Universidade POSITIVO

Sistemas Estruturais II – Aula 10
Ligações com Solda

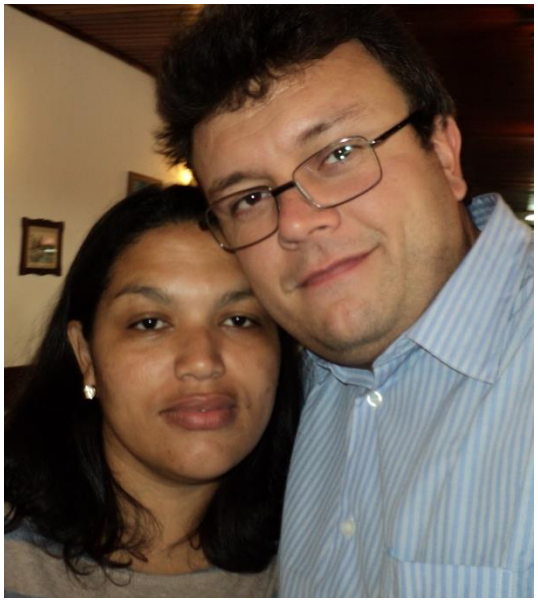
- Apresentação do Professor e da Disciplina
- Tipos de Solda;
- Definições para Soldas de Filete;
- Simbologia e Dimensionamento de Soldas de Filete;

Prof. Juliano J. Scremin

Universidade POSITIVO

Apresentação do Professor e da Disciplina

Apresentação do Professor



Dr. Eng. Juliano J. Scremin

- Graduação em **teologia**, FTU - SP 1997;
- Proficiência em **língua coreana**, Univ. Sun Moon, Cheon-an, Coréia do Sul 1999;
- Graduação em **engenharia civil**, UFPR 2008;
- **Mestrado em métodos numéricos em engenharia**, PPGMNE / UFPR, mecânica computacional, método dos elementos finitos aplicado a análise termo-estrutural de barragens de CCR, setembro de 2011;
- **Doutorado em teorias de vigas** no PPGECC/UFPR, fevereiro de 2020;
- **E-mail: juliano.scremin@up.edu.br**
- **www.jjscremin.com/aulas**

Instrumentos de Avaliação

- **Duas Avaliações Bimestrais (AB) – Obrigatórias**
  - ***Notas de 0,0 até 5,0 em cada uma delas sendo que a aprovação se dá caso A1 + A2 = 6,0***

- **Notas Extras de Atividades / Exercícios Avaliativos (NE) - Não Obrigatórios**
  - ***Valor de 0,1 até 0,3 ponto cada conforme definido pelo professor;***
  - ***Não há consideração de valores parciais;***
  - ***A nota obtida é descontada do peso da Avaliação Bimestral***

A prova substitutiva (agora chamada de "Avaliação Final") substitui a nota bimestral como um todo, ou seja, o aluno perde as notas extras obtidas ao longo do bimestre caso opte pela substitutiva

Forma de Cálculo das Notas Bimestrais

$$NB = AB \cdot (5-NE)/5 + NE$$

- **NB – nota bimestral [0 – 5,0] ;**
- **AB – nota da avaliação bimestral [0 – 5,0] ;**
- **NE – notas extras**

Quanto às Provas (1)

- Durante a realização das provas **será permitido o uso de calculadoras programáveis;**
- **Consulta** permitida **somente a uma folha A4 manuscrita frente e verso a ser entregue junto com a prova**;
- Dados de tabelas de norma serão fornecidos nas provas não sendo necessária a cópia destes para a folha de consulta.
- As provas conterão formulários simplificados das expressões de dimensionamento sendo estes publicados com antecedência para estudo.

Quanto às Provas (2)

- Durante a realização das provas será permitido sobre as carteiras somente lápis, lapiseiras, canetas, borrachas (sem capa), réguas, compassos e calculadora (sem capa) - **qualquer outro material (inclusive estojos, penais e etc.) deve ser mantido dentro das malas que deverão ser deixadas logo abaixo do quadro negro na frente do salão de provas**.

- Durante a realização de provas **celulares, smart phones, tablets, netbooks e quaisquer outros aparelhos similares** deverão ser **desligados e mantidos dentro das malas**, que deverão ser deixadas na frente do salão de provas.

- Caso algum aluno **seja flagrado portando um celular** em salão de provas, mesmo que este esteja desligado, isto será considerado **"tentativa de cola"** e o aluno terá sua prova recolhida e **será atribuída nota zero na avaliação**.

- Durante a realização das provas **não é permitido ao aluno ausentar-se do salão** para ida a sanitários ou por qualquer outro motivo. A saída do salão de provas implica na entrega da prova para correção.

Sites da Disciplina

- Site de apoio com todos os conteúdos das aulas, exercícios resolvidos e gabaritos de provas e exercícios de avaliação (EAVs) de anos anteriores:

www.jjscremin.com/aulas

- Site para respostas das atividades avaliativas (EAVs);

www.jjscremin.com/ativ

Objetivo da Disciplina

- O objetivo da disciplina Sistemas Estruturais II dentro do contexto do curso de Engenharia Civil é capacitar o estudante à:

Efetuar:

Combinações de Ações
(de Carregamentos, Esforços Internos ou Recalques), e empregando os conceitos de Análise Estrutural antes vistos realizar o

Dimensionamento de Elementos Estruturais em Madeira
considerando os esforços de **Tração, Compressão, Flexão, e Cisalhamento** e eventual **sobreposição** destes, bem como proceder a **verificação de flechas** e ser capaz de realizar o **dimensionamento de ligações básicas** com parafusos e pregos em Madeira

Plano de Ensino (2)

SE2 – MADEIRA	
AÇO	1. Ligações com solda.
1º. Bimestre	2. Introdução ao projeto de estruturas de madeira.
	3. Resistência e rigidez da madeira.
	4. Critérios de dimensionamento.
	5. Tração em peças de madeira.
	6. Peças de madeira comprimidas.
2º. Bimestre	7. Flexão simples reta e oblíqua de peças em madeira
	8. Cisalhamento em peças em madeira.
	9. Flexocompressão reta e oblíqua de peças em madeira.
	10. Ligações em estruturas de madeira.

