

MARCELO RIBEIRO GONÇALVES

**Estudo do Aumento no Diâmetro do Corpo de um Rebite a ser Cravado em Furos
acima da Tolerância de Projeto**

Marcelo Ribeiro Gonçalves

**Estudo do Aumento no Diâmetro do Corpo de um Rebite a ser Cravado em Furos acima
da Tolerância de Projeto**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins

G635e	Gonçalves, Marcelo Ribeiro Estudo do Aumento no Diâmetro do Corpo de um Rebite a ser Cravado em Furos acima da Tolerância de Projeto / Marcelo Ribeiro Gonçalves – Guaratinguetá : [s.n], 2014. 68 f. : il. Bibliografia : f. 66-68 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014. Orientador: Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins
	1. Ligações rebitadas I. Título
	CDU 669.194

unesp **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETA

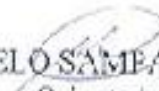
Marcelo Ribeiro Gonçalves

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

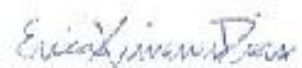
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA


Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. ERICK SIQUEIRA GUIDI
UNESP-FEG


Prof. Me. ERICA XIMENES DIAS
UNESP-FEG

Janairo de 2015

DADOS CURRICULARES

Marcelo Ribeiro Gonçalves

NASCIMENTO	22.02.1991 – NOVA RESENDE / MG
FILIAÇÃO	Hélio Gonçalves Leonice Maria Ribeiro Gonçalves
2009/2014	Curso de Graduação Engenharia Mecânica - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.
2013/2015	Estágio EMBRAER S.A.

de modo especial, aos meus pais Hélio e Leonice e ao meu irmão Luiz Paulo, por acreditarem em mim e incentivarem a minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, presente e essencial em todas as etapas que já se foram e que estão por vir. Agradeço pela dádiva da vida, minha família e meus amigos,

ao meu orientador, *Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins* pelo incentivo, dedicação e amizade,

aos meus pais *Hélio e Leonice* e meu irmão *Luiz Paulo*, que sempre incentivaram meus estudos,

à minha namorada *Juliana*, pela paciência e companheirismo,

à família da *República Seis de Paus* pelos momentos de descontração e amizade,

à EMBRAER S.A., em especial ao Gerente *Valdir Rossi*, Engenheiros *Maciel, Luciano e Kilder* pela confiança, pela colaboração na elaboração do trabalho e na orientação durante o projeto.

“Os sonhos não determinam o lugar em que você vai estar,
mas produzem a força necessária para tirá-lo do lugar em
que está.”

A. Cury

GONÇALVES, Marcelo Ribeiro. **Estudo do Aumento no Diâmetro do Corpo de um Rebite a ser Cravado em Furos acima da Tolerância de Projeto**. 2015. 69 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

Neste trabalho abordam-se os principais tipos de rebites, suas características e aplicabilidade dentro do ramo da Indústria Aeronáutica. Ressaltam-se os rebites sólidos, exibindo-se seu layout, formas e limites de instalação, requeridos pelos órgãos regulamentadores da aviação. O rebiteamento é um procedimento popular e simples de fixação e união de duas ou mais peças, e como qualquer outro processo de manufatura, está sujeito a desvios de processo que em algumas situações fogem até mesmo dos limites de tolerância. Um destes desvios é a furação cujo diâmetro ultrapassa aquele proposto no projeto e que é limitado pela regra da distância de borda. Dessa forma, tem-se como objetivo aqui estudar uma possível solução para este problema: a cravação de um rebite que tenha seu diâmetro previamente aumentado através de compressão. Observar o preenchimento do furo após a cravação, detectar a presença de trincas, levantar a curva de escoamento dos fixadores e seus limites de esmagamento para previsão de falhas são ferramentas utilizadas na verificação desta proposta. São elas que ao final do estudo demonstram a ineficiência de tal procedimento, apresentando características que vão contra a fixação segura das partes de uma estrutura.

PALAVRAS-CHAVE: Rebites sólidos. Layout dos rebites. Expansão de diâmetro. Preenchimento de furos.

GONÇALVES, Marcelo Ribeiro. **Study of Increasing the Body Diameter of a Rivet to be Fastened in Holes Above Design Tolerance**. 2015. 69 p. Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ABSTRACT

In this work are discussed the main types of rivets, their characteristics and applicability within the Aeronautical Industry branch. Here are highlighted the solid rivets, showing off its layout, forms and limits of installation, that are required by aviation regulators. The riveting is a popular and simple procedure of fixing and joining two or more parts, and like any other manufacturing process is subject to process deviations that in some situations are beyond the limits of tolerance. One of these deviations is when the hole diameter exceeds the one proposed in project and which is limited by the rule of edge distance. The overall objective here is to study a possible solution to this problem: the installation of a rivet that has his diameter previously increased by compression. Observe the hole filling after riveting, detect the presence of cracks, discover the yield curve of the fasteners and their the crushing limits for failure prediction are tools used to verify this proposal. They demonstrate, at the end of study, the inefficiency of this procedure, with results that go against the safe fixing of parts in a structure.

KEYWORDS: Solid rivets. Rivets layout. Diameter Increasing. Hole filling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquemática das partes de um rebite.....	17
Figura 2: Exemplos de formatos de cabeça.....	18
Figura 3: Exemplos de rebites especiais.....	23
Figura 4: Determinação do comprimento do rebite.....	24
Figura 5: Dimensões da cabeça forjada.....	24
Figura 6: Exemplos de imperfeições de rebites cravados em furos maiores que o limite especificado.....	27
Figura 7: Representação esquemática do efeito barril e suas regiões.....	28
Figura 8: Rebites utilizados no ensaio de compressão para levantamento da curva de escoamento.....	30
Figura 9: Instabilidade na compressão de rebite de cabeça protuberante.....	31
Figura 10: Rebites revestidos com PTFE.....	32
Figura 11: Rebites comprimidos inclinados, devido ao revestimento de PTFE.....	32
Figura 12: Furação para rebites de cabeça protuberante.....	34
Figura 13: Pinça pneumática tipo crocodilo semelhante à utilizada na pré expansão e na cravação final dos rebites.....	35
Figura 14: Furação para rebites escareados.....	38
Figura 15: Martelete pneumático e barra de contra golpe, semelhantes aos utilizados na cravação de rebites de cabeça escareada.....	41
Figura 16: Cortes realizados em todos os rebites, para posterior embutimento e análise metalográfica.....	41
Figura 17: Ruptura da cabeça escareada do rebite, na tentativa de se levantar o limite de esmagamento.....	42
Figura 18: Curva de escoamento dos quatro lotes ensaiados.....	44
Figura 19: Rebite protuberante de diâmetro nominal 1/8 polegadas cravado em furo 5/32 polegadas.....	45
Figura 20: Ampliação do rebite protuberante nominal cravado em furo 1/8 polegadas (20x).....	46
Figura 21: Dobra de material verificado no rebite protuberante nominal de diâmetro 1/8 polegadas cravado em furo 5/32 polegadas (ampliação 100x).....	46
Figura 22: Rebite protuberante com diâmetro expandido a 4,0 mm, cravado em furo 5/32 polegadas.....	47

Figura 23: Ampliação do rebite protuberante com diâmetro expandido a 4,0 mm, cravado em furo 5/32 polegadas (ampliação 20x)	47
Figura 24: Dobra de material encontrado no rebite protuberante com diâmetro expandido a 4,0 mm, cravado em furo 5/32 polegadas (ampliação 100x).....	48
Figura 25: Rebite protuberante com diâmetro nominal de 5/32 polegadas, cravado em furo 3/16 polegadas	48
Figura 26: Ampliação do rebite protuberante com diâmetro nominal de 5/32 polegadas, cravado em furo 3/16 polegadas (ampliação 20x).....	49
Figura 27: Trinca encontrada no rebite protuberante com diâmetro nominal de 5/32 polegadas, cravado em furo 3/16 polegadas (ampliação 50x).....	49
Figura 28: Rebite protuberante com diâmetro expandido a 4,7 mm, cravado em furo 3/16 polegadas	50
Figura 29: Ampliação do rebite protuberante com diâmetro expandido a 4,7 mm, cravado em furo 3/16 polegadas (ampliação 20x)	50
Figura 30: Dobra de material encontrado no rebite protuberante com diâmetro expandido a 4,7 mm, cravado em furo 3/16 polegadas (ampliação 50x).....	51
Figura 31: Rebite protuberante com diâmetro nominal de 3/16 polegadas, cravado em furo 7/32 polegadas	51
Figura 32: Ampliação do rebite protuberante com diâmetro nominal de 3/16 polegadas, cravado em furo 7/32 polegadas (ampliação 20x).....	52
Figura 33: Trinca encontrada no rebite protuberante com diâmetro nominal de 3/16 polegadas, cravado em furo 7/32 polegadas (ampliação 50x).....	52
Figura 34: Rebite protuberante com diâmetro expandido a 5,7 mm, cravado em furo 7/32 polegadas	52
Figura 35: Ampliação do rebite protuberante com diâmetro expandido a 5,7 mm, cravado em furo 7/32 polegadas (ampliação 20x)	53
Figura 36: Dobra de material encontrado no rebite protuberante com diâmetro expandido a 5,7 mm, cravado em furo 7/32 polegadas (ampliação 50x).....	53
Figura 37: Rebite escareado com diâmetro nominal de 1/8 polegadas, cravado em furo 5/32 polegadas	54
Figura 38: Ampliação do rebite escareado com diâmetro nominal de 1/8 polegadas, cravado em furo 5/32 polegadas (ampliação 20x)	54
Figura 39: Dobra de material encontrado no rebite escareado com diâmetro nominal de 1/8 polegadas, cravado em furo 5/32 polegadas (ampliação 50x).....	55

Figura 40: Rebite escareado com diâmetro expandido a 3,7 mm, cravado em furo 5/32 polegadas	55
Figura 41: Ampliação do rebite escareado com expandido a 3,7 mm, cravado em furo 5/32 polegadas (ampliação 20x)	56
Figura 42: Dobra de material encontrado no rebite escareado com diâmetro expandido a 3,7 mm, cravado em furo 5/32 polegadas (ampliação 50x).....	56
Figura 43: Rebite escareado com diâmetro nominal de 5/32 polegadas, cravado em furo 3/16 polegadas	56
Figura 44: Ampliação do rebite escareado com diâmetro nominal de 5/32 polegadas, cravado em furo 3/16 polegadas (ampliação 20x)	57
Figura 45: Dobra de material encontrado no rebite escareado com diâmetro nominal de 5/32 polegadas, cravado em furo 3/16 polegadas (ampliação 50x).....	57
Figura 46: Rebite escareado com diâmetro expandido a 4,6 mm, cravado em furo 3/16 polegadas	58
Figura 47: Ampliação do rebite escareado com diâmetro expandido a 4,6 mm, cravado em furo 3/16 polegadas (ampliação 20x)	58
Figura 48: Dobra de material encontrado no rebite escareado com diâmetro expandido a 4,6 mm, cravado em furo 3/16 polegadas (ampliação 50x).....	59
Figura 49: Rebite escareado com diâmetro expandido a 5,2 mm, cravado em furo 7/32 polegadas	59
Figura 50: Ampliação do rebite escareado com diâmetro expandido a 5,2 mm, cravado em furo 7/32 polegadas (ampliação 20x)	60
Figura 51: Trinca encontrada no rebite escareado com expandido a 5,2 mm, cravado em furo 7/32 polegadas (ampliação 50x).....	60
Figura 52: Rebite escareado com diâmetro expandido a 5,7 mm, cravado em furo 7/32 polegadas	60
Figura 53: Ampliação do rebite escareado com diâmetro expandido a 5,7 mm, cravado em furo 7/32 polegadas (ampliação 20x)	61
Figura 54: Dobra de material encontrado no rebite escareado com expandido a 5,7 mm, cravado em furo 7/32 polegadas (ampliação 50x).....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Corpos de prova para determinação da curva de escoamento	30
Tabela 2: Esquematização da furação e da expansão do diâmetro do corpo de rebites de cabeça protuberante	35
Tabela 3: Alturas e diâmetros iniciais e finais dos rebites 4/32 polegadas de cabeça protuberante expandidos.....	36
Tabela 4: Alturas e diâmetros iniciais e finais dos rebites 5/32 polegadas de cabeça protuberante expandidos.....	36
Tabela 5: Alturas e diâmetros iniciais e finais dos rebites 6/32 polegadas de cabeça protuberante expandidos.....	37
Tabela 6: Esquematização da furação e da expansão do diâmetro do corpo de rebites de cabeça escareada.....	38
Tabela 7: Alturas e diâmetros iniciais e finais dos rebites 4/32 polegadas de cabeça escareada expandidos.....	39
Tabela 8: Alturas e diâmetros iniciais e finais dos rebites 5/32 polegadas de cabeça escareada expandidos.....	40
Tabela 9: Alturas e diâmetros iniciais e finais dos rebites 6/32 polegadas de cabeça escareada expandidos.....	40
Tabela 10: Curva de escoamento para rebite escareado de diâmetro inicial 4,000 mm e altura 9,525 mm (Lote 1).....	43
Tabela 11: Curva de escoamento para rebite escareado de diâmetro inicial 3,200 mm e altura 6,440 mm (Lote 2).....	43
Tabela 12: Curva de escoamento para rebite escareado de diâmetro inicial 3,175 mm e altura 4,910 mm (Lote 3).....	44
Tabela 13: Curva de escoamento para rebite escareado de diâmetro inicial 4,750 mm e altura 8,880 mm (Lote 5).....	44

LISTA DE SÍMBOLOS

ε_{eq}	deformação efetiva
σ_{eq}	tensão efetiva
$\varepsilon_{eq,f}$	deformação no momento da fratura
C_1	dano crítico.
h_i	altura instantânea
h_0	altura inicial
Δh	deslocamento da punção
A_i	área da seção transversal instantânea
A_0	área da seção transversal inicial
φ	deformação verdadeira
F	força
k_f	tensão de escoamento
C	coeficiente de resistência do material
n	coeficiente de encruamento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 OBJETIVOS.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 REBITES.....	17
2.2 APLICAÇÃO AERONÁUTICA	20
2.3 LAYOUT DOS REBITES E INSTALAÇÃO	23
2.4 COMPRESSÃO DE CORPO CILÍNDRICO.....	27
3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	30
3.1 DETERMINAÇÃO DA CURVA DE ESCOAMENTO DO MATERIAL	30
3.2 TESTE DE CRAVAÇÃO DE REBITES DE DIÂMETROS PRÉ EXPANDIDOS	33
3.3 DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE ESMAGAMENTO DO REBITE.....	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1 DETERMINAÇÃO DA CURVA DE ESCOAMENTO DO MATERIAL	43
4.2 TESTE DE CRAVAÇÃO DE REBITES DE DIÂMETROS PRÉ-EXPANDIDOS	45
4.3 DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE ESMAGAMENTO DO REBITE.....	62
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	64
REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

Praticamente todas as máquinas e estruturas, das menores até as mais grandiosas, simples ou complexas, compreendem a união de partes individuais, manufaturadas separadamente. Ao conjunto dos diferentes elementos, próprios para fazer a união destas partes, é dada a denominação elementos de fixação.

Segundo Collins, Busby e Staab (2010), este tipo de construção com a união de partes por meio de elementos fixadores se faz necessário para facilitar a manufatura, admitir melhor manuseio e transporte, permitir a passagem da máquina através de portas de tamanho padrão, simplificar reparos ou substituição de partes e facilitar a desmontagem durante procedimentos de manutenção.

Assim sendo, existe uma infinidade de fixadores indicados para cada tipo de junta ou peça, dos mais diferentes tipos de materiais e finalidades. Os métodos típicos de fixação ou de união de peças utilizam dispositivos de fixação como parafusos, porcas, rebites, pinos, chavetas, arruelas, dentre outros encontrados em diversos ramos da engenharia contemporânea.

Voltando a atenção para o setor aeronáutico em questão neste trabalho, um dos elementos fixadores de maior significância é o rebite. A fuselagem, onde as pessoas são alocadas, é basicamente constituída de chapas metálicas e estruturas de vigas montadas em pequenas seções ou painéis e unidas entre si principalmente por rebites.

O processo que precede o rebitamento é chamado de furação. Atualmente são empregadas brocas de diferentes diâmetros na produção de um único furo até se atingir o diâmetro final desejado. No setor aeronáutico a furação é uma das operações de usinagem mais comuns e de acordo com Pinto (2010) a quantidade de furos em uma aeronave pode ultrapassar 1,3 milhões.

Tendo em vista este grande número de furos que uma aeronave pode ter, não é de se espantar que haja variações ou desvios nos diâmetros finais dos furos, já prontos para serem cravados. É de conhecimento no ramo da engenharia a dificuldade em executar peças com as medidas rigorosamente exatas, já que todo processo de fabricação está sujeito a imprecisões. Ainda que existam limites, para mais ou para menos na chamada tolerância dimensional, haverá sempre medidas que fogem a estes desvios aceitáveis.

Rebites sólidos, quando cravados, expandem dentro do furo causando uma compressão na parede do mesmo. No caso de furações com diâmetros além das tolerâncias previstas em projeto, ou seja, fora do limite especificado em norma de instalação, essa expansão não atinge

um valor suficiente para causar tal compressão na parede do furo. Na grande maioria dos casos, essa não conformidade não é tão grande a ponto de ser apropriada a instalação de rebites com diâmetro um traço acima do especificado ou o alargamento do furo é impedido pela distância mínima entre chapa e furo a que se deve obedecer. Assim sendo, propõe-se aumentar o diâmetro do rebite através de sua compressão, antes de o mesmo ser instalado. É este procedimento de aumento do diâmetro que será estudado neste trabalho.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo verificar se o aumento no diâmetro do corpo do rebite pré-instalação é possível e se nenhum problema sobrevém de tal procedimento ou de sua instalação final. Para tanto se aplica de métodos experimentais para levantamento das características da resistência do rebite, verificação de falha na compressão e visualização do preenchimento dos furos em chapas cravadas com rebites sólidos de bitola expandida, sempre respeitando os critérios de uma boa fixação.

