

Laboratório de Engenharia de Fabricação

**PMR 2202 Introdução a Manufatura Mecânica**

# **Processos de Fabricação: Junção, Soldagem e Brasagem**

Prof. Dr. Gilmar F. Batalha

Material auxiliar ao livro texto:

KALPAKJIAN, S. & SCHIMD, S. Manufacturing Engineering and Technology, 4 ed. , Ed. Prentice Hall, 2001,

parte V :

capítulos 13: Processos de soldagem por fusão..... pg. 775  
capítulos 14: Processos de soldagem em estado sólido.....pg. 799  
capítulos 15: Soldabilidade: projeto e seleção do processo.....pg. 819  
capítulos 16: Brasagem, solda fraca, adesivos e fixação mecânica.....pg. 839



## JUNÇÃO

<b>JUNÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>6.1 DEFINIÇÃO DA TECNOLOGIA DE JUNÇÃO</b> .....	<b>3</b>
<b>6.2 DIVISÃO DOS PROCESSOS DE JUNÇÃO</b> .....	<b>3</b>
<b>6.3 JUNÇÃO POR CONFORMAÇÃO</b> .....	<b>4</b>
6.3.1 JUNÇÃO POR CONFORMAÇÃO EM CHAPAS, TUBOS E PERFIS.....	8
6.3.2 JUNÇÃO POR REBITES .....	8
<b>6.4 JUNÇÃO POR SOLDAGEM</b> .....	<b>0</b>
6.4.1 DIVISÃO DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM .....	11
6.4.2 FATORES DE INFLUÊNCIA .....	12
6.4.3 SOLDA SOB PRESSÃO .....	13
6.4.4 SOLDA A LASER .....	6
<b>6.5 JUNÇÃO POR BRASAGEM</b> .....	<b>22</b>
6.5.1 FUNDAMENTOS GERAIS PARA A BRASAGEM .....	22
6.5.2 BRASAGEM MOLE .....	24
6.5.3 BRASAGEM DURA .....	28
<b>6.6 QUESTÕES DE ESTUDO DIRIGIDO</b> .....	<b>33</b>

## Bibliografia

Okumura, T. & Taniguchi, C. – Engenharia de Soldagem e Aplicações, Ed. LTC, 1982.

ASM Handbook, vol 6., Welding, Brazing and Soldering, ASM, International 1993.

Welding Handbook, 8<sup>th</sup> ed., 3 vols. American Welding Society, 1987.

Geiger, M. – Notas de aula sobre Tecnologia de Fabricação, Univ. Erlangen, 1997.

Dutra, J. e Quites, A. – Tecnologia da soldagem por arco voltaico, UFSC, 1983.

Batalha, G. F. – Tecnologia da Soldagem – notas de aula -, UDESC, Joinville, 1984.



## 1 Definição da tecnologia de junção

Junção é a ligação permanente ou uma colocação em contato de duas ou mais peças com uma determinada forma geométrica ou até mesmo de peças com material sem forma definida. Em um processo no qual a composição local é alterada e misturada como um todo.

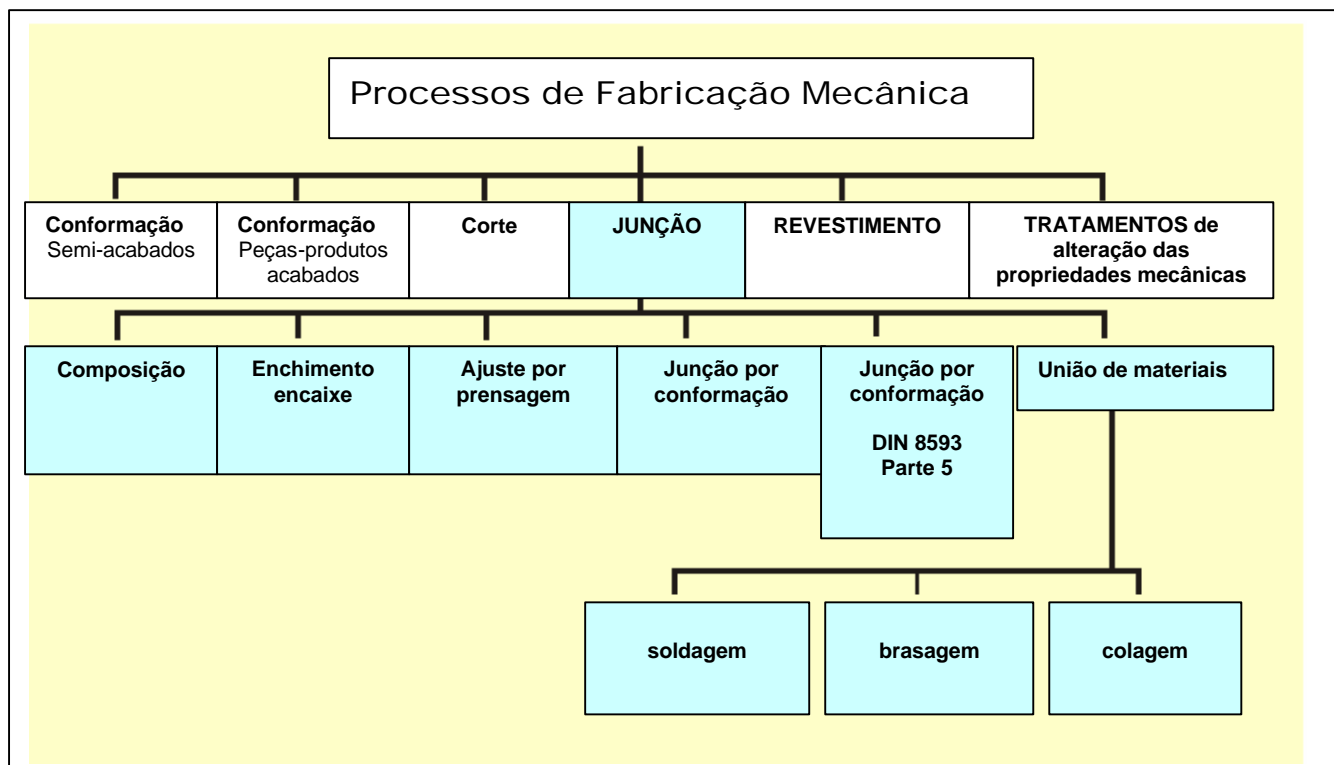


**Figura 1: Tecnologia de junção.**



## 2. Classificação dos processos de junção

Através de uma multiplicidade de materiais completamente distintos e suas possíveis combinações, tais como metais, plásticos, madeira, têxteis ou papel, que podem ser empregados como peças a serem submetidas a um processo de junção, que pode ser tanto direto, p. ex.: através de soldagem e brasagem, quanto sob a ação de elementos de adicionais de fixação e junção, como; parafusos, rebites e anéis de cravação.



**Figura 2: Classificação dos processos de junção**

**Diferenciação dos processos de junção conforme o tipo de união :**

- Ligação por aplicação de força (Atrito, força normal)
- Ligação por meio de forma (ex.: prisioneiro, cavilha, pino)
- Ligação por meio material (aderência, ligação química)



### 3 Junção por conformação

#### 3.1 Junção por conformação em chapas, tubos e perfis.

##### 3.1.1 Dobras

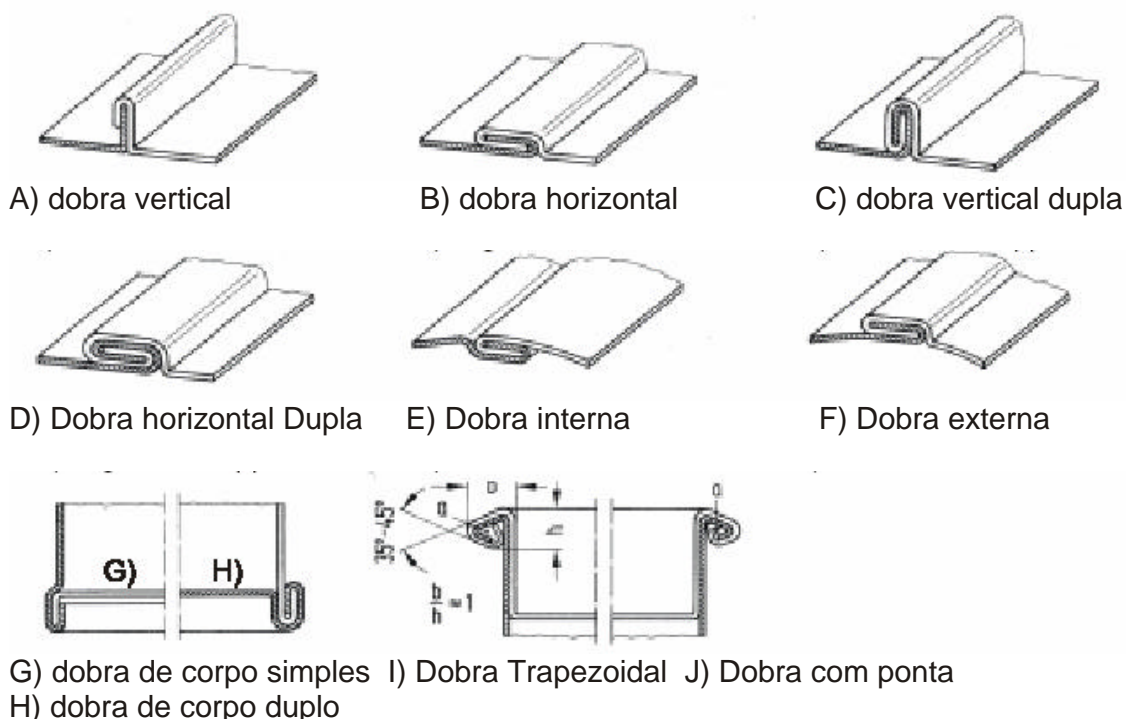
Por dobras compreende-se o flexionamento, cravamento e compressão para união de chapas nas suas extremidades. O processo de junção de chapas por dobramento é usado preferencialmente na junção de chapas metálicas.

Por este processo se fixa uma peça a uma segunda após o dobramento.

Para tanto as peças a serem unidas devem apresentar uma boa qualidade de acabamento de suas arestas, produzidas por exemplo por estampo. A seguir são ambas as peças cravadas uma na outra e finalmente a região de cravação é dobrada.

Neste caso, pode surgir um movimento relativo das peças que estão sendo unidas, o qual também facilita a cravação das peças.

**Pré-condição:** boa ductilidade a temperatura ambiente.



**Figura 3: Junção por conformação – dobras**

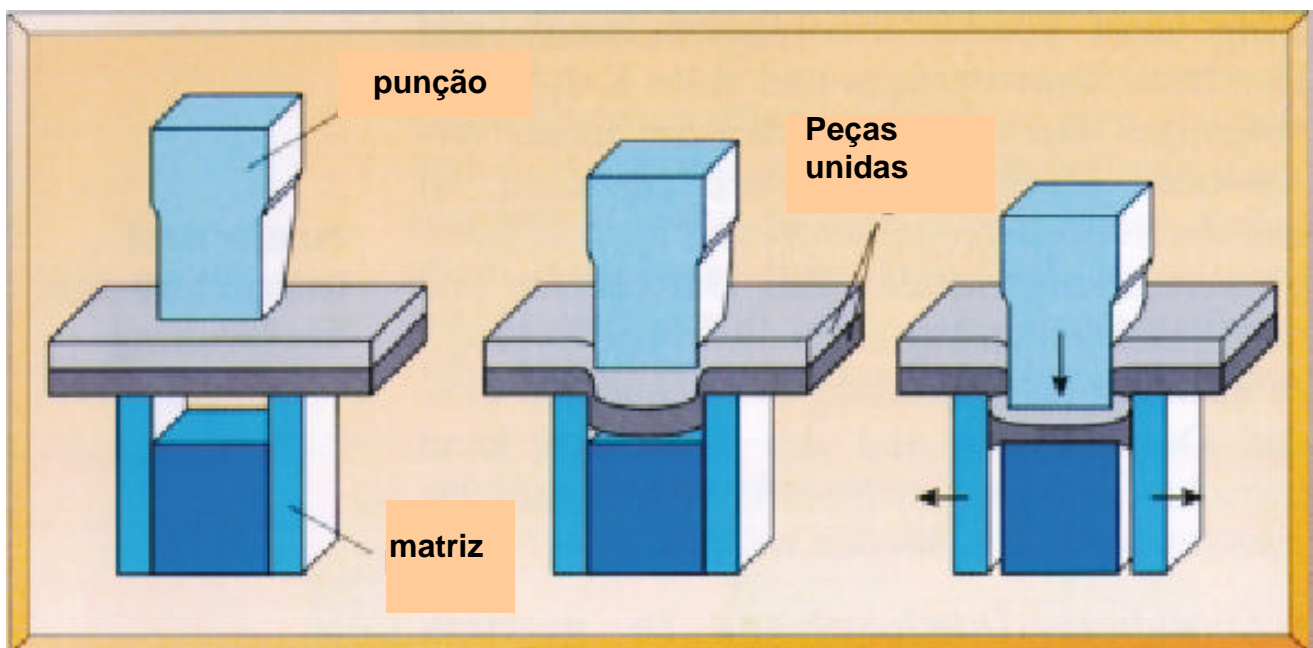


### 3.1.2 Junção por conformação

Subdivisão das junções por conformação:

- segundo a formação dos elementos de junção: Junção por conformação com e sem parcela de corte.
- segundo a cinemática das partes da ferramenta: Junção por conformação em etapa única ou em etapa múltipla.

Junção por Conformação em um estágio e parte de corte



Vista lateral de uma união por junção com conformação



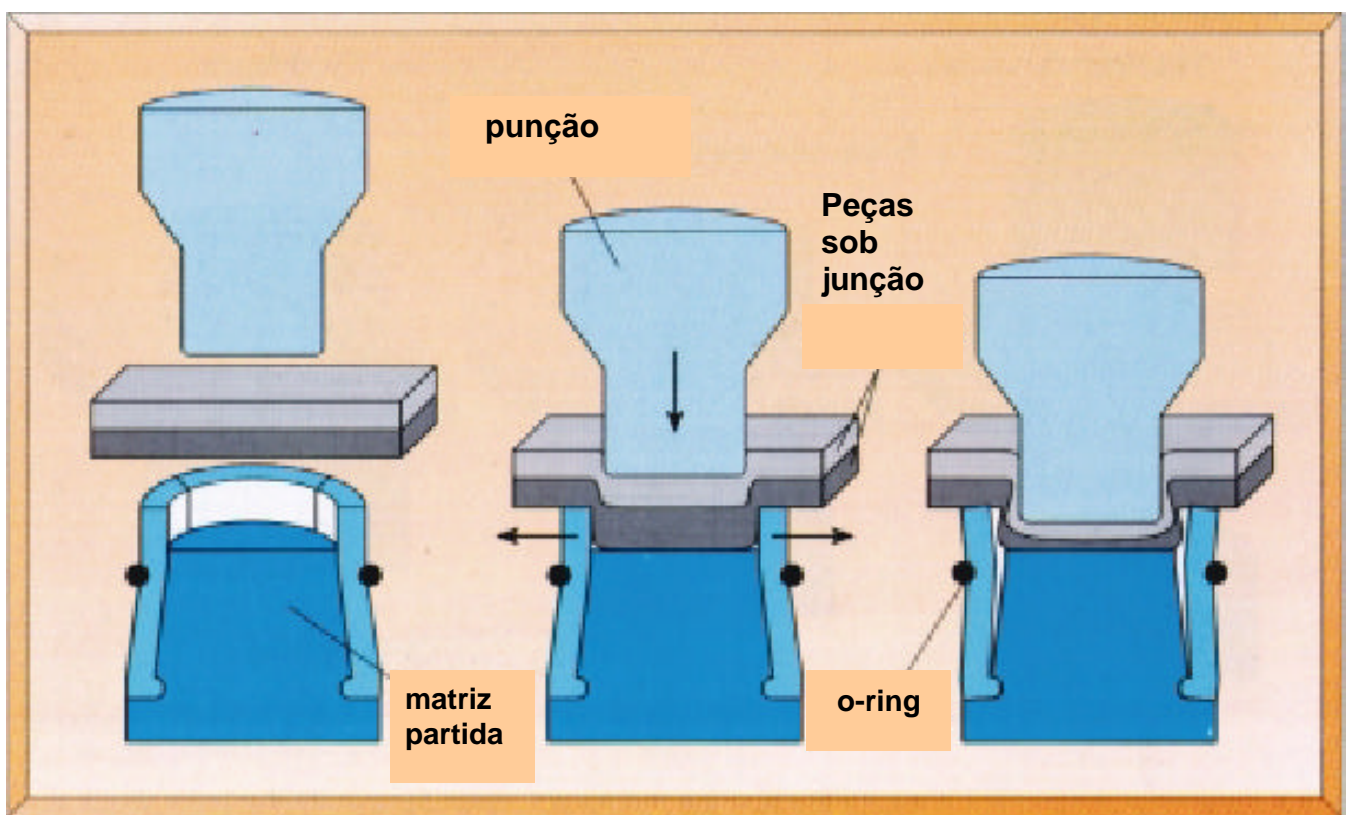
Figura 4: Junção por conformação e parcela de corte.



