

# ***ELEMENTOS DE MÁQUINAS (SEM 0241)***

***Notas de aula v.2021***

## ***REBITES – SOLDAS – PARAFUSOS*** ***Parte 2/3***

***Professor: Carlos Alberto Fortulan***  
***Colaborador: Rogério Erbereli***



***EESC · USP***

*São Carlos School of Engineering  
University of São Paulo*



# CLASSIFICAÇÃO DAS UNIÕES

## ✓ Uniões Desmontáveis ou Móveis

- “Podem ser desfeitas (desmontadas) sem provocar dano (destruição) tanto às peças unidas quanto aos elementos utilizados para a fixação”
  - Exemplos: **porcas/parafusos**, pinos ou anéis elásticos

## ✓ Uniões Fixas ou Permanentes

- “Ao serem desfeitas podem provocar dano ou perda total das peças unidas e/ou dos elementos utilizados para a fixação”
  - Exemplos: **rebites**, adesivos ou **soldas**





# SOLDAS



**EESC · USP**  
São Carlos School of Engineering  
University of São Paulo



## DEFINIÇÃO

- A soldagem é considerada como um método de união, porém, muitos processos de soldagem ou variações destes são usados para a deposição de material sobre uma superfície
- Importante não confundir solda com soldagem. Soldagem é o processo pelo qual se consegue a união; solda é a zona de união onde houve solubilização.



## INTRODUÇÃO

### St Louis Gateway Arch



Passeio de bonde até o  
topo:  
Adultos: US \$ 12 - 16

A construção foi iniciada em 1961 e concluída em 28 de outubro de 1965 com a instalação do trecho final. O orçamento chegou a US \$ 13,4 milhões

Com 200 metros de altura o monumento foi projetado para oscilar até 18 polegadas. E balançou 1,5 polegadas quando submetido a ventos de 80Km/h





## INTRODUÇÃO

■ Literatura e normas técnicas, além de publicações a respeito da soldagem podem ser encontradas em:

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)
- American Institute of Steel Construction (AISC)
- American Petroleum Institute (API)
- American Society of Mechanical Engineers (ASME)
- American Welding Society (AWS)
- James F. Lincoln Arc Welding Foundation
- Welding Research Council





FASTCAM SA5 mod...

