ 2098 do fabricante DOW).

A força de rotura das juntas adesivas será estimada usando o modelo analítico de Goland e Reissner, a cedência generalizada no adesivo e a cedência no alumínio.

como a rebiteagem ou a soldadura, em aplicações variadas que incluem ligações de elevada resistência não expostas em diversos tipos de substratos (de facto, uma das principais vantagens deste material é a possibilidade de garantir a adesão a uma vasta gama de metais e plásticos, incluindo casos em que haja uma ausência de preparação de superfície). Alguns dos principais dados técnicos deste produto são apresentados de seguida:

- Os dois constituintes do adesivo estrutural são precisamente o SikaFast®-5211 NT (cor branca) e ainda o SikaFast®-5200 (cor preta): eles são misturados numa proporção de 10:1, em volume, de tal modo que a mistura assume uma tonalidade cinzenta;
- O adesivo misturado tem um tempo de abertura (*open time*) de cerca de 3 minutos;
- O produto misturado tem um tempo de fixação (tempo de cura) de, aproximadamente, 9 minutos à temperatura ambiente (cerca de 25 °C). O tempo de cura diminui com o aumento da temperatura, algo que pode ser constatado pela consulta do **Gráfico 1**. Verifica-se, pela da observação do mesmo, que uma temperatura entre os 15 e os 25 °C é ideal para aplicação do adesivo.

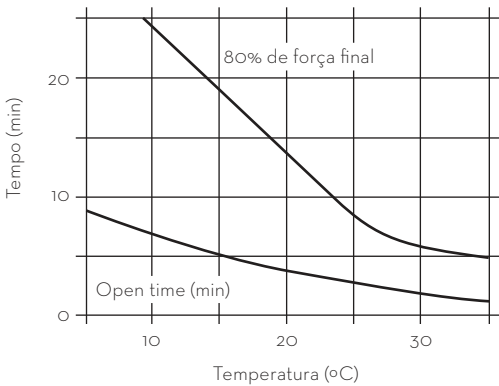


Gráfico 1. Tempo de cura para atingir 80% da força final e tempo de abertura vs Temperatura^[1]

- O SikaFast®-5211 NT é extremamente flexível e é aplicado em ligações de elevada resistência. As suas propriedades mecânicas encontram-se resumidas na **Tabela 1**.

Tabela 1. Propriedades mecânicas do adesivo SikaFast® -5211 NT

E (MPa)	ν	σ_y (MPa)	τ_y (MPa)	ε_r (%)
250	0,35	10,0	10,0	200

5.4. Efeito do tratamento superficial na resistência mecânica

Um dos objetivos fundamentais deste relatório é compreender a influência que o tratamento de superfície tem na resistência das juntas. Com a realização do ensaio de tração, foi possível obter as forças de rotura experimentais para as duas juntas realizadas (tratada e não tratada). Verificou-se, tal como esperado, que a rotura surge para carregamentos mais baixos no caso da junta que envolve uma preparação insuficiente das superfícies. Ficou evidente mais uma vez que o tratamento superficial do substrato é imperativo quando se pretende obter juntas adesivas com propriedades de excelência. De facto, o tratamento superficial do substrato permite aumentar a resistência da junta adesiva. Para além disto, na ausência de tratamento superficial, a rotura tende a ocorrer na ligação entre o adesivo e o aderente. Isso é uma consequência da adesão reduzida e contribui para uma maior dificuldade na previsão da força de rotura da junta (já que a rotura ocorre numa zona onde as propriedades nem coincidem com as do adesivo, nem com as do substrato).

A verdade é que o tratamento de superfície dos substratos promove a adesão através do contacto entre o adesivo e o substrato. Com as operações de limpeza e abrasão mecânica são removidos os póis e as gorduras de baixa energia superficial que contrariam a molhabilidade das superfícies. Assim, a adesão é facilitada, quando a superfície real se encontra limpa (os metais, como o aço, têm elevadas energias superficiais). Pelo contrário, as superfícies aparentes (**Figura 15**) compostas por camadas de gordura, sujidade, óleos ou outros contaminantes tornam o processo de adesão entre as superfícies mais difícil.