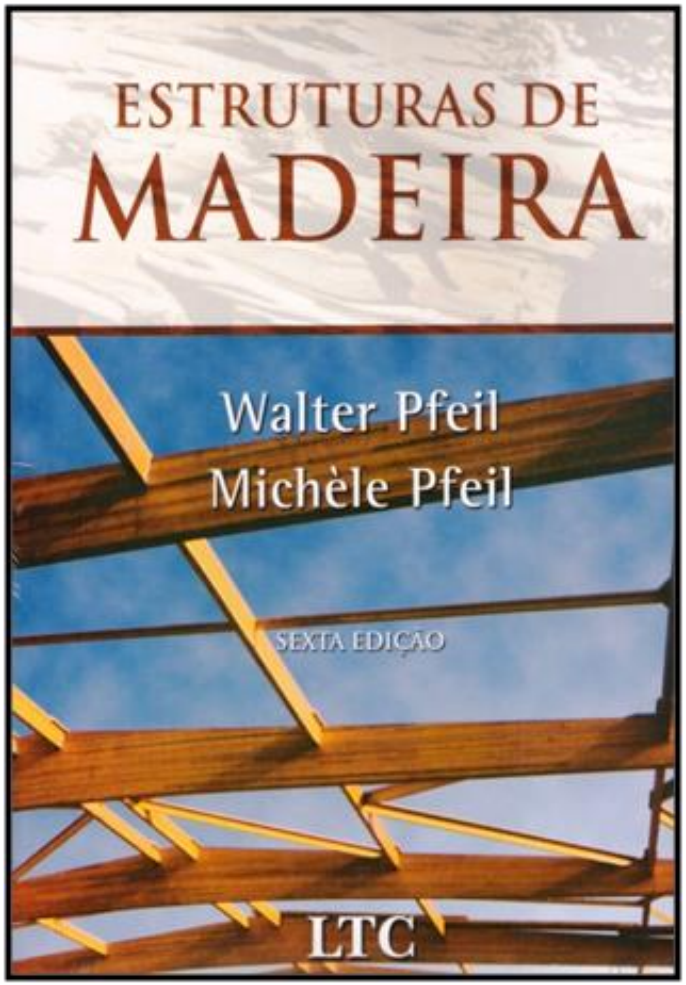
Bibliografia : Livro Texto – 1º. Semestre

- **ABNT. NBR 8800:** Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. ABNT, 2008.
- **PFEIL, M.; PFEIL, W. Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 335 p. ISBN 8521612311



Bibliografia : Livro Texto – 2º. Semestre

- **ABNT. NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. ABNT, 1997
- **PFEIL, W.; PFEIL**, M. **Estruturas de madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 224 p. ISBN 8521613857



Universidade POSITIVO

Aula 10 - Seção 1:
Tipos de Processo de Soldagem

Características Gerais de Ligação Soldada

- A ligação por meio de solda tem como características gerais:

  a) Necessidade de **energia no local de execução** o que limita sua aplicabilidade para algumas condições de canteiro;

  b) Necessidade de **mão de obra mais especializada** (soldador);

  c) Induz **tensões nas peças**, pelo aquecimento e resfriamento;

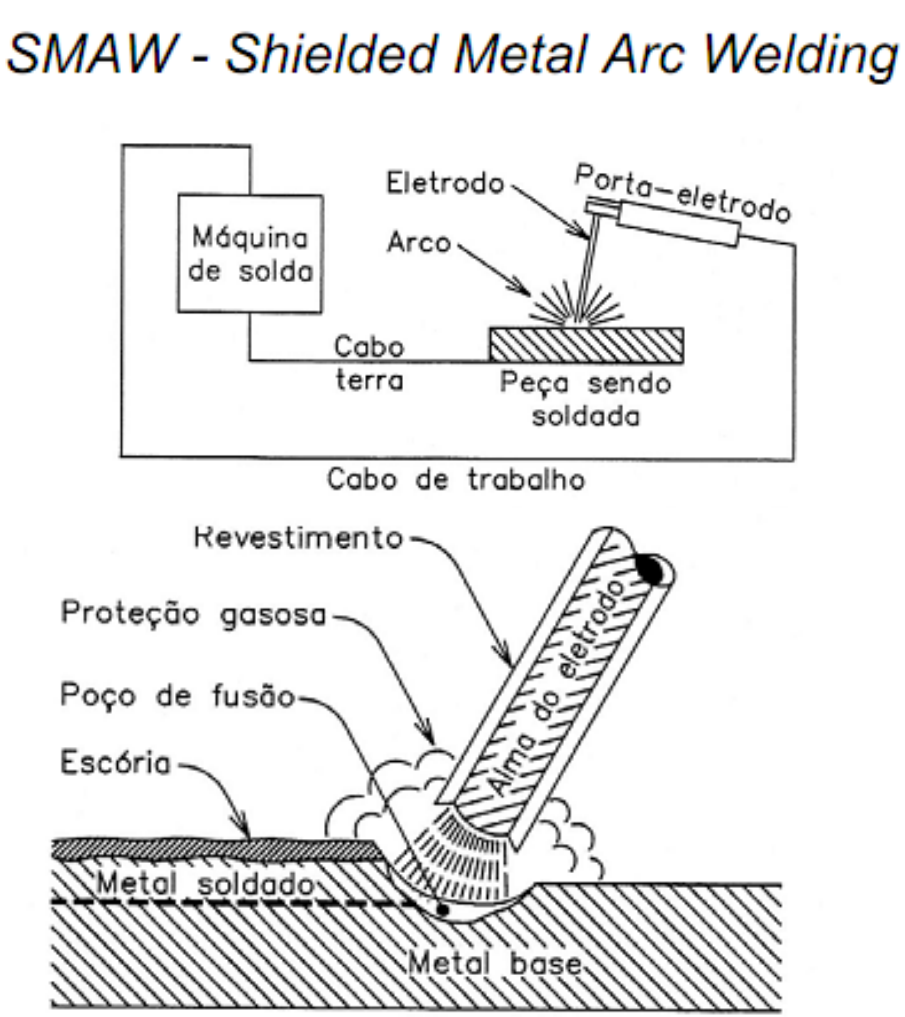
  d) É **mais sensível à fadiga** que a ligação parafusada;

  e) É de **execução mais rápida** que uma ligação parafusada quando esta tem muitos parafusos;

  f) Para ligação com **solda de filete**, seu **custo é menor** que o custo da ligação parafusada correspondente, devido ao custo dos parafusos, porcas e arruelas.