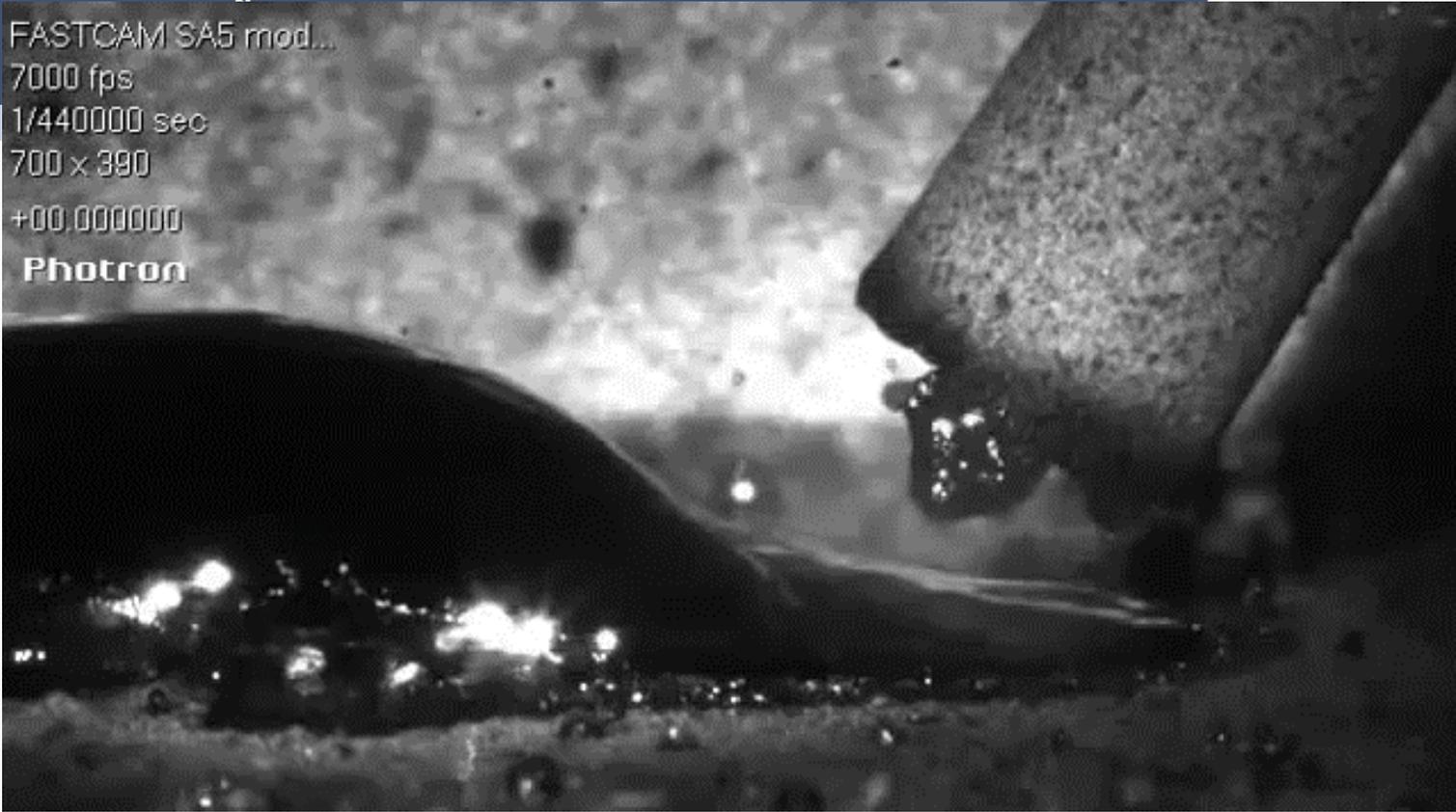
7000 fps

1/4400000 sec

700 x 390

+00.000000

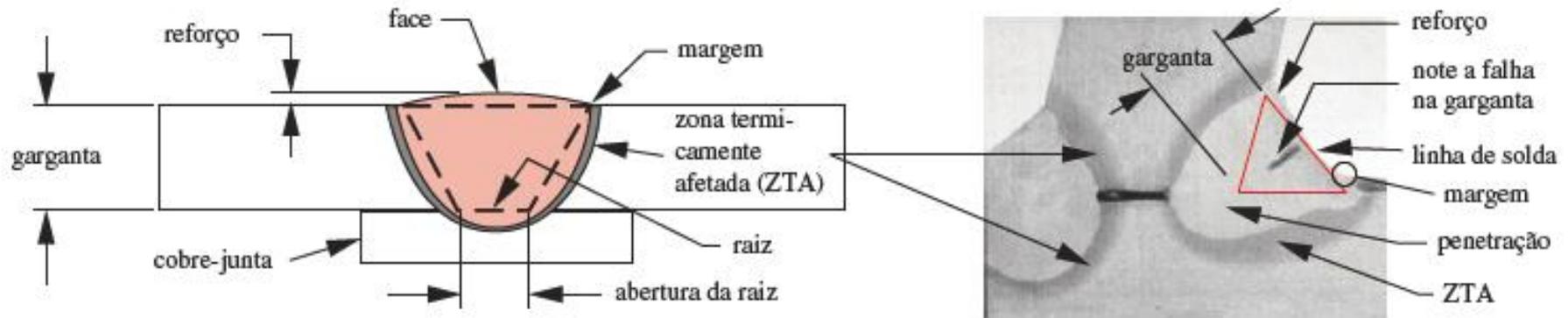
**Photron**







# TERMINOLOGIA TÍPICA DA SOLDA



Seção transversal da solda e sua terminologia.



## TIPOS DE SOLDAS

- Soldagem com eletrodo revestido - (SMAW – *shielded metal arc welding*)
- Soldagem com arame tubular - (FCAW – *flux cored arc welding*)
- Soldagem a arco gás-metal - (GMAW – *gas metal arc welding*) - MIG (*metal inert gas*)
- Soldagem a arco gás-tungstênio (GTAW – *gas tungsten arc welding*) - TIG (*tungsten inert gas*)
- Soldagem ao arco submerso (SAW – *submerged arc welding*)
- Soldagem por resistência



## TIPOS DE SOLDAS

- Também chamada de “solda com eletrodo”
- Utiliza eletrodos ou varetas de tamanhos definidos, que têm um recobrimento externo com um fluxo.
- À medida que o arco voltaico funde o eletrodo, o fluxo, no estado líquido, alimenta a poça de fusão cobrindo-a e protegendo-a do contato com o ar.
- Por não haver um fluxo de proteção gasoso que possa ser espalhado pelo vento, esse método é normalmente empregado para reparos em ambientes externos ou no campo