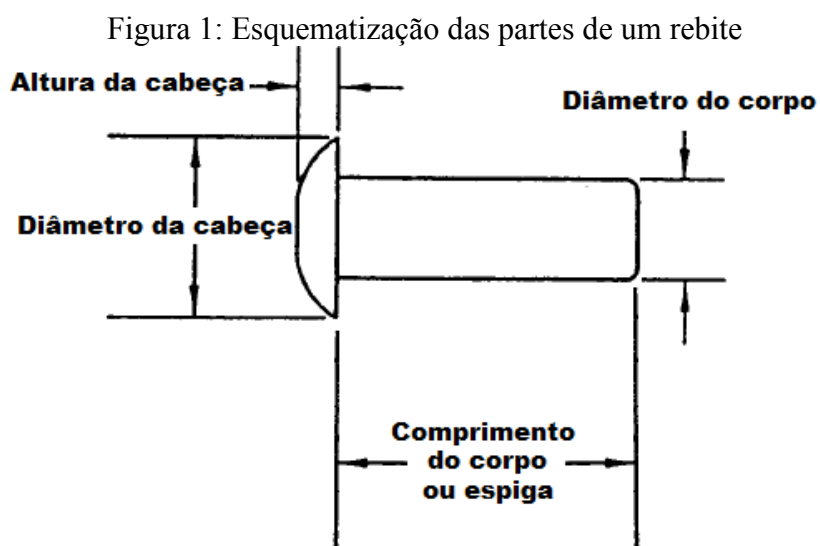
Os materiais utilizados no estudo são alumínio e suas ligas, sendo, portanto, de grande aplicabilidade na indústria aeronáutica, mas podendo se estender aos diversos outros ramos da engenharia e a diversos outros tipos de materiais, visto a importância do processo de cravação de rebites nos mais variados ramos, unindo peças e chapas principalmente em estruturas metálicas de reservatórios, treliças, caldeiras, navios e aviões.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Rebites

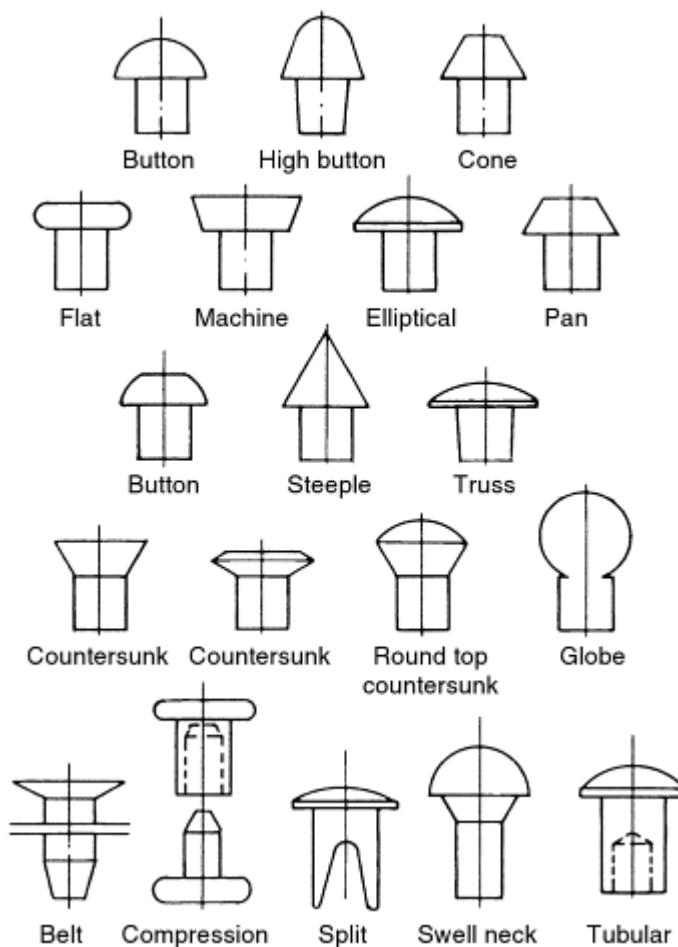
Karwa (2002) diz que o rebiteamento é um método popular de fixação e união de duas ou mais peças de metal, placas, lâminas e outros materiais. É um método simples, de baixo custo inicial e de manutenção, com uma taxa de produção alta. Diversos tipos de materiais e montagens tendo um número de partes com espessuras não uniformes podem ser prontamente fixadas uma na outra.

O rebite é um tipo de elemento de fixação permanente, ou seja, uma vez instalado não pode ser removido a não ser que este seja inutilizado. Ele é basicamente um pino metálico com o corpo ou espiga de determinado comprimento, cuja cabeça possui formas padrões e é concebida do processo de fabricação do rebite. A Figura 1 e a Figura 2 a seguir representam as partes que compõe os rebites e os vários formatos de cabeça, respectivamente:



Fonte: (NIU, 1989 – Adaptado)

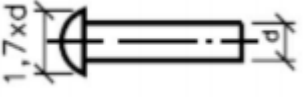
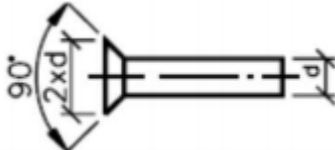
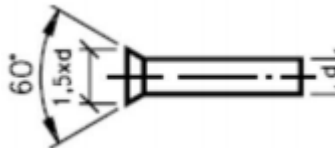
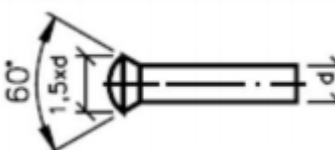
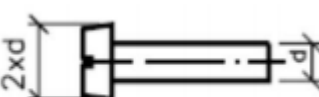
Figura 2: Exemplos de formatos de cabeça



Fonte: (MESSLER, 2004)

A fabricação de rebites é padronizada, ou seja, segue normas técnicas que indicam medidas da cabeça, do corpo e do comprimento útil dos rebites. A cabeça é a parte mais larga localizada na extremidade do rebite, dimensionalmente maior que o diâmetro nominal do corpo do fixador. É a partir do emprego que se define o formato da cabeça que se deve utilizar, conforme o Quadro 1 a seguir:

Quadro 1: Formatos de cabeça, suas dimensões padrão e suas aplicações típicas.

TIPO DE REBITE	FORMATO DA CABEÇA	EMPREGO
	Cabeça redonda larga	Largamente utilizados devido à resistência que oferecem.
	Cabeça redonda estreita	
	Cabeça escareada chata larga	Empregados em uniões que não admitem saliências. Requer escareamento da chapa ou peça.
	Cabeça escareada chata estreita	
	Cabeça escareada com calota	Empregados em uniões que admitem pequenas saliências.
	Cabeça tipo panela	
	Cabeça cilíndrica	Usados nas uniões de chapas com espessura máxima de 7 mm.

Fonte: (GORDO, 2010 – Adaptado)

Rebites em geral oferecem algumas vantagens únicas dentre todos os outros elementos de fixação, que segundo Messler (2004) incluem:

- Baixo custo de fabricação, uma vez que possuem geometria simples e podem ser produzidos em larga escala por maquinário de alta velocidade de produção;
- Baixo custo de instalação, já que o posicionamento e fixação do rebite são rápidos, repetitivos e não requer muita habilidade do operador ou o processo pode até mesmo ser automatizado;
- Capacidade de produzir juntas semi-permanentes, uma vez que podem ser descravados, permitindo serem rapidamente inspecionadas logo após a instalação do

rebite para verificação de trincas ou preenchimento incompleto do furo, abrindo espaço para ações corretivas pelo operador;

- Capacidade de permitir rotação entre as partes ou elementos fixados;
- Capacidade de unir materiais diferentes, como por exemplo metais e polímeros e de várias espessuras;
- Capacidade de unir quantas partes forem necessárias, contanto que o corpo do rebite seja longo suficiente;
- Visual atrativo em comparação a outros tipos de fixadores, podendo ser praticamente invisíveis ou simplesmente serem usados com o propósito decorativo;
- Capacidade de oferecer contornos favoráveis à aerodinâmica, especialmente quando se trata de rebites de cabeça escareada associados a técnicas de suavização dos contornos;
- Ampla diversidade de formas, tamanhos e materiais;
- Capacidade de ser instalado com uma ampla variedade de métodos, ferramentas e maquinários.

2.2 Aplicação Aeronáutica

Na percepção de Bruhn (1973), a estrutura ideal de uma aeronave deveria ser uma unidade única, inteira de um mesmo material e envolvendo uma única operação de manufatura. Infelizmente nos dias de hoje os tipos de materiais e seus métodos de trabalho ditam uma estrutura fragmentada. Além do mais, a necessidade da execução de reparos pontuais, reposição de partes e do cumprimento de processos relacionados à manutenção obrigam a produção de uma estrutura composta por diversas unidades conectadas umas às outras por fixadores ou conexões tais como parafusos, porcas, rebites, solda, dentre outros. A rebitagem é mais satisfatória no ponto de vista de firmeza e acabamento, além de sua execução ser mais fácil do que a solda. Este método é o mais utilizado na junção e união de chapas de ligas de alumínio, na construção e no reparo de aeronaves, sendo também aplicados na união de seções de nervuras, no posicionamento de cantoneiras, para prender conexões e inúmeras outras partes.

Do ponto de vista estrutural das aeronaves, os rebites são classificados em dois tipos principais:

- 1) O rebite sólido, o qual é rebatido usando-se uma barra de contragolpe;

- 2) Rebites especiais, os quais podem ser instalados quando o local não permite usar a barra de contragolpe.

A barra de contragolpe é um bloco metálico sólido, especialmente amoldado para o trabalho, que apóia um dos lados do rebite enquanto que o outro é martelado para sua conformação. Os rebites sólidos são amplamente utilizados em trabalhos de reparos. Sua instalação requer dois operadores, um de cada lado do rebite. Sua identificação é feita pelo material de que são feitos, tipo de cabeça, tamanho da espiga e suas condições de têmpera. Os tipos de cabeça variam de universal, redonda, chata, escareada e lentilha. O processo de têmpera e a resistência são indicadas por marcações na cabeça do rebite, que podem ser um ou dois pontos em relevo, um ponto em depressão, um traço ou um par de traços em relevo, um triângulo ou uma cruz. O Quadro 2 mostra as marcações que em conjunto com a coloração do rebite indicam o tipo de material.

A identificação da resistência e a condição da têmpera dos rebites também é feita por meio de letras e dígitos. O tipo da cabeça do rebite é identificado por números padrão AN ou MS, como por exemplo AN430 ou MS20430 que representam rebites de cabeça redonda e AN426 ou MS20426 que representam rebites de cabeça escareada e com ângulo de chanfro de 100°. A estes códigos ainda poderão ser adicionados letras, que representam o tipo da liga e números, que indicam o diâmetro e o comprimento dos rebites. As letras mais comuns são:

A – Liga de Alumínio, 1100 ou 3003;

AD – Liga de Alumínio, 2117-T;

B – Liga de Alumínio, 5056;

C – Cobre;

D – Liga de Alumínio, 2017-T;

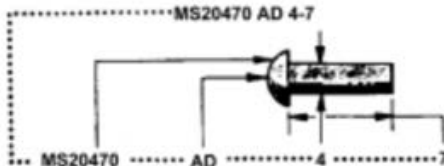
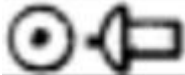
DD - Liga de Alumínio, 2024-T;

M - Monel

No caso de não haver letra após o padrão AN, o rebite é de aço macio.

O primeiro dígito após a letra identificadora do material indica o diâmetro do corpo do rebite em 32 avos de polegada e o último número, separado por um traço do penúltimo, expressa o comprimento do corpo do rebite em 16 avos de polegada, como mostra o Quadro 2 abaixo.

Quadro 2: Identificação de rebites

Rebite	Marcação na Cabeça	Código Material AN	Material	Representação								
	Plana	A	1100	 <table><tr><td>Tipo da Cabeça</td><td>Código do Material</td><td>Diâmetro medido em 1/32 in</td><td>Comprimento medido em 1/16 in</td></tr><tr><td>MS20470</td><td>AD</td><td>4</td><td>7</td></tr></table>	Tipo da Cabeça	Código do Material	Diâmetro medido em 1/32 in	Comprimento medido em 1/16 in	MS20470	AD	4	7
Tipo da Cabeça	Código do Material	Diâmetro medido em 1/32 in	Comprimento medido em 1/16 in									
MS20470	AD	4	7									
	Ponto Depressão	AD	2117T									
	Ponto Relevo	D	2017T									
	Duplo Traço Relevo	DD	2024T									
	Cruz Relevo	B	5056T									
	Círculo Relevo	E	7050									
	Duplo Ponto	M										

Fonte: (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION - AC 43.13-1B, 1998 - Adaptado)

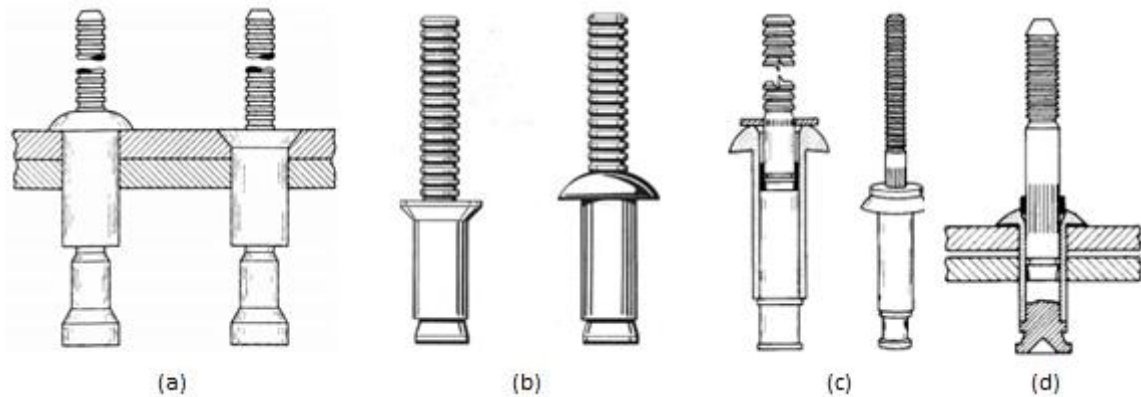
Os rebites especiais, também chamados de rebites cegos, são designados para estruturas cujo acesso a ambos os lados é impossível de ser alcançado ou onde o espaço é muito limitado. Em uma aeronave isso ocorre na fixação de muitas partes não estruturais, tais como piso e acabamento interno. Estes rebites necessitam de ferramentas e procedimentos especiais para sua instalação.

Os rebites especiais do tipo auto-cravação travados por atrito são formados por uma cabeça, um corpo oco e uma haste que atravessa o corpo. Assim que se aplica uma força para puxar a haste para dentro deste rebite, a parte cônica da haste força o corpo do rebite a se expandir e quando a pressão causada pela tração atingir determinado valor, a haste se rompe. Esta instalação é executada por apenas uma pessoa, não sendo necessário o acesso a ambos os lados. A Figura 3 a) mostra rebites de auto-cravação por atrito de cabeças protuberante e escareada, respectivamente.

Os rebites cegos do tipo *Pull-Thru* também são compostos por uma cabeça, corpo oco e uma haste que atravessa o corpo oco. Na aplicação de uma força que puxa a haste de forma que ela entre no corpo do rebite, ocorre a expansão do corpo, formando uma cabeça que fecha o furo do rebite. Da mesma forma que os de auto-cravação, estes rebites são instalados por apenas um operador, sem necessidade de acesso a ambos os lados. A Figura 3b) representa rebites tipo *Pull-Thru* de cabeça escareada e protuberante respectivamente.

Os rebites *CherryMax* e *CherryLock* também são exemplos de rebites especiais, e sua instalação também é feita por um operador com acesso a um lado da área de trabalho. O primeiro é indicado para rebiteamento de chapas finas enquanto que o segundo é aplicável tanto para chapas espessas quanto para as finas. A Figura 3 c) e d) representam rebites *CherryMax* e *CherryLock* respectivamente.

Figura 3: Exemplos de rebites especiais



Fonte: (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION - AC 43.13-1B, 1998 – Adaptado)¹

Cada companhia que fabrica estes tipos de rebites cegos tem um código próprio que especifica o tipo deste rebite ou a sua cabeça, o material, o diâmetro do corpo e a espessura de material, para determinada aplicação. Da mesma forma que nos rebites sólidos, o diâmetro do corpo dos rebites é medido em 32 avos de polegada e a espessura total a ser rebitada em 16 avos de polegada.

2.3 Layout dos Rebites e Instalação

Segundo o FAA AC6516-A (1972), o layout dos rebites consiste na determinação (1) do número de rebites necessário; (2) diâmetro e comprimento dos rebites utilizados; (3) seu material, condições de têmpera e robustez; (4) diâmetro dos furos e (5) a distância entre os furos e entre as bordas. O mesmo documento cita que tipo de cabeça, quantidade, dimensões, material e resistência de um rebite são governados por fatores como o tipo de esforço presente na região rebitada, o tipo e espessura do material a ser rebitado e a localização da parte rebitada em relação ao avião.

Ainda no FAA AC6516-A (1972), o diâmetro do corpo do rebite selecionado deve corresponder à espessura do material a ser rebitado. Se um rebite com diâmetro de corpo

¹ Sendo: (a) Auto-cravação por atrito; (b) *PullThru*; (c) *CherryMax*; (d) *CherryLock*.

muito grande for usado em uma chapa fina, a força necessária para instalá-lo causará um abaulamento indesejável ao redor da cabeça do rebite. Caso o diâmetro do corpo do rebite seja muito pequeno para a espessura da chapa a resistência ao cisalhamento não será suficiente para suportar o carregamento da junta. Como regra geral, o diâmetro do rebite não deve ser menor do que três vezes a espessura da chapa mais fina da junta.

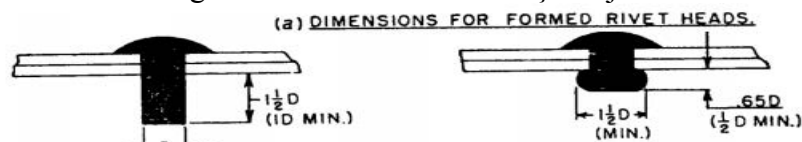
Na determinação do comprimento total de um rebite, a espessura combinada dos materiais a serem unidos deve ser levada em consideração. Essa medida é conhecida como comprimento do *grip*. O comprimento total do rebite deve ser igual ao *grip* acrescido de uma porção suficiente para formar a outra cabeça do rebite por martelamento. Recomenda-se que essa porção seja de aproximadamente uma vez e meia o diâmetro do corpo do rebite. O diâmetro da cabeça conformada deve possuir metade do diâmetro do corpo do rebite e um comprimento de cinquenta a sessenta e cinco por cento do diâmetro do corpo do rebite. Tais considerações são ilustradas na Figura 4 e Figura 5.