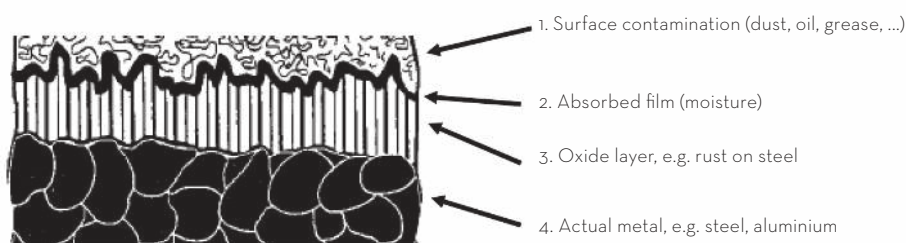


Figura 15. Aspeto de uma superfície não tratada antes do processo de adesão ^[5]

A partir dos valores de força de rotura encontrados é possível estimar o efeito da ausência do tratamento superficial. A diminuição da resistência obtida para os ensaios realizados foi de:

$$\frac{5095 - 3414}{5095} \times 100 = 33\%$$

EFEITO DO TIPO DE ADESIVO NA RESISTÊNCIA DE JUNTAS ADESIVAS

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho foi realizado no âmbito da UC de Processos Avançados de Produção e teve como objetivo comparar a resistência de juntas fabricadas com adesivos diferentes. Foram fabricadas duas juntas de sobreposição simples (JSS) utilizando numa um adesivo dúctil (Araldite 2011, Huntsman) e noutra um adesivo frágil (AV138/HV998, Huntsman). A geometria utilizada para as duas juntas foi a mesma. O substrato utilizado foi aço duro (DIN 55 Si 7 tratado).

Procurou-se prever a força necessária para atingir a rotura pelos critérios de Cedência Generalizada e Volkersen, comparando-se depois estas previsões com os resultados experimentais. Foi feita uma observação da superfície de rotura no sentido de perceber se a rotura foi coesiva ou adesiva.

2. MATERIAIS

2.1. Substrato

Tabela 1. Propriedades do aço DIN 55 Si 7 tratado

E (GPa)	ν	σ_y (MPa)
210	0,3	1100

Tabela 4. Resultados experimentais para ligações adesivas de espessuras 0,2 mm e 1 mm

	Espessura 0.2 mm	Espessura 1 mm
Força [kN]	9,55	8,89
Deslocamento na rotura [mm]	4,27	3,19

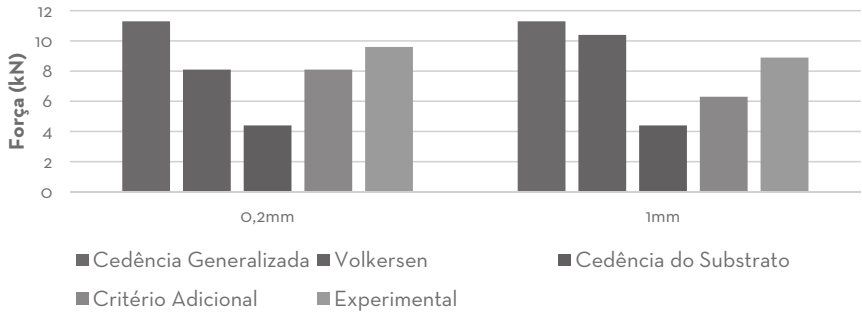


Figura 2. Comparação das forças de rotura experimentais com as previsões efetuadas