- A junção por conformação com parcela de corte é executada em três etapas: corte por cisalhamento combinado, com o processo de junção por conformação e processo de recalque a frio.

- A junção por conformação sem parcela de corte é realizada através de um processo de confinamento de matriz e embutimento e finalmente um processo de recalque a frio, de tal modo que o processo de ligação ocorra também mediante um processo de extrusão.

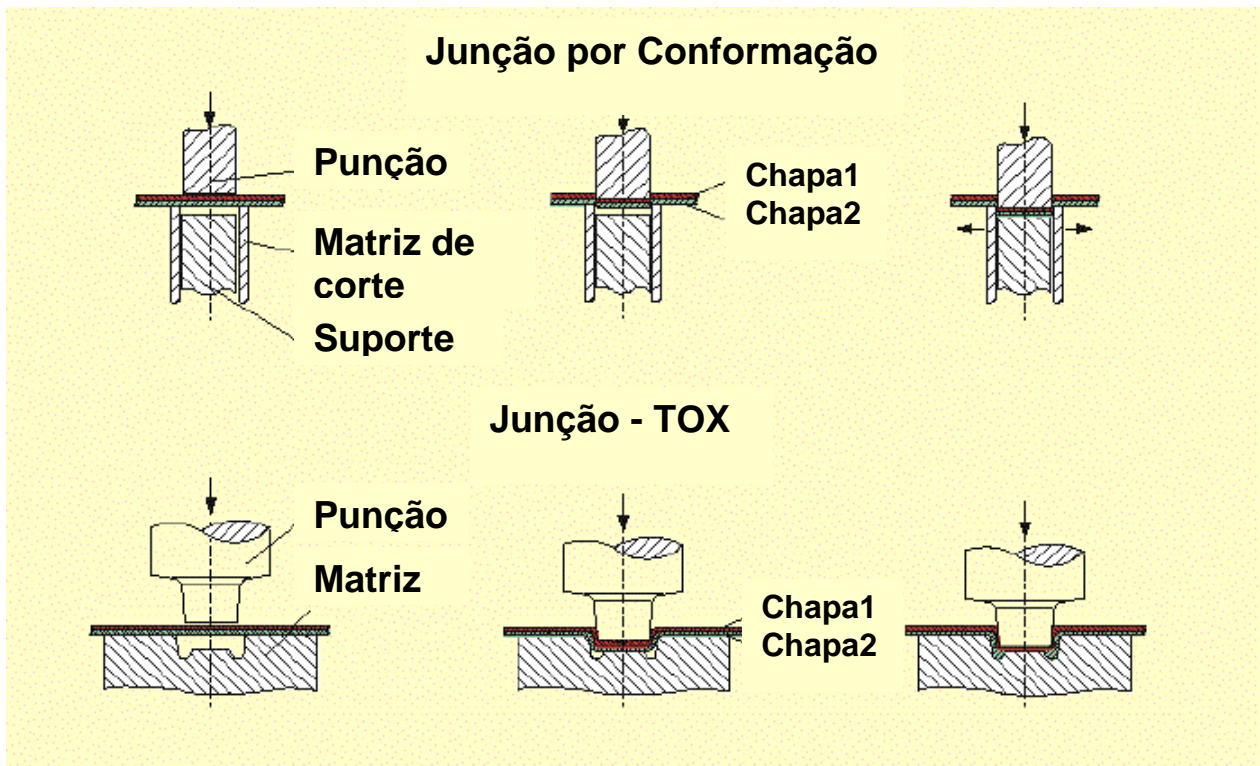
### Junção por conformação sem parcela de corte com ferramenta móvel



**Figura 5: Junção por conformação (extrusão) sem parcela de corte**

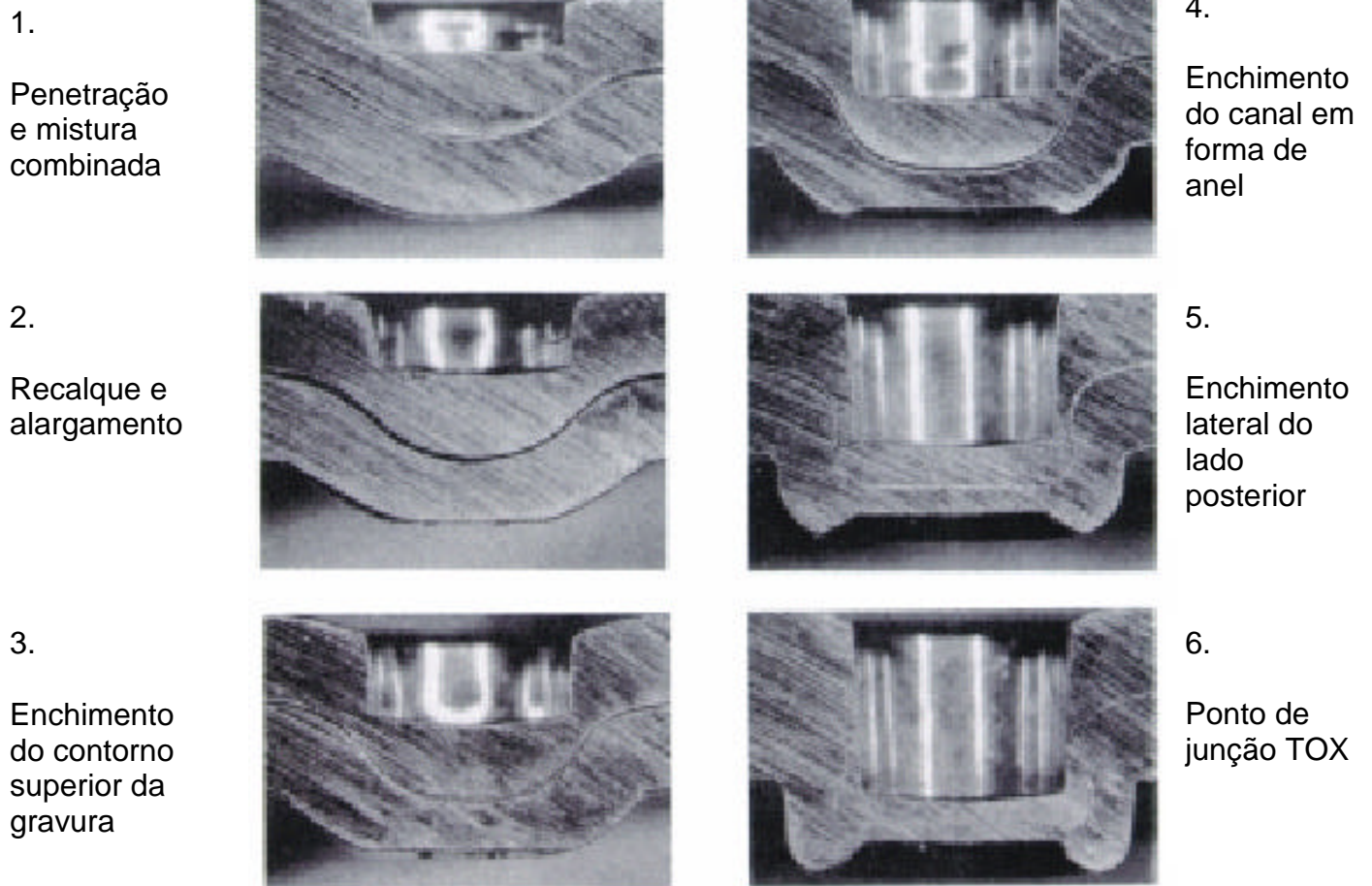
No processo de junção TOX têm-se um processo de prensagem-cravação. Neste processo nem o revestimento superficial nem a microestrutura metalográfica é alterada, de modo que diferentes materiais bem como diferentes espessuras de chapas podem ser submetidos a junção.

Um punção redondo penetra a peça a ser unida a outra em uma matriz. Através do movimento contínuo o material do lado do punção é extrudado dentro da matriz escoando para fora do punção e para dentro do material do lado da matriz, com o surgimento de um corte posterior.



**Figura 6: Comparação dos processos de junção por conformação e o processo de junção TOX.**





**Figura 7: Etapas de conformação de um ponto de junção TOX**



**Figura 8: Exemplos de junções TOX**



### 6.3.2 Junções por processo de rebitagem

Através da junção por rebites são mantidos unidos os componentes de uma estrutura ou peça. Neste caso os elementos de fixação, os rebites, estão tão fortemente deformados plasticamente, que uma separação posterior da peça só possível através da destruição dos rebites.

Existem diferentes tipos de rebites: por Ex.: rebites maciços, rebites cegos. Antes da rebitagem as peças devem ser montadas em uma posição relativa exata para furação e colocação do rebite.

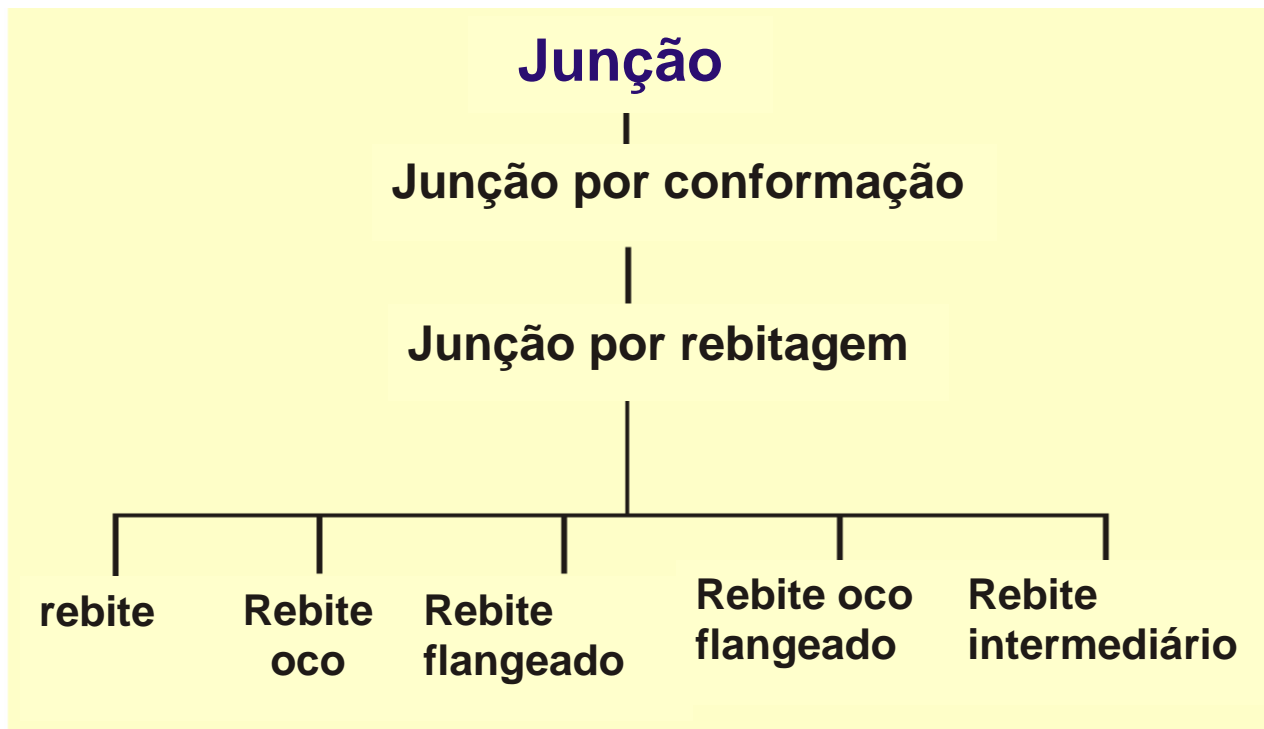


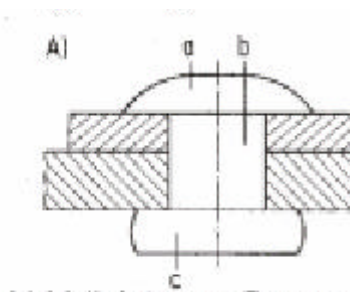
Figura 9: Junção por processo de rebitagem – divisão



### 3.2.1 Estrutura dos rebites maciço

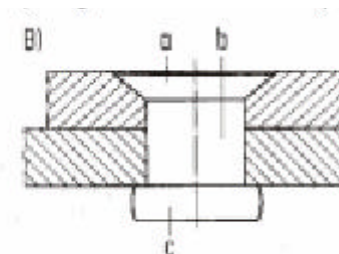
O rebite pode ser introduzido do furo de rebiteagem manualmente ou através de uma ferramenta pneumática, de modo a ser deformado plasticamente, proporcionando a imobilização dos componentes e formação de uma cabeça para o travamento (fixação definitiva) das partes rebitadas.

- 1) Rebite maciço de alumínio (impacto)      Cabeça de fechamento de Rebite maciço de aço

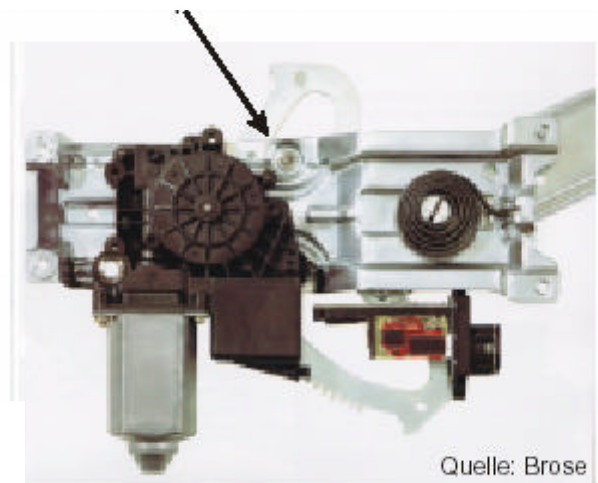


- a) base do rebite  
posicionamento  
b) alma do rebite  
c) cabeça do rebite  
fechamento

- 2) Rebite maciço de bronze (embutimento)



- a) base do rebite  
posicionamento  
b) alma do rebite  
c) cabeça do rebite  
fechamento



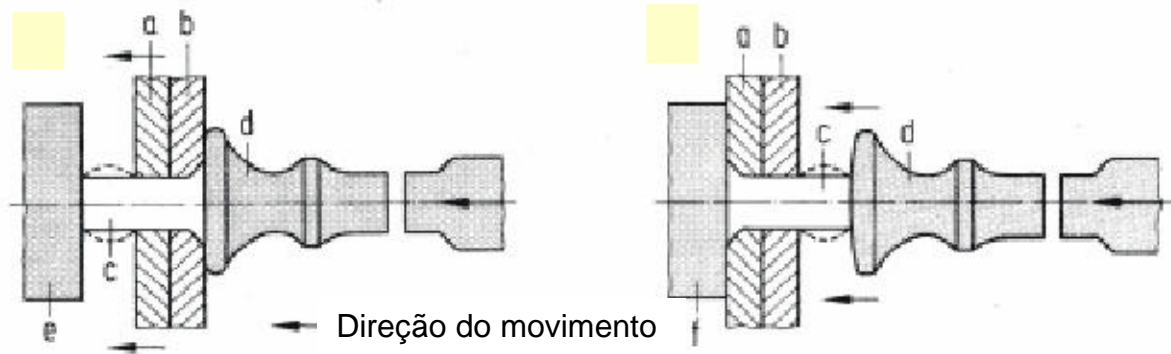
Quelle: Brose

**Figura 10: Rebite maciço**



a) rebitagem indireta

b) rebitagem direta



a, b) peças a serem rebitadas  
c) alma do rebite  
d) rebitadora  
e) suporte

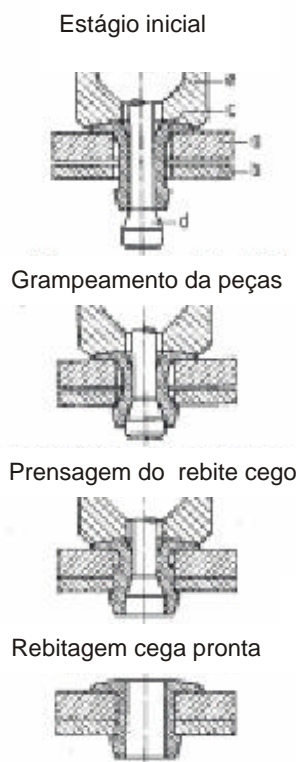
a, b) peças a serem rebitadas  
c) alma do rebite  
d) rebitadora  
e) placa de pré posicionamento

**Figura 11: Conformação de um rebite maciço**



### 3.2.2 Rebite cego

Rebites cegos são empregados, rebites cegos são empregados quando só um dos lados das peças a serem unidas pela rebitagem pode ser alcançado. Os rebites cegos são rebites com um pino guia. O extremo deste pino guia pode ter forma esférica ou cônica, de tal modo que durante a extrusão deste pino guia uma peça é prensada contra a outra.



