

The background features a large, light gray gear centered behind the title. To the left, there is a close-up of interlocking gears, one in blue and one in green. Below the main title, a smaller gray gear is visible.

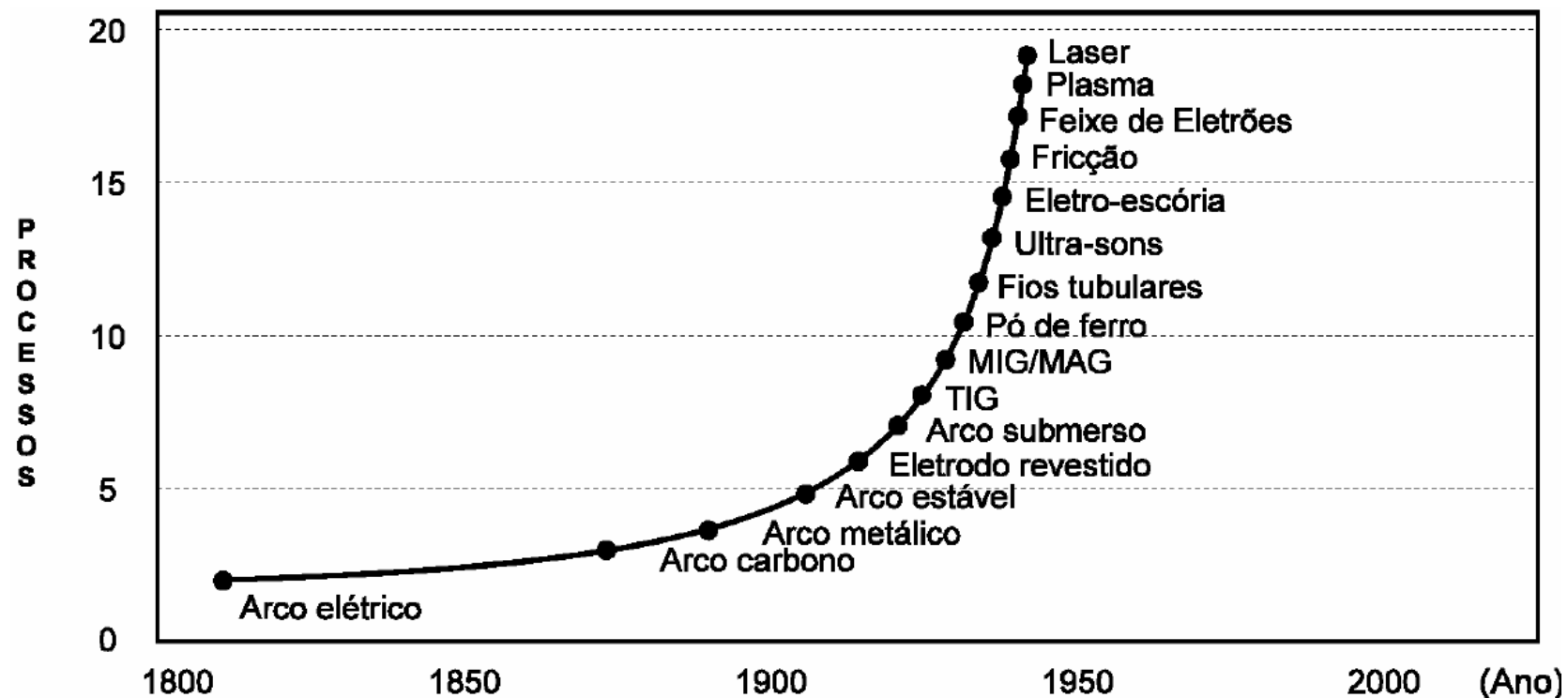
# Soldagem

Elementos de Fixação

*Colegiado de  
Engenharia Mecânica*

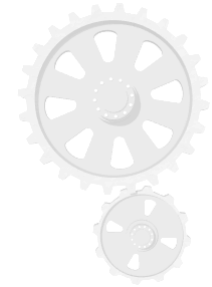


# Evolução dos processos de soldagem



Adaptado de: Processos de Soldadura por J. F. Oliveira Santos, Lisboa, Edição: Técnicas do Instituto de Soldadura e Qualidade, 1993

# Soldabilidade



- Soldabilidade é a facilidade que os materiais têm de se unirem por meio de soldagem e de formarem uma série contínua de soluções sólidas coesas, mantendo as propriedades mecânicas dos materiais originais.
- O principal fator que afeta a soldabilidade dos materiais é a sua composição química. Outro fator importante é a capacidade de formar a série contínua de soluções sólidas entre um metal e outro. Assim, devemos saber como as diferentes ligas metálicas se comportam diante dos diversos processos de soldagem.



