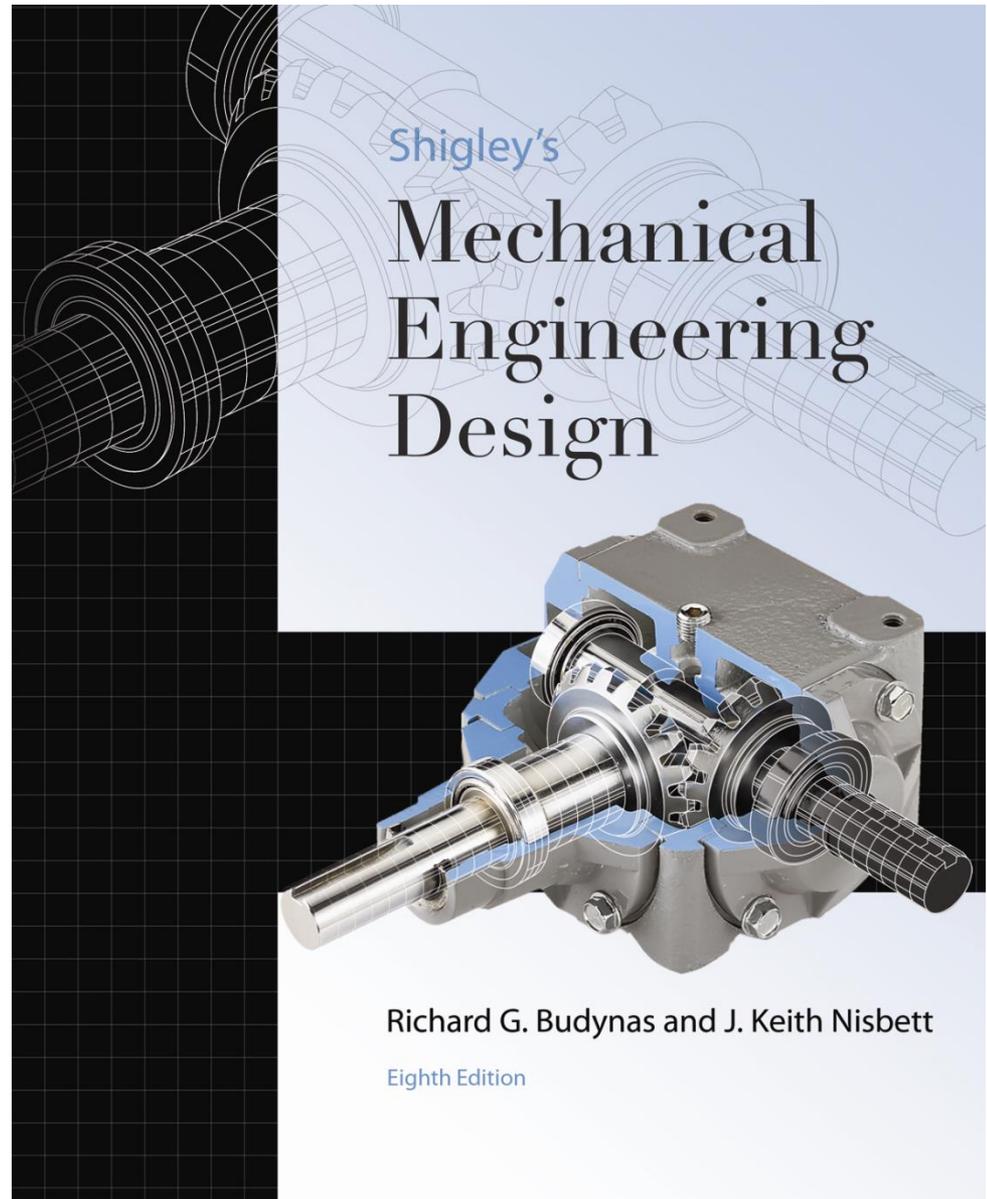


Capítulo 9

Soldagem, união e projeto de uniões permanentes

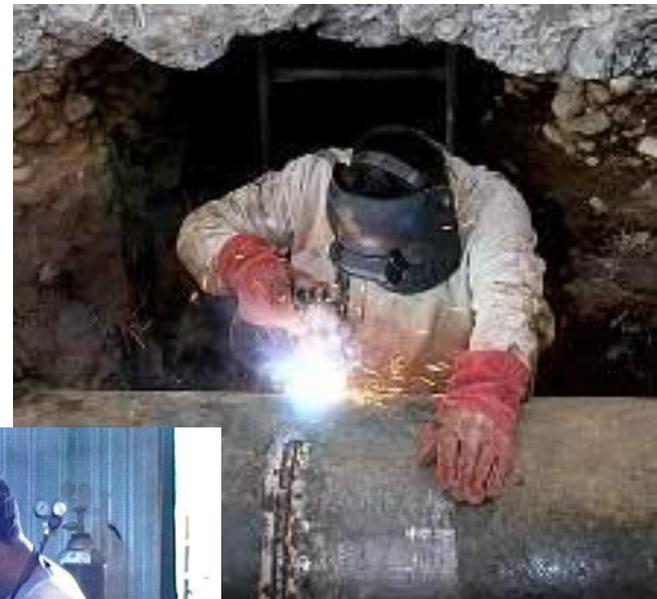


9

Soldagem, união e o projeto de junções permanentes

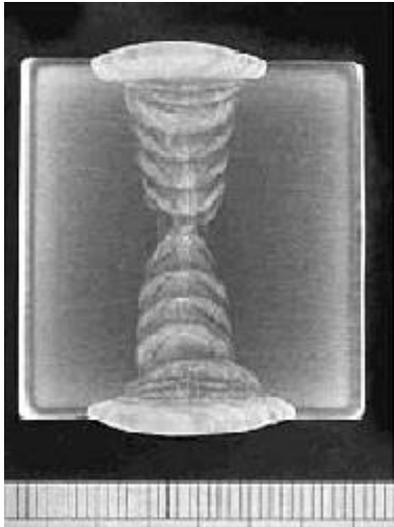
9-1	Símbolos de soldagem	484
9-2	Soldas de topo e filete	486
9-3	Tensões em junções soldadas em torção	490
9-4	Tensões em junções soldadas em flexão	495
9-5	A resistência de junções soldadas	497
9-6	Carregamento estático	500
9-7	Carregamento de fadiga	504
9-8	Soldagem de resistência	506
9-9	União por adesivo	506



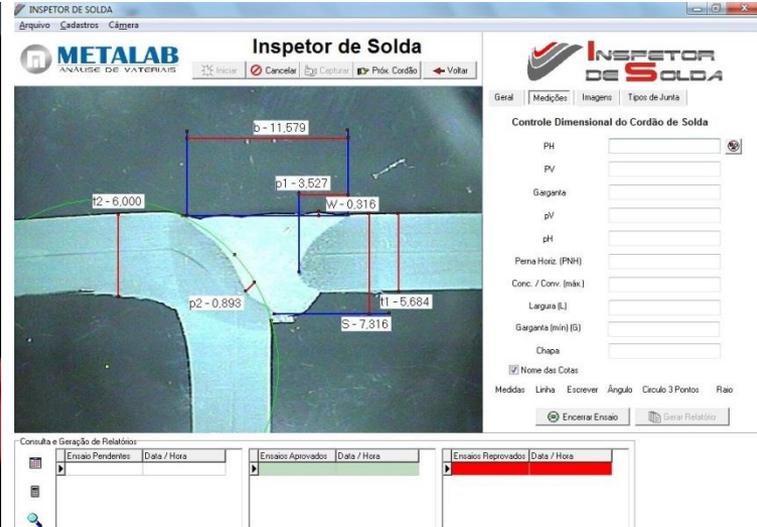
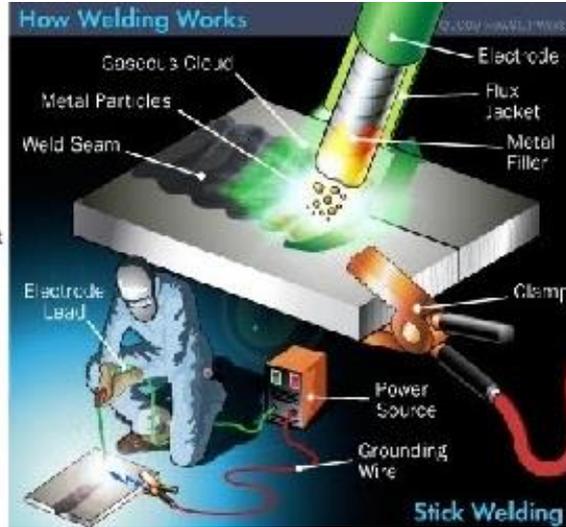