- a, b) peças a serem rebitadas
- c) capa e cabeça do rebite
- d) mandril da rebitadora
- e) ferramenta rebitadora

Rebitagem cega em um módulo de porta de um automóvel em união aço-aço.

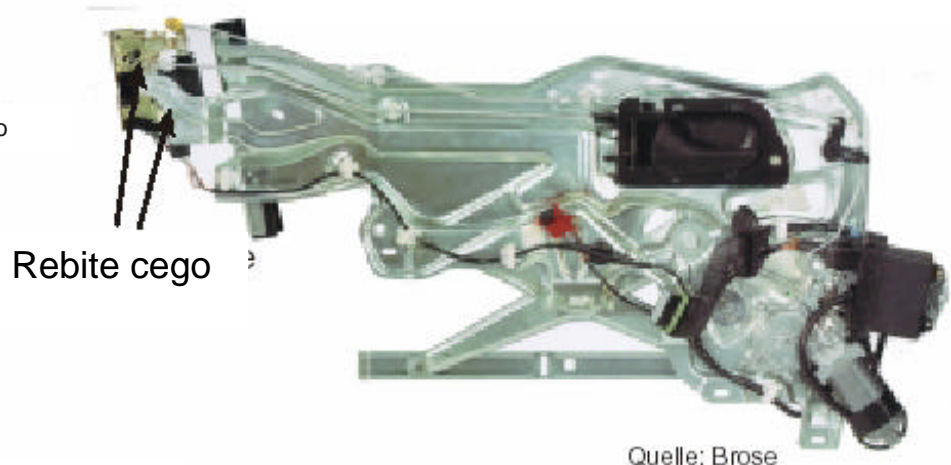


Figura 12: rebite cego



#### 4. Junção por soldagem

**Soldagem é união de materiais na zona de soldagem mediante o emprego de calor e/ou força com ou sem material de adição. Pode ser facilitada através do emprego de materiais auxiliares., p. Ex.: gases de proteção, pós ou pastas de soldagem. A energia necessária para a soldagem é fornecida externamente.**

Zona de soldagem : região limitada, na qual o material durante o processo de soldagem passou por um estado de fundido ou de deformação plástica facilitada.

Material de adição : Material adicionado na zona de soldagem ou entre a área de contato das peças a serem soldadas, formando junto com o material de base o cordão de solda.

Soldagem significa e uma ligação permanente, a qual não pode ser dissolvida por um meio não destrutivo.

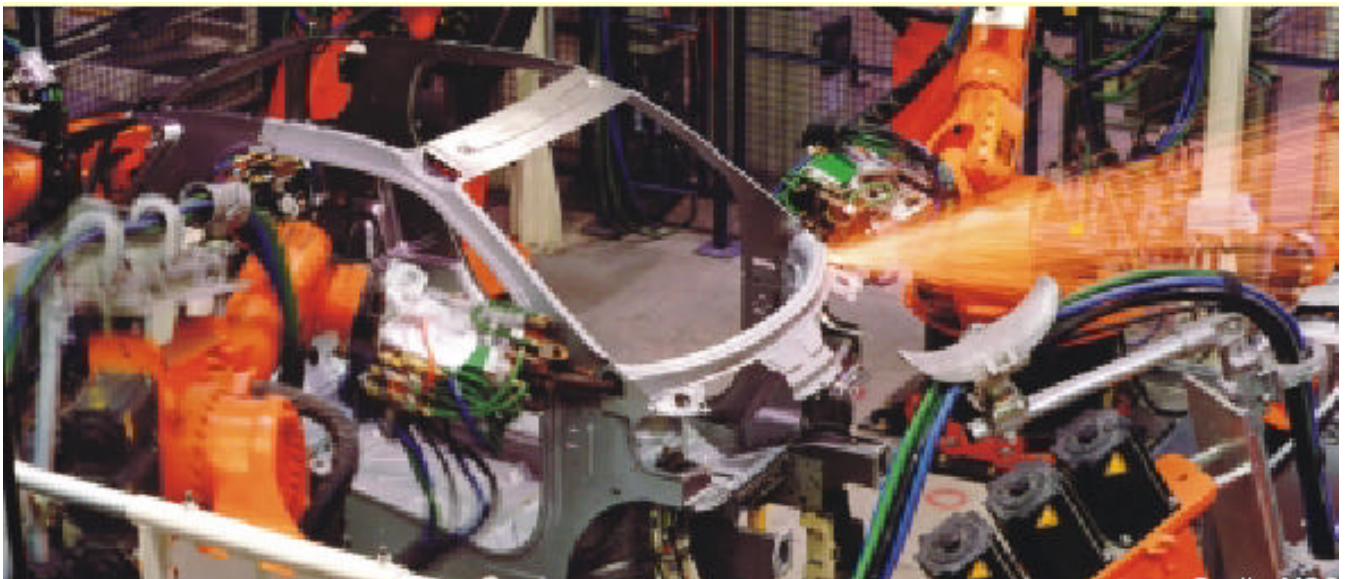
#### **Vantagem:**

- maior uniformidade do material de base com o cordão de solda.
- menores exigências de limpeza das superfícies.
- menor exigência na tolerância da junção
- resistência do material de base pode ser atingida no cordão de solda.
- sem envelhecimento



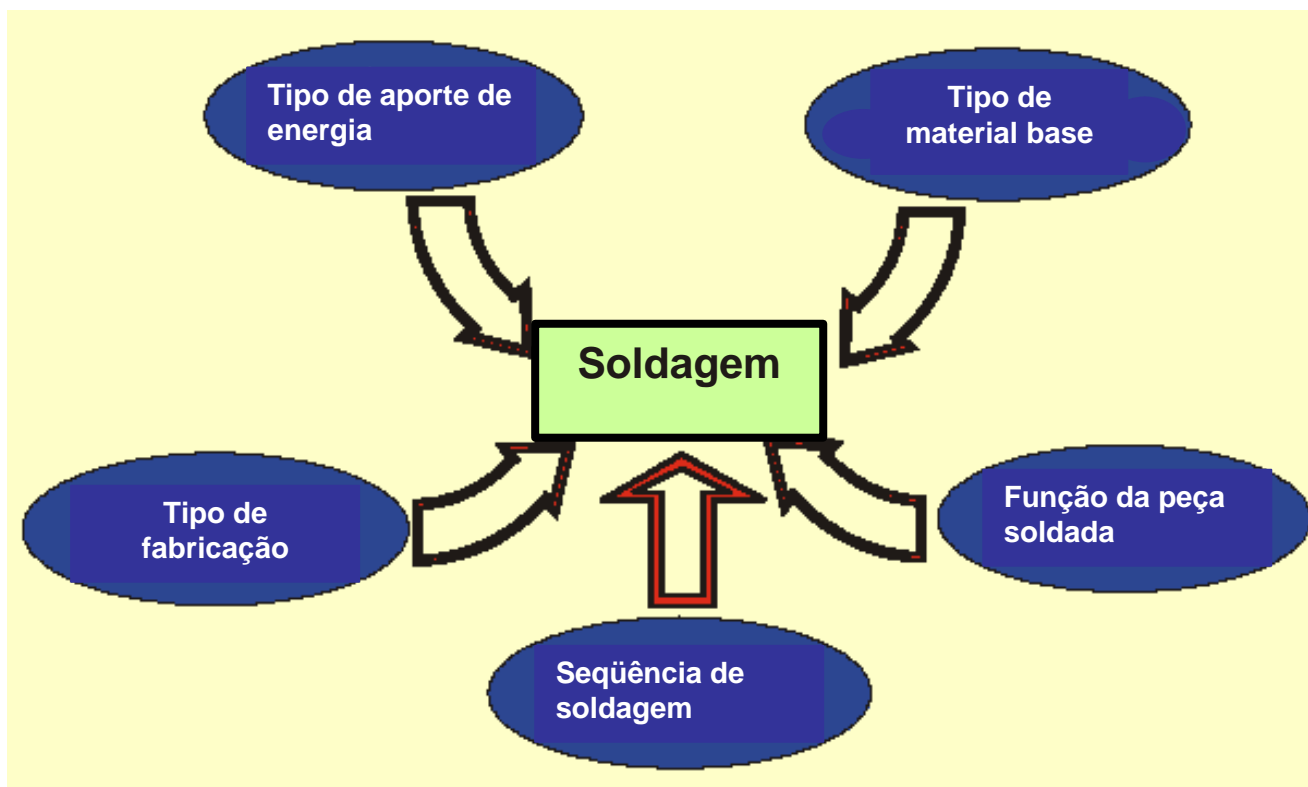
#### 4.1 Classificação dos processos de Soldagem

Soldagem é união de materiais na zona de soldagem mediante o emprego de calor e / ou força com ou sem material de adição. Podendo ser facilitada pelo emprego de materiais auxiliares, como por Ex.: gases de proteção, pós ou pastas de soldagem. Sendo a energia necessária para a soldagem fornecida externamente.



**Figura 13: Junção por soldagem**





**Figura 14: Subdivisão dos processos de soldagem**



## 4.2 Fatores de influência

A soldabilidade de uma peça de material metálico é definida pela formação de uma junção permanente por solda entre dois materiais para um determinado processo de soldagem, levando em conta que possa ser obtida por um planejamento adequado da seqüência de soldagem.

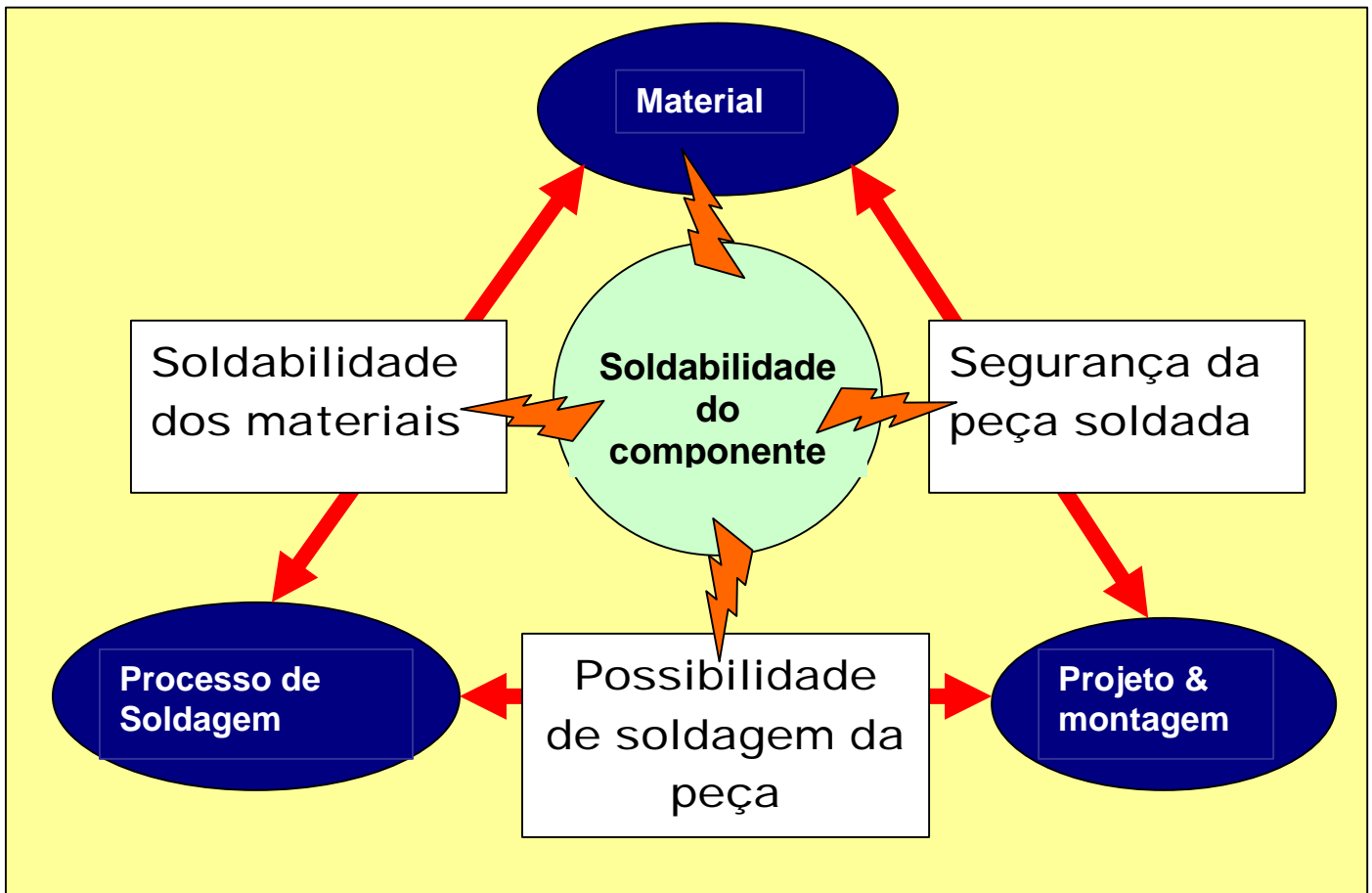


Figura 15: Fatores de influência da soldabilidade



### **Soldabilidade do material**

- composição química
- propriedades mecânicas
- propriedades físicas

### **Possibilidade da soldagem**

- Preparação da soldagem
- Condução do trabalho de soldagem

### **Segurança da soldagem**

- Arranjo do cordão de solda e fluxo de forças
- Tipo de soldagem
- Propriedades mecânicas dos materiais
- Estado de deformação e tensões residuais

### **Seleção de materiais com boa soldabilidade:**

- Aços estruturais: RSt 34-2, RSt 37-2, St 52-3
- Chapas finas: St 12, St 14, RSt 37-2
- Aços inoxidáveis: X 12 CrNi 18 8, X 5 CrNiMo 18 10
- Ligas de alumínio: AlMg 3, AlMgMn, AlMg3Si, AlMgSi 1, AlMg 0,4Si1,2



### 4.3 Soldagem por pressão

Soldagem por pressão é a soldagem com emprego de força com ou sem material de adição; aquecimento local limitado (até o ponto de fusão) possibilitando e facilitando a soldagem.