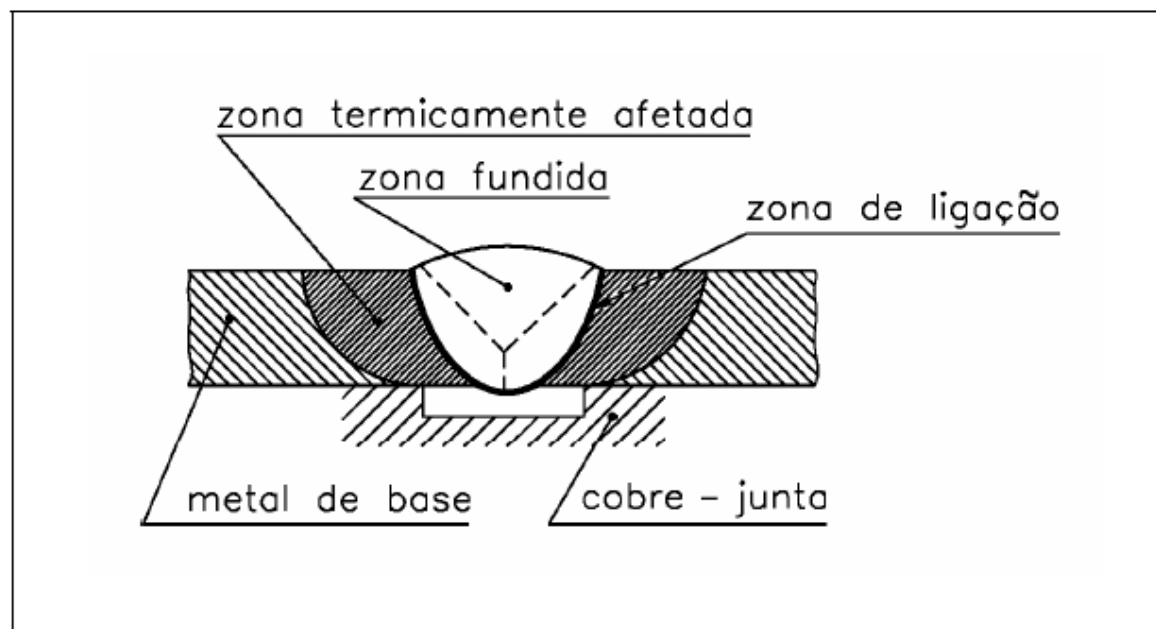
# Soldabilidade



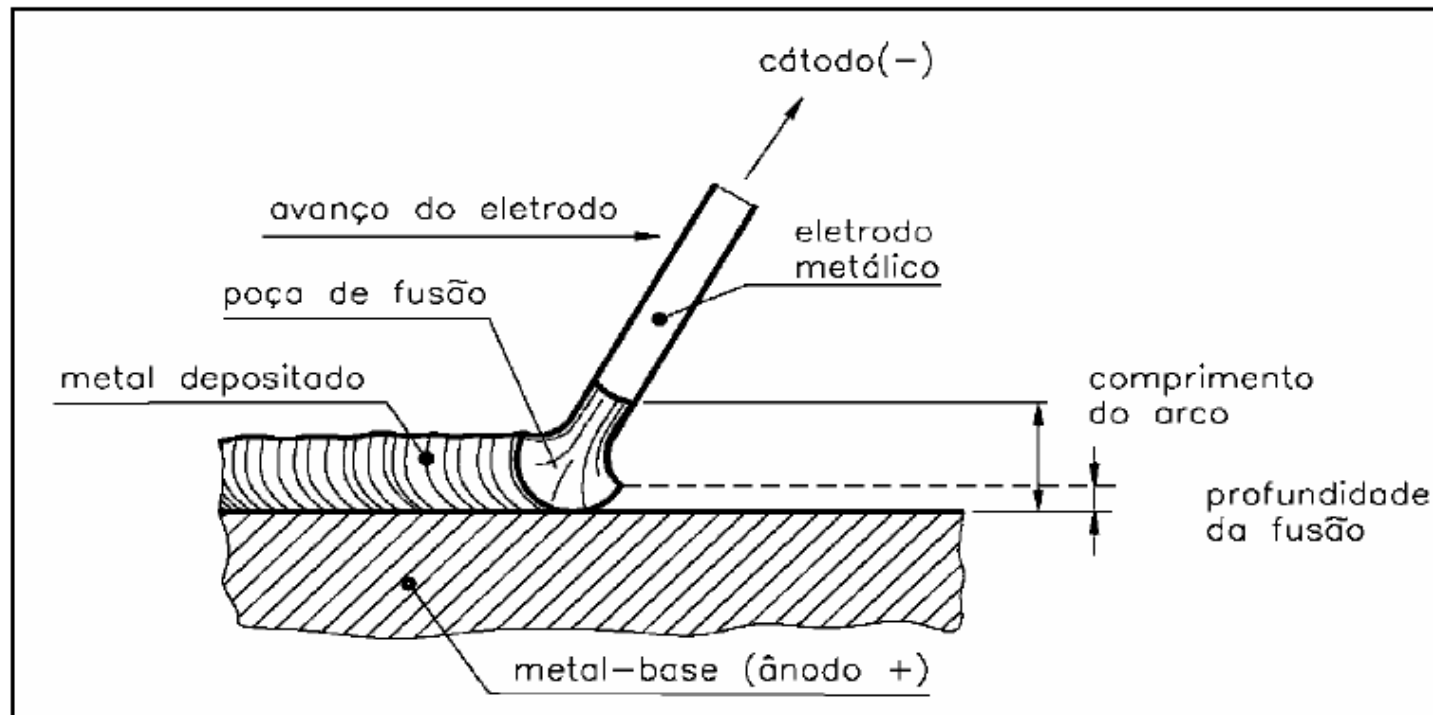
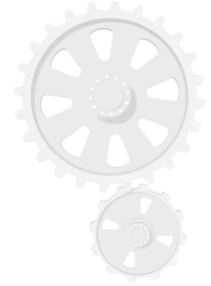
| Materiais                        | Soldabilidade |     |         |         |
|----------------------------------|---------------|-----|---------|---------|
|                                  | Ótima         | Boa | Regular | Difícil |
| Aço baixo carbono                | X             |     |         |         |
| Aço médio carbono                |               | X   | X       |         |
| Aço alto carbono                 |               |     |         | X       |
| Aço inox                         | X             | X   |         |         |
| Aços-liga                        |               |     | X       |         |
| Ferro fundido cinzento           |               |     | X       |         |
| Ferro fundido maleável e nodular |               |     | X       |         |
| Ferro fundido branco             |               |     |         | X       |
| Liga de alumínio                 |               | X   |         |         |
| Liga de cobre                    |               | X   |         |         |



