

# Ligações com Solda

## 4.1 | TIPOS, QUALIDADE E SIMBOLOGIA DE SOLDAS

---

### 4.1.1 Definição. Processos Construtivos

A solda é um tipo de união por coalescência do material, obtida por fusão das partes adjacentes.

A energia necessária para provocar a fusão pode ser de origem elétrica, química, óptica ou mecânica.

As soldas mais empregadas na indústria de construção são as de energia elétrica. Em geral a fusão do aço é provocada pelo calor produzido por um arco voltaico. Nos tipos mais usuais, o arco voltaico se dá entre um eletrodo metálico e o aço a soldar, havendo deposição do material do eletrodo (Fig. 4.1).

O material fundido deve ser isolado da atmosfera para evitar formação de impurezas na solda. O isolamento pode ser feito de diversas maneiras; as mais comuns são indicadas na Fig. 4.1:

- a) *Eletrodo manual revestido*. O revestimento é consumido juntamente com o eletrodo, transformando-se parte em gases inertes, parte em escória.
- b) *Arco submerso em material granular fusível*. O eletrodo é um fio metálico sem revestimento, porém o arco voltaico e o metal fundido ficam isolados pelo material granular.
- c) *Arco elétrico com proteção gasosa* (também conhecido como MIG/MAG – Metal Inert Gas / Metal Active Gas). O eletrodo é um arame sem revestimento, e a proteção da poça de fusão é feita pelo fluxo de um gás (ou mistura de gases) lançado pela tocha de soldagem.
- d) *Arco elétrico com fluxo no núcleo*. O eletrodo é um tubo fino preenchido com o material que protege a poça de fusão.

A solda de eletrodo manual revestido é a mais utilizada na indústria. O processo apresenta enorme versatilidade, podendo ser empregado tanto em instalações industriais pesadas quanto em pequenos serviços de campo. A escória, produzida pelas reações químicas do revestimento, tem menor densidade que o metal de solda e, em geral, aflora na superfície, devendo ser retirada após o resfriamento.

O processo de solda por arco voltaico submerso é largamente utilizado em trabalhos de oficina. Ele se presta à automatização, produzindo solda de grande regularidade.

O processo de solda com proteção gasosa é utilizado principalmente no modo semi-automático em que a tocha de soldagem é conduzida pelo soldador mas as outras operações, como alimentação do arame, são automáticas.

Na fabricação de estruturas metálicas soldadas, devem ser tomadas precauções com a retração da solda após o seu resfriamento, o que pode resultar em distorção dos perfis. Por isso, a seqüência de soldagem deve ser programada de maneira que distorções causadas por uma solda sejam compensadas por outra. Além disso, o aquecimento produzido pela solda e o posterior resfriamento diferenciados entre partes do perfil resultam em tensões residuais internas nos perfis (ver Seção 1.8).

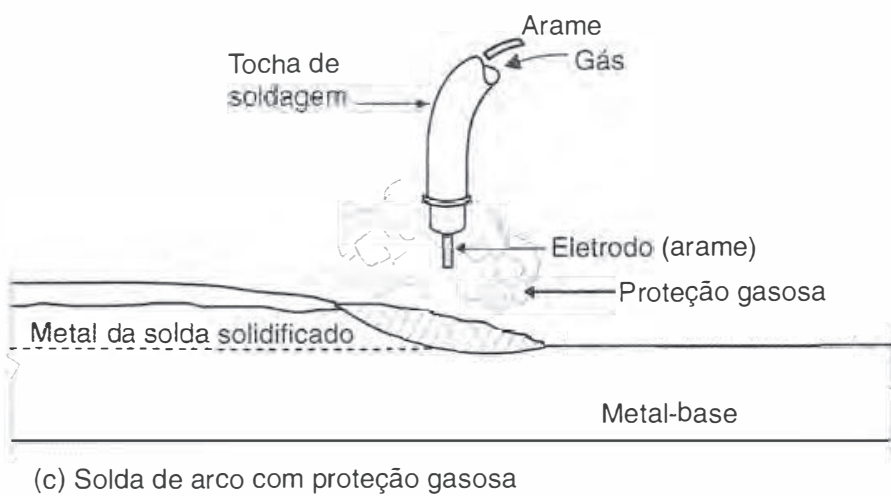
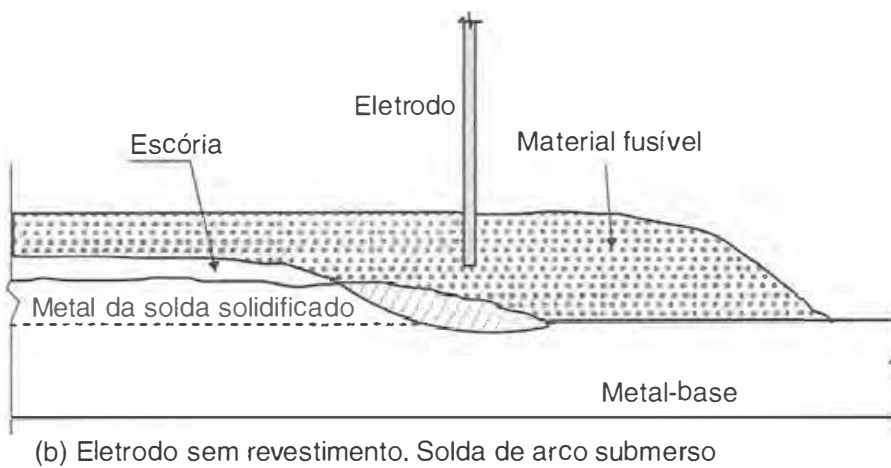
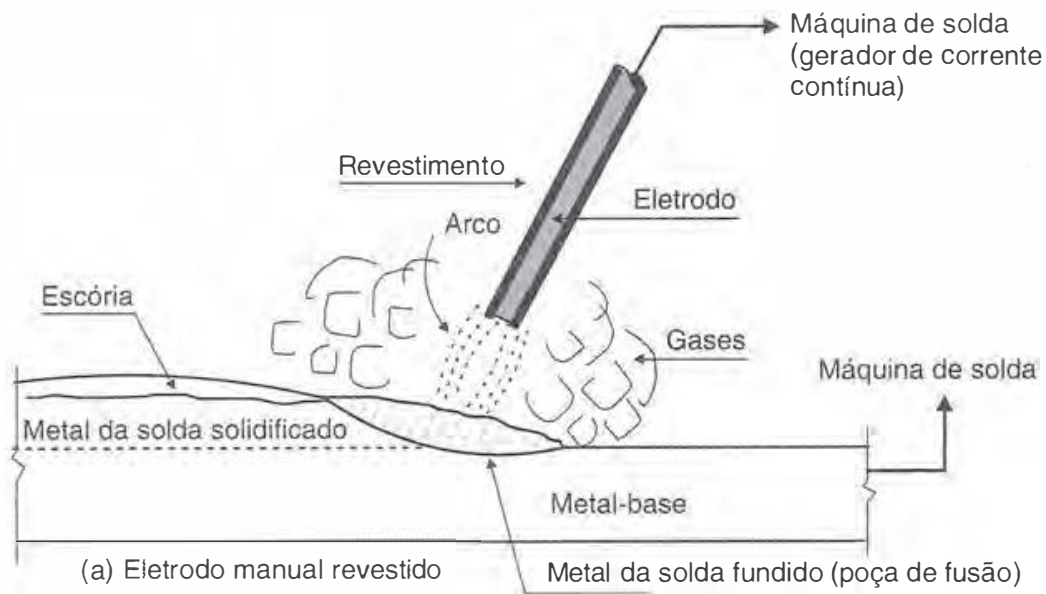


Fig. 4.1 Solda elétrica com eletrodo.

### 4.1.2 Tipos de Eletrodos

Os eletrodos utilizados nas soldas por arco voltaico são varas de aço-carbono ou aço de baixa liga. Os eletrodos com revestimento são designados, segundo a ASTM, por expressões do tipo E70XY, onde:

E = eletrodo

70 = resistência à ruptura  $f_w$  da solda em ksi

X = número que se refere à posição de soldagem satisfatória (1 - qualquer posição; 2 - somente posição horizontal)

Y = número que indica tipo de corrente e de revestimento do eletrodo.

Os principais tipos de eletrodos empregados na indústria são:

$$E60 = f_w = 60 \text{ ksi} = 415 \text{ MPa}$$

$$E70 = f_w = 70 \text{ ksi} = 485 \text{ MPa}$$

Os eletrodos sem revestimento, utilizados nas soldas com arco submerso, recebem também denominações numéricas convencionais indicativas de resistência (em geral 60 e 70 ksi) e outras propriedades, iniciadas pela letra F.

### 4.1.3 Soldabilidade de Aços Estruturais

A soldabilidade dos aços reflete a maior ou menor facilidade de se obter uma solda resistente e sem fraturas.

Dada a enorme importância assumida pela solda nos últimos decênios, as formulações químicas dos aços visam sempre a obter produtos soldáveis.

Os aços-carbono até 0,25% C e 0,80% Mn são soldáveis sem cuidados especiais. Para teores de carbono superiores a 0,30% é, em geral, necessário fazer um preaquecimento e um resfriamento lento, pois as soldas sem esse tratamento apresentam ductilidade muito pequena.

Os aços de baixa liga sem e com tratamento térmico são geralmente soldáveis, devendo-se adotar eletrodos adequados e eventualmente fazer preaquecimento do metal-base (Item 4.1.4).

Para o aço A36 utilizam-se eletrodos E60XX e E70XX do tipo comum ou baixo hidrogênio. Para os aços de baixa liga (A242, A441, A572) recomendam-se eletrodos E70XX ou E80XX do tipo baixo hidrogênio.

A norma brasileira NBR 8800 apresenta na sua Tabela 8, extraída da norma americana AWS D1.1, os eletrodos compatíveis com os aços mais utilizados na construção civil.

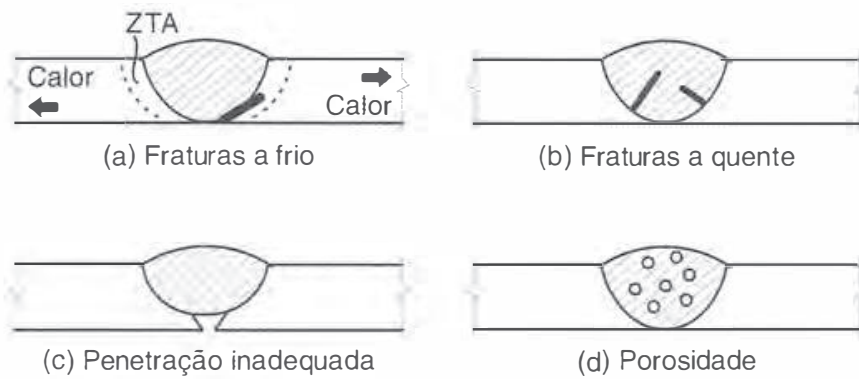
### 4.1.4 Defeitos na Solda

As soldas podem apresentar grande variedade de defeitos. Entre eles podemos citar (Fig. 4.2):

- a) *Fraturas a frio*. O calor interno imposto pelo processo de solda afeta a microestrutura tanto do metal da solda quanto do metal-base adjacente à poça de fusão na região conhecida como zona termicamente afetada (ZTA). Esta zona (Fig. 4.2a) atinge temperaturas de fusão e, após o resfriamento, sua microestrutura fica diferente do restante do material-base. Com o resfriamento rápido, devido à absorção de calor pelo metal adjacente à solda, há a tendência à formação de microestruturas mais frágeis do que as do aço original, e portanto mais suscetíveis à ocorrência de fraturas sob ação mecânica (fraturas a frio).

A origem dessas fraturas está relacionada também à absorção de hidrogênio presente, em geral, no revestimento dos eletrodos.

As fraturas a frio podem ser evitadas controlando-se a velocidade de resfriamento, por exemplo, com preaquecimento do metal-base e com a utilização de eletrodos com reves-



**Fig. 4.2** Exemplos de defeitos de solda.

timento de carbonato de sódio (eletrodos de baixo hidrogênio – essenciais no caso de aços de baixa liga).

- b) *Fraturas a quente*. Estas fraturas ocorrem no material da solda durante a solidificação e são devidas à presença de impurezas, em geral enxofre e fósforo, solidificando-se a temperaturas mais baixas que a do aço.
- c) *Fusão incompleta, penetração inadequada*. Decorrem em geral de insuficiência de corrente.
- d) *Porosidade*. Retenção de pequenas bolhas de gás durante o resfriamento; frequentemente causada por excesso de corrente ou distância excessiva entre o eletrodo e a chapa.
- e) *Inclusão de escória*. Usual em soldas feitas em várias camadas, quando não se remove totalmente a escória em cada passe.

#### 4.1.5 Controle e Inspeção da Solda

Em face da grande sensibilidade a defeitos, a solda deve ser sempre feita em condições controladas. A norma americana da “American Welding Society” AWS D1.1 contém as especificações para a execução de solda estrutural, incluindo técnicas, qualificação dos soldadores e procedimentos de inspeção, os quais são também adotados pela norma brasileira NBR 8800.

Nas estruturas comuns utiliza-se a inspeção visual por inspetor treinado; nessa inspeção verificam-se as dimensões de solda (geralmente com auxílio de gabaritos especiais) e observa-se a ocorrência de defeitos, como penetração inadequada e trincas superficiais.

Nas indústrias de perfis soldados e nas estruturas de grande responsabilidade (por exemplo, pontes soldadas) utilizam-se ensaios não destrutivos, como ultrassom, raios X ou líquido penetrante.