Figura 4: Determinação do comprimento do rebite



Fonte: (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION - AC65 15-A, 1972 – Adaptado)²

Figura 5: Dimensões da cabeça forjada



Fonte: (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION - AC 43.13-1B, 1998 – Adaptado)

É importante que o furo onde será instalado o rebite seja do tamanho e forma corretos e livre de rebarbas. Se o furo é muito pequeno, o revestimento de proteção será arranhado na inserção do rebite através do furo. Caso o mesmo seja muito grande, o rebite não preencherá o furo completamente, fazendo com que a junta não desenvolva sua completa resistência, podendo levar a uma falha estrutural. No caso do rebite de cabeça escareada, deve-se considerar a espessura da chapa e considerar o método correto de escareamento daquela chapa.

² Onde: A – Comprimento total do rebite; B – Comprimento do grip; C – Porção necessária à formação da cabeça; D – Rebites instalados

A boa prática recomenda que para se fazer um furo de rebite correto, deve-se primeiro realizar um furo piloto, de diâmetro ligeiramente inferior ao especificado para aquele rebite, para só depois utilizar a broca para o furo da dimensão requerida. O Quadro 3 mostra a bitola das brocas piloto e final para rebites padrão. Deve-se ainda posicionar a broca a um ângulo de 90° com a superfície e não exercer pressão excessiva durante o procedimento, além de limpar as rebarbas que se formarem.

Quadro 3: Diâmetro de brocas para rebites padrão

Diâmetro do Rebite em polegadas	Diâmetro da broca em polegadas	
	Piloto	Final
3/32	3/32(0,0937)	#40 (0,098)
1/8	1/8 (0,125)	#30 (0,1285)
5/32	5/32 (0,1562)	#21 (0,159)
3/16	3/16 (0,1875)	#11 (0,191)
1/4	1/4 (0,250)	F (0,257)

Fonte: (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION - AMT Airframe Handbook, 2012)

Com este procedimento deve-se chegar a furos que variem entre dois valores limites, conforme o Quadro 4. Tais limites devem ser respeitados, a menos que estejam especificados outros valores no desenho do projeto.

Quadro 4: Limites de diâmetro do furo

Diâmetro do Rebite em polegadas	Diâmetros Limite do Furo (polegadas)	
	Mínimo	Máximo
1/16	0,062	0,072
3/32	0,093	0,103
1/8	0,125	0,135
5/32	0,156	0,171
3/16	0,187	0,202
7/32	0,218	0,233
1/4	0,250	0,265
9/32	0,281	0,296
5/16	0,312	0,327
11/32	0,343	0,358
3/8	0,365	0,390
13/32	0,406	0,421

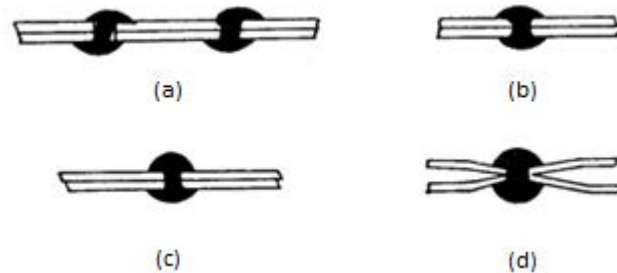
Fonte: (MIL-R-47196A, 1977)

Ainda que haja procedimentos padrão para a execução de um furo bem sucedido entre dois valores limite, nem sempre isto ocorre. Quando os furos ultrapassam a tolerância especificada, o próximo diâmetro de rebite deve ser utilizado, ou seja, o próximo rebite de maior área de seção transversal deve ser instalado. Há, entretanto, exceções em que o furo está acima do limite superior estabelecido, porém não tão acima a ponto de se utilizar o próximo diâmetro de rebite. Duas soluções são cabíveis: alargar ainda mais o furo para o próximo rebite ou alargar o diâmetro deste fixador. Os rebites sólidos podem ser solubilizados (por exemplo, para liga 7000) ou pode-se comprimir plasticamente o fixador, partindo-se de um comprimento um pouco maior do que foi especificado, até que ele atinja um valor mais aceitável ao processo de cravação. Para os rebites especiais, o alargamento do furo seria a melhor opção, já que possui uma haste que interage com o corpo no momento da cravação e o alargamento deste corpo alteraria seu funcionamento.

A distância de borda é um dos fatores que devem ser respeitados durante a cravação. Ela é a distância entre o centro do rebite mais externo e a extremidade da chapa. Segundo Bruhn (1973), em geral, esta distância deve ser de duas vezes o diâmetro do corpo para rebites de cabeça protuberante e de duas vezes e meia o diâmetro do corpo para rebites de cabeça escareada e não ser maior do que quatro vezes o diâmetro em ambos os casos. Se os rebites forem colocados muito próximos da borda da chapa, ela poderá rachar ou soltar-se dos rebites; e se eles forem colocados muito afastados da borda, a chapa poderá virar suas bordas para cima. Sendo assim, executar uma furação para se instalar o próximo diâmetro de rebite pode não ser uma boa opção, no caso de esta regra não ser cumprida, reforçando a necessidade de se dilatar o diâmetro antes da instalação.

Insistir em cravar o rebite nominal em um furo que está além do limite especificado leva a imperfeições que não são aceitáveis. O rebite pode não formar a cabeça desejada por falta de material, uma vez que se deve preencher todo o espaço do furo; pode ser instalado inclinado já que a folga entre rebite e furo estão acima da ideal ou ainda formar a cabeça desejada, mas com isso abaular as chapas sendo unidas. Cravar um rebite de comprimento um pouco maior visando preencher o espaço também levaria a uma instalação do mesmo de maneira inclinada. A Figura 6 mostra estas imperfeições.

Figura 6: Exemplos de imperfeições de rebites cravados em furos maiores que o limite especificado



Fonte: (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION - AC65 15-A, 1972)³

Dessa forma um estudo sobre o aumento do diâmetro do rebite sólido por compressão antes de sua instalação e o preenchimento que esta nova configuração gera no furo deve ser feito, visando o esclarecimento e a validação de tal procedimento a ser usado nas linhas de montagem.

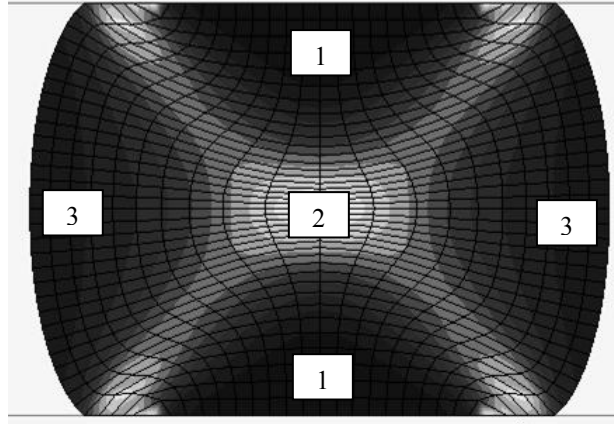
2.4 Compressão de corpo cilíndrico

O processo de alargamento do diâmetro do rebite nada mais é do que comprimi-lo uniaxialmente até que se atinja um valor de diâmetro adequado à cravação. Porém, atrelado a esse processo estão dois fenômenos: (i) a instabilidade que pode surgir quando a relação inicial entre altura e diâmetro, h_0/d_0 , for superior a 2,5 e (ii) o atrito que se desenvolve nas interfaces do rebite e na ferramenta de compressão. A instabilidade pode levar a uma inclinação do eixo do rebite e conseqüentemente à sua inutilização, já que sua cravação final ficaria como mostra a Figura 6 (a) anterior.

O atrito existente entre a interface do rebite e a ferramenta impede que o material adjacente à ferramenta de se movimentar radialmente, dando origem a uma região de geometria aproximadamente cônica (região 1 da Figura 7), onde não existe praticamente deformação plástica. À medida que a ferramenta comprime o rebite, o restante do material é forçado a se deslocar radialmente, formando uma região de geometria anelar (região 3 da Figura 7), fazendo com que o corpo do rebite adquira uma forma semelhante à de um barril. A região 2 é onde o material se deforma plasticamente à medida que a ferramenta se desloca, assegurando a deformação do corpo do rebite. Na Figura 7, as regiões de cores mais escuras representam regiões de baixa deformação; as regiões de tonalidade intermediária representam deformações moderadas e as regiões claras representam deformações intensas.

³ Onde: (a) Rebite instalado inclinado; (b) Inclinação da cabeça conformada; (c) Corpo do rebite muito curto, com formação inadequada da cabeça; (d) Rebite muito curto, levando ao abaulamento das chapas.

Figura 7: Representação esquemática do efeito barril e suas regiões



Fonte: Simulação do próprio autor⁴

Entende-se por falha o surgimento de trincas devido à deformação plástica além do limite de ductilidade do material, sendo elas externas ou internas, podendo a deformação na qual elas têm início ser prevista utilizando-se um critério de fratura dúctil. Tais critérios baseiam-se no estabelecimento de uma função matemática que depende simultaneamente dos valores de tensão e deformação, trazendo à tona o valor do dano acumulado. Nestas condições o início da fratura tem lugar quando o dano acumulado atinge um valor limite denominado “dano crítico”.

Um destes critérios de fratura dúctil que conseguem prever a ocorrência de trincas em operações de conformação mecânica de peças massivas, segundo vários artigos, é o de Cockcroft-Latham que pode ser expresso como segue a equação (1):

$$\int_0^{\varepsilon_{eq,f}} \sigma_{eq} d\varepsilon_{eq} = C_1 \quad (1)$$

Onde ε_{eq} e σ_{eq} representam a deformação e a tensão efetivas, respectivamente; $\varepsilon_{eq,f}$ representa a deformação no momento da fratura e C_1 o valor do dano crítico. Levando os corpos de prova a diferentes graus de compressão até que as trincas sejam detectadas obtém-se o limite de esmagamento a que se pode chegar. A partir disto, simula-se em softwares de elementos finitos as mesmas condições, configurando-se como saída diretamente o valor do dano crítico neste critério (caso seja possível) ou as tensões e deformações relevantes ao cálculo, a cada nível do processo de compressão.

⁴ Plot de deformações extraído do software MSC Marc Mentat.

Com o valor do dano crítico em mãos, pode-se inseri-lo como entrada em softwares de simulação, tal como o MSC Marc Mentat. Em um processo de conformação mecânica qualquer, se a energia de deformação acumulada em um nó é maior que o valor de C_1 levantado, ocorrerá fratura neste nó.

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

3.1 Determinação da curva de escoamento do material

Para a simulação em software de elementos finitos do critério de falha, se faz necessário a determinação da curva de escoamento do material, que prevê o comportamento do material quando submetido a esforços compressivos e é um dos parâmetros fundamentais para os processos de conformação mecânica.

Para a obtenção da curva de escoamento, foram realizados ensaios de compressão em cinco rebites de dimensões diferentes, todos da liga Al2117-T (tipo AD), sendo testados para cada dimensão cinco corpos de prova, como mostra a Tabela 1. A Figura 8 mostra os rebites que foram utilizados no ensaio, ao lado uma moeda de R\$0,50 para efeito comparativo de tamanhos.

Tabela 1: Corpos de prova para determinação da curva de escoamento

Rebite	Número de corpos de prova	Diâmetro inicial [mm]	Altura inicial [mm]
Escareado (Lote 1)	5	4,000	9,525
Escareado (Lote 2)	5	3,200	6,440
Escareado (Lote 3)	5	3,175	4,910
Escareado (Lote 4)	5	3,980	11,180
Escareado (Lote 5)	5	4,750	8,880

Figura 8: Rebites utilizados no ensaio de compressão para levantamento da curva de escoamento



Fonte: próprio autor

Os ensaios foram realizados à temperatura ambiente (25 °C) em uma máquina universal de ensaios Shimadzu AG-X 50KN, com punções planas de aço. A velocidade de deslocamento da prensa foi de 0,5 mm/min. e a força obtida por meio de uma célula de carga conectada a um equipamento de aquisição de dados ligado a um computador, que com o auxílio do software TrapeziumX, fazia a leitura dos dados.

Cada corpo de prova sofreu uma deformação de 60% de sua altura e com o tratamento dos dados adquiridos, levantaram-se as curvas de escoamento.

Inicialmente, testou-se a compressão dos rebites de cabeça protuberante, já que o formato arredondado da cabeça em contato com a punção plana poderia levar a uma instabilidade da compressão e a resultados incoerentes. Tal previsão foi confirmada, como mostra a Figura 9 onde o rebite de diâmetro 8/32 polegadas e comprimento 14/16 polegadas se mostra comprimido inclinado. O mesmo fato ocorreu para rebites de diâmetro 6/32 polegadas e comprimento 9/16 polegadas, diâmetro 4/32 polegadas e comprimento 6/16 polegadas e diâmetro 5/32 polegadas com comprimento 6/16 polegadas. Por isto, apenas os rebites escareados tiveram suas curvas de escoamento levantadas.

Figura 9: Instabilidade na compressão de rebite de cabeça protuberante



Fonte: próprio autor

Na tentativa de eliminar o efeito do atrito entre as superfícies da punção e do rebite, testou-se a utilização de filme de politetrafluoretileno (PTFE, vendido como fita veda roscas comum), assim como descrito por Knoll, Lima e Schaeffer (2007) em seu trabalho e como recomendação do próprio laboratório de conformação mecânica da UNESP de Guaratinguetá. Entretanto, a dificuldade em se nivelar a quantidade de fita em cada extremidade do rebite associada às pequenas dimensões do mesmo (pequenos desvios na espessura da camada de lubrificante em corpos de prova de maiores dimensões não acarretariam problemas na deformação) levaram a uma instabilidade na compressão (compressão com o rebite inclinado). Assim sendo, abandonou-se a lubrificação para o levantamento das curvas de escoamento. A Figura 10 e a Figura 11 retratam o revestimento com PTFE e a compressão instável de alguns rebites por conta deste revestimento, respectivamente. A instabilidade na compressão pode levar inclusive a ruptura do rebite, como mostram a segunda e a terceira

imagem da esquerda para a direita na Figura 11. As duas últimas imagens da mesma figura mostram uma deformação desigual na cabeça do rebite, com um dos lados conformando mais que o outro, culminando na ruptura da cabeça como no rebite mais à direita.

Figura 10: Rebites revestidos com PTFE



Fonte: próprio autor

Figura 11: Rebites comprimidos inclinados, devido ao revestimento de PTFE



Fonte: próprio autor

Feitos estes dois testes, os rebites listados na Tabela 1 foram submetidos à compressão. Com os dados de força e deslocamento é possível calcular a altura do corpo de prova em cada instante da medição pela equação (2) abaixo:

$$h_i = h_0 - \Delta h \quad (2)$$

Onde h_i e h_0 são as alturas instantânea e inicial, respectivamente, e Δh o deslocamento da punção. O cálculo da área da seção transversal do rebite a cada instante pode ser calculado a partir da Lei da Constância de Volumes, dado pela equação (3):

$$A_i = \frac{A_0 h_0}{h_i} \quad (3)$$

Sendo A_i e A_0 a área da seção transversal instantânea e inicial respectivamente, tomadas como áreas circulares. Com estes resultados é possível obter a deformação verdadeira (φ) e a tensão de escoamento (k_f) para cada instante do ensaio a partir das equações 4 e 5 respectivamente:

$$\varphi = \ln \frac{h_i}{h_0} \quad (4)$$

$$k_f = \frac{F}{A_i} \quad (5)$$

O gráfico k_f versus φ descreve o comportamento plástico do material e é conhecido como curva de escoamento. Para a deformação a frio, pode ser representada matematicamente por uma equação do tipo $k_f = C\varphi^n$, onde “C” representa o coeficiente de resistência do material e “n” o coeficiente de encruamento. A obtenção destes valores é feita por linearização da curva do material, construindo-se um gráfico $\log k_f$ x $\log \varphi$. O coeficiente de encruamento é obtido pela inclinação da reta e o coeficiente de resistência é igual ao valor de k_f para φ igual a 1. Como para os processos de conformação mecânica apenas a região de deformação plástica tem interesse, definiu-se $\varphi = 0,2$ como limite inferior da região plástica e obtiveram-se as equações a partir deste ponto.

3.2 Teste de Cravação de Rebites de Diâmetros Pré Expandidos

Com o intuito de verificar o preenchimento dos furos por rebites de diâmetros pré-expandidos e verificar a existência de trincas ou fissuras no corpo dos mesmos após serem cravados, experimentou-se a cravação tanto de rebites escareados quanto de rebites protuberantes em chapas de alumínio. A diferença entre o diâmetro nominal do rebite, antes de sua pré-expansão, e o seu respectivo furo é de 1/32 polegadas já que não se possuía brocas intermediárias para furações menores. Todos os procedimentos deste teste foram realizados por um profissional capacitado.

A chapa utilizada na cravação de todos os rebites possuía espessura de 2,5 mm, em Al2024. Foram preparados três segmentos de chapa para cravação de rebites de cabeça protuberante e três segmentos para cravação de rebites de cabeça escareada. Todas as furações foram feitas com os segmentos de chapa fixados em uma morsa de bancada, utilizando-se

primeiro uma broca de menor diâmetro para os furos guia, seguindo-se da broca do diâmetro requerido para o ensaio, como descrito a seguir.

Para os rebites de cabeça protuberante, foram feitos trinta furos de uma mesma dimensão em cada segmento: o primeiro com furos de 5/32 polegadas, o segundo com furos de 6/32 polegadas e o último com furos de 7/32 polegadas. Todos os diâmetros foram checados com o auxílio de um paquímetro e estavam dentro dos valores aceitáveis. A Figura 12 mostra o resultado final da furação: três segmentos de trinta furos cada, da esquerda para a direita, com 5/32, 6/32 e 7/32 polegadas respectivamente. Os valores à direita das furações indicam o diâmetro do rebite expandido que seria cravado na próxima etapa.