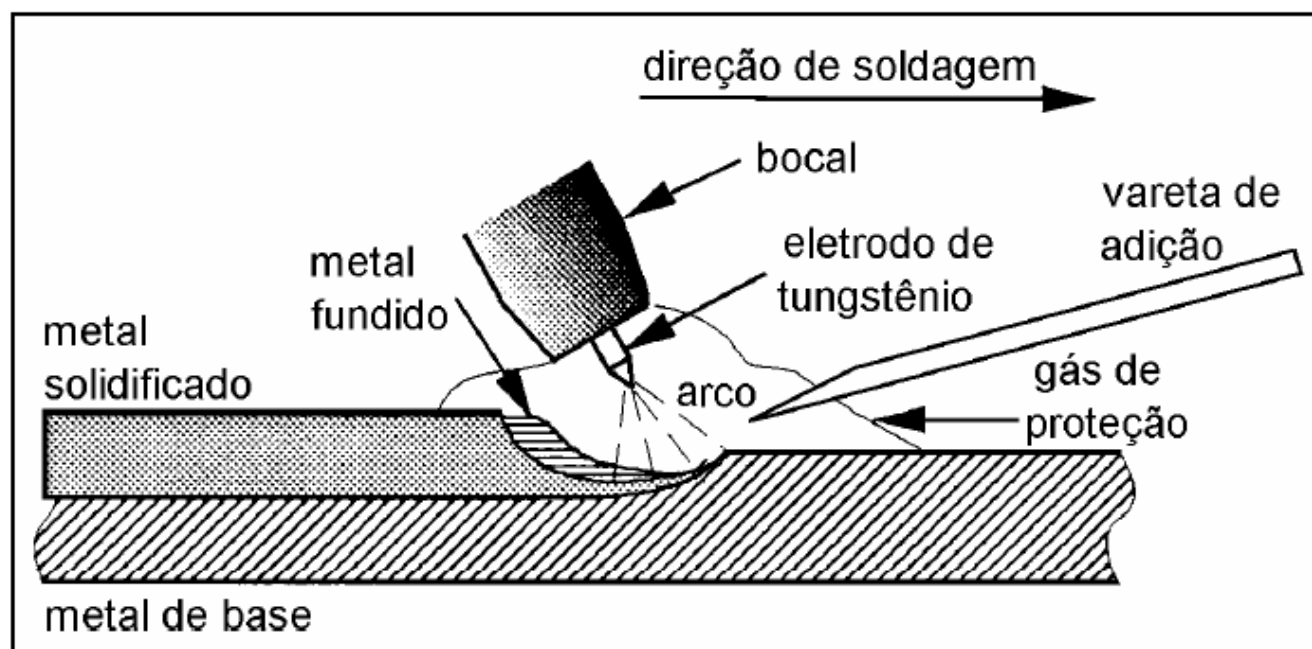
# Regiões da Solda



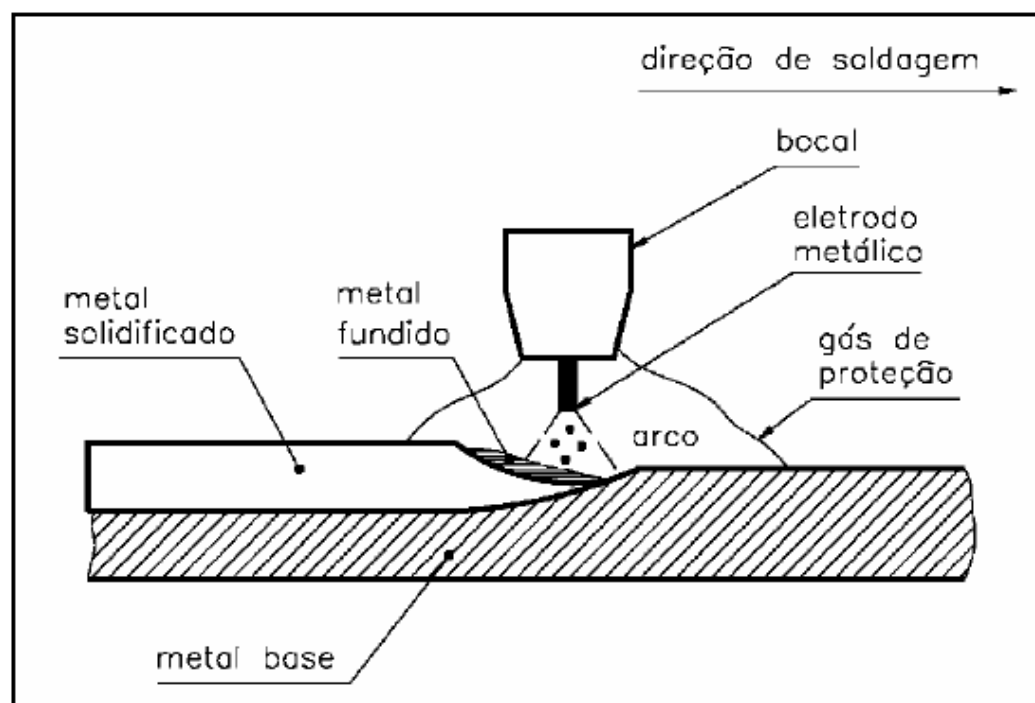
# Solda a arco elétrico