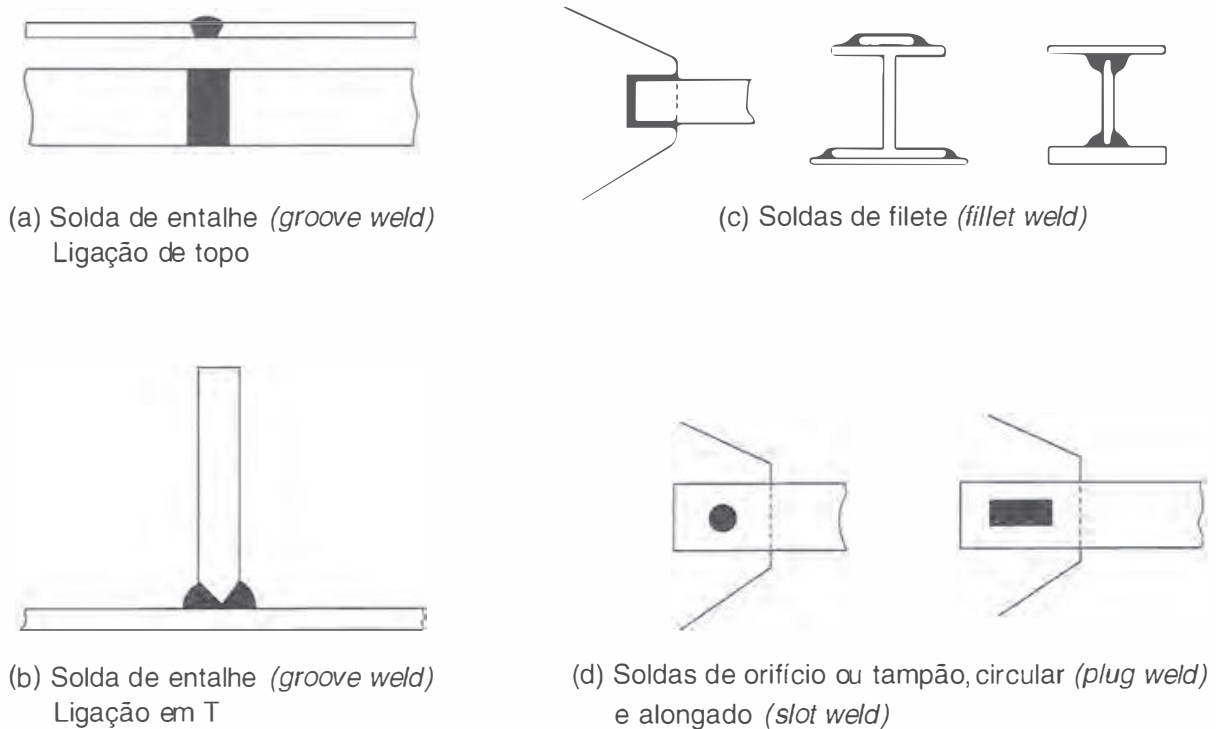
#### 4.1.6 Classificação de Soldas de Eletrodo Quanto à Posição do Material de Solda em Relação ao Material-base

Na Fig. 4.3 apresentamos os tipos de solda de eletrodos, conforme a posição do material de solda em relação ao material a soldar (material-base).

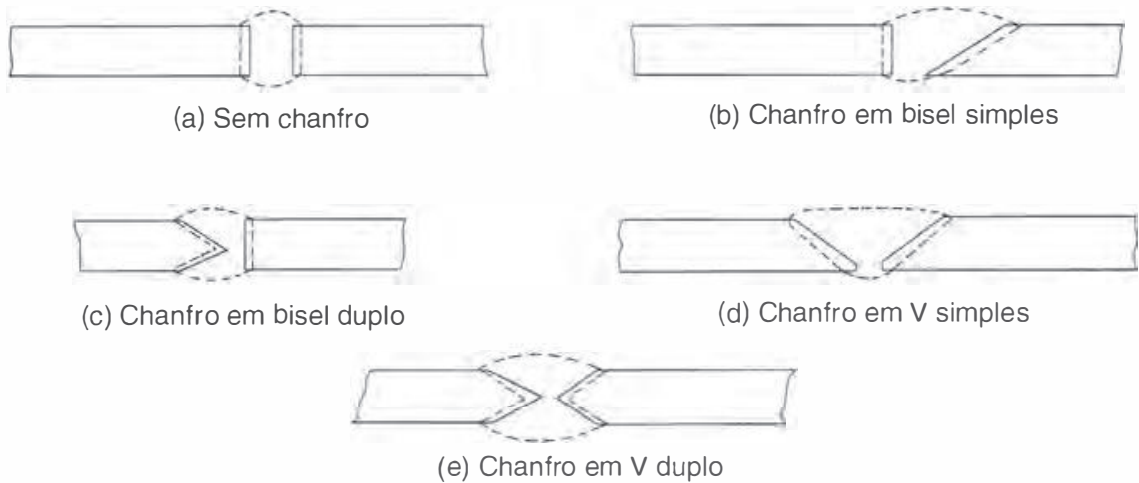
Nas soldas de entalhe, o metal de solda é colocado diretamente entre as peças metálicas, em geral dentro de chanfros. A solda pode ser de penetração total ou parcial. Os chanfros podem ser de diversas formas, como indicado na Fig. 4.4.

Nas soldas de filete, o material de solda é depositado nas faces laterais dos elementos ligados.

Nas soldas de tampão e de ranhura, o material é depositado em orifícios circulares ou alongados feitos em uma das chapas do material-base.



**Fig. 4.3** Tipos de ligações soldadas, segundo a posição da solda em relação ao material-base.



**Fig. 4.4** Tipos de solda de entalhe com penetração total.

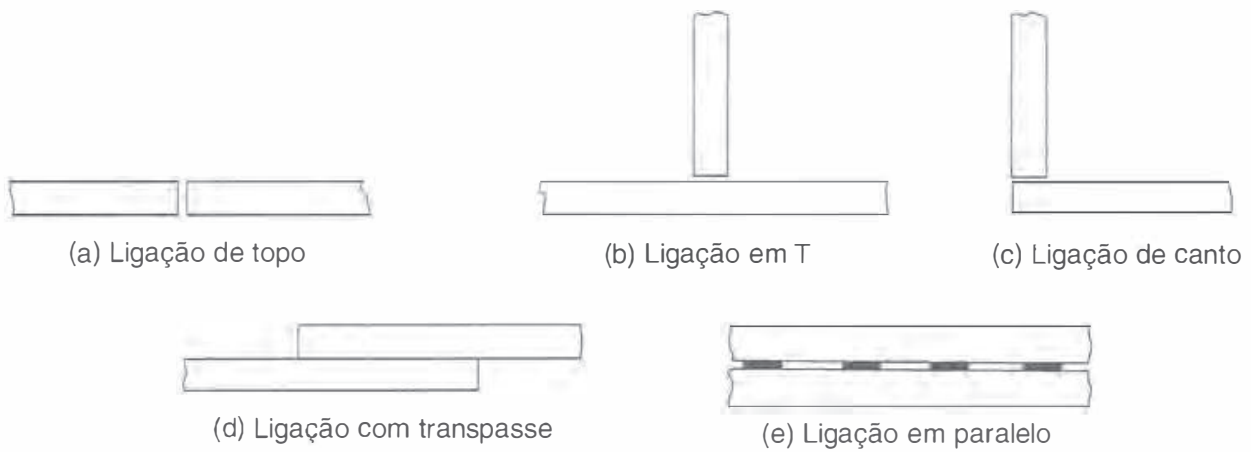
### 4.1.7 Classificação Quanto à Posição Relativa das Peças Soldadas

Na Fig. 4.5 apresentamos diversos tipos de ligações soldadas classificadas segundo a posição relativa das peças soldadas.

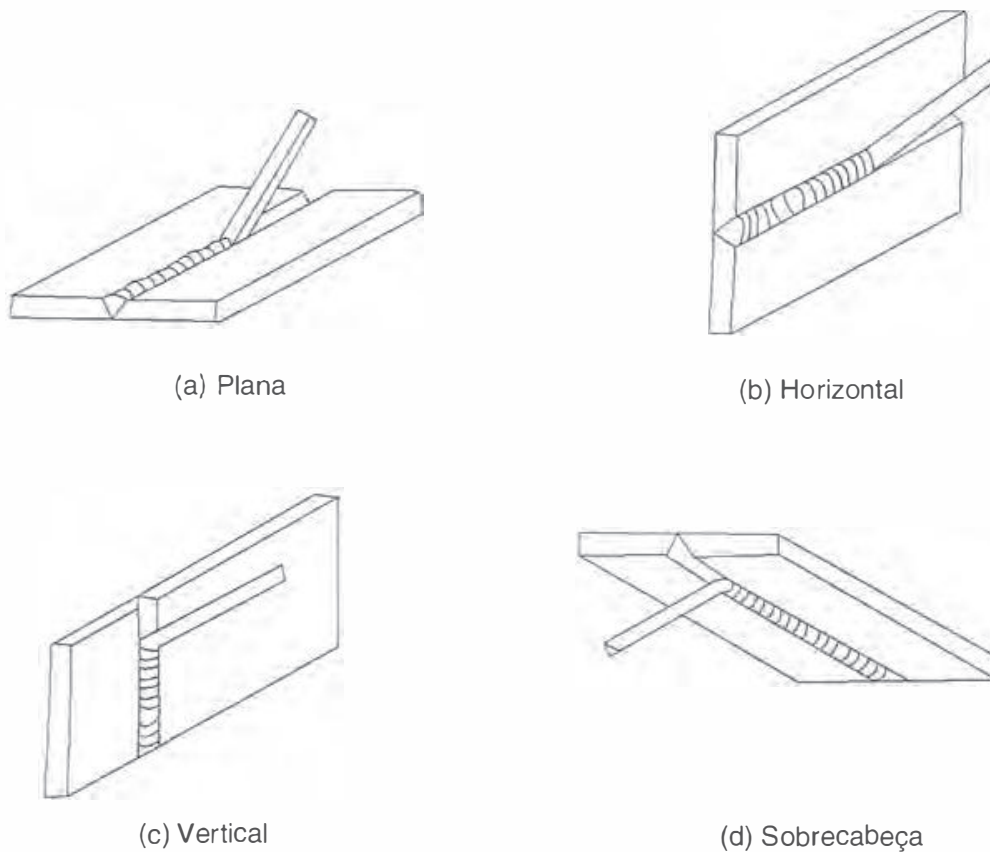
### 4.1.8 Posições de Soldagem com Eletrodos

Na Fig. 4.6 indicamos as posições de soldagem que podem ser utilizadas com eletrodos.

A posição plana produz os melhores resultados, sendo utilizada preferencialmente nos trabalhos de oficina, quando é possível colocar as peças nas posições adequadas. As posições horizontal e vertical são usadas correntemente em trabalhos de oficina e de campo. A posição



**Fig. 4.5** Tipos de ligações soldadas, segundo a posição relativa das peças.



**Fig. 4.6** Posições de soldagem com eletrodos.

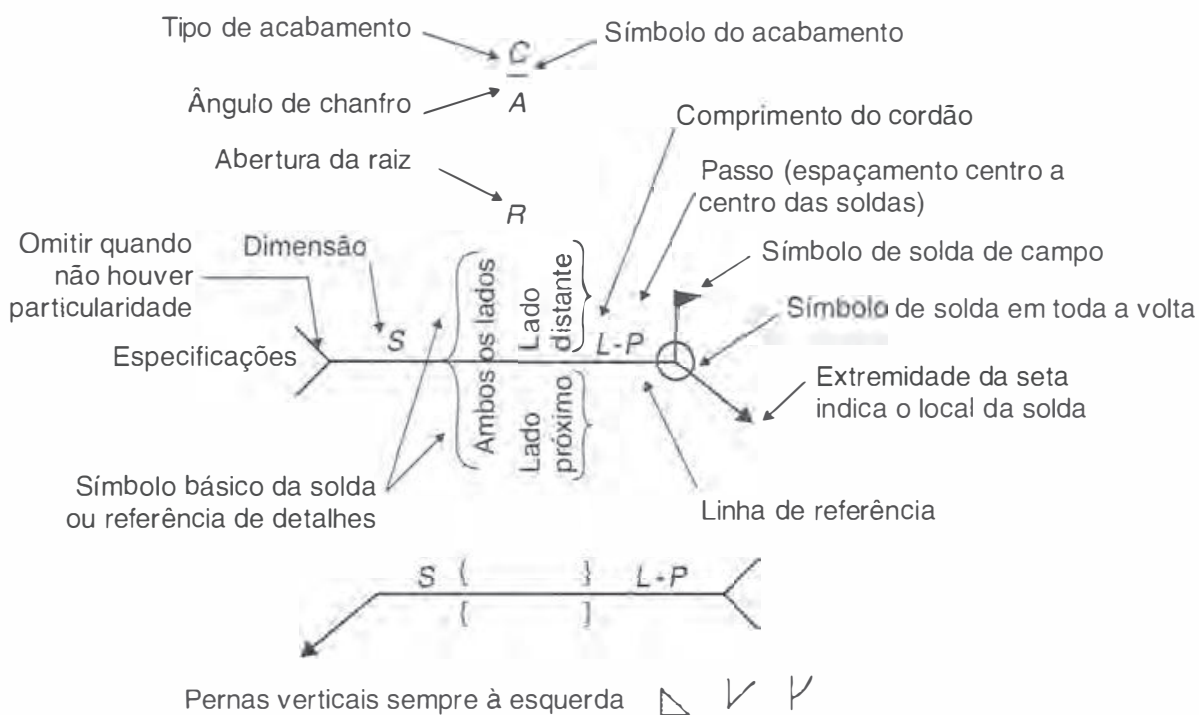
sobrecabeça é a mais difícil, sendo seu emprego limitado a casos especiais. Trata-se de uma soldagem mais susceptível a defeitos, em particular à ocorrência de inclusão de escória, pela sua menor densidade em relação ao metal da solda.