Materiais metálicos podem em geral ser mais bem unido por processos de soldagem por pressão do que pelos processos de soldagem por fusão. A origem disto é a ação conjunta da força e do calor em um processo de soldagem. Inclusões não metálicas (p. Ex.: escória) atuam de modo nitidamente prejudicial nos processos de soldagem por fusão.

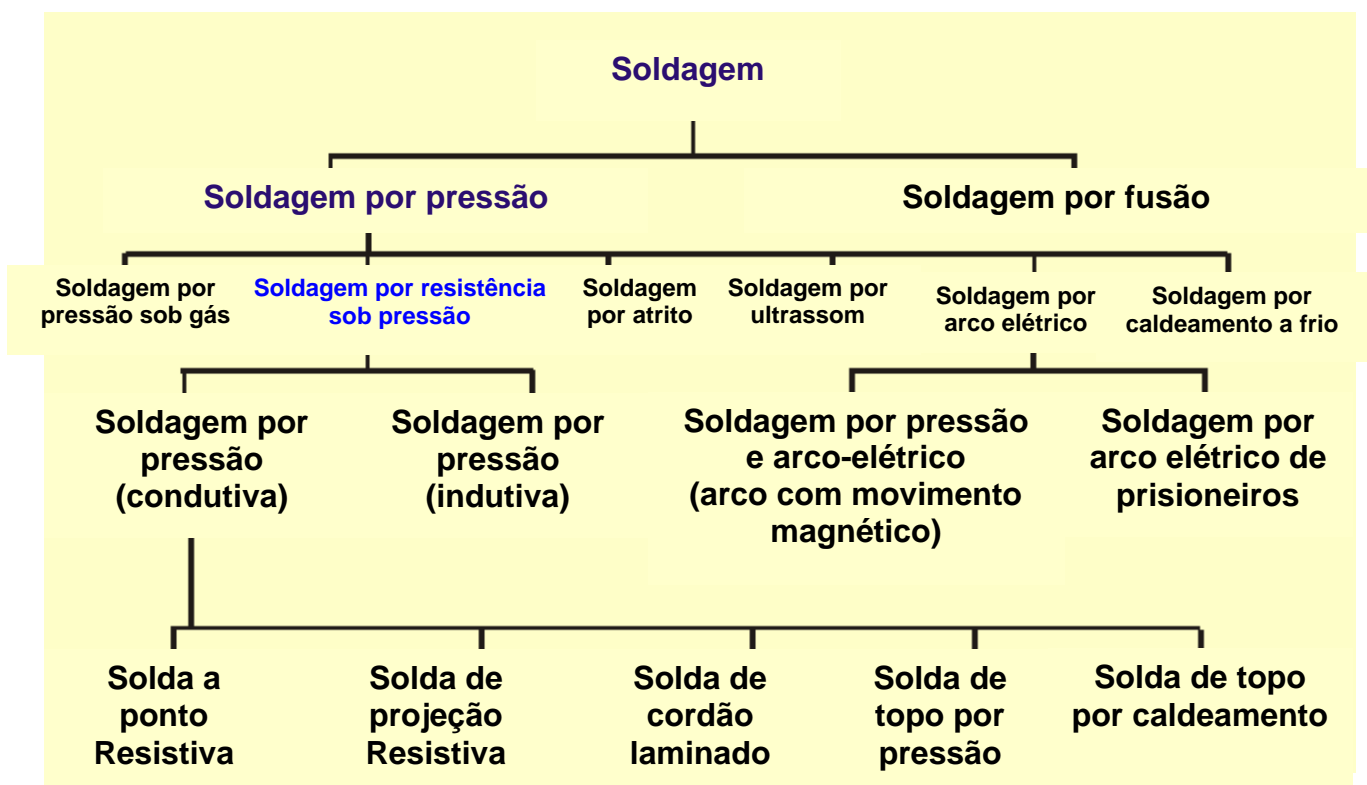


Figura 16: Subdivisão dos processos de solda por pressão



#### **4.3.1 Soldagem sob pressão resistiva**

O calor necessário para a soldagem gerado por efeito Joule, devido ao fluxo de corrente na zona de solda, considerada como um elemento resistivo. A corrente pode ser transportada tanto condutivamente por eletrodos ou indutivamente por indutores, no que as peças mantidas simultaneamente sob ação de compressão são soldadas uma a outra.

##### **Critérios de classificação:**

- Forma dos eletrodos e indutores
- Forma dos eletrodos de soldagem
- Comando da seqüência de soldagem.

##### **Vantagens:**

- Curto tempo de soldagem
- Pouco efeito térmico sobre a peça
- Preparação simples dos eletrodos de soldagem  
(predominam eletrodos de topo rombudo ou de topo afilado)
- fácil automação do trabalho
- sem necessidade de material de adição da solda.

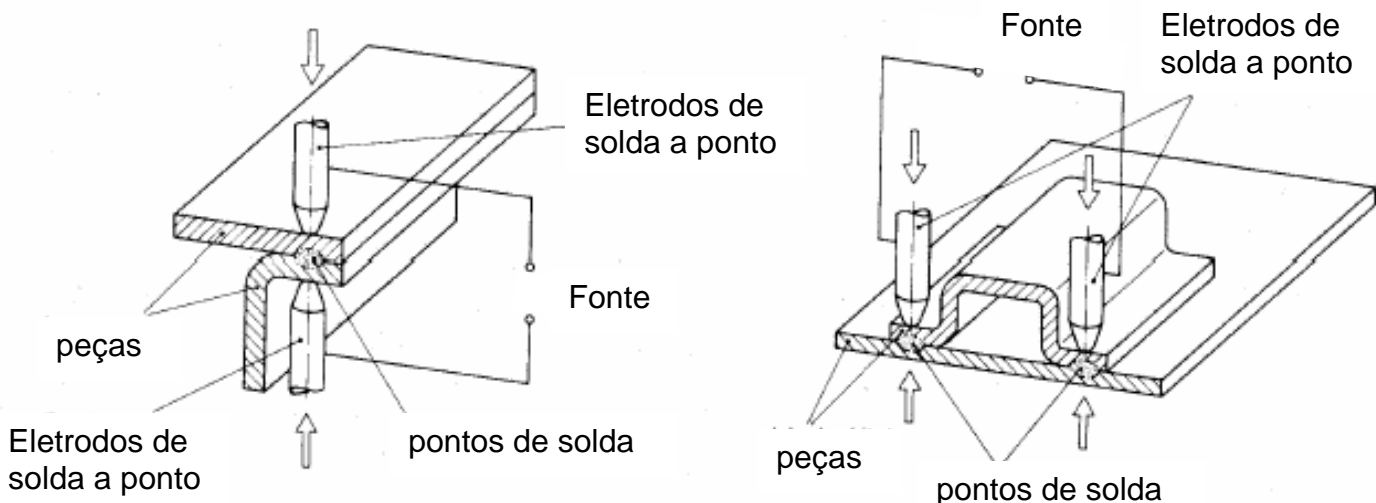


## Solda a ponto

Após a aplicação da força no eletrodo a corrente de soldagem é acionada, de tal modo que no ponto onde as peças estão sendo tocadas pelo eletrodo, surge uma resistência elétrica do contato que provoca o aquecimento da peça até a temperatura de fusão. Surgindo finalmente um ponto de união com a forma elipsóide de uma lente, o ponto de solda. Após a soldagem, a corrente elétrica é interrompida e só após a solidificação do ponto de solda, o eletrodo de solda é retirado, removendo-se a pressão. Neste processo trabalha-se em geral com correntes elevadas (até 100 kA), tensões relativamente pequenas (até 20 V) e tempos de soldagem o mais curto possível (da ordem de dezenas de segundo).

Conforme o tipo do arranjo do eletrodo sob a peça podem ser identificados dois processos: solda com ponteamto apenas de um lado e solda com ponteamto pelos dois lados.

A solda a ponto, falando de um modo geral, é possível de ser feita em todos os materiais, os quais consigam um bom aquecimento pela passagem de corrente elétrica. Exemplo: chapas de aço zincadas só podem ser soldadas a ponto em condições bastante controladas, uma vez que ocorre formação de liga com o eletrodo o que implica em retrabalho posterior.



[Solda a ponto dos dois lados](#)

[Solda a ponto de um dos lados](#)

**Figura 17. Solda a ponto**



### **4.3.2 Solda por pressão sob arco elétrico**

O calor necessário para este processo de soldagem é produzido por um arco elétrico, o qual por um breve período de tempo aquece e funde localmente (“amanteiga”) a área de contato entre as peças a serem soldadas. A espessura soldável por este processo está na faixa de 0,7 a 5 mm, a faixa de diâmetros soldáveis é da ordem de 5 a 300 mm.

#### Soldagem por pressão sob arco elétrico com arco elétrico movido magneticamente

Para este processo é empregado o princípio de que um arco elétrico, como parte de condutor com movimento livre, pode ser dobrado por meio de um dado campo magnético adequado.

O arco elétrico iniciado através do campo magnético presente entre as áreas de contato da zona de solda, gerado por meio de um sistema de bobinas solenóides, e levado a girar. O campo magnético gerado pelas bobinas provoca em conjunto com o campo magnético do arco elétrico uma força tangencial no arco elétrico, de tal modo que a área de contato da zona de solda sofre uma fusa localizada e após um aquecimento suficiente, pode formar uma solda de topo entre as duas peças.



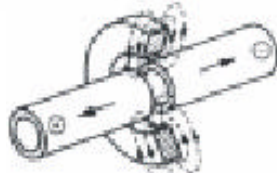
**Posição inicial:**

- contato mútuo das peças
- corrente de soldagem e campo magnético sendo conectado.



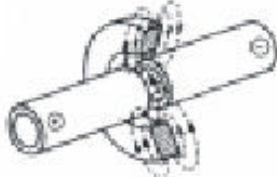
**Início da solda:**

- as peças são confrontadas até um dado espaçamento entre elas (movimento de avanço), necessário para a ignição do arco elétrico.



**Aquecimento:**

- rotação do arco elétrico
- fusão local na área de contato



**Soldagem final:**

- condução e recalque das peças
- corrente de soldagem e campo magnético desligados.



**Vantagens do processo:**

- reduzido consumo de energia.
- reduzida perda de material
- junção precisa também para pequenas espessuras de parede
- rebarba de solda menor e mais uniforme.
- sem formação de respingos

**Figura 18: Soldagem por pressão sob arco elétrico com arco elétrico movido magneticamente**





## 4.4 Soldagem a Laser

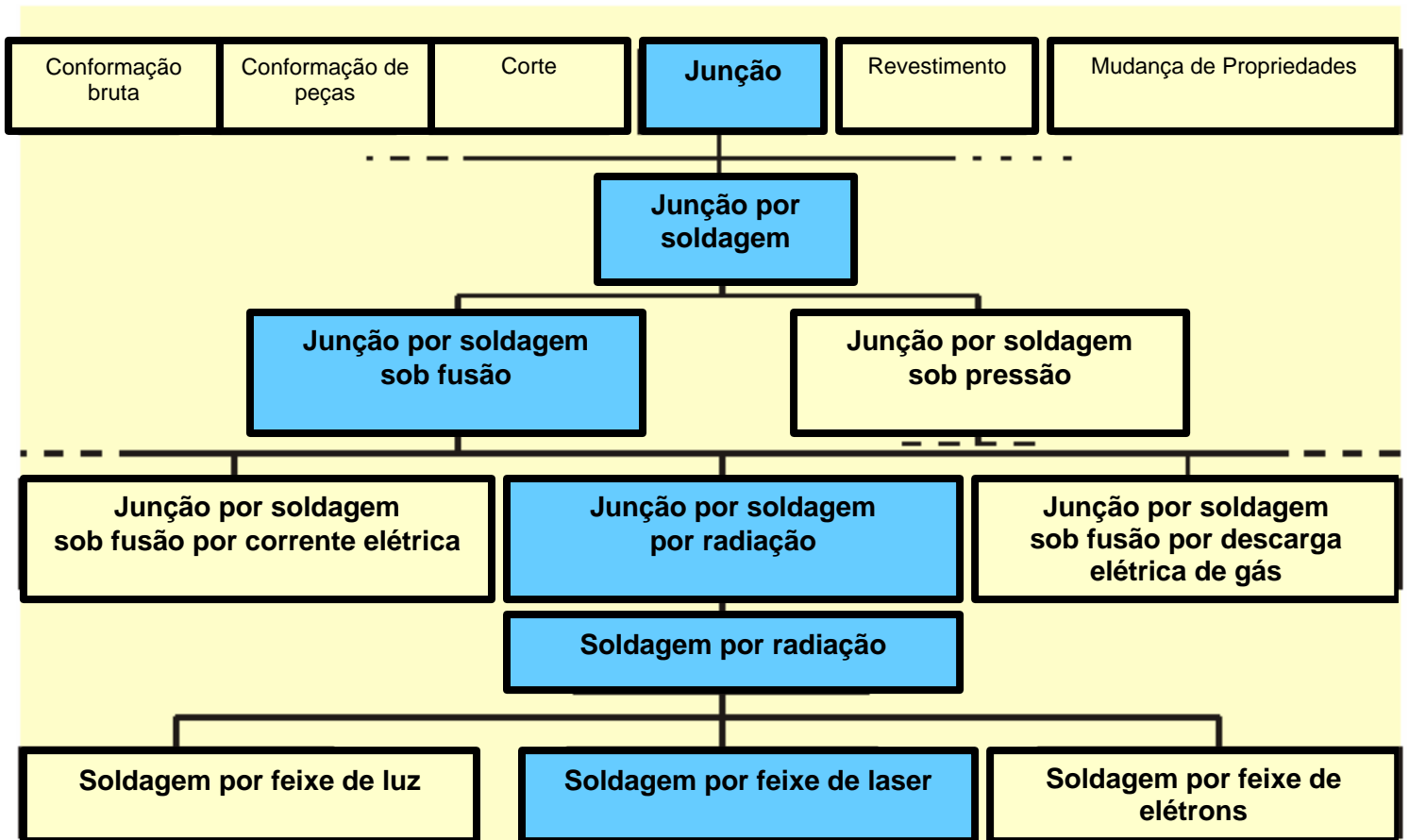


Figura 19: Classificação da soldagem por laser

### Vantagens da soldagem a laser:

- menor zona termicamente afetada → menor distorção térmica
- cordão de solda mais estreito → menor tempo posterior de retrabalho (acabamento)
- possibilidade automação da seqüencial especial do trabalho de soldagem.



#### 4.4.1 Processos de soldagem a laser

No caso da soldagem a laser é empregada para o aporte de energia a luz de um laser. Em função da intensidade de radiação do laser e de uma intensidade de limiar específica do material podem ser distinguidos dois processos: a soldagem por condução térmica e a soldagem profunda.

##### Soldagem a laser por condução térmica

Quando: intensidade do feixe < intensidade de limiar, têm-se o acoplamento de superfícies de peças lisas ou não substancialmente deformadas. A potência absorvida é maior que a potencia dissipada por condução, pelo que se chega à fusão do material. Não atingindo, entretanto, a formação de um capilar de vapor e uma zona termicamente afetada (ZTA) muito profunda. A absorção depende da polarização e do ângulo de incidência do feixe. Ela cresce com o aumento da temperatura da região irradiada da peça.

Características da soldagem por condução térmica:

- velocidade de avanço comparativamente menor
- Maior espectro de energia (= Potência / Velocidade)
- Seção do cordão de solda em forma de meio círculo com largura do cordão  $\approx$  2. profundidade.
- Contorno externo e raiz do cordão de solda muito uniforme
- Junção por soldagem apenas de materiais com uma camada oxidada de baixo ponto de fusão.