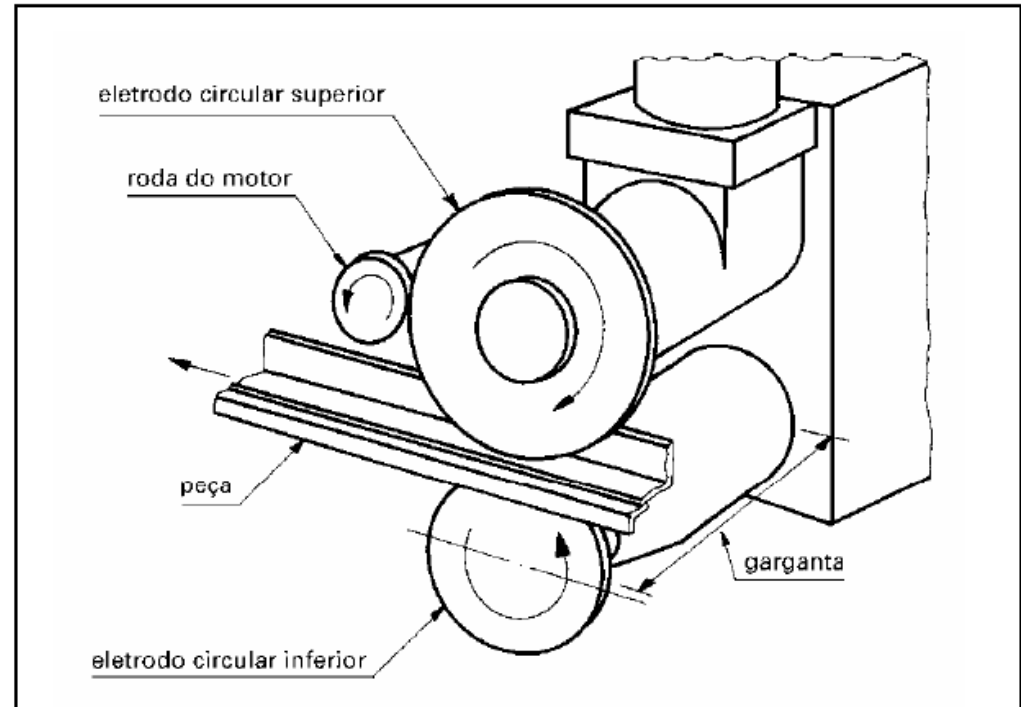
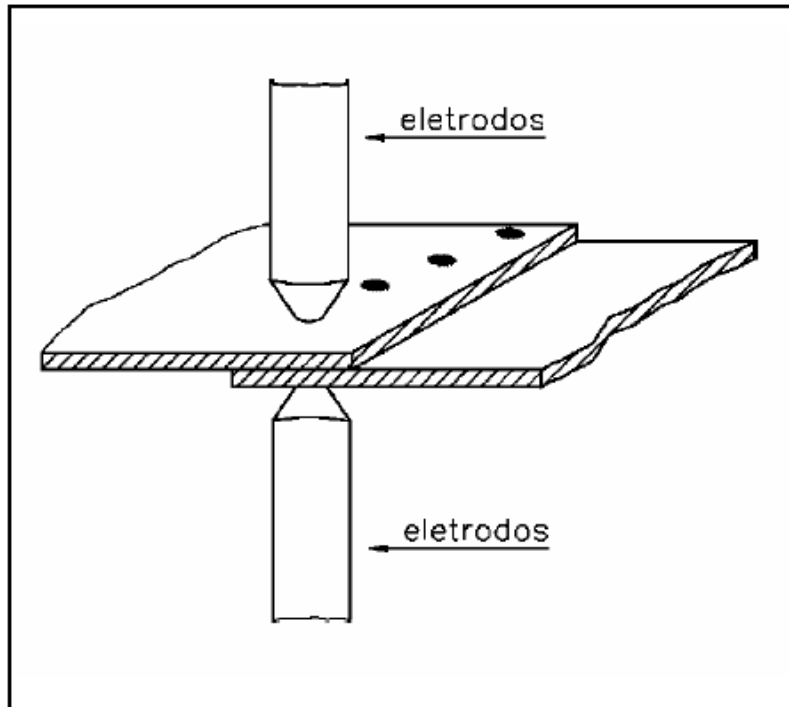
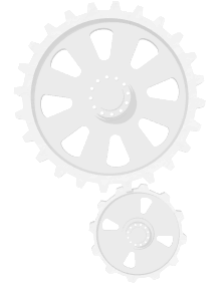
# Soldagem TIG