#### 4.1.9 Simbologia de Solda

A fim de facilitar a representação nos desenhos dos tipos e dimensões de soldas desejados, adotou-se uma simbologia convencional.

Simbologia de Solda							
Contra-solda	Filete	Tampão	Entalhe				
			Sem chanfro	v	Bisel	U	J

Chapa de espera	Solda em toda a volta	Solda de campo	Acabamento	
			Plano	Convexo



As soldas dos lados próximos e distante têm a mesma dimensão, salvo especificação em contrário. As dimensões dos filetes devem ser especificadas nos dois lados.

Fig. 4.7 Simbologia das soldas (American Welding Society).

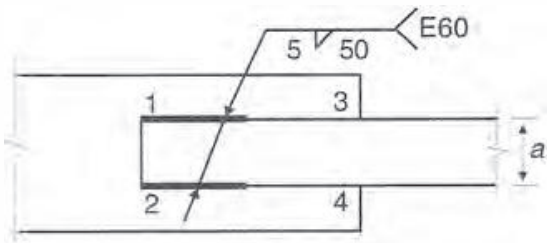
A simbologia de solda da norma brasileira se baseia nas normas americanas AWS. Na Fig 4.7 reunimos as principais regras para a representação gráfica dos tipos de soldas.

A Fig. 4.8 ilustra diversos tipos de ligações soldadas com as respectivas simbologias e descrições.

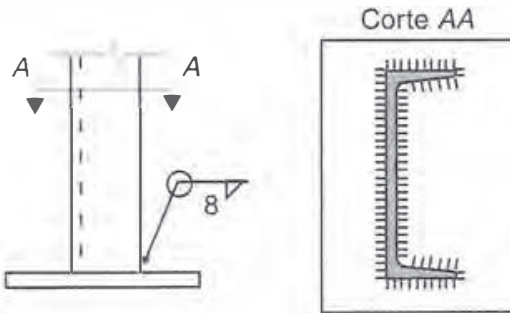
## 4.2 ELEMENTOS CONSTRUTIVOS PARA PROJETO

### 4.2.1 Soldas de Entalhe

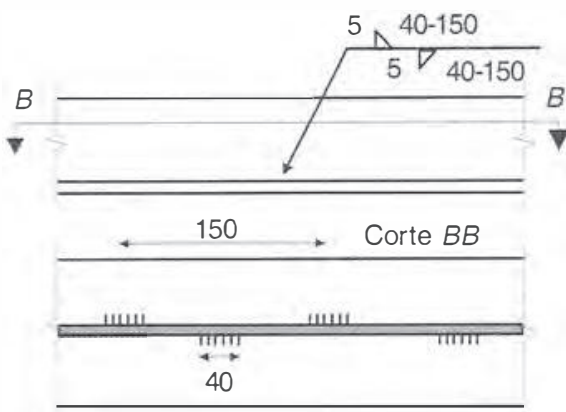
As soldas de entalhe são, em geral, previstas para total enchimento do espaço das peças ligadas (penetração total). Utiliza-se então, nos cálculos, a seção do metal-base de menor espessura (Fig. 4.9a).



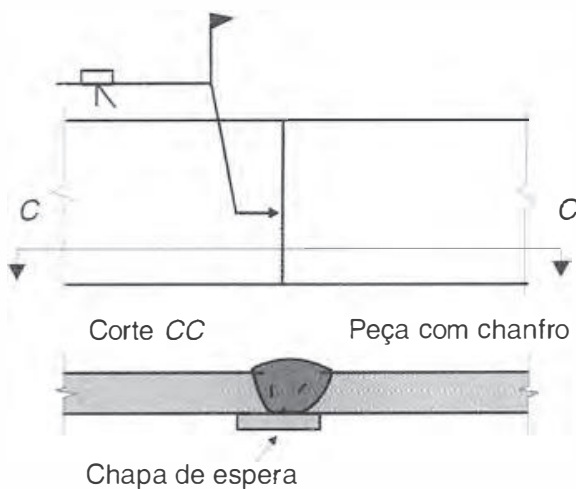
(a) Solda de filete, de oficina, ao longo das faces 1-3 e 2-4; as soldas têm 50 mm de comprimento (deve ser maior que a largura  $a$ ); o eletrodo a ser usado é E60.



(b) Solda de filete, de oficina, dimensão 8 mm em toda a volta.



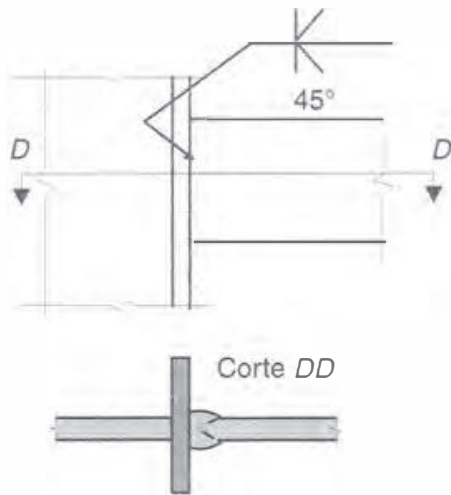
(c) Solda de filete, de oficina, dimensão 5 mm intermitente e alternada, com 40 mm de comprimento (dimensão mínima) e passo igual a 150 mm. As chapas ligadas por soldas intermitentes podem estar sujeitas a flambagem local e corrosão.



(d) Solda de entalhe em bisel de um só lado, de campo, com chapa de espera; a seta aponta na direção da peça com chanfro; chapas de espera são indicadas em soldas de um só lado de penetração total, com o intuito de evitar a fuga de material de solda e a conseqüente penetração inadequada. Chapas de espera não retiradas após a execução da solda produzem concentração de tensões e podem ocasionar fadiga.

**Fig. 4.8** Exemplos de ligações soldadas com as respectivas simbologias e descrições.





(e) Solda de entalhe de dois lados com chanfro em bisel a 45°.

Fig. 4.8 Continuação

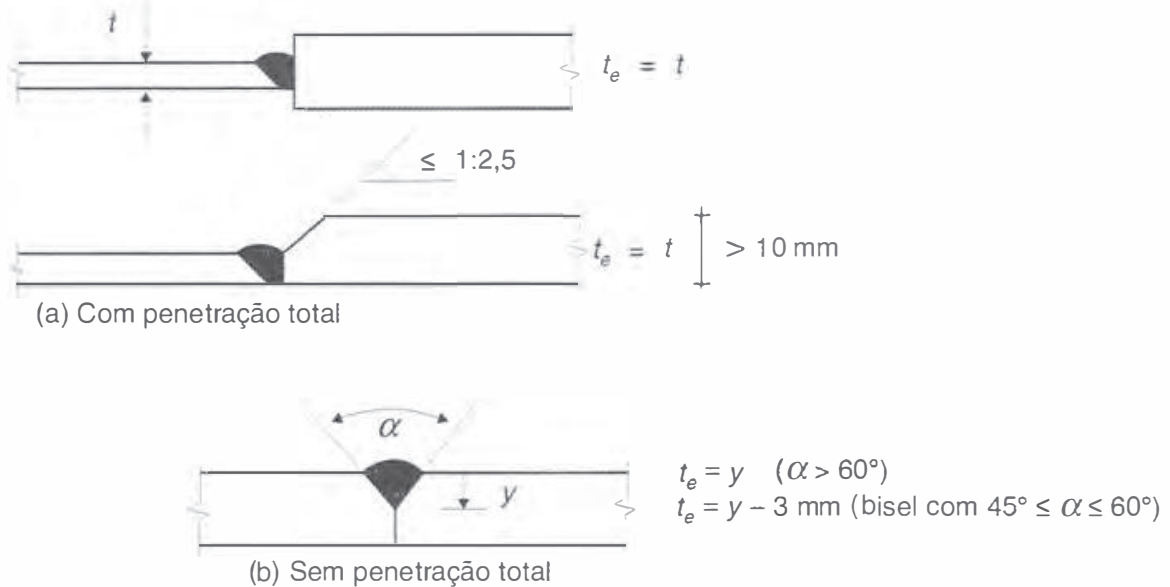


Fig. 4.9 Emendas de entalhe com chanfro em bisel ou em V. Espessuras efetivas da solda.  $t_e$  (garganta de solda).

Quando o projeto prevê enchimento incompleto (penetração parcial), com chanfro em bisel, a espessura efetiva  $t_e$  é tomada igual à profundidade  $y$  do entalhe menos 3 mm, quando o ângulo da raiz do entalhe fica entre 45° e 60° (exceto na soldagem com proteção gasosa ou com fluxo no núcleo em posições plana e horizontal quando toma-se  $t_e = y$ ); quando este ângulo é maior que 60° em chanfros em V ou bisel, toma-se  $t_e$  igual à profundidade do entalhe (Fig. 4.9b). Com chanfros em J ou em U, a espessura efetiva é igual à profundidade do chanfro.

Nas ligações de topo de chapas de espessuras diferentes quando a parte saliente da peça mais espessa for superior a 10 mm, deve-se fazer um chanfro, como indicado na Fig. 4.9a, para evitar concentrações de tensões na seção de transição. A ligação de chapas com larguras diferentes se faz com curva de transição, também para evitar concentração de tensões.

As gargantas de solda com penetração parcial (Fig. 4.9b) são projetadas com espessuras mínimas construtivas ( $t_{e\ min}$ ), a fim de garantir a fusão do metal-base (Tabela 4.1).

As soldas de entalhe com penetração parcial não podem ser usadas em ligações de peças sob flexão.

**Tabela 4.1** Dimensões Mínimas das Gargantas de Solda de Entalhe com Penetração Parcial (NBR 8800)

Espessura da chapa mais fina em mm	Garganta de solda com penetração parcial $t_{e \min}$ (mm) – ver a Fig. 4.9
até 6,3	3
6,3-12,5	5
12,5-19	6
19-37,5	8
37,5-57	10
57-152	13
Acima de 152	16

### 4.2.2 Soldas de Filete

As soldas de filete são assimiladas, para efeito de cálculo, a triângulos retângulos. Os filetes são designados pelos comprimentos de seus lados. Assim, um filete de 8 mm significa filete de lados  $b$  iguais a 8 mm. Um filete 6 mm  $\times$  10 mm designa filete com um lado de 6 mm e outro de 10 mm. Na maioria dos casos, os lados dos filetes são iguais. Denominam-se *garganta* do filete a espessura desfavorável  $t$ , indicada na Fig. 4.10; *perna*, o menor lado do filete; e *raiz*, a interseção das faces de fusão.

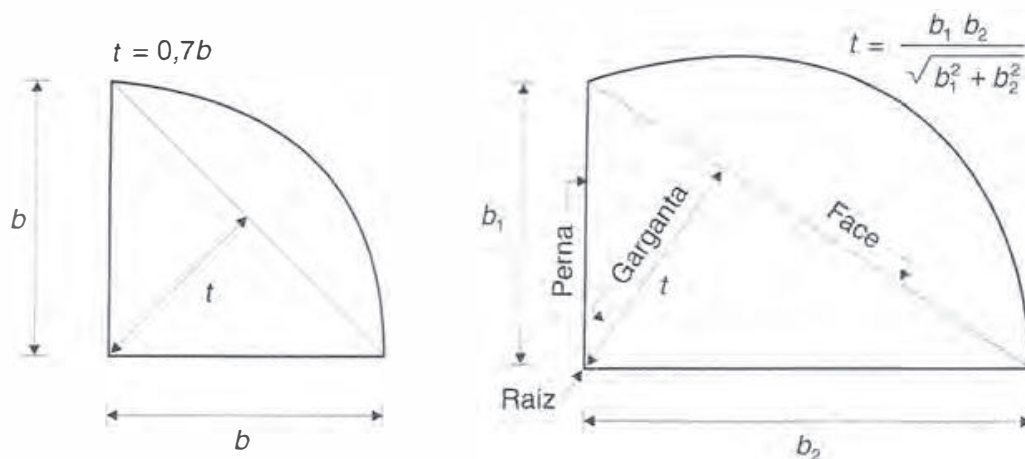
A área efetiva para cálculo de um filete de solda de lados iguais ( $b$ ) e comprimento efetivo ( $\ell$ ) vale:

$$t\ell = 0,7 b\ell \quad (4.1)$$

As soldas de filete realizadas pelo processo de arco submerso são mais confiáveis que as de outros processos. Adotam-se então espessuras efetivas maiores que as indicadas na Fig. 4.10, a saber:

$$\begin{aligned} b \leq 10 \text{ mm} & \quad t_e = b \\ b \geq 10 \text{ mm} & \quad t_e = t + 3 \text{ mm} \end{aligned} \quad (4.2)$$

O comprimento efetivo  $\ell$  na Eq. (4.1) é o comprimento total da solda incluindo os retornos de extremidade, exceto no caso de filetes longitudinais de peças sob esforço axial (Fig. 4.14a),



**Fig. 4.10** Filete de solda. Seção real e seção teórica da solda. Espessura  $t$  da garganta do filete, igual à distância da raiz à face teórica da solda. O menor lado é denominado perna do filete.

quando  $\ell$  é tomado igual ao comprimento  $L$  da solda multiplicado pelo fator de redução  $\beta$  dado por:

$$\beta = 1,2 - 0,002 \frac{L}{b}, \text{ sendo } 0,6 \leq \beta \leq 1,0 \quad (4.3)$$

Este fator redutor se aplica a soldas longas ( $L > 100 b$ ) para levar em conta a não uniformidade na distribuição de tensões, o que contraria a hipótese de uniformidade usualmente adotada no cálculo das solicitações (Fig. 4.14a).