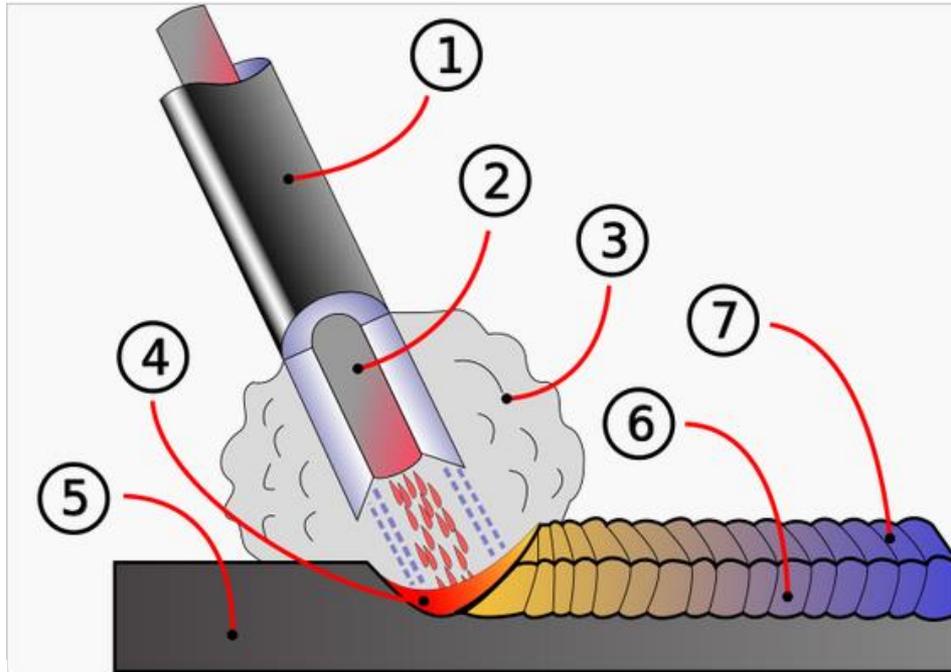
### ■ Soldagem com eletrodo revestido





## TIPOS DE SOLDAS

### ■ Soldagem com eletrodo revestido



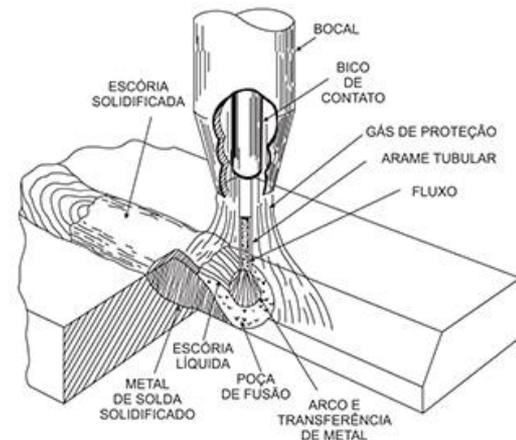
- 1 – Revestimento de fluxo
- 2 – Vareta
- 3 – Gás de proteção
- 4 - Poça de fusão
- 5 – Metal base
- 6 – Metal de solda
- 7 – Escória solidificada



## TIPOS DE SOLDAS

- Eletrodo na forma tubular (oco) com o fluxo preenchendo o seu interior.
- Longos comprimentos do arame são armazenados em carretéis.
- A máquina de solda tem um alimentador que leva o arame através da tocha a uma velocidade controlada pelo operador, tornando esse processo contínuo e mais eficiente.
- A soldagem com arame tubular pode ser aplicada com ou sem gás de proteção.
- O uso do gás de proteção a torna de fácil uso em ambientes internos

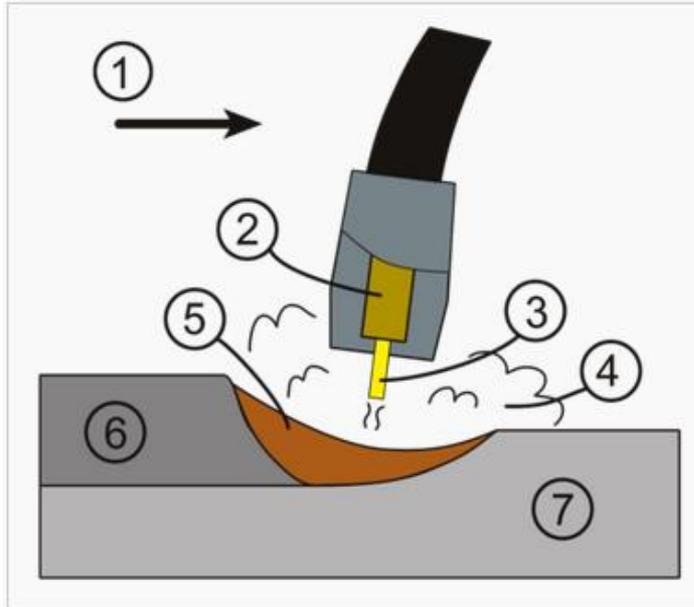
### ■ Soldagem com arame tubular





## TIPOS DE SOLDAS

### ■ Soldagem com arame tubular



- 1 – Direção de trabalho
- 2 – Tubo de contato
- 3 – Arame consumível
- 4 – Gás de proteção
- 5 – Poça de fusão
- 6 – Solda solidificada
- 7 – Peça de trabalho



## TIPOS DE SOLDAS

- Utiliza um eletrodo de arame sem fluxo.
- Um gás inerte é dirigido à solda para deslocar o ar. Isso torna a solda limpa devido à ausência de escória, que não precisa ser removida.
- Não pode ser usada externamente se a velocidade do vento é superior a 8 km/h.