##### - Soldagem a laser profunda ( ou de penetração)

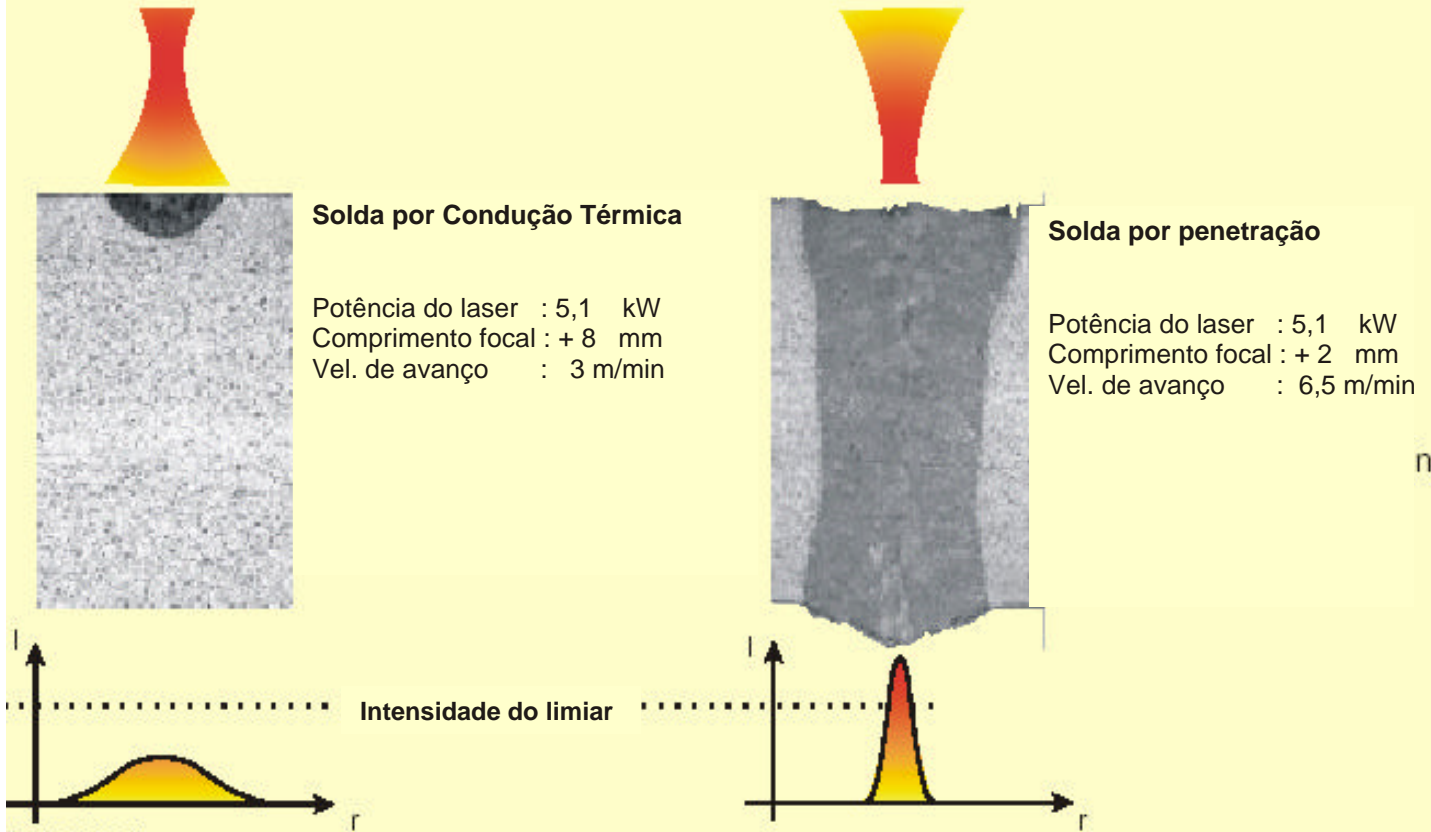
Quando: intensidade do feixe < intensidade de limiar, têm-se o acoplamento no chamado capilar de vapor, o qual devido a elevada absorção no vapor do metal (absorção do plasma) e das reflexões múltiplas da luz de laser no canal de vapor, resulta em uma solda a laser mais profunda ou de penetração.

Características da soldagem a laser profunda:

- elevada velocidade de avanço
- menor espectro de energia
- menor distorção da peça
- maior razão profundidade / largura de cordão (em comparação com a solda por condução)
- contorno superior e raiz do cordão de solda muito uniforme.



## Soldagem a laser CO de uma liga EN AW-6016 (AlMg0,4Si1,2)



**Figura 20: Soldagem por condução térmica e soldagem profunda**

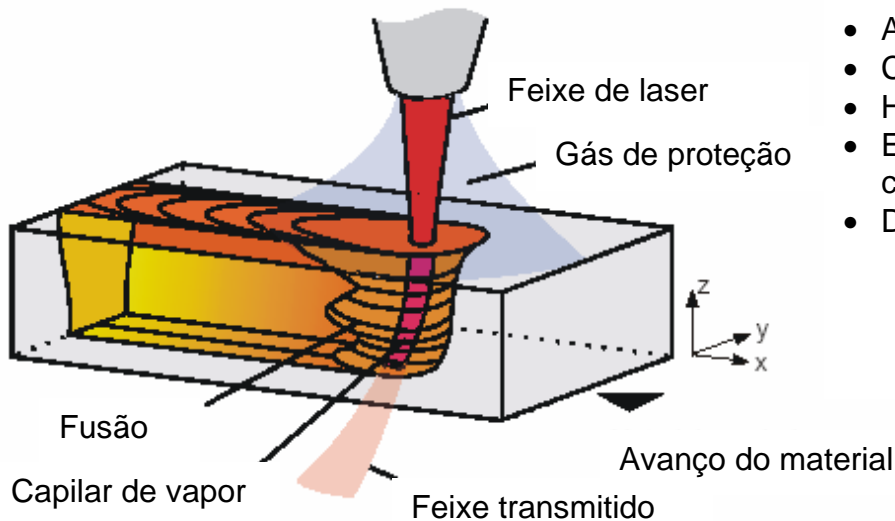
Modelagem do processo de solda a laser

O processo global de soldagem profunda a laser é um processo físico complexo constituído por diversos outros processos parciais acoplados uns aos outros:

- Absorção da radiação laser
- Condução térmica na peça
- Hidrodinâmica da poça de fusão
- Evaporação na superfície do capilar
- Dinâmica dos gases no capilar



**O processo global de soldagem profunda a laser é um processo físico complexo constituído por diversos outros processos parciais acoplados uns aos outros:**

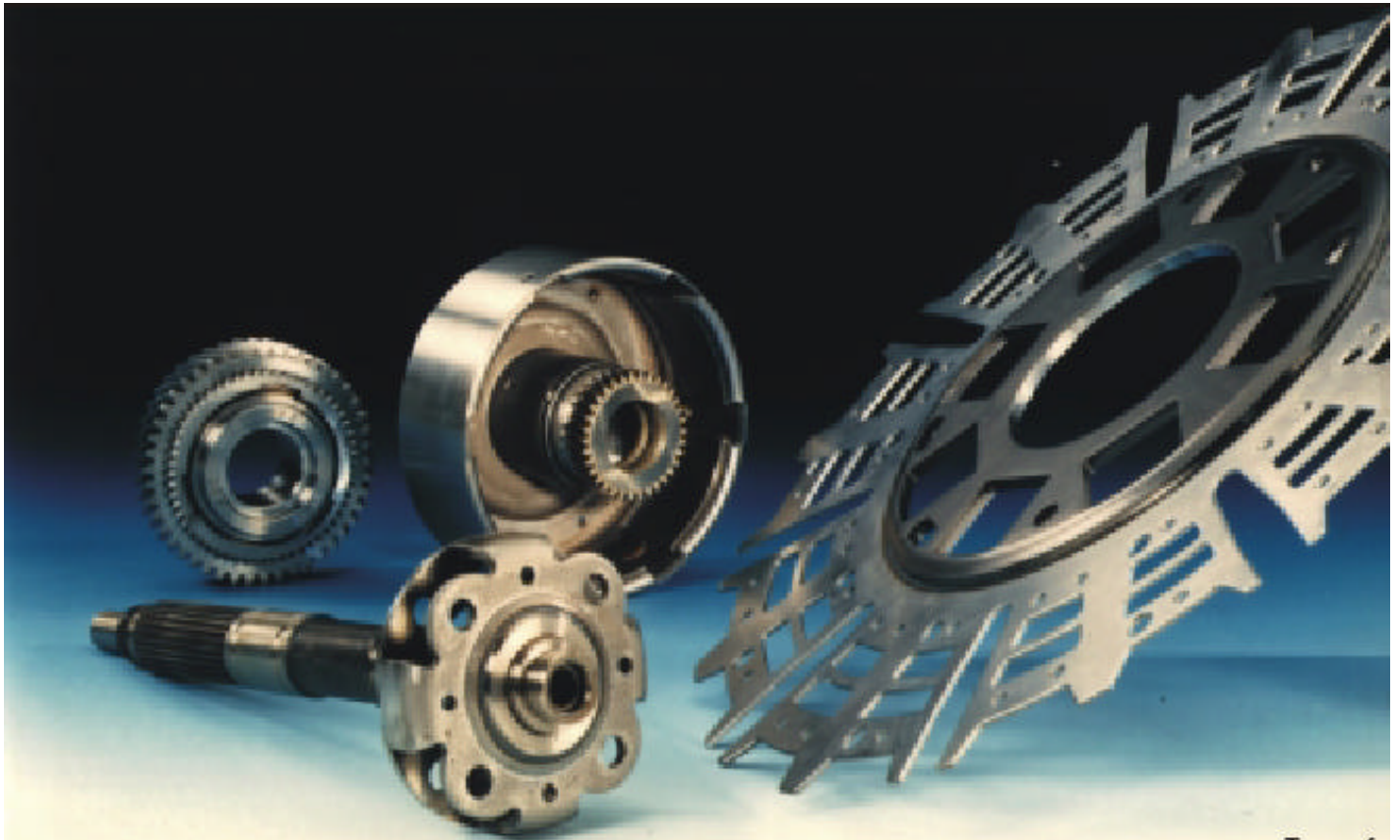


- Absorção da radiação laser
- Condução térmica na peça
- Hidrodinâmica da poça de fusão
- Evaporação na superfície do capilar
- Dinâmica dos gases no capilar

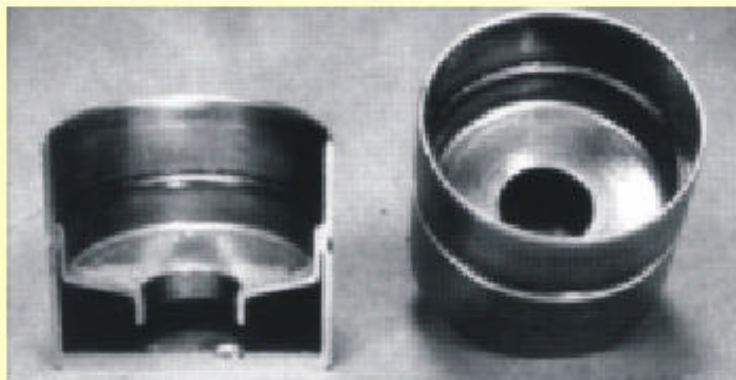
**Figura 21: Efeito mútuo da condução térmica, hidrodinâmica e evaporação na soldagem profunda por feixe de laser.**



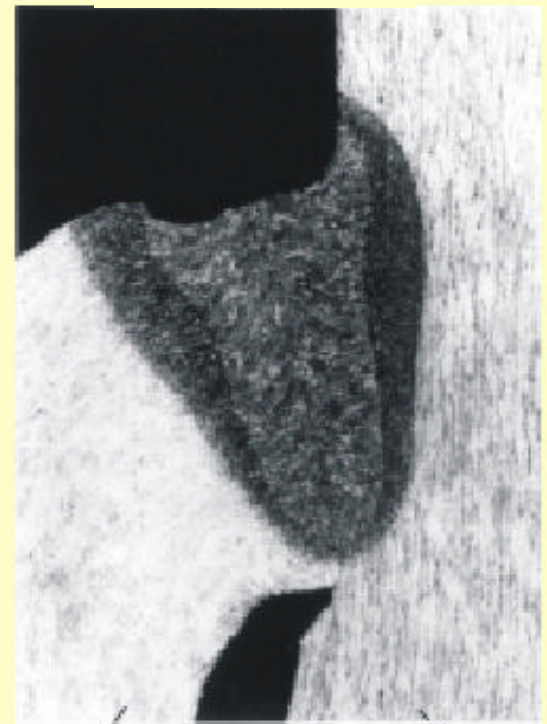
#### 4.4.2 Exemplos de uso da soldagem a laser



**Figura 22: Soldagem por feixe de laser de componentes de câmbio**



Detalhe em Z



15Cr3

16MnCr5

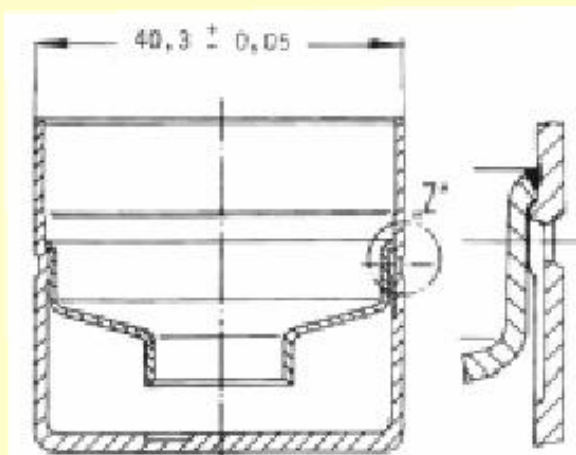


Figura 23: Soldagem por feixe de laser de um assento de válvula



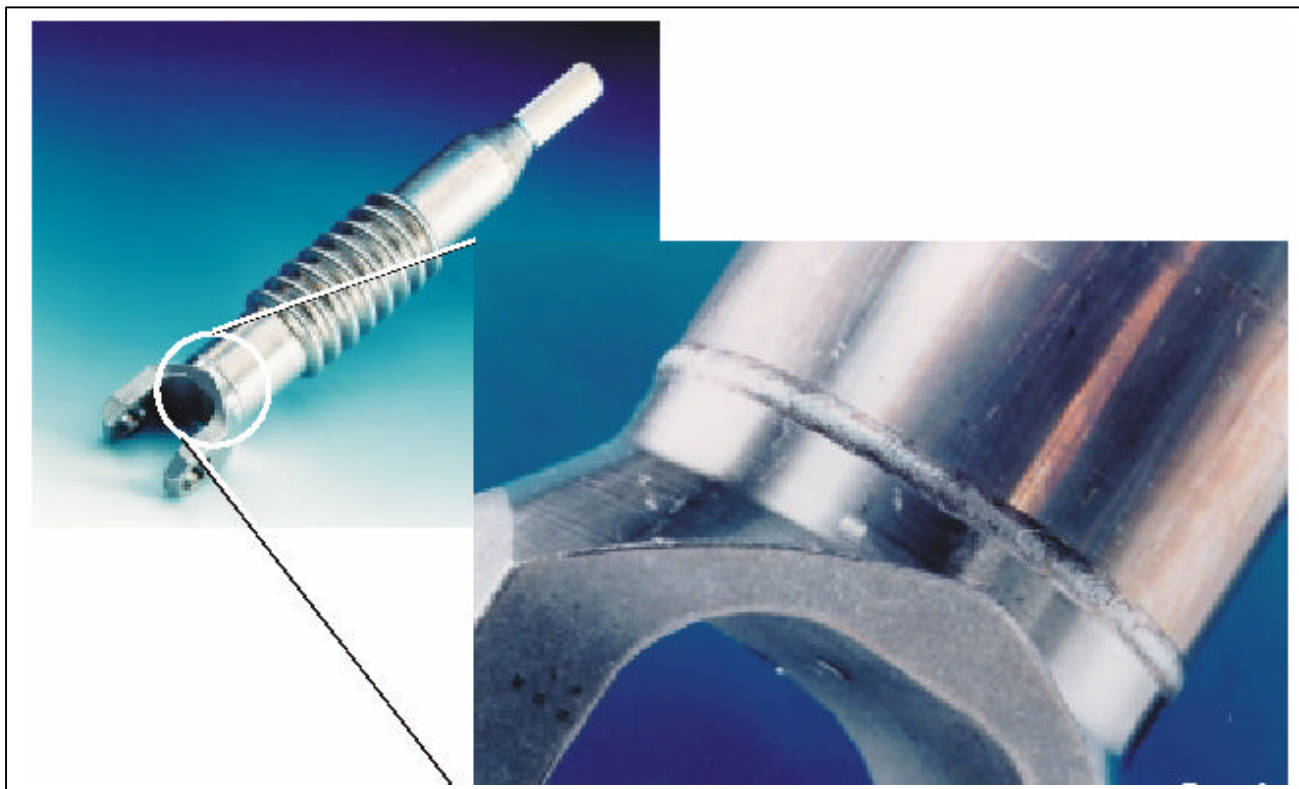
## Junções por solda a laser

- Teto-janela traseira
- Portamala
- Grupo do painel frontal
- Teto-painel lateral



Cerca de 11 m de cordão de solda a laser por carroceria

Figura 24: Soldagem por feixe de laser na montagem de carrocerias



**Figura 25: Solda a laser de uma coluna de direção de alumínio**

O alumínio e suas ligas oferecem desafios bastante importantes na condução de seu processo de soldagem. Para a soldagem por laser de CO<sub>2</sub> na coluna de direção, visando um aumento da segurança, usa a técnica de feixe duplo (TwistLas) da firma Trumpf.