Figura 12: Furação para rebites de cabeça protuberante

4.1	4.1	4.1	-Nom	4.8	4.8	4.8	-Nom	5.8	5.8	5.8	- Nominal
.	.	.	-Nom	.	.	.	-Nom	.	.	.	-4.9
.	.	.	-3.3	.	.	.	-4.1	.	.	.	- 5.0
.	.	.	-3.4	.	.	.	-4.2	.	.	.	- 5.1
.	.	.	-3.5	.	.	.	-4.3	.	.	.	- 5.2
.	.	.	-3.6	.	.	.	-4.4	.	.	.	- 5.3
.	.	.	-3.7	.	.	.	-4.5	.	.	.	- 5.4
.	.	.	-3.8	.	.	.	-4.6	.	.	.	- 5.5
.	.	.	-3.9	.	.	.	-4.7	.	.	.	- 5.6
.	.	.	-4.0	.	.	.	-4.7	.	.	.	- 5.7

Fonte: próprio autor.

Em cada segmento de chapa foram utilizados rebites com diâmetro do corpo uma escala abaixo à do furo: no segmento com furos 5/32 polegadas foram utilizados rebites de diâmetro 4/32 polegadas; no segmento com furos 6/32, rebites de diâmetro 5/32 polegadas e no segmento com furos 7/32 polegadas foram utilizados rebites de 6/32 polegadas. A cada três furos em linha do segmento, foram cravados rebites de determinado diâmetro pré expandido por compressão, partindo-se do rebite com diâmetro nominal (sem a pré expansão), seguindo-se com incrementos de 0,1 mm no diâmetro. A Figura 12 e a esquematização da Tabela 2 mostram a seqüência de cravação, com os respectivos valores do diâmetro expandido em milímetros. Na tabela, cada “X” representa um rebite de cabeça protuberante, com o diâmetro do seu corpo descrito à sua esquerda. “N.” significa nominal, ou seja, o rebite não foi pré-expandido antes de sua cravação. “D_{0 rebite}” representa o diâmetro inicial do rebite, antes de sua expansão e “D_{Furo}” o diâmetro da furação naquele segmento de chapa.

Tabela 2: Esquematização da furação e da expansão do diâmetro do corpo de rebites de cabeça protuberante

Diâmetro Expandido [mm]	$D_{0 \text{ rebite } 4/32''}$ $D_{\text{Furo } 5/32''}$			Diâmetro Expandido [mm]	$D_{0 \text{ rebite } 5/32''}$ $D_{\text{Furo } 6/32''}$			Diâmetro Expandido [mm]	$D_{0 \text{ rebite } 6/32''}$ $D_{\text{Furo } 7/32''}$		
N. (3,2 mm)	X	X	X	N. (4,0 mm)l	X	X	X	N. (4,8 mm)	X	X	X
N. (3,2 mm)	X	X	X	N. (4,0 mm)	X	X	X	4,9	X	X	X
3,3	X	X	X	4,1	X	X	X	5,0	X	X	X
3,4	X	X	X	4,2	X	X	X	5,1	X	X	X
3,5	X	X	X	4,3	X	X	X	5,2	X	X	X
3,6	X	X	X	4,4	X	X	X	5,3	X	X	X
3,7	X	X	X	4,5	X	X	X	5,4	X	X	X
3,8	X	X	X	4,6	X	X	X	5,5	X	X	X
3,9	X	X	X	4,7	X	X	X	5,6	X	X	X
4,0	X	X	X	4,7	X	X	X	5,7	X	X	X

Para que a dilatação do diâmetro por compressão do rebite fosse feita, fixou-se uma chapa em uma morsa de bancada, com furações nos três diâmetros: 5/32, 6/32 e 7/32 polegadas. Os rebites 4/32, 5/32 e 6/32 foram posicionados nos seus respectivos furos de diâmetros imediatamente superiores e como auxílio de uma rebitadora de pinça pneumática tipo crocodilo, como a da Figura 13, os rebites foram comprimidos até os valores especificados na Tabela 2.

Figura 13: Pinça pneumática tipo crocodilo semelhante à utilizada na pré expansão e na cravação final dos rebites



Fonte: (U.S. Industrial Tool Company: Alligator Squeeze Riveters & Jaws. Acesso em: 03 jan. 2015)

A regulagem da altura final do rebite era feita em uma das superfícies compressoras da pinça, que possui uma rosca de curto passo para esse ajuste. Dessa forma, um a um os rebites foram comprimidos, tendo seus diâmetros e alturas iniciais e finais checados com um paquímetro e anotados, tal como mostram a Tabela 3, a Tabela 4 e a Tabela 5, onde h_0

representa a altura inicial, h_f a altura final, D_0 o diâmetro inicial e D_f o diâmetro final do rebite, todos os valores em milímetros. Durante estas medições notou-se a presença do efeito barril combinado com uma ovalização do diâmetro, exibindo valores que variavam ao longo do comprimento do corpo do rebite. Assim, tomaram-se os valores de maior dimensão.

Tabela 3: Alturas e diâmetros iniciais e finais dos rebites 4/32 polegadas de cabeça protuberante expandidos

D_0 rebite 4/32"	Coluna 1				Coluna 2				Coluna 3			
D_{objetivo}	h_0	h_f	D_0	D_f	h_0	h_f	D_0	D_f	h_0	h_f	D_0	D_f
Nominal	6,30	6,30	3,20	3,20	6,30	6,30	3,20	3,20	6,30	6,30	3,20	3,20
Nominal	6,30	6,30	3,20	3,20	6,30	6,30	3,20	3,20	6,30	6,30	3,20	3,20
3,3	6,26	5,95	3,18	3,31	6,22	5,95	3,17	3,30	6,30	5,88	3,18	3,30
3,4	6,31	5,72	3,18	3,39	6,31	5,68	3,19	3,40	6,36	5,69	3,20	3,40
3,5	6,29	5,38	3,20	3,50	6,31	5,45	3,18	3,51	6,33	5,35	3,19	3,51
3,6	6,33	5,10	3,18	3,57	6,32	5,04	3,18	3,57	6,32	5,07	3,20	3,30
3,7	6,32	4,71	3,19	3,73	6,32	4,84	3,18	3,67	6,31	4,82	3,18	3,70
3,8	6,33	4,60	3,20	3,78	6,30	4,58	3,19	3,78	6,32	4,33	3,18	3,81
3,9	6,32	4,27	3,18	3,90	6,31	4,36	3,19	3,86	6,32	4,35	3,18	3,91
4,0	6,31	4,59	3,18	3,99	6,32	4,47	3,18	4,05	6,33	4,41	3,19	3,99

Tabela 4: Alturas e diâmetros iniciais e finais dos rebites 5/32 polegadas de cabeça protuberante expandidos

D_0 rebite 5/32"	Coluna 1				Coluna 2				Coluna 3			
D_{objetivo}	h_0	h_f	D_0	D_f	h_0	h_f	D_0	D_f	h_0	h_f	D_0	D_f
Nominal	7,94	7,94	4,00	4,00	7,97	7,97	4,00	4,00	7,96	7,96	4,00	4,00
Nominal	7,93	7,93	4,00	4,00	7,98	7,98	4,00	4,00	7,98	7,91	4,00	4,00
4,1	7,95	7,65	4,00	4,10	7,93	7,55	4,00	4,10	7,95	7,63	4,00	4,10
4,2	7,97	7,09	4,00	4,20	7,94	7,07	4,00	4,20	7,97	7,16	4,00	4,20
4,3	7,94	6,87	4,00	4,30	7,95	6,87	4,00	4,30	7,95	7,04	4,00	4,30
4,4	7,94	6,78	4,00	4,39	7,91	6,86	4,00	4,40	7,96	6,67	4,00	4,40
4,5	7,94	6,54	3,99	4,49	7,97	6,30	4,00	4,49	7,92	6,15	3,98	4,49
4,6	7,95	6,01	3,99	4,60	7,96	6,04	4,00	4,56	7,95	5,94	4,00	4,59
4,7	7,96	5,66	3,99	4,71	7,91	5,77	3,99	4,69	7,95	5,73	4,00	4,73
4,7	7,89	5,80	3,99	4,69	7,93	5,90	3,99	4,66	7,95	5,67	4,00	4,70

Tabela 5: Alturas e diâmetros iniciais e finais dos rebites 6/32 polegadas de cabeça protuberante expandidos

D_0 rebite 6/32"	Coluna 1				Coluna 2				Coluna 3			
D_{objetivo}	h_0	h_f	D_0	D_f	h_0	h_f	D_0	D_f	h_0	h_f	D_0	D_f
Nominal	7,88	7,88	4,78	4,78	7,95	7,95	4,78	4,78	7,98	7,98	4,76	4,76
4,9	7,88	7,55	4,78	4,90	7,97	7,51	4,78	4,93	7,83	7,46	4,70	4,92
5,0	7,93	7,37	4,78	5,02	7,95	7,38	4,78	4,98	7,86	7,39	4,76	4,96
5,1	7,90	7,04	4,76	5,10	7,88	7,04	4,77	5,09	7,97	7,12	4,77	5,12
5,2	7,90	6,70	4,76	5,21	7,90	6,76	4,78	5,20	7,94	6,75	4,77	5,24
5,3	7,95	6,64	4,78	5,30	7,94	6,66	4,79	5,29	7,91	6,63	4,78	5,28
5,4	7,92	6,47	4,77	5,40	7,90	6,38	4,78	5,39	7,95	6,37	4,76	5,41
5,5	7,98	6,11	4,77	5,50	7,85	6,22	4,77	5,50	7,92	6,21	4,78	5,50
5,6	7,89	5,66	4,77	5,63	7,87	5,88	4,77	5,60	7,95	5,82	4,79	5,62
5,7	7,96	5,65	4,78	5,70	7,95	5,86	4,77	5,70	7,87	5,78	4,77	5,70

Ao final da pré expansão por compressão de cada rebite de cabeça protuberante, estes eram presos por fita crepe no seu respectivo segmento, aguardando serem cravados definitivamente. Quando todos os rebites do segmento estavam com seus diâmetros aumentados, fixava-se este segmento na morsa de bancada e cravava-se os rebites, utilizando-se ainda o auxílio da pinça pneumática.

Já para os rebites de cabeça escareada, foram preparados três segmentos de chapa de trinta furos cada, de mesmos diâmetros dos segmentos de chapa para rebites protuberantes, porém com escareado de um traço abaixo do furo: nos furos de 5/32 polegadas foram utilizados escareadores de 4/32 polegadas; nos de 6/32 polegadas foram utilizados escareadores de 5/32 polegadas e nos furos de 7/32, escareadores de 6/32 polegadas. A Figura 14 mostra a chapa utilizada para cravação dos rebites escareados, contendo os três segmentos de trinta furos cada, da esquerda para a direita: 7/32, 6/32 e 5/32 polegadas, com escareados de 6/32, 5/32 e 4/32 polegadas, respectivamente.

Figura 14: Furação para rebites escareados



Fonte: próprio autor.

Da mesma forma que nos rebites protuberantes, os rebites utilizados nos furos de cada segmento eram de diâmetro uma escala menor que o furo, sendo este o motivo de se escarear o furo com a ferramenta de uma grandeza menor. Semelhantemente, a cada três furos em linha do segmento de chapa, foram cravados rebites de determinado diâmetro pré expandido por compressão, partindo-se do rebite com diâmetro nominal (sem a pré expansão), seguindo-se com incrementos de 0,1 mm nos diâmetros. A Tabela 6 abaixo mostra os valores da pré expansão para tais rebites, onde cada “O” representa um rebite de cabeça escareada, com o diâmetro do seu corpo descrito à sua esquerda. “N.” significa nominal, ou seja, o rebite não foi pré-expandido antes de sua cravação. “D_{0 rebite}” representa o diâmetro inicial do rebite, antes de sua expansão e “N” não houve expansão até o valor descrito. “Escar” indica o escareamento realizado.

Tabela 6: Esquematisação da furação e da expansão do diâmetro do corpo de rebites de cabeça escareada

Diâmetro Expandido [mm]	D _{0 rebite} 4/32" D _{Furo} 5/32" Escar. 4/32"	Diâmetro Expandido [mm]	D _{0 rebite} 5/32" D _{Furo} 6/32" Escar. 5/32"	Diâmetro Expandido [mm]	D _{0 rebite} 6/32" D _{Furo} 7/32" Escar. 6/32"
N. (3,2 mm)	O O O	N(4,0 mm)	O O O	N(4,9 mm)	O O O
N. (3,2 mm)	O O O	N(4,0 mm)	O O O	4,9	O O O
N. (3,2 mm)	O O O	N(4,0 mm)	O O O	5,0	O O O
N. (3,2 mm)	O O O	4,1	O O O	5,1	O O O
3,3	O O O	4,2	O O O	5,2	O O O
3,4	O O O	4,3	O O O	5,3	O O O
3,5	O O O	4,4	O O O	5,4	O O O
3,6	O O O	4,5	O O O	5,5	O O O
3,7	O O O	4,6	O O O	5,6	O O O
3,8	- - -	4,7	O O O	5,7	O O O

Tabela 8: Alturas e diâmetros iniciais e finais dos rebites 5/32 polegadas de cabeça escareada expandidos

D_0 rebite 5/32"	Coluna 1				Coluna 2				Coluna 3			
D_{objetivo}	h_0	h_f	D_0	D_f	h_0	h_f	D_0	D_f	h_0	h_f	D_0	D_f
Nominal	7,33	7,33	3,97	3,97	7,32	7,32	3,95	3,95	7,32	7,32	3,95	3,95
Nominal	7,33	7,33	3,98	3,98	7,32	7,32	3,95	3,95	7,32	7,32	3,95	3,95
Nominal	7,33	7,33	3,95	3,95	7,33	7,33	3,97	3,97	7,33	7,33	3,97	3,97
4,1	7,33	6,84	3,97	4,10	7,32	6,84	3,95	4,07	7,32	6,81	3,95	4,09
4,2	7,33	6,61	3,98	4,20	7,32	6,45	3,95	4,20	7,32	6,51	3,95	4,19
4,3	7,32	6,21	3,95	4,30	7,33	6,22	3,97	4,37	7,33	6,33	3,97	4,32
4,4	7,32	6,15	3,95	4,39	7,32	6,04	3,95	4,39	7,32	6,10	3,95	4,40
4,5	7,32	5,92	3,97	4,50	7,32	5,91	3,95	4,48	7,33	5,90	3,97	4,53
4,6	7,32	5,63	3,95	4,63	7,32	5,77	3,95	4,58	7,32	5,69	3,95	4,58
4,7	7,33	5,49	3,97	4,73	7,32	5,56	3,95	4,66	7,32	5,55	3,97	4,71

Tabela 9: Alturas e diâmetros iniciais e finais dos rebites 6/32 polegadas de cabeça escareada expandidos

D_0 rebite 6/32"	Coluna 1				Coluna 2				Coluna 3			
D_{objetivo}	h_0	h_f	D_0	D_f	h_0	h_f	D_0	D_f	h_0	h_f	D_0	D_f
Nominal	8,90	8,90	4,75	4,75	8,90	8,90	4,74	4,74	8,90	8,90	4,74	4,74
4,9	8,93	8,45	4,75	4,88	8,90	8,46	4,74	4,88	8,92	8,45	4,75	4,90
5,0	8,90	8,06	4,76	5,03	8,90	8,08	4,74	5,05	8,92	8,30	4,75	4,94
5,1	8,89	7,92	4,74	5,10	8,90	7,86	4,74	5,12	8,90	7,95	4,74	5,10
5,2	8,90	7,57	4,74	5,20	8,90	7,76	4,75	5,16	8,90	7,59	4,74	5,20
5,3	8,90	7,39	4,74	5,30	8,89	7,44	4,74	5,27	8,89	7,44	4,74	5,27
5,4	8,90	7,15	4,74	5,41	8,89	7,12	4,74	5,40	8,89	7,09	4,75	5,44
5,5	8,89	6,90	4,74	5,53	8,89	6,92	4,74	5,49	8,89	6,93	4,74	5,50
5,6	8,91	6,73	4,74	5,60	8,93	6,70	4,75	5,65	8,89	6,80	4,74	5,55
5,7	8,90	6,61	4,74	5,68	8,92	6,58	4,75	5,73	8,90	6,66	4,74	5,67

Feita a pré dilatação do diâmetro por compressão, os rebites foram presos por fitas crepe nas suas respectivas chapas e furos, e mais tarde quando todos os rebites já haviam sido trabalhados, estes eram cravados definitivamente nos segmentos, desta vez com um martetele pneumático como o representado na Figura 15 e uma barra de contragolpe que segundo o operador eram mais apropriados para aquele tipo de rebite.

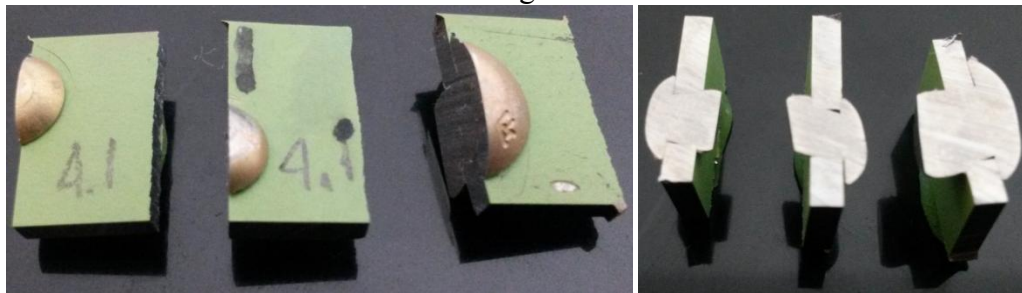
Figura 15: Martelete pneumático e barra de contra golpe, semelhantes aos utilizados na cravação de rebites de cabeça escareada



Fontes: (Aircraft Spruce and Specialty Co. Acesso em: 12 dez. 2014 e Copco Brasil Ltda: RRH06P-TS. Acesso em: 12 dez. 2014.)

Ao final, quando tanto os rebites de cabeça protuberante quanto os de cabeça escareada já haviam sido cravados, estes foram levados ao laboratório, onde com o auxílio de uma serra circular cortou-se as chapas em pequenos quadrados contendo apenas um rebite cada, sendo estes quadrados posteriormente cortados ao meio e embutidos para verificar o preenchimento do furo e a aparição de trincas e fissuras em uma análise metalográfica, utilizando-se como equipamento o microscópio óptico Zeiss - AX10. A Figura 16 mostra como os rebites foram cortados para serem embutidos em baquelite e examinados posteriormente:

Figura 16: Cortes realizados em todos os rebites, para posterior embutimento e análise metalográfica



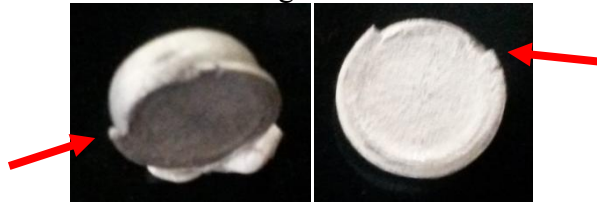
Fonte: próprio autor.