O mesmo efeito ocorre em ligações parafusadas (ver Item 3.4.1).

Os filetes de solda devem ser tomados com certas dimensões mínimas para evitar o resfriamento brusco da solda por condução de calor e assim garantir a fusão dos materiais, evitar a ocorrência de fraturas a frio e minimizar distorções. A **dimensão** (perna) **mínima** do filete é determinada em função da chapa mais fina, conforme indicado na Tabela 4.2. Entretanto, a perna do filete não precisa exceder a espessura da chapa mais fina, a não ser por necessidade de cálculo.

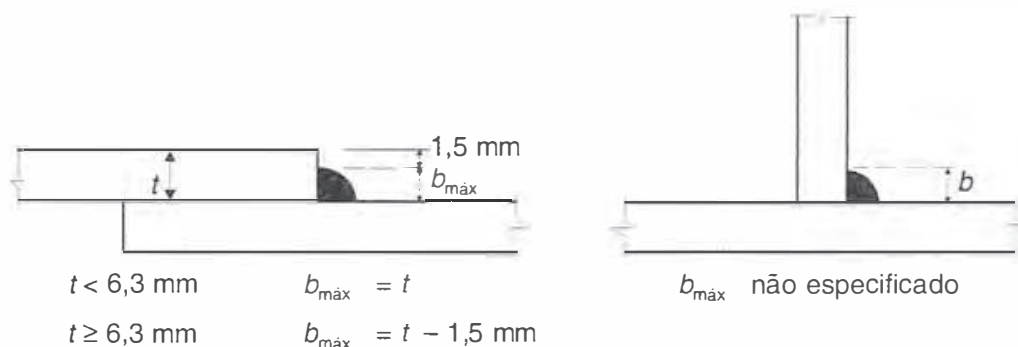
**Tabela 4.2** Dimensões Mínimas de Filetes de Solda (AISC. NBR 8800)

Espessura da chapa mais fina em mm	Perna do filete ( $b_{\min}$ )
até 6,3	3 mm
6,3-12,5	5 mm
12,5-19	6 mm
> 19	8 mm

As **dimensões máximas** a adotar para os lados dos filetes são condicionadas pela espessura da chapa mais fina (Fig. 4.11). A folga de 1,5 mm entre a espessura  $t$  da chapa e a perna  $b$  da solda se destina a evitar a fusão da quina superior da chapa e a conseqüente redução da perna e da garganta de solda, o que poderia ocorrer para  $t = b$ .

Num filete de solda de **comprimento**  $L$ , em cada extremidade há um pequeno trecho em que a espessura da garganta cai até zero. Levando isso em conta, a norma brasileira, baseada na americana, especifica comprimentos mínimos construtivos do cordão de solda, a saber:

$$L \geq 4b \nlessgtr 40 \text{ mm} \quad (4.4)$$



**Fig. 4.11** Dimensões máximas dos lados de filetes de solda.

Em ligações de extremidade de peças tracionadas feitas unicamente com soldas de filete longitudinais (ver Fig. 4.14a) o comprimento dos filetes ( $L_w$ ) deve ser maior ou igual à largura  $a$  da chapa.

As terminações de filetes de solda requerem certas precauções nos casos em que a formação de entalhes pode afetar a resistência estática e/ou a resistência à fadiga quando as cargas cíclicas impõem danos de suficiente magnitude. Um exemplo em que as normas de projeto recomendam que a solda comece a uma pequena distância do bordo do transpasse encontra-se ilustrado na Fig. 4.12. Trata-se de uma emenda em filetes longitudinais em que um dos seus extremos coincide com uma borda tracionada.

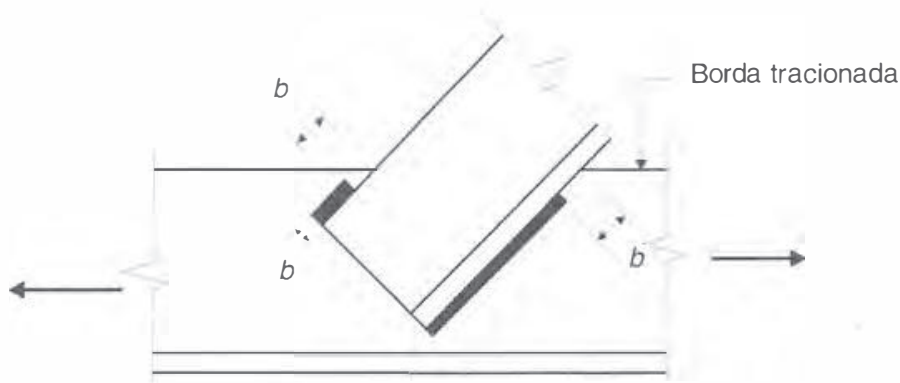


Fig. 4.12 Filetes de solda próximos a bordas tracionadas.

## 4.3 RESISTÊNCIA DAS SOLDAS

### 4.3.1 Soldas de Entalhe

As resistências de cálculo das soldas são dadas em função de uma área efetiva de solda

$$A_w = t_e \ell \quad (4.5)$$

onde

$t_e$  = espessura efetiva (Seção 4.2)  
 $\ell$  = comprimento efetivo,

e pela área  $A_{MB}$  do metal-base, igual ao produto do comprimento da solda pela espessura da peça mais delgada da ligação.

Para soldas de entalhe de penetração total (Fig. 4.9a) sujeitas a tensões de compressão ou tração ou perpendiculares ao eixo da solda, as resistências de cálculo são obtidas com base no escoamento do metal-base ( $f_y$ )

$$R_d = A_{MB} f_y / \gamma_{a1} \quad (4.6a)$$

onde  $\gamma_{a1}$  é dado na Tabela 1.7.

Para soldas de entalhe de penetração parcial sob tração ou compressão perpendiculares ao eixo da solda, a resistência é determinada com o menor valor entre as Eqs. (4.6b) e (4.6c).

Metal-base

$$R_d = A_{MB} f_y / \gamma_{a1} \quad (4.6b)$$

Metal da solda

$$R_d = 0,60 A_w f_w / \gamma_{w1} \quad (4.6c)$$

onde

$$\begin{aligned} f_w &= \text{tensão resistente do metal da solda;} \\ \gamma_{w1} &= 1,25 \text{ para combinações normais, especiais ou de construção;} \\ \gamma_{w1} &= 1,05 \text{ para combinações excepcionais de ações.} \end{aligned}$$

Na Eq. (4.6c) o fator 0,60 reduz a resistência para levar em conta incertezas na qualidade da solda na raiz e outros efeitos.

Para tensões de tração ou compressão paralelas ao eixo da solda de penetração total ou parcial, não é preciso verificar a resistência.

Para tensões de cisalhamento, as tensões atuando em direções diferentes são combinadas vetorialmente. A resistência de projeto  $R_d$  é dada pelas seguintes expressões:

Penetração total: Metal-base

$$R_d = A_{MB}(0,60 f_w) / \gamma_{w1} \quad (4.7a)$$

Penetração parcial: Metal da solda

$$R_d = A_w(0,60 f_w) / \gamma_{w2} \quad (4.7b)$$

onde

$$\begin{aligned} \gamma_{w2} &= 1,35 \text{ para combinações normais, especiais ou de construção, e} \\ \gamma_{w2} &= 1,15 \text{ para combinações excepcionais.} \end{aligned}$$

### 4.3.2 Soldas de Filete

As resistências das soldas de filete são dadas em função da área

$$A_w = \text{área da solda} = t\ell \quad (4.8)$$

onde  $t$  = espessura da garganta (Item 4.2.2).

Para efeito de resistência de cálculo do filete não precisam ser considerados esforços solitantes de tração ou compressão atuando na direção paralela ao eixo longitudinal da solda. Estas solicitações ocorrem em soldas de filete que ligam as chapas componentes de perfis soldados submetidos a momento fletor. Entretanto deve ser considerada a transferência de esforços de uma chapa à outra por cisalhamento através da garganta de solda; o estado limite é o de ruptura do metal da solda [Eq. (4.9a)].

Os esforços solitantes em qualquer direção no plano perpendicular ao eixo longitudinal da solda (Fig. 4.13) são considerados, para efeito de cálculo, como esforços cisalhantes.

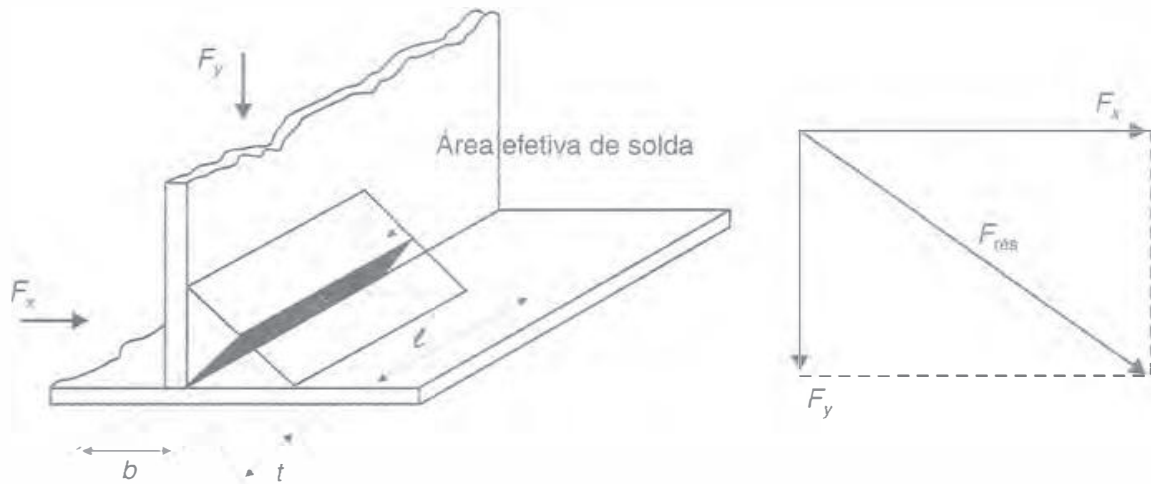
A resistência de cálculo pode ser obtida com a expressão seguinte:

$$R_d = A_w(0,60 f_w) / \gamma_{w2} \quad (4.9a)$$

Quando a solda estiver sujeita a tensões não-uniformes, a resistência pode ser determinada em termos de esforço por unidade de comprimento:

$$t(0,60 f_w) / \gamma_{w2} \quad (4.9b)$$

A Eq. (4.9a) subestima a resistência de soldas de filete cujo eixo tem inclinação  $\theta > 0$  em relação à força solitante. Por isso a NBR 8800 apresenta uma expressão alternativa de  $R_d$  em função do ângulo  $\theta$ . No caso de ligações concêntricas com trechos de solda posicionados longitudinal e transversalmente à força, as resistências  $R_{dl}$  e  $R_{dt}$  destes trechos calculadas com a Eq. (4.9a) podem ser somadas diretamente para se obter a resistência total  $R_d$ ; ou se pode tomar  $R_d$  como  $(0,85 R_{dl} + 1,5 R_{dt})$ , caso forneça um valor maior que o anterior.



**Fig. 4.13** Composição de forças de cisalhamento no filete de solda.

A resistência das peças na região de ligação (metal-base) é determinada conforme exposto no Item 3.3.8. Dessa forma, para o metal-base sujeito a tensões cisalhantes na vizinhança da solda, a resistência é dada pela Eq. (3.7) onde a área  $A_g$  é a área cisalhada calculada com a espessura da peça ligada.

## 4.4 | DISTRIBUIÇÃO DE ESFORÇOS NAS SOLDAS

### 4.4.1 Composição dos Esforços em Soldas de Filete

Nas soldas de filete, qualquer que seja a direção do esforço aplicado, admite-se, para efeito de cálculo, que as tensões na solda sejam de cisalhamento na seção da garganta.