### ■ Soldagem a arco gás metal - MIG

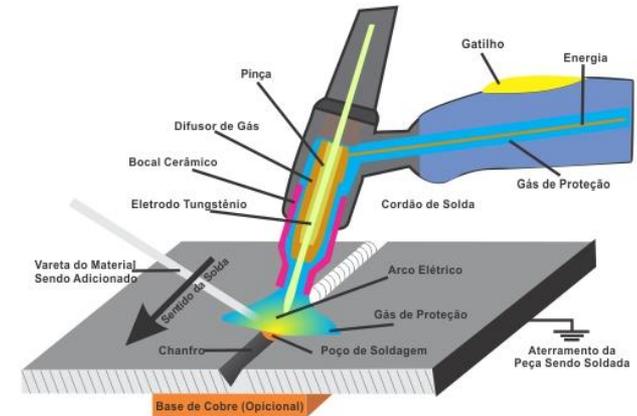




## TIPOS DE SOLDAS

### Soldagem a arco gás tungstênio - TIG

- Eletrodo de tungstênio não consumível.
- Pode ser usado metal de adição na forma de vareta ou arame.
- O gás de proteção originalmente utilizado era o hélio, o que tornou este processo conhecido como Heliarc.
- Aplicado na solda de alumínio, titânio e magnésio, e também para reparos de precisão.
- É uma solda limpa, mas padece do mesmo problema com o vento do processo de solda MIG.

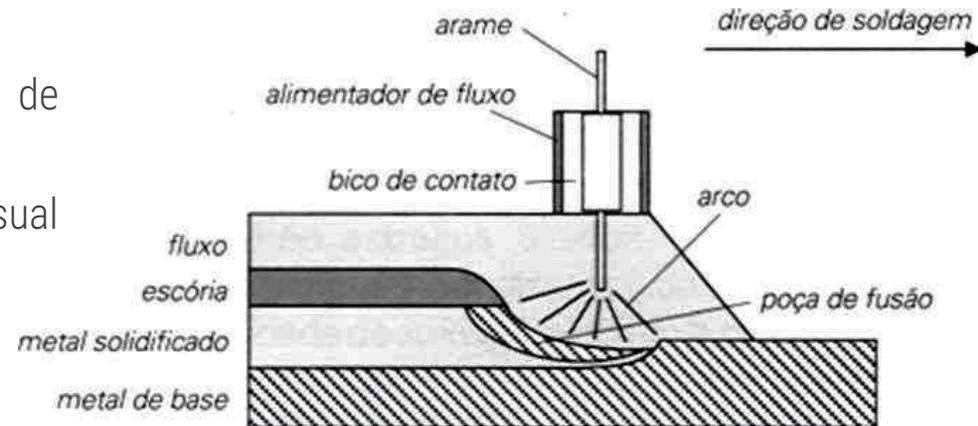




## TIPOS DE SOLDAS

### Soldagem ao arco submerso

- Emprega o fluxo na forma de granulado em tal quantidade que a solda fica submersa (enterrada)
- por uma cobertura tão espessa que o arco não pode ser visto.
- O fluxo é direcionado para a região da solda através de um tubo adjacente ou concêntrico ao eletrodo.
- Após o resfriamento da solda, o fluxo não fundido pode ser varrido ou aspirado para ser reutilizado.
- A escória é retirada para expor a solda.
- Essa solda tem boa aparência e é livre de respingos
- O operador não precisa utilizar proteção visual especial.

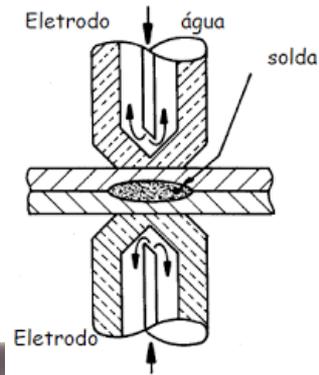




## TIPOS DE SOLDAS

- É feita em chapas finas de metal por um processo elétrico convencional.
- Eletrodos pressionam a junta sobreposta de metal e uma alta corrente passa através das chapas, fundindo os dois materiais juntos em um ponto.
- Se os eletrodos forem movidos ao longo da junta, com a corrente fluindo, criará uma solda de costura.
- Em vez de eletrodos, o laser pode ser usado para fornecer o calor necessário.
- Nenhum material de adição é necessário nesse processo.
- Seu uso mais comum é a solda de carrocerias automotivas, caixas de chapa metálicas e outras estruturas de parede fina, não sendo indicado para uso em seções mais espessas.