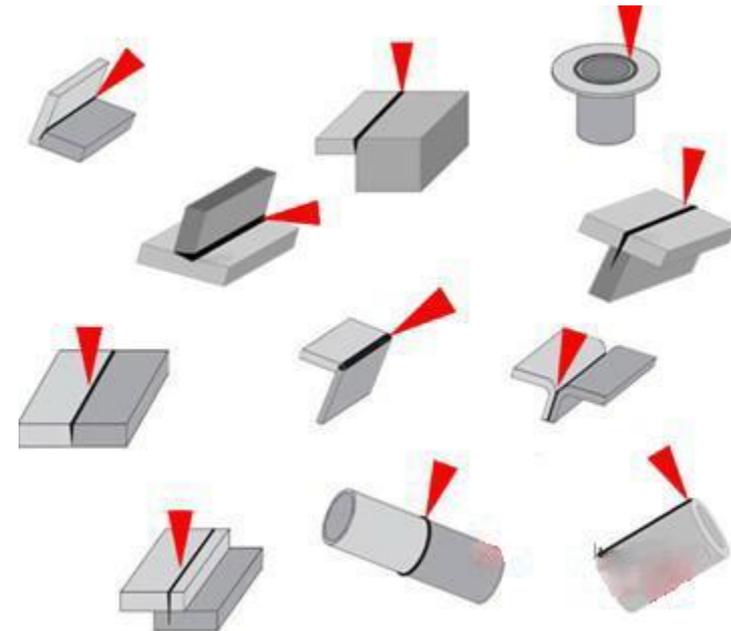
Inspeção

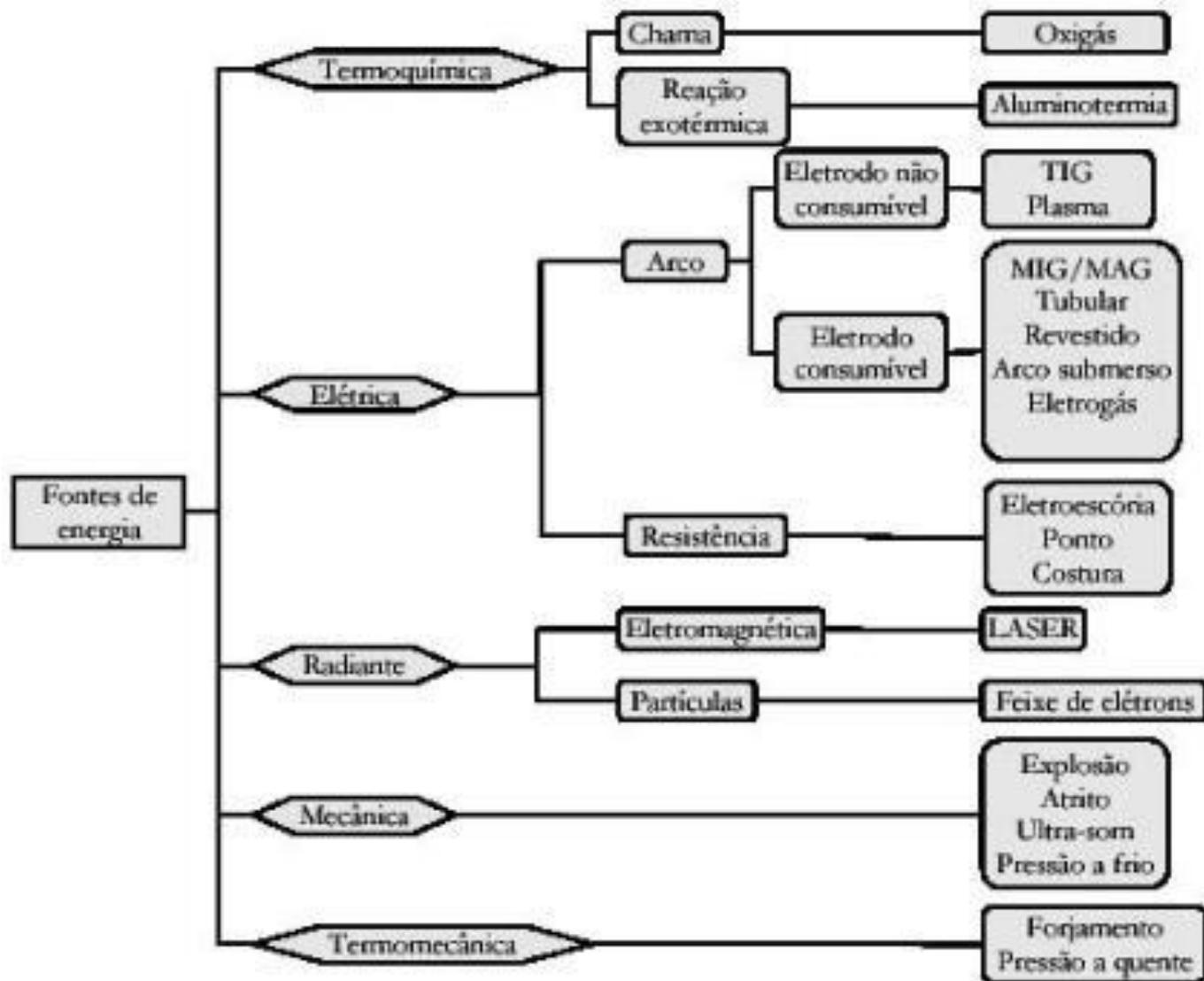


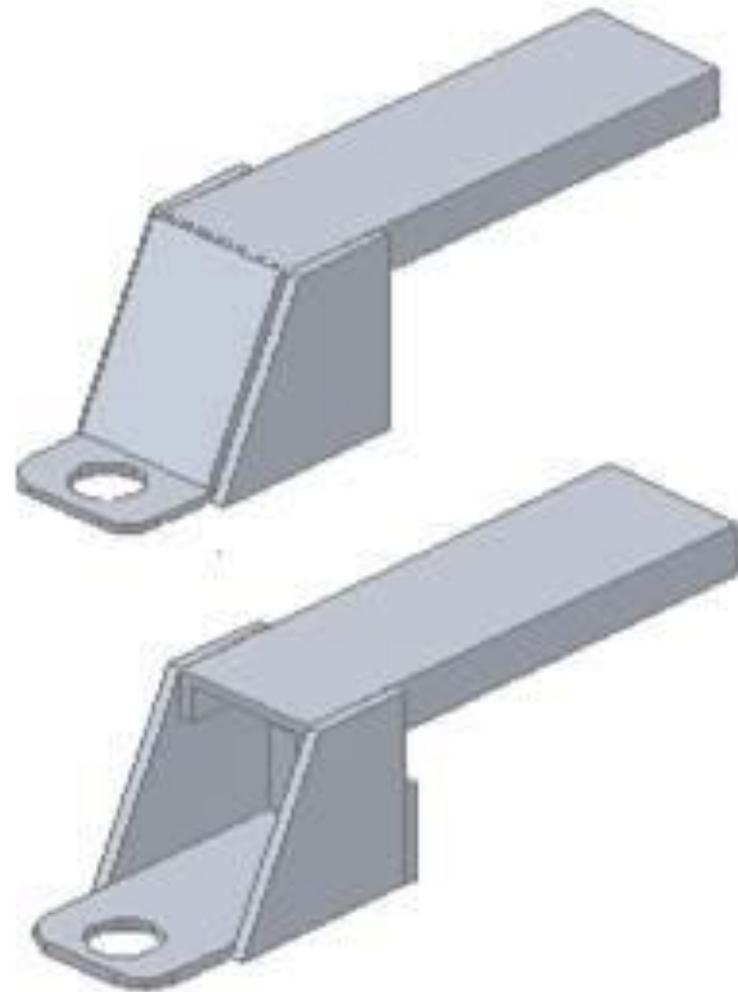
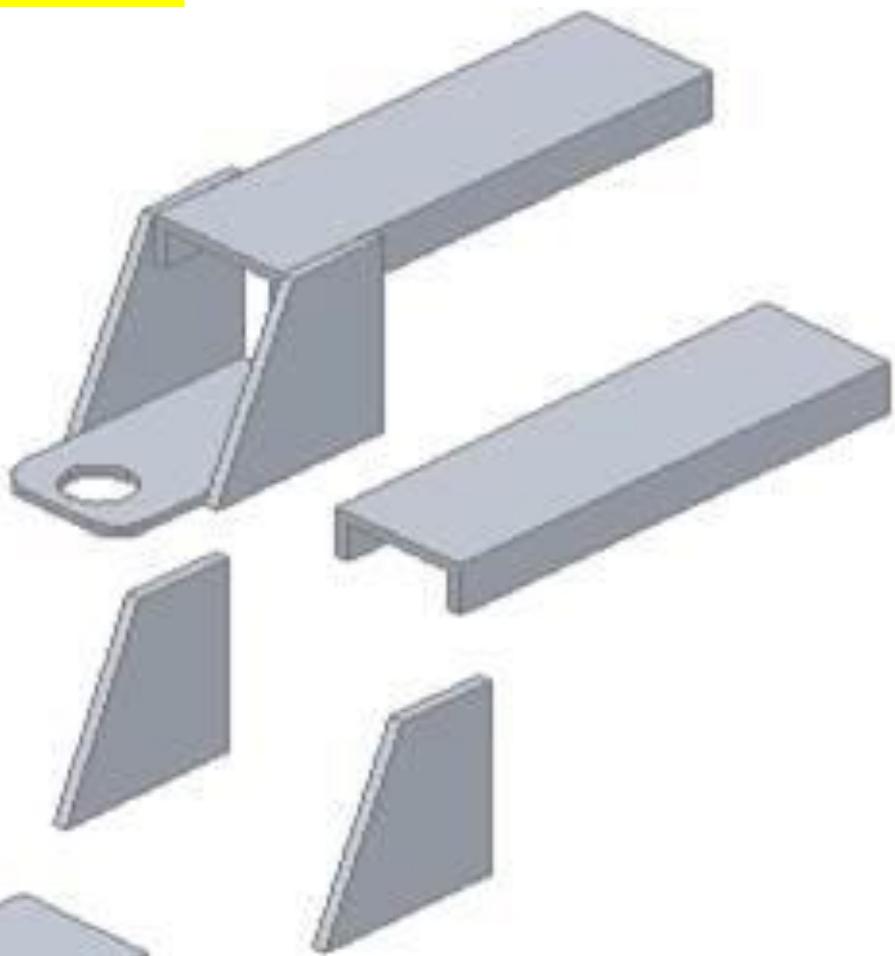
GTAW
Estimated joint
completion
time
~250 minutos

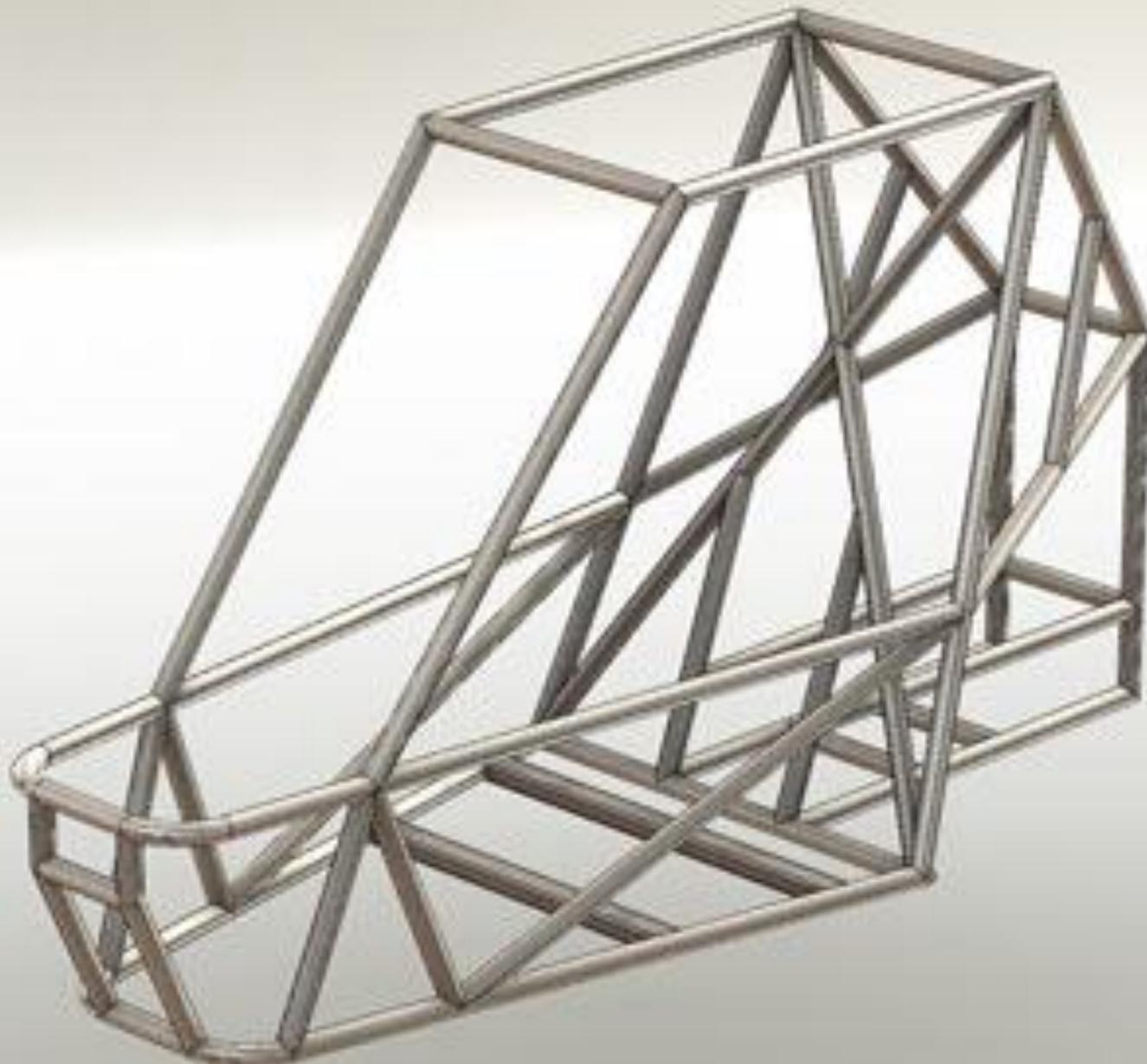


Certificação





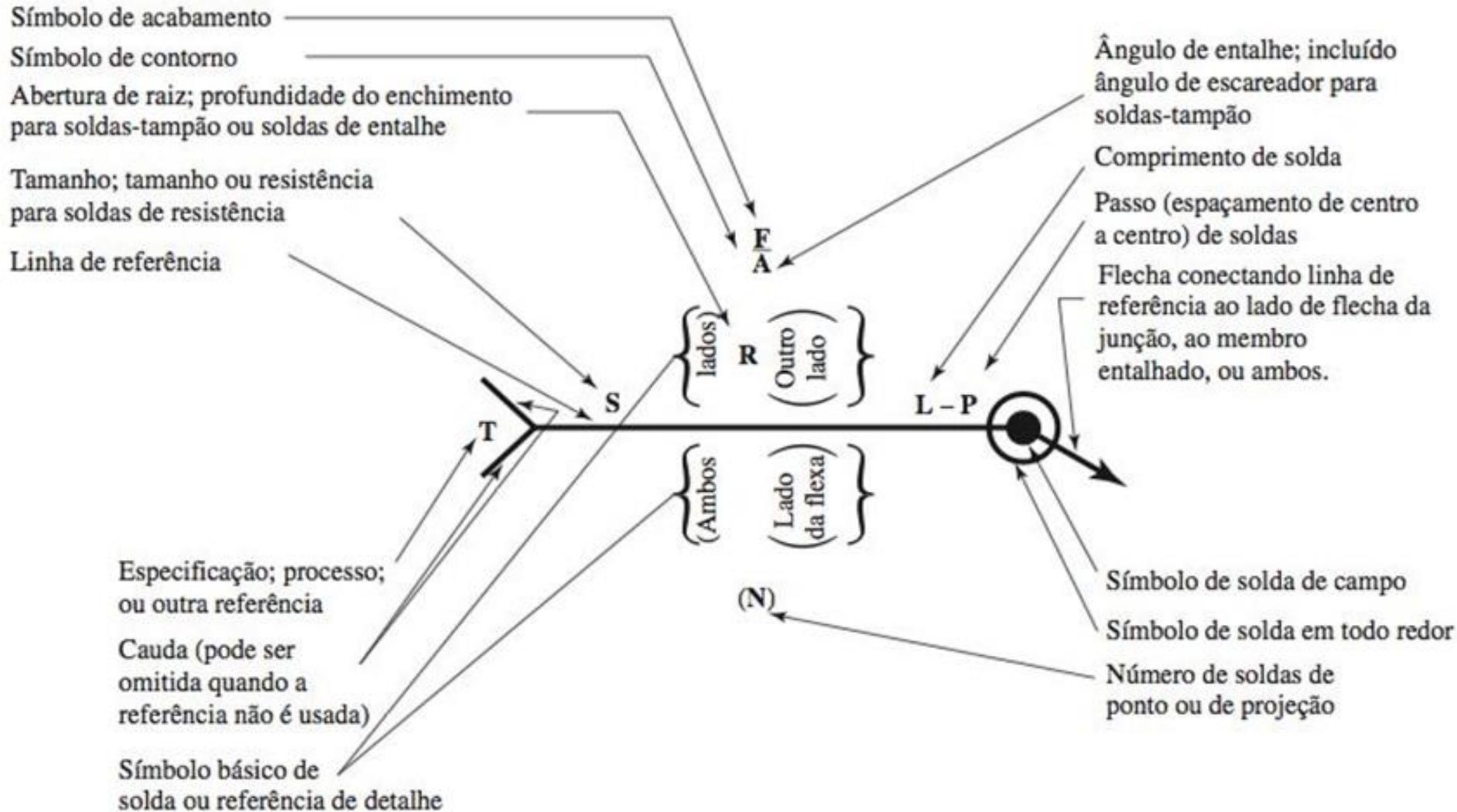




Projeto de estruturas soldadas



9-1 Símbolos de soldagem



A flecha desse

símbolo aponta para a junção a ser soldada. O corpo do símbolo contém tantos elementos quanto se supõe que sejam necessários:

- Linha de referência.
- Flecha.
- Símbolos básicos de solda como na Figura 9–2.
- Dimensões e outros dados.
- Símbolos suplementares.
- Símbolos de acabamento.
- Cauda.
- Especificação ou processo.

