

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA

GABRIELA LUIZA GOMES BAYER

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O PROCESSO DE UNIÃO DE CHAPAS POR  
CLINCHING E REBITAGEM CONVENCIONAL

Joinville

2022

GABRIELA LUIZA GOMES BAYER

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O PROCESSO DE UNIÃO DE CHAPAS POR  
CLINCHING E REBITAGEM CONVENCIONAL

Trabalho apresentado como requisito para  
obtenção do título de bacharel no Curso de  
Graduação em Engenharia Automotiva do  
Centro Tecnológico de Joinville da  
Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Vieira da Cunha

Joinville

2022

GABRIELA LUIZA GOMES BAYER

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O PROCESSO DE UNIÃO DE CHAPAS POR  
CLINCHING E REBITAGEM CONVENCIONAL

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Automotiva, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 22 de março de 2022.

**Banca Examinadora:**

---

Dr. Tiago Vieira da Cunha  
Orientador / Presidente

---

Dr. Evandro Cardozo da Silva  
Membro  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Dr. Yesid Ernesto Asaff Mendoza  
Membro  
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a minha família  
que sempre me apoiou e incentivou.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pelo dom da vida, por me guiar, proteger e por me conceder a família que tenho, especialmente, pelos meus pais Eloise e Sandro Gomes. Obrigada por todo amor, educação, dedicação e apoio durante toda minha vida.

Ao meu esposo, William Bayer, por todo suporte, parceria e carinho durante os quatorze anos de convivência.

À Empresa GPTECH, especialista na tecnologia de clinching, em especial ao diretor Luis Eduardo Poletti pela oportunidade de trabalho e conhecimento adquirido ao longo dos anos além de todo o apoio no desenvolvimento técnico deste trabalho.

Ao Professor Dr. Tiago Vieira da Cunha pela orientação, incentivo e dedicação à concretização deste trabalho.

À Universidade Federal de Santa Catarina e a todos os professores que ao longo de toda a graduação contribuíram para minha formação acadêmica.

A todos meus familiares e amigos que aguardam a conclusão deste curso com grande entusiasmo.

“Procure ser uma pessoa de valor, em vez de procurar ser uma pessoa de sucesso, o sucesso é consequência.” (Albert Einstein).

## RESUMO

Na indústria metal mecânica existe a necessidade constante de unir chapas metálicas. Boa parte das indústrias faz uso dos processos convencionais e já amplamente difundidos, como soldagem, rebiteagem, fixação por parafuso. Um processo vem ganhando cada vez mais adesão, especialmente no setor automobilístico, pelo fato de realizar a união, inclusive em mais de duas chapas, sem alterar a microestrutura, composição e resistência dos materiais envolvidos. Este processo que vem se disseminando é o processo de união por conformação mecânica a frio, clinching, que tem despertado o interesse por benefícios de processo e custo, mas que requer validação no quesito de resistência para assegurar sua implementação de forma criteriosa e segura. Este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo comparativo de resistência mecânica em combinações de duas e três chapas, entre o processo de rebiteagem convencional que envolve furação e inserção de um rebite maciço como terceiro elemento, e do processo de união de chapas por conformação mecânica (clinching), a fim de obter análise dos parâmetros de resistência mecânica para eventual validação das uniões obtidas. Os dois processos são comparados e analisados por meio de ensaios laboratoriais, no qual são realizadas amostras em corpo de prova, submetidas a esforços de cisalhamento e destacamento em critérios igualmente estabelecidos. Por fim, a conclusão do trabalho e análise dos resultados comparativos ocorre de forma semelhante às práticas vivenciadas pela indústria em geral, que busca viabilizar oportunidades de melhorias de processo e redução de custo, mas que deve de forma criteriosa confrontar os resultados de resistência obtidos pelo processo em desenvolvimento, avaliando o esforço e aplicabilidade requeridos pelo produto em questão, assegurando assim, uma tomada de decisão criteriosa e assertiva, em substituir ou manter o processo atual, baseado não apenas em aspectos de processo, que possuem naturalmente motivações comerciais, mas principalmente garantindo aspectos técnicos como a resistência da união.

**Palavras-chave:** Clinching. Rebite. União. Conformação. Resistência mecânica.

## ABSTRACT

There are different methods to fix metallic materials in the industry market, and even with new methods getting space, conventional methods such as welding, spot welding, riveting still are predominant into the general industry. The clinching technology is a method that is growing in the last years, especially in the automotive industry which requires solutions to fix different materials and thickness with continuous focus for cost-reduction in comparison to the current and most common methods. Clinch or clinching, as is internationally known, is basically a joining system able to fix materials without changing the materials surface and composition and without use of additional fasteners such as screws or rivets as a third element. This paperwork has the objective to do a deep study about the clinching system and evaluate it into a study case (real automotive application) compared with the riveting process as the original method. This job would not only understand in detail both systems as a fixation method for metallic materials, but would also compare mechanical resistance for both process results after laboratory tests to evaluate the viability to replace the riveting to clinching. The main objective is to share the analyzes involved in a practical and real decision in the industry market in front of an opportunity/ possibility to change the method, based not only by cost saving, that of course is a relevant motivation, but also and especially according to all technical aspects to achieve the best decision.

**Keywords:** Clinching. Rivet. Union. Conformation. Mechanical resistance.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação dos UCCF sem material auxiliar.....	18
Figura 2 – Processo do clinching.....	18
Figura 3 – Processos de União .....	19
Figura 4 – Clinching com cisalhamento .....	20
Figura 5 – Clinching sem cisalhamento – matriz rígida.....	20
Figura 6 – Clinching sem cisalhamento – matriz com lamela móvel.....	21
Figura 7 – Conjunto ferramentas de clinching .....	22
Figura 8 – Matriz para clinching .....	22
Figura 9 – Dimensões avaliadas em um ponto clinching.....	23
Figura 10 – Medidor Externo .....	23
Figura 11 – Controle de qualidade clinching.....	24
Figura 12 – Teste de Separação.....	24
Figura 13 – Corpo de prova ISO/DIS 14273 e ANSI/AWS C1.4M/C1.4M:2009 .....	25
Figura 14 – Gráfico de “Carga x Deslocamento” para cisalhamento e tração .....	25
Figura 15 – Modos de falha em ensaios de cisalhamento .....	26
Figura 16 – Processo de clinching.....	27
Figura 17 – Catálogo BTM.....	27
Figura 18 – Principais aplicações do processo de clinching .....	28
Figura 19 – Partes de um rebite.....	29
Figura 20 – Classificação dos rebites maciços .....	30
Figura 21 – Junta sobreposta (a) e Junta de topo com cobrejunta dupla (b) .....	31
Figura 22 – Durômetro analógico e medidor digital .....	33
Figura 23 – Informações técnicas da chapa de alumínio 0,8 mm / liga 5050C.....	34
Figura 24 – Informações técnicas do perfil de alumínio 1,5 mm / liga 5052.....	34
Figura 25 – Informações técnicas chapa de aço ASTM A653 .....	34
Figura 26 – Combinações e características das chapas .....	35
Figura 27 – Processo V-LOC .....	36
Figura 28 – Punção V-LOC.....	37
Figura 29 – Extrator V-LOC .....	37
Figura 30 – Matriz V-LOC.....	38

Figura 31 – Modelo corpos de prova.....	38
Figura 32 – Modelo da prensa laboratório .....	39
Figura 33 – Formação e ajuste do ponto.....	39
Figura 34 – Conjunto amostral .....	40
Figura 35 – Máquina universal de ensaios .....	41
Figura 36 – Cortes dos pontos de clinching .....	41
Figura 37 – Microscópio .....	42
Figura 38 – Formação de trincas .....	42
Figura 39 – Corte Ponto Aprovado .....	43
Figura 40 – Dimensões do Rebite .....	44
Figura 41 – Dimensões reais do rebite utilizado .....	44
Figura 42 – Amostra com rebite .....	45
Figura 43 – Relatório comparativo de amostra .....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ensaio realizados.....	33
Tabela 2 – Resultados dos testes com Clinching.....	46
Tabela 3 – Resultados dos testes com Rebite.....	47

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

A.C – Antes de Cristo

ANSI – American National Standards Institute

AWS – American Welding Society

CBA – Companhia Brasileira de Alumínio

DIN – Deutsches Institut für Normung

ISO – International Organization for Standardization

NBR – Norma Brasileira

UCCF – União de Chapas por Conformação à Frio

ZTA – Zona Termicamente Afetada

## LISTA DE SÍMBOLOS

AD – Anvil Depht (pol)

A – Chapa Lado do Punção (mm)

B – Chapa Lado da Matriz (mm)

C – Diâmetro do Punção (pol)

D ou BD – Diâmetro do botão (mm)

G ou CT – Cap Thickness (mm)

Ø – Diâmetro (mm)

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
1.1.	OBJETIVOS.....	15
1.1.1.	Objetivo Geral .....	16
1.1.2.	Objetivos Específicos .....	16
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	17
2.1.	UNIÃO DE CHAPAS COM CLINCHING.....	17
2.1.1.	Classificação dos Conceitos de Clinching sem Material Auxiliar .....	19
2.1.1.1.	Clinching com Cisalhamento.....	20
2.1.1.2.	Clinching sem Cisalhamento – Matriz Rígida.....	20
2.1.1.3.	Clinching sem Cisalhamento – Matriz com Lamela Móvel.....	21
2.1.2.	Características do Processo de Clinching.....	21
2.2.	UNIÃO DE CHAPAS COM REBITE.....	29
2.2.1.	Características do Processo de Rebite .....	31
3.	METODOLOGIA.....	32
3.1.	ENSAIO DE CLINCHING .....	32
3.1.1.	Especificação das Uniões e Materiais .....	33
3.1.2.	Definição das Ferramentas de Clinching.....	35
3.1.3.	Corpos de Prova .....	38
3.1.4.	Montagem das Amostras .....	38
3.1.5.	Ensaio de Tração .....	40
3.1.6.	Avaliação dos Parâmetros do Ponto .....	41
3.2.	ENSAIO DO REBITE.....	43
3.2.1.	Especificação do Rebite .....	44
3.2.2.	Corpos de Prova .....	45
5.	RESULTADOS .....	46

6. CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS .....	51
ANEXO A – TABELA CBA- LIGA 5050C.....	54
ANEXO B – TABELA CBA- LIGA 5052.....	55
ANEXO C – TABELA USIMINAS- ASTM A653 .....	57
ANEXO D – DETALHAMENTO DO REBITE .....	58
ANEXO E – TABELA DE ENSAIO GPTECH .....	59

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, existem diversos tipos de processos de união de chapas metálicas a serem considerados na criação de um projeto de produto. Com a ampla variedade de materiais e diferentes acabamentos de superfícies das chapas, a escolha do processo mais adequado se faz cada vez mais relevante diante das particularidades das diferentes tecnologias.

Sarmiento, Sarmiento e Batalha (2011), apontam algumas vantagens da substituição da união produzida pelo clinching como a não geração de Zona Térmica Afetada (ZTA), a possibilidade de unir chapas de diferentes materiais, não emissão de gases, aumento da resistência em fadiga por baixos esforços e não alteração da proteção anticorrosiva da chapa.

O clinching não é considerado uma tecnologia relativamente nova, pois em 1897 na Alemanha foi emitida a primeira patente para esse processo e era denominada pressunião (VARIS; LESPITÖ, 2003). Segundo Reinert (2015), o desenvolvimento da tecnologia para a indústria ocorreu somente em 1986 pela BTM Corporation nos Estados Unidos, que em 1993 foi a primeira empresa a sancionar uma patente para o clinching.

Segundo Carboni, Beretta e Monno (2006), o processo clinching é uma tecnologia que permite unir duas ou mais chapas metálicas do mesmo ou de diferentes materiais e espessuras, independentemente do estado de superfície (lubrificado, oxidado, revestido ou pintado) e tem como objetivo o travamento mecânico por intermédio da deformação plástica entre os componentes. A deformação é imposta por uma ferramenta constituída por um material mais duro que os materiais da junta. No entanto, ainda há relativamente poucas publicações e conceitos teóricos sobre o processo clinching. Diante disso, o presente trabalho propõe realizar um estudo comparativo técnico entre os processos de clinching e o de união através de rebite convencional em materiais distintos, aço e alumínio, em combinações de duas e três chapas, avaliando assim, as particularidades de cada processo e as resistências mecânicas obtidas nas diferentes combinações ensaiadas.

### 1.1. OBJETIVOS

Definimos os objetivos deste trabalho para resolver a problemática da união de materiais distintos, aço e alumínio, em combinações de duas e três chapas.



### **1.1.1. Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um estudo comparativo da resistência mecânica obtida na união de duas e três chapas de aço e alumínio, unidas por processos clinching e rebiteagem convencional.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Entender e avaliar a resistência mecânica da união das chapas obtidas pelo processo clinching;
- Realizar ensaios para avaliar a resistência mecânica das uniões em corpos de prova sob esforço de cisalhamento e destacamento;
- Comparar os resultados de resistência mecânica obtidos entre as tecnologias de clinching e rebiteagem convencional.
- Avaliar a substituição do processo de rebiteagem convencional para o processo clinching.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Batalha (2003), a união de materiais é a ligação permanente ou uma colocação em contato de duas ou mais peças com uma determinada forma geométrica ou peças com material sem forma definida onde a composição do material é alterada e misturada como um todo.

Para Hoffmann (2013), os processos de união podem ser classificados em união móvel ou união permanente, sendo o uso de parafuso, porcas e arruelas as uniões móveis mais comuns e as uniões permanentes as uniões realizadas por rebites, conformação e soldagem.

Um método de união permanente por conformação relativamente novo é o processo de clinching (VARIS, 2006). O processo de Clinching, segundo Carboni et al. (2006), é resultado de uma deformação plástica de chapas que são travadas mecanicamente ao serem prensadas por um material mais duro que os componentes a serem unidos.

O clinching também conhecido como clinch, press joining ou o processo de união de chapas por conformação à frio (UCCF) possui uma aplicação largamente difundida no setor automobilístico. Segundo Sarmiento (2012), na indústria automotiva as vantagens dessa união agregam valor ao produto em decorrência da redução de massa e consequentemente de combustível; da melhora da suspensão devido ao aumento resistência ao torque; da redução de ruído em razão da melhora da aerodinâmica e da segurança dos passageiros em virtude da melhor distribuição das cargas durante o impacto.

Ao permitir unir materiais variados, metálicos ou não metálicos gerando poucas modificações na composição do material o clinching auxilia para um controle mais simples de qualidade (MORI et al., 2013).