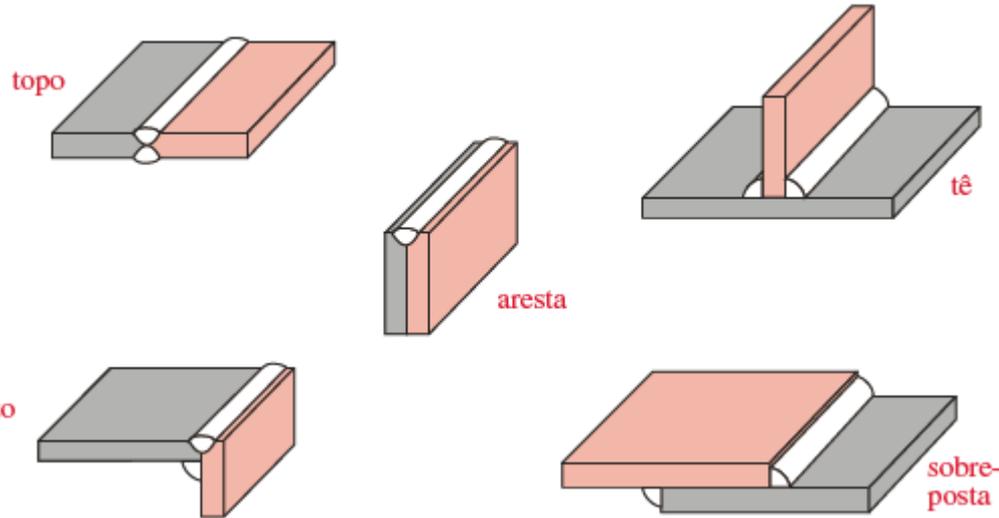
### ■ Soldagem por resistência





## TIPOS DE JUNTAS

- A escolha do tipo de junta será, até certo ponto, ditada pela geometria desejada da soldagem, e uma dada soldagem pode ter vários tipos dentro dela.

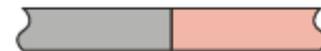




## PREPARAÇÃO DA JUNTA

- Vários tipos de formatos de chanfro são recomendados: U, J e V
- O chanfro em J ou U deixa uma pequena porção de material na parte inferior do material-base para prevenir que metal fundente escorra, mas deve ser fino o suficiente para permitir uma boa penetração.
- O chanfro em V é mais fácil de usinar, mas precisa de uma folga na sua face inferior para ter uma boa penetração

Reta



Chanfro em bisel



Chanfro em V



Chanfro em U



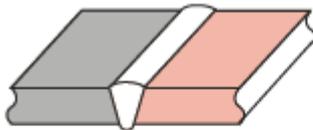
Chanfro em J



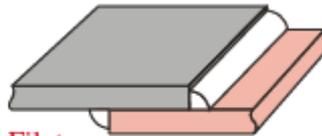


## TIPOS DE CHANFROS

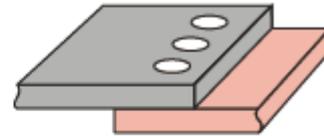
- Em geral, além dos cinco tipos de chanfros, outros três tipos de solda podem ser usados: solda de chanfro, de filete e de tampão ou ponto.
- A solda de chanfro divide-se em duas subcategorias, tendo cada uma delas penetração completa ou parcial.