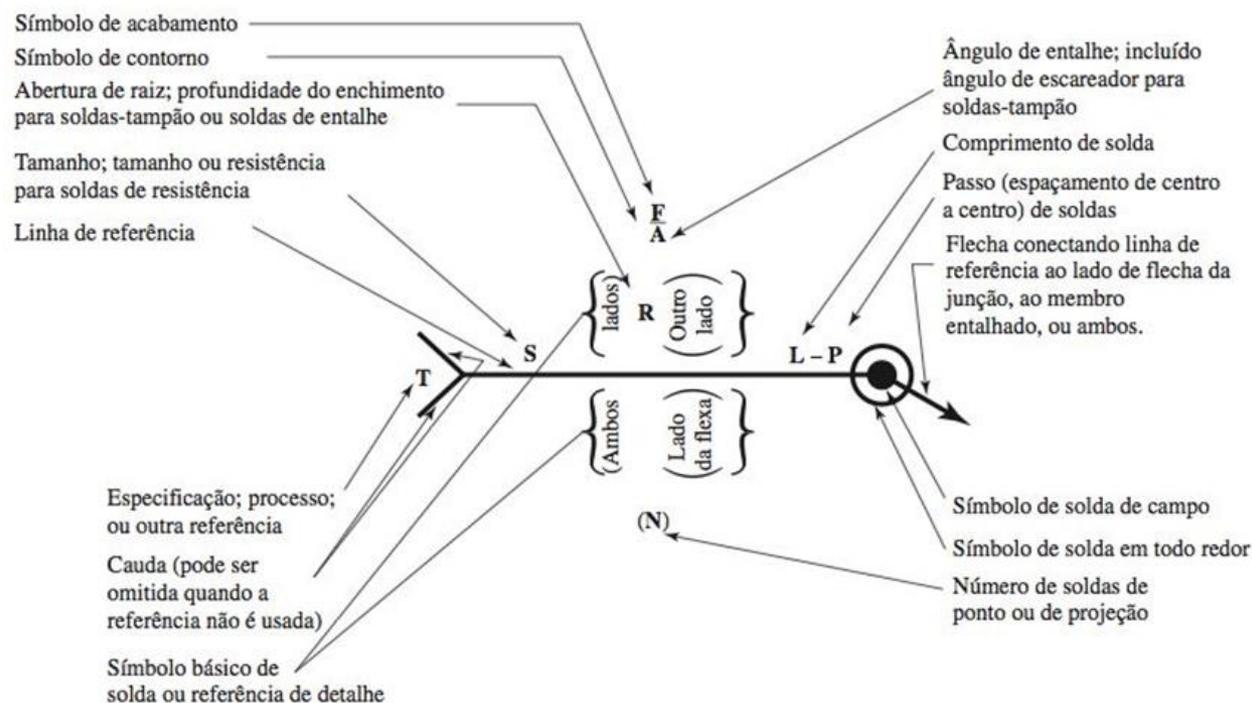


Figura 9-2

Símbolos de solda a arco e gás.

Tipo de solda							
Conta (ou cordão)	Filete	Tampão ou fenda	Sulco				
			Quadrada	V	Biselada	U	J
							

Figura 9-3

Soldas de filete. (a) O número indica o tamanho da perna; a flecha deve apontar somente para uma solda quando ambos os lados são o mesmo. (b) O símbolo indica que as soldas são intermitentes e alternadas de 60 mm de comprimento e com 200 mm entre centros.

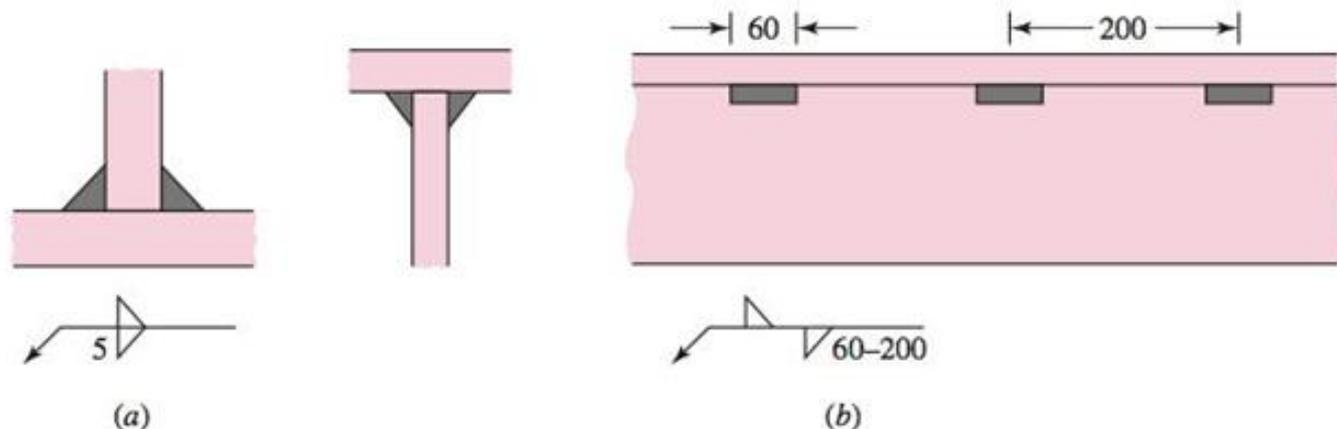


Figura 9-4

O círculo no símbolo de solda indica que a soldagem deve ser em todo redor.

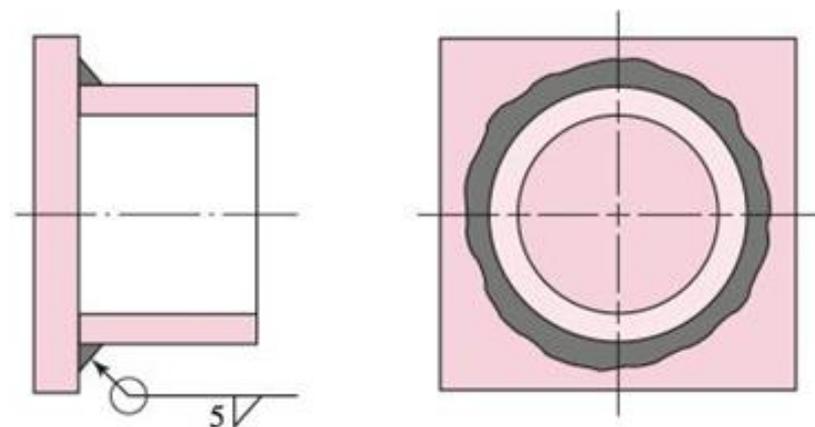
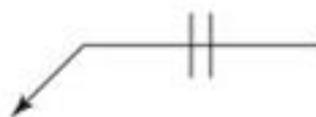
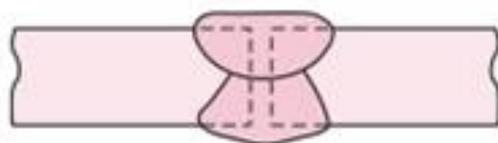
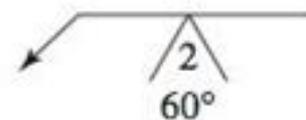
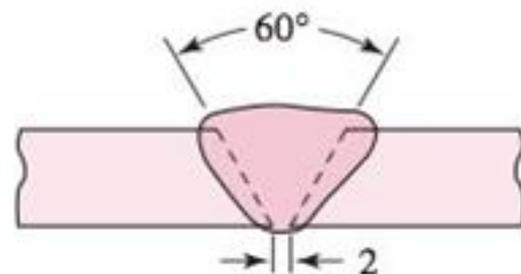


Figura 9-5

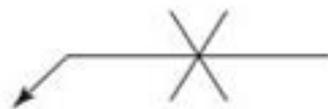
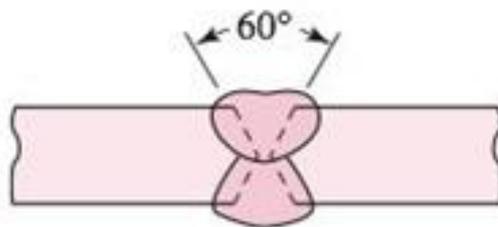
Solda de sulco ou topo:
(a) solda de topo quadrada em ambos os lados; (b) V simples com bisel de 60° e abertura de raiz de 2 mm; (c) duplo V; (d) bisel simples.



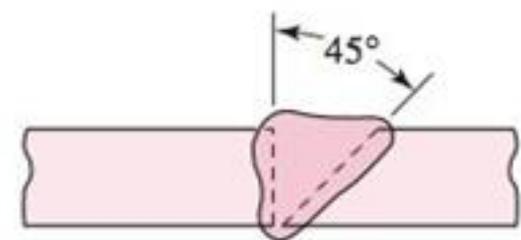
(a)



(b)



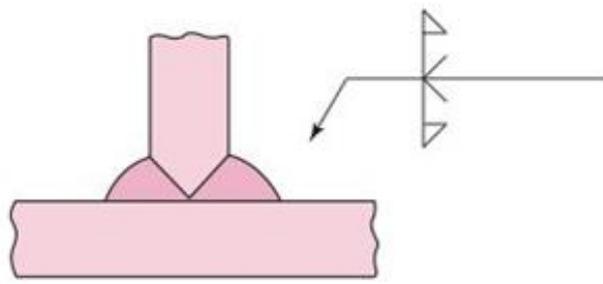
(c)



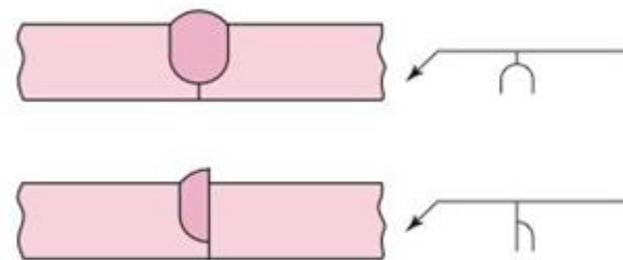
(d)

Figura 9-6

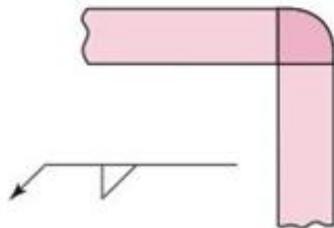
Soldas especiais de sulco:
(a) junção T para placas espessas;
(b) soldas U e J para placas espessas;
(c) solda de canto (pode ser também uma solda de cordão no interior para maior resistência, porém não deve ser usada para cargas pesadas);
(d) solda de borda para chapa de metal e cargas leves.



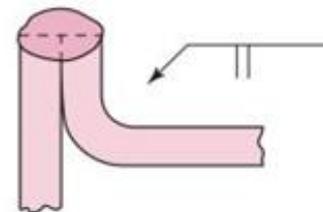
(a)



(b)

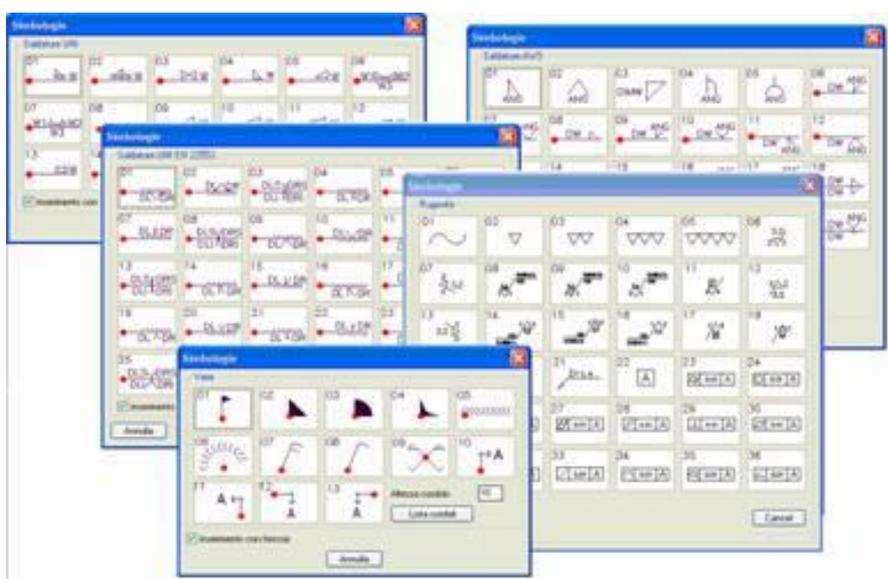


(c)



(d)

Softwares para projeto de soldas



Cálculo de Soldas

Cálculos Sobre...