3.3 Determinação do limite de esmagamento do rebite

O levantamento do limite de esmagamento seria feito induzindo-se alguns exemplares dos rebites utilizados no teste de cravação a diferentes graus de compressão, até que as trincas fossem detectadas. Os rebites utilizados neste ensaio chegaram a ser comprimidos com o auxílio da rebitadora de pinça (não foram cravados em chapa alguma), apenas posicionando-se o corpo de prova entre as duas superfícies da ferramenta.

Deformações de até 70% da altura inicial dos rebites escareados não demonstraram nenhuma formação de trinca, sendo que a este ponto as cabeças dos rebites começavam a se romper, enquanto que o corpo permanecia intacto tal como mostra a Figura 17. Os rebites de cabeça protuberante estavam sendo comprimidos inclinados, não fornecendo resultados úteis do ponto de vista do início da falha no corpo do rebite.

Figura 17: Ruptura da cabeça escareada do rebite, na tentativa de se levantar o limite de esmagamento



Fonte: próprio autor

Assim sendo, não foi possível levantar o limite de ruptura dos rebites.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Determinação da curva de escoamento do material

As equações de reta (linearizações) e os respectivos valores de C (MPa) e n para cada corpo de prova e o valor médio para cada rebite ensaiado estão indicados da Tabela 10 até a Tabela 13. O rebite de diâmetro inicial 3,980 mm e altura 11,180 mm (Lote 4) foi desconsiderado por apresentar instabilidade na compressão, não possuindo sua curva de escoamento extraída. Na Figura 18 estão representadas as curvas médias de cada lote ensaiado.

Tabela 10: Curva de escoamento para rebite escareado de diâmetro inicial 4,000 mm e altura 9,525 mm (Lote 1)

	Equação da reta	C [MPa]	n
CDP 1 L1	$y = 0,241x + 2,818$	657,6578	0,241
CDP 2 L1	$y = 0,241x + 2,818$	657,6578	0,241
CDP 3 L1	$y = 0,241x + 2,818$	657,6578	0,241
CDP 4 L1	$y = 0,236x + 2,820$	660,6934	0,236
CDP 5 L1	$y = 0,234x + 2,821$	662,2165	0,234
	Média	659,1767	0,2386

Curva do rebite ensaiado: $K_f = 659,18x\varphi^{0,2386}$

Tabela 11: Curva de escoamento para rebite escareado de diâmetro inicial 3,200 mm e altura 6,440 mm (Lote 2)

	Equação da reta	C [Mpa]	n
CDP 1 L2	$y = 0,206x + 2,726$	532,1083	0,206
CDP 2 L2	$y = 0,201x + 2,716$	519,9960	0,201
CDP 3 L2	$y = 0,201x + 2,716$	519,9960	0,201
CDP 4 L2	$y = 0,206x + 2,720$	524,8075	0,206
CDP 5 L2	$y = 0,207x + 2,719$	523,6004	0,207
	Média	524,1016	0,204

Curva do rebite ensaiado: $K_f = 524,10x\varphi^{0,2042}$

Tabela 12: Curva de escoamento para rebite escareado de diâmetro inicial 3,175 mm e altura 4,910 mm (Lote 3)

	Equação da reta	C [Mpa]	n
CDP 1 L3	$y = 0,171x + 2,732$	539,5106	0,171
CDP 2 L3	$y = 0,162x + 2,722$	527,2299	0,162
CDP 3 L3	$y = 0,162x + 2,722$	527,2299	0,162
CDP 4 L3	$y = 0,166x + 2,725$	530,8844	0,166
CDP 5 L3	$y = 0,162x + 2,724$	529,6634	0,162
Média		530,9036	0,1646

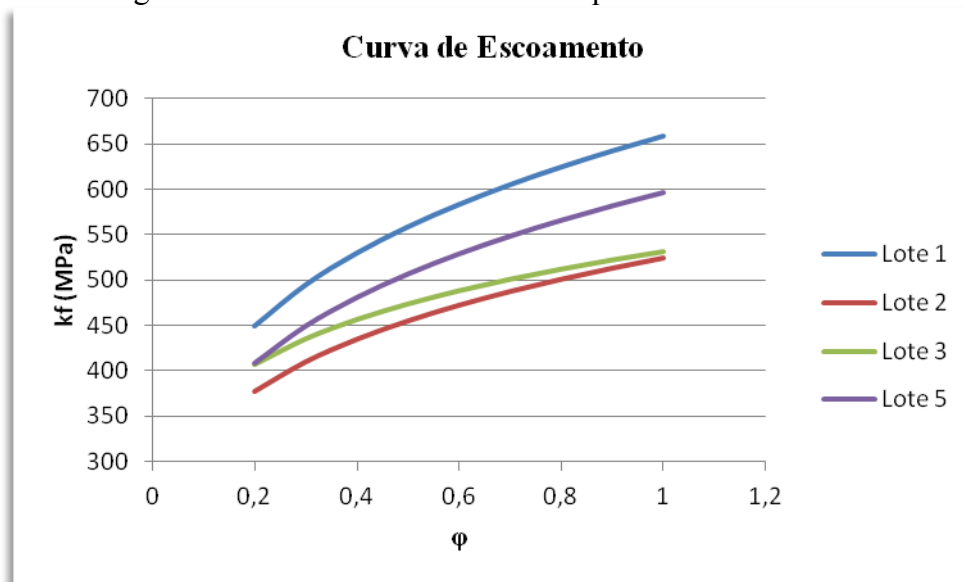
Curva do rebite ensaiado: $K_f = 530,90x\phi^{0,146}$

Tabela 13: Curva de escoamento para rebite escareado de diâmetro inicial 4,750 mm e altura 8,880 mm (Lote 5)

	Equação da reta	C [Mpa]	n
CDP 1 L5	$y = 0,240x + 2,781$	603,9486	0,240
CDP 2 L5	$y = 0,229x + 2,771$	590,2011	0,229
CDP 3 L5	$y = 0,229x + 2,771$	590,2011	0,229
CDP 4 L5	$y = 0,237x + 2,777$	598,4116	0,237
CDP 5 L5	$y = 0,237x + 2,775$	595,6621	0,237
Média		595,6849	0,2344

Curva do rebite ensaiado: $K_f = 595,68x\phi^{0,2344}$

Figura 18: Curva de escoamento dos quatro lotes ensaiados



Nota-se que apesar de o material dos rebites ensaiados ser o mesmo, estes possuem comportamentos diferentes em compressão, sendo que cada um dos lotes gerou uma curva de escoamento diferente. Sendo assim, seria necessário desenvolver um método para a compressão dos rebites de cabeça protuberante para a simulação em software de elementos

finitos. Como isto não foi desenvolvido, utilizar-se-ia destas curvas de rebite escareado para a simulação também dos rebites protuberantes.

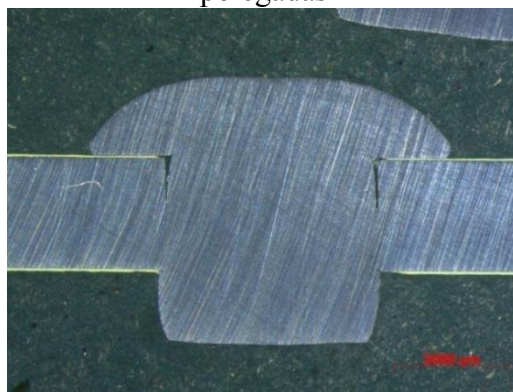
Os resultados encontrados mostraram uma boa repetibilidade para os cinco corpos de prova de cada lote, mostrando-se possível descrever matematicamente o comportamento plástico do material nas suas diferentes dimensões geométricas.

É importante ressaltar ainda que durante o experimento, mesmo com deformação de 60% da altura, não houveram indícios de trincas nos corpos de prova. Devido ao tamanho dos corpos de prova ensaiados é difícil identificar tal falha, que é de grande importância para a simulação em softwares de elementos finitos.

4.2 Teste de Cravação de Rebites de Diâmetros Pré-Expandidos

Alguns dos resultados mais representativos das análises metalográficas dos rebites pré expandidos, cravados em uma chapa de 2,5 mm estão demonstrados nas imagens a seguir, feitas com auxílio de um microscópio estéreo e um microscópio ótico Polyvar. Foram selecionadas imagens de dois rebites de cada segmento de chapa, como se vê da Figura 19 até a Figura 54.

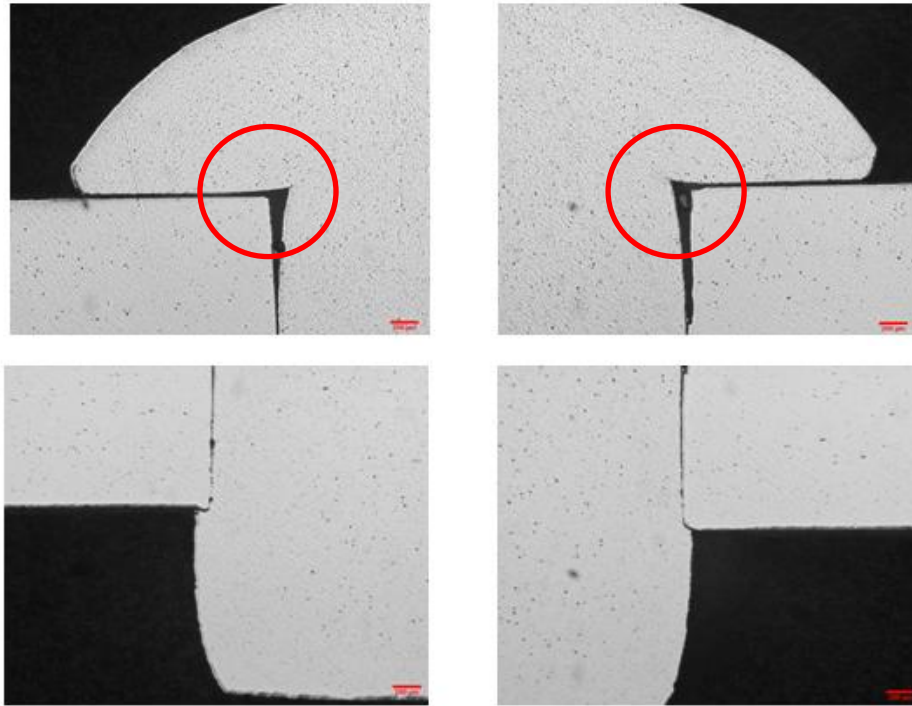
Figura 19: Rebite protuberante de diâmetro nominal 1/8 polegadas cravado em furo 5/32 polegadas



Fonte: próprio autor.

A Figura 20 mostra a micrografia da seção transversal da amostra, com ampliação de 20x. Não há preenchimento do furo pelo rebite e não há expansão suficiente da contra cabeça.

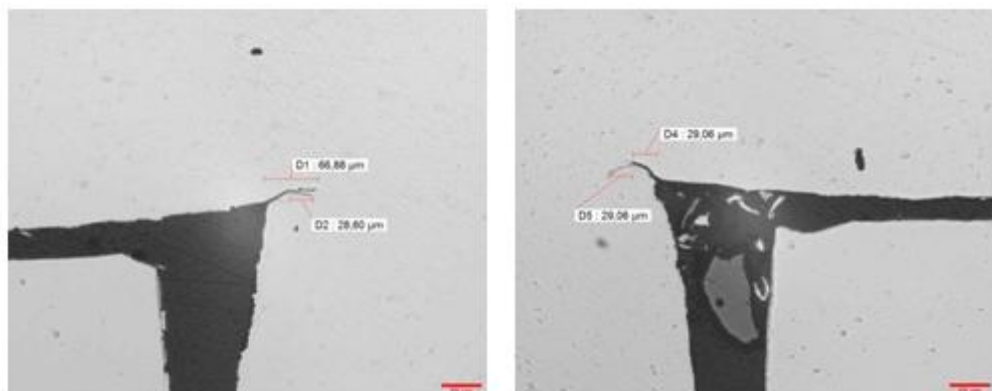
Figura 20: Ampliação do rebite protuberante nominal cravado em furo 1/8 polegadas (20x)



Fonte: próprio autor.

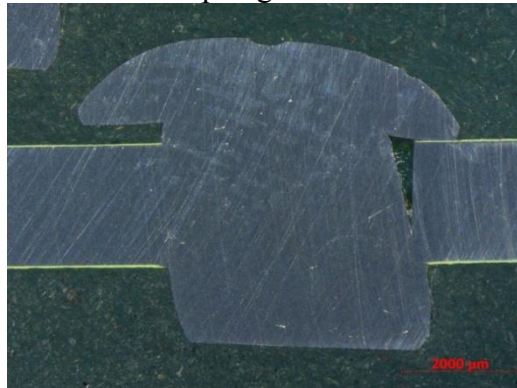
Na Figura 21 estão as regiões acima circuladas, com ampliação de 100x, demonstrando pequenas dobras do material, de 30 μm a 67 μm .

Figura 21: Dobra de material verificado no rebite protuberante nominal de diâmetro 1/8 polegadas cravado em furo 5/32 polegadas (ampliação 100x)



Fonte: próprio autor.

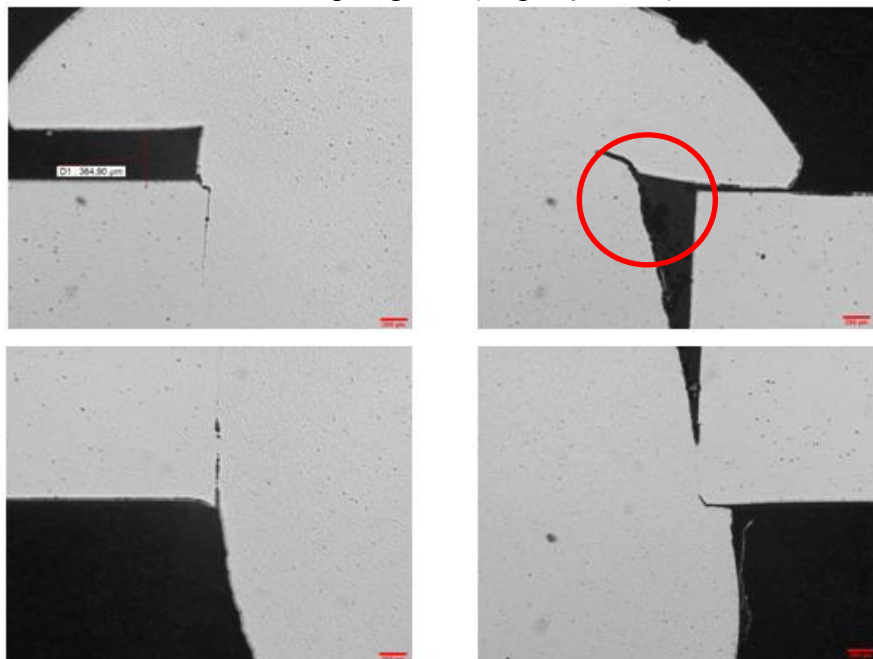
Figura 22: Rebite protuberante com diâmetro expandido a 4,0 mm, cravado em furo 5/32 polegadas



Fonte: próprio autor.

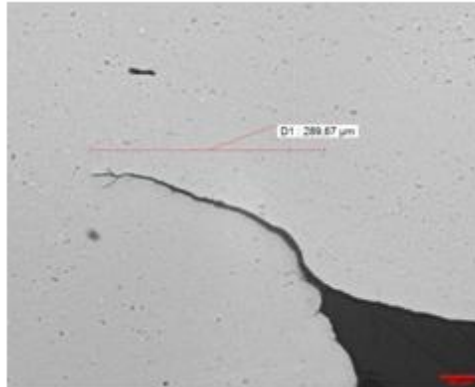
A Figura 23 mostra a micrografia da seção transversal da amostra, com ampliação de 20x. Não há preenchimento completo do furo pelo rebite. Como se nota, o fixador foi cravado de maneira inclinada e sua contra cabeça à esquerda nem mesmo se dobra sobre a chapa. A contra cabeça na parte direita da imagem chega a se expandir, mas não o suficientemente para uma boa fixação. Nota-se também que o rebite se desloca durante a conformação, sendo que a cabeça na parte superior esquerda da figura nem mesmo toca a chapa. Na Figura 24 está a região acima circulada, com ampliação de 100x, demonstrando uma dobra do material de 290 µm.

Figura 23: Ampliação do rebite protuberante com diâmetro expandido a 4,0 mm, cravado em furo 5/32 polegadas (ampliação 20x)



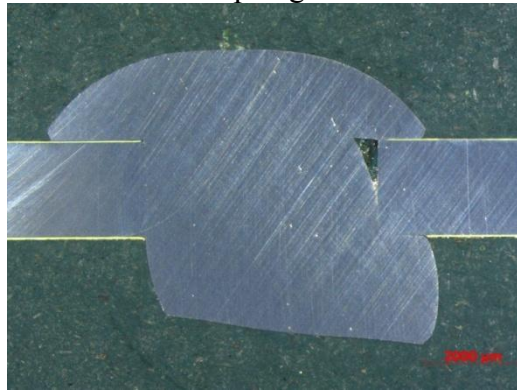
Fonte: próprio autor.

Figura 24: Dobra de material encontrado no rebite protuberante com diâmetro expandido a 4,0 mm, cravado em furo 5/32 polegadas (ampliação 100x)



Fonte: próprio autor.