6. SUPERFÍCIES DE ROTURA

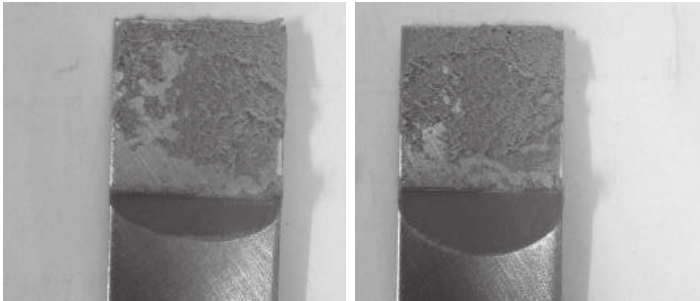


Figura 3. Superfície de rotura, junta de espessura 0,2 mm

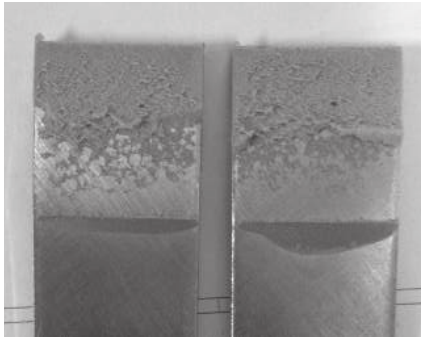


Figura 4. Superfície de rotura, junta de espessura 1 mm

ANEXO 4

EFEITO DO COMPRIMENTO DE SOBREPOSIÇÃO NA RESISTÊNCIA DE JUNTAS ADESIVAS DE SIMPLES SOBREPOSIÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Pretendeu-se com este trabalho:

- Aprender os cuidados a ter na preparação e execução de uma junta adesiva;
- Ensaiai à tração juntas de simples sobreposição usando o mesmo adesivo mas fazendo diferentes combinações de comprimentos de sobreposição para um substrato de aço duro e um de aço macio;
- Observar a influência da variação do comprimento de sobreposição e do material que compõem o substrato, na resistência à tração da junta.
- Comparar as forças de rotura previstas pelos modelos de Volkersen, Hart-Smith e Goland e Reissner com as obtidas experimentalmente e determinar qual o critério que melhor se aproxima a cada uma das combinações;
- Compreender o potencial das juntas adesivas como tecnologia alternativa para a junção de peças.

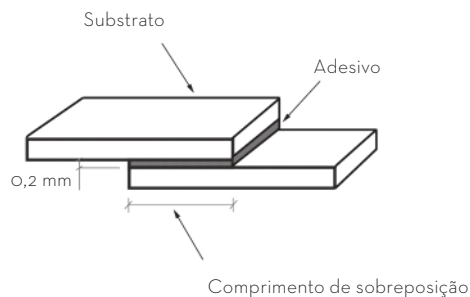


Figura 1. Elementos que constituem o provete

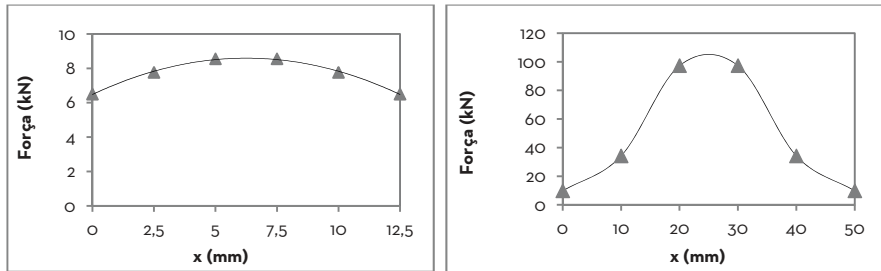


Figura 11. Andamento da força a aplicar ao provete para se dar a cedência em determinadas posições do adesivo

Assim sendo:

- Para $l = 12,5 \text{ mm} \rightarrow P = 6500,4 \text{ N}$
- Para $l = 50 \text{ mm} \rightarrow P = 9804,4 \text{ N}$

As forças de rotura para os aços macio e duro são as mesmas já que o único valor relativo às propriedades do substrato que entra na expressão é o módulo de elasticidade que é o mesmo para ambos os aços. O comprimento de sobreposição é, por isso, o único fator de comparação.

Lembre-se que nenhum destes valores serve de boa aproximação aos resultados experimentais já que o adesivo é dúctil e o critério é mais apropriado para adesivos frágeis.