Solda

Comprimento Total: 10 m

Numero de Pontos: 65

Operador

Homem Máquina

Distância

Curta Média Longa

Giro

Nº de Giros: 45455

Tempo de Giro: 54 s

Tempo de Execução (estimativa)

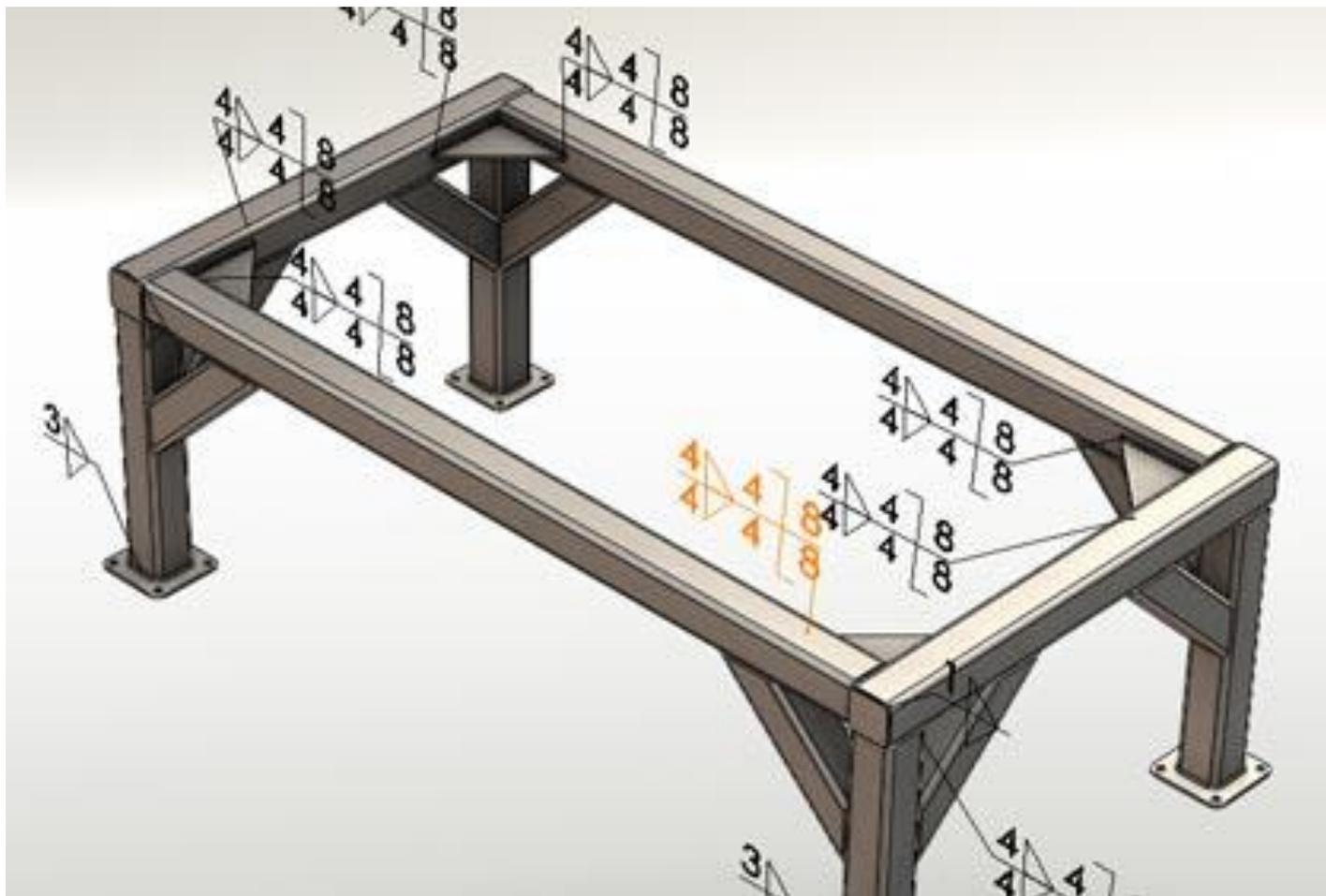
54592:37 minutos

Limpar **Calcular** Sair

TIPOS USUAIS DE JUNTAS SOLDADAS

- Solda de topo
- Solda em te
- Solda de canto
- Solda sobreposta
- Solda de borda

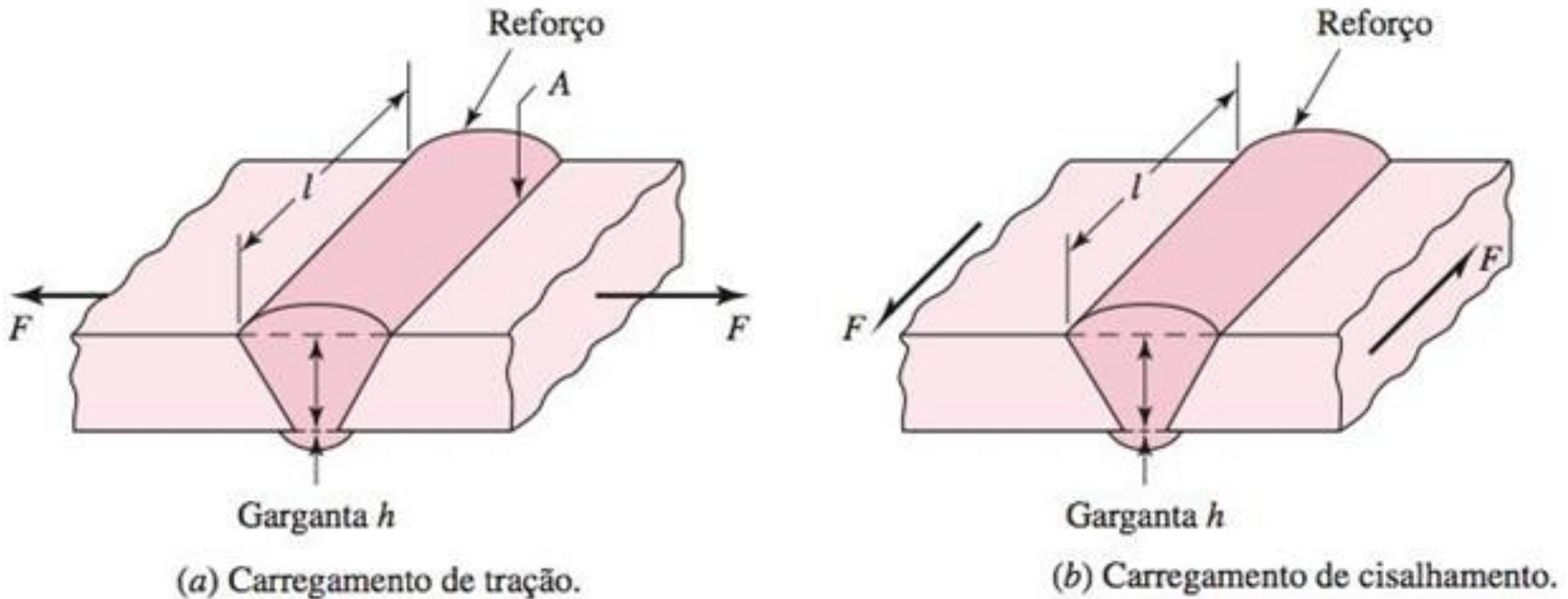
Previous Next OK Cancel



9-2 Soldas de topo e filete

Figura 9-7

Uma junta de topo típica.



$$\sigma = \frac{F}{h \cdot l}$$

$$\tau = \frac{F}{h \cdot l}$$

Figura 9-8

Uma solda de filete transversal.

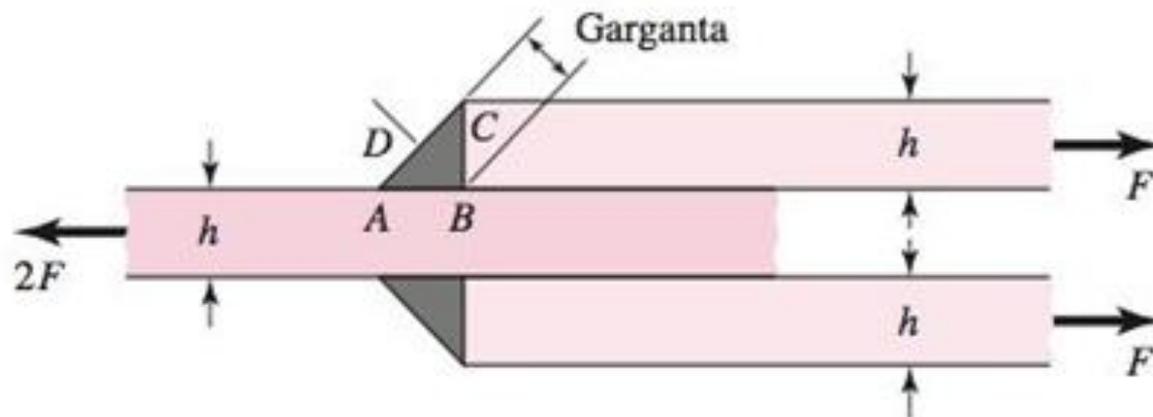
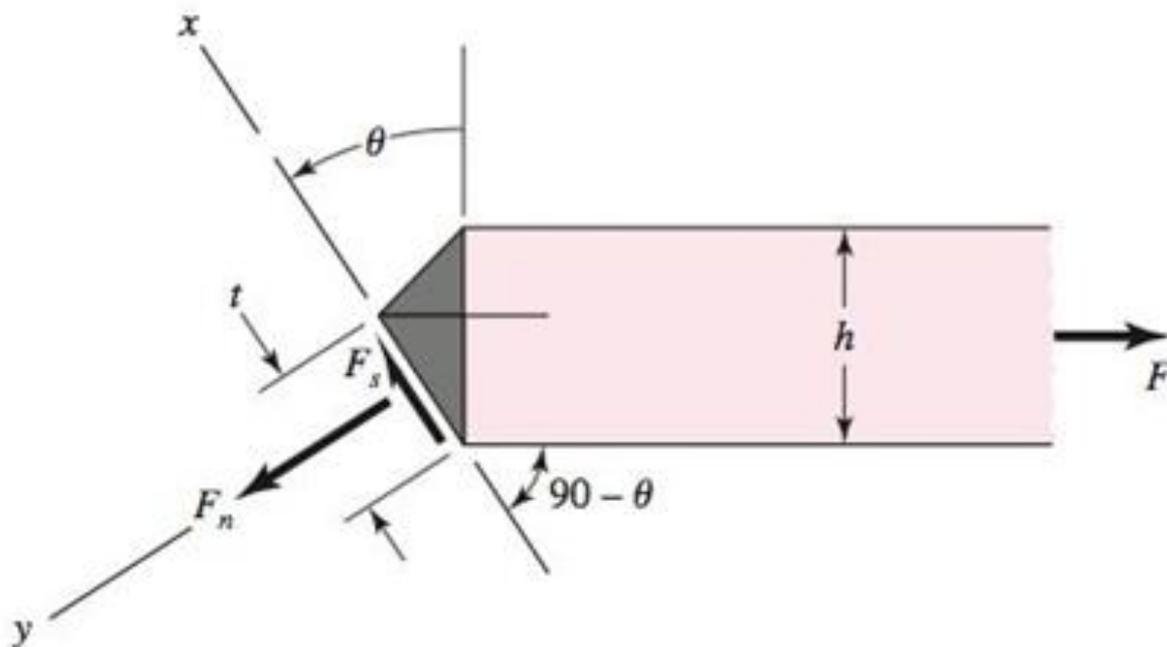
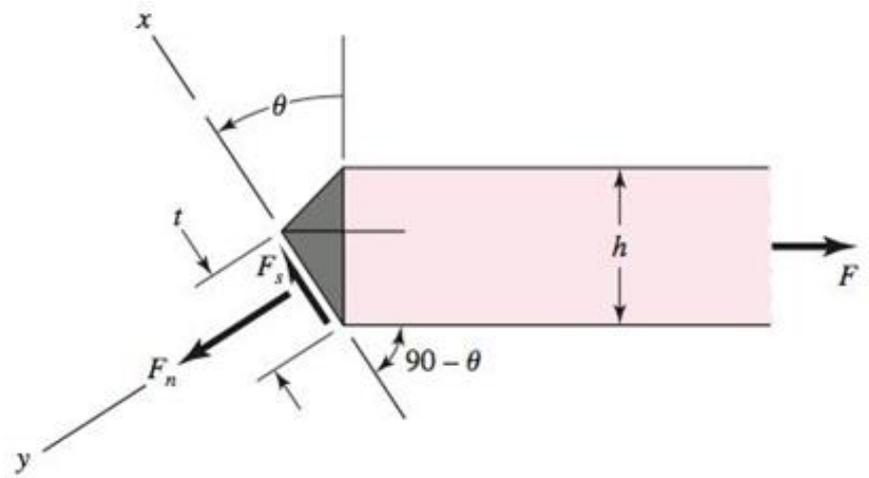


Figura 9-9

Corpo livre da Figura 9-8.



As tensões nominais a um ângulo θ na montagem soldada, τ e σ , são



$$\tau = \frac{F_s}{A} = \frac{F \operatorname{sen} \theta (\cos \theta + \operatorname{sen} \theta)}{hl} = \frac{F}{hl} (\operatorname{sen} \theta \cos \theta + \operatorname{sen}^2 \theta) \quad (d)$$

$$\sigma = \frac{F_n}{A} = \frac{F \cos \theta (\cos \theta + \operatorname{sen} \theta)}{hl} = \frac{F}{hl} (\cos^2 \theta + \operatorname{sen} \theta \cos \theta) \quad (e)$$

A tensão de von Mises σ' a um ângulo θ é

$$\sigma' = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{1/2} = \frac{F}{hl} [(\cos^2 \theta + \operatorname{sen} \theta \cos \theta)^2 + 3(\operatorname{sen}^2 \theta + \operatorname{sen} \theta \cos \theta)^2]^{1/2} \quad (f)$$

A tensão maior de von Mises ocorre em $\theta = 62,5^\circ$ com um valor de $\sigma' = 2,16F/(hl)$. Os valores correspondentes de τ e σ são $\tau = 1,196 F/(hl)$ e $\sigma = 0,623F/(hl)$.