A Fig. 4.13 mostra um filete de solda, com garganta  $t$  e comprimento  $\ell$  sujeito a um esforço vertical  $F_y$  e um horizontal  $F_x$ . As tensões de corte na garganta de solda são calculadas com as equações

$$\tau_x = \frac{F_x}{t\ell} \quad \tau_y = \frac{F_y}{t\ell}$$

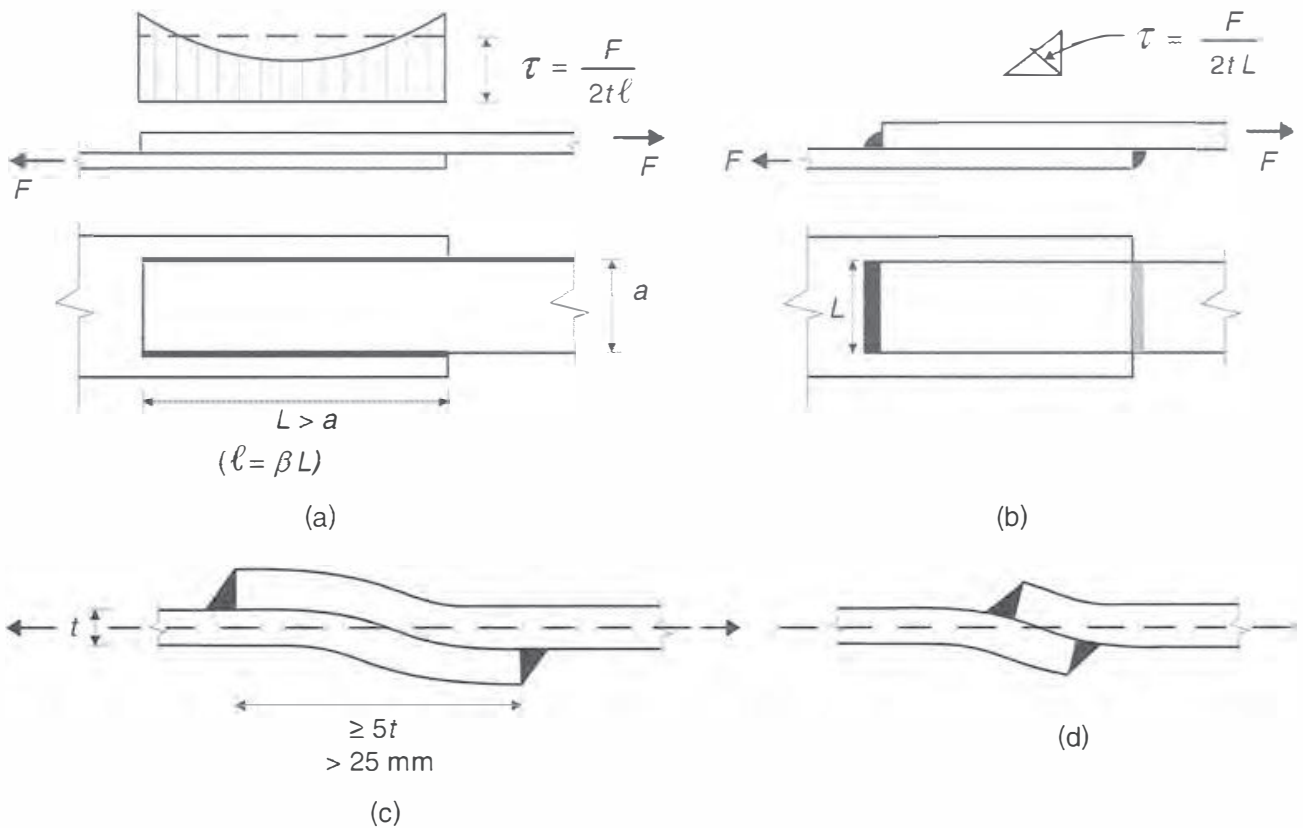
Multiplicando as tensões pela espessura  $t$ , obtêm-se os esforços por unidade de comprimento. Essas forças são somadas vetorialmente, produzindo uma força resultante que deve ser inferior ao valor dado pela Eq. (4.9b).

### 4.4.2 Emendas Axiais Soldadas

A Fig. 4.14a ilustra a distribuição de tensões cisalhantes em regime elástico nos filetes longitudinais de solda. Essa distribuição é semelhante à distribuição de esforços de corte em emendas parafusadas (ver Fig. 3.12). As maiores tensões ocorrem nas extremidades do cordão de solda. No estado limite último, próximo à ruptura, as deformações plásticas nas regiões extremas promovem uma redistribuição de tensões que tendem para um diagrama uniforme.

Entretanto, se a ligação for longa, a redistribuição de tensões não atingirá a região central da solda antes da ruptura das regiões extremas. Por isso as normas reduzem o comprimento  $L$  da solda para o cálculo do comprimento efetivo  $\ell$  [Eq. (4.3)].

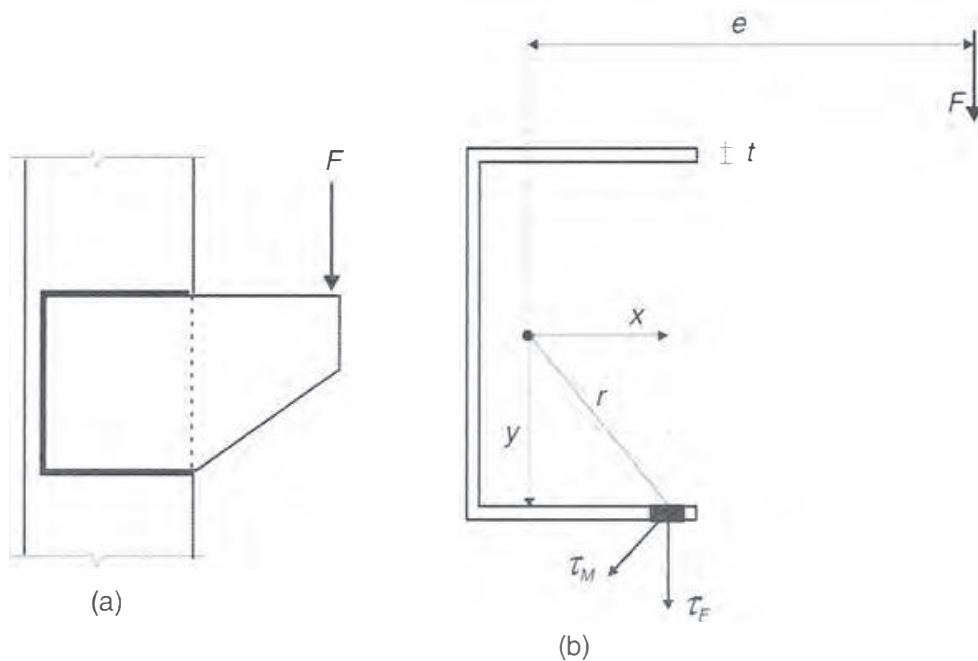
Nas emendas com filetes transversais, as tensões também são consideradas uniformemente distribuídas (Fig. 4.14b). Para esse tipo de emenda as normas (AISC, NBR 8800) indicam comprimentos mínimos de transpasse (Fig. 4.14c) para evitar rotações excessivas na ligação, como mostrado na Fig. 4.14d.



**Fig. 4.14** Emendas axiais soldadas: (a) filetes longitudinais; (b), (c), (d) filetes transversais.

### 4.4.3 Ligação Excêntrica por Corte

Na Fig. 4.15a, vemos a ligação soldada de uma chapa em consolo, com uma carga excêntrica. Para efeito de cálculo, consideramos na Fig. 4.15b as áreas das gargantas rebatidas no plano da chapa.



**Fig. 4.15** Ligação soldada com carga cisalhante excêntrica: (a) esquema da ligação; (b) área de cálculo do cordão de solda, obtida por rebatimento da garganta sobre o plano da chapa. Admite-se que o eixo do cordão de solda coincide com as bordas da chapa.

consolo. A força aplicada  $F$  tem uma excentricidade  $e$  em relação ao centro de gravidade da área de solda. Ela pode ser reduzida a uma força centrada  $F$  e um momento  $Fe$ . O dimensionamento se faz com as mesmas hipóteses adotadas nas ligações de conectores com cargas excêntricas. A tensão cisalhante  $\tau_F$  provocada pelo esforço centrado  $F$  em um ponto qualquer do cordão de solda é dada pela equação:

$$\tau_F = \frac{F}{\sum t\ell} \quad (4.10)$$

A tensão cisalhante  $\tau_M$  provocada pelo momento  $Fe$  é calculada com a equação:

$$\tau_M = \frac{Fe}{I_p} r \quad (4.11)$$

ou decompondo-se nas duas direções  $x$  e  $y$

$$\tau_x = \frac{Fe}{I_p} y \quad \tau_y = \frac{Fe}{I_p} x \quad (4.12)$$

onde  $I_p$  = momento polar da área de solda referida ao centro de gravidade.

O momento polar de inércia  $I_p$  pode ser calculado com a soma dos momentos de inércia retangulares  $I_x$  e  $I_y$  da seção de solda. Os momentos polares  $I_p$  para diversas seções de solda são fornecidos na Tabela A11, Anexo A, para espessura da garganta  $t = 1$  e são proporcionais a  $t$ , já que a espessura é pequena. Sendo assim, as Eqs. (4.10) e (4.11) podem ser reescritas em termos de esforços por unidade de comprimento

$$p_F = \tau_F t = \frac{F}{\sum \ell} \quad (4.10a)$$

$$p_M = \tau_M t = \frac{Fe}{I_p (t=1)} r \quad (4.11a)$$

Esses esforços devem ser somados vetorialmente e comparados aos esforços resistentes da Eq. (4.9b).

O método apresentado é conhecido como método elástico e é considerado conservador. Pode-se, alternativamente, utilizar o método denominado centro instantâneo de rotação (Salmon & Johnson, 1990).

#### 4.4.4 Soldas com Esforços Combinados de Cisalhamento e Tração ou Compressão

*Soldas longitudinais.* Consideremos a seção de perfil I soldado da Fig. 4.16a. A ligação da alma com a mesa pode ser solda de entalhe (Fig. 4.16b) ou solda de filete (Fig. 4.16c).

Se, na seção considerada, atuarem um esforço cortante  $V$  e um momento fletor  $M$ , os diagramas de tensões cisalhante ( $\tau$ ) e normal ( $\sigma$ ) são dados pela resistência dos materiais:

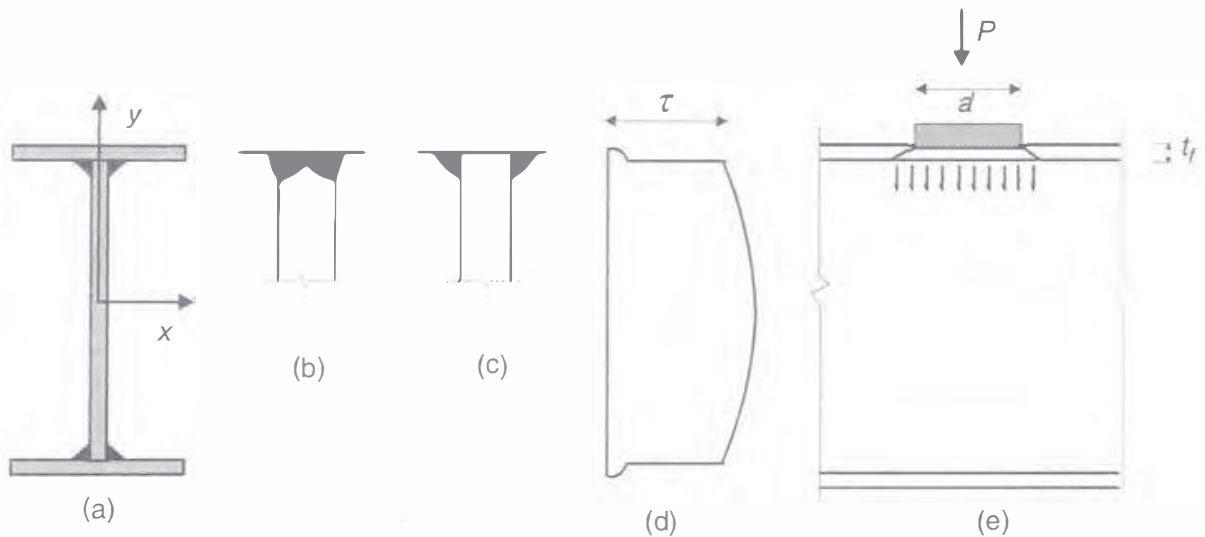
$$\tau = \frac{VS}{Ib} \quad (4.13)$$

$$\sigma = \frac{M}{I} y \quad (4.14)$$

onde  $S$  = momento estático da chapa de mesa do perfil referido ao eixo  $x$ ;

$I$  = momento de inércia do perfil em relação ao eixo  $x$ .





**Fig. 4.16** Ligações de alma com mesa de viga (solda longitudinal).

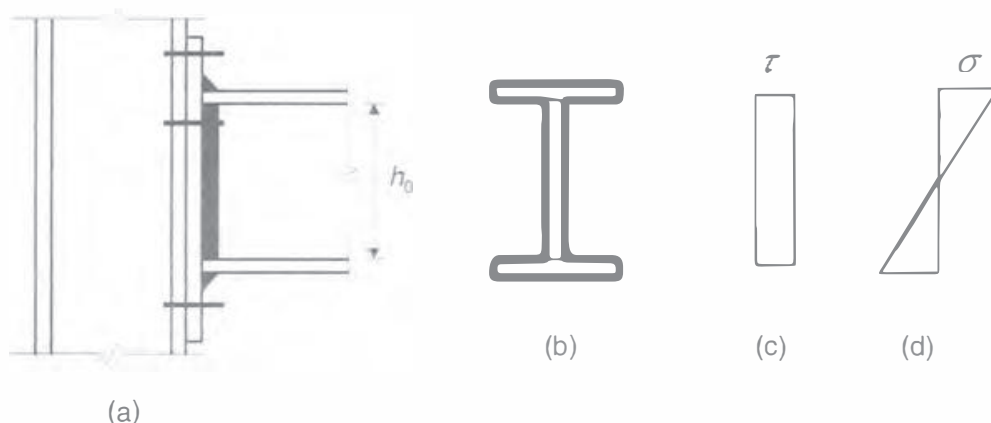
Para solda de entalhe (Fig. 4.16b), a largura  $b$  na Eq. (4.13) é a espessura  $t_0$  da chapa da alma. Para solda de filete (Fig. 4.16c),  $b$  representa a soma das gargantas dos dois cordões de solda.