Critério de cedência generalizada no adesivo

Ao perceber que a plasticidade do adesivo aumenta a resistência relativamente a uma análise puramente elástica, Hart-Smith propôs um modelo alternativo ao de Volkersen ao modelar o adesivo como tendo um comportamento elasto-plástico, isto é, contabilizando a plasticidade do adesivo. Ao ceder plasticamente um adesivo dúctil suporta uma força adicional até atingir a sua tensão de rotura. Assim, conclui-se que é preferível ter uma junta com um adesivo dúctil porque, além de ter maior resistência, é mais seguro, já que a deformação plástica pode ser observada indicando a eminência da rotura.

Porém, para comprimentos de sobreposição muito grandes atinge-se a tensão de rotura antes da completa deformação plástica ao longo de todo o comprimento de sobreposição, aparecendo ao centro uma zona deformada apenas elasticamente.

Apesar de calculados, os valores obtidos para o aço duro não se podem usar como previsão porque para tal e segundo *Adams et al* ^[2] deve usar-se o critério de Hart-Smith.

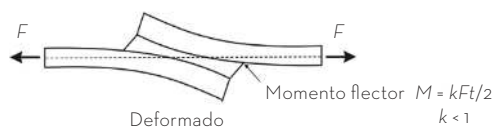


Figura 13. Modelo de Goland e Reissner^[1]

Na Tabela 1 resumem-se os valores obtidos para as previsões segundo os diferentes critérios.

Tabela 1. Previsões para a força de rotura

Critério de previsão	Força de rotura [N]			
	MC	DC	ML	DL
Volkersen	6500	6500	9804	9804
Cedência generalizada	7813	7813	31250	31250
Cedência dos substratos	3020	13750	9250	55000
Critério não aplicável.				

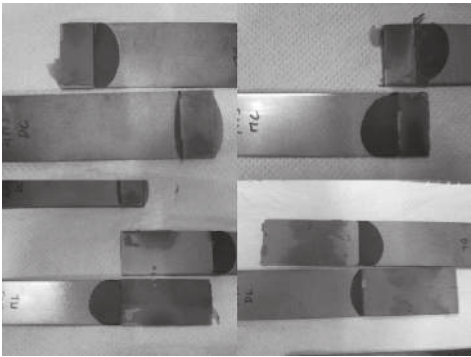


Figura 14. Curvas força-deslocamento dos ensaios de tração

maior a área correspondente ao adesivo mais resistente foi a junta, mas isto porque o adesivo é dúctil e assim toda a área esta a trabalhar i.e., há deformação plástica do adesivo em toda a área de sobreposição.

Caso o adesivo fosse frágil, a situação seria semelhante à do DC já que o ponto crítico seria na extremidade da sobreposição e ter um comprimento de sobreposição maior não aumentaria a resistência.