#### **4.4.3 Comparação da soldagem a laser com outros processos**

Vantagens frente à soldagem MAG:

- menor necessidade de retrabalho

Vantagem frente à solda por feixe de elétrons:

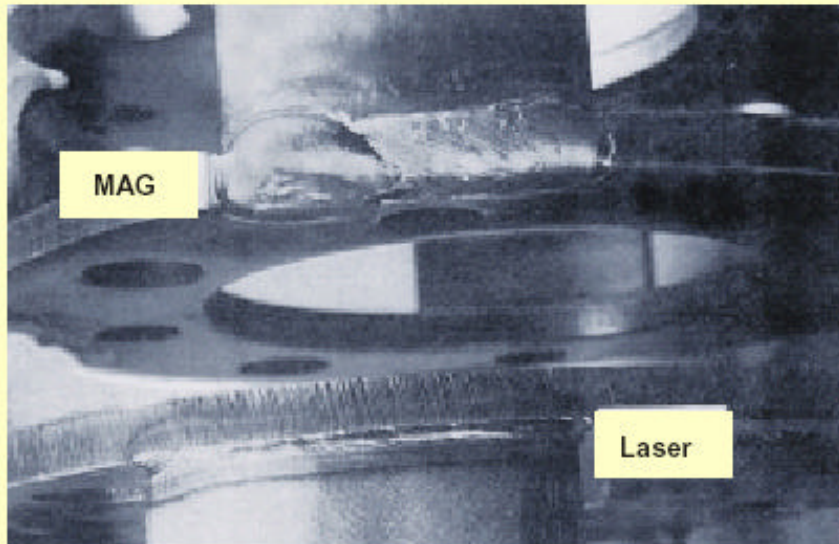
- ausência do custo mais elevado e consumo de tempo para evacuar a câmara de soldagem.

Vantagens frente à solda a ponto:

- 30 % mais resistência sob solitação dinâmica
- 50 % mais resistência sob solitação estática
- Estanqueidade
- Melhor aspecto ótico
- Menor necessidade de superposição nas junções.

Fundamentos para a aplicação do laser:

- menor distorção na soldagem, i.e. ausência de desindireitamento
- menor seção transversal da junção, i.e.: maior resistência e rigidez
- menor distorção
- maior produtividade do que a solda por feixe de elétrons
- maior produtividade do que brasagem.
- alta velocidade de soldagem.



**MAG:**

Soldagem com arco metálico e gás de proteção ativo (MAG)  
- Grande necessidade de retrabalho

**Laser:**

- menor distorção de soldagem  
- elevada resistência e rigidez  
(maior seção de transversal de junção) tt)

**Figura 26: Comparação entre os processos de soldagem a laser e MAG**



## **5. Junção por brasagem**

### **5.1 Fundamentos da brasagem**

Brasagem é um processo térmico para a junção e revestimento de materiais metálicos com a ajuda de um metal de adição fundido (meio de brasagem), na maioria dos casos mediante o emprego de meio fluxante e / ou gás de proteção da brasagem.

Ao contrário da soldagem, o material de adição ou de brasagem é diferente e tem um ponto de fusão mais baixo do que o material de base que está sendo soldado. A temperatura solidus do material de base não é atingida.

Os materiais de adição da brasagem são sempre constituídos de metais puros ou ligas. Formas comerciais comuns são arames, varetas, chapas, fitas, barras, pós, pastas ou peças conformadas.

### **Fases do processo de brasagem**

- Aquecimento da área de junção, do meio de brasagem, e do meio fluxante.
- Ativação do meio fluxante / gás de proteção: afastamento da camada passivadora.
- Fusão meio de brasagem
- Molhamento dos pares que estão sendo brasados
- Processo de difusão: A Formação de solução sólidos ou compostos intermediários.



## Condições para a molhabilidade

- O material de brasagem e o material de base podem formar solução sólida ou compostos intermediários.
- A temperatura da área de junção para permitir o molhamento (i.e. Temperatura da área de junção = Temperatura do material de brasagem fundido). Quando a área que está sendo brasada não está aquecida durante a fusão do material de brasagem, podem surgir bolhas do material de brasagem, isto é começa a não se espalhar e a molhar a se mesmo e não a superfície a ser brasada.
- Superfícies limpas e isentas de óxido.
- Necessidade de limpeza e pureza química e mecânica da superfície.
- Emprego de gás de proteção, meio fluxante ou vácuo.

## Gases de proteção

- Atmosfera de brasagem ( $H_2N_2$ ; 95%  $N_2$ , 5%  $H_2$ )
- Uso predominante na brasagem dura
- Remoção da camada superficial de óxidos por reação química com o gás protetor

## Meio Fluxante

- predomina no emprego de brasagem fraca (solda fraca)
- Redução, dissolução e retirada dos novos óxidos que estão sendo formados durante o processo de brasagem.
- estimular o contato térmico dos pares que estão sendo brasados com o meio de brasagem.
- Temperatura efetiva do meio fluxante ( $T_w$ ) deve ser inferior a temperatura de trabalho do material de brasagem ( $T_A$ )
- Seleção do meio fluxante depende do material de base da temperatura de trabalho do meio de brasagem.



Os limites dos processos de brasagem são tomados conforme a temperatura de fusão do material de brasagem;

Até 450 °C: brasagem mole  
(solda fraca)

A partir de 450 °C: brasagem dura

A partir de 900 °C: brasagem de alta temperatura sem fluxante, sem ar (vácuo ou gás inerte)

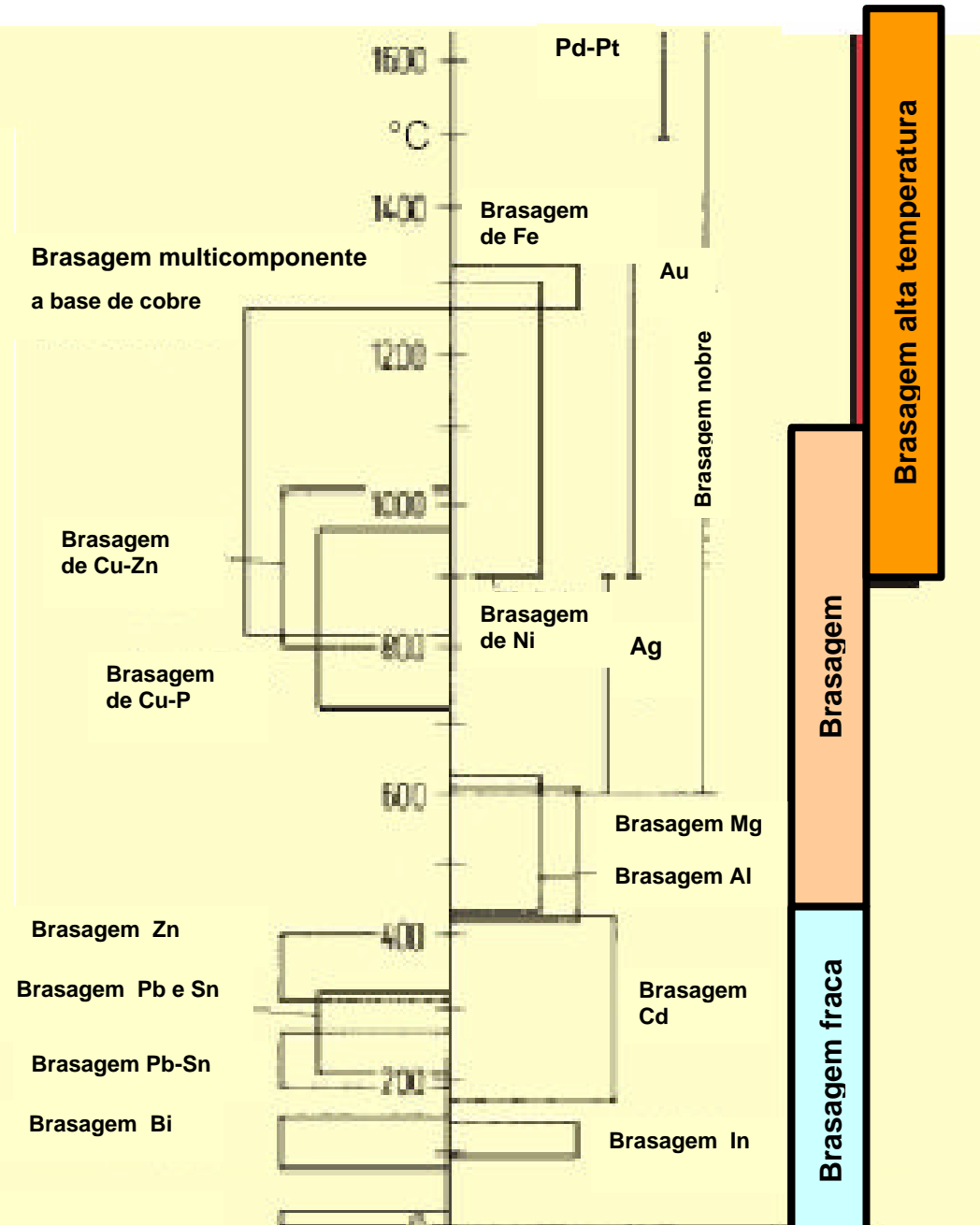


Figura 27: Classificação dos processos de brasagem.



Brasagem por corpos sólidos	Brasagem por pontos	SF	Brasagem por radiação	Brasagem por feixe de luz	SF, B
	Brasagem por blocos	SF		Brasagem por feixe de laser	SF, B, BAT
	Brasagem por cilindros	SF		Brasagem por feixe de elétrons	B, BAT
Brasagem por fluidos	Brasagem em banho de sal	B	Brasagem por fluidos	Brasagem resistiva	SF, B
	Brasagem em banho	SF, B		Brasagem indutiva ao ar	SF, B
	Brasagem por onda	SF		Brasagem indutiva sob gás redutor	BAT
	Brasagem por arraste	SF		Brasagem indutiva sob gás inerte	BAT
	Brasagem por ultrassom	SF		Brasagem indutiva sob vácuo	BAT
	Brasagem por refusão	SF		Brasagem em forno com meio fluxante	SF, B
Brasagem por gás	Brasagem por chama	SF, B		Brasagem em forno sob gás redutor	B, BAT
	Brasagem por gás aquecido	SF		Brasagem em forno sob gás inerte	B, BAT
	Brasagem em forno a gás	SF		Brasagem sob vácuo	B, BAT
Brasagem por plasma gasoso	Brasagem por arco elétrico	B			

SF = solda fraca (soldering)      B = brasagem (brazing)      BAT = Brasagem em alta temperatura

Figura 28: Classificação dos processos de brasagem conforme o aporte de energia



## 5.2 Brasagem fraca (solda fraca)

Devido à baixa temperatura liquidus da brasagem fraca (abaixo de 450 °C) as zonas de difusão entre os materiais de brasagem e o material de base não são tão fortes, como por exemplo, as da brasagem dura. A resistência mecânica obtida é por este motivo relativamente bem menores (resistência ao cisalhamento cerca de 5 N/mm<sup>2</sup>). A brasagem fraca será usada predominantemente para produzir estanqueidade ou brasagem de contato elétrico.

### Brasagem fraca na produção eletrônica

Brasagem por refluxo convencional para brasar componentes eletrônicos em fornos (aporte de energia vai ar ou gás aquecido). A brasagem em um forno de refluxo é um processo de brasagem global.

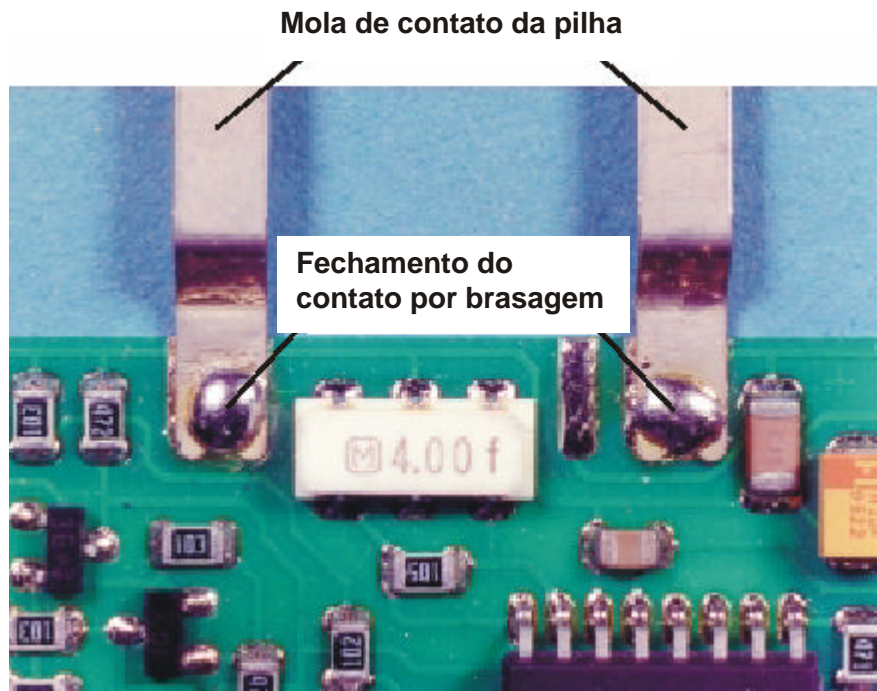
Os componentes são para isto, colocados em uma placa de circuito impresso pré-cobertos com uma pasta de brasagem e a seguir brasados em um forno de refluxo. A brasagem em um forno de refluxo é um processo de brasagem de todas peças ao mesmo tempo (brasagem global).

A brasagem por feixe de laser é um processo de brasagem seletiva.



## Brasagem por feixe de laser dos terminais de contato de pilhas

Devido à elevada temperatura na parte superior do contato da bateria a solda é puxada para cima → formando uma espécie de “rebite”.



- Brasagem de refluxo convencional

- soldagem posterior da mola de contato da pilha por laser de diodo.