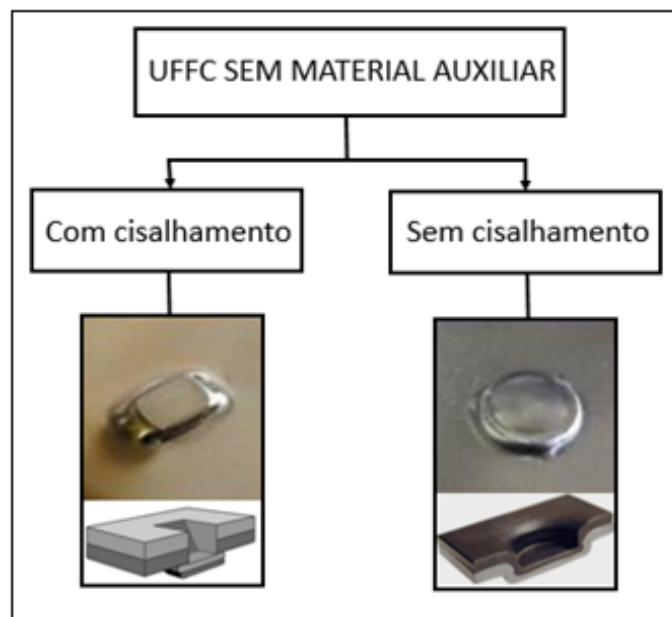
### 2.1. UNIÃO DE CHAPAS COM CLINCHING

De acordo com Sarmiento (2012) o processo de união de chapas por conformação à frio (UCCF) sem material auxiliar é classificado em dois grupos principais, conforme ilustrado na Figura 1.

Na união por clinching nenhum elemento de ligação adicional é utilizado (VARIS; LESPITÖ, 2003). Sendo assim, o clinching é classificado como um processo de conformação à frio sem material auxiliar com ou sem incisão no local. Segundo Tenório (2016), a operação

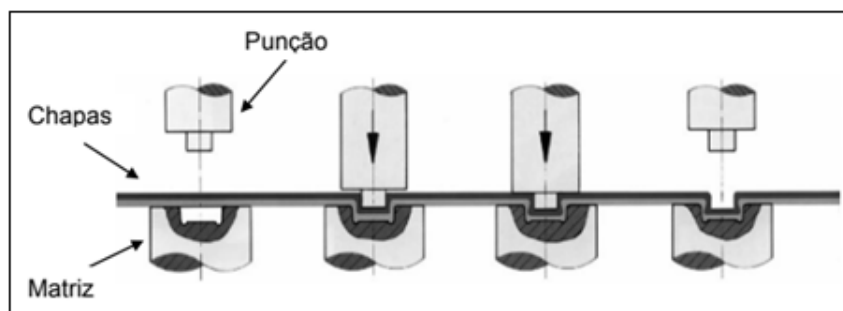
do clinching assemelha-se ao processo de estampagem, sendo a diferença devido ao intertravamento mecânico das chapas realizada por forjamento quando as chapas são comprimidas no fundo da matriz e o material das chapas escoam para a periferia formando o travamento das chapas de acordo com a geometria da matriz. A Figura 2 representa o processo de execução de uma união por clinching.

Figura 1 – Classificação dos UCCF sem material auxiliar



Fonte: Autor (2022).

Figura 2 – Processo do clinching



Fonte: Varis (2006).

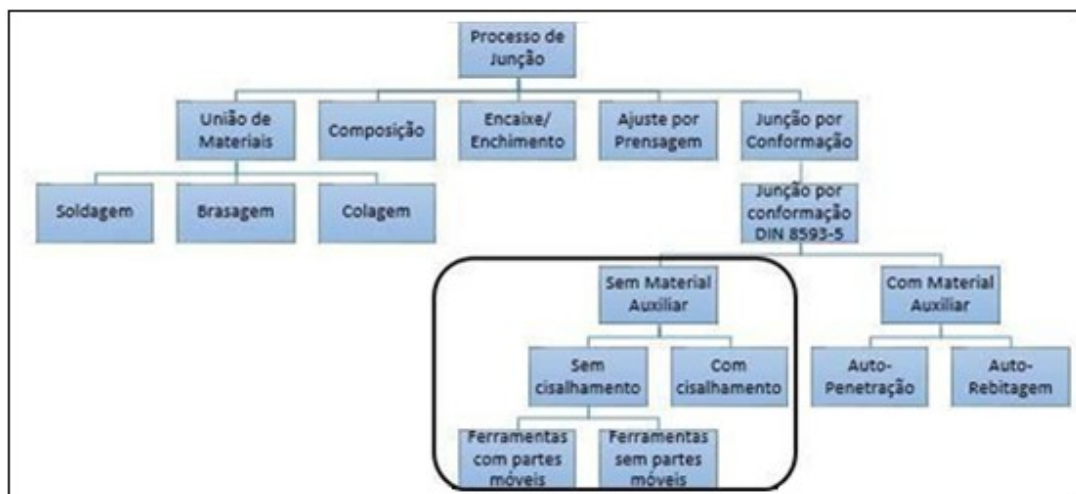
Carboni et al. (2006), definem o clinching como uma tecnologia que permite unir duas ou mais chapas metálicas de materiais distintos com variadas espessuras e acabamentos superficiais, como chapas pré-pintadas, lubrificadas, revestidas com plástico ou oxidadas.

Sarmento et al. (2011) ressaltam que a união realizada por clinching possui como vantagem a não geração de Zona Termicamente Afetada (ZTA), a não alteração da proteção anticorrosiva da chapa, a não emissão de gases e o aumento da resistência em fadiga por baixos esforços. Porém, também observa desvantagens como o ressalto formado na região do ponto, a dificuldade na união de mais de duas chapas e a menor resistência ao trabalho estático.

Neste contexto, segundo Mori et al. (2013), durante a deformação plástica das chapas metálicas imposta pela ferramenta no processo de clinching ocorre o encruamento do material que aumenta a resistência onde ocorre o preenchimento da cavidade da matriz.

De acordo com a norma DIN 8593-5 (2003), o processo de clinching resulta em uma união por conformação, na qual a aplicação de uma carga no punção gera a compressão das chapas na matriz e o entrosamento através da deformação plástica do material e pode ser subclassificado em categorias conforme descrito na Figura 3.

Figura 3 – Processos de União



Fonte: DIN 8593-5 (2003).

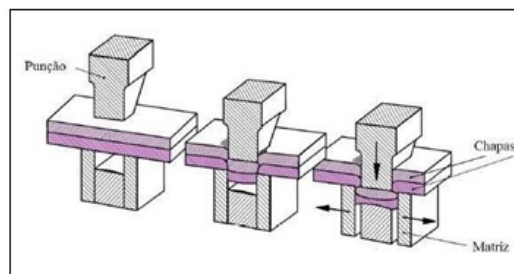
### 2.1.1. Classificação dos Conceitos de Clinching sem Material Auxiliar

Diversos tipos de união à frio foram desenvolvidas para atender as demandas de produção, e a nomenclatura destes modelos de clinching variam de acordo com a aplicação da empresa que desenvolveu o conceito (GAO e BUDDE, 1994). Dessa forma, baseado na norma DIN 8593-5, o processo de clinching pode ser caracterizado de acordo com o tipo de ferramenta que utiliza.

### 2.1.1.1. Clinching com Cisalhamento

Segundo a norma DIN 8593-5 (2003), a formação do clinching com cisalhamento ocorre devido a ação combinada de corte e penetração. Sendo o punção de geometria retangular responsável pelo corte da chapa através de uma carga aplicada. A força aplicada também pressiona a chapa até a matriz, comprimindo o material que irá escoar para as laterais da estrutura da ferramenta, formando a união, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Clinching com cisalhamento

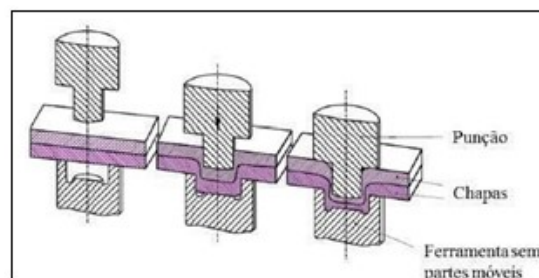


Fonte: DIN 8593-5 (2003).

### 2.1.1.2. Clinching sem Cisalhamento – Matriz Rígida

Segundo Gao e Budde (1994), o processo de união clinching sem cisalhamento pode ser descrito em três etapas, a primeira se dá com o avanço do punção que pressiona a chapa contra a chapa, a segunda com a penetração do punção nas chapas empurrando o material para dentro da cavidade da matriz e a terceira com o escoamento do material e preenchimento da cavidade da matriz e formação do ponto, conforme Figura 5.

Figura 5 – Clinching sem cisalhamento – matriz rígida



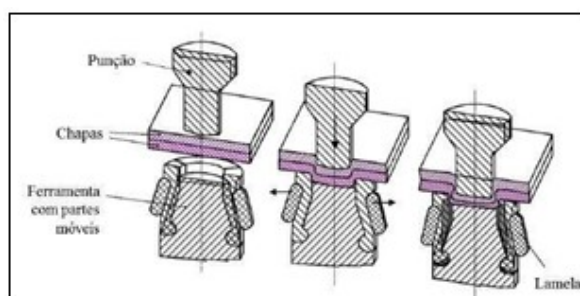
Fonte: DIN 8593-5 (2003).

Uma desvantagem do processo de conformação através de matrizes rígidas é a necessidade de uma matriz com cavidade e profundidade especificada para cada combinação e somatório de espessura de chapas, uma vez que a profundidade da matriz depende da quantidade de material que será conformada.

### 2.1.1.3. Clinching sem Cisalhamento – Matriz com Lamela Móvel

O processo para a formação do clinching com matriz rígida e o processo com lamela móvel são semelhantes, o que difere é o fato da matriz com partes móveis aceitar que se tenha uma variação nas espessuras das chapas a serem unidas, pois as lamelas fazem a compensação da quantidade de material, como pode ser observado na Figura 6. Caso sejam unidas chapas mais grossas que as usuais no processo, as lamelas tendem a trabalhar e abrir mais para a formação do ponto.

Figura 6 – Clinching sem cisalhamento – matriz com lamela móvel



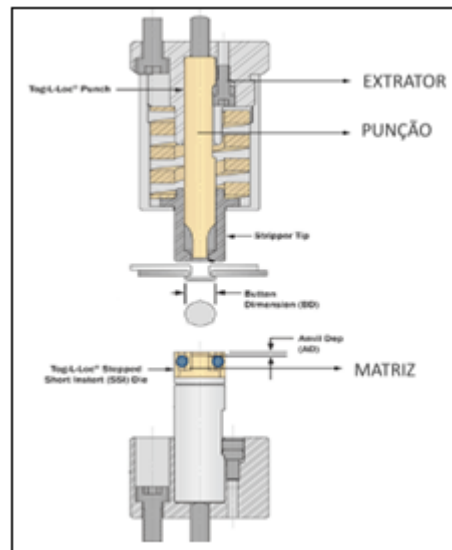
Fonte: DIN 8593-5 (2003).

### 2.1.2. Características do Processo de Clinching

Um grande número de fatores influencia na formação do clinching. Para Eshtayeh, Hrairi e Mohinddin (2015) os principais fatores são os parâmetros geométricos do punção e da matriz, a espessura das chapas a serem unidas e as propriedades mecânicas dos materiais a serem unidos.

As características geométricas das ferramentas variam de acordo com o fabricante e suas tecnologias, mas basicamente o conjunto de ferramentas para o clinching é composto por uma matriz, um punção e um extrator, conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Conjunto ferramentas de clinching



Fonte: Gptech (2020).

A eficiência na união de clinching depende da definição correta dos parâmetros de processo e de uma ferramenta bem projetada (TENÓRIO, 2016).

De acordo com De Paula et al. (2006), o que determina o ancoramento da união é a geometria da matriz. O fator da geometria da matriz que determina o intertravamento da união é principalmente a profundidade da bigorna na matriz (Anvil Depth = AD), conforme ilustrado na Figura 8.

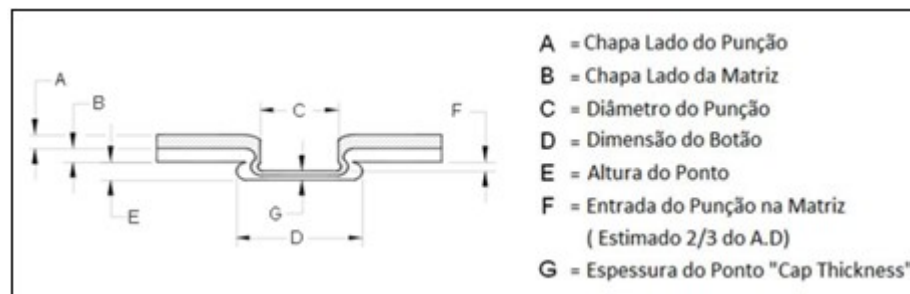
Figura 8 – Matriz para clinching



Fonte: Gptech (2020).

Para Abe, Kato e Mori (2007) a propriedade do material que mais influência na formação do clinching é a ductilidade. Já, com uma análise de elementos finitos, De Paula et al. (2007), concluíram que os fatores que mais influenciam na formação do clinching são a geometria da matriz de conformação e o raio da ponta do punção. Neste sentido, a Figura 9 apresenta as principais dimensões avaliadas em um ponto de clinching. Sendo as dimensões G e D utilizadas para controle de qualidade do ponto. A medida G representa a espessura da base do ponto que é proporcional a profundidade de avanço do punção na cavidade da matriz.

Figura 9 – Dimensões avaliadas em um ponto clinching



Fonte: Gptech (2020).

Segundo Varis (2006), a medida G pode ser facilmente mensurada utilizando um instrumento de medição denominado medidor externo como indicado na Figura 10.

Figura 10 – Medidor Externo



Fonte: Varis (2006).

Enquanto a medida D pode ser utilizada para controle dimensional da qualidade com o uso de um paquímetro ou gauges/passa-não-passa como indicado na Figura 11.

Conforme De Paula et al. (2006), o fator que avalia a qualidade do ponto de clinching é a força necessária para realizar a separação das chapas. Essa força é avaliada nos ensaios de tração com o material unido. Para Nong et al. (2003), também devem ser avaliadas a força estática, dinâmica e fadiga, pois estas afetam a estrutura da união.



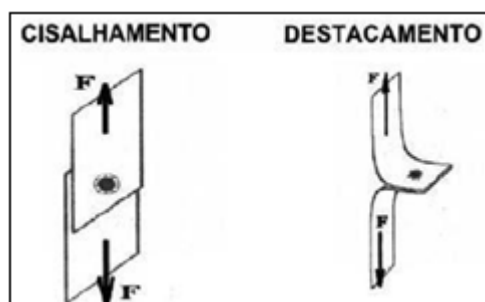
Figura 11 – Controle de qualidade clinching



Fonte: Gptech (2020)

Os testes de separação do material podem ser realizados de duas formas, realizando um teste de cisalhamento, no qual a chapa é tracionada com esforços paralelos, e realizando teste de destacamento/arrancamento, onde as chapas são colocadas sob esforço de tração perpendicularmente, conforme indicado na Figura 12 (MOTA E COSTA, 2005).

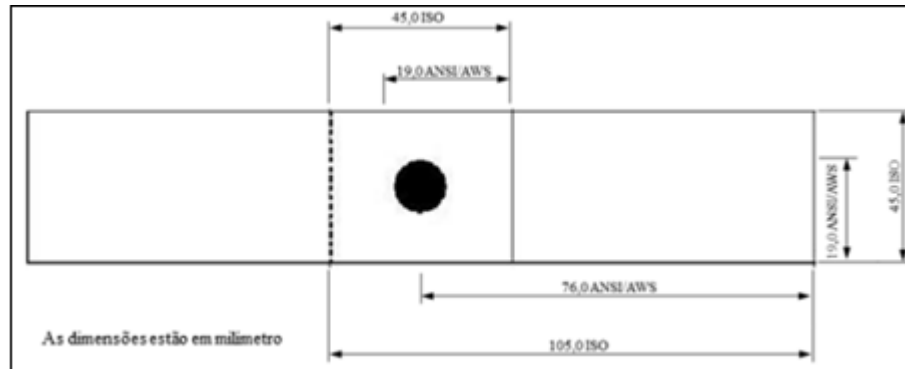
Figura 12 – Teste de Separação



Fonte: Mota e Costa (2005).