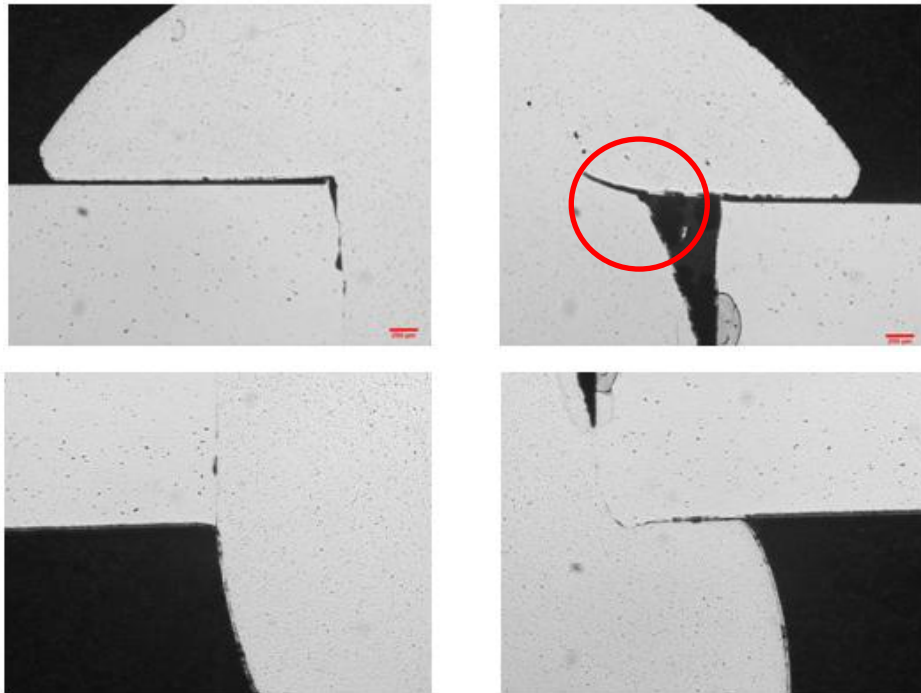
Figura 25: Rebite protuberante com diâmetro nominal de 5/32 polegadas, cravado em furo 3/16 polegadas



Fonte: próprio autor.

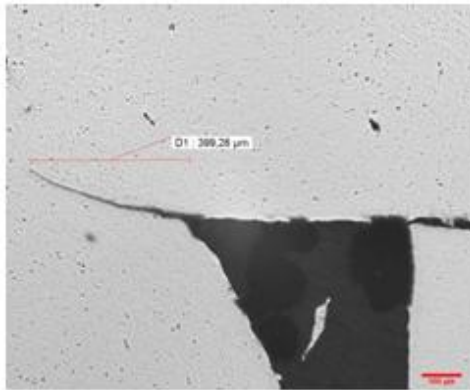
A Figura 26 exibe a micrografia da seção transversal da amostra, com ampliação de 20x. Não há preenchimento completo do furo pelo rebite. Como se nota, o fixador também foi cravado de maneira inclinada. A contra cabeça na parte direita da imagem chega a se expandir suficientemente, mas na parte esquerda ela sequer se dobra sobre a chapa. Na Figura 27 está a região acima circulada, com ampliação de 50x, demonstrando uma trinca de 400 µm.

Figura 26: Ampliação do rebite protuberante com diâmetro nominal de 5/32 polegadas, cravado em furo 3/16 polegadas (ampliação 20x)



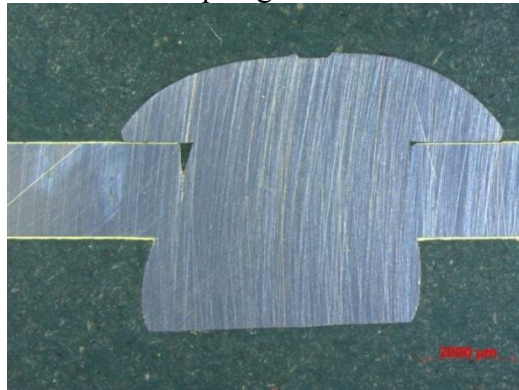
Fonte: próprio autor.

Figura 27: Trinca encontrada no rebite protuberante com diâmetro nominal de 5/32 polegadas, cravado em furo 3/16 polegadas (ampliação 50x)



Fonte: próprio autor.

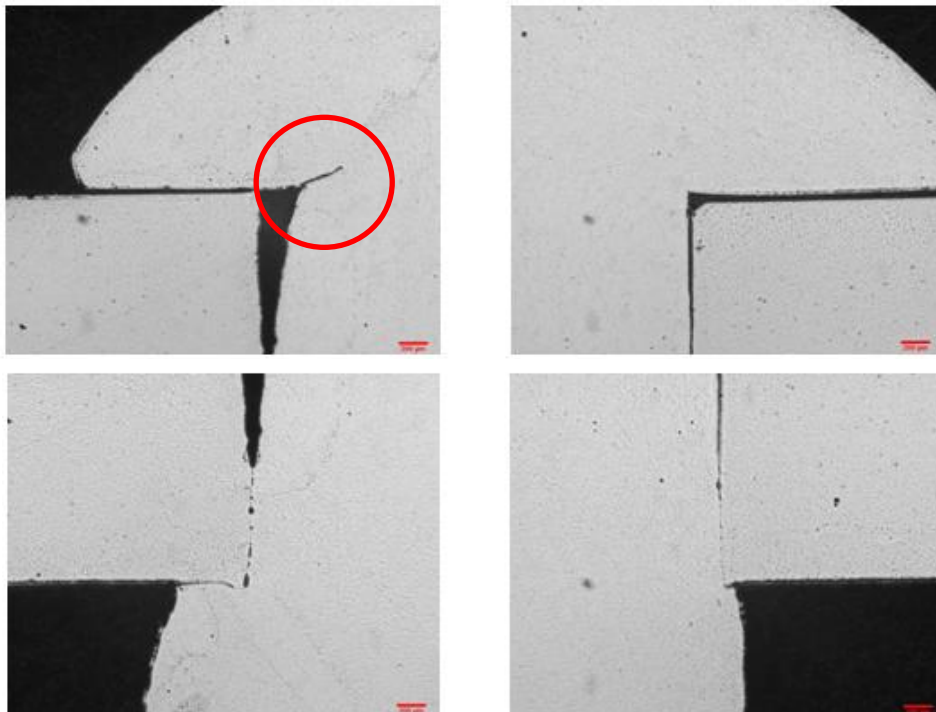
Figura 28: Rebite protuberante com diâmetro expandido a 4,7 mm, cravado em furo 3/16 polegadas



Fonte: próprio autor.

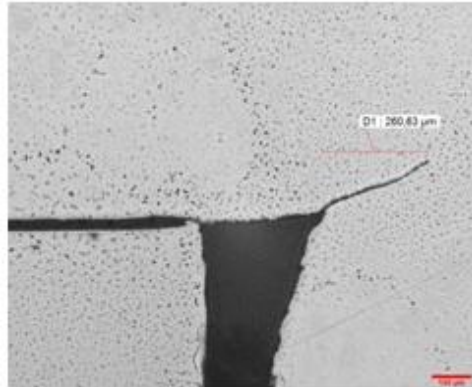
Na Figura 29 vê-se a micrografia da seção transversal da amostra, com ampliação de 20x. Não há preenchimento completo do furo pelo rebite. Fixador cravado ligeiramente de maneira inclinada, mas sua contra cabeça não chega a se expandir suficientemente para uma boa fixação. Na Figura 30 está a região acima circulada, com ampliação de 50x, demonstrando uma dobra do material de 260 μm .

Figura 29: Ampliação do rebite protuberante com diâmetro expandido a 4,7 mm, cravado em furo 3/16 polegadas (ampliação 20x)



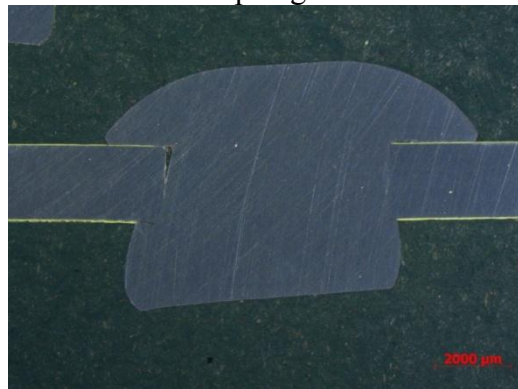
Fonte: próprio autor.

Figura 30: Dobra de material encontrado no rebite protuberante com diâmetro expandido a 4,7 mm, cravado em furo 3/16 polegadas (ampliação 50x)



Fonte: próprio autor.

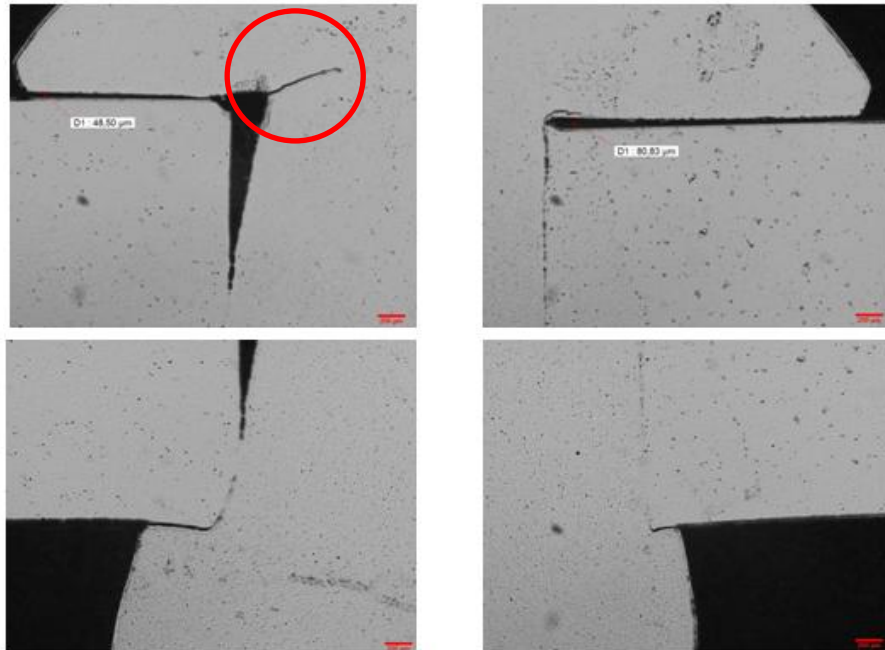
Figura 31: Rebite protuberante com diâmetro nominal de 3/16 polegadas, cravado em furo 7/32 polegadas



Fonte: próprio autor.

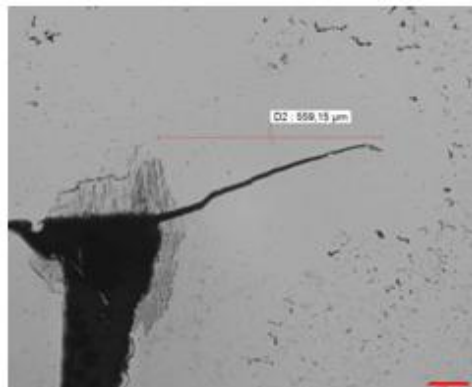
A Figura 32 exibe a micrografia da seção transversal da amostra, com ampliação de 20x. Não há preenchimento completo do furo pelo rebite. Como se nota, o fixador também foi cravado de maneira inclinada e a contra cabeça não chega a se expandir suficientemente para uma boa fixação, chegando a conformar a chapa. Na Figura 33 está a região acima circulada, com ampliação de 50x, demonstrando uma trinca 560 µm.

Figura 32: Ampliação do rebite protuberante com diâmetro nominal de 3/16 polegadas, cravado em furo 7/32 polegadas (ampliação 20x)



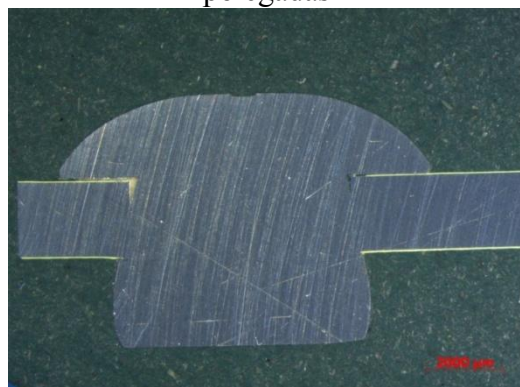
Fonte: próprio autor.

Figura 33: Trinca encontrada no rebite protuberante com diâmetro nominal de 3/16 polegadas, cravado em furo 7/32 polegadas (ampliação 50x)



Fonte: próprio autor.

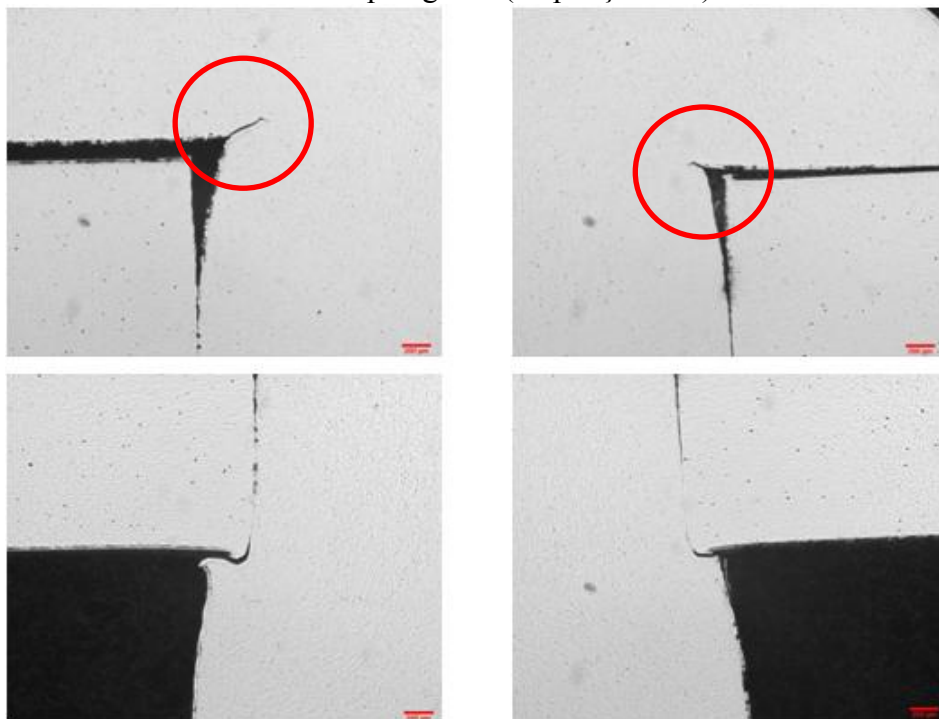
Figura 34: Rebite protuberante com diâmetro expandido a 5,7 mm, cravado em furo 7/32 polegadas



Fonte: próprio autor.

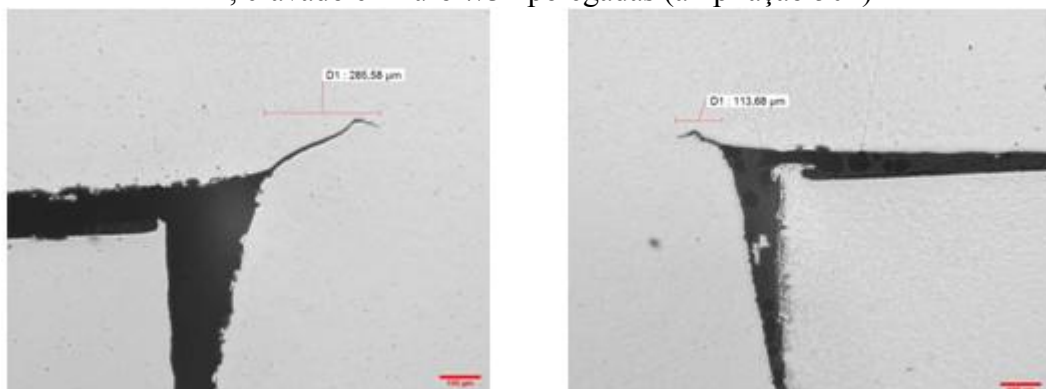
A Figura 35 mostra a micrografia da seção transversal da amostra, com ampliação de 20x. Não há preenchimento completo do furo pelo rebite. Apesar de a cravação não ser inclinada, a contra cabeça não chega a se expandir suficientemente para uma boa fixação, chegando a conformar a chapa. Na Figura 36 está a região acima circulada, com ampliação de 50x, demonstrando dobras em ambos os lados, com comprimentos de 265 μm e 113 μm na esquerda e direita das imagens, respectivamente.

Figura 35: Ampliação do rebite protuberante com diâmetro expandido a 5,7 mm, cravado em furo 7/32 polegadas (ampliação 20x)



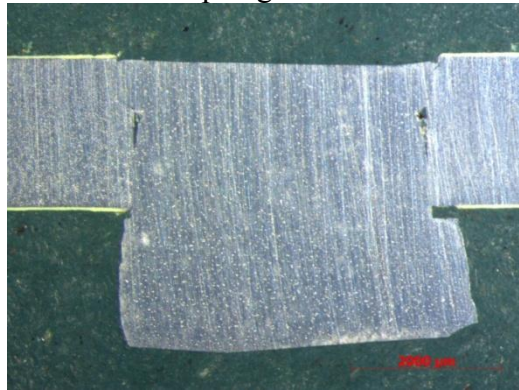
Fonte: próprio autor.

Figura 36: Dobra de material encontrado no rebite protuberante com diâmetro expandido a 5,7 mm, cravado em furo 7/32 polegadas (ampliação 50x)



Fonte: próprio autor.

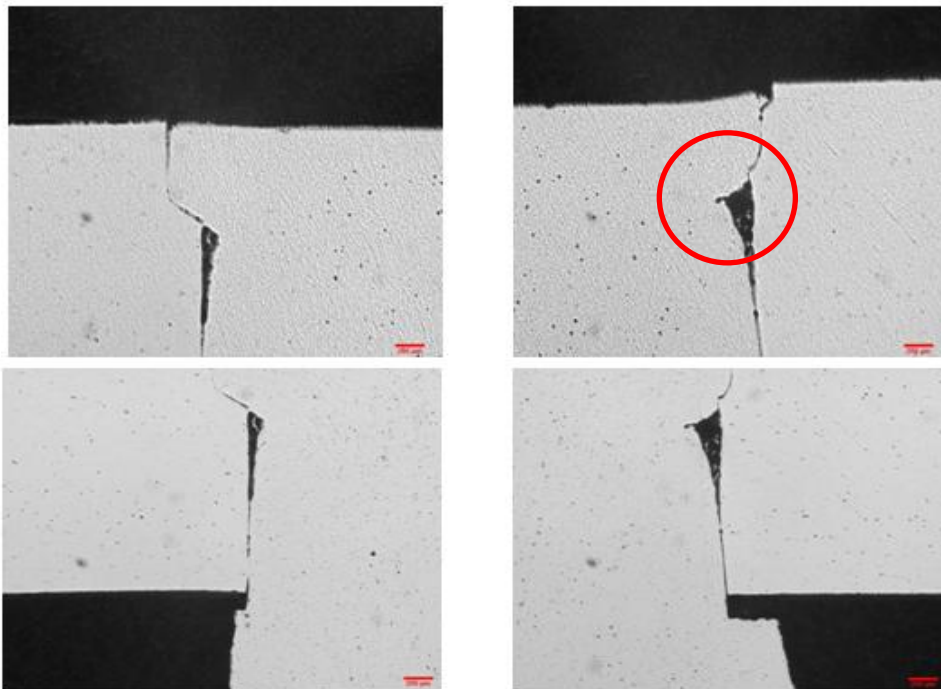
Figura 37: Rebite escareado com diâmetro nominal de 1/8 polegadas, cravado em furo 5/32 polegadas



Fonte: próprio autor.