- Potência do Laser : 12 W
- Tempo de brasagem: 2,5 s
- Pasta : Sn62Pb36Ag2
- Substrato : FR4

**Figura 29: Brasagem a laser de contatos de bateria**





### Brasagem por feixe de laser de um posicionador elétrico de espelho.

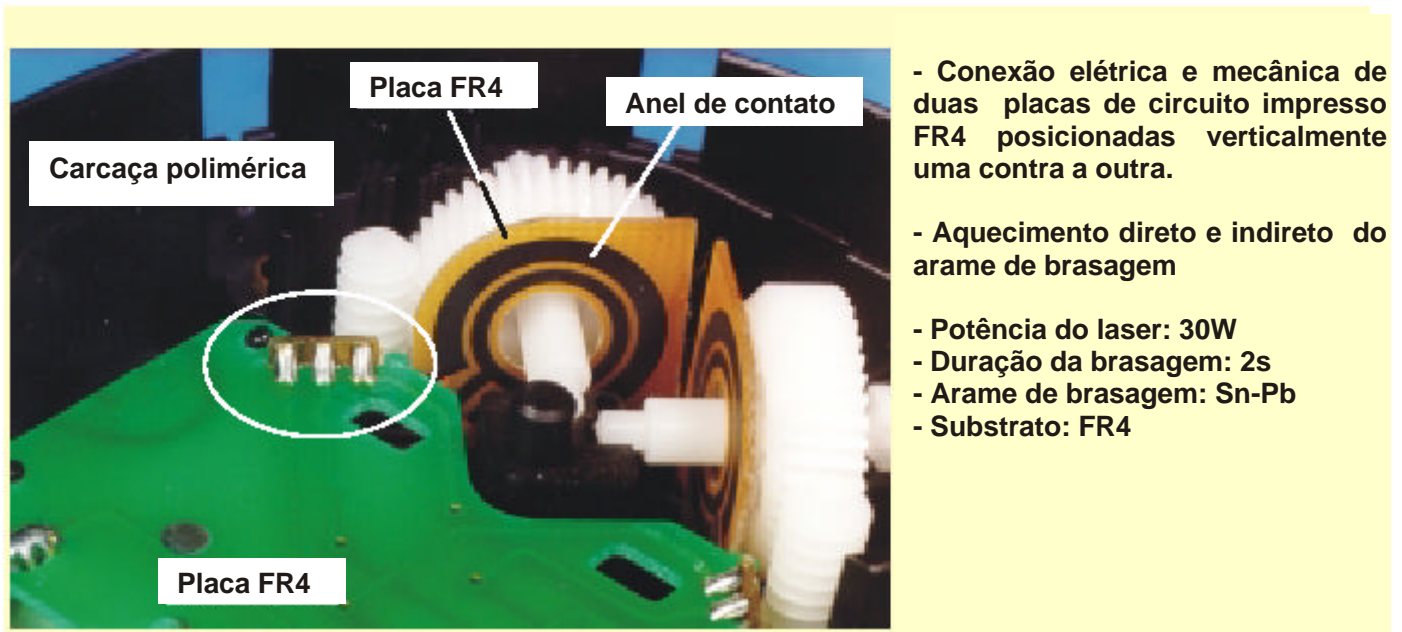


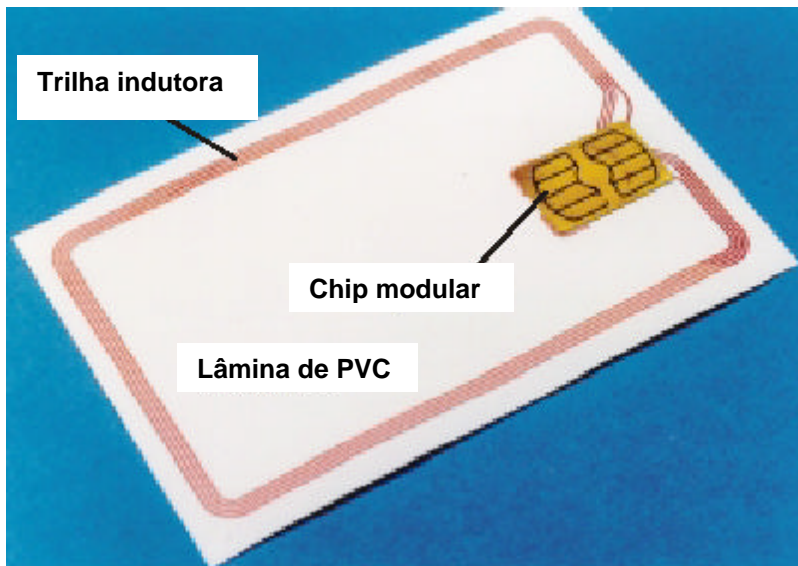
Figura 30: Soldagem por feixe de laser de um posicionador de espelho posterior



## Brasagem por feixe de laser em um cartão com chip integrado

A brasagem por feixe de laser de ponto de brasagem não alcançável:

O Laser aquece a camada de cobre → através da condução de calor na poliimida funde-se o material que está embaixo do ponto de brasagem.



### Brasagem da trilha de indução na Parte inferior do chip modular

- aporte térmico local limitado
- > sem dano térmico do polímero
- > só uma pequena redução na aderência da metalização sobre o substrato

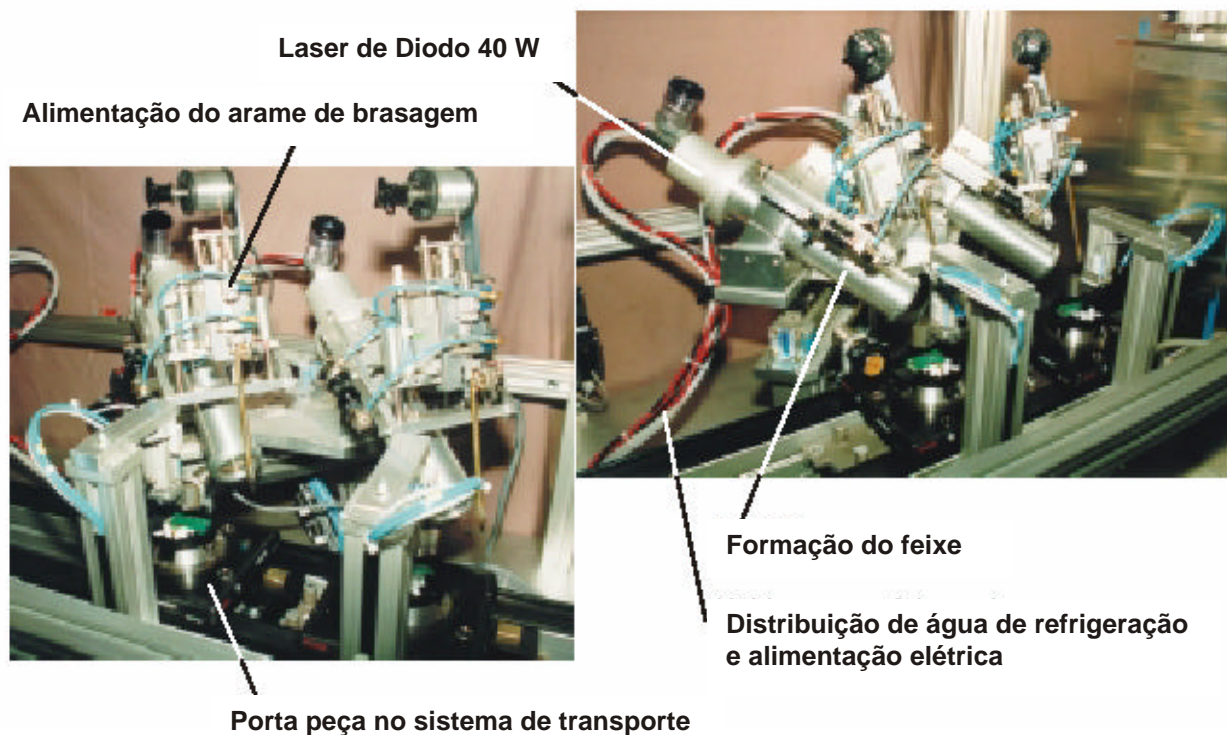
Figura 31: Brasagem por feixe de laser de um cartão com chip integrado



## Dispositivo de brasagem a laser com alimentação integrada do arame de brasagem (SEHO)

Aquecimento indireto do arame de brasagem:

- (1) Aquecimento do ponto de brasagem pelo feixe de laser.
- (2) Posicionamento do arame de brasagem
- (3) Fusão do arame de brasagem por condução térmica



**Figura 32: Dispositivo de brasagem a laser in-line**



## Dispositivo de brasagem a laser com mesa redonda com estações

Guia estática do feixe de laser: Posicionamento do ponto de brasagem por meio de uma mesa redonda de estações.

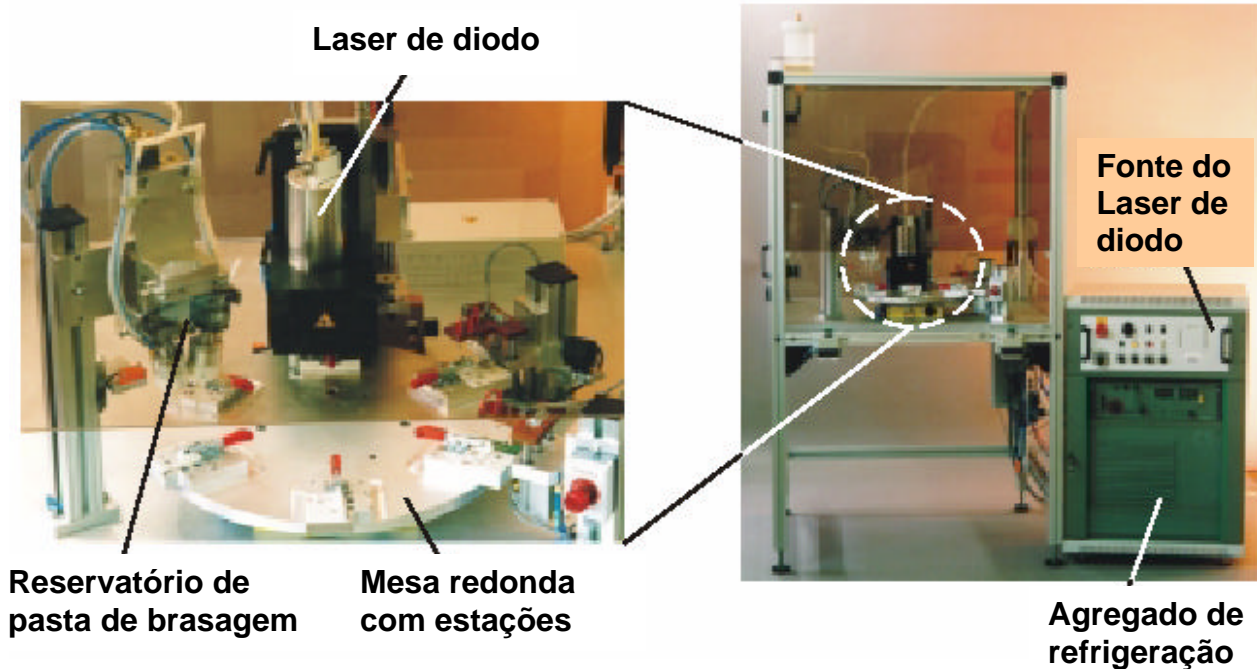


Figura 33: Dispositivo de brasagem a laser com mesa redonda com estações.

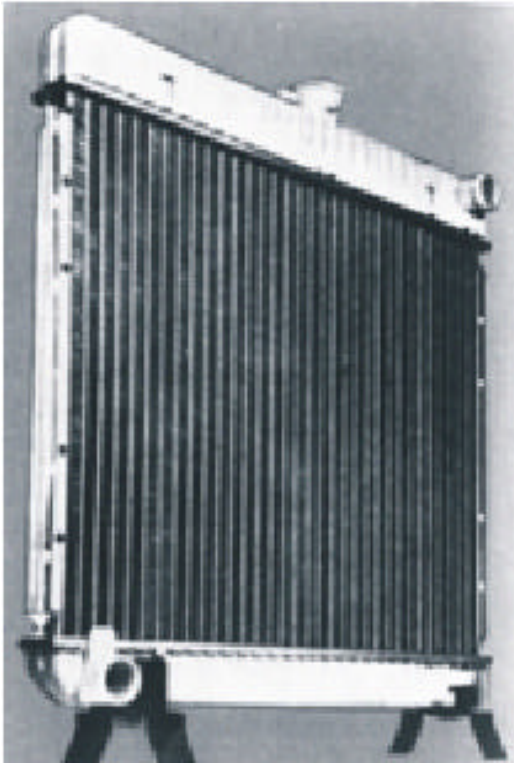


### **5.3 Brasagem (brasagem dura)**

A brasagem dura oferece para qualquer quantidade de material adicionado, uma massa uniformemente modelada cujo processo de acabamento será mais fácil do que o de uma junção por soldagem. O trabalho de reparação pode também ser realizado através simplesmente de uma dissolução da brasagem.

Pode ser dividida em: brasagem de topo ( $s < 0,25$  mm) e brasagem de junta ( $s > 0,25$  mm). Na brasagem de topo através da predominância de um efeito capilar do material de adição no espaço a ser brasado, o material de adição será puxado e todo o flanco do cordão de brasagem molhado, enquanto a brasagem de junção serve para o enchimento de cavidades e juntas maiores.

Os meios de brasagem mais usados são predominantemente as ligas de cobre, e também de modo geral metais nobres não ferrosos. No caso de metais mais leves, aparece a brasagem dura com ligas de alumínio-silício.



**Requisitos:**

Estanqueidade em temperaturas elevadas (acima de 100 °C)

**Solução:**

Brasagem em forno  
Radiador

**Brasagem:** Liga Al-Si-Mg  
**atmosfera:** Vácuo

**Radiador de automóvel**

**Figura 34: Brasagem de um radiador automotivo.**



## Fundamentos da brasagem dura convencional

### - **Material de base**

Metais não soldáveis por si próprio por exemplo materiais com revestimentos metálicos (Revestimento de Zn) podem ser unidos. Importante para a seleção dos materiais mais indicados para a brasagem é o fato de terem temperaturas solidus  $T_s$  próximas e também a estabilidade química de sua camada oxida superficial.

### - **Meio de fluxo e / ou gás de proteção**

Para uma brasagem sem problemas o meio de fluxo deve ter uma temperatura  $T_w$  que esteja  $\sim 100^\circ\text{C}$  abaixo de  $T_A$  dos respectivos materiais de base.

O meio de fluxo pode se apresentar na forma de pastas, pós ou ainda em forma de cobertura do material de brasagem. Em alguns casos pode surgir corrosão na chapa brasada, pelo que a região brasada deve passar por uma forte limpeza ácida. No caso de uso alternativo de um gás de proteção  $T_w$  depende da estabilidade térmica das respectivas camadas oxidação superficial ( $\sim 1000^\circ\text{C}$ ). Apenas quando ela pode ser rompida pode o gás de proteção efetuar uma reação de redução química da superfície.

### - **Meio de brasagem**

A seleção do material de brasagem é um fator importante junto com a temperatura e tempo de brasagem define o mecanismo de ligação na brasagem.



### 5.3.1 Brasagem dura na construção de carrocerias automotivas

Os pontos de junção de uma carroceria podem apresentar tolerâncias na faixa de milímetros na fabricação de carrocerias (estamparia) em função do grande espaçamento entre chapas. Ficando este ponto de junção em uma região visível ou estando eles pontos para reparos ajustes finais, sendo para isto unidos por conformação e brasados manualmente no final do processo.