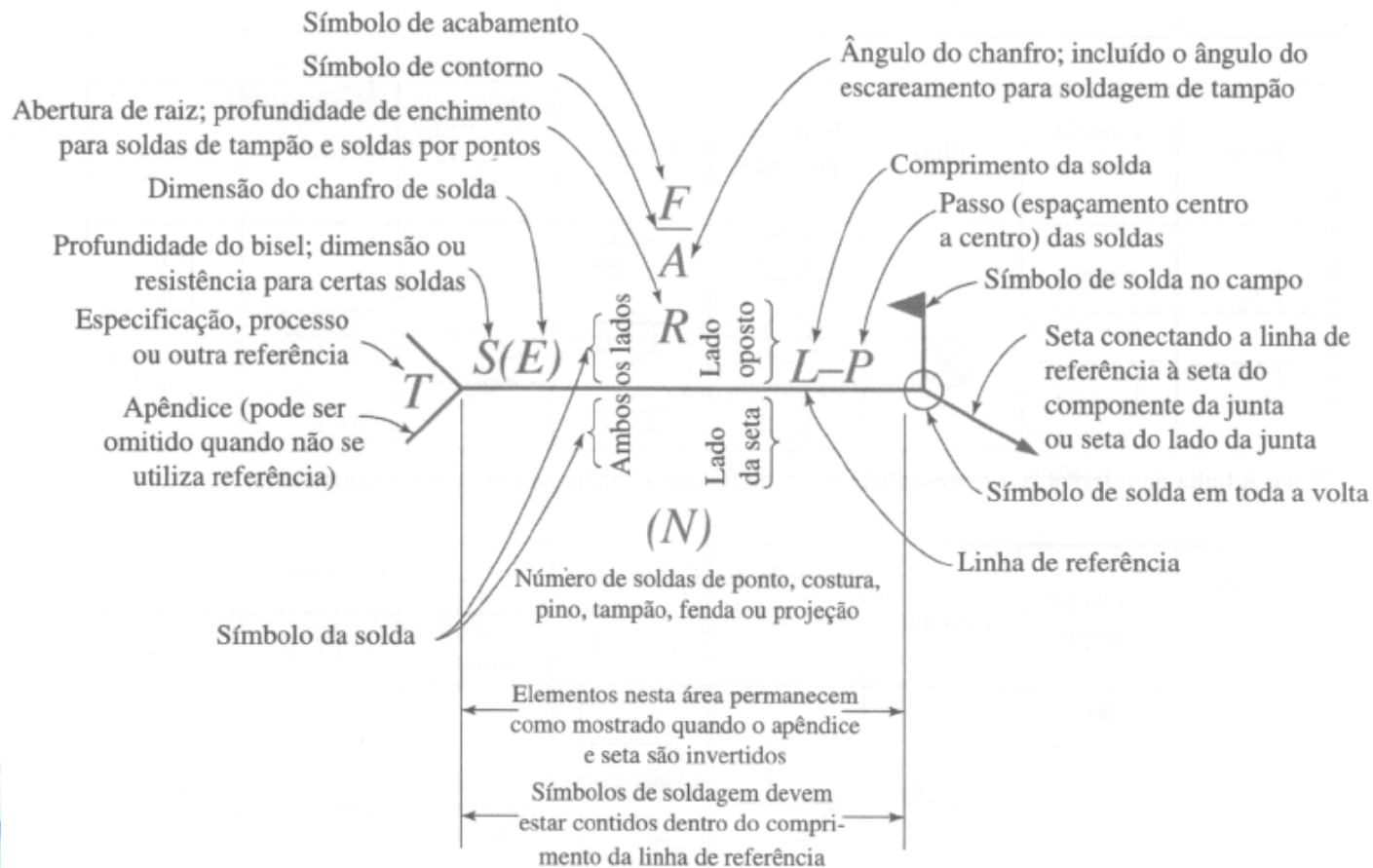
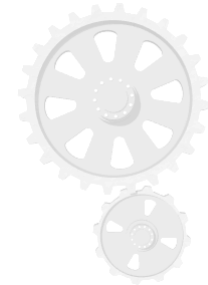
# Soldagem MIG-MAG