A tensão de cisalhamento máxima pode ser encontrada diferenciando a Equação (d) com respeito a θ e igualando a zero. O ponto estacionário ocorre em $\theta = 67,5^\circ$ com um correspondente $\tau_{\max} = 1,207F/(hl)$ e $\sigma = 0,5F/(hl)$.

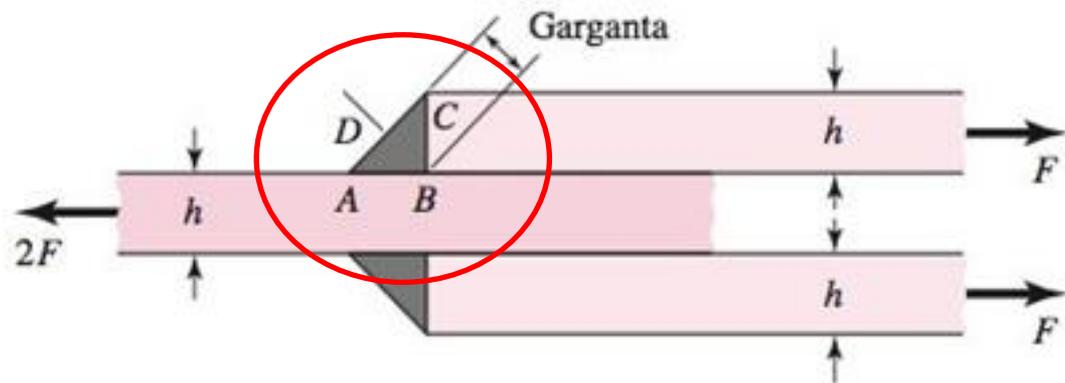
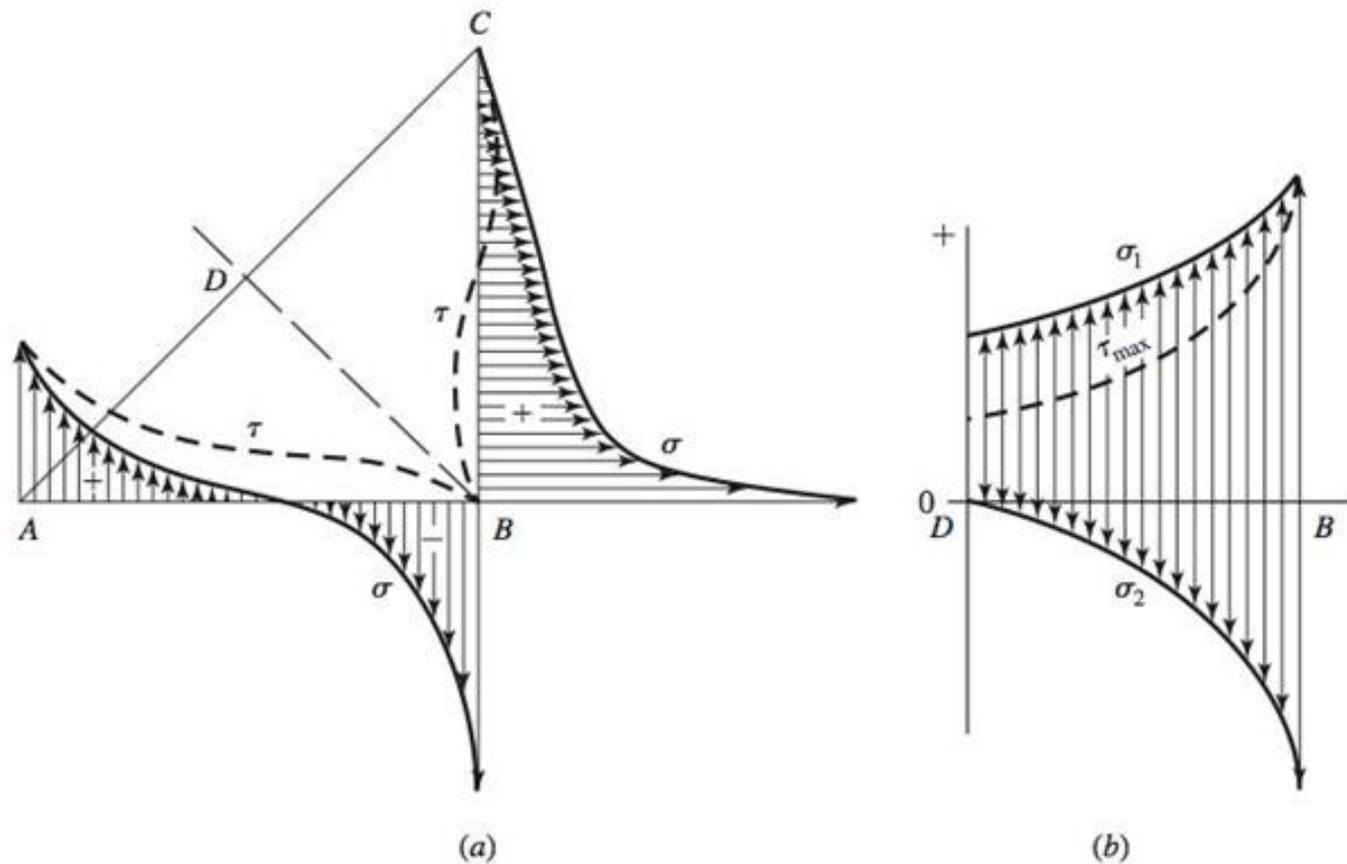


Figura 9-10

Distribuição de tensão em soldas de filete:
 (a) distribuição de tensão nas pernas como reportado por Norris;
 (b) distribuição de tensões principais e tensão de cisalhamento máxima, como reportado por Salakian.



A abordagem abrange:

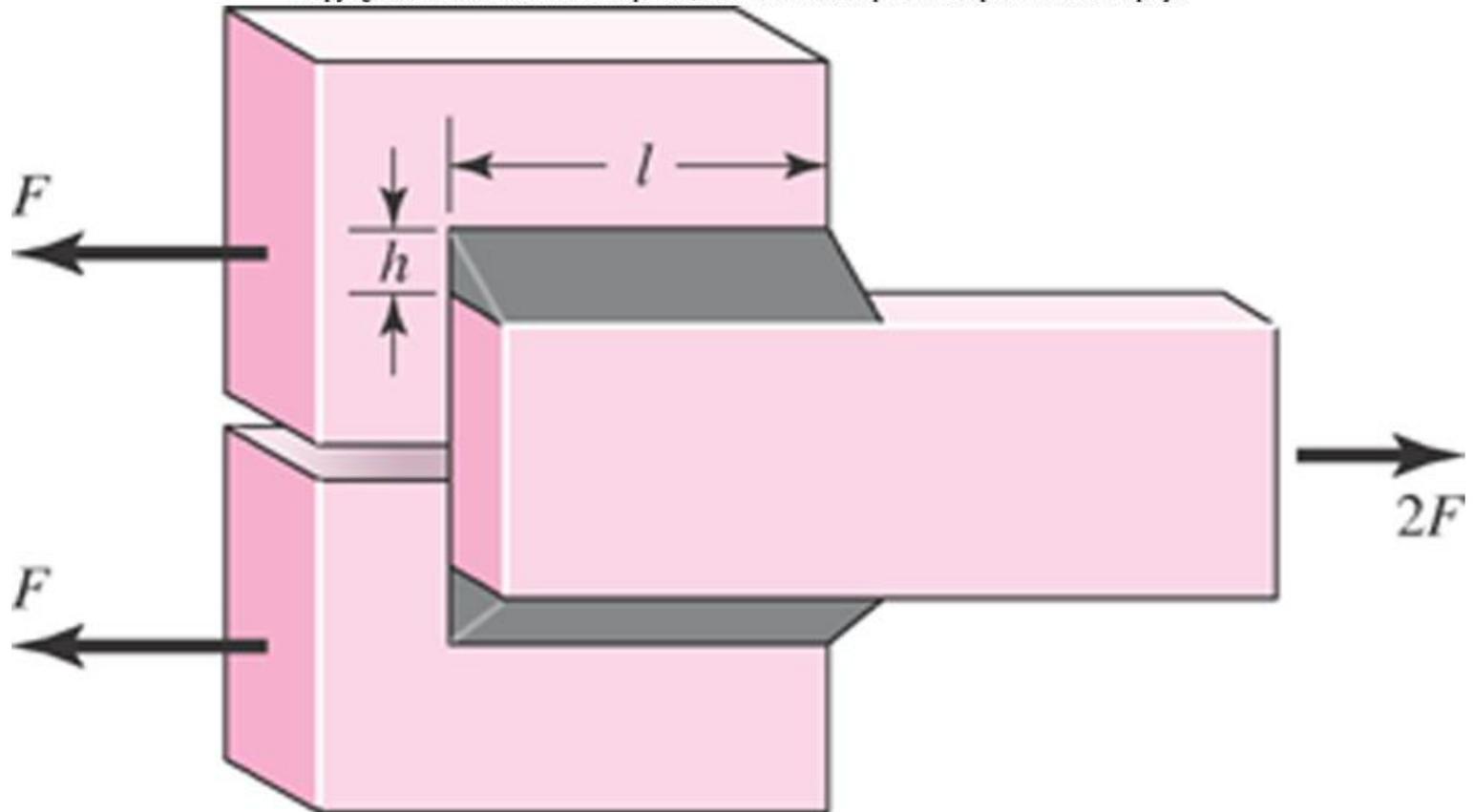
- Considerar que o carregamento externo seja transferido por forças de cisalhamento na área da garganta da solda. Ao ignorar a tensão normal na garganta, as tensões de cisalhamento são infladas suficientemente para converter o modelo em conservativo.
- Usar a energia de distorção para as tensões significativas.
- Circunscrever casos típicos por código.

Para esse modelo, a base para a análise de solda ou projeto emprega

$$\tau = \frac{F}{0,707hl} = \frac{1,414F}{hl} \quad (9-3)$$

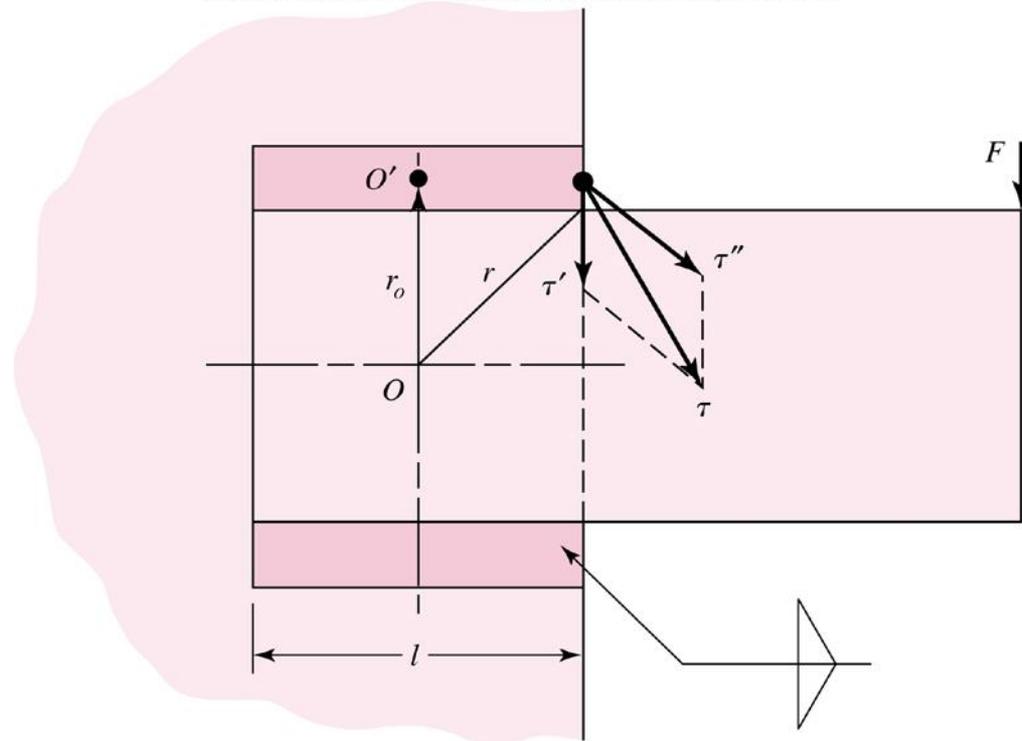
que assume que a força resultante F seja levada em conta mediante uma tensão de cisalhamento na área de garganta mínima. Observe que isso infla a máxima tensão de cisalhamento estimada por um fator de $1,414/1,207 = 1,17$. Mais ainda, considere as soldas de filetes paralelos mostradas na Figura 9-11, em que, como na Figura 9-8, cada solda transmite uma força F . Contudo, no caso da Figura 9-11, a tensão de cisalhamento máxima *ocorre* na área de garganta mínima e corresponde à Equação (9-3).