De acordo com as normas AISC e NBR 8800, esse tipo de ligação pode ser calculado sem consideração das tensões normais, isto é, verificando-se apenas as tensões cisalhantes.

Efeitos locais, como os de carga concentrada (Fig. 4.16e), devem ser levados em conta. Neste caso, a tensão vertical nas soldas de filete dada pela Eq. (4.15) deve ser combinada vetorialmente com a tensão horizontal dada pela Eq. (4.13).

$$\tau = \frac{P}{2t(a' + 2t_f)} \quad (4.15)$$

*Soldas transversais.* Na Fig. 4.17 vemos a ligação entre uma viga e uma coluna com chapa de topo soldada à viga. Na Fig. 4.17b mostramos um corte na seção de solda, com áreas das gargantas rebatidas (no caso de soldas de filete). A ligação transmite um esforço cortante  $V$  e um momento  $M$ .



**Fig. 4.17** Solda com tensões cisalhantes combinadas com tensões normais (solda transversal).

O esforço cortante produz uma tensão de cisalhamento vertical (Fig. 4.17c). Como as mesas do perfil transmitem tensões cisalhantes muito baixas, devemos contar nesse caso somente com os cordões da alma da viga. Temos então:

$$\tau = \frac{V}{2th_0} \quad (4.16)$$

O momento fletor produz tensões  $\sigma$ , dadas pela Eq. (4.14). Com as propriedades geométricas da seção resistente composta das seções da garganta de solda rebatidas utiliza-se uma composição vetorial arbitrária:

$$\tau_{d \text{ máx}} = \sqrt{\sigma_d^2 + \tau_d^2} \leq \tau_{\text{rev}} \quad (4.17)$$

A tensão normal  $\sigma$  perpendicular à direção do filete é tratada na Eq. (4.17) como tensão cisalhante horizontal, combinando-se vetorialmente com a tensão cisalhante vertical devida ao esforço cortante.

A Eq. (4.17) também pode ser escrita em termos de esforços por unidade de comprimento.

## 4.5 COMBINAÇÃO DE SOLDAS COM CONECTORES

O trabalho conjunto de solda e conectores é influenciado pela rigidez de cada um dos tipos de ligação utilizados.

Em construções novas, os parafusos não podem ser considerados atuando em conjunto com soldas, exceto parafusos em ligações por corte. Neste caso, com soldas longitudinais de filete, a contribuição dos parafusos deve ser limitada a 50% da resistência do grupo de parafusos em ligação por apoio.

Em construções existentes, reforçadas por soldas, os rebites ou parafusos de alta resistência em ligações por atrito já existentes podem ser considerados para resistir às solicitações da carga permanente já atuando. As solicitações devidas aos novos carregamentos devem ser resistidas pelas soldas de reforço que forem acrescentadas à ligação.

## 4.6 PROBLEMAS RESOLVIDOS

**4.6.1** Uma placa de aço 12 mm, sujeita à tração axial de 40 kN, está ligada a uma outra placa 12 mm formando um perfil T, por meio de solda. Dimensionar a solda usando eletrodo E60 e aço ASTM A36.

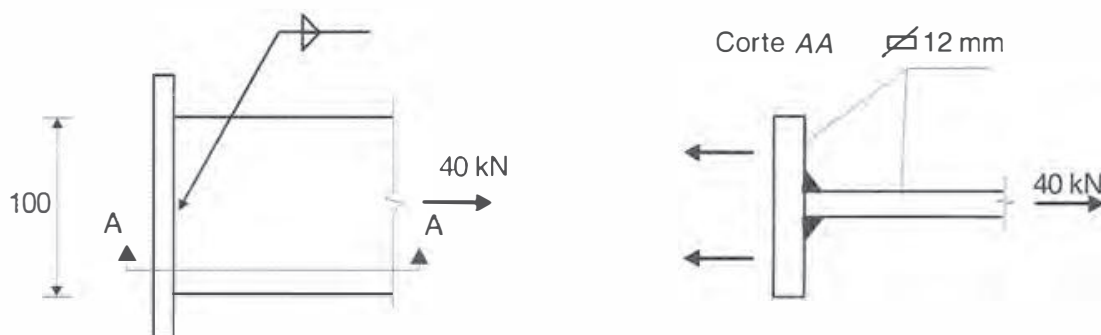


Fig. Probl. 4.6.1

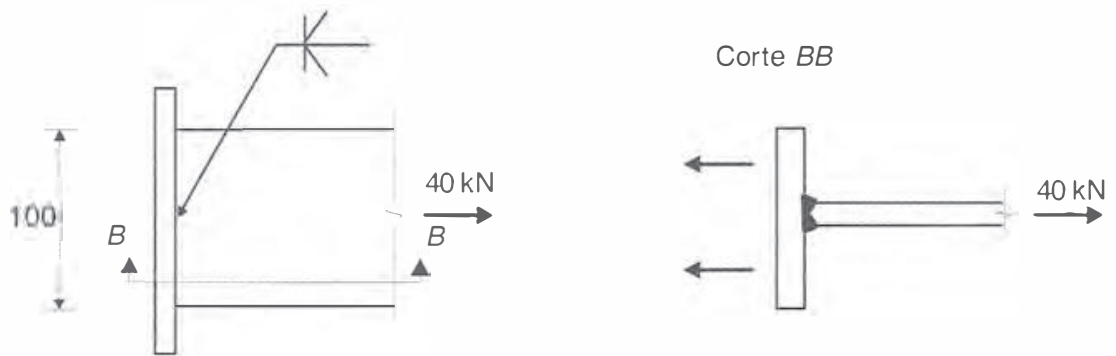


Fig. Probl. 4.6.1 Continuação

**Solução**

a) Esforço solicitante de cálculo, admitindo carga variável de utilização

$$S_d = 1,5 \times 40 = 60 \text{ kN}$$

b) Dimensionamento com solda de filete

Admitindo filete de solda com valor mínimo de perna indicado na Tabela 4.2 ( $b = 5 \text{ mm}$ ), obtém-se:

Metal da solda [Eq. (4.9a)]

$$R_d = A_w(0,60f_w)/\gamma_{w2} = 2 \times 10 \times 0,5 \times 0,7 \times 0,6 \times 41,5/1,35 = 129 \text{ kN}$$

O dimensionamento satisfaz com folga ( $R_d > S_d$ ).

c) Dimensionamento com solda de entalhe de penetração total [Eq. (4.6a)]

$$R_d = A_{MBf_y}/\gamma_{a1} = 10 \times 1,2 \times 25/1,10 = 272 \text{ kN}$$

O dimensionamento satisfaz com muita folga.

4.6.2 Qual o comprimento e qual a espessura da solda de filete requeridos para a conexão da figura? Admitir aço ASTM A36 e eletrodo E60. O esforço solicitante é variável.

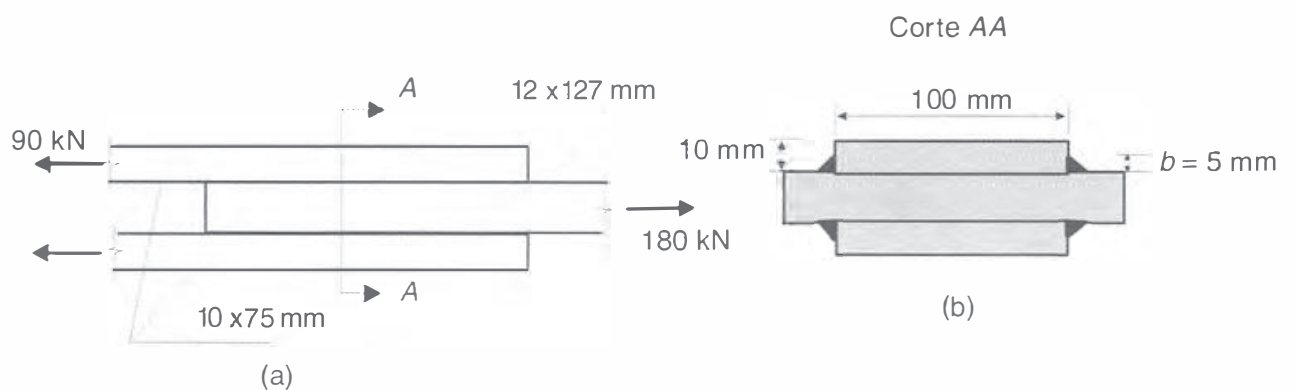


Fig. Probl. 4.6.2

**Solução**

Admite-se para o filete de solda o lado mínimo especificado na Tabela 4.2. Para a chapa mais delgada 10 mm, tem-se  $b = 5$  mm, que é menor que  $(10-1,5)$  mm, igual à dimensão máxima de  $b$  (Fig. 4.11). A área efetiva de solda é:

$$A_w = 4 \times 0,7 b \ell = 4 \times 0,7 \times 0,5 \ell = 1,4 \ell$$

Esforço solicitante de cálculo

$$S_d = 1,4 \times 180 = 252 \text{ kN}$$

Esforço resistente de cálculo

Metal da solda

$$R_d = A_w (0,60 f_w) / \gamma_{w2} = 1,4 \ell \times 0,6 \times 41,5 / 1,35 = 25,8 \ell$$

Igualando o esforço resistente ao solicitante, tem-se:

$$25,8 \ell = 252 \therefore \ell = 9,76 \text{ cm} \approx 100 \text{ mm} < 100 b$$

Em ligações de chapas com filetes longitudinais apenas, o comprimento dos filetes deve ser maior ou igual à distância entre eles (Fig. 4.14a). Neste, caso, então,  $\ell = 100$  mm pode ser adotado.

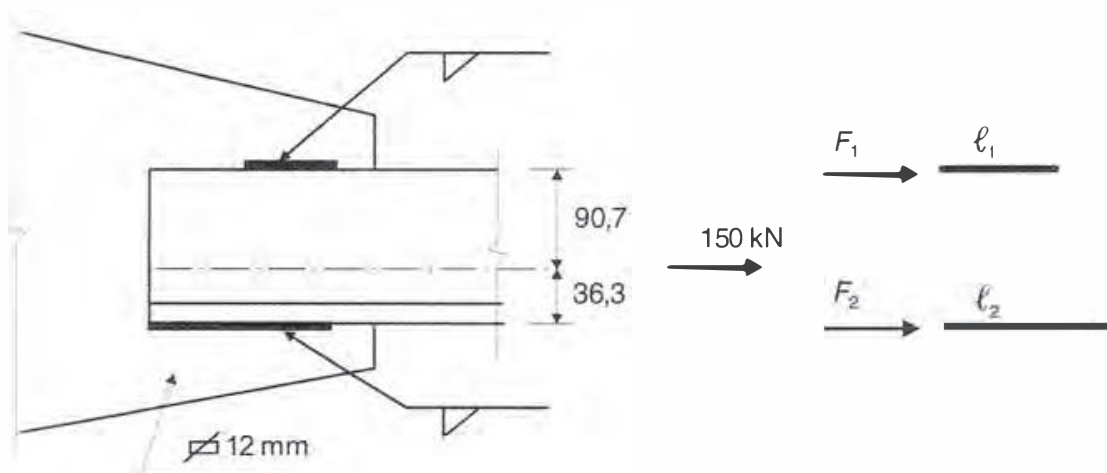
As chapas ligadas estão localmente submetidas a tensões cisalhantes na região da ligação. Tem-se para a chapa central de 12 mm [ver Eq. (3.7)]:

$$R_d = 2 \times t \ell \times 0,60 f_y / \gamma_{a1} = 2 \times 1,2 \times 10 \times 0,6 \times 25 = 360 \text{ kN} > S_d$$

E para as chapas de 10 mm:

$$R_d = 2 \times t \ell \times 0,60 f_y / \gamma_{a1} = 2 \times 1,0 \times 10 \times 0,6 \times 25 / 1,1 = 273 \text{ kN} > \frac{S_d}{2}$$

**4.6.3** Calcular a ligação de um perfil L 127 (5")  $\times$  24,1 kg/m, submetido à tração axial permanente de pequena variabilidade, com um *gusset* indicado na figura. Aço MR250; eletrodo E70.



**Fig. Probl. 4.6.3**

**Solução**

Como a espessura da cantoneira é 12,7 mm (1/2") e a da chapa também, a dimensão mínima da perna do filete é  $b = 5 \text{ mm}$  ( $< b_{\text{máx}} = 12,5 - 1,5 = 11 \text{ mm}$ ), que vamos adotar neste problema.

Os esforços desenvolvidos nas soldas devem ter resultante passando por  $G$  (centro de gravidade do perfil L) para que não haja efeitos de flexão na ligação soldada e no perfil. As propriedades da cantoneira estão na Tabela A6.4, Anexo A. Os comprimentos das soldas são  $\ell_1$  e  $\ell_2$ .