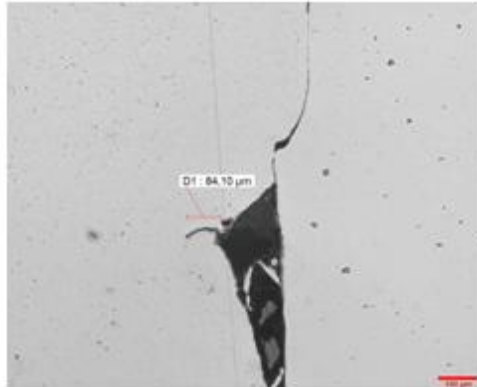
A Figura 38 exibe a micrografia da seção transversal da amostra, com ampliação de 20x. Não há preenchimento completo do furo pelo rebite. Apesar de a cravação não ser inclinada, a contra cabeça não chega a se expandir suficientemente para uma boa fixação, chegando a haver conformação do escareado da chapa e do rebite e deslocamento do fixador durante a compressão. Na Figura 39 está a região acima circulada, com ampliação de 50x, demonstrando uma dobra de 84 µm.

Figura 38: Ampliação do rebite escareado com diâmetro nominal de 1/8 polegadas, cravado em furo 5/32 polegadas (ampliação 20x)



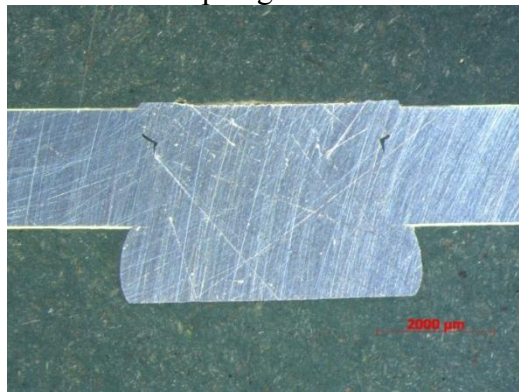
Fonte: próprio autor.

Figura 39: Dobra de material encontrado no rebite escareado com diâmetro nominal de 1/8 polegadas, cravado em furo 5/32 polegadas (ampliação 50x)



Fonte: próprio autor.

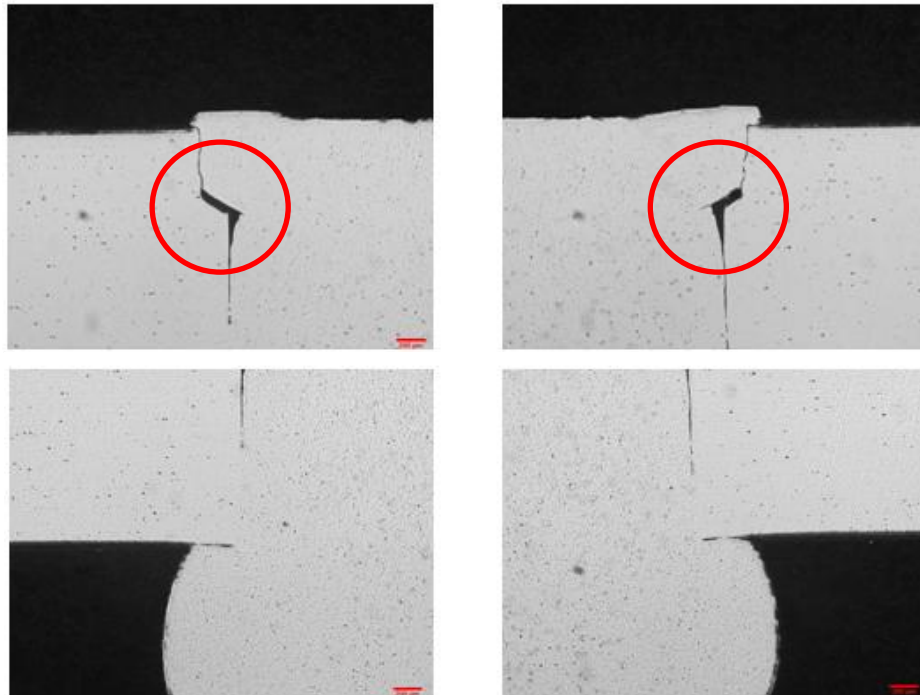
Figura 40: Rebite escareado com diâmetro expandido a 3,7 mm, cravado em furo 5/32 polegadas



Fonte: próprio autor.

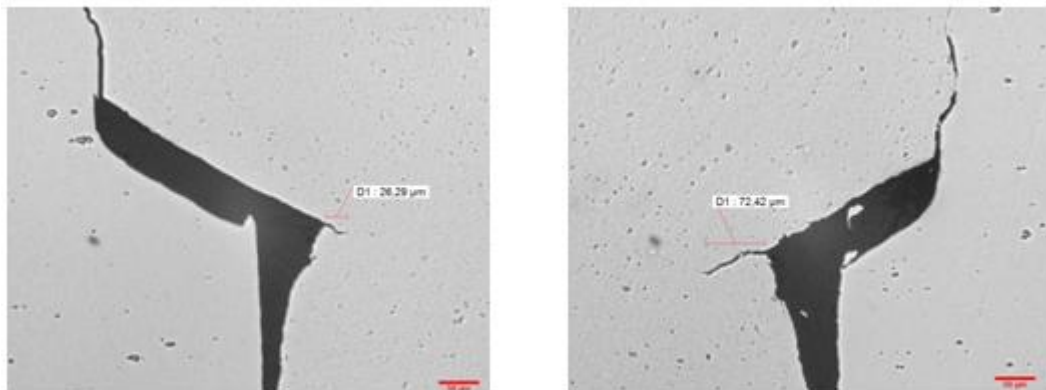
Na Figura 41 vê-se a micrografia da seção transversal da amostra, com ampliação de 20x. Não há preenchimento completo do furo pelo rebite, justamente na região de encaixe dos escareados. Aparentemente, a contra cabeça se expande suficientemente para uma boa fixação, entretanto a cabeça escareada não penetra no furo, ficando sobressalente na chapa, característica inaceitável para esse tipo de rebite. Na Figura 42 está a região acima circulada, com ampliação de 50x, demonstrando dobras em ambos os lados, com comprimentos de 26 µm e 72 µm na esquerda e direita das imagens, respectivamente.

Figura 41: Ampliação do rebite escareado com expandido a 3,7 mm, cravado em furo 5/32 polegadas (ampliação 20x)



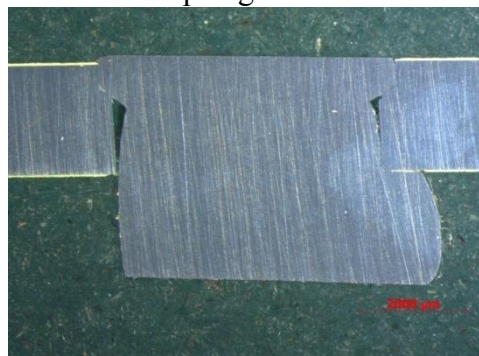
Fonte: próprio autor.

Figura 42: Dobra de material encontrado no rebite escareado com diâmetro expandido a 3,7 mm, cravado em furo 5/32 polegadas (ampliação 50x)



Fonte: próprio autor.

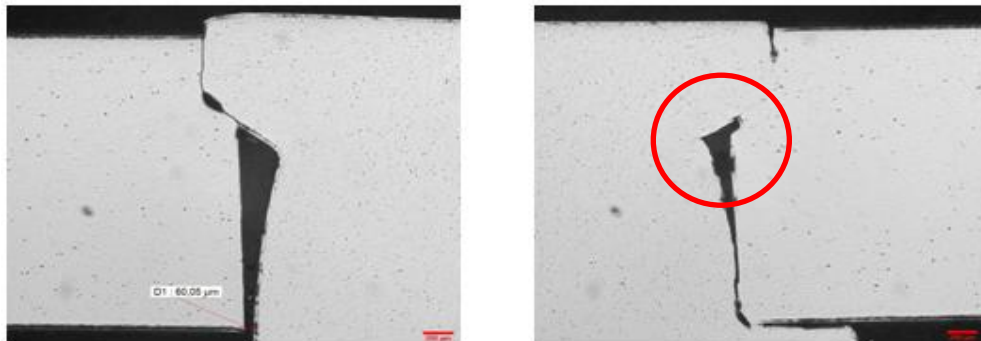
Figura 43: Rebite escareado com diâmetro nominal de 5/32 polegadas, cravado em furo 3/16 polegadas



Fonte: próprio autor.

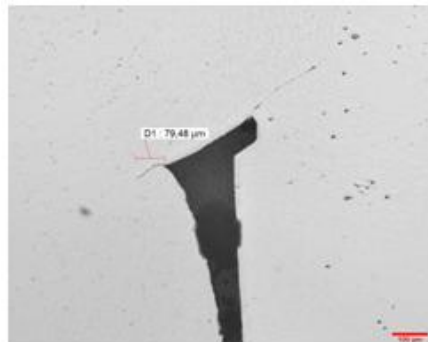
A Figura 44 exibe a micrografia da seção transversal da amostra, com ampliação de 20x. Não há preenchimento completo do furo pelo rebite. A cravação ocorre de maneira inclinada, com a contra cabeça do lado esquerdo não chegando a se expandir suficientemente para uma boa fixação, inclusive sequer tocando a superfície do furo mantendo uma folga de 60 μ m. Mais uma vez, a cabeça escareada não penetra no furo, ficando sobressalente na chapa o que é inaceitável para esse tipo de rebite. Na Figura 45 está a região acima circulada, com ampliação de 50x, demonstrando uma dobra de 79 μ m.

Figura 44: Ampliação do rebite escareado com diâmetro nominal de 5/32 polegadas, cravado em furo 3/16 polegadas (ampliação 20x)



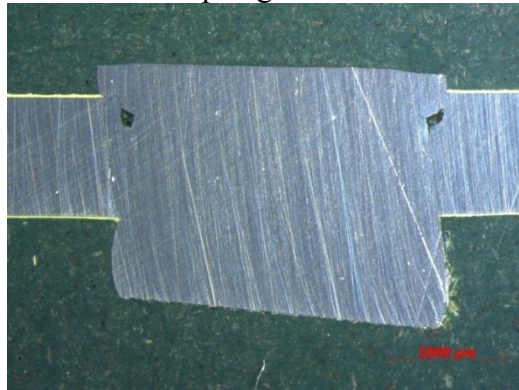
Fonte: próprio autor.

Figura 45: Dobra de material encontrado no rebite escareado com diâmetro nominal de 5/32 polegadas, cravado em furo 3/16 polegadas (ampliação 50x)



Fonte: próprio autor.

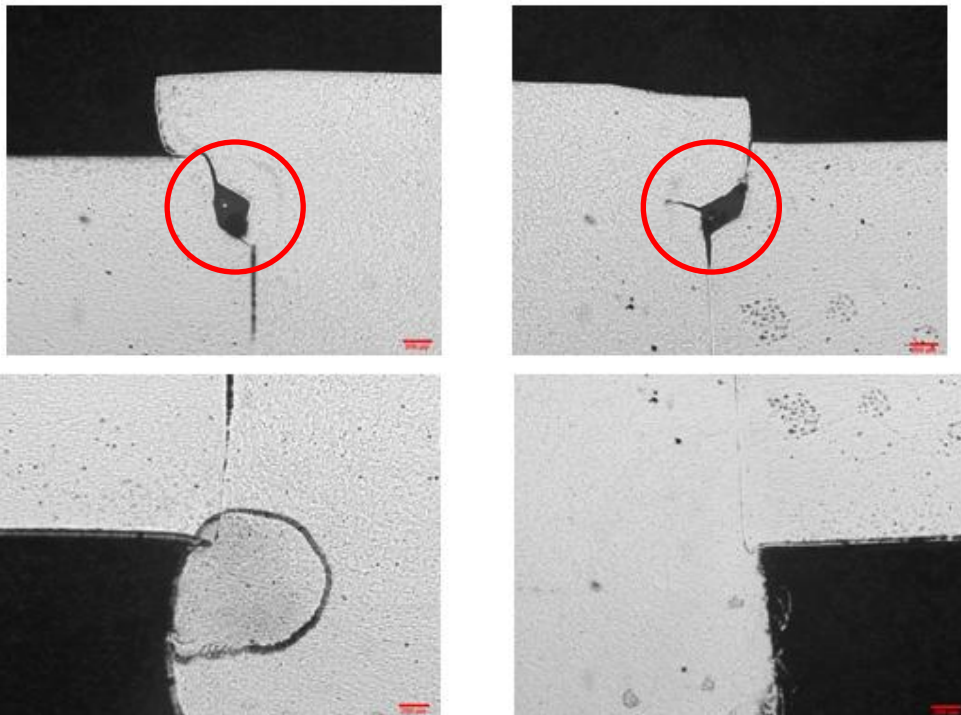
Figura 46: Rebite escareado com diâmetro expandido a 4,6 mm, cravado em furo 3/16 polegadas



Fonte: próprio autor.

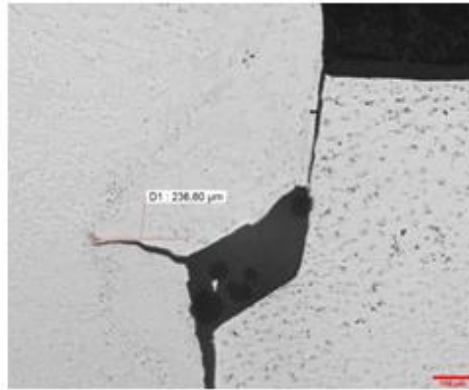
Na Figura 47 pode-se notar a micrografia da seção transversal da amostra, com ampliação de 20x. Não há preenchimento completo do furo pelo rebite, justamente na região de encaixe dos escareados. Cravação inclinada, sendo que a contra cabeça não chega a se expandir suficientemente para uma boa fixação, além de haver conformação do escareado da chapa e do rebite. Mais uma vez, a cabeça escareada não penetra no furo, ficando sobressalente na chapa. Na Figura 48 está a região acima circulada, com ampliação de 50x, demonstrando uma dobra de 236 μm .

Figura 47: Ampliação do rebite escareado com diâmetro expandido a 4,6 mm, cravado em furo 3/16 polegadas (ampliação 20x)



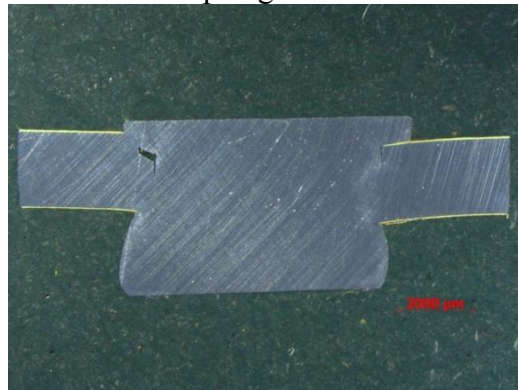
Fonte: próprio autor.

Figura 48: Dobra de material encontrado no rebite escareado com diâmetro expandido a 4,6 mm, cravado em furo 3/16 polegadas (ampliação 50x)



Fonte: próprio autor.

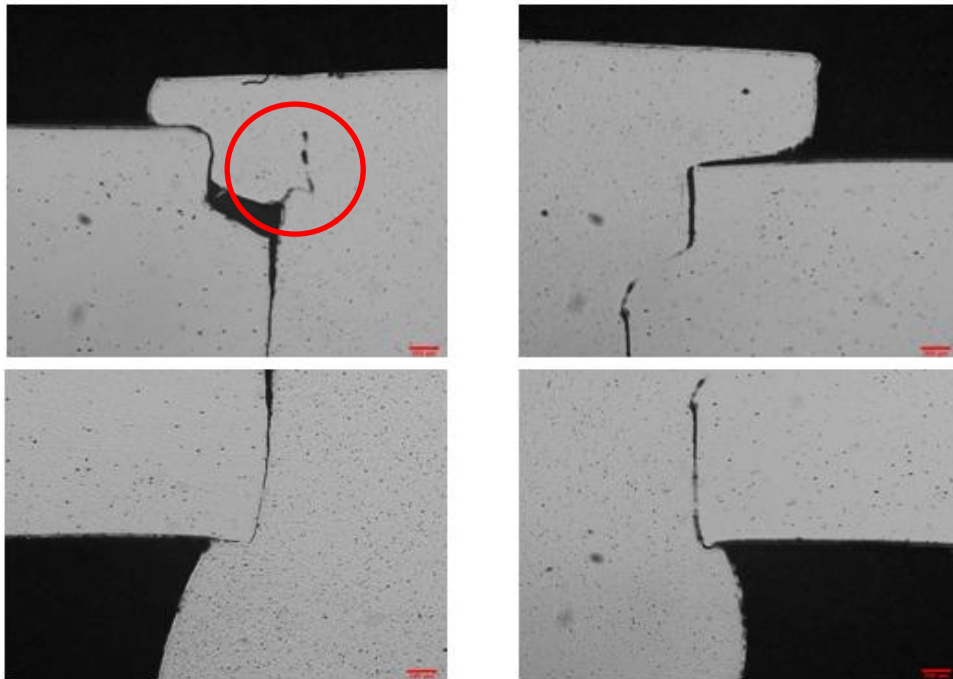
Figura 49: Rebite escareado com diâmetro expandido a 5,2 mm, cravado em furo 7/32 polegadas



Fonte: próprio autor.