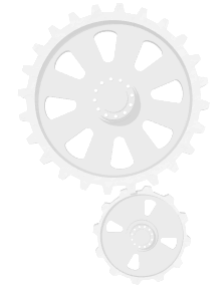
# Soldagem por Resistência



# Simbologia



# Simbologia



| Chanfro |         |   |        |   |   |             |                  |
|---------|---------|---|--------|---|---|-------------|------------------|
| Reto    | Oblíquo | V | Meio V | U | J | V flangeado | Meio V flangeado |
|         |         |   |        |   |   |             |                  |
|         |         |   |        |   |   |             |                  |

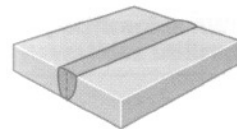
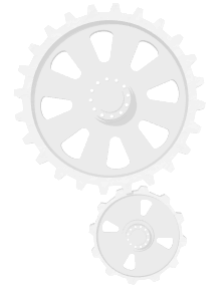
| Filete | Tampão ou fenda | Pino | Ponto ou projeção | Costura | Reversa ou para trás | Revestimento | Aresta |
|--------|-----------------|------|-------------------|---------|----------------------|--------------|--------|
|        |                 |      |                   |         |                      |              |        |
|        |                 |      |                   |         |                      |              |        |

Nota: A linha de referência é representada por uma linha tracejada para propósitos ilustrativos.

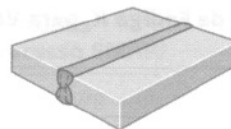
| Solda em toda a volta | Solda de campo | Passante | Inserção do consumível (quadrado) | Cobre junta ou espaçador (retângulo) | Contorno      |         |         |
|-----------------------|----------------|----------|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------|---------|---------|
|                       |                |          |                                   |                                      | Liso ou plano | Convexo | Côncavo |
|                       |                |          |                                   |                                      |               |         |         |
|                       |                |          |                                   |                                      |               |         |         |



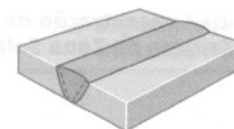
# Posições de Soldas



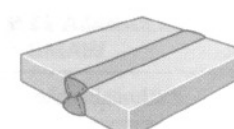
(a) Solda em chanfro reto.



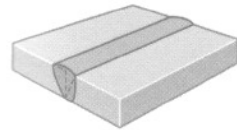
(b) Solda em chanfro reto ambos os lados.



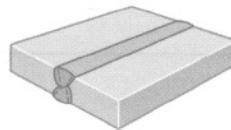
(c) Solda em chanfro V.



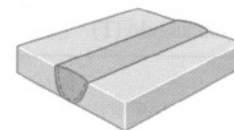
(d) Solda em chanfro X.



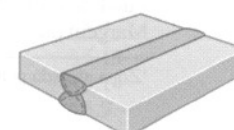
(e) Solda em chanfro meio V.



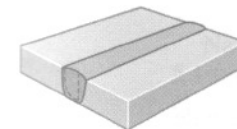
(f) Solda em chanfro K.



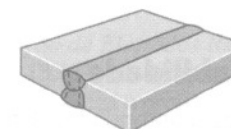
(g) Solda em chanfro U.



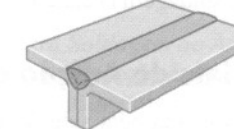
(h) Solda em chanfro duplo U.



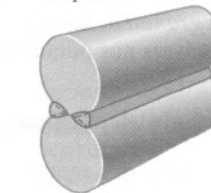
(i) Solda em chanfro J.



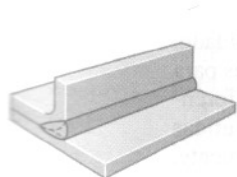
(j) Solda em chanfro duplo J.



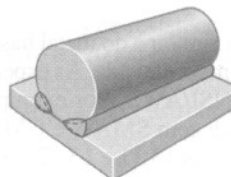
(k) Solda em chanfro V flangeado.



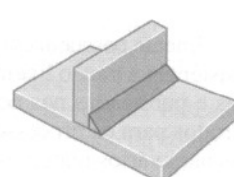
(l) Solda em chanfro duplo V flangeado.



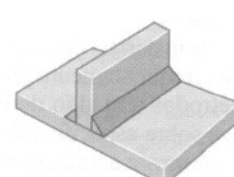
(m) Solda em chanfro meio V flangeado.



(n) Solda em chanfro meio V flangeado ambos os lados.



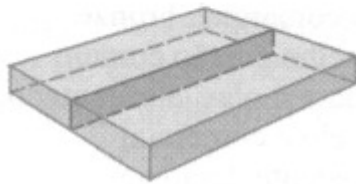
(o) Solda em filete.



(p) Solda em filete ambos os lados.



# Posições de soldagem e soldas aplicáveis

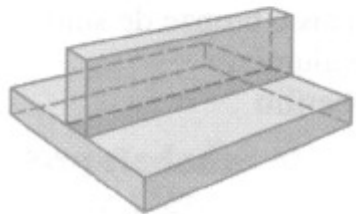


(a) Junta de topo em aresta.