A equação de equilíbrio de momentos em relação a um ponto no filete inferior fornece:

$$F_1 \times 12,7 - 150 \times 3,63 = 0$$

$$F_1 = \frac{150 \times 3,63}{12,7} = 42,8 \text{ kN}$$

$$F_2 = 150 - 42,8 = 107,2 \text{ kN}$$

O comprimento  $\ell_1$  pode ser determinado com a sollicitação de cálculo  $1,3 \times 42,8 \text{ kN}$ , e a resistência de cálculo dada por:

$$R_d = 0,7 \times 0,5 \ell_1 \times 0,6 \times 48,5/1,35 = 7,54 \ell_1$$

A resistência ao cisalhamento das peças ligadas na vizinhança da solda é dada por [ver Eq. (3.7)]

$$R_d = 1,20 \ell \times 0,6 \times 25/1,1 = 16,4 \ell > 7,54 \ell$$

Igualando a resistência à sollicitação, tem-se:

$$7,54 \ell_1 = 1,3 \times 42,8 \therefore \ell_1 = 7,38 \text{ cm} \approx 80 \text{ mm} < 100 b$$

$$\ell_2 = \frac{107,2}{42,8} \ell_1 = 18,5 \text{ cm} \approx 190 \text{ mm} < 100 b$$

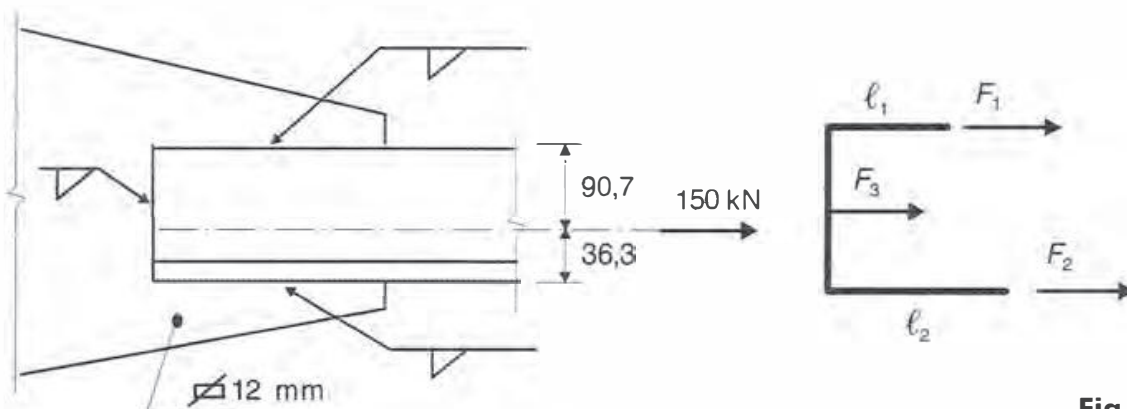
Os comprimentos dos filetes podem ser reduzidos utilizando-se solda de maior lado. Adotando-se, por exemplo,  $b = 8 \text{ mm}$ , tem-se:

$$\ell_1 = 4,61 \text{ cm} \approx 50 \text{ mm}$$

$$\ell_2 = 11,5 \text{ cm} \approx 120 \text{ mm}$$

A verificação da cantoneira à tração deve ser feita com as Eqs. (2.1a) e (2.1b), sendo a área líquida efetiva [ver Eq. (2.5)] calculada com o coeficiente das Eqs. (2.6a) e (2.6b).

**4.6.4** Resolver o mesmo problema anterior considerando o detalhe de solda dado na figura. Aço MR250; eletrodo E70.



**Fig. Probl. 4.6.4**

**Solução**

Neste problema, o esforço solicitante (150 kN) é equilibrado pelos esforços resistentes de três cordões de solda ( $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$ ).

Admitindo-se filete de solda com perna  $b = 5$  mm, têm-se as seguintes resistências de projeto (determinadas pelo metal de solda, Eq. (4.9a)):

$$F_{3d} = 0,7 \times 0,5 \times 12,7 \times 0,6 \times 48,5/1,35 = 95,8 \text{ kN}$$

$$F_{1d} = 0,7 \times 0,5 \ell \times 0,6 \times 48,5/1,35 = 7,54 \ell_1$$

$$F_{2d} = 7,54 \ell_2$$

Os valores de  $F_{1d}$  e  $F_{2d}$  são determinados com as duas equações de equilíbrio:

$$F_{1d} + F_{2d} + F_{3d} = 1,3 \times 150$$

$$F_{1d} \times 12,7 + F_{3d} \times 6,35 - 1,3 \times 150 \times 3,63 = 0$$

$$7,54 (\ell_1 + \ell_2) + 95,8 = 195 \therefore \ell_1 + \ell_2 = 13,16 \text{ cm}$$

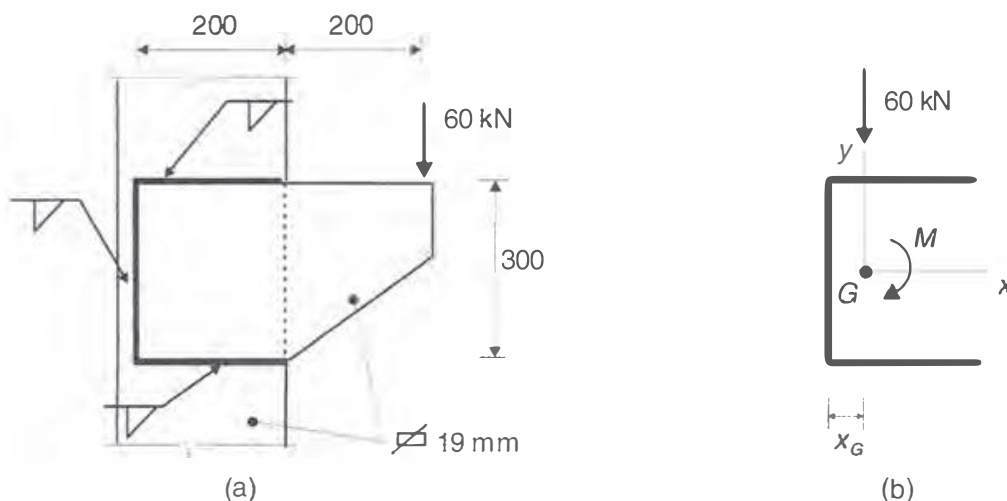
$$95,8 \ell_1 + 608,3 - 707,9 = 0$$

$$\ell_1 = 1,04 \text{ cm}$$

$$\ell_2 = 12,1 \text{ cm}$$

Adotam-se então  $\ell_1 = 20$  mm e  $\ell_2 = 130$  mm, a serem executados em um único passe com  $\ell_3$ .

**4.6.5** Calcular a ligação do consolo dado na figura, usando solda de filete. Admitir aço MR250, eletrodo E60. Carga atuante do tipo variável.



**Fig. Probl. 4.6.5**

**Solução**

A carga vertical de 60 kN pode ser transportada para o centro de gravidade  $G$  dos cordões de solda (Fig. Probl. 4.6.5b). Com isso, são aplicados uma carga de 60 kN e um momento  $M = 60(40 - x_g)$ .

a) Determinação de  $x_g$

Calculando o momento estático dos cordões de solda em relação ao eixo vertical passando por  $G$ , temos:

$$2 \times 20(10 - x_g) - 30x_g = 0$$

$$x_g = 5,71 \text{ cm}$$

b) Esforço solicitante por unidade de comprimento devido ao cortante  $V = 60 \text{ kN}$

Consultando a Tabela 4.2, tomaremos como primeira tentativa  $b = 6 \text{ mm} < b_{\text{máx}} = 19 - 1,5 = 17,5 \text{ mm}$

$$p_v = \frac{V}{\sum \ell} = \frac{60}{2 \times 20 + 30} = 0,857 \text{ kN/cm}$$

c) Esforço solicitante por unidade de comprimento devido ao momento  $M$

$$M = 60(40 - x_g) = 60(40 - 5,71) = 2057,4 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$I_x = 0,7 \times 0,6 \times 20 \times 15^2 \times 2 + \frac{0,7 \times 0,6 \times 30^3}{12} = 4725 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 0,7 \times 0,6 \times 30 \times 5,71^2 + 2 \times 0,7 \times 0,6 \times 20^3/12 + 2 \times 0,7 \times 0,6 \times 20 (10 - 5,71)^2 = 1280 \text{ cm}^4$$

$$I_p = I_x + I_y = 6005 \text{ cm}^4$$

Alternativamente pode-se usar a Tabela A 11.2, Anexo A, para calcular

$$I_p (t=1) = \frac{8 \times 20^3 + 6 \times 20 \times 30^2 + 30^3}{12} - \frac{20^4}{2 \times 20 + 30} = 14.297 \frac{\text{cm}^4}{\text{cm}}$$

e verificar que

$$I_p \cong t I_p (t = 1) = 0,7 \times 0,6 \times 14.297 = 6004 \text{ cm}^4$$

Os pontos mais solicitados serão os mais afastados de  $G$ . Nas extremidades livres dos filetes horizontais, obtemos:

$$p_{M_x} = \tau_x t = \frac{2057,4}{14.297} \times 15 = 2,16 \text{ kN/cm}$$

$$p_{M_y} = \tau_y t = \frac{2057,4}{14.297} \times (20 - 5,71) = 2,06 \text{ kN/cm}$$

d) Esforço combinado

Somando os efeitos do momento e do cortante no ponto considerado, teremos

$$p = \sqrt{(0,86 + 2,06)^2 + 2,16^2} = 3,62 \text{ kN/cm}$$

Esforço solicitante de cálculo

$$p_d = 1,4 \times 3,63 = 5,07 \text{ kN/cm}$$

- e) Esforço resistente de projeto [Eq. (4.9b)]  
 – Metal-base adjacente à ligação

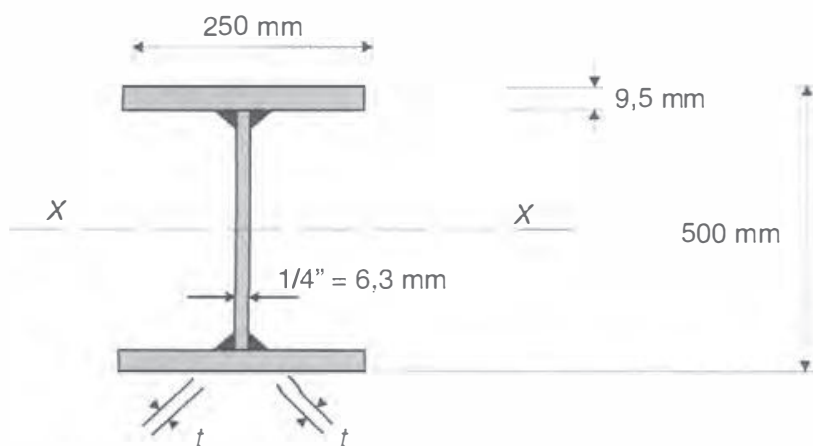
$$p_{d\text{ res}} = 1,9 \times 0,6 \times 25/1,10 = 25,9 \text{ kN/cm}$$

- Metal da solda

$$p_{d\text{ res}} = 0,7 \times 0,6 \times 0,6 \times 41,5/1,35 = 7,75 \text{ kN/cm}$$

- f) Conclusão: Como  $p_{d\text{ res}} > p_d$ , o dimensionamento está satisfatório.

**4.6.6** Um perfil VS de 500 mm × 61 kg/m (Tabela A8.3, Anexo A) está solicitado em uma seção por um momento  $M = 170 \text{ kNm}$  e um esforço cortante  $V = 200 \text{ kN}$  (solicitações de carga variável). A junção da mesa com a alma é feita por solda de filete com 5,0 mm de perna. Verificar esta junção, sem considerar a existência de tensões na alma oriundas de efeitos locais, como, por exemplo, cargas concentradas. Aço ASTM A36 (MR250); eletrodo E60.



**Fig. Probl. 4.6.6**

### Solução

- a) Tensão de cisalhamento atuante na garganta da solda [Eq. (4.13)]

$$S = 25 \times 0,95 \times 24,525 = 582,5 \text{ cm}^3$$

$$\tau_d = 1,4 \frac{200 \times 582,5}{2 \times 0,7 \times 0,5 \times 34416} = 6,77 \text{ kN/cm}^2 = 67,7 \text{ MPa}$$

- b) Tensão resistente de projeto, referida à garganta da solda  
 — Metal da solda

$$\tau_{d\text{ res}} = 0,6 \times 415/1,35 = 184 \text{ MPa} > \tau_d$$

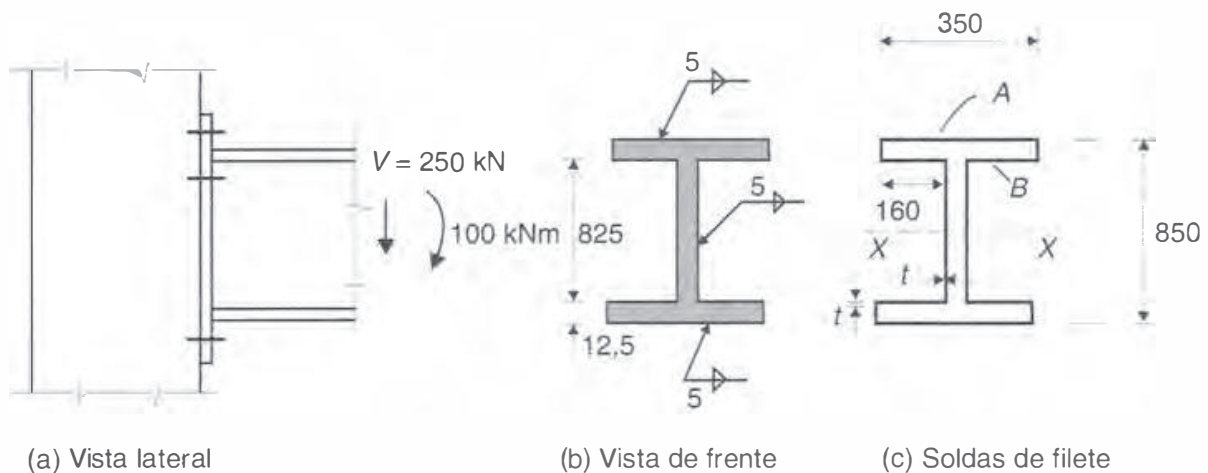
Para a verificação do perfil, as tensões cisalhantes junto à solda não são determinantes, uma vez que são menores do que as tensões cisalhantes na altura da linha neutra da seção.



c) Combinação de tensões normais e de cisalhamento na solda

De acordo com a NBR 8800, nas soldas de ligação de mesas e almas de perfis soldados, o dimensionamento da solda pode ser feito com as tensões de cisalhamento, sem considerar as tensões normais de tração ou compressão, paralelas ao eixo da solda.