Outro parâmetro que também é padronizado é a dimensão dos corpos de prova para a realização dos testes de tração. Segundo Zhou et al (1999), aplicam-se os modelos de corpo de prova referenciados pelas Normas ISO/DIS 14273 e ANSI/AWS C1.4M/C1.4M:2009, conforme Figura 13.

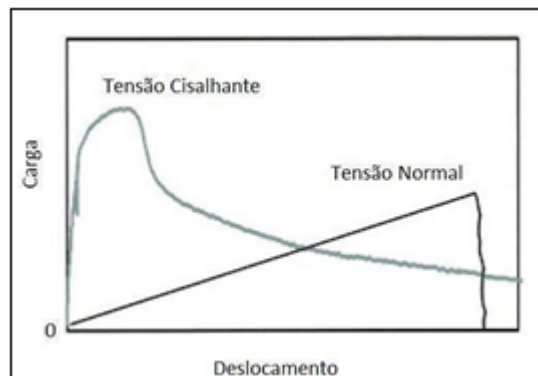
Figura 13 – Corpo de prova ISO/DIS 14273 e ANSI/AWS C1.4M/C1.4M:2009



Fonte: Zhou et al. (1999).

Segundo Lee et al (1998), a carga máxima suportada nos ensaios de cisalhamento é sempre 20% superior à carga máxima suportada nos ensaios de destacamento, como pode ser observado no gráfico da Figura 14. Porém, não se deve ignorar o efeito das cargas combinadas (cisalhamento e destacamento), pois elas podem resultar em falhas prematuras nas regiões dos pontos.

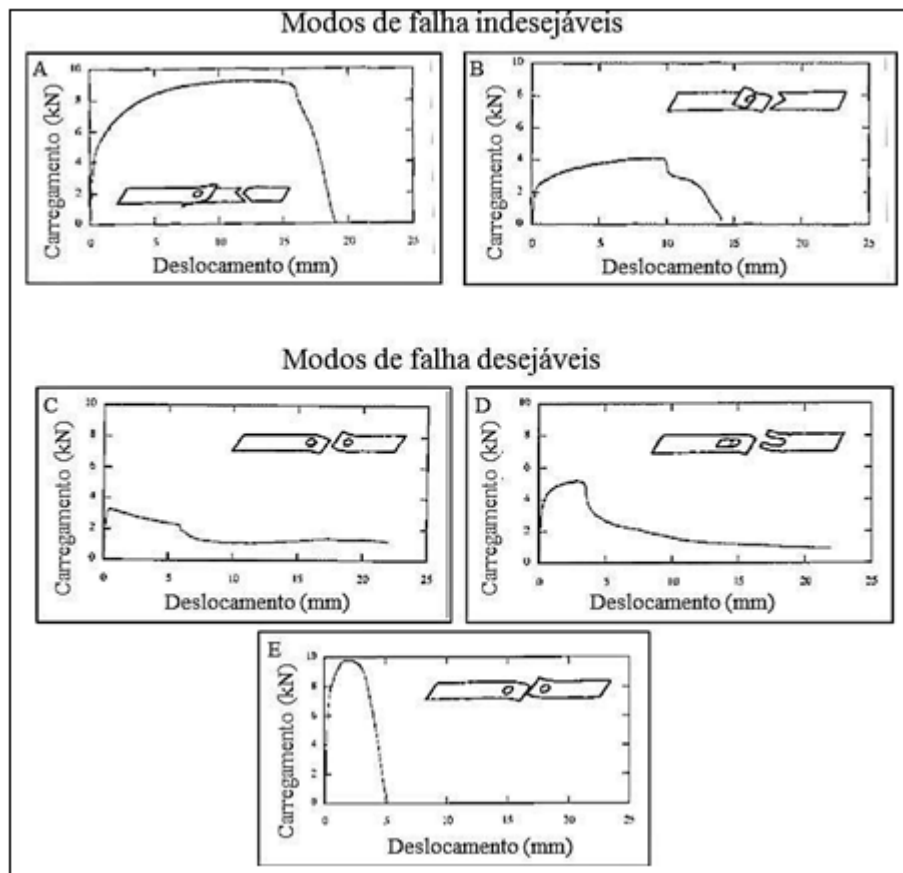
Figura 14 – Gráfico de “Carga x Deslocamento” para cisalhamento e tração



Fonte: Lee et al. (1998).

Ao avaliar o gráfico, fica evidente também que a máxima capacidade de carga da tensão cisalhante é atingida com um deslocamento bem menor ao apresentado na tensão normal em seu pico (SARMENTO, 2012). Neste sentido, ao estudarem sobre os modos de falha em ensaios por cisalhamento, Zhou et al. (1999) constataram a existência de cinco modos de falhas distintos, conforme mostrado na Figura 15, na qual é representada para cada modo de falha, a curva de carregamento x deslocamento.

Figura 15 – Modos de falha em ensaios de cisalhamento



Fonte: Zhou et al. (1999).

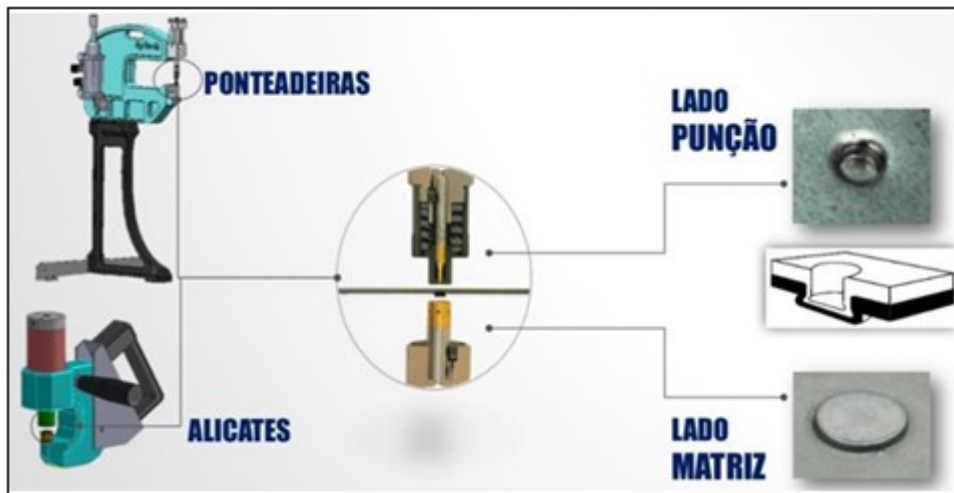
Nas falhas indesejáveis, ocorre a ruptura do material antes de romper o ponto de união, com isso o resultado não representa a resistência máxima do elemento de fixação. Enquanto na falha desejável não ocorre a falha do corpo de prova e sim do elemento ensaiado. O resultado válido é quando a chapa suporta mais carga que o ponto.

Segundo Hoffmann (2013), para realizar o processo de clinching existe uma grande variedade de modelos de equipamentos, estes podem ser móveis ou fixos, manuais ou automáticos, hidropneumáticos ou elétricos. Mas basicamente, os equipamentos são compostos de atuadores que ao serem acionados movimentam o punção contra a matriz realizando a conformação e união das chapas conforme ilustrado na Figura 16.

A capacidade do equipamento para o clinching é determinada de acordo com as espessuras das chapas a serem unidas, a composição do material, a quantidade de pontos a serem realizados simultaneamente e também de acordo com o modelo e dimensão das ferramentas utilizadas. No caso da fabricante BTM Corporation, para início de projeto existem

parâmetros pré-definidos em catálogo conforme indicado na Figura 17. Porém, sempre é necessário realizar testes práticos de laboratório para definição da melhor ferramenta de acordo com as necessidades de cada produto e aplicação.

Figura 16 – Processo de clinching



Fonte: Gptech (2021).

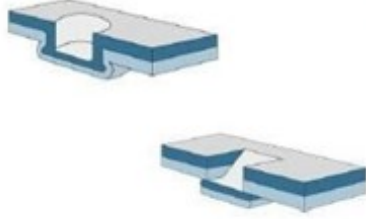

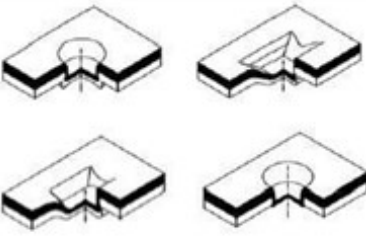
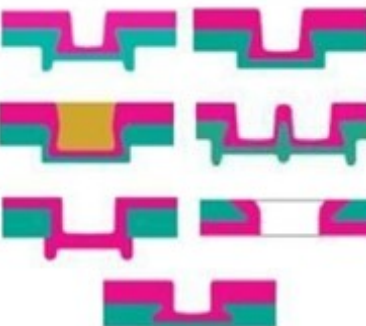
Figura 17 – Catálogo BTM

JOINT SIZE	PREFERRED STRIPPER SIZE	STRIPPER CONTACT FORCE	MATERIAL THICKNESS (STEEL)	FORCE REQUIRED	ACCEPTABLE POWER SOURCES		
					AIR	A/O	HYD.
3.0mm TL [.12"]	SS-10 YELLOW	0.89kN [200 lbs.]	0.5mm to 0.5mm [.020" to .020"]	18.3kN [4,117 lbs.]	44.5kN [5 TON] TOGGLE PRESS	26.7kN [3 TON]	Ø44.5mm [1.75"] BORE @ 170 BAR [2500PSI] MIN.
			0.9mm to 0.9mm [.034" to .034"]	16.5kN [3,711 lbs.]			
			1.4mm to 1.4mm [.057" to .057"]	14.9kN [3,340 lbs.]			
			0.5mm to 0.5mm [.020" to .020"]	17.6kN [3,963 lbs.]			
			0.9mm to 0.9mm [.034" to .034"]	16.8kN [3,766 lbs.]			
			1.4mm to 1.4mm [.057" to .057"]	16.6kN [3,723 lbs.]			
3.8mm TL [.15"]	SS-20 YELLOW	1.1kN [250 lbs.]		22.2kN [5,000 lbs.]	Charted force values for TL-3.8 joint are calculated. Data obtained from testing will be entered as it becomes available.		
JOINT SIZE	PREFERRED STRIPPER SIZE	STRIPPER CONTACT FORCE	MATERIAL THICKNESS (STEEL)	FORCE REQUIRED	ACCEPTABLE POWER SOURCES		
					AIR	A/O	HYD.
4.6mm TL [.18"]	SS-20 YELLOW	1.3kN [300 lbs.]	0.5mm to 0.5mm [.020" to .020"]	27.6kN [6,202 lbs.]	88.9kN [10 TON] TOGGLE PRESS	44.5kN [5 TON]	Ø50.8mm [2.00"] BORE @ 170 BAR [2500PSI] MIN.
			1.1mm to 1.1mm [.045" to .045"]	27.5kN [6,192 lbs.]			
			2.2mm to 2.2mm [.087" to .087"]	27.1kN [6,101 lbs.]			
			0.5mm to 0.5mm [.020" to .020"]	31.8kN [7,150 lbs.]			
			1.1mm to 1.1mm [.045" to .045"]	27.3kN [6,134 lbs.]			
			2.2mm to 2.2mm [.087" to .087"]	26.8kN [6,034 lbs.]			

Fonte: Gptech (2020).

São muitas as aplicações da tecnologia do processo de clinching, na Figura 18 podemos ver os principais fornecedores mundiais da tecnologia, o modelo de suas ferramentas e as principais aplicações para algumas áreas da indústria.

Figura 18 – Principais aplicações do processo de clinching

Fabricante	Produtos	Área de aplicação	Componentes em produção
ATTEXOR		Automotivo	Tela térmica, mecanismo do levantador de vidro, tampa dianteira e traseira
		Construção Civil	Portão industriais e andaimes
		Linha Branca	Estrutura de fogões, máquina de lavar roupa, secadoras e contatos elétricos
		Térmico	Base de painéis solares, estrutura dos filtros dos ventiladores e perfil do fixador de dutos
BTM		Automotivo	Cinta do tanque de combustível, estrutura do teto solar, protetor térmico do escapamento, suporte do pedal de freio, tampa dianteira, tudo de ar condicionado, ajustador do braço da direção, travessas de teto, suporte da bateria e juntas
		Linha Branca	Secadora, lavadora de roupa e louça, refrigerador, microondas
		Térmico	Gabinete de forno, duto galvanizado e ventilador
		Construção Civil	Treliça de aço, luminária de teto, portão de garagem e painel elétrico
ECHOLD		Automotivo	Mecanismo de levantador de vidro e tampa dianteira
		Construção Civil	Estojo para itens de laboratório e linha branca, dispositivos de segurança para fluxo de aquecedores de gás
TOX		Automotivo	Estrutura e trilho de banco, freio de estacionamento, tampa dianteira, tampa traseira, estrutura do levantador de vidro, coxim do motor
		Linha branca	Gabinete de máquina de lavar roupa, gabinete de ar condicionado, base de microondas, gabinete de freezer/refrigerador
		Diversos	Ventilador, encosto de assento, chassis de computador, componente eletrônico

Fonte: Sarmento (2012, p. 40).

## 2.2. UNIÃO DE CHAPAS COM REBITE

Segundo Kulak, Fischer, Struik (2001), o processo de rebiteagem é bastante antigo e pode ter surgido junto com o ferro e com o aço, mas hoje o processo já está bem desenvolvido.

Os rebites são elementos de fixação, permanentes ou semi-permanentes cuja a fixação de alguns modelos ocorre com a deformação plástica de uma de suas partes.

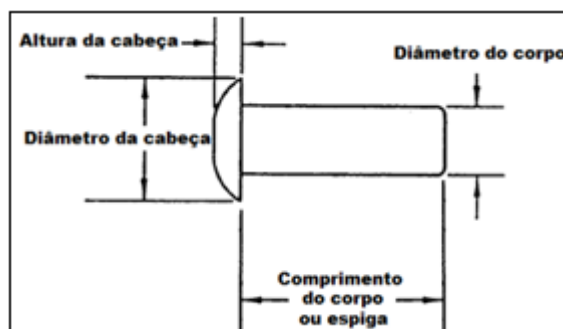
Rebites são muito utilizados na indústria metal mecânica pelo fato de possuírem uma fácil aplicação, terem uma boa oferta no mercado e serem uma ótima opção de fixação permanente.

Conforme Arbex (2011), a aplicação de juntas rebitadas possui como vantagem o baixo custo de produção, a possibilidade de automação do processo, boas propriedades de preenchimento dos furos, facilidade de inspeção e alta confiabilidade da qualidade da união. Porém, as juntas rebitadas possuem uma baixa resistência à fadiga devido à propagação de trincas que podem surgir em decorrência aos furos do rebite.