Processos de Soldagem (1)

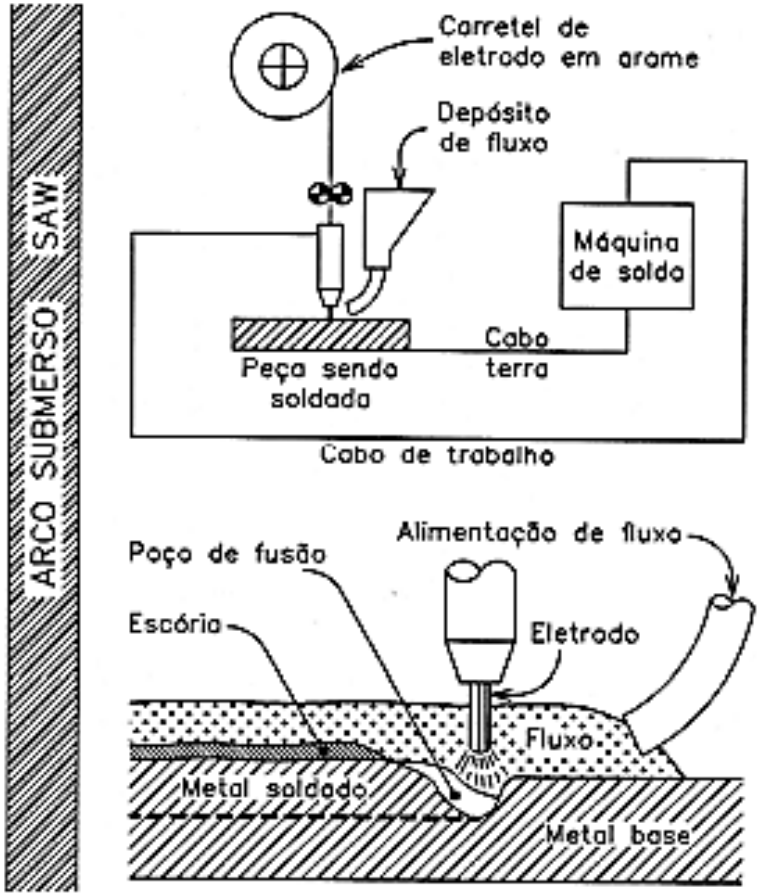
- **Arco Elétrico com Eletrodo Revestido (SMAW)**

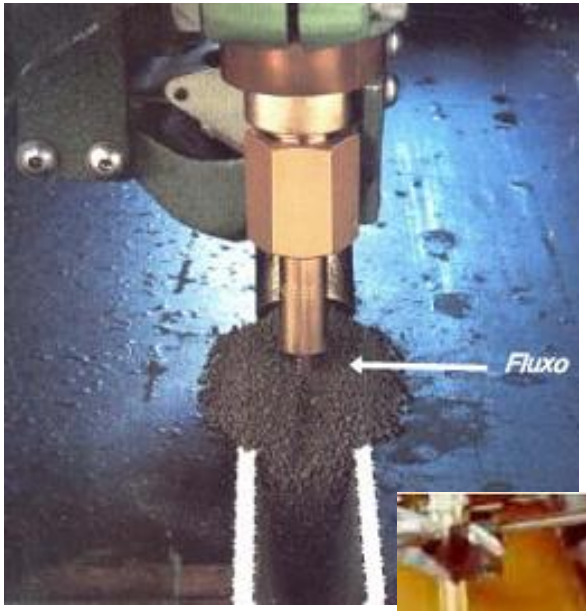






Processos de Soldagem (2)



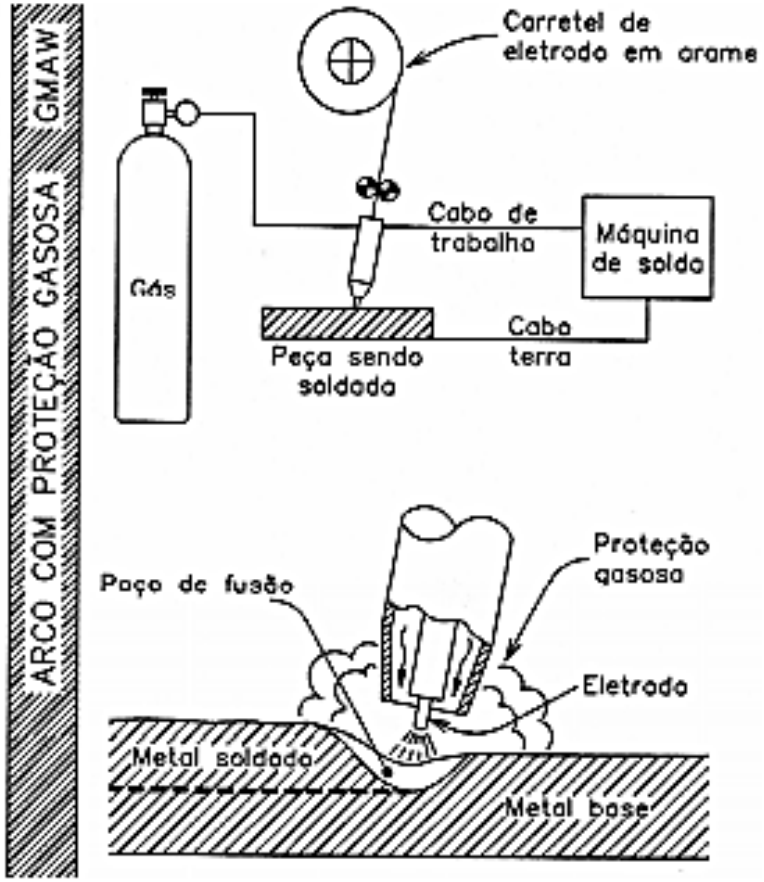




➢ **SAW**

(Submerged Arc Welding)

Processos de Soldagem (3)