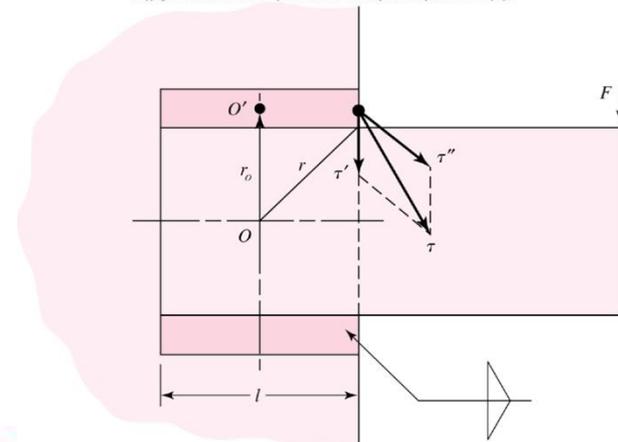
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



Tensões em junções soldadas em torção

(Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.)





9-3 Tensões em junções soldadas em torção

A reação no suporte de uma viga em balanço sempre consiste em uma força de cisalhamento V e um momento M . A força de cisalhamento produz uma tensão primária de cisalhamento nas soldas de magnitude

$$\tau' = \frac{V}{A}$$

(9-4)

em que A é a área de garganta de toda a solda.

O momento no apoio produz uma tensão secundária de cisalhamento ou torção das soldas, e essa tensão é dada pela equação

$$\tau'' = \frac{Mr}{J}$$

(9-5)

em que r é a distância do centroide do grupo de soldas até o ponto na solda de interesse e J é o momento de inércia polar da área do grupo de solda em relação ao centroide do grupo.

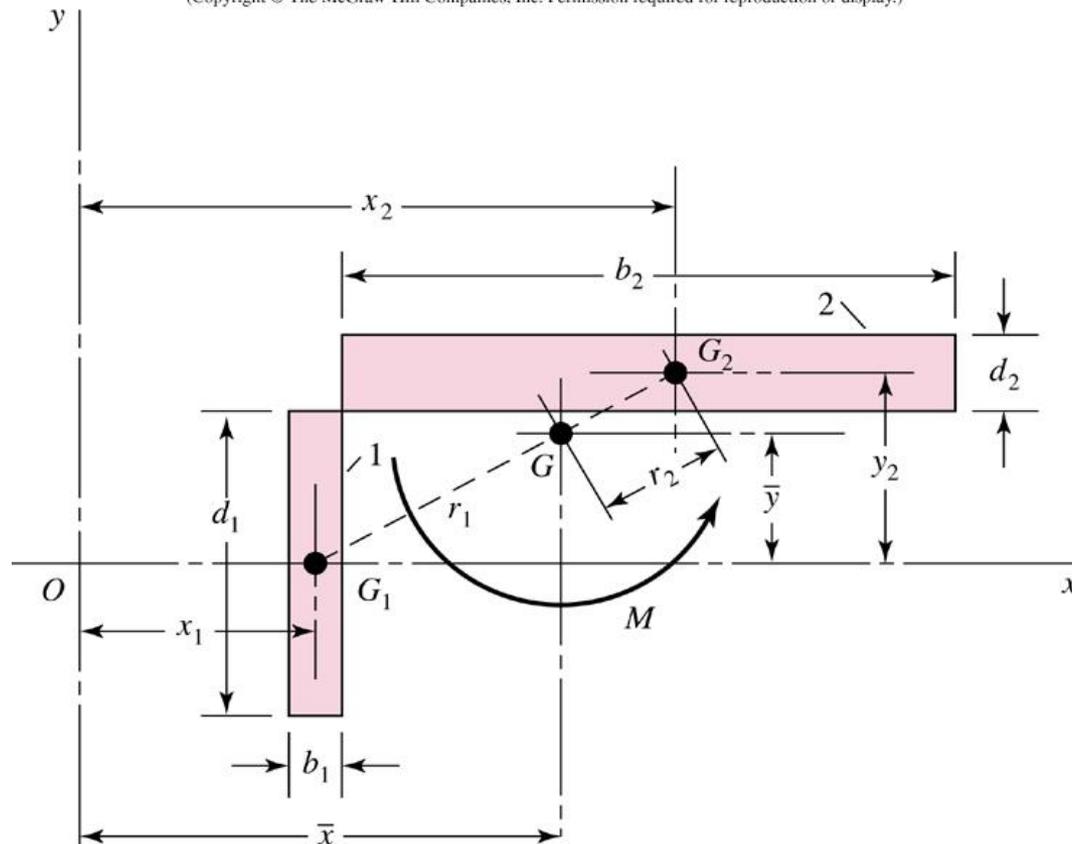
A Figura 9–13 mostra duas soldas em um grupo. Os retângulos representam as áreas de garganta das soldas. A solda 1 tem uma largura de garganta $b_1 = 0,707h_1$, e a solda 2 tem uma largura de garganta $d_2 = 0,707h_2$. Note que h_1 e h_2 são os respectivos tamanhos de solda. A área de garganta de ambas as soldas juntas é

$$A = A_1 + A_2 = b_1d_1 + b_2d_2$$

(a)

Essa é a área que deve ser usada na Equação (9–4).

(Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.)



O eixo x na Figura 9–13 passa pelo centroide G_1 da solda 1. O momento de inércia (momento de segunda ordem) da área ao redor desse eixo é

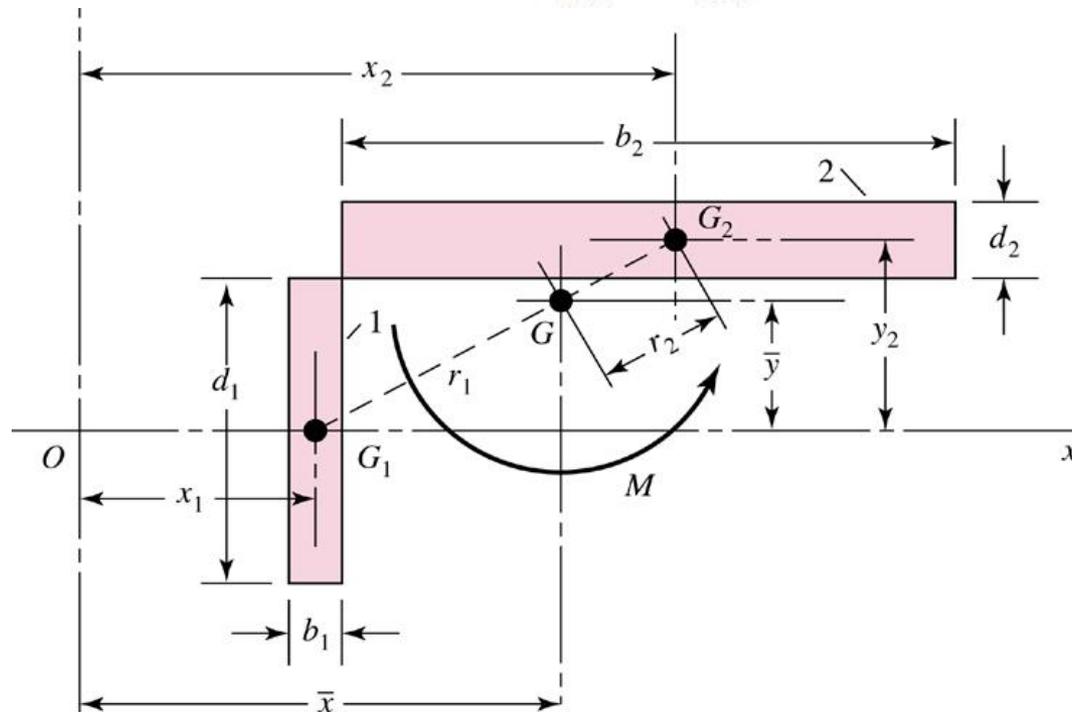
$$I_x = \frac{b_1 d_1^3}{12}$$

Similarmente, o momento de inércia da área ao redor de um eixo passando por G_1 , paralelo ao eixo y , é

$$I_y = \frac{d_1 b_1^3}{12}$$

Assim, o momento de inércia polar da área da solda 1 em relação a seu próprio centroide é

$$J_{G1} = I_x + I_y = \frac{b_1 d_1^3}{12} + \frac{d_1 b_1^3}{12} \quad (b)$$



De modo similar, o momento de inércia polar da área da solda 2 em relação a seu centroide é

$$J_{G2} = \frac{b_2 d_2^3}{12} + \frac{d_2 b_2^3}{12} \quad (c)$$

O centroide G do grupo de solda está localizado em

$$\bar{x} = \frac{A_1 x_1 + A_2 x_2}{A} \quad \bar{y} = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2}{A}$$

Usando a Figura 9-13 outra vez, vemos que as distâncias r_1 e r_2 de G_1 e G_2 para G , respectivamente, são

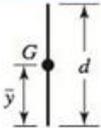
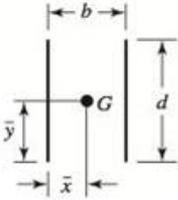
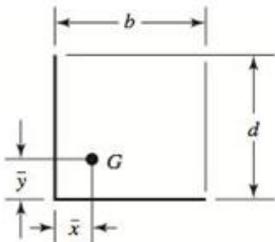
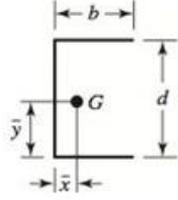
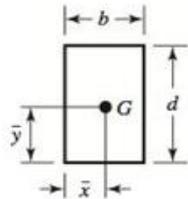
$$r_1 = [(\bar{x} - x_1)^2 + \bar{y}^2]^{1/2} \quad r_2 = [(y_2 - \bar{y})^2 + (x_2 - \bar{x})^2]^{1/2}$$

Agora, usando o teorema de eixos paralelos, encontramos o momento de inércia polar da área do grupo de solda como

$$J = (J_{G1} + A_1 r_1^2) + (J_{G2} + A_2 r_2^2) \quad (d)$$

Essa é a quantidade a ser usada na Equação (9-5). A distância r deve ser medida a partir de G e o momento M computado em relação a G .

Tabela 9-1 Propriedades torcionais de soldas de filete.*

Solda	Área de garganta	Localização de G	Segundo momento polar unitário de área
	$A = 0,70 hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = d^3/12$
	$A = 1,41 hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
	$A = 0,707h(b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2(b+d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b+d)}$	$J_u = \frac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$
	$A = 0,707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$
	$A = 1,414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{(b+d)^3}{6}$
	$A = 1,414 \pi hr$		$J_u = 2\pi r^3$

EXEMPLO 9-1

Uma carga de 50 kN é transferida de um encaixe soldado a um canal de aço de 200 mm, como ilustrado na Figura 9-14. Calcule a tensão máxima na solda.

Figura 9-14

Dimensões em milímetros.

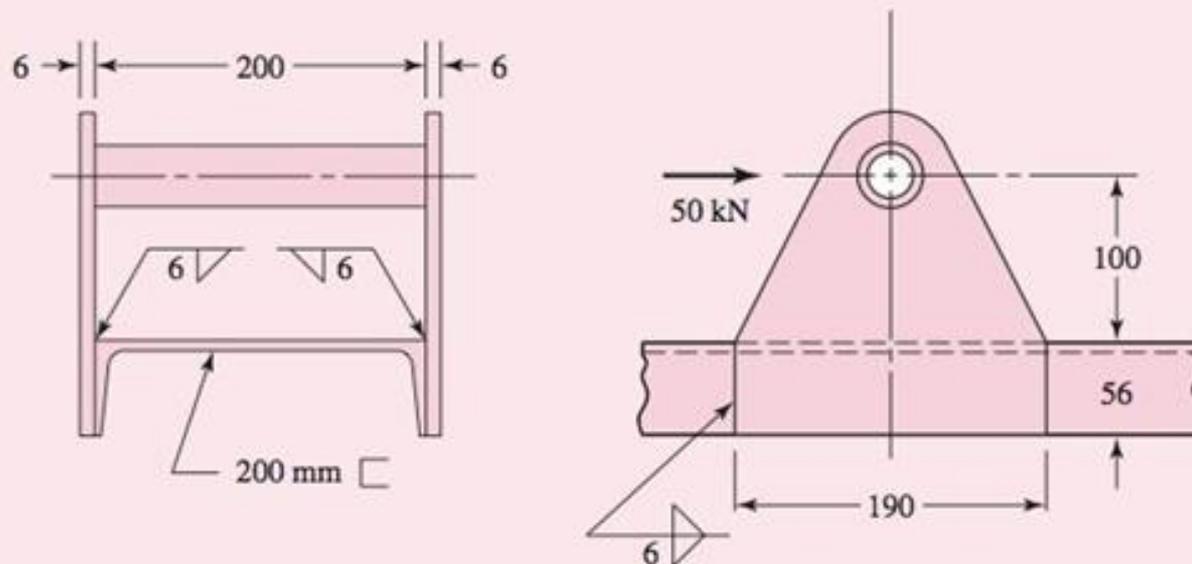


Figura 9-15

Diagrama mostrando a geometria de solda; todas as dimensões em milímetros.

Note que V e M representam cargas aplicadas pelas soldas à placa.