Segundo Ducati (2013), outras desvantagens do uso do rebite são: transmitir vibração por ser um elemento metálico, ter possibilidade de oxidação, concentrar a força em uma área muito pequena, concentrar tensão devido a furação, gerar um aumento de peso na estrutura e adicionar relevo a superfície devido ao remanche do rebite.

O rebite é basicamente um pino metálico com o corpo de determinado comprimento e uma cabeça, conforme ilustrado na Figura 19. A fabricação de rebites é padronizada e segue parâmetros técnicas que indicam as dimensões para as suas partes, eles podem ser fabricados em aço, alumínio, latão ou cobre.





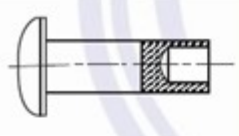
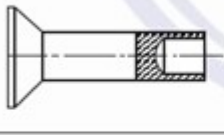
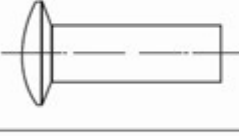
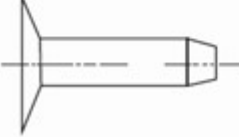
Figura 19 – Partes de um rebite



Fonte: Niu (1989).

São muitos os modelos de rebites existentes, e um dos modelos muito utilizados na indústria são os rebites maciços, e eles são classificados de acordo com formato da cabeça do rebite e a empregabilidade, conforme indicado na Figura 20.

Figura 20 – Classificação dos rebites maciços

	Rebite com cabeça redonda
	Rebite com cabeça abaulada
	Rebite com cabeça cilíndrica
	Rebite com cabeça plana e haste semitubular
	Rebite com cabeça boleada plana e haste semitubular
	Rebite com cabeça escareada plana e haste semitubular
	Rebite com cabeça abaulada ou escareada
	Rebite com cabeça chata ou escareada e ponta da haste cônica (rebite para correias)

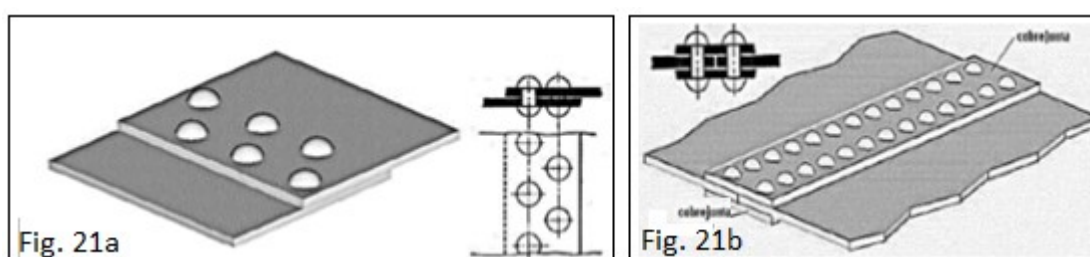
Fonte: ABNT NBR9580 (05/2015).

O processo de rebiteamento de rebites maciços se dá ao comprimir o rebite uniaxialmente até que se atinja o diâmetro adequado para cravação.

### 2.2.1. Características do Processo de Rebite

As juntas rebitadas sobrepostas podem ser empregadas de duas formas, a primeira forma é sobrepondo as chapas a serem unidas e realizando a rebitegem (Figura 21a), e a segunda forma é colocando as chapas lado-a-lado e incluindo uma ou duas cobrejuntas sobre as chapas para então realizar a união (Figura 21b).

Figura 21 – Junta sobreposta (a) e Junta de topo com cobrejunta dupla (b)



Fonte: Arbex (2011).

Segundo Grison (2014), às uniões por rebites podem ser classificadas de três formas, uniões resistentes, uniões estanques e uniões resistentes e estanques. As uniões resistentes têm como objetivo garantir a melhor resistência como se as peças unidas fossem uma só, as uniões estanques têm como objetivo evitar a passagem de líquidos ou gases e as uniões resistentes e estanques necessitam das duas características simultaneamente.

Conforme Rans, Alderliesten e Straznický (2009 apud Arbex, 2011), a resistência à fadiga é influenciada significativamente pela força de aperto aplicada na rebiteagem. Castro et al. (2007 apud Arbex, 2011) confirma essa afirmação em experimentos nos quais observou que um aumento na força de aperto, gerou um aumento da vida em fadiga em uma faixa de valores de 3 à 10x maior variando de acordo com a tensão em que a peça é submetida.

Ainda, Silva (2009) relata que a falha por fadiga é composta por três estágios: o surgimento da trinca, a propagação da trinca e por fim, a falha.

Para se ter um bom resultado nas juntas rebitadas é necessário controlar a força de rebiteagem do dispositivo para que seja realizada a fixação sem haver deformação ou quebra do rebite. Outro fator importante, é respeitar as tolerâncias pré-definidas para cada bitola de rebite pela ABNT NBR 9580 de 05/2015, evitando folga e a formação de juntas fragilizadas.



### 3. METODOLOGIA

O processo de clinching tem sido amplamente empregado na indústria automotiva em substituição principalmente ao rebite e a solda ponto.

No estudo de caso descrito neste trabalho é avaliado a união de chapas com rebite e com clinching aplicada em um produto automotivo de implemento rodoviário, o qual até então era fabricado somente com rebites.

A montagem do produto é composta de uniões de duas e três chapas com diferentes materiais, espessuras e configurações. A busca pela alteração do método de união se deu pelo fato da necessidade de automação da produção, da redução de custos com insumos, da melhoria da ergonomia na montagem e pelo uso de uma tecnologia que manteria a mesma configuração visual onde o botão de clinching formado teria uma dimensão semelhante a cabeça do rebite utilizado.

Por se tratar de um produto automotivo e que necessita de uma alta resistência estática e dinâmica o processo para validação do clinching foi longo e iniciou no laboratório da BTM Company nos Estados Unidos e foi finalizado no laboratório da Gptech em Joinville.

#### 3.1. ENSAIO DE CLINCHING

O procedimento para ensaio na empresa consiste nas seguintes etapas:

1. Especificação das uniões e materiais;
2. Definição teórica das ferramentas a serem testadas segundo catálogo;
3. Preparação dos corpos de prova das chapas;
4. Montagem das amostras com ao menos três ferramentas pré-definidas;
5. Teste de tração das amostras montadas (cisalhamento e destacamento) com as amostras montadas para escolha da ferramenta que obteve melhor resistência;
6. Corte do ponto de clinching que obteve melhor resultado para avaliação e retirada dos parâmetros do ponto com auxílio da câmera com alta resolução;
7. Elaboração da tabela de ponto final com os parâmetros definidos.

### 3.1.1. Especificação das Uniões e Materiais

Foi verificado a espessura e a dureza dos materiais para a união. A espessura foi medida com medidor de chapa digital e a verificação da dureza foi realizada em um durômetro analógico, conforme Figura 22.

Figura 22 – Durômetro analógico (a) e medidor digital (b)



Fonte: Autor (2018)

Com os dados coletados foram determinadas as uniões a serem realizadas (Tabela 1).

Tabela 1 – Ensaio realizados

Ensaio	Tipo União	Configuração da União
A1	Clinching	1,5 mm (alumínio) x 0,8 mm (alumínio)
B1	Clinching	0,95 mm (aço) x 0,8 mm (alumínio)
C1	Clinching	0,95 mm (aço) x 0,8 mm (alumínio) x 0,8 mm (alumínio)
A2	Rebite	1,5 mm (alumínio) x 0,8 mm (alumínio)
B2	Rebite	0,95 mm (aço) x 0,8 mm (alumínio)
C2	Rebite	0,95 mm (aço) x 0,8 mm (alumínio) x 0,8 mm (alumínio)

Fonte: Autor (2022)

Na Figura 23 estão descritas as informações técnicas sobre a chapa de alumínio de 0,8 mm, liga 5050C. Enquanto a Figura 24, apresenta as características técnicas do perfil de

alumínio de 1, mm, liga 5052. E por fim, a Figura 25 mostra as informações técnicas da chapa de 0,95mm de aço ASTM A653.

Figura 23 – Informações técnicas da chapa de alumínio 0,8 mm / liga 5050C

Liga	COMPOSIÇÃO QUÍMICA(%) *										PROPRIEDADES FÍSICAS	
	Mg	Cr	Fe	Si	Cu	Zn	Mn	Al	Outros		PROPRIEDADE	VALOR
5050C	1,20 – 1,80	0,10	0,60	0,25	0,50	0,50	0,20	Rest.	0,05	0,15	Densidade	2,69g/cm <sup>3</sup>
											Temperatura Fusão	652°C
Composição Química (%) limite conforme norma NBR											Expansão Térmica	23,8x10 <sup>-6</sup> /K
*Máximo, a menos que o intervalo seja indicado.											Módulo de Elasticidade	NA
											Condutividade Térmica	191W/m.K
											Resistividade Elétrica	0,034x10 <sup>-6</sup> Ω.m

Fonte: CBA (2022)

Figura 24 – Informações técnicas do perfil de alumínio 1,5 mm / liga 5052

LIGA	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	OUTROS		ALUMÍNIO (MÍN.)				
										CADA	TOTAL					
5052	0,25	0,40	0,10	0,10	2,2-2,8	0,15-0,35	-	0,10	-	0,05	0,15	Rest.				
LIGA	TEMPERA	LIMITE DE RESISTÊNCIA A TRACÇÃO (Mpa)		LIMITE DE ESCOAMENTO (Mpa)		ALONGAMENTO MÍNIMO "50 mm" (%)					DUREZA BRINEL (HB)					
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	0,15+e e=0,32	0,32+e e=0,63	0,63+e e=1,26	1,20+e e=6,30	6,30+e e=85,0	50518						
5052	O	170	215	65	13	15	17	19	18	47						
	H-32	215	265	160	-	4	5	7	11	60						
	H-34	235	285	180	3	3	4	6	-	68						
	H-36	255	305	200	2	3	4	4	-	73						
	H-38	270	-	220	2	3	4	4	-	77						
<b>Principais aplicações dos laminados de alumínio</b>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>LIGA</th> <th>APLICAÇÃO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5052</td> <td>Carrocerias para ônibus e caminhão; placas de sinalização; indústria naval; persianas; ilhoses; peças estampadas com alta solicitação mecânica; vagões ferroviários, piso para ônibus (chapa piso).</td> </tr> </tbody> </table>											LIGA	APLICAÇÃO	5052	Carrocerias para ônibus e caminhão; placas de sinalização; indústria naval; persianas; ilhoses; peças estampadas com alta solicitação mecânica; vagões ferroviários, piso para ônibus (chapa piso).
LIGA	APLICAÇÃO															
5052	Carrocerias para ônibus e caminhão; placas de sinalização; indústria naval; persianas; ilhoses; peças estampadas com alta solicitação mecânica; vagões ferroviários, piso para ônibus (chapa piso).															

Fonte: CBA adaptado (2022)

Figura 25 – Informações técnicas chapa de aço ASTM A653

Norma	Grau	Revestimento	Faixa de Espessura (mm)	Composição Química (% p/p)																																											
				C	Mn	Al	P	S	Outros																																						
ASTM A653	FS-A (1) (12)	G/ GA	0,40 – 2,30	0,30 máx.	0,50 máx.	(34)	0,020 máx.	0,030 máx.	Cu 0,25 máx. Ni 0,20 máx. Cr 0,15 máx. Mo 0,06 máx. V 0,008 máx. Nb 0,008 máx. Ti 0,025 máx. (2)																																						
	FS-B (1) (12)			0,02 – 0,10																																											
	D05-A (1) (12)			0,06 máx.																																											
	D05-C (1) (12)			0,60 – 2,30						0,050 mín.	0,020 – 0,100																																				
	E005 (1) (12)			0,02 máx.						0,40 máx.	0,020 máx.	0,020 máx.																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Norma</th> <th rowspan="2">Direção Ensaio Tração</th> <th rowspan="2">LE (MPa)</th> <th rowspan="2">LR (MPa)</th> <th colspan="3">Alongamento</th> <th rowspan="2">f</th> <th rowspan="2">n</th> </tr> <tr> <th>Espessura (mm)</th> <th>BA (mm)</th> <th>% mín.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">ASTM A653</td> <td rowspan="4">longitudinal</td> <td>170 – 330</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>26</td> <td>1,0 – 1,4 (4)</td> <td>0,17 – 0,21 (4)</td> </tr> <tr> <td>140 – 240</td> <td>-</td> <td>50</td> <td>32</td> <td>1,0 – 1,8 (4)</td> <td>0,19 – 0,24 (4)</td> </tr> <tr> <td>170 – 280</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>32</td> <td>1,2 – 1,8 (4)</td> <td>0,17 – 0,24 (4)</td> </tr> <tr> <td>105 – 170</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>40</td> <td>1,6 – 2,1 (4)</td> <td>0,22 – 0,27 (4)</td> </tr> </tbody> </table>										Norma	Direção Ensaio Tração	LE (MPa)	LR (MPa)	Alongamento			f	n	Espessura (mm)	BA (mm)	% mín.	ASTM A653	longitudinal	170 – 330	-	-	26	1,0 – 1,4 (4)	0,17 – 0,21 (4)	140 – 240	-	50	32	1,0 – 1,8 (4)	0,19 – 0,24 (4)	170 – 280	-	-	32	1,2 – 1,8 (4)	0,17 – 0,24 (4)	105 – 170	-	-	40	1,6 – 2,1 (4)	0,22 – 0,27 (4)
Norma	Direção Ensaio Tração	LE (MPa)	LR (MPa)	Alongamento			f	n																																							
				Espessura (mm)	BA (mm)	% mín.																																									
ASTM A653	longitudinal	170 – 330	-	-	26	1,0 – 1,4 (4)	0,17 – 0,21 (4)																																								
		140 – 240	-	50	32	1,0 – 1,8 (4)	0,19 – 0,24 (4)																																								
		170 – 280	-	-	32	1,2 – 1,8 (4)	0,17 – 0,24 (4)																																								
		105 – 170	-	-	40	1,6 – 2,1 (4)	0,22 – 0,27 (4)																																								

Fonte: Usiminas (2022)

A Figura 26 mostra as combinações e as características das chapas em cada união.

Figura 26 – Combinações e características das chapas

UNIÃO A			
<b>LADO DO PUNÇÃO</b>			
Descrição	Chapa do cliente	Revestimento	
Tipo Material	Alumínio	Forma	Plano
Espessura (pol)	.059	Superfície	Other_Notes
Espessura (mm)	1.5	Rockwell	F 84
Liga			
<b>LADO DA MATRIZ</b>			
Descrição	Chapa do cliente	Revestimento	
Tipo Material	Alumínio	Forma	Plano
Espessura (pol)	.031	Superfície	Mole
Espessura (mm)	.8	Rockwell	F 65
Liga			

UNIÃO B			
<b>LADO DO PUNÇÃO</b>			
Descrição	Chapa do cliente	Revestimento	
Tipo Material	Aço	Forma	Plano
Espessura (pol)	.037	Superfície	Mole
Espessura (mm)	.95	Rockwell	B 54
Liga	ASTM A653		
<b>LADO DA MATRIZ</b>			
Descrição	Chapa do cliente	Revestimento	
Tipo Material	Alumínio	Forma	Plano
Espessura (pol)	.031	Superfície	Mole
Espessura (mm)	.8	Rockwell	F 65
Liga			

UNIÃO C			
<b>LADO DO PUNÇÃO</b>			
Descrição	Chapa do cliente	Revestimento	
Tipo Material	Aço	Forma	Plano
Espessura (pol)	.037	Superfície	Mole
Espessura (mm)	.95	Rockwell	B 54
Liga	ASTM A653		
<b>CHAPA DO MEIO</b>			
Descrição	Chapa do cliente	Revestimento	
Tipo Material	Alumínio	Forma	Plano
Espessura (pol)	.031	Superfície	Mole
Espessura (mm)	.8	Rockwell	F 65
Liga			
<b>LADO DA MATRIZ</b>			
Descrição	Chapa do cliente	Revestimento	
Tipo Material	Alumínio	Forma	Plano
Espessura (pol)	.031	Superfície	Mole
Espessura (mm)	.8	Rockwell	F 65
Liga			

Fonte: Gpotech adaptado (2018)

### 3.1.2. Definição das Ferramentas de Clinching

Para a montagem das amostras foram definidas as ferramentas modelo V-LOC.