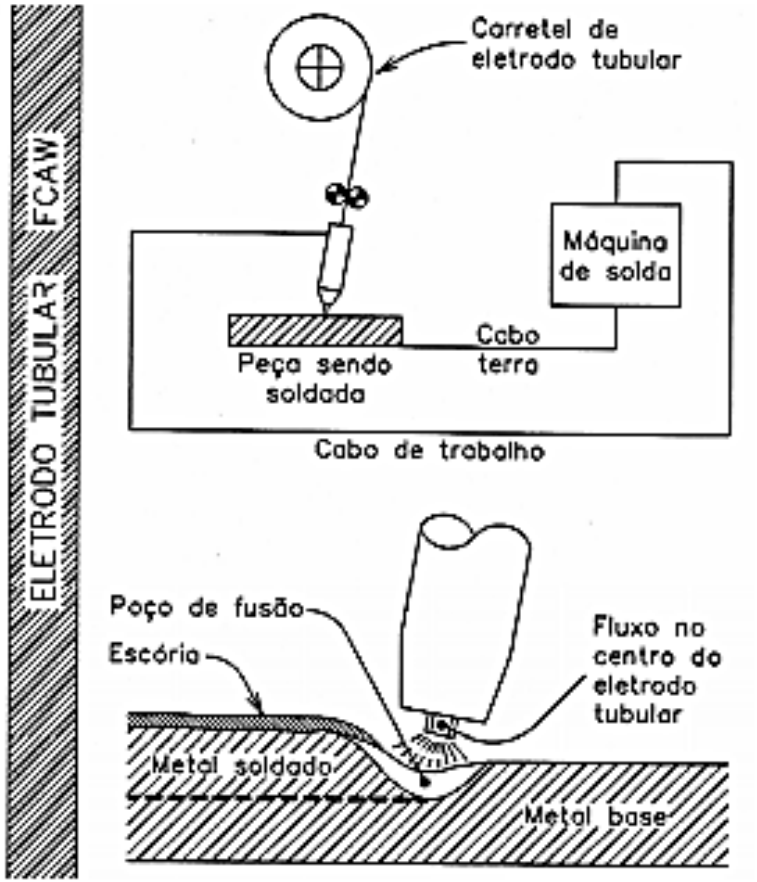






➢ **GMAW**
(Gas Metal Arc Welding)

Processos de Soldagem (4)





➢ **FCAW**
(**F**lux **C**ored **A**rc **W**elding)

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 norma ASTM por expressões do tipo **EXX YW**, sendo:

E	Eletrodo
XX	**resistência à ruptura da solda por tração – fw – em ksi**
Y	**nº que se refere à posição da solda (1 - qualquer posição, 2 - somente posição horizontal)**
W	**nº que indica o tipo de corrente e de revestimento do eletrodo.**

- Principais eletrodos empregados na indústria:
  - **E60 → fw = 60 ksi / 415 MPa**
  - **E70 → fw = 70 ksi / 485 MPa**

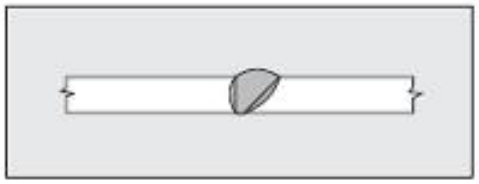
Principais Tipos de Solda conforme Morfologia (1)

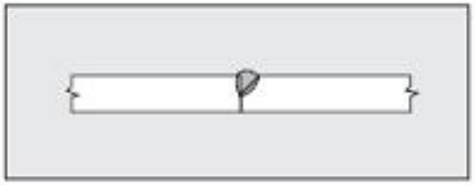
- Três os principais tipos de solda que são utilizados em estruturas metálicas:
  - **Solda por penetração ou entalhe:** Onde o elemento de solda, material do eletrodo, é depositado em uma ranhura entre os elementos a serem ligados;
  - **Solda de filete:** Onde o elemento de solda é depositado no contato entre os elementos a serem ligados;
  - **Solda de tampão ou rasgo:** Quando o material de solda é depositado em uma abertura ou rasgo de uma chapa alcançando o outro perfil no fundo da abertura.

Principais Tipos de Solda conforme Morfologia (2)

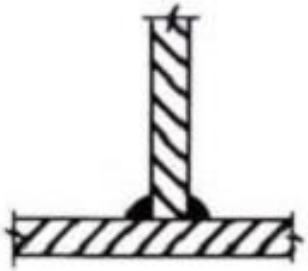
✓ **ENTALHE** (solda de chanfro) → Penetração total ou Parcial

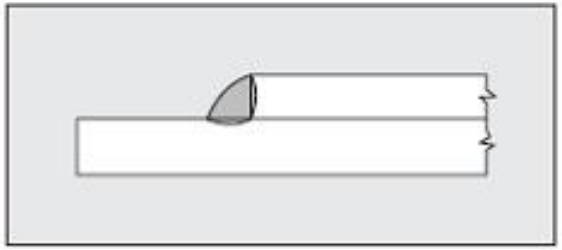






✓ **FILETE**

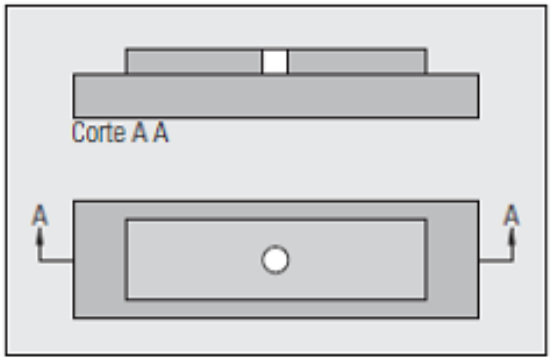




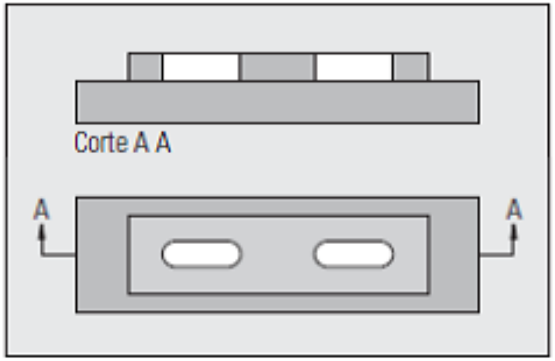
Principais Tipos de Solda conforme Morfologia (3)