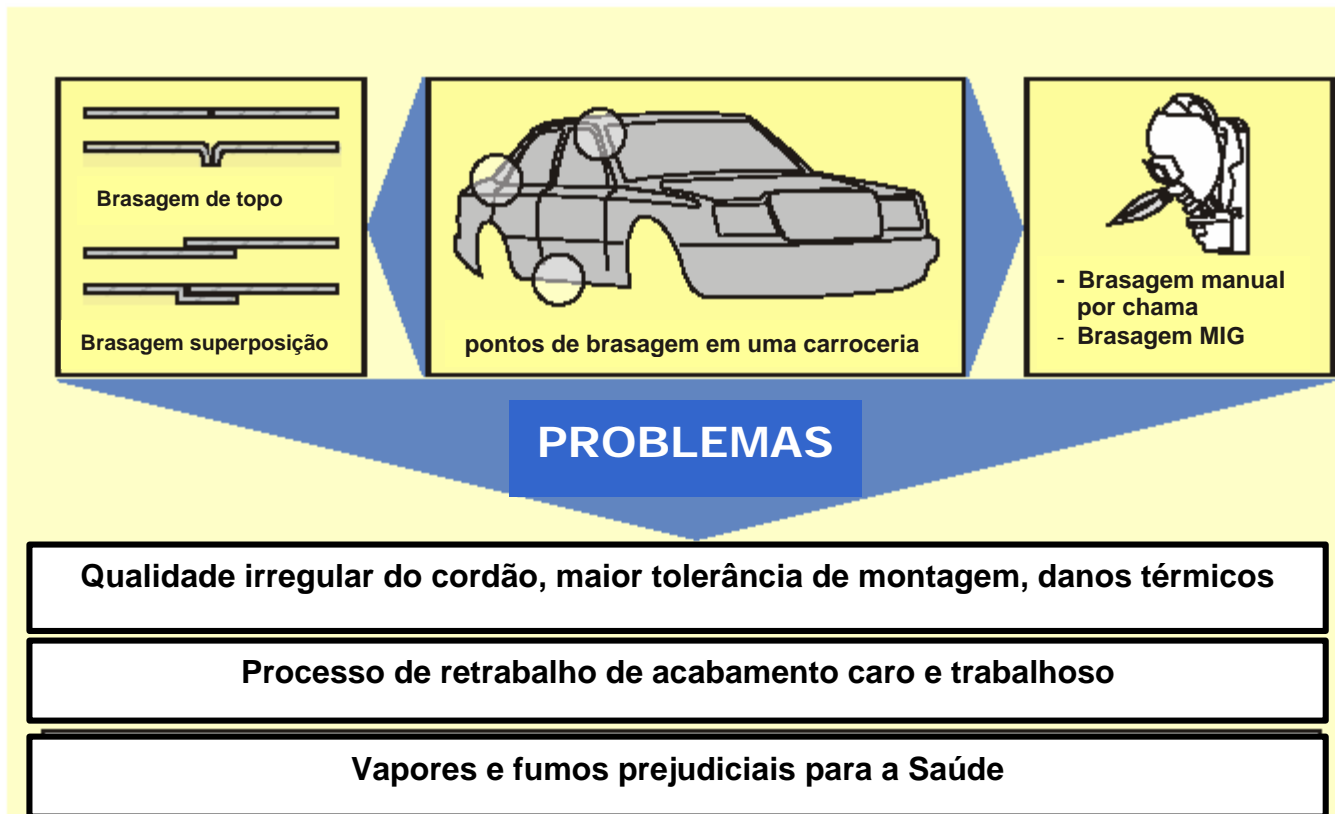


Figura 35: Brasagem dura convencional na construção de carroceria automobilística

**Requisito:** Estanqueidade para evitar corrosão por frestas e melhorar a capacidade de pintura da superfície. Também não permitir que mudanças microestruturais impliquem em piora das propriedades mecânicas e aparecimento de corrosão.

O grande potencial de economia de custos da brasagem dura está não no processo de brasagem em si, mas sim como processo de acabamento.





### 5.3.2 Brasagem por feixe de laser

o laser de Nd:YAG presta-se especialmente bem como ferramenta de brasagem dura. Devido suas propriedades específicas de seu feixe ajusta se perfeitamente para um aporte térmico local limitado e com uma posição bem definida do campo de temperaturas. A possibilidade de guiar o feixe por fibras óticas permite uma elevada capacidade de integração com diferentes processos de fabricação.

Na brasagem por feixe de laser o calor na peça que está sendo brasada é gerado pela radiação do feixe de laser incidente. Para isto é p. exemplo um feixe de laser único com uma área definida (fora de foco !) dirigido para a zona de brasagem.

Enquanto para muitas de tarefas de brasagem o meio fluxante é alimentado manualmente, na brasagem por feixe de laser automatizado emprega-se gás de proteção.

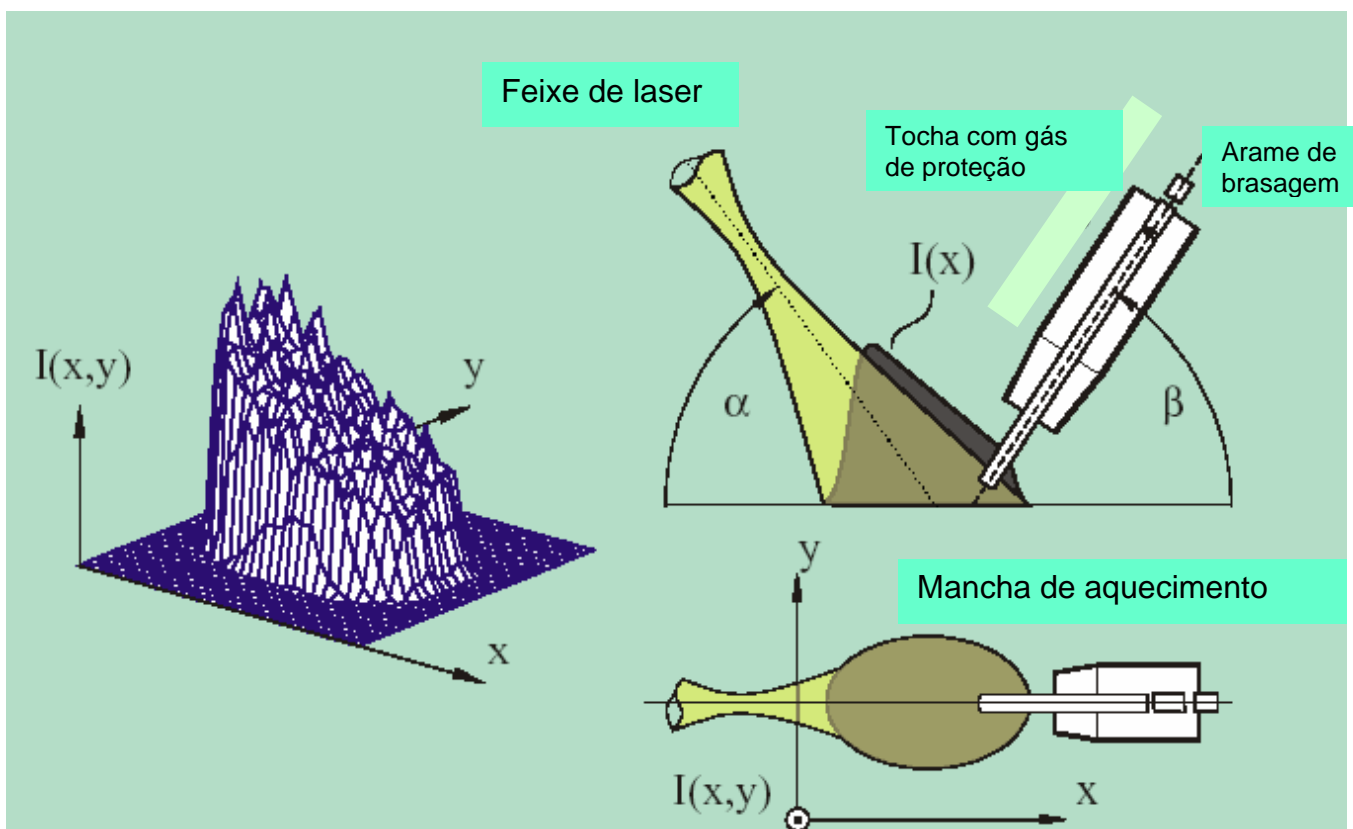


Figura 36: Pré-aquecimento direto do arame de brasagem na brasagem com feixe de laser com a técnica de feixe único.



## Arranjo do feixe de Laser

O arranjo do feixe de laser depende essencialmente do tipo de brasagem: brasagem de topo ou brasagem com junção.

O processo de feixe de laser único pode ser usado para o enchimento de um volume de cordão de brasagem (Brasagem de junção em cordão de filete) sem requisitos especiais na distribuição de molhabilidade entre as juntas das chapas.

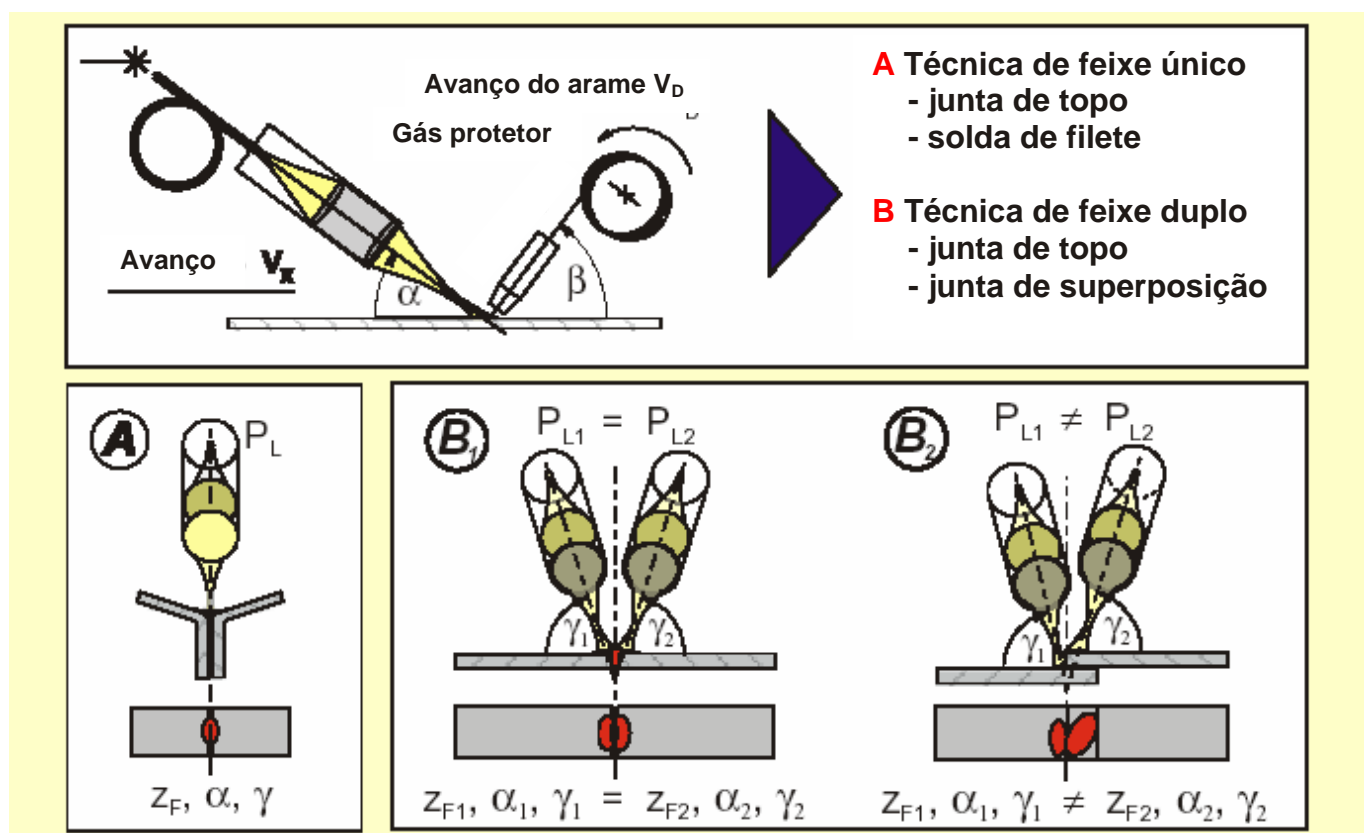
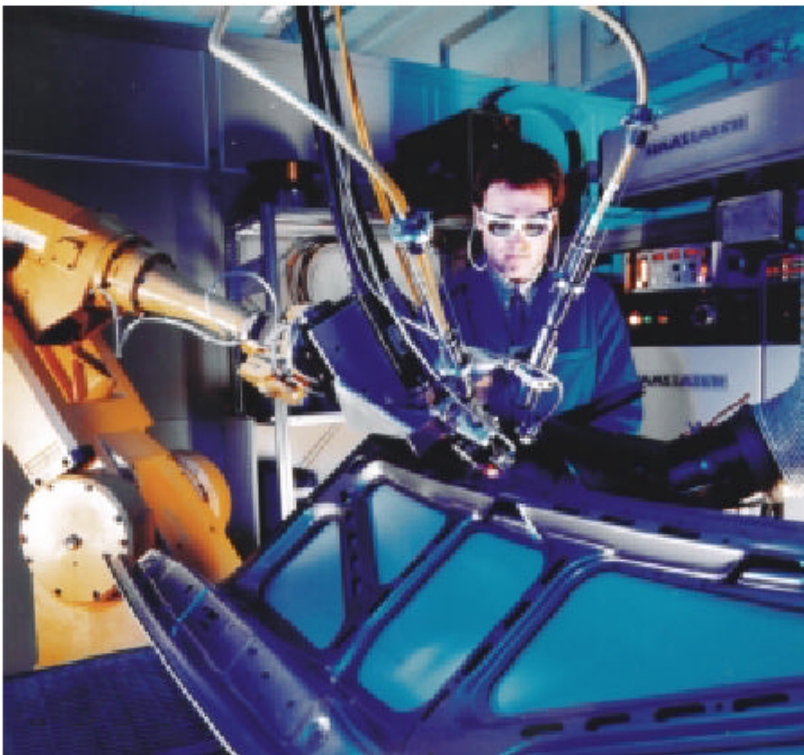


Figura 37: Arranjo feixe de laser e alimentação do arame de brasagem e gás de proteção.



No caso de brasagem de topo, que exija uma molhabilidade completa de ambas as seções transversais do cordão de brasagem (cordão em I e junta de superposição), precisa-se de um maior aporte de energia para se atingir a temperatura necessária o molhamento completo de toda a junção de brasagem. Para este caso dois feixes de laser combinados em uma única ferramenta são combinados, formando a chamada técnica de feixe duplo. Através de uma escolha adequada do ângulo de posicionamento podem ser unidas chapas com diferentes geometrias da zona de brasagem. Na construção de carrocerias automotivas usa-se preferencialmente muitas vezes a brasagem dura ao invés da soldagem. Isto se deve especialmente a economia de custos pelo encurtamento das operações de reparo e acabamento. Uma outra vantagem é que as peças brasadas de uma carroceria permitem uma intercambialidade mais fácil nos casos de reparos (funilaria).



### Brasagem por feixe de laser na construção de carrocerias

Requisitos:

- Estanqueidade para evitar a corrosão por frestas.
- Maior facilidade de pintura

principais retrabalhos e acabamentos :

- trabalho de endireitamento e esmerilamento.

O potencial da brasagem dura está na economia de custos de retrabalho

**Figura 38: Brasagem por feixe de laser com técnica de duplo feixe**



## 6 Questões para estudo dirigido

- Defina o conceito de „Junção“.
- Sob quais critérios pode se classificar os processos de junção ? quais os subgrupos respectivos podem ser estabelecidos para cada caso?
- O se entende por filete ?
- Cite pelo menos três processos de junção por dobramento.
- Como pode ser caracterizada a junção por conformação-extrusão?
- Descreva o processo de junção por extrusão com parcela de corte.
- Qual seqüência de processo é empregada na confecção de um ponto TOX?
- Cite os diferentes tipos de rebitagem.
- Como se define a junção por soldagem?
- Quais fatores estão ligados direta e indiretamente com os processos de soldagem?
- Cite três materiais caracterizados por uma boa soldabilidade.
- Como se consegue uma boa condução de corrente em solda de resistência sob pressão?
- Esclareça o processo de solda a ponto?
- Através do que pode se avaliar o insumo de calor no processo de solda por feixe de laser?
- Descreva a diferença entre solda por condução e solda profunda (por penetração).
- Como pode ser distinguido um cordão de solda por feixe de laser de um cordão de solda MAG?
- Quais são atualmente os tipos de fonte de radiação lasers mais empregados para a solda por feixe de laser? Cite para estes casos sistemas típicos de guia do feixe de laser?