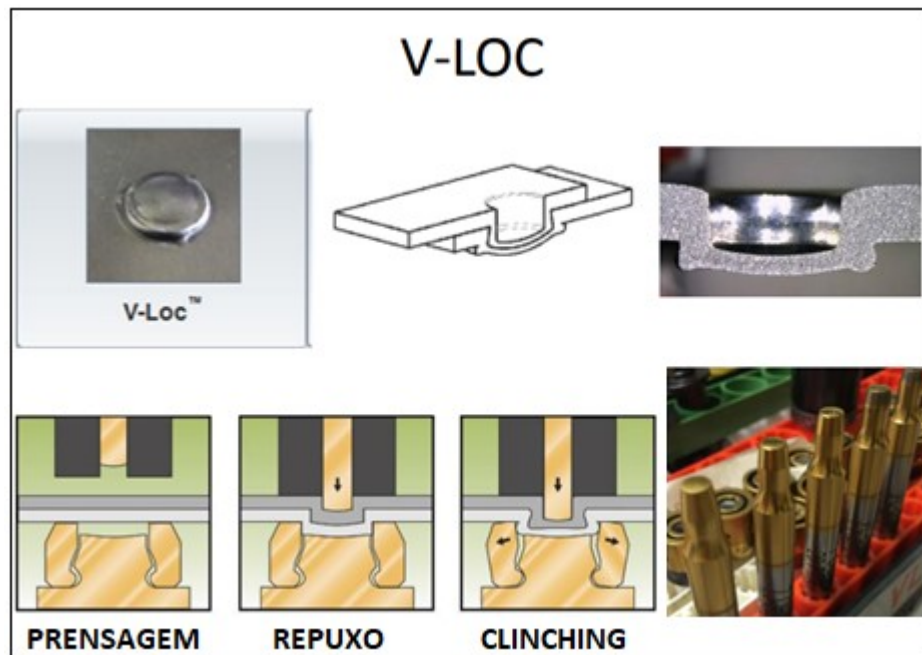
V-LOC é um modelo de ferramenta de clinching inicialmente desenvolvida para ser um ponto esteticamente mais semelhante com rebite, ou seja, um ponto mais arredondado. Porém, foi verificado que o uso desse modelo de ferramentas para união de alumínio resultou em resistências de cisalhamento e destacamento 25% superiores ao modelo TOG-L-LOC (modelo de clinching com mais anos de uso).

O processo de clinching com as ferramentas V-LOC descrito na Figura 27 ocorre da seguinte forma:

1. Posicionam-se as chapas a serem unidas paralelamente entre a matriz e o extractor;

2. Aciona-se a fonte de força hidráulica, hidropneumática ou elétrica na qual encontra-se o extrator com o punção;
3. O extrator prensa a chapa;
4. Após a prensagem das chapas a mola do extrator é comprimida e o punção penetra nas chapas;
5. No momento em que o punção penetra nas chapas, o material das chapas escoam causando a abertura das lamelas da matriz;
6. Após o escoamento do material na cavidade da matriz ocorre uma ancoragem das chapas que une o material.

Figura 27 – Processo V-LOC

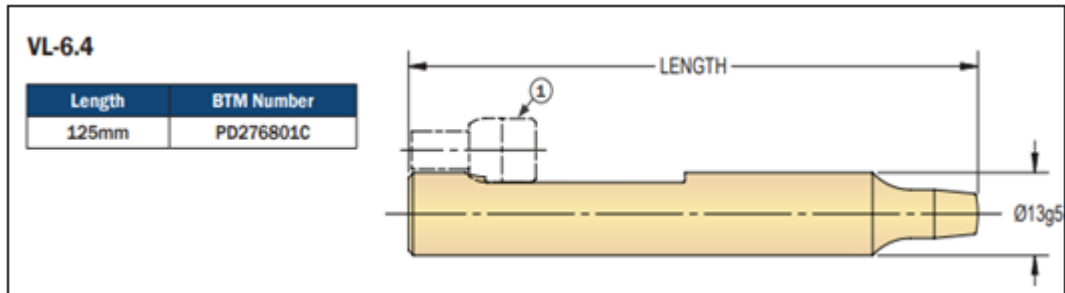


Fonte: Gptech (2020)

O punção escolhido foi o modelo V-LOC da BTM com o diâmetro na ponta do punção de 6.4 mm com comprimento de 125 mm, conforme Figura 28, para que o botão formado ficasse com uma dimensão compatível ao tamanho do rebite utilizado no produto já fabricado visando manter a mesma robustez e estética do produto.

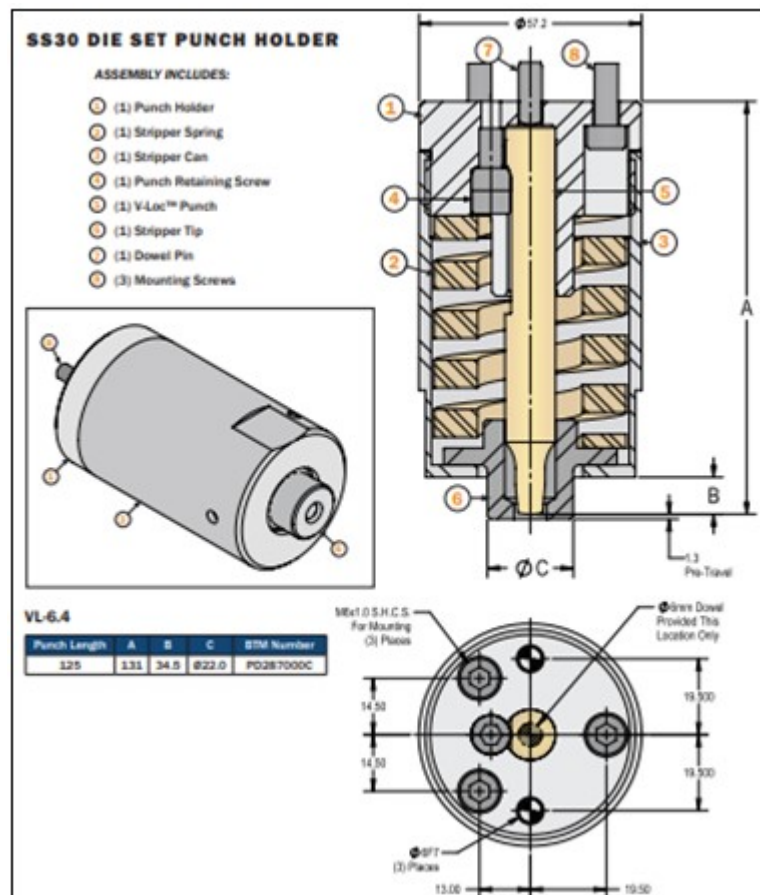
O extrator escolhido foi o modelo SS30 utilizado para extrações em materiais que requerem uma maior força de extração como é o caso do alumínio (Figura 29).

Figura 28 – Punção V-LOC



Fonte: BTM (2020)

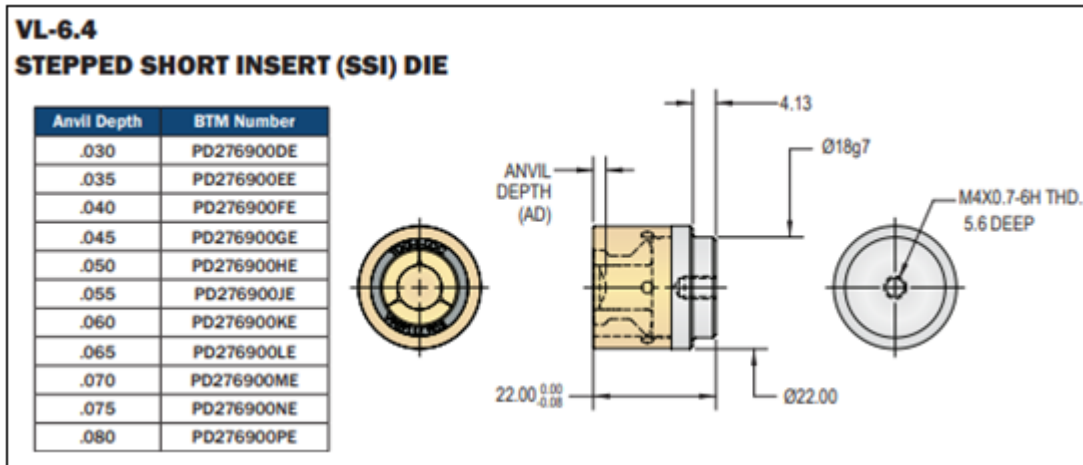
Figura 29 – Extrator V-LOC



Fonte: BTM (2020)

O modelo da matriz definido foi o Stepped Short Insert que possui fixação com parafuso na parte inferior, este é único modelo de matriz disponível pela BTM para o ponto V-LOC com dimensão de 6,4. Para atender as três uniões foi especificado uma matriz com profundidade da bigorna (Anvil Depth) de 0,060" = 152,4 mm, conforme Figura 30.

Figura 30 – Matriz V-LOC



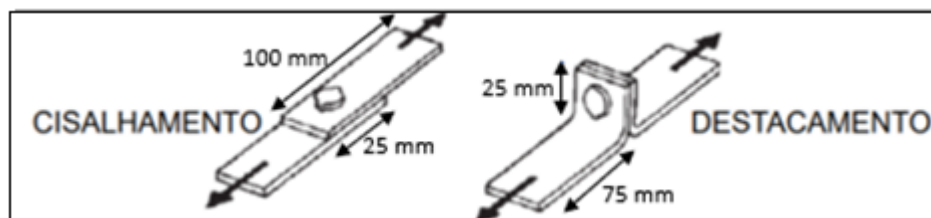
Fonte: BTM (2020)

### 3.1.3. Corpos de Prova

Foram utilizados corpos de prova de 100 mm x 25 mm que já possuem uma dimensão adequada para fixação nas garras da máquina de tração.

Com os corpos de prova foram montadas as amostras de cisalhamento e destacamento com clinching e com rebites. As amostras de cisalhamento são montadas sobrepondo as chapas em 25 mm, enquanto as amostras de destacamento são montadas dobrando em 90° em 25 mm da chapa formando um “L”, conforme Figura 31.

Figura 31 –Modelo corpos de prova



Fonte: Gptech (2019)

### 3.1.4. Montagem das Amostras

As montagens das amostras foram realizadas em uma prensa hidropneumática com ferramental colunado e com capacidade de 20 toneladas, conforme Figura 32. Por ser uma

prensa exclusiva para laboratório possui uma troca rápida de ferramentas e uma abertura grande para conseguir realizar a montagem de protótipos. A prensa possui uma célula de carga que indica a força aplicada para realizar cada ponto de clinching.

Figura 32 – Modelo da prensa laboratório



Fonte: Autor (2018)

O ajuste da ferramenta e a formação do ponto se dá de forma gradual até se atingir o diâmetro do botão indicado no catálogo de amostras já realizadas. Inicialmente as ferramentas apenas marcam as chapas, então aproxima-se a matriz do punção e repete-se o processo até que o ponto seja totalmente formado. O ajuste dessa forma evita quebra de ferramentas e a formação incompleta do ponto como indicado na Figura 33.

Figura 33 – Formação e ajuste do ponto



Fonte: Autor (2018).



Após ajustada a prensa para a união, monta-se uma série de amostras, conforme a Figura 34, para se ter um conjunto amostral no qual foi possível avaliar os parâmetros do ponto, de resistência e o valor médio para definição dos valores finais de projeto.

Figura 34 – Conjunto amostral



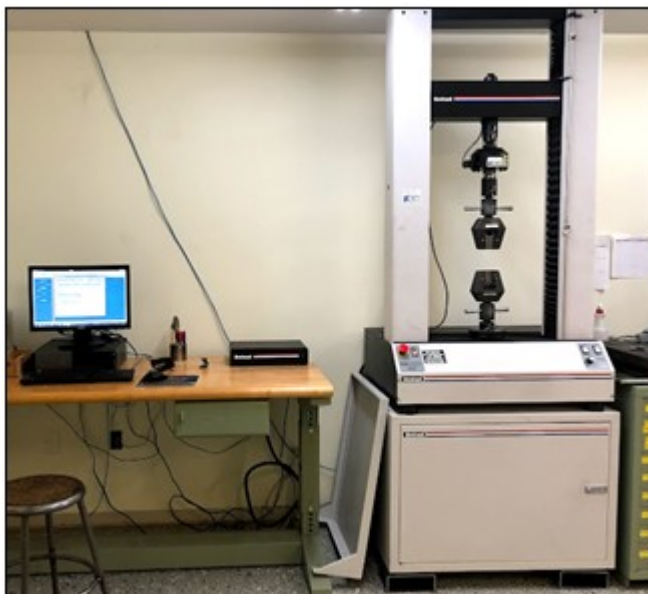
Fonte: Autor (2018)

### 3.1.5. Ensaio de Tração

Com as amostras montadas foram realizados os ensaios de tração em uma máquina universal de ensaios da marca United, como pode ser observado na Figura 35

O teste de tração foi realizado fixando as extremidades das amostras nas garras do equipamento. Após a fixação da amostra uma força de tração foi aplicada pela máquina resultando no alongamento gradual e fratura do corpo de prova. A máquina possui um software que gera gráficos que indicam a força máxima aplicada no momento do rompimento da amostra. Essa força é a resistência máxima suportada pelo ponto de clinching.

Figura 35 – Máquina universal de ensaios

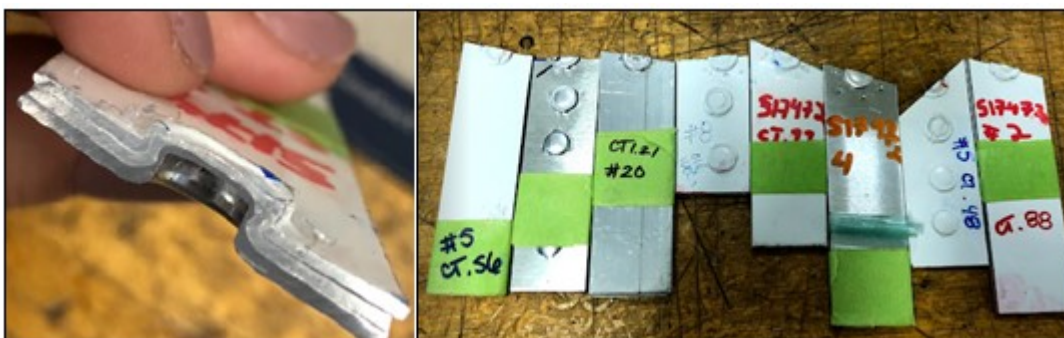


Fonte: Autor (2018)

### 3.1.6. Avaliação dos Parâmetros do Ponto

Após avaliadas as resistências das amostras e definido o melhor ponto, foram realizadas análises das estruturas dos pontos realizando um corte no centro dos pontos de clinching, conforme Figura 36.