✓ **TAMPÃO**

❖ **Em furos**



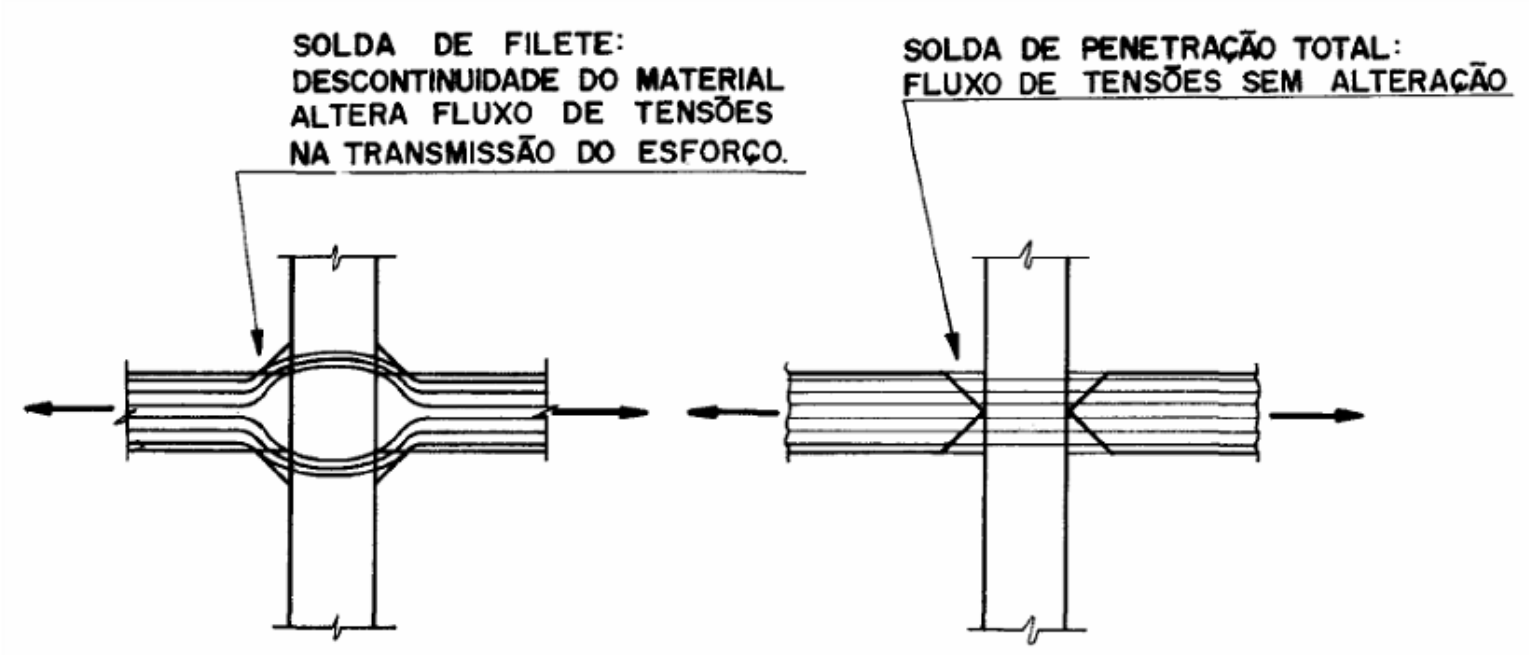
❖ **Em rasgos**



Principais Tipos de Solda conforme Morfologia (4)

- A solda de penetração é de execução mais difícil por necessitar da execução de entalhes nas peças, mas seu comportamento é melhor quanto à tensões induzidas pelo processo de soldagem, tem melhor comportamento à fadiga, bem como possibilita um melhor acabamento da ligação.

- Contudo, como a solda de filete é de execução mais fácil, e de custo menor, ela é bem mais comum em obras correntes.

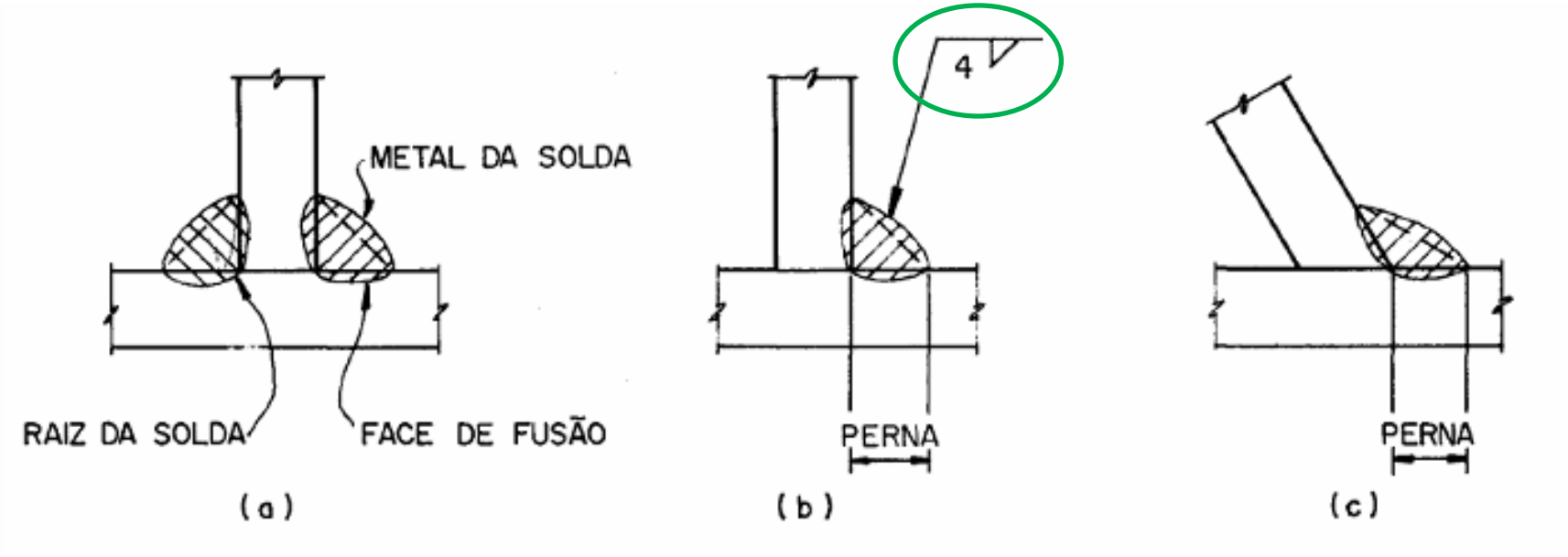


Universidade POSITIVO

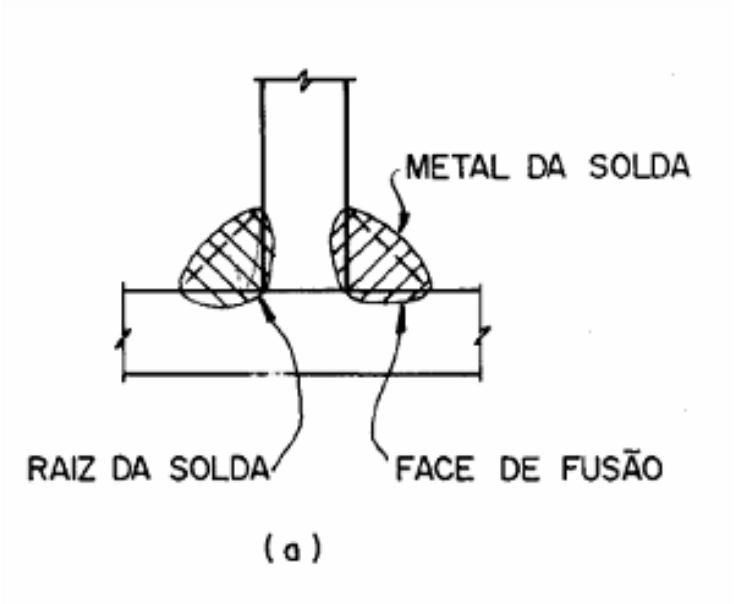
Aula 10 - Seção 2:
Definições para Soldas de Filete