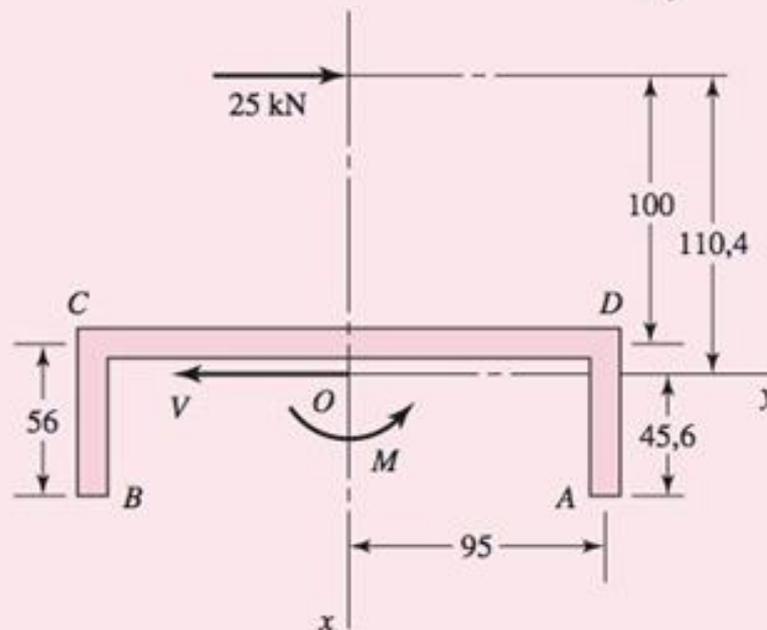
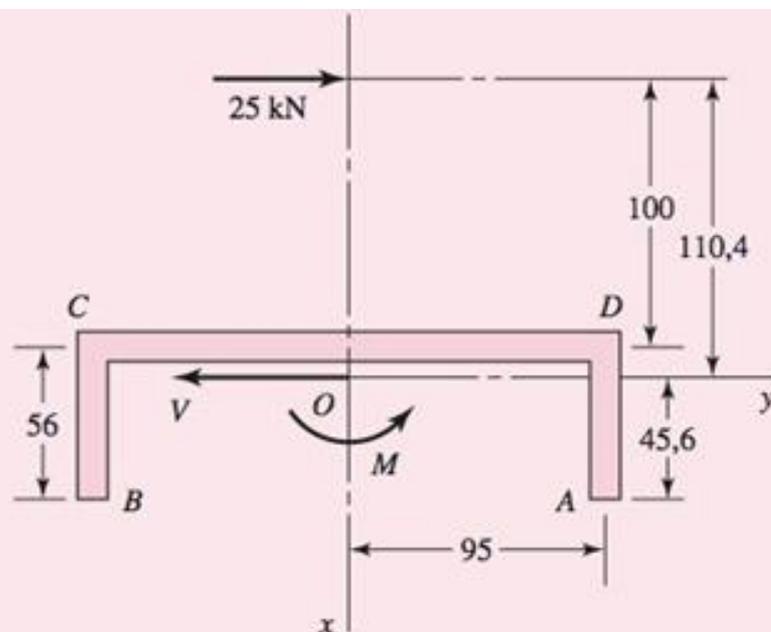


Figura 9-15

Diagrama mostrando a geometria de solda; todas as dimensões em milímetros. Note que V e M representam cargas aplicadas pelas soldas à placa.



(a) Rotule as extremidades e cantos de cada solda com uma letra. Às vezes é desejável rotular cada solda de um conjunto com número. Ver Figura 9-15.

(b) Calcule a tensão primária de cisalhamento τ' . Conforme a Figura 9-14, cada placa está soldada ao canal por meio de três soldas de filete de 6 mm. A Figura 9-15 mostra que dividimos a carga pela metade e estamos considerando somente uma única placa. Do caso 4 da Tabela 9-1 encontramos a área de garganta como

$$A = 0,707(6)[2(56) + 190] = 1280 \text{ mm}^2$$

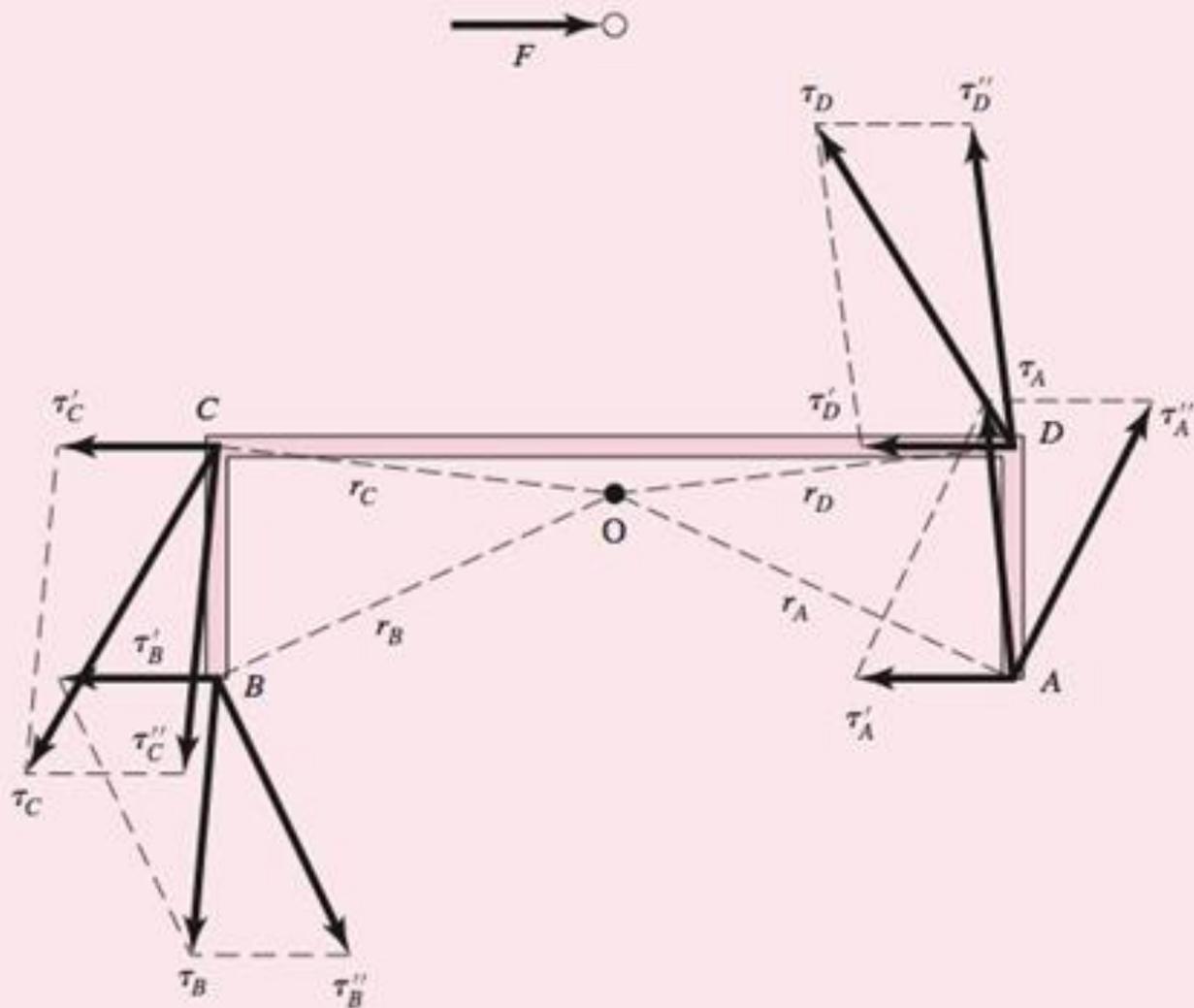
Então a tensão primária de cisalhamento é

$$\tau' = \frac{V}{A} = \frac{25(10)^3}{1280} = 19,5 \text{ MPa}$$

(c) Desenhe a tensão τ' , em escala, em cada canto marcado com letra ou extremidade. Ver Figura 9-16.

Figura 9-16

Diagrama de corpo livre de uma das placas laterais.



(d) Localize o centroide do padrão soldado. Usando o caso 4 da Tabela 9-1, encontramos

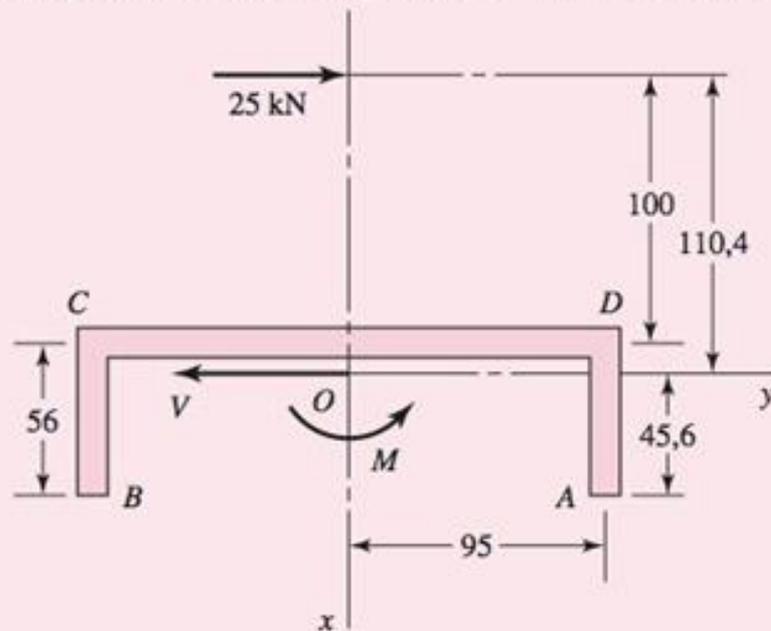
$$\bar{x} = \frac{(56)^2}{2(56) + 190} = 10,4 \text{ mm}$$

Isso está mostrado como o ponto O nas Figuras 9-15 e 9-16.

Figura 9-15

Diagrama mostrando a geometria de solda; todas as dimensões em milímetros.

Note que V e M representam cargas aplicadas pelas soldas à placa.



(e) Encontre as distâncias r_i (ver Figura 9-16):

$$r_A = r_B = [(190/2)^2 + (56 - 10,4)^2]^{1/2} = 105 \text{ mm}$$

$$r_C = r_D = [(190/2)^2 + (10,4)^2]^{1/2} = 95,6 \text{ mm}$$

Essas distâncias podem também ser obtidas do desenho em escala.

(f) Encontre J . Usando o caso 4 da Tabela 9-1, obtemos

$$J = 0,707(6) \left[\frac{8(56)^3 + 6(56)(190)^2 + (190)^3}{12} - \frac{(56)^4}{2(56) + 190} \right]$$
$$= 7,07(10)^6 \text{ mm}^4$$

(g) Encontre M :

$$M = Fl = 25(100 + 10,4) = 2760 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(h) Calcule as tensões secundárias de cisalhamento τ'' em cada extremidade ou canto marcado com letra:

$$\tau''_A = \tau''_B = \frac{Mr}{J} = \frac{2760(10)^3(105)}{7,07(10)^6} = 41,0 \text{ MPa}$$

$$\tau''_C = \tau''_D = \frac{2760(10)^3(95,6)}{7,07(10)^6} = 37,3 \text{ MPa}$$

(i) Desenhe a tensão τ'' , em escala, em cada canto ou extremidade. Ver Figura 9–16. Note que esse é um diagrama de corpo livre de uma das placas laterais, e por isso as tensões τ' e τ'' representam o que o canal está fazendo às placas (através das soldas) para aguentar a placa em equilíbrio.

(j) Em cada letra, combine as duas componentes de tensão como vetores. Isso nos dá

$$\tau_A = \tau_B = 37 \text{ MPa}$$

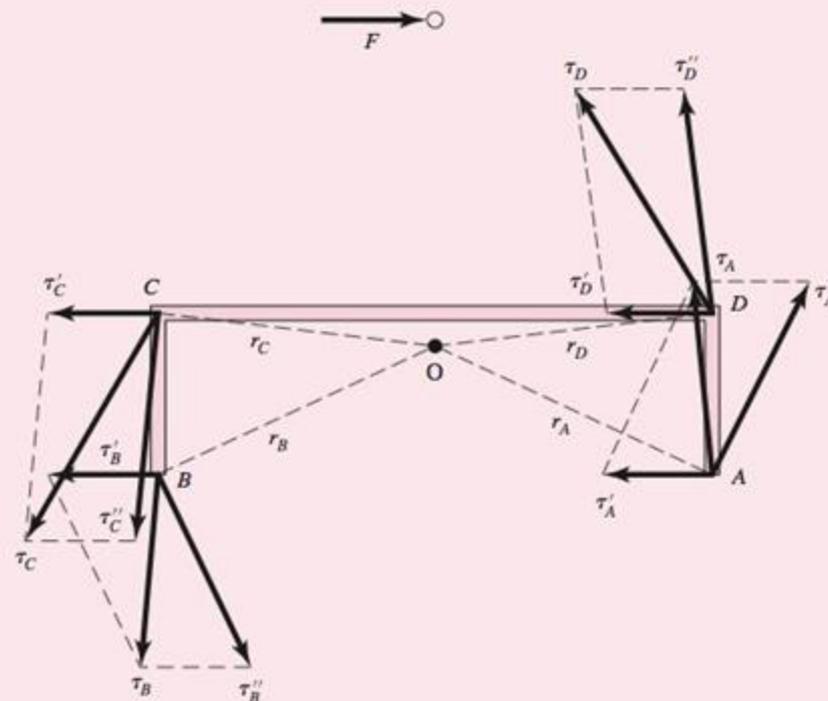
$$\tau_C = \tau_D = 44 \text{ MPa}$$

(k) Identifique o ponto mais altamente tensionado:

$$\tau_{\max} = \tau_C = \tau_D = 44 \text{ MPa}$$

Figura 9-16

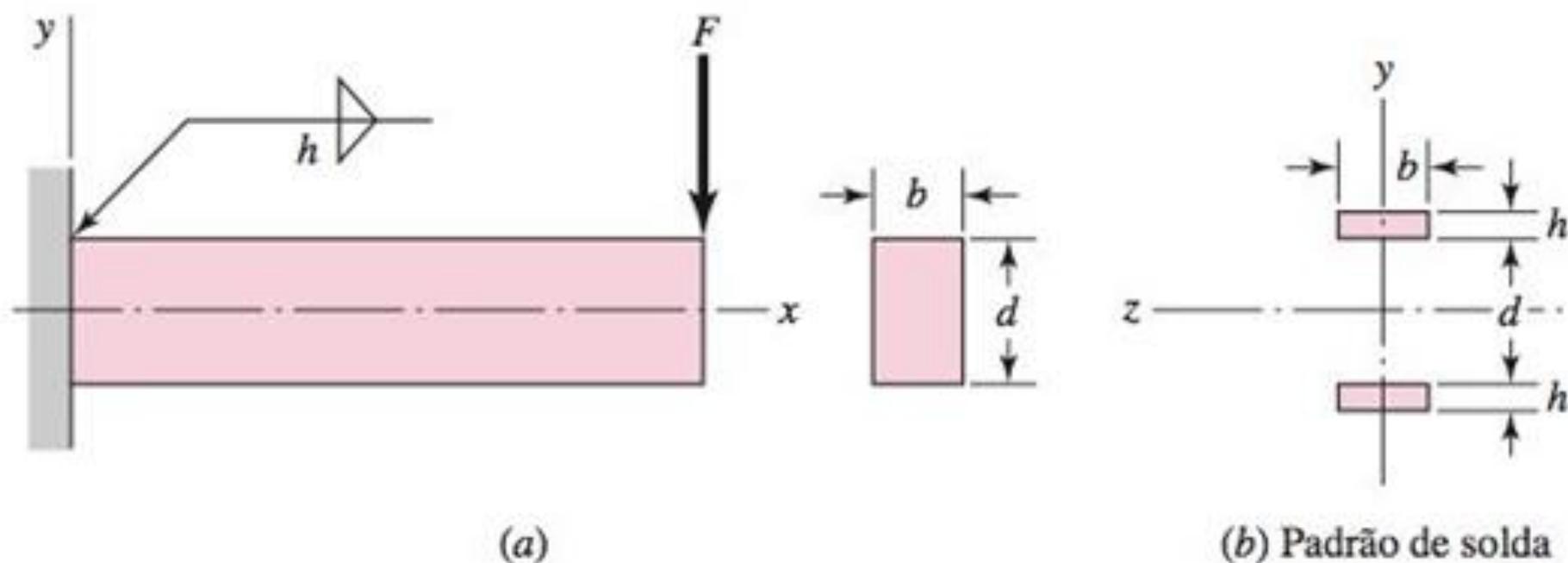
Diagrama de corpo livre de uma das placas laterais.



9-4 Tensões em junções soldadas em flexão

Figura 9-17

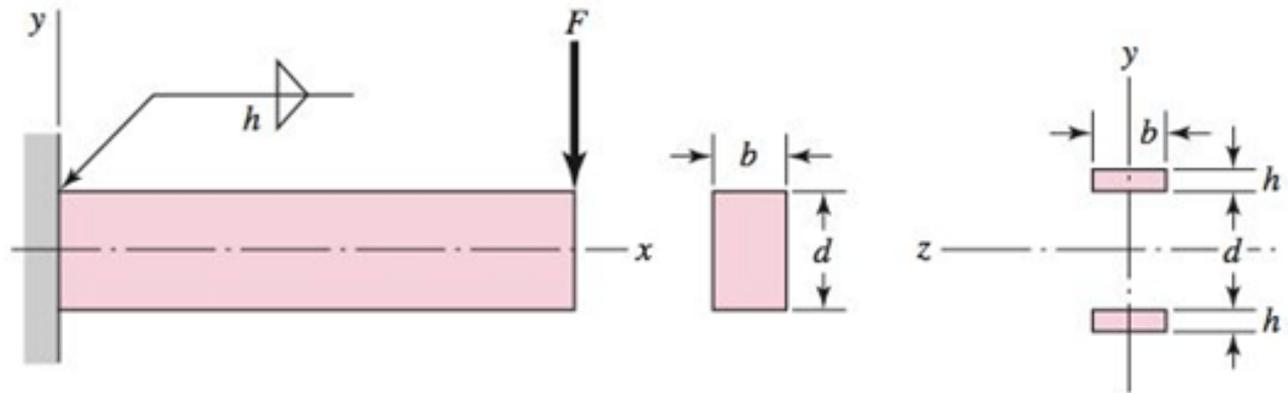
Uma viga em balanço de seção transversal retangular soldada a um suporte nas bordas de topo e fundo.



9-4 Tensões em junções soldadas em flexão

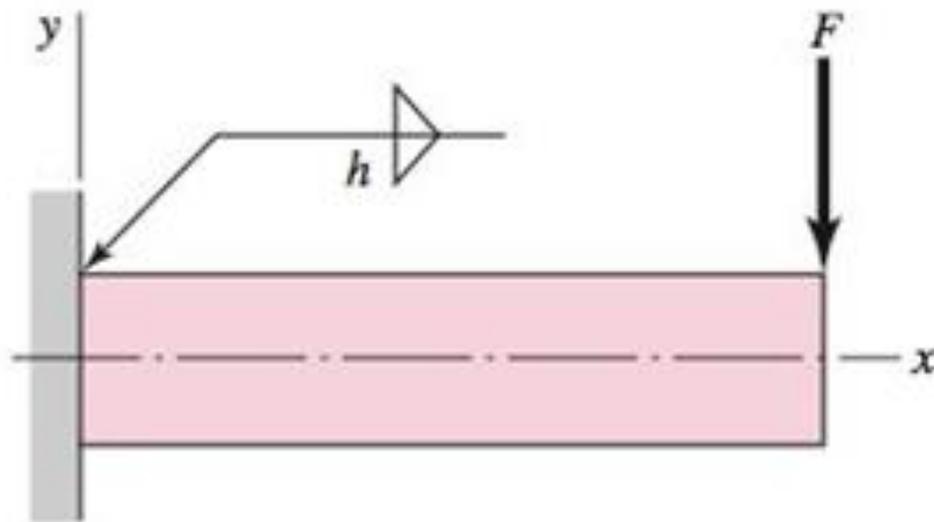
Figura 9-17

Uma viga em balanço de seção transversal retangular soldada a um suporte nas bordas de topo e fundo.

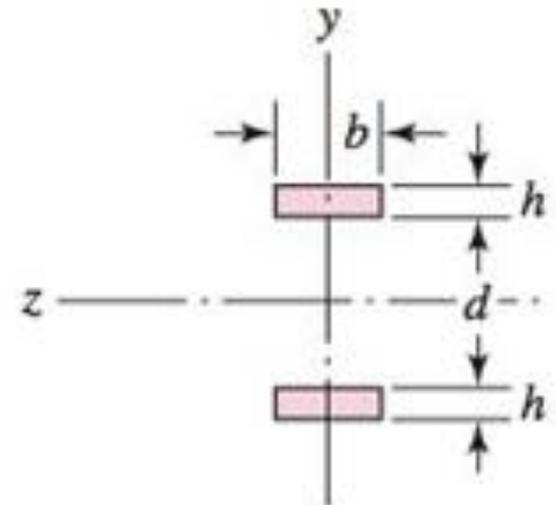
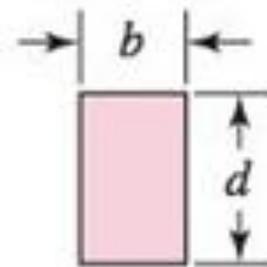


(b) Padrão de solda





(a)

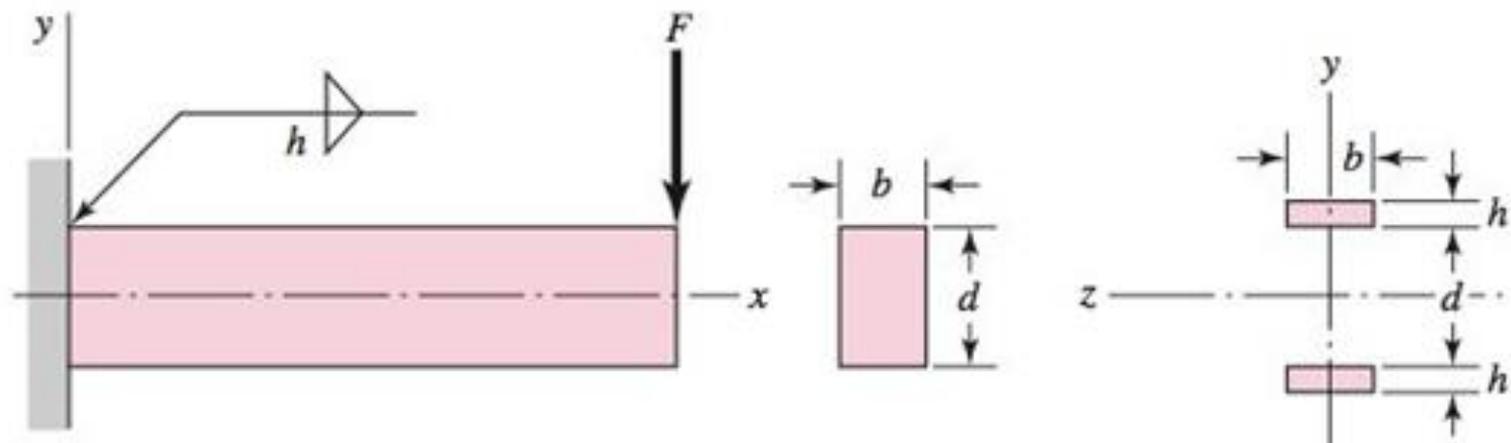


(b) Padrão de solda

Um diagrama de corpo livre da viga mostraria uma reação de força cortante V e uma reação de momento M . A força de cisalhamento produz um cisalhamento primário nas soldas de magnitude

$$\tau' = \frac{V}{A} \quad (a)$$

em que A é a área total de garganta.



O momento M induz uma componente de tensão de cisalhamento de garganta de $0,707\tau$ nas soldas.⁴ Tratando as duas soldas da Figura 9–17b como linhas, encontramos o momento de inércia unitário da área

$$I_u = \frac{bd^2}{2} \quad (b)$$

O momento de inércia I baseado na área de garganta de solda é

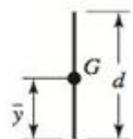
$$I = 0,707hI_u = 0,707h \frac{bd^2}{2} \quad (c)$$

A tensão nominal de cisalhamento da garganta é encontrada agora como

$$\tau = \frac{Mc}{I} = \frac{Md/2}{0,707hbd^2/2} = \frac{1,414M}{bdh} \quad (d)$$

Tabela 9-2

Propriedades de flexão de soldas de filete. *

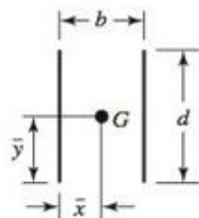
Segundo momento unitário de área**Solda****Área de garganta****Localização de G**

$$A = 0,707hd$$

$$\bar{x} = 0$$

$$\bar{y} = d/2$$

$$I_u = \frac{d^3}{12}$$

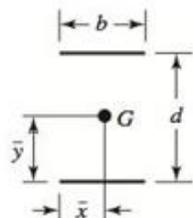


$$A = 1,414hd$$

$$\bar{x} = b/2$$

$$\bar{y} = d/2$$

$$I_u = \frac{d^3}{6}$$

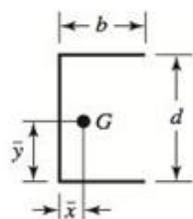


$$A = 1,414hb$$

$$\bar{x} = b/2$$

$$\bar{y} = d/2$$

$$I_u = \frac{bd^2}{2}$$

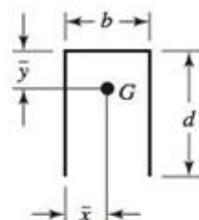


$$A = 0,707h(2b + d)$$

$$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$$

$$\bar{y} = d/2$$

$$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$$



$$A = 0,707h(b + 2d)$$

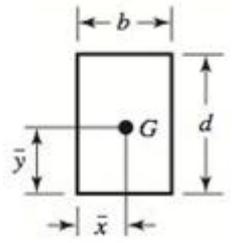
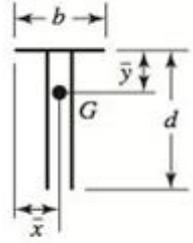
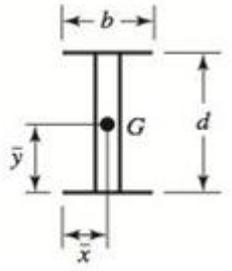
$$\bar{x} = b/2$$

$$\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$$

$$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$$

Tabela 9-2

Continuação.

Solda	Área de garganta	Localização de G	Segundo momento unitário de área
	$A = 1,414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 0,707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
	$A = 1,414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 1,414\pi hr$		$I_u = \pi r^3$