Figura 36 – Cortes dos pontos de clinching



Fonte: Autor (2018)

Com o auxílio de um microscópio de alta resolução, conforme Figura 37, as características dos pontos cortados foram avaliadas e também foram medidas as principais dimensões que garantem a qualidade da união.

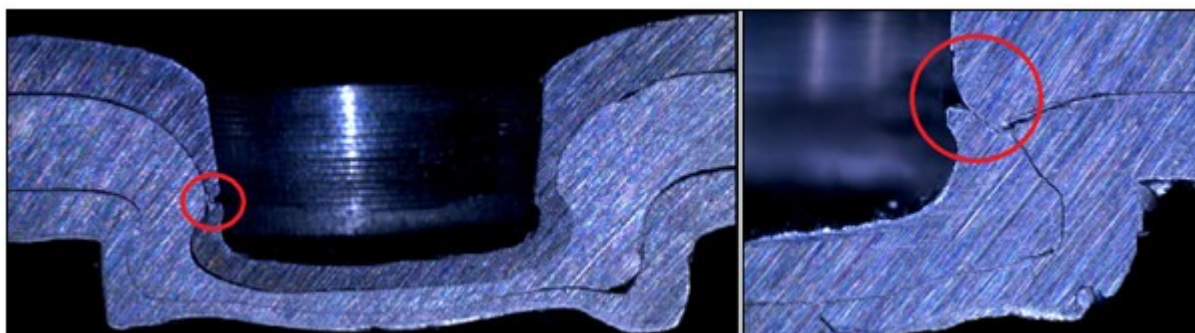
Figura 37 - Microscópio



Fonte: Autor (2018)

O principal objetivo de realizar o corte no ponto é avaliar se a formação do ponto ocorreu de forma homogênea sem a formação de trincas, conforme Figura 38. As trincas são rompimentos em algumas das chapas internas ao ponto, quando há essa irregularidade no ponto ele se torna mais frágil e propício ao rompimento ao longo do tempo.

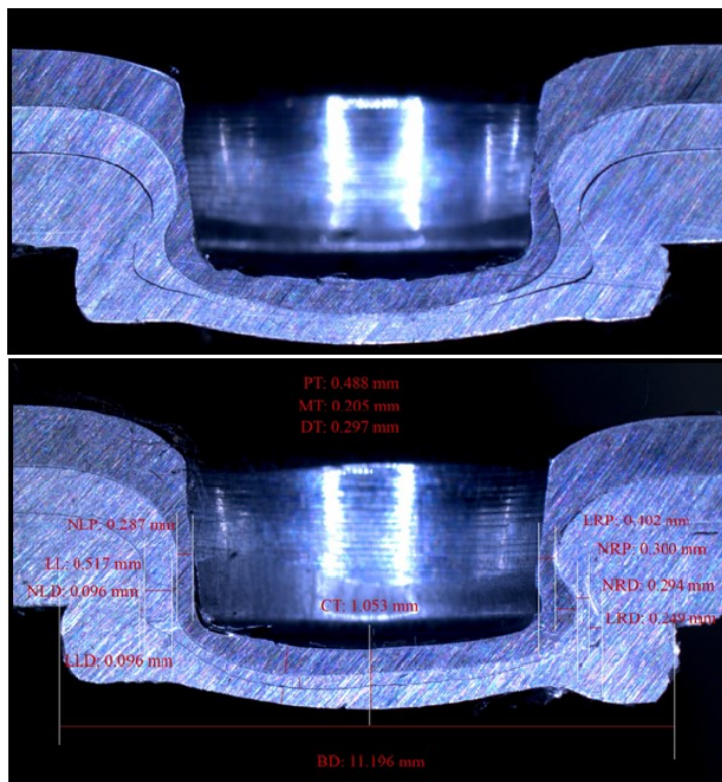
Figura 38 – Formação de trincas



Fonte: Autor (2018)

Um ponto só pode ser aprovado quando não há formação de trincas. Na figura 39 temos a imagem do corte do ponto que obteve as melhores resistências à cisalhamento e destacamento. No ponto foram realizadas as medições das principais dimensões do clinching, o BD (diâmetro do botão) e o CT (espessura do ponto).

Figura 39 – Corte Ponto Aprovado



Fonte: Autor (2018)

### 3.2. ENSAIO DO REBITE

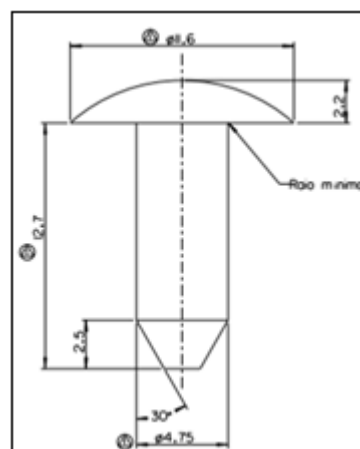
Como o processo de rebite era o processo utilizado no cliente. O procedimento para ensaio ocorreu da seguinte forma:

1. Preparação dos corpos de prova das chapas no cliente;
2. Especificação do rebite utilizado;
3. Montagem das amostras com o rebite utilizado na fabricação do produto no equipamento do cliente;
4. Envio das amostras do cliente para a empresa;
5. Teste de tração das amostras montadas (cisalhamento e destacamento) com as amostras montadas para avaliação da resistência;
6. Elaboração da tabela com os resultados obtidos.

### 3.2.1. Especificação do Rebite

O rebite utilizado para os testes é o rebite já utilizado na aplicação do produto, seguindo a especificação do cliente. Refere-se a um rebite maciço de cabeça redonda larga fabricado de alumínio com dureza de 45~55 HB e com as dimensões conforme desenho representado na Figura 40.

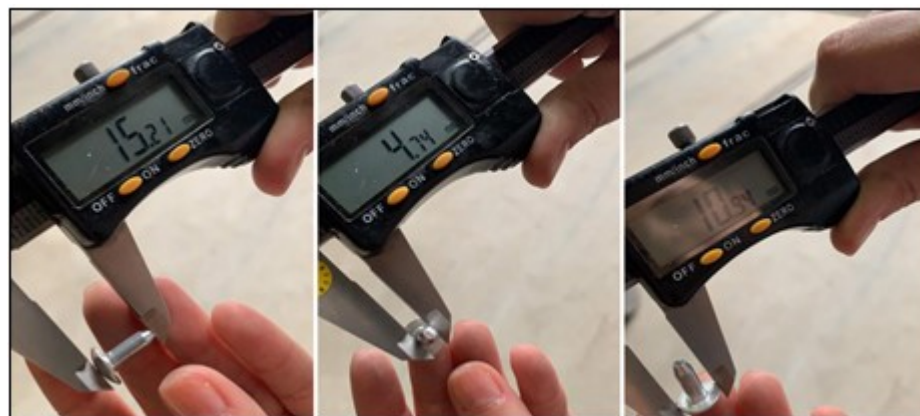
Figura 40 – Dimensões do Rebite



Fonte: Gptech (2018)

Comparando o desenho com o rebite, existe uma pequena variação de dimensional como pode ser observado na Figura 41. Porém, as diferenças entre as medidas são aceitáveis e não influenciam no processo.

Figura 41 – Dimensões reais do rebite utilizado



Fonte: Autor (2018)

### 3.2.2. Corpos de Prova

A montagem das amostras com rebite, conforme Figura 42, foram realizadas no cliente com o equipamento utilizado para a fabricação do produto e enviadas à empresa para serem testadas.

Figura 42 - Amostra com rebite



Fonte: Autor (2018)

Foi recebida uma quantidade amostral adequada para serem realizados os testes de cisalhamento e destacamento. Com os resultados dos testes foram calculadas as médias das resistências obtidas em cada tipo de união e estabelecido os parâmetros do rebite.

## 5. RESULTADOS

Através da comparação entre os resultados observados nos testes de cisalhamento e destacamento, a rebiteagem e clinching, serão apresentados os resultados dos estudos com o objetivo de avaliar a viabilidade da substituição do processo atual (rebite) pelo processo de clinching (Tabela 2).

Tabela 2 – Resultados dos testes com Clinching

Ensaio	Chapa lado punção [mm]	Chapa meio [mm]	Chapa lado matriz [mm]	Diâmetro Ponto [pol]	Diâmetro Botão [mm]	Resistência Cisalhamento [kN]	Resistência Destacamento [kN]
A1	1,5		0,8	6,4	9,95	2,44	0,34
B1	0,94		0,8	6,4	10,06~ 10,40	2,34	0,24
C1	0,94	0,8	0,8	6,4	10,85~ 11,27	2,18	0,353

Fonte: Gpotech adaptado (2018)

Podemos observar que as três uniões foram realizadas com a mesma ferramenta e com o mesmo equipamento e resultam em diâmetros de botão bem distintos. Essa diferença se dá principalmente por dois fatores:

- A quantidade de material unida será distinta pois quanto maior o sanduíche (somatório das espessuras da chapa), mais quantidade de material será conformada e maior se torna o diâmetro do botão.
- As uniões possuem composições distintas, no ensaio A1 a união é formada de alumínio x alumínio, no ensaio B1 a união é formada de aço x alumínio e no ensaio C1 a união é de aço x alumínio x alumínio. Portanto a formação do botão depende dos materiais usados pois a ductilidade e a facilidade de conformação dos materiais são distintas.

Outro fato importante é a grande diferença entre as resistências de cisalhamento e destacamento. No processo de clinching, a resistência à cisalhamento sempre será superior a

resistência à destacamento da mesma união. E nesse caso, a diferença é bem superior, aproximadamente 6x a 10x maior, de acordo com a união.

Os resultados dos testes com o rebite estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados dos testes com Rebite

<b>Ensaio</b>	<b>Chapa lado punção [mm]</b>	<b>Chapa meio [mm]</b>	<b>Chapa lado matriz [mm]</b>	<b>Resistência Cisalhamento [kN]</b>	<b>Resistência Destacamento [kN]</b>
<b>A2</b>	1,5		0,8	2,20	RASGOU
<b>B2</b>	0,94		0,8	2,06	RASGOU
<b>C2</b>	0,94	0,8	0,8	2,20	RASGOU

Fonte: Gptech adaptado (2018)

Os resultados do teste de cisalhamento do rebite foram muito semelhantes aos resultados do clinching, ambos com resistência acima de 2 kN para cisalhamento, que é a especificação técnica estabelecida pelo cliente como pré-requisito de resistência para o produto.

Destacam-se os resultados dos testes de destacamento do rebite, pois ao ser aplicada uma pré-carga a amostra já indicou ruptura do material na posição da furação do rebite devido propagação de trincas através do furo, como visto na Seção 2.2.1 sobre as características do processo de rebitagem.


Avaliamos que o rasgo na amostra é resultado do rebite não se deformar com a aplicação da força, fazendo com que a chapa se rompa e cislhe sem haver um rompimento do rebite. Dessa forma, a máquina de tração não consegue registrar a resistência obtida e fica inviável fazer uma comparação com o resistência obtida pelo clinching.

Quando ocorrem situações assim, avaliam-se as necessidades do produto. Para qual esforço que o produto requer maior resistência e qual a especificação do cliente quanto a resistência mínima para não haver falhas no produto.

Nesse estudo de caso, como a resistência ao cisalhamento é a mais importante para as forças que atuam no produto, verificou-se que ambos os resultados, tanto do clinching quanto do rebite atendem a especificação do cliente, como pode ser visto no relatório comparativo conforme Figura 43 enviado ao cliente.

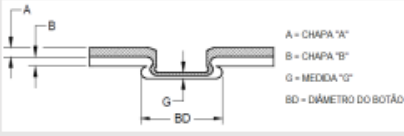


Figura 43 - Relatório comparativo de amostra

RELATÓRIO AMOSTRA CLINCH V-LOC										
CLIENTE:	XXXX									
SOLICITANTE:	LUIZ / GABRIELA			ESFORÇO: ( X ) CISALHAMENTO ( X ) DESTACAMENTO EQUIP. UTILIZADO: 8 TON 2 COLUNAS TOG-L-LOC ( ) V-LOC ( X ) OVAL-LOC ( ) LANCE-N-LOC ( ) PRESSÃO DE ENTRADA: 6 Bar						
PRODUTO / APLICAÇÃO:	COMPONENTE AUTOMOTIVO									
DATA:	8/25/2020									
Ensaio	Chapa "A" (mm)	Chapa meio (mm)	Chapa "B" (mm)	Ponto $\phi$	Matriz	Punção	Extrator	$\phi$ do Botão (mm)	Cisalhamento (kgf)	Destacamento (kgf)
A1	1,5		0,8	6,4	PD276900KE	PD276801C	SS30	9,95	249	35
B1	0,95		0,8	6,4	PD276900KE	PD276801C	SS30	10,06~10,40	239	25
C1	0,95	0,8	0,8	6,4	PD276900KE	PD276801C	SS30	10,85~11,27	223	36
A2	1,5		0,8	NA		REBITE	NA		225	RASGOU
B2	0,95		0,8	NA		REBITE	NA		210	RASGOU
C2	0,95	0,8	0,8	NA		REBITE	NA		225	RASGOU

	Material	Especificação
Chapa "A" (mm)	Aço (0,95)/ Alumínio (1,5)	
Chapa meio (mm)	Alumínio	Natural
Chapa "B" (mm)	Alumínio	Pré-pintada

Fonte: Gptech (2020)

Após avaliação dos resultados dos testes pelo cliente e aprovação dos resultados teóricos, foram montados protótipos do produto com o clinching e colocados em campo para avaliar como a união se comportaria ao longo do tempo, pois por se tratar de um produto que sofre atuação de esforços e vibrações dinâmicas, há uma diferença entre os valores estáticos avaliados em laboratório e os valores práticos que consideram as influências do meio.

Os protótipos rodaram em campo por seis meses até retornarem para avaliação das uniões e constatação de que o clinching manteve as características e condições de qualidade inalteradas, não havendo rompimentos e mantendo a resist dos pontos.

## 6. CONCLUSÃO

Ao longo do presente trabalho foi possível aprofundar o conhecimento teórico sobre o processo de clinching e rebitagem convencional para união de chapas metálicas, suas características e as particularidades ampliando o entendimento para iniciar os testes práticos e à análise comparativa entre os métodos.

O objetivo principal deste estudo de avaliar a resistência mecânica das uniões com o processo de clinching e também com a rebitagem convencional foi alcançado realizando os testes práticos em corpos de prova no laboratório para se obter e analisar os resultados das resistências aos esforços de cisalhamento e destacamento para ambos os métodos de união.