Chanfro reto  
Chanfro V  
Chanfro meio V  
Chanfro U

## Soldas Aplicáveis

Chanfro J  
Chanfro V flangeado  
Chanfro meio V flangeado

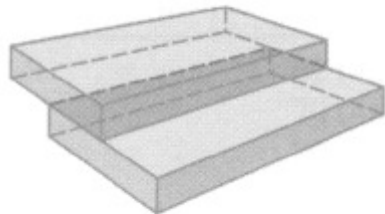


(b) Junta de topo em ângulo (T).

Filete  
Tampão  
Fenda  
Chanfro reto  
Chanfro meio V

## Soldas Aplicáveis

Chanfro J  
Chanfro V flangeado  
Pontos  
Projeção  
Costura



(c) Junta sobreposta.

Filete  
Tampão  
Fenda  
Chanfro meio V  
Costura

## Soldas Aplicáveis

Chanfro J  
Chanfro V flangeado  
Pontos  
Projeção



# Fatores de concentração de tensão a fadiga para zonas da solda



| 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.



# Propriedades mínimas de eletrodos para soldagem de Aços



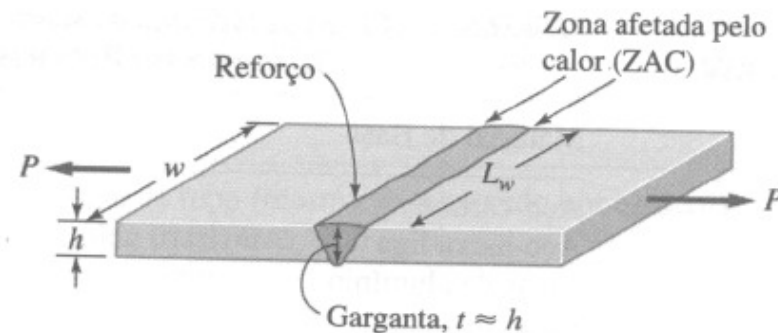
| ANSI/AWS<br>Eletrodo | Limite de resistência,<br>ksi (MPa) | Limite de escoamento,<br>ksi (MPa) | Alongamento<br>percentual em 2 in |
|----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| E 60                 | 62 (427)                            | 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                                |



# Solda de Topo

## Análise da seção crítica:

Considerar que as propriedades do filete são iguais às do metal base.

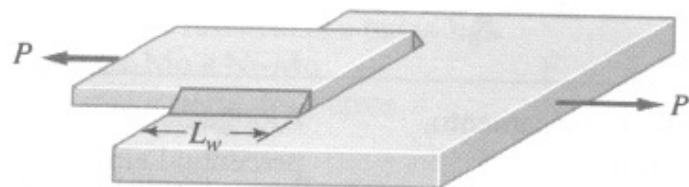


$$\sigma = K_f \sigma_{nom} = K_f \left( \frac{P}{tL_w} \right)$$

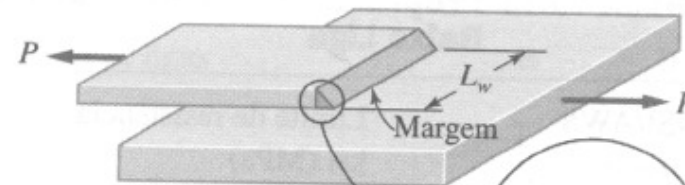
onde  $K_f$  = fator de concentração de tensões de fadiga (veja Tabela 13.9)  
 $P$  = carga trativa, lbf  
 $t$  = garganta da solda (espessura da chapa), in  
 $L_w$  = comprimento efetivo da solda (normalmente tomado como a largura da chapa,  $w$ , porém uma dedução pode ser feita para imperfeições no final do passe de soldagem causadas pelo início e término do cordão de solda).

# Solda de Filete

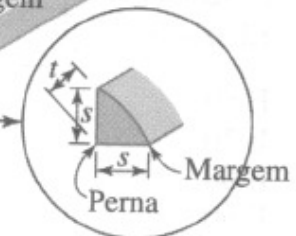
- Simetricamente carregadas



(a) Filetes de solda paralelos submetidos a cisalhamento longitudinal. (A carga é paralela à direção da solda.)



(b) Filete de solda submetido a cisalhamento transversal. (A carga é transversal à direção da solda.)



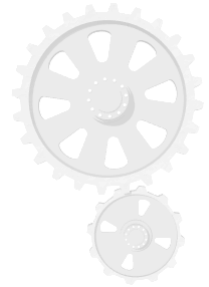
(c) Filete de solda de dimensão "s" com garganta "t".

$$t = 0,707s$$

$$A_s = 0,707sL_w$$

$$\tau_w = \frac{P}{A_s} = \frac{P}{0,707sL_w}$$

# Solda de Filete Assimetricamente carregadas



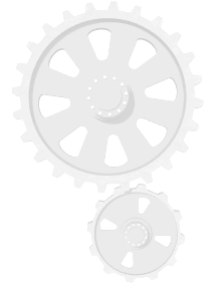
- Igualmente a juntas rebitadas e soldadas são geradas tensões de cisalhamento de torsão aplicada no centróide.
- As áreas  $A_i$  serão então as áreas das gargantas das soldas e  $x_i, y_i$  são as coordenadas dos centróides individuais de cada filete  $i$ .