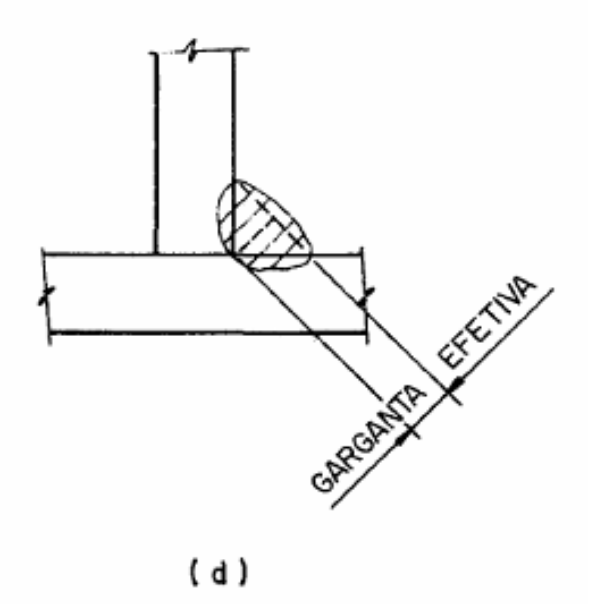
Solda de Filete (1)

- Uma vez que as soldas de filete são mais comuns, será estudada apenas esta alternativa no presente capítulo.
- A **"perna" do filete** (normalmente referida por **"dw"**), é a dimensão do lado do triângulo teórico da seção do filete de solda.
- ***Observar que a dimensão da perna de solda (em mm) é indicada na representação gráfica do filete***



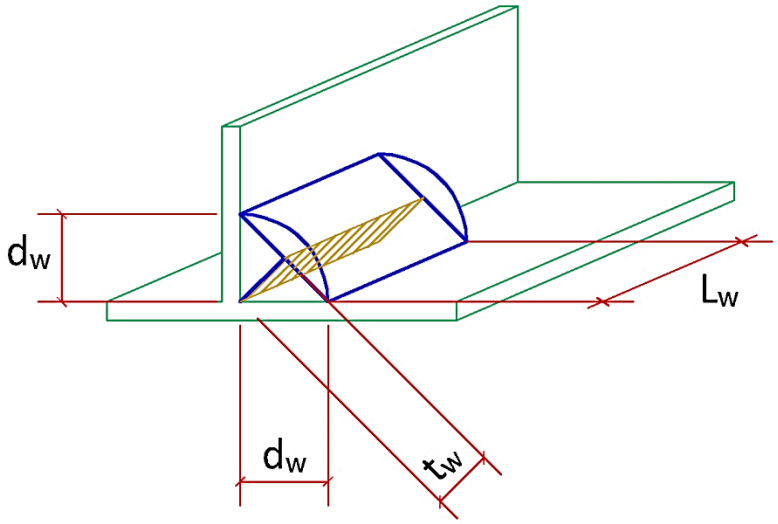
Solda de Filete (2)





- A face do filete de solda, em contato com uma das peças ligadas é a **face de fusão**.
- Enquanto a perna da solda é referida na representação gráfica da solda, a **"garganta efetiva"(t_w)** é a altura do triângulo teórico do filete de solda "e";

Área Efetiva de Solda (A_W) e Área do Metal Base (A_{MB})



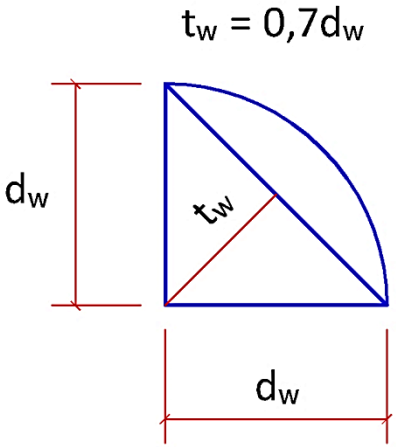
A_w - área efetiva de solda

t_w - garganta (efetiva)