O principal desafio técnico para implementação do clinching foi conseguir definir uma única matriz V-LOC que fosse capaz de realizar todas as uniões envolvendo combinações com duas chapas e também de três chapas, garantindo a resistência e qualidade do ponto em todas elas.

Todas as amostras foram montadas com as mesmas dimensões de corpo de prova e os testes realizados no mesmo laboratório, equipamento e com a mesma velocidade de tracionamento visando obter um comparativo entre os métodos em condições totalmente equiparadas para enriquecer à análise do estudo.

Com os resultados obtidos foi realizada uma análise comparativa, conforme Figura 43 - Relatório comparativo de amostra, na qual foi possível verificar que as resistências obtidas em ambos os processos são muito semelhantes e atendem ao requisito de resistência determinado para o produto, validando assim, o processo de clinching como uma alternativa de união tecnicamente segura para substituição ao processo de rebitagem nesta aplicação.

Após a aprovação nos testes de laboratório, foi realizada a montagem de um produto com a tecnologia clinching e testado em campo para avaliação do comportamento dinâmico. Após mais de seis meses em campo, não havendo nenhuma ocorrência registrada em relação ao rompimento de pontos, foi confirmada a qualidade da união e realizada a aprovação do sistema de clinching de forma definitiva. Levando em conta a qualidade do ponto aliada aos aspectos de melhoria de processo e redução de custos foi optado pela substituição do método de rebitagem pelo clinching.

Durante todo o estudo foi possível acompanhar todas as etapas deste desenvolvimento, desde os testes iniciais no laboratório da BTM nos EUA, a aprovação dos resultados

comparativos entre os processos de clinching e de rebitagem junto ao cliente, a montagem dos protótipos com o clinching para avaliação do comportamento do produto em situações dinâmicas e a implementação do processo de clinching que durou aproximadamente três anos diante da complexidade envolvida na alteração de processo.

O presente trabalho teve como enfoque o comparativo técnico entre os processos de união visando obter os parâmetros técnicos das resistências mecânicas de ambos processos. Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se um estudo aprofundado e uma análise dos benefícios da migração de processo convencional de rebitagem para o método de clinching, avaliando os demais aspectos analisados para a tomada de decisão nas indústrias, que levam em consideração além das características técnicas, foco deste trabalho, outros fatores como os benefícios de processos, sustentabilidade, ergonomia e principalmente os elementos atrelados à redução de custos, que é o fator principal para a viabilidade econômica de eventuais oportunidades de alteração e melhoria de processos industriais.

## REFERÊNCIAS

ABE, Y.; KATO, T.; MORI, L. **Joining of aluminum alloy and mild steel sheets using mechanical clinching**. Materials Science Forum. Trans Tech Publi. 2007. 1043-1046.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI C1.4M/C1.4M:2009**. Specification for Resistance Welding of Coated and Uncoated Carbon and Low Alloy Steels. 2009.

ARBEX, A. A. **Análise estrutural e de fadiga de juntas rebitadas de uso aeronáutico utilizando o método dos elementos finitos**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9580**. Rebites-especificação. Rio de Janeiro: ABNT, maio 2015

BATALHA, G. F. **Introdução à Manufatura Mecânica Processos de Fabricação: Junção, Soldagem e Brasagem**, EPUSP, São Paulo, p. 1-54, 2003. Disponível em <<http://sites.poli.usp.br/pmr/lefa/download/PMR%202202-Soldagem.pdf>> Acesso em: 7 jan. 2022.

BTM COMPANY. **V-Loc 940 Series Clinch Tooling Catalog**. Marysville - Michigan - USA. Disponível em: <<http://btmcorp.com/>> Acesso em: 10 dez. 2021.

CARBONI, M.; BERETTA, S.; MONNO, M. **Fatigue behaviour of clinched joints**. Engineering Fracture Mechanics. Milão, v. 73, n. 2, p. 178-190, 2006.

COMPANHIA BRASILEIRA DE ALUMÍNIO. **Catálogo Laminados de Alumínio**. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/11504127-Laminados-de-aluminio.html>> Acesso em: 07 mar. 2022.

COMPANHIA BRASILEIRA DE ALUMÍNIO. **Catálogo de Chapas, Placas e Bobinas**.

DE PAULA, A.A.; M.T.P. AGUILAR; A.E.M. PERTENCE; P.R. CETLIN. Finite element simulations of the clinch joining of metallic sheets, Belo Horizonte, Brasil, 2006.

De Paula, A. A.; Aguilar, M. T. P.; Pertence, A. E. M.; Cetlin, P.R. **Finite element simulations of the clinch joining of metallic sheets**. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 182, pp. 352–357, 2007.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 8593-5: Manufacturing processes joining -Part 5: Joining by forming processes**; Classification, subdivision, terms and definitions. Set. 2003.

DUCATI, A. G. **Análise da adesão em diferentes superfícies de chapas metálicas: Uma comparação junta adesivada versus junta rebitada.** 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Centro de Engenharia Exatas e Tecnologia, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2013.

ESHTAYEH, M. M.; HRAIRI, M.; MOHIUDDIN, A. K. M. **Clinching process for joining dissimilar materials: state of the art.** International Journal of advanced Manufacturing Technology. 2015.

GAO, S. BUDDE, J. Mechanism of mechanical press joining. **International Journal Mechanical Tools Manufacturing.** V.34 , n. 5, p. 641-657. Fev. 1994.

GRISON, Vagner. **Projeto de Sistemas Mecânicos** [notas de aula]. Caxias do Sul – RS: Universidade de Caxias do Sul, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2014.

HOFFMANN, D. R. **Comparativo de resistência mecânica em chapas de aço unidas por soldagem e clinching.** 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14273.** Specimen Dimensions and Procedure for Shear Testing Resistance Spot and Embossed Projection Welds. 1994.

KULAK, G. L.; FISHER, J. W.; STRUIK, J. H. A, F. **Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints.** 2. ed. Chicago, USA. AISC, 2001.

LEE, Y. L.; WEHNER, T. J.; Lu, M. W.; MORRISETT, T. W.; PAKALNINS, E. **Ultimate Strength of Resistance Spot Weld Subject to Combined Tension and Shear.** Journal of Testing and Evaluation, v. 26, p. 213 – 219, maio 1998.

MORI, K., ABE, Y., KATO, T. **Mechanism of superiority of fatigue strength for aluminium alloy sheets joined by mechanical clinching and self-pierce riveting.** Journal of Materials Processing Technology, Vol. 212, pp. 1900–1905. 2012.

MOTA, C., COSTA, N. **Estudo comparativo entre os processos de união de chapas por Ponto TOX e solda ponto.** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS ABM. Congresso Anual da ABM. Anais. Belo Horizonte, 25 a 28 de Julho de 2005.

NIU, M. 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.

NONG, N. el al. **Research on press joining technology for automotive metallic sheets.** Materials Processing Technology. Shiyang, v. 137, n.1, p. 159-163, 2003.

REINERT, A. C. **Estudos dos parâmetros e sua significância no processo de união à frio por conceito clinch**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Centro Universitário Sociesc, Sociedade Educacional de Santa Catarina, Joinville, 2015.

SARMENTO, A. A. **União de chapas de aço por conformação a frio: Análise da resistência mecânica sob carga multiaxial**. 2012. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Projeto e Fabricação, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SARMENTO, A. A.; SARMENTO, C. A.; BATALHA, G. F. **Aplicação do Processo de União de Chapas Metálicas por conformação Mecânica (clinching) em Veículos Automotivos**. Proceedings of the 6th Brazilian Conference on Manufacturing Engineering, Caxias do Sul, Brazil, 2011.

SILVA, J. F. N. **Comparação entre o comportamento à fadiga de ligações rebitadas e parafusadas**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, 2009.

TENÓRIO, M. B. **A Influência da Geometria da Ferramenta, de Parâmetros de Processo e do Material das Chapas de União por Clinching**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

USIMINAS. **Catálogo de Galvanizados por imersão à quente**.


Disponível em: <[https://usiminas.com/wp-content/uploads/hotsites\\_portal\\_sap/CongressoDoAco/pdf/Galvanizados\\_Imersao\\_Quente.pdf](https://usiminas.com/wp-content/uploads/hotsites_portal_sap/CongressoDoAco/pdf/Galvanizados_Imersao_Quente.pdf)>  
> Acesso em: 07 mar. 2022.

VARIS, J.P.; LEPISTÖ, J. **A simple testing-based procedure and simulation of the clinching process using finite element analysis for establishing clinching parameters**. Thin-Walled Struct, 2003. v. 41, n 8, p. 691-709, 2003.

VARIS, J.P. **Ensuring the integrity in clinching process**. International paper. Journal of Materials Processing Technology. v. 174, n. 1–3, p. 277–285, 2006.

ZHOU, M.; HU, S. J.; ZHANG, H. **Critical Specimen Sizes for Tensile-Shear Testing of Steel Sheets**. Welding Research Supplement, p. 305 – 312, set. 1999.

## ANEXO A – TABELA CBA- LIGA 5050C



Liga	COMPOSIÇÃO QUÍMICA(%) *										PROPRIEDADES FÍSICAS	
5050C	Mg	Cr	Fe	Si	Cu	Zn	Mn	Al	Outros		PROPRIEDADE	VALOR
	1,20-1,80	0,10	0,60	0,25	0,50	0,50	0,20	Rest.	0,05	0,15	Densidade	2,69g/cm <sup>3</sup>
Composição Química (%) limite conforme norma NBR *Máximo, a menos que o intervalo seja indicado.											Temperatura Fusão	652°C
											Expansão Térmica	23,8x10 <sup>-6</sup> /K
											Módulo de Elasticidade	NA
											Condutividade Térmica	191W/m.K
											Resistividade Elétrica	0,034x10 <sup>-8</sup> Ω.m

PROPRIEDADES MECÂNICAS											
Temperatura	Limite de Escoamento (0,2% offset), MPa		Limite de Resistência e Tração MPa		Alongamento min, % (espessura, mm)						
	Min.	Max.	Min.	Max.	Com 50 mm					Com 5x diâmetro	
					(0,15-0,32)	(0,32-0,63)	(0,63-1,20)	(1,20-6,30)	(6,30-80,00)		(6,30-80,00)
O	60	...	140	200	13	15	17	19	18		16
					(0,40-0,63)	(0,63-1,20)	(1,20-3,20)	(3,20-6,30)	(6,30-50,00)		(6,30-50,00)
H32 <sup>o</sup> or H22 <sup>o</sup>	140	...	185	235	4	5	7	7	11		10
					(0,20-0,32)	(0,32-0,63)	(0,63-1,20)	(1,20-3,20)	(3,20-6,30)	(6,30-25,00)	(6,30-25,00)
H34 <sup>o</sup> or H24 <sup>o</sup>	160	...	220	260	3	3	4	6	6	10	9
					(0,15-0,32)	(0,32-0,63)	(0,63-1,20)	(1,20-4,00)			
H36 <sup>o</sup> or H26 <sup>o</sup>	210	...	220	290	2	3	4	4			
					(0,15-0,32)	(0,32-0,63)	(0,63-1,20)	(1,20-3,20)			
H38 <sup>o</sup> or H28 <sup>o</sup>	215	...	265	...	2	3	4	4			
					(6,30-80,00)						
F <sup>E</sup>	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Temperatura	Raio de Dobra, N (espessura, mm)				
O	(0,15-0,32)	(0,32-0,63)	(0,63-1,20)	(1,20-6,30)	(6,30-80,00)
	0	0	0	0	...
H32 <sup>o</sup> or H22 <sup>o</sup>	(0,40-0,63)	(0,63-1,20)	(1,20-3,20)	(3,20-6,30)	(6,30-50,00)
	0	1	2	3	...
H34 <sup>o</sup> or H24 <sup>o</sup>	(0,20-0,32)	(0,32-0,63)	(0,63-1,20)	(1,20-3,20)	(3,20-6,30)
	1	1	2	3	4
H36 <sup>o</sup> or H26 <sup>o</sup>	(0,15-0,32)	(0,32-0,63)	(0,63-1,20)	(1,20-4,00)	...
	4	4	5	5	...
H38 <sup>o</sup> or H28 <sup>o</sup>	(0,15-0,32)	(0,32-0,63)	(0,63-1,20)	(1,20-3,20)	...
	...	...	...	...	...
F <sup>E</sup>	(6,30-80,00)	...	...	...	...

**DESIGNAÇÃO DAS TEMPERAS**

**H2X** Endurecimento seguido de recozimento parcial que confere propriedades mecânicas ao produto por meio de um tratamento térmico.

**H3X** Endurecimento seguido de estabilização - aplicado em ligas que obtêm suas características mecânicas por deformação plástica e passam por um tratamento de estabilização térmica, evitando sua perda com o tempo.

**HX2** ¼ duro

**HX4** ½ duro

**HX6** ¾ duro

**HXB** Duro

**HXS** Extra Duro

**Legend:**  
**C:** O alongamento em 50 mm aplica-se para espessuras de até 12,50 mm e em 5x de diâmetro para espessuras acima de 12,50 mm  
**D:** Materiais em qualquer um destas temperas, (H32 ou H22), (H34 ou H24), (H36 ou H26), (H38 ou H28), (H12 ou H22), (H14 ou H24), (H16 ou H26), (H18 ou H28), pode ser fornecido por opção do fornecedor, a menos que seja especificamente excluído pelo contrato ou pedido de compra. Quando solicitados nas temperas H2X, a resistência à tração máxima e a resistência ao escoamento mínima não se aplicam. Quando as temperas H2X são fornecidas em vez das temperas H1X ou H3X solicitadas, o material da tempera H2X deve atender aos respectivos limites de propriedades de tração de tempera H1X ou H3X.  
**E:** Os testes da placa de tempera F para propriedades de tração não são necessários. Requisitos de propriedades mecânicas conforme especificado em norma NBR.

## ANEXO B – TABELA CBA- LIGA 5052



Limites de  
composição química  
das ligas de alumínio  
CBA (%)

Equivalência de ligas  
com normas  
internacionais



O segundo dígito indica o grau de encruamento em ordem crescente, sendo os principais denominados conforme segue:

GRAU	TERMO COMUMENTE USADO
1	1/8 duro
2	1/4 duro
4	1/2 duro
6	3/4 duro
8	Duro
9	Extra duro

O terceiro dígito, quando utilizado, indica a variação de uma têmpera de dois dígitos. É usado quando o grau de controle das têmperas ou as propriedades mecânicas diferem, porém, são próximas da têmpera H de dois dígitos. Além disso, o terceiro dígito é estabelecido para chapas lavradas ou modeladas.