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n_b} A_i x_i}{\sum_{i=1}^{n_b} A_i}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n_b} A_i y_i}{\sum_{i=1}^{n_b} A_i}$$



# Solda de Filete Assimetricamente carregadas



Considerando os princípios de elasticidade temos

$$q = r\theta$$

Considerando cada elemento  $dA$  como uma mola com constante de mola  $k$

$$df = kq \, dA$$

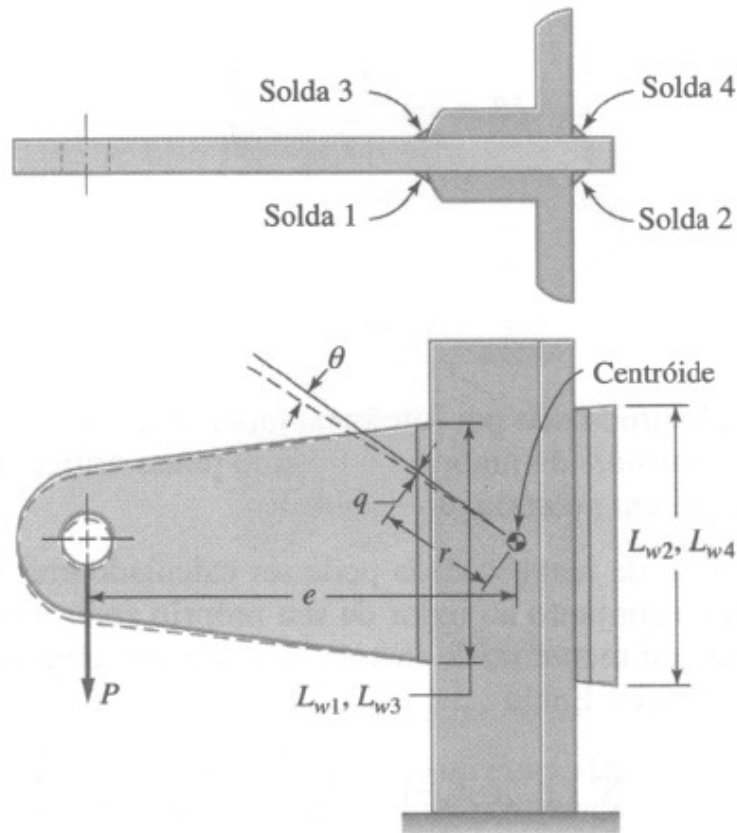
$df$  = força de mola elementar

$q$  = deslocamento tangencial

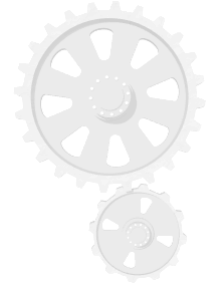
$dA$  = área elementar de cisalhamento da garganta

Com base no equilíbrio do momento temos:

$$T = Pe = \int_{junta} r \, df$$



# Solda de Filete Assimetricamente carregadas



- A tensão de cisalhamento da área elementar pode ser escrita então por:

$$\tau_t = \frac{df}{dA}$$

- Logo: e:

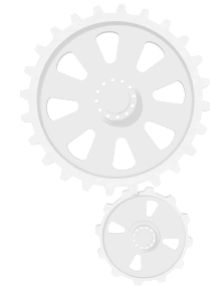
$$df = kr\theta dA$$

$$\tau_{ti} = \frac{kr_i\theta dA}{dA} = kr_i\theta$$

- A equação resultante do momento torsor pode ser escrita por:

$$T = \int_{junta} r(kr\theta dA) = k\theta \int_{junta} r^2 dA$$





- Trazendo  $k\theta$  para fora temos:

$$k\theta = \frac{T}{\int_{junta} r^2 dA} = \frac{T}{J_j}$$

- logo:

$$\tau_{ii} = \frac{Tr_i}{J_j}$$

$T = Pe$  = conjugado produzido por torção na junta soldada

$r_i$  = raio desde o *centróide* da junta até o  $i$ -ésimo ponto crítico de interesse

$J_j$  = momento de inércia polar da junta soldada

- O momento polar de inércia da junta soldada vai ser calculado por:

$$J_j = \sum_{i=1}^n [J_{oi} + A_i \hat{r}_i^2] \approx \sum_{i=1}^n \left[ A_i \left( \frac{L_{wi}^2}{12} + \hat{r}_i^2 \right) \right]$$

$J_{oi}$  = momento de inércia polar da  $i$ -ésima solda ao redor de seu próprio centróide,  $\approx \frac{A_i L_{wi}^2}{12}$   
 $\hat{r}_i$  = raio do centróide da *junta* ao centróide da *solda* para a  $i$ -ésima solda



# Passos a ser seguidos no dimensionamento de soldas



1. Organizar a disposição das soldas de modo a serem mais eficientes;
2. Esquema da solda proposta;
3. Estimar uma dimensão preliminar;
4. Encontrar o centróide da junta e do conj. Soldado e o respectivo MPI da união;
5. Identificar os pontos críticos;
6. Calcular os valores do cisalhamento máximo;
7. Verificar se a tensão máxima é maior que o limite de escoamento de projeto.