L_w – comprimento da solda

L_{we} – comp. efetivo da solda

A_{MB} - área do metal base

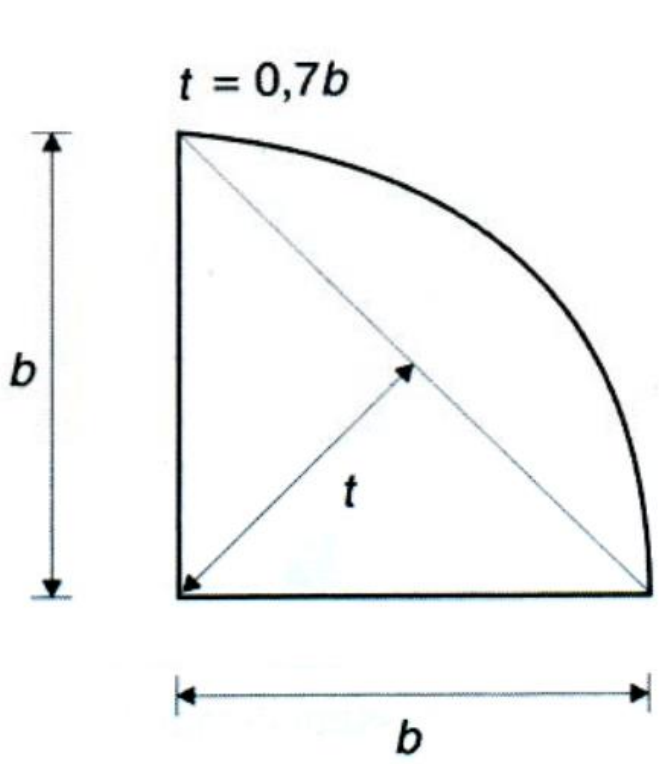


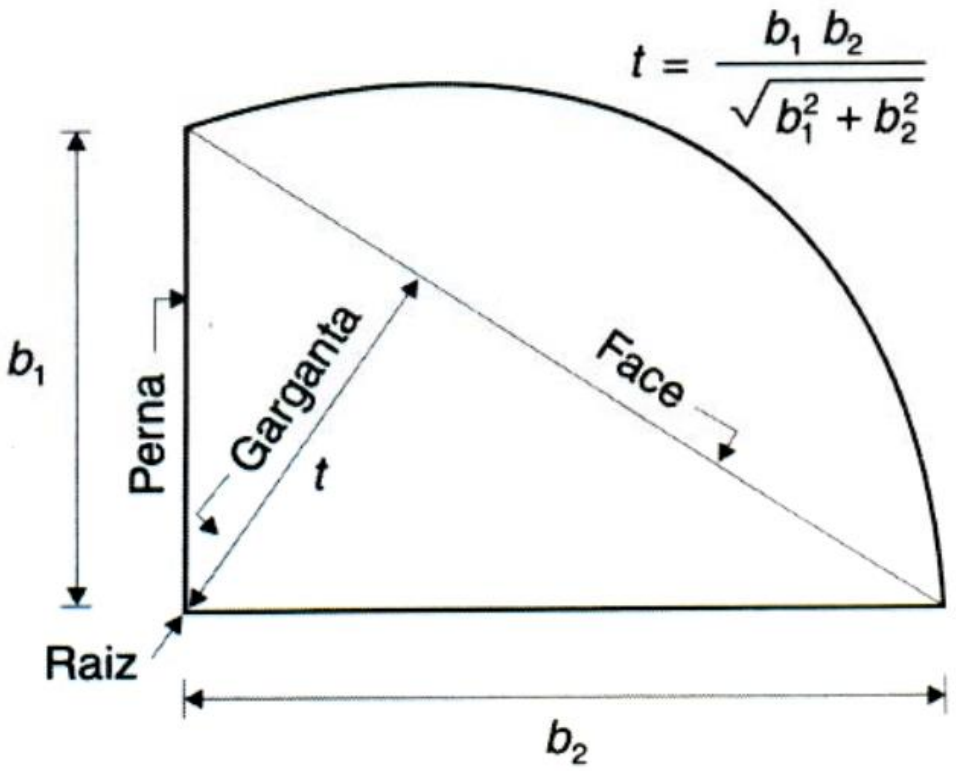
$$A_w = L_{we}.t_w$$

$$A_{MB} = L_{we}.d_w$$

$$t_w = 0,70.d_w$$

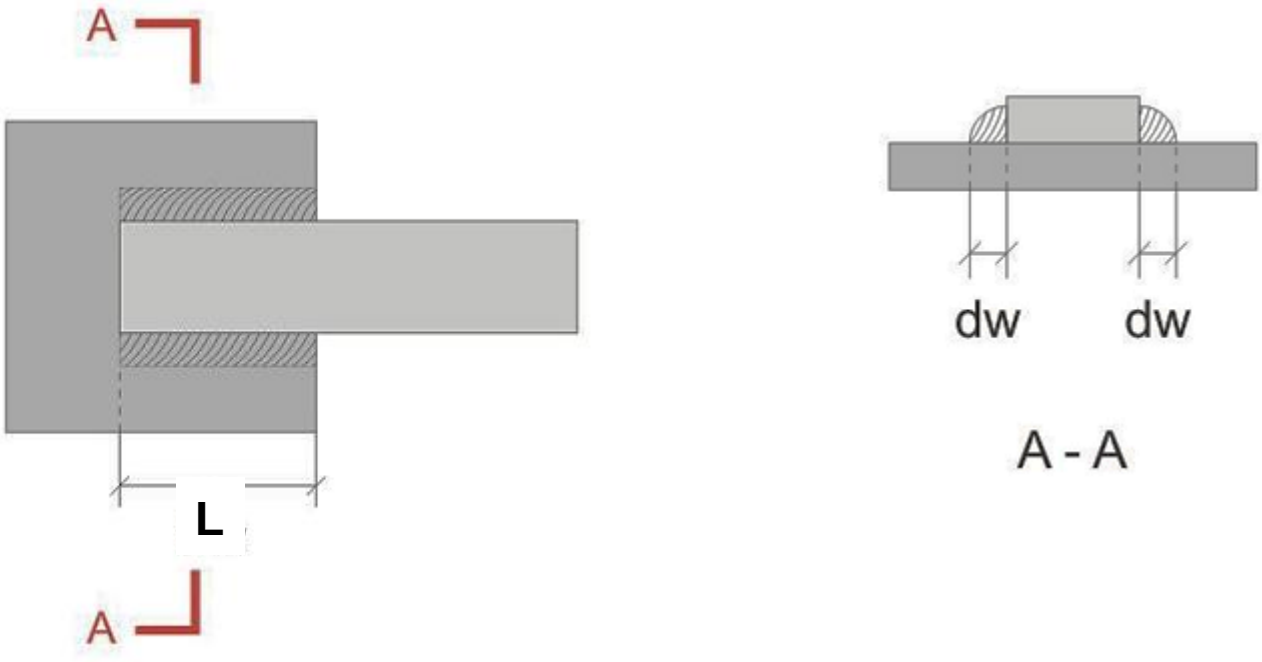
Garganta Efetiva para Pernas de Solda Desiguais





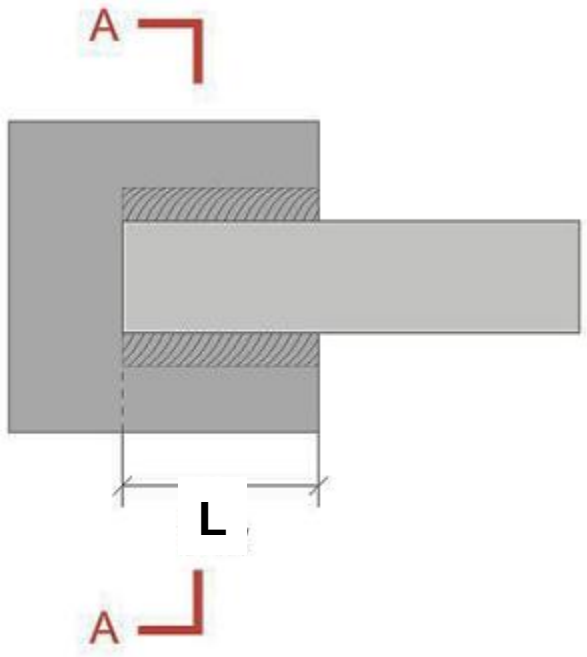
Comprimento Efetivo da Solda (L_{we}) (1)

- O comprimento efetivo da solda L_{we} é o comprimento total do filete de solda incluindo os retornos de extremidade, exceto no caso de filetes longitudinais de peças sob esforço axial como abaixo:



Comprimento Efetivo da Solda (L_{we}) (2)

- No caso abaixo vale a expressão:



$$L_{we} = \beta . Lw$$

$$\beta = 1,2 - 0,002 \frac{L_w}{d_w}$$

Sendo $0,6 \leq \beta \leq 1,0$

OBSERVAÇÃO:
O fator redutor β aplica-se somente a soldas longas com $L_w > 100\ d_w$

Garganta Efetiva da Solda (t_{we})