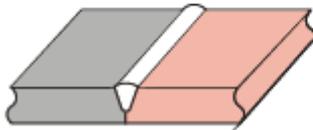
**Chanfro JPC (entalhe)**



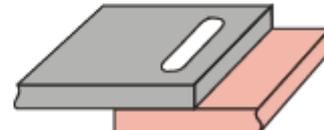
**Filetes**



**Tampão (furo)**



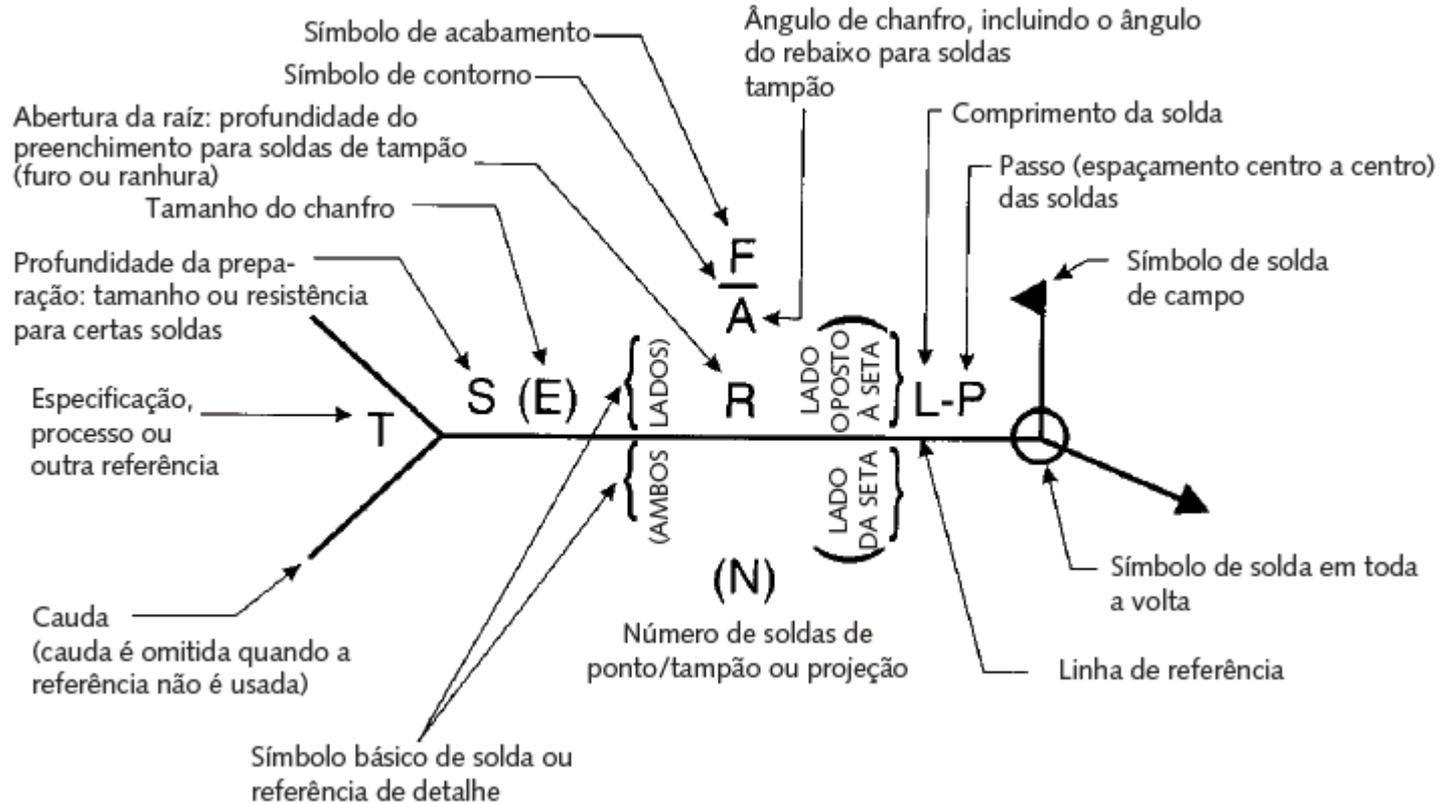
**Chanfro JPP (entalhe)**



**Tampão (ranhura)**

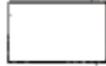
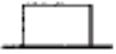
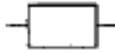


# ESPECIFICAÇÃO DA SOLDA





# ESPECIFICAÇÃO DA SOLDA

| Símbolos básicos para solda*  |   |   |  |   |   |   |   |   |
|---|---|---|--|---|---|---|---|---|
| Contrasoldada   | Filete  | Tampão (furo ou ranhura)  | Chanfro ou topo  |   |   |   |   |   |
|   |   |   | V  | Bisel   | U   | J   | Superfície convexa contígua   | Superfície convexa plana  |
|  |  |  |   |    |   |  |  |  |
| Símbolos de solda suplementares*  |   |   |  |   |   |   |   |   |
| Cobre-junta   | Espaçador   | Soldar todo o contorno  | Campo de solda   | Acabamento  |   |   |   |   |
|   |   |   |  | Plano   | Convexo   |   |   |   |
|  |  |  |  |  |  |   |   |   |

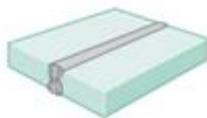
\*Veja as publicações da AWS para uma lista completa