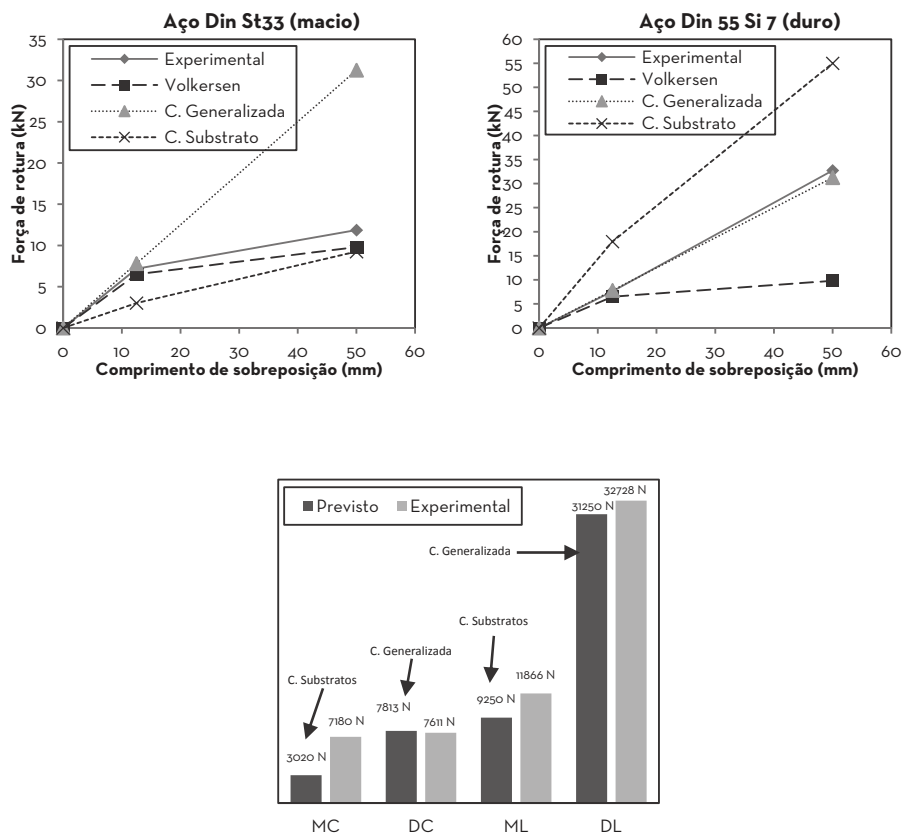


Figura 17. Forças de rotura experimentais e previstas pelos diferentes critérios

Curiosamente para o caso do aço macio a aproximação por Volkersen ainda que não válida pelas razões enunciadas, parece mais coerente com os resultados experimentais do que a aproximação pelo critério da cedência no substrato.

Por cada *mm* extra de sobreposição, consegue-se aumentar 125N para o aço macio e 670N para o aço duro de força de rotura. O aumento proporcional de força de rotura foi 1,7 e 4,3 vezes. A razão de aumento de comprimento de sobreposição para força de rotura é respetivamente 0,425 e 1,075. Significa isto que, para o aumento de

Os resultados obtidos com estes métodos de previsão estão compilados na **Tabela 4**:

Tabela 4. Previsões de forças de rotura das juntas de acordo com os critérios Goland e Reissner com rotura no adesivo e no compósito, cedência generalizada no adesivo e cedência no alumínio

Critério	Metal-compósito	Compósito-compósito
Goland e Reissner - rotura no adesivo [kN]	4,10	4,73
Goland e Reissner - rotura no compósito [kN]	10,64	13,67
Cedência generalizada no adesivo [kN]	11,31	11,31
Cedência no alumínio [kN]	12,40	N/A

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Na **Tabela 5** são apresentados os resultados experimentais para as duas juntas: força de rotura e deslocamento na rotura. Na **Figura 1** é apresentado um gráfico que compara as previsões com os resultados experimentais.

Tabela 5. Resultados experimentais para ligações adesivas metal-compósito e compósito-compósito

Resultados experimentais	Metal-compósito	Compósito-compósito
Força de rotura [kN]	10,54	11,51
Deslocamento na rotura [mm]	1,65	2,20

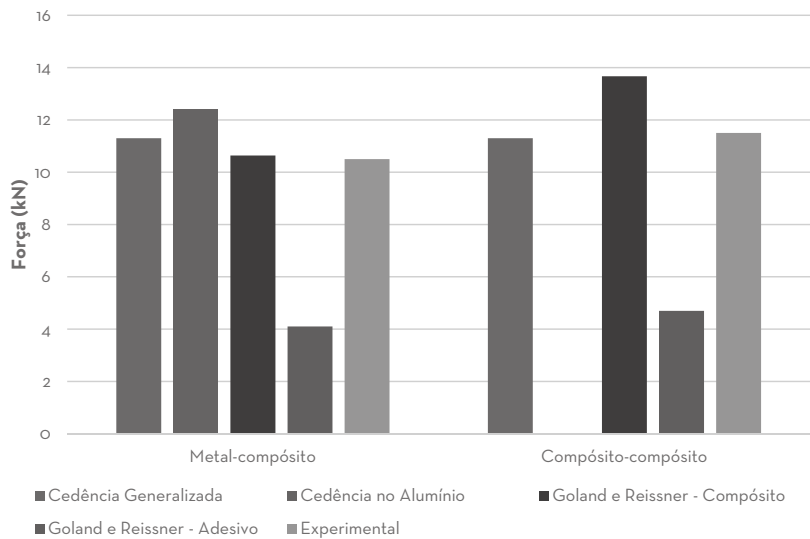


Figura 1. Comparação das forças de rotura experimentais com as previsões efetuadas