LIGA	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	OUTROS		ALUMÍNIO (MÍN.)
										CADA	TOTAL	
1050	0,25	0,40	0,05	0,05	0,05	-	-	0,05	0,03	0,03	-	99,50
1070	0,20	0,25	0,04	0,03	0,03	-	-	0,04	0,03	0,03	-	99,70
1100	0,95 (S+Fe)		0,05-0,20	0,05	-	-	-	0,10	-	0,05	0,15	99,00
1145	0,55 (S+Fe)		0,05	0,05	0,05	-	-	0,05	0,03	0,03	-	99,45
1200	1,00 (S+Fe)		0,05	0,05	-	-	-	0,10	0,05	0,05	0,15	99,00
1235	0,65 (S+Fe)		0,05	0,05	0,05	-	-	0,10	0,06	0,03	-	99,35
1350	0,10	0,40	0,05	0,01	-	0,01	-	0,05	-	0,03	0,10	99,50
3003	0,60	0,70	0,05-0,20	1,0-3,5	-	-	-	0,10	-	0,05	0,15	Rest.
3004	0,30	0,70	0,25	1,0-3,5	0,8-1,3	-	-	0,25	-	0,05	0,15	Rest.
3104	0,60	0,80	0,05-0,25	0,8-1,4	0,8-1,3	-	-	0,25	0,10	0,05	0,15	Rest.
3105	0,60	0,70	0,30	0,3-0,8	0,2-0,8	0,20	-	0,40	0,10	0,05	0,15	Rest.
5005	0,30	0,70	0,20	0,20	0,5-1,1	0,10	-	0,25	-	0,05	0,15	Rest.
5052	0,25	0,40	0,10	0,10	2,2-2,8	0,15-0,35	-	0,10	-	0,05	0,15	Rest.
8006	0,40	1,0-2,0	0,30	0,30-1,0	0,10	-	-	0,10	-	0,05	0,15	Rest.
8011	0,5-0,9	0,6-1,0	0,10	0,20	0,05	0,05	-	0,10	-	0,05	0,15	Rest.

## NOTAS:

1) QUANDO NÃO SELECIONA UMA FAIXA, A PORCENTAGEM INDICADA É A MÁXIMA;  
2) QUANDO NÃO ESTIMINDADO O VALOR (-) CONSIDERAR COMO OUTROS

CBA ABNT/ASTM	DIN ALEMÃ	NF FRANÇA	UNI ITALIA	BS INGLÂTERRA	CSA CANADÁ	ISO INTERNACIONAL
1050	A 99,5	A5	P-ALP99,5	1B	-	
1100	-	A45	-	-	9900	A99,0 Cu
1200	A 99,0	A4	P-ALP99,0	1C	-	
1350	E-Al	A5L	-	1E	-	
3003	Al Mn Cu	A-M1	P-Al Mn,2Cu	-	Mc10	Al Mn Cu
3004	Al Mn 1 Mg 1	AMG	P-Al Mn 1,2Mg	-	-	
3105	Al Mn 0,5 Mg 0,5	-	-	NB1	-	
5005	Al Mg 1	A-G0,6	P-Al Mg 0,8	N41	-	
5052	Al Mg 2,5	-	P-Al Mg 2,5	L-80,81	G20	Al Mg 2,5





### Propriedades mecânicas

Os dados de tensão são expressos na unidade megapascal (Mpa), equivalente a  $1\text{N/mm}^2$ .  
A medida de unidade  $\text{Kgf/mm}^2$  é obtida dividindo-se o valor indicado por 9,8.

LIGA	TÊMPERA	LIMITE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (Mpa)		LIMITE DE ESCOAMENTO (Mpa)	ALONGAMENTO MÍNIMO "50 mm" (%)					DUREZA BRINEL (HB)
		MÍNIMO	MÁXIMO		MÍNIMO	0,15 $\leq$ e $\leq$ 0,32	0,32 $\leq$ e $\leq$ 0,63	0,63 $\leq$ e $\leq$ 1,20	1,20 $\leq$ e $\leq$ 6,30	
1060 1140	O	55	95	15	15	17	22	30	28	20
	H-12	80	115	60	-	3	5	8	10	23
	H-14	95	130	70	1	2	3	5	7	26
	H-16	110	145	75	1	2	3	4	-	30
	H-18	125	-	85	1	1	2	4	-	35
	H-19	135	-	-	1	1	2	-	-	-
1100 1200 1235 8011	O	75	105	25	15	17	22	30	28	23
	H-12	95	130	75	-	3	5	8	10	28
	H-14	110	145	95	1	2	3	5	7	32
	H-16	130	165	115	1	2	3	4	-	38
	H-18	150	-	-	1	1	2	4	-	44
	H-19	160	-	-	1	1	2	4	-	-
1350	O	55	95	-	15	17	22	30	28	20
	H-12	80	115	-	-	3	5	8	-	-
	H-14	95	130	-	1	2	3	5	-	30
	H-16	110	145	-	1	2	3	4	-	32
	H-18	125	-	-	1	1	2	4	-	35
	H-19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3003	O	95	130	35	14	20	22	25	23	28
	H-12	120	180	85	-	4	5	6	9	35
	H-14	140	180	115	1	2	3	5	8	40
	H-16	165	205	145	1	2	3	4	-	47
	H-18	185	-	165	1	1	2	4	-	55
	H-19	195	-	-	1	-	2	4	-	-
3004 3104	O	150	200	60	9	12	15	18	16	45
	H-12	190	240	145	-	1	3	5	6	52
	H-14	220	265	170	1	2	3	4	-	63
	H-16	240	285	190	1	2	3	4	-	70
	H-18	260	-	215	-	1	2	4	-	77
3105	O	95	145	35	-	16	19	20	-	28
	H-12	130	180	105	1	2	3	-	-	35
	H-14	150	200	125	-	1	2	2	-	40
	H-16	170	220	145	-	1	1	2	-	47
	H-18	190	-	165	-	1	1	2	-	55
	H-19	200	-	-	-	1	1	2	-	-
5005	O	105	145	35	12	16	19	21	22	28
	H-12	125	165	95	-	2	4	6	9	36
	H-14	145	185	115	1	1	2	3	-	41
	H-16	165	205	135	1	1	2	3	-	46
	H-18	185	-	-	1	1	2	3	-	51
	H-19	195	-	-	1	1	2	3	-	-
5052	O	170	215	65	13	15	17	19	18	47
	H-32	215	265	160	-	4	5	7	11	60
	H-34	235	285	180	3	3	4	6	-	68
	H-36	255	305	200	2	3	4	4	-	73
	H-38	270	-	220	2	3	4	4	-	77

NOTAS  
 1) OS VALORES INDICADOS NÃO IMPLICAM GARANTIA FORMAL.  
 2) CONFORME NBR 7550 O MATERIAL PODERÁ SER FABRICADO NA CORRESPONDENTE TÊMPERA H2X.  
 3) PARA AÇUGAS COM TÊMPERA H2X NÃO SE APLICA O LIMITE MÁXIMO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO.  
 4) PARA AÇUGAS COM A TÊMPERA H14, UTILIZAR OS LIMITES ESPECIFICADOS NA TÊMPERA "O".  
 5) PARA AÇUGAS COM A TÊMPERA H15, UTILIZAR OS LIMITES ESPECIFICADOS NA TÊMPERA "H14".

ANEXO C – TABELA USIMINAS- ASTM A653



# AÇO PARA ESTAMPAGEM

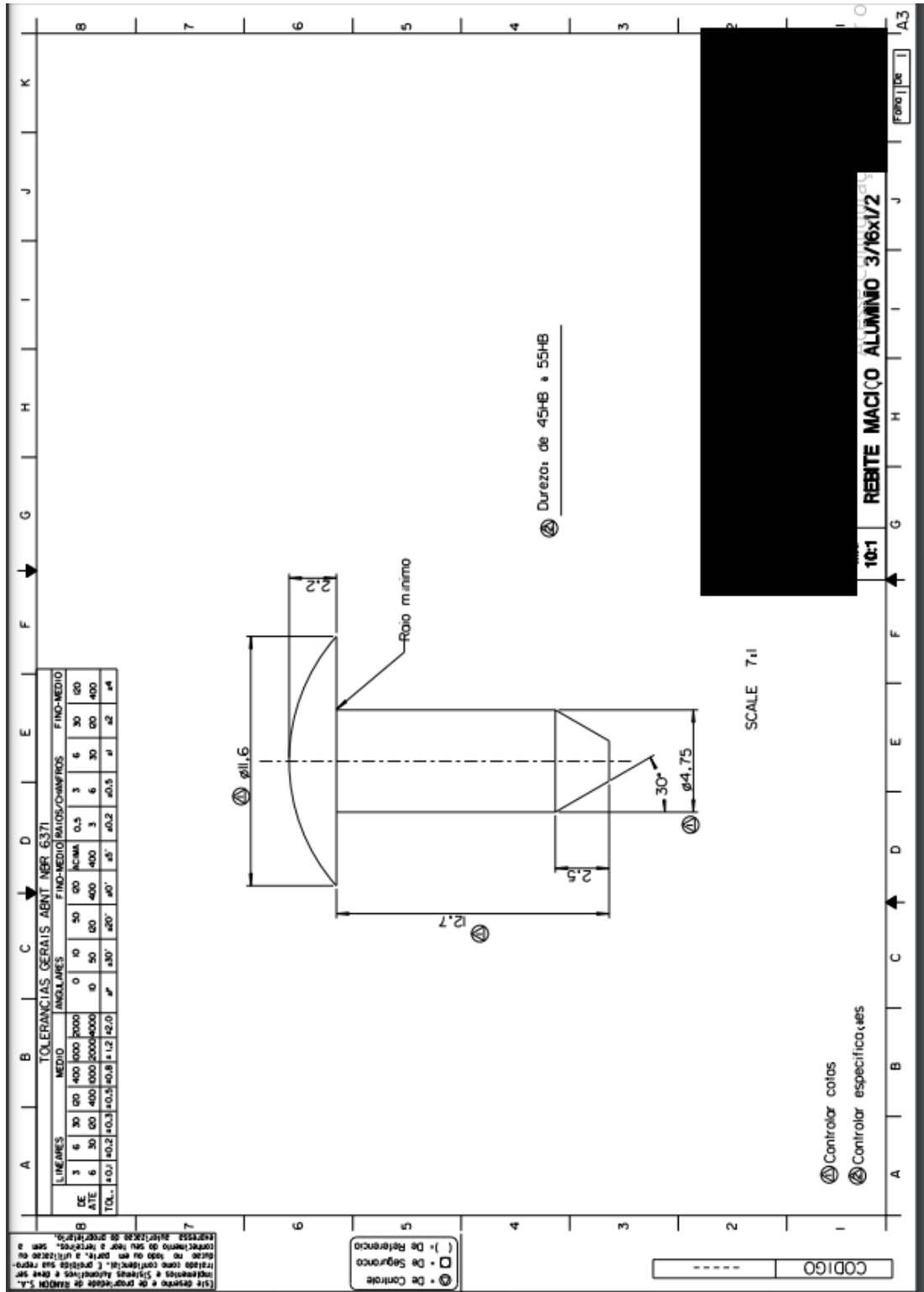
Os aços HDG para estampagem têm garantia de propriedades mecânicas, especificando-se valores de limite de escoamento (LE), resistência (R<sub>e</sub>) e alongamento (AL). Para aços com maior exigência de conformabilidade, valores mínimos de anisotropia (r) e de coeficiente de encruamento (k) são especificados.

A aplicação desses aços é indicada para processos de estampagem média a entocástica, em que características de resistência, rigidez e ductilidade são requeridas. Normas de referência são utilizadas pelos setores automotivo, linha branca e construção civil. Podem ser fornecidos como baixo ou ultra-baixo carbono.

Nome	Grupo	Revestimento	Esp. de Esp. (mm)	Composição Química (h) (p)					C	Min	Al	P	S	Quilts	Direção Ensaio Típico	Propriedades Mecânicas			
				LE (MPa)	LE (MPa)	LE (MPa)	LE (MPa)	LE (MPa)								Espessura (mm)	Alt. garantido (mm)	3. min.	
USIMINAS (AL)	USIMINAS-CP-1122	CI	0,60 - 2,10	0,10 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	Transversal	180 - 180	270 - 420	18	32
	USIMINAS-CA-1122	CA	0,60 - 2,10	0,10 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	Transversal	180 - 220	270 - 370	18	14
	USIMINAS-CP-1128	CI	0,60 - 2,10	0,10 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	Transversal	180 - 220	270 - 370	18	14
	USIMINAS-CA-1128	CA	0,60 - 2,10	0,10 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	Transversal	180 - 220	270 - 370	18	14
	USIMINAS-CP-1129	CI	0,60 - 2,10	0,10 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	Transversal	180 - 220	270 - 370	18	14
	USIMINAS-CA-1129	CA	0,60 - 2,10	0,10 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	Transversal	180 - 220	270 - 370	18	14
ASTM A653	F94 (D) (12)	CI	0,60 - 2,10	0,10 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	Longitudinal	150 - 200	270 - 370	18	26
	F94 (D) (22)	CI	0,60 - 2,10	0,10 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	Longitudinal	150 - 200	270 - 370	18	26
	EN10111 (12)	CI/CA	0,60 - 2,10	0,10 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	Longitudinal	150 - 200	270 - 370	18	26
	EN10111 (22)	CI/CA	0,60 - 2,10	0,10 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	Longitudinal	150 - 200	270 - 370	18	26
EN10111 (12)	CI	0,60 - 2,10	0,10 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	Longitudinal	180 - 220	270 - 370	18	26	
EN10111 (22)	CI	0,60 - 2,10	0,10 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	Longitudinal	180 - 220	270 - 370	18	26	



Fonte: Usiminas (2022)

ANEXO D – DETALHAMENTO DO REBITE



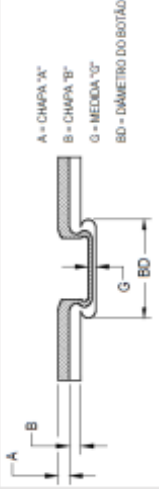
Fonte: Gptech (2018)

## ANEXO E – TABELA DE ENSAIO GPTECH

RELATÓRIO AMOSTRA CLINCH V-LOC										
				<b>ESFORÇO: ( X ) CISALHAMENTO ( X ) DESTACAMENTO</b> <b>EQUIP. UTILIZADO: 8 TON 2 COLUNAS</b> <b>TOG-L-LOC ( ) V-LOC ( X ) OVAL-LOC ( ) LANCE-N-LOC ( )</b> <b>PRESSÃO DE ENTRADA: 6 Bar</b>						
<b>CLIENTE:</b> XXXX LUIS / GABRIELA		<b>PRODUTO / APLICAÇÃO:</b> COMPONENTE AUTOMOTIVO <b>DATA:</b> 8/25/2020								
Ensaio	Chapa "A" (mm)	Chapa meio (mm)	Chapa "B" (mm)	Ponto Ø	Matriz	Punção	Extrator	Ø do Botão (mm)	Cisalhamento (kgf)	Destacamento (kgf)
A1	1,5		0,8	6.4	PD276900KE	PD276801C	SS30	9,95	249	35
B1	0,95		0,8	6.4	PD276900KE	PD276801C	SS30	10,06~10,40	239	25
C1	0,95	0,8	0,8	6.4	PD276900KE	PD276801C	SS30	10,85~11,27	223	36
A2	1,5		0,8	NA		REBITE	NA		225	RASGOU
B2	0,95		0,8	NA		REBITE	NA		210	RASGOU
C2	0,95	0,8	0,8	NA		REBITE	NA		225	RASGOU

Chapa "A" (mm)	Material	Especificação
Chapa meio (mm)	Aço (0,95)/ Alumínio (1,5)	Natural
Chapa "B" (mm)	Alumínio	Pre-pintada

Fonte: Gpotech (2019)