**4.6.7** A conexão do perfil VS 850 × 120 com a chapa de topo, dada na figura, foi feita por meio de solda de filete. Pede-se para verificar as tensões na solda. Aço MR250. Eletrodo E60. Cargas variáveis.



**Fig. Probl. 4.6.7**

### Solução

a) Tensões solicitantes em serviço

Como o esforço cortante no perfil é carregado pela alma, vamos admitir que ele seja transferido, na ligação, pelos filetes verticais da alma.

Os pontos críticos da peça são os pontos A e B. No ponto A atuam tensões provenientes do momento; no ponto B tensões devidas a momento e esforço cortante. Faremos então uma verificação nesses dois pontos.

Na Fig. Probl. 4.6.7c, vemos a projeção das gargantas da solda. O momento de inércia da área de solda, em relação ao eixo x, vale:

$$I_x = 2(35 \times 0,5 \times 0,7 \times 42,5^2 + 34,2 \times 0,5 \times 0,7 \times 41,25^2) + 2\left(\frac{0,5 \times 0,7 \times 82,5^3}{12}\right) = 117.744 \text{ cm}^4$$

A tensão normal de flexão no ponto A produz uma tensão cisalhante no filete de solda:

$$\tau_A = \frac{M}{I_x} y = \frac{10.000}{117.744} \times 42,5 = 3,61 \text{ kN/cm}^2 = 36,1 \text{ MPa}$$

Tensão cisalhante devida ao esforço cortante no ponto  $B$ :

$$\tau = \frac{V}{t_0 h_0} = \frac{250}{2 \times 0,5 \times 0,7 \times 82,5} = 4,33 \text{ kN/cm}^2 = 43,3 \text{ MPa}$$

Tensão cisalhante devida ao momento fletor no ponto  $B$ :

$$\tau_B = \frac{10.000}{117.744} \times 41,25 = 3,50 \text{ kN/cm}^2 = 35 \text{ MPa}$$

A tensão resultante no ponto  $B$  será a soma vetorial das tensões obtidas:

$$\tau_B = \sqrt{43,3^2 + 35^2} = 55,7 \text{ MPa}$$

b) Tensões solicitantes de cálculo

A tensão mais desfavorável se dá no ponto  $B$

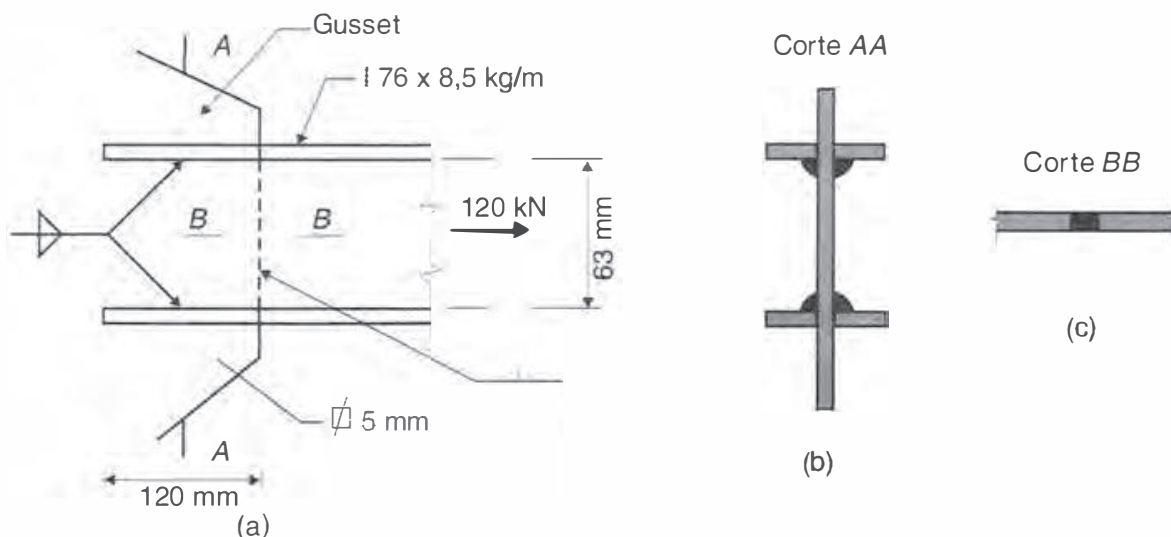
$$\tau_B = 1,4 \times 55,7 = 78,0 \text{ MPa}$$

c) Tensões resistentes de projeto, referidas à garganta da solda  
— Metal da solda

$$\tau_{d \text{ res}} = 0,6 \times 415/1,35 = 184 \text{ MPa} > \tau_d$$

d) Conclusão: Como  $\tau_{\text{res}} > \tau_d$ , o dimensionamento está satisfatório.

**4.6.8** Calcular a conexão da viga I no *gusset* indicado na figura a seguir, usando solda de topo e de filete. O perfil é cortado com maçarico, retirando-se a alma e a parte central da mesa, num comprimento de 12 cm. A mesa é soldada à chapa com solda de filete (Fig. 4.6.8b); a alma é soldada à chapa com solda de topo (Fig. 4.6.8c). Material: aço MR250 e eletrodo E60.



**Fig. Probl. 4.6.8**

**Solução**

- a) Soldas de filete ligando as mesas com a chapa *gusset*

Usaremos filetes de solda com lado 4 mm, comprimento 120 mm.

Área das gargantas de solda ( $A_w$ ) nos quatro filetes de solda, correspondente a duas mesas.

$$A_w = 4 \times 0,7 \times 0,4 \times 12 = 13,4 \text{ cm}^2$$

Esforço de cálculo transmitido pelas mesas

$$\gamma \frac{2A_f}{A_g} F = 1,4 \frac{2 \times 5,92 \times 0,66}{10,8} 120 = 122 \text{ kN}$$

Resistência de projeto dos filetes de solda:

$$13,4 \times 0,6 \times 41,5/1,35 = 248 \text{ kN} > 122$$

Resistência ao cisalhamento da chapa *gusset* na região dos filetes de solda

$$2 \times 0,5 \times 12 \times 0,6 \times 25/1,10 = 164 \text{ kN} > 122 \text{ kN}$$

A resistência da ligação é maior que a solicitação.

- b) Solda de entalhe ligando a alma ao *gusset*

Trata-se de solda de entalhe com penetração total, sujeita a um esforço de tração normal ao eixo da solda.

Esforço de cálculo transmitido pela alma

$$1,4 \times 120 - 122 = 46 \text{ kN}$$

Esforço resistente da solda

$$(7,6 - 2 \times 0,66) 0,432 \times 25/1,10 = 62 \text{ kN}$$

A solda de entalhe satisfaz.

**4.7 | PROBLEMAS PROPOSTOS**

**4.7.1** Quais os principais efeitos indesejáveis que surgem no processo de solda?

**4.7.2** Por que o esfriamento rápido de uma solda é indesejável?

**4.7.3** Quais os aços que podem ser soldados sem precauções especiais?

**4.7.4** Qual a posição de solda que produz melhores resultados?

**4.7.5** Defina garganta do filete de solda.

**4.7.6** O que se deve fazer numa ligação de chapas de topo com espessuras diferentes?

**4.7.7** Por que se estabelecem dimensões transversais mínimas para os filetes de solda?

**4.7.8** Determine a dimensão  $b$  da perna do filete de solda necessária para desenvolver o esforço resistente de cálculo das peças nas ligações esquematizadas. Aço MR250; eletrodo E60.

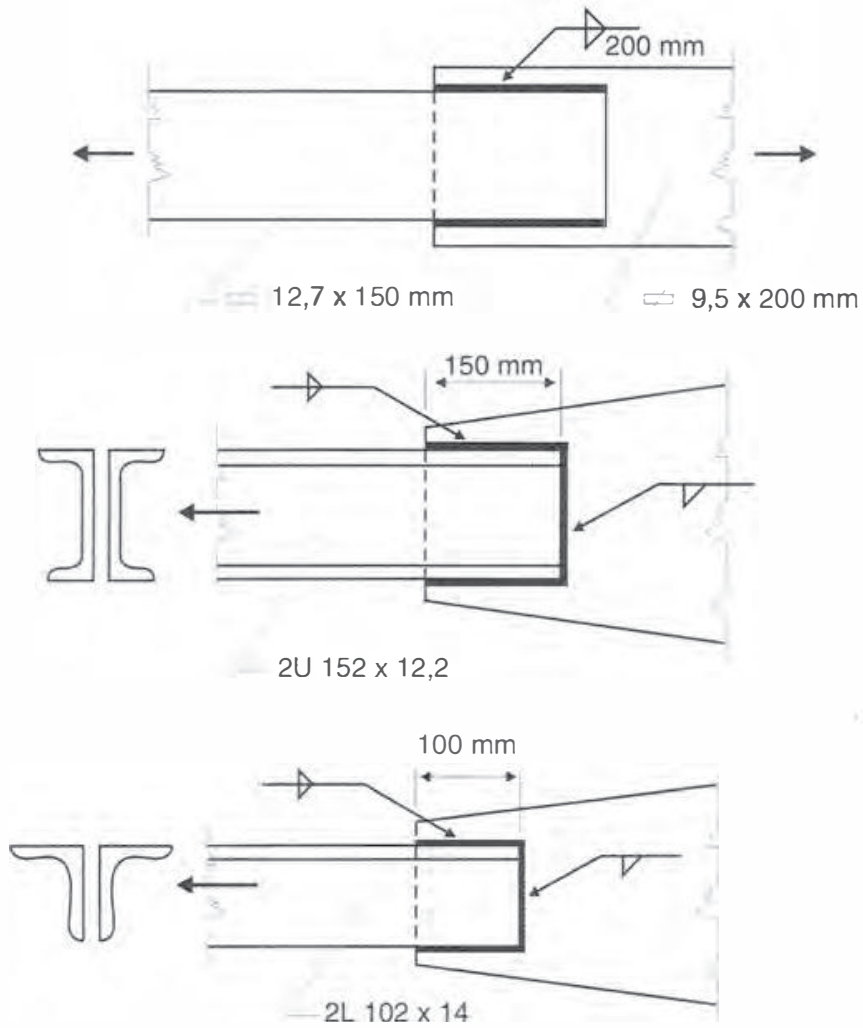


Fig. Probl. 4.7.8

4.7.9 Determine a perna do filete de solda necessária para fixar o consolo indicado na Fig. 4.7.9a. Admita aço MR250 e eletrodo E60. A carga é do tipo permanente.

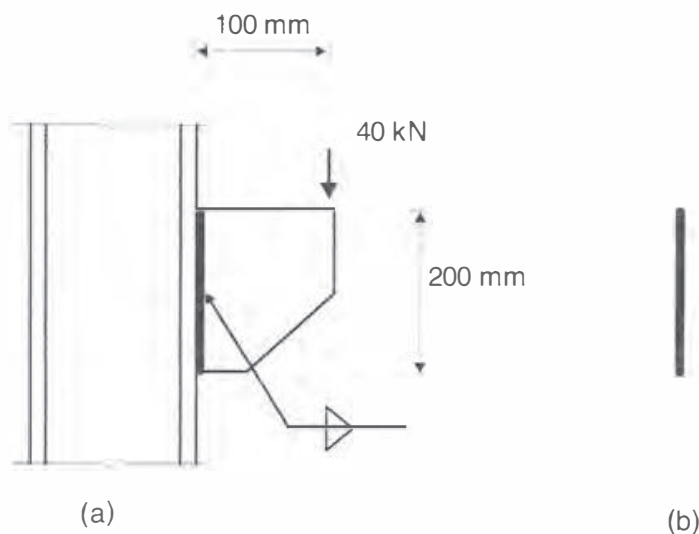
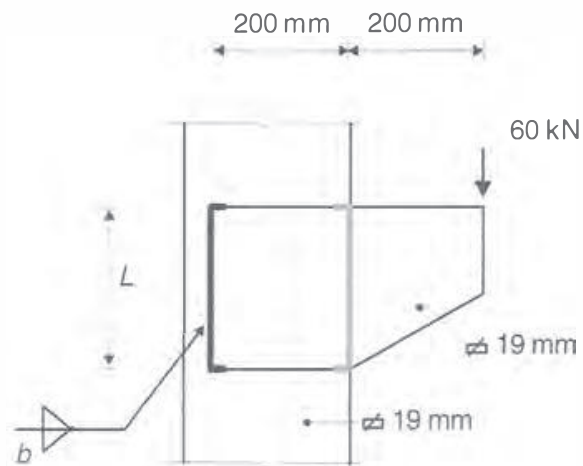


Fig. Probl. 4.7.9

**4.7.10** Dimensione a ligação do consolo da figura, isto é, determinar o comprimento  $L$  para um valor adotado do lado  $b$  do filete. Admita aço ASTM A36, eletrodo E60. Carga atuante do tipo variável de utilização.



**Fig. Probl. 4.7.10**