6. SUPERFÍCIES DE ROTURA

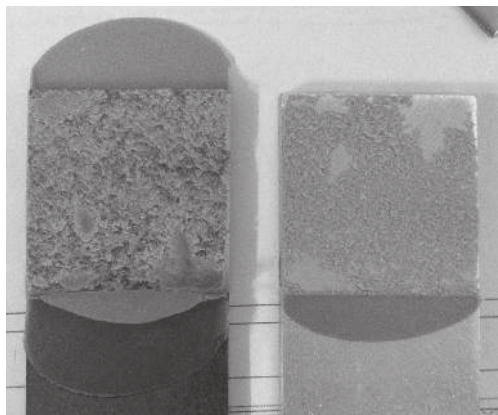


Figura 2. Superfície de rotura, metal-compósito

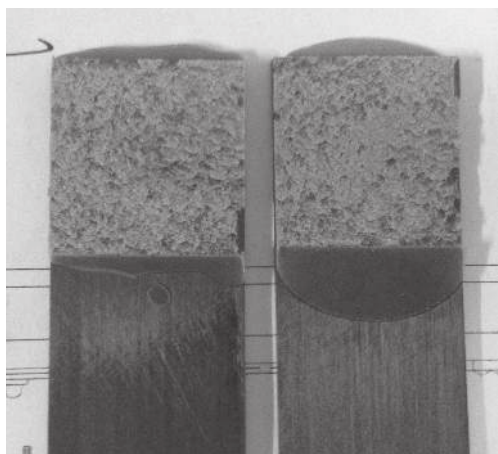


Figura 3. Superfície de rotura, compósito-compósito

Em ambos os ensaios a rotura apresenta-se como coesiva, no entanto substrato de alumínio (**Figura 2**) indica alguns sinais de arrancamento devido à flexão do material durante o ensaio.

7. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS COM AS PREVISÕES

Em ambos os casos a previsão que mais se aproxima da realidade é o critério de cedência generalizada. Isto deve-se à utilização de um adesivo dúctil e de um substrato muito rígido (compósito). No caso da junta compósito-alumínio a rotura é atingida mais cedo. Crê-se que esta diminuição da resistência se deve a uma ligeira



Juntas Adesivas Estruturais

ISBN: 9789728953218
Autores: Lucas da Silva,
António Magalhães,
Marcelo Moura
Páginas: 358
Ano de Edição: 2007



Comportamento Mecânico dos Materiais

ISBN: 9789897230240
Autor: Lucas da Silva
Páginas: 408
Ano de Edição: 2012



Introdução à Resistência dos Materiais

ISBN: 9789728953553
Autores: Lucas da Silva,
Joaquim Gomes
Páginas: 312
Ano de Edição: 2010



Materiais de Construção

ISBN: 9789897230493
Autores: Lucas da Silva,
Fernando Alves,
António Marques
Páginas: 442
Ano de Edição: 2013



Introdução à Engenharia Mecânica

ISBN: 9789897231049
Autores: António Magalhães,
Abel Santos, João Cunha
Páginas: 630
Ano de Edição: 2015



Problemas e Trabalhos Práticos de Metalurgia

ISBN: 9789897231940
Autores: Lucas da Silva,
Teresa Duarte,
Viriato Antunes
Páginas: 234
Ano de Edição: 2016



Introdução ao Projeto Mecânico

ISBN: 9789897232251
Autores: António Completo,
Francisco Melo
Páginas: 350
Ano de Edição: 2017