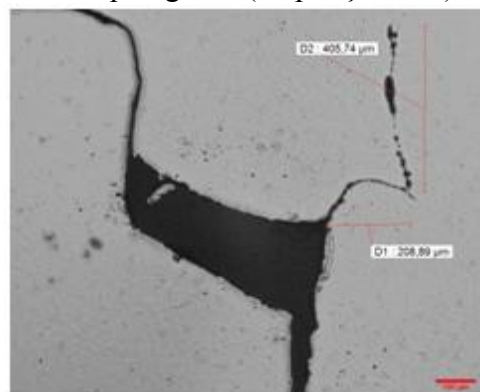
Na Figura 50 nota-se a micrografia da seção transversal da amostra, com ampliação de 20x. Não há preenchimento completo do furo pelo rebite, justamente na região de encaixe de um dos escareados. Cravação inclinada, sendo que a contra cabeça não chega a se expandir suficientemente para uma boa fixação, além de haver conformação do escareado do rebite. Mais uma vez, a cabeça escareada não penetra no furo, ficando sobressalente na chapa. Na Figura 51 está a região acima circulada, com ampliação de 50x, demonstrando uma trinca de 405 µm de altura por 209 µm de comprimento.

Figura 50: Ampliação do rebite escareado com diâmetro expandido a 5,2 mm, cravado em furo 7/32 polegadas (ampliação 20x)



Fonte: próprio autor.

Figura 51: Trinca encontrada no rebite escareado com expandido a 5,2 mm, cravado em furo 7/32 polegadas (ampliação 50x)



Fonte: próprio autor.

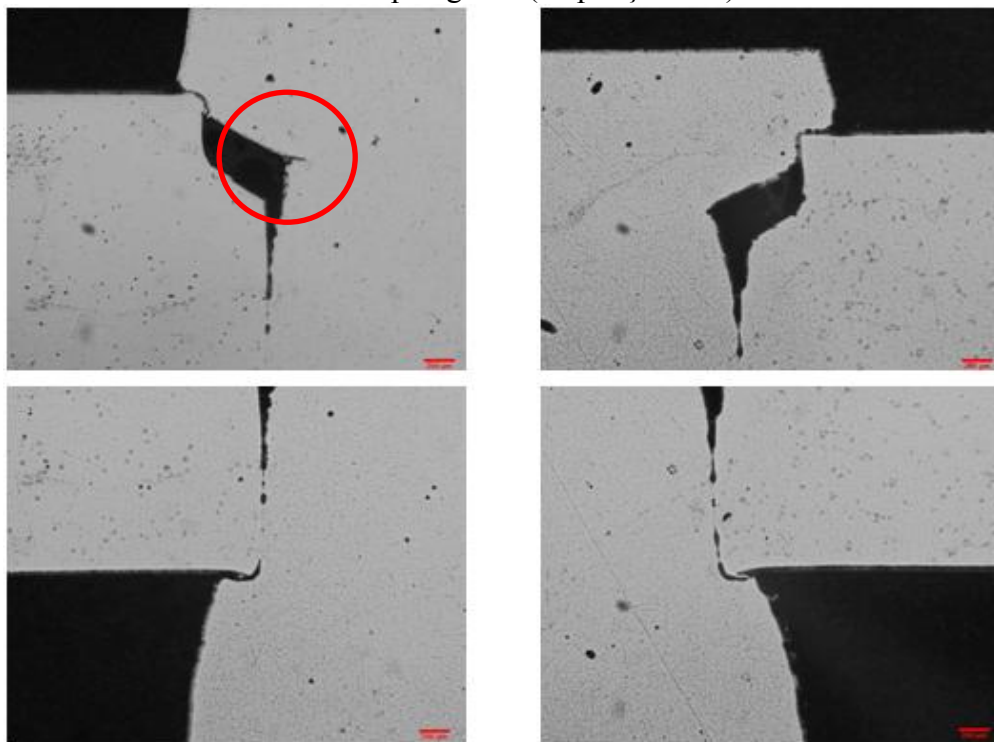
Figura 52: Rebite escareado com diâmetro expandido a 5,7 mm, cravado em furo 7/32 polegadas



Fonte: próprio autor.

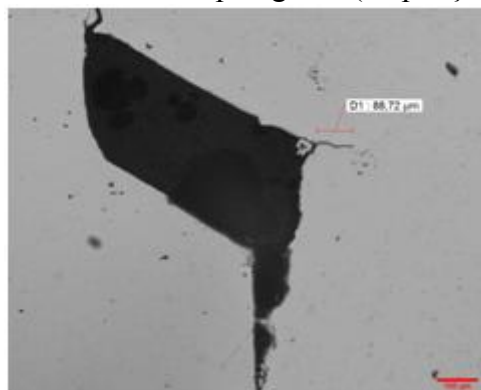
A Figura 53 exibe a micrografia da seção transversal da amostra, com ampliação de 20x. Não há preenchimento completo do furo pelo rebite, justamente na região de encaixe dos escareados. Apesar de a cravação não ser inclinada, a contra cabeça não chega a se expandir suficientemente para uma boa fixação, chegando a haver conformação do escareado do rebite. De novo, a cabeça escareada não penetra no furo, ficando sobressalente na chapa. Na Figura 54 está a região acima circulada, com ampliação de 50x, demonstrando uma dobra de 89 μm .

Figura 53: Ampliação do rebite escareado com diâmetro expandido a 5,7 mm, cravado em furo 7/32 polegadas (ampliação 20x)



Fonte: próprio autor.

Figura 54: Dobra de material encontrado no rebite escareado com expandido a 5,7 mm, cravado em furo 7/32 polegadas (ampliação 50x)



Fonte: próprio autor.

Não são aceitáveis folgas ou vãos entre o rebite e a chapa, devendo haver preenchimento completo do furo. Em 100% das amostras, sejam elas de rebites escareados ou protuberantes, encontraram-se folgas e instalações inclinadas, sendo que boa parte das amostras apresentam a cabeça conformada também inclinada.

Mesmo antes do corte da chapa, notava-se a conformação na cabeça do rebite escareado, uma vez que o rebite pré expandido depois de cravado tinha sua cabeça saliente na chapa, o que não é aceitável para este tipo de fixador. Esta saliência por si só já evidenciava o preenchimento incompleto do furo. Ocorre, durante a compressão para expansão do diâmetro do corpo, a conformação da cabeça escareada, alterando-se a angulação do escareado do rebite, o que impede o contato perfeito entre chapa e fixador. Esta característica contribui para a formação de vazios entre rebite e chapa, para a conformação tanto do escareado do furo quanto do escareado do rebite e para a saliência observada.

Quanto aos rebites protuberantes nenhuma suspeita era levantada em relação ao preenchimento do furo, sendo as folgas notadas apenas após o corte dos mesmos.

Os rebites instalados inclinados não são facilmente detectáveis a menos que o rebite seja cortado ao meio. Como se pode perceber, boa parte dos rebites foram instalados inclinados, podendo ter origem em dois fatores: a folga entre o furo e o rebite eram muito grandes ou compressão instável durante a fase de pré expansão do rebite. A contra cabeça conformada nestes casos fica também inclinada e não garante a plena fixação das chapas, podendo o rebite se soltar devido à aplicação das cargas ou devido à vibração da estrutura.

No quesito ruptura ou formação de trincas, estas não foram observadas a olho nu durante a fase de pré expansão e nem mesmo durante a fase de cravação final. Na análise em microscópio, notou-se a formação de trincas na região de concordância entre a cabeça e o corpo de alguns rebites. Na maior parte verificou-se a formação de dobras do material na mesma região, visto a grande deformação pela qual o rebite é submetido, o que ainda se passa por aceitável. Verifica-se que tanto as trincas quanto as dobras que surgem são acentuadas pela instalação inclinada do rebite.

4.3 Determinação do limite de esmagamento do rebite

O momento em que ocorre a aparição de trincas e fissuras no corpo do rebite não foi descoberto, chegando alguns corpos de prova a atingir 70% de deformação e sem nenhuma trinca no corpo de prova. A compressão foi interrompida neste valor porque a cabeça do

rebite começou a se romper, chegando uma parte a se desprender do restante. O tamanho diminuto do corpo de prova utilizado dificulta a identificação de tais rupturas. Dessa forma, fica impedida a simulação em softwares de elementos finitos, uma vez que é necessário descobrir em que momento da compressão começam a surgir as fissuras, para que se calcule o dano crítico acumulado e se defina o critério de falha.

Ainda assim, o nível de pré deformação alcançado durante o ensaio de cravação dos rebites é muito inferior ao nível de deformação atingido em laboratório para levantamento da curva de escoamento e bastante inferior ao nível atingido no ensaio de determinação do limite de esmagamento. Isto leva a crer que os rebites pré comprimidos para a expansão de seu diâmetro do corpo, não devem romper ou formar trincas, a menos que ele seja comprimido inclinado, o que o inutilizaria tanto pela ruptura quanto pelo formato inclinado, tal como a Figura 11 anterior.

O rebite escareado terá sua cabeça rompida quando submetido a grandes deformações na sua altura. Mesmo não conhecendo o limite de esmagamento do corpo do rebite, a cabeça deve falhar antes que o seu corpo.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Do ensaio de compressão para levantamento da curva de escoamento dos rebites nota-se uma boa repetibilidade dos valores levantados, o que inspira confiança em tais resultados. Esta curva é uma característica inerente ao material, mas como se pôde notar, sofre interferências das qualidades geométricas individuais dos rebites. Elas, quando combinadas com os respectivos limites de esmagamento, seriam parâmetros para o levantamento do dano acumulado crítico proposto por Cockcroft-Latham, podendo-se predizer a ruptura do corpo do rebite durante o processo de pré dilatação do rebite, antes de este ser cravado em definitivo.

Porém, a identificação do limite de esmagamento não pôde ser concluída, uma vez que mesmo a 70% de deformação da altura não se conseguiu identificar a formação de fissuras, mas identificou-se o rompimento da cabeça do rebite escareado. Isto é impeditivo ao proposto cálculo do dano acumulado por meio de softwares de elementos finitos.

Há de se expressar que a ruptura no corpo do rebite durante a compressão para expandir seu diâmetro já não era esperada na prática. Porém, efetuando-se o teste da cravação, notou-se que as deformações na altura necessárias nestes casos são bastante baixas e, no experimento realizado, não passaram de 30%. Comparando-se este valor com os valores obtidos no ensaio de compressão para levantamento da curva de escoamento (60% de deformação da altura) e com o valor alcançado durante a tentativa de identificação do limite de esmagamento (70% de deformação), chega-se à conclusão de que não haverá ruptura do corpo do rebite durante sua expansão pré cravação. A este fato soma-se a idéia de que para rebites escareados, antes de qualquer aparecimento de trincas no corpo do rebite, haverá a ruptura da sua cabeça. Para rebites de cabeça protuberante, grandes deformações na altura levam com facilidade à uma instabilidade, levando ao curvamento do corpo. Ou seja: os rebites estarão inutilizados antes mesmo que ocorra qualquer ruptura no corpo.

O levantamento do critério de falha talvez fosse bem sucedido caso fosse realizado tanto o levantamento da curva de escoamento quanto do limite de esmagamento para corpos de prova padrão, tais como os descritos por SCHAEFFER, KNOLL e LIMA (2007) e por BRITO (2014) em seus respectivos trabalhos. Corpos de provas maiores não estavam disponíveis.

Durante a dilatação por compressão dos rebites escareados ocorre a deformação também de sua cabeça, alterando o ângulo do escareado. Isto pôde ser notado logo na sua cravação, quando as cabeças se demonstravam salientes na chapa, característica que não deveria ser observada neste tipo de fixador. Só isto já basta para se concluir que a pré

expansão não é recomendada para tais rebites. A visualização em microscópio acrescenta ainda que esta deformação da cabeça seja um possível gerador da folga entre chapa e rebite na cravação final, além de fazer com que a própria chapa, na região do furo em contato com a cabeça, acabe se conformando plasticamente.

Os rebites de cabeça protuberante não tiveram o preenchimento de seus furos diferente do preenchimento dos furos de cabeça escareada. No mais, algumas contra-cabeças se formaram descentralizadas e inclinadas, o que confere a não aplicabilidade deste procedimento a rebites protuberantes também. Em ambos os tipos de rebites houveram instalações inclinadas, por haver uma folga muito grande entre chapa e rebite ou por instabilidade ocorrida na pré compressão, podendo ainda estar relacionada à angulação do escareado. Tais inclinações podem ter sido catalisadoras das trincas encontradas em alguns rebites e das dobras que foram encontradas com maior frequência.

Em resumo, apesar de se concluir que o corpo do rebite não romperá durante a pré expansão de seu diâmetro, o preenchimento dos furos por rebites pré expandidos não atinge a expectativa. Em 100% dos casos analisados houve folga entre o rebite e a chapa, o que é inadmissível. Além do mais, a formação da contra cabeça se dá de forma inclinada, o que preocupa do ponto de vista de fixação da estrutura, que pode se soltar por aplicação de carga ou por simples vibração. Assim sendo, o aumento do diâmetro de qualquer tipo de rebite por meio de sua compressão não é recomendado quando a diferença entre o diâmetro nominal do rebite e o furo estiver próximo a 1/32 polegadas, como no experimento, por apresentar características que vão contra a fixação segura das partes de uma estrutura.

Para que o estudo fique completo, deve-se ainda reduzir a diferença de 1/32 polegadas, produzindo-se brocas especiais para tais furações e repetindo-se os procedimentos aqui descritos. Há expectativa de que diferenças menores entre furo e diâmetro do rebite possam gerar preenchimentos aceitáveis, devendo-se verificar a inclinação e a formação de trincas. No geral, quando ocorrerem desvios de processo, estes não passarão de 1/32 polegadas.

REFERÊNCIAS

AIRCRAFT SPRUCE AND SPECIALTY Co: RED BOX 737 RIVET GUN KIT. Disponível em:

<http://www.aircraftspruce.com/catalog/topages/rivetset737.php?CHOSEN_LANGUAGE=en>. Acesso em: 12 dez. 2014.

ÁVILA, M. C.; GRDNER, J. D.; REICH-WEISSER, C.; VIJAYA-RAGHAVAN, A.; DORNFELD, D. Strategies for Burr Minimization and Cleanability in Aerospace and Automotive Manufacturing. SAE Transactions Journal of Aerospace, Berkeley, v. 114, n. 1, p. 1073-1082, jan. 2006.

BRITO, Alberto Moreira Guerreiro. Previsão de dano no forjamento a frio: Classificação do forjamento varia de acordo com a temperatura em que a peça é exposta. 2014. Coluna P&D - Revista FORGE online. Disponível em: <<http://www.revistaforge.com.br/coluna-pd/previsao-de-dano-no-forjamento-a-frio-e-a-morno-de-acos/1879>>. Acesso em: 14 dez. 2014.

BRUHN, Elmer Franklin. Analysis and Design of Flight Vehicle Structures. Carmel, USA: Jacobs Publishing, 1973.

COLLINS, Jack A.; BUSBY, Henry R.; STAAB, George H..Mechanical Design of Machine Elements and Machines. Hoboken, Nj: John Wiley & Sons, 2010. 890 p.

COPCO BRASIL LTDA: RRH06P-TS: Rebitador pneumático, com amortecimento de vibração. Disponível em: <<http://www.atlascopco.com.br/brbr/products/ferramentas-para-remo%C3%A7%C3%A3o-de-materiais/1450560/1468315/>> Acesso em: 12 dez. 2014

EGUTI, C. C. A.; TRABASSO, L. G.; GOMES, J. O. An Experimental Orbital Drilling Device for Automating the Drill Process of Aeronautical Structures, São José dos Campos, São Paulo. 2008.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Aviation Maintenance Technician Handbook - Airframe. Oklahoma City, Oklahoma, 2012. Disponível em: <http://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/amt_airframe_handbook/>. Acesso em: 20 ago. 2014.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. AC 43.13-1B - Acceptable Methods, Techniques, and Practices - Aircraft Inspection and Repair, Oklahoma City, Oklahoma. 1998. 646p. Disponível em: <http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/Chapter_04.pdf>. Acesso em 11 ago. 2014.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. AC65 15-A - Airframe and Powerplant Mechanics, Oklahoma City, Oklahoma. 1972. Disponível em: <http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_43.13-1B_w-chgl.pdf>. Acesso em 11 ago. 2014.

GORDO, Nívia; FERREIRA, Joel. Elementos de Máquinas. [s. L.]: Senai, 2010. 425 p. Disponível em: <<https://fagnerferraz.files.wordpress.com/2010/10/elementos-de-mc3a1quinas.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2014.

KARWA, R. A Text Book of Machine Design. 1st. ed. Golden House, Daryaganj: Firewall Media, 2002. 948 p.

KIHLMAN, H. Affordable Automation for Airframe Assembly – Development of Key Enabling Technologies. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Universidade de Linköping, Linköping, Suécia, 2005, p. 286.

KIM, Hong-seok; IM, Yong-taek; GEIGER, Manfred. Prediction of Ductile Fracture in Cold Forging of Aluminum Alloy. Journal Of Manufacturing Science And Engineering.[S.l.], p. 336-344. ago. 1999.

MESSLER, R. W. Joining of Materials and Structures: From Pragmatic Process to Enabling Technology. Burlington: Butterworth-Heinemann, 2004.

MIL-R-47196A, Military Specification: Rivets, Buck Type, Preparation for and Instalation of. 06 set 1977. Disponível em: <<http://www.recreationalflying.com/tutorials/scratchbuilder/MIL-R-47196A.pdf>>. Acesso em 22 ago 2014.

NIU, Michael C. Y. Airframe Structural Design: Practical Design Information and Data on Aircraft Structures. 2. ed. Hong Kong/Los Angeles: Hong Kong Conmilit Press Ltd/Technical Book Compan, 1989.

PINTO, Giuliano T. B. Análise da Influência da Geometria de Brocas Especiais na Furação de Chapas Finas Aeronáuticas. 2010. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, UFSC, Florianópolis, 2010.

RODRIGUES, Jorge; MARTINS, Paulo. Tecnologia Mecânica: Tecnologia da Deformação Plástica. 2. ed. Lisboa: Escolar, 2010.

SCHAEFFER, Lirio; KNOLL, Pedro; LIMA, Diego. Estudo descreve a obtenção da curva de escoamento do alumínio por ensaios de compressão. *Corte & Conformação de Metais*, [s. L.], n. 28, p.74-79, ago. 2007. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/ldtm/publicacoes/07_04.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2014.

U.S. Industrial Tool Company: Alligator Squeeze Riveters & Jaws. Disponível em: <<http://www.ustool.com/riveting-tools/alligator.html?osCsid=866a0cheapg4ahjhmm62p3h2n1>>. Acesso em: 03 jan. 2015