- A **garganta efetiva da solda (t_{we})** é a própria **garganta da solda (t_w)** exceto para soldas de filete com pernas ortogonais executadas pelo processo de arco submerso:

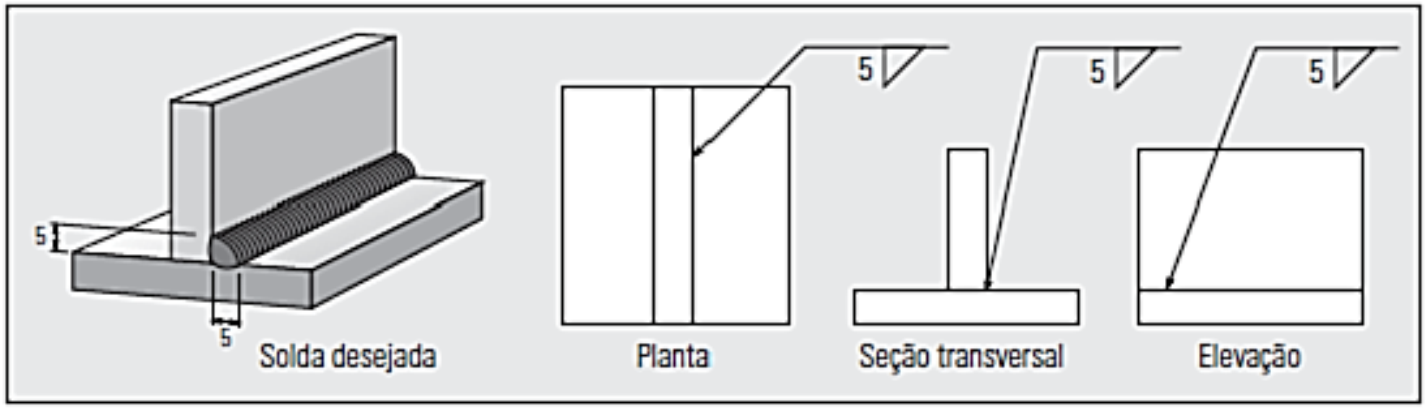
$$t_{we} = d_w \quad \text{se} \quad d_w <= 10mm$$

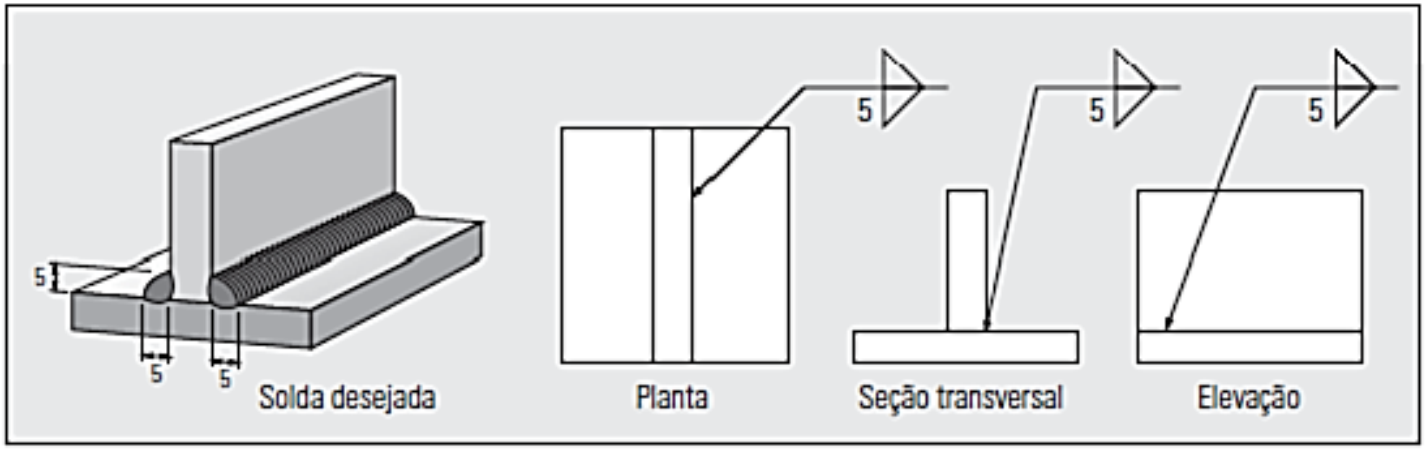
$$t_{we} = d_w + 3mm \quad \text{se} \quad d_w > 10mm$$

Universidade POSITIVO

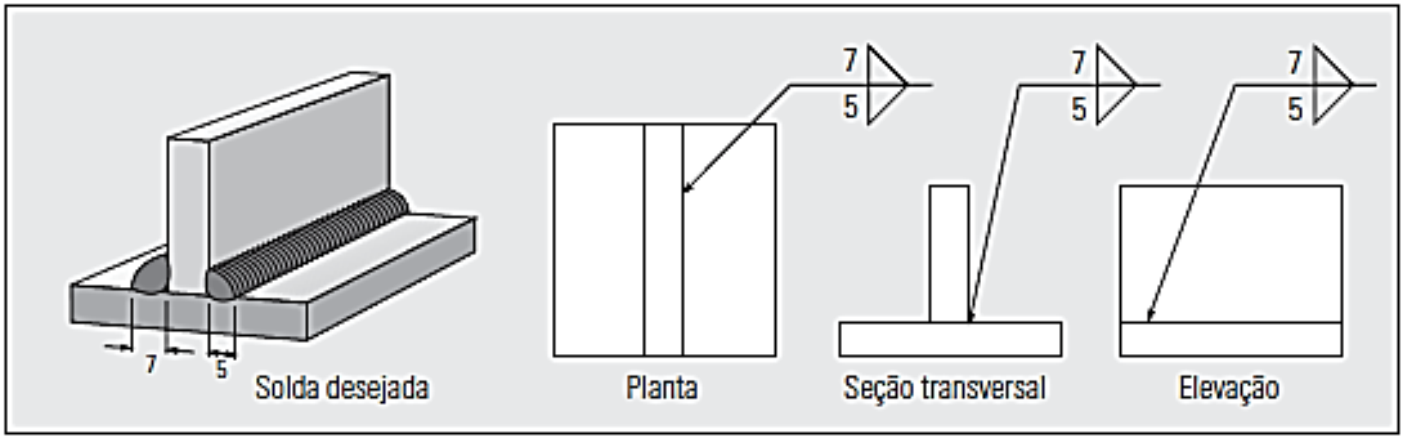
Aula 10 - Seção 3:
Simbologia e Dimensionamento de Soldas de Filete