Materiais Compósitos: Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico

ISBN: 9789728953003
Autores: Marcelo Moura,
Alfredo Morais,
António Magalhães
Páginas: 382
Ano de Edição: 2009

PROBLEMAS E TRABALHOS PRÁTICOS DE JUNTAS ADESIVAS ESTRUTURAIS

Lucas da Silva · Ricardo Carbas · Eduardo Marques

Sobre o Livro

Esta obra é uma ferramenta didática que pretende dar apoio aos estudantes de pré e pós-graduação no estudo das juntas adesivas estruturais. Existem na literatura muitos livros que abordam o tema teoricamente. No entanto, é importante, para uma mais fácil aprendizagem do estudante, ter algum suporte prático, quer seja através da resolução de problemas quer seja através da realização de trabalhos laboratoriais que ilustrem os conceitos teóricos. Foi nesse intuito que se realizou esta obra, de modo a colmatar a falta de material prático na bibliografia. Não se pretende de modo algum fazer um estudo exaustivo do tema mas apenas tratar as matérias mais relevantes para engenheiros mecânicos e outros ramos da engenharia que utilizam este tipo de ligações.

O livro está dividido em três partes. A primeira parte apresenta problemas sob a forma de perguntas de desenvolvimento e perguntas de escolha múltipla. A segunda parte propõe treze demonstrações laboratoriais que os estudantes poderão realizar para melhor compreender alguns aspetos essenciais da tecnologia das juntas adesivas. A terceira parte propõe cinco trabalhos práticos laboratoriais que ilustram de forma concreta vários aspetos relacionados com o projeto de juntas adesivas. Os ensaios e técnicas laboratoriais mais usados no estudo de ligações adesivas estruturais estão presentes nesses trabalhos práticos.

A organização da obra está adaptada ao funcionamento das Unidades Curriculares de Processos de Fabrico II e Processos Avançados de Produção do Mestrado em Engenharia Mecânica e também de Juntas Adesivas Estruturais do Programa Doutoral em Engenharia Mecânica, ambos da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em que as aulas práticas comportam aulas de problemas e aulas de laboratório. No entanto, os conteúdos abordados neste livro são muito úteis para qualquer disciplina que aborda as juntas adesivas estruturais.

Sobre os autores

Lucas Filipe Martins da Silva é atualmente Professor Associado com Agregação no Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e Diretor do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. Obteve o seu Doutoramento em ligações adesivas estruturais de compósitos pela Universidade de Bristol (Reino Unido), em 2004. Publicou 188 artigos ISI (158 como autor e 30 como editor) e 18 livros (6 como autor e 12 como editor), principalmente sobre a mecânica das juntas adesivas. Os seus trabalhos foram citados 3683 vezes e correspondem a um índice h de 33 (SCOPUS, 20/04/2017).

Ricardo João Camilo Carbas é investigador do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). A sua investigação versa maioritariamente sobre juntas adesivas. Obteve o Doutoramento em Engenharia Mecânica pela FEUP em 2013, com o tema *Adhesively bonded functionally graded joints*. Concluiu o Mestrado em Engenharia Mecânica na opção de Produção, Desenvolvimento e Engenharia Automóvel em 2008 na FEUP. R.J.C. Carbas publicou 22 artigos em revistas com arbitragem científica (ISI Web of Knowledge).

Eduardo André de Sousa Marques é Investigador do Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial. Concluiu o Mestrado em Engenharia Mecânica na opção de Produção, Desenvolvimento e Engenharia Automóvel em 2008 na FEUP. Obteve o Doutoramento em Engenharia Mecânica pela FEUP em 2016, com o tema *High Temperature Mixed Adhesive Joints for Aerospace Applications*. Investiga na área dos adesivos estruturais, com especial ênfase no efeito do impacto e da temperatura no comportamento mecânico de juntas adesivas. E. A. S. Marques publicou 12 artigos em revistas com arbitragem científica (ISI Web of Knowledge).



Também disponível em formato papel



ISBN E-Book

978-989-723-224-4

www.engebook.com

ENGEBOOK®