# ESPECIFICAÇÃO DA SOLDA



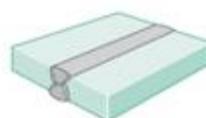
Solda em chanfro reto



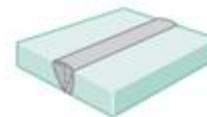
Solda em chanfro reto  
ambos os lados



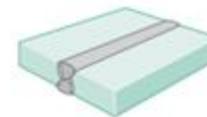
Solda em chanfro V



Solda em chanfro X



Solda em chanfro meio V



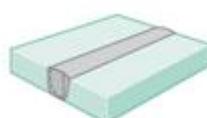
Solda em chanfro K



Solda em chanfro U



Solda em chanfro duplo U



Solda em chanfro J



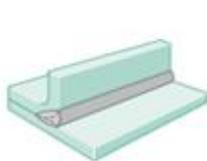
Solda em chanfro  
duplo J



Solda em chanfro  
V flangeado



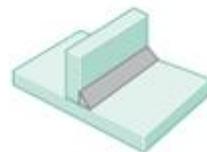
Solda em chanfro duplo  
V flangeado



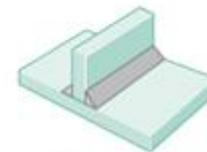
Solda em chanfro meio  
V flangeado



Solda em chanfro meio V  
flangeado ambos os lados



Solda em filete



Solda em filete ambos  
os lados



# SOLDABILIDADE

**TABELA 13.10 Soldabilidade de Vários Metais (B = Boa, F = Fraca, I = Inaceitável)**

| Metal                                 | Arco | Gás | Metal   | Arco | Gás |
|---------------------------------------|------|-----|---|------|-----|
| Aço-carbono                           |      |     | Ligas de magnésio                                       | I    | B   |
| Baixo e médio carbono                 | B    | B   | Cobre e ligas   |      |     |
| Alto carbono                          | B    | F   | Cobre desoxidado  | F    | B   |
| Aço-ferramenta                        | F    | F   | Fundido, eletrolítico e minério                         | B    | F   |
| Aço fundido, aço-carbono comum        | B    | B   | Bronze comercial, bronze<br>vermelho e latão comum      | F    | B   |
| Ferro fundido cinzento e ligas        | F    | B   | Latão para molas, almirantado,<br>amarelo e comercial   | F    | B   |
| Ferro maleável                        | F    | F   | Metal patente, latão naval e<br>bronze magnésio         | F    | B   |
| Aços de alta resistência e baixa liga |      |     | Bronze fosforoso, bronze de<br>mancais e bronze de sino | B    | B   |
| Ni-Cr-Mo e Ni-Mo                      | F    | F   | Bronze alumínio   | B    | F   |
| A maior parte dos outros              | B    | B   | Cobre-berílio   | B    | —   |
| Aço inoxidável                        |      |     | Níquel e ligas  | B    | B   |
| Cromo                                 | B    | F   | Chumbo  | I    | B   |
| Cromo-Níquel                          | B    | B   |   |      |     |
| Alumínio e ligas                      |      |     |   |      |     |
| Comercialmente puro                   | B    | B   |   |      |     |
| Ligas Al-Mn                           | B    | B   |   |      |     |
| Ligas Al-Mg-Mn e Al-Si-Mg             | B    | F   |   |      |     |
| Ligas Al-Cu-Mg-Mn                     | F    | I   |   |      |     |

- Soldabilidade se refere a uma descrição qualitativa quanto à qualidade de solda que pode ser obtida pela utilização de materiais e processos especificados



## ELETRODOS

- Na especificação dos eletrodos revestidos para soldagem ao arco de aço-carbono ANSI/AWS 5.1
  - É utilizado o prefixo E para designar o eletrodo
    - Quatro (ou cinco) dígitos:
- Os dois (ou três primeiros) são a resistência a tração mínima (Ksi) do metal de solda; o dígito seguinte representa a conveniência da posição de soldagem (1: todas as posições; 2 : plana e filetes horizontais; 3 : somente plana); e o último dígito se refere ao revestimento do eletrodo e ao tipo de corrente





## ELETRODOS

### Especificações AWS para Eletrodos Revestidos Utilizados no Processo SMAW

| Material de Base          | Especificação AWS |
|---------------------------|-------------------|
| Aço-carbono               | A5.1              |
| Aço baixa liga            | A5.5              |
| Aço resistente à corrosão | A5.4              |
| Ferro fundido             | A5.15             |
| Alumínio e ligas          | A5.3              |
| Cobre e ligas             | A5.6              |
| Níquel e ligas            | A5.11             |
| Revestimento              | A5.13 e A5.21     |

### Especificações AWS para Arame Eletrodo Utilizado no Processo GMAW

| Material de Base         | Especificação AWS |
|--------------------------|-------------------|
| Aço-carbono              | A5.18             |
| Aço baixa liga           | A5.28             |
| Ligas de alumínio        | A5.10             |
| Ligas de cobre           | A5.7              |
| Magnésio                 | A5.19             |
| Ligas de níquel          | A5.14             |
| Aço inoxidável série 300 | A5.9              |
| Aço inoxidável série 400 | A5.9              |
| Titânio                  | A5.16             |



## Propriedades Mínimas de Eletrodos para Soldagem de Aço-Carbono e Aço Baixa Liga

| ANSI/AWS<br>Eletrodo | Limite de resistência,<br>ksi (MPa) | Limite de escoamento,<br>ksi (MPa) | Alongamento<br>percentual em 2 in |
|----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| E 60                 | 62 (427)                            | 50 (345)                           | 17–25                             |
| E 70                 | 70 (482)                            | 57 (393)                           | 22                                |
| E 80                 | 80 (551)                            | 67 (462)                           | 19                                |
| E 90                 | 90 (620)                            | 77 (531)                           | 14–17                             |
| E 100                | 100 (689)                           | 87 (600)                           | 13–16                             |
| E 120                | 120 (827)                           | 107 (737)                          | 14                                |



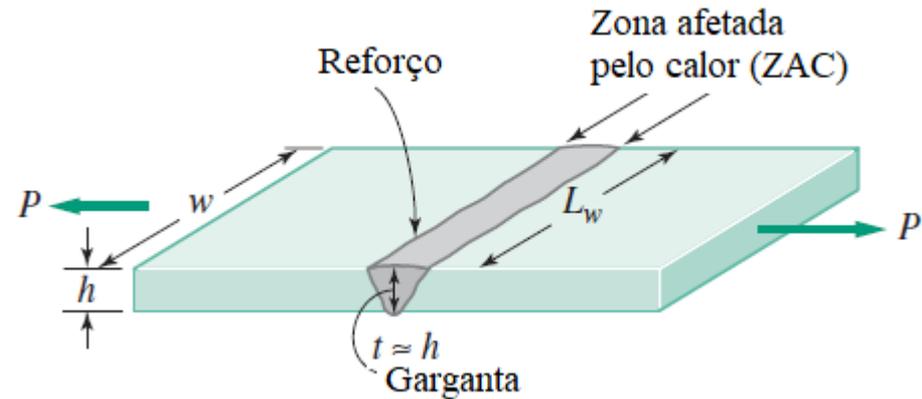
## SOLDAS DE TOPO

- Se uma simples tira soldada de topo, recebe uma carga de tração ( $P$ ) como mostrada na figura, a tensão na zona soldada pode ser calculada por:

$$\sigma = K_f \cdot \sigma_{nom} = K_f \cdot \left( \frac{P}{tL_w} \right)$$

Onde:

- $K_f$  = fator de concentração de tensões de fadiga
  - $P$  = carga trativa (lbf)
- $t$  = garganta da solda (espessura da chapa) (in)
  - $L_w$  = comprimento efetivo da solda





## SOLDAS DE TOPO

**TABELA 13.9 Fatores de Concentração de Tensão de Fadiga  $K_f$  para Vários Pontos Críticos da Zona Soldada**

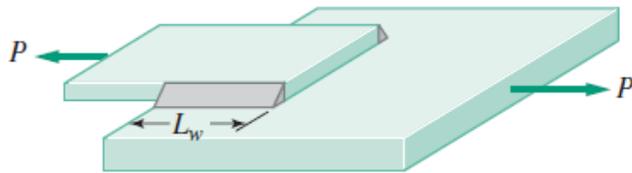
| Localização   | $K_f$ |
|---|-------|
| ZAC <sup>1</sup> do reforço da junta de topo (mesmo se rebaixado por esmeril) | 1,2   |
| Margem do filete de solda transverso  | 1,5   |
| Final de filete de solda paralelo   | 2,7   |
| Margem da junta de topo em ângulo (T)   | 2,0   |

<sup>1</sup>Zona afetada pelo calor.

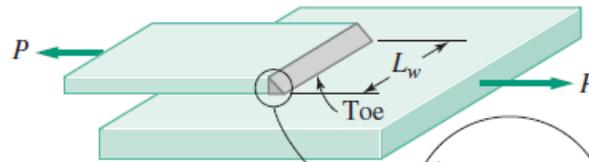


## SOLDAS EM FILETE

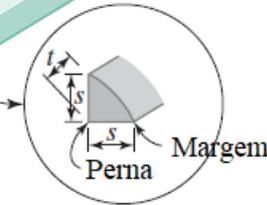
- As distribuições de tensões nos filetes de solda são não lineares e difíceis de estimar com precisão.
- Então a prática comum é basear a dimensão requerida para os filetes de solda na tensão cisalhante média através da garganta da junta



a) Filetes de solda paralelos submetidos a cisalhamento longitudinal



b) Filete de solda submetido a cisalhamento transversal



c) Filete de solda com dimensão "s" com garganta "t"

- A garganta do filete é a altura "t" do triângulo com pernas "s", então:

$$t = 0,707s$$



## SOLDAS EM FILETE

- A área de cisalhamento do filete de solda será:

$$A_s = 0,707s \cdot L_w$$

- Onde:  $L_w$  = comprimento efetivo da solda

- Então soldas com carregamentos simétricos e submetidas a um cisalhamento transversal ou longitudinal, apresentará uma tensão cisalhante média na garganta de solda calculada por:

$$\tau_w = \frac{P}{A_s} \Rightarrow \tau_w = \frac{P}{0,707s \cdot L_w}$$

- Carregamentos de cargas variáveis deve ser considerado um fator de concentração de tensões de fadiga apropriado como os apresentados anteriormente na tabela 13.9



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Elementos de máquinas de Shigley: projeto de engenharia mecânica; Richard Budynas, J. Keith Nisbert; tradução técnica João Batista de Aguiar, José Manoel de Aguiar, 8. Ed., Porto Alegre: AMGH, 2011
- ✓ Fundamentos do projeto de componentes de máquinas; Robert C. Juvinall, Kurt M. Marsheck; tradução e revisão técnica Fernando Ribeiro da Silva; Rio de Janeiro: LTC, 2013. Tradução de Fundamental of machine component design; 4Th ed
- ✓ Mechanical design of machine elements and machines – A failure prevention perspective; Collins, J.A.; Busby, H.R.; Staab, G.H.; Second Edition; John Wiley & Sons
- ✓ Elementos de máquinas 1 - Construção e cálculo de conexões, rolamentos, eixos; Niemann, G.; Winter, H.; Höhn, B.R.; Stahl, K.; 5ª edição, completamente revisada; Springer Vieweg
- ✓ Elementos de Máquinas – Sarkis MELCONIAN, Editora ERICA Ltda, S.P.
- ✓ Elementos de Máquinas. Volume I e II. Apostila do curso Técnico em Mecânica do Telecurso 2000.
- ✓ Elementos Orgânicos de Máquinas - HALL Jr, Allen S.; HOLOWENKO, Alfred R.; LAUGHLIN, Herman G.. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A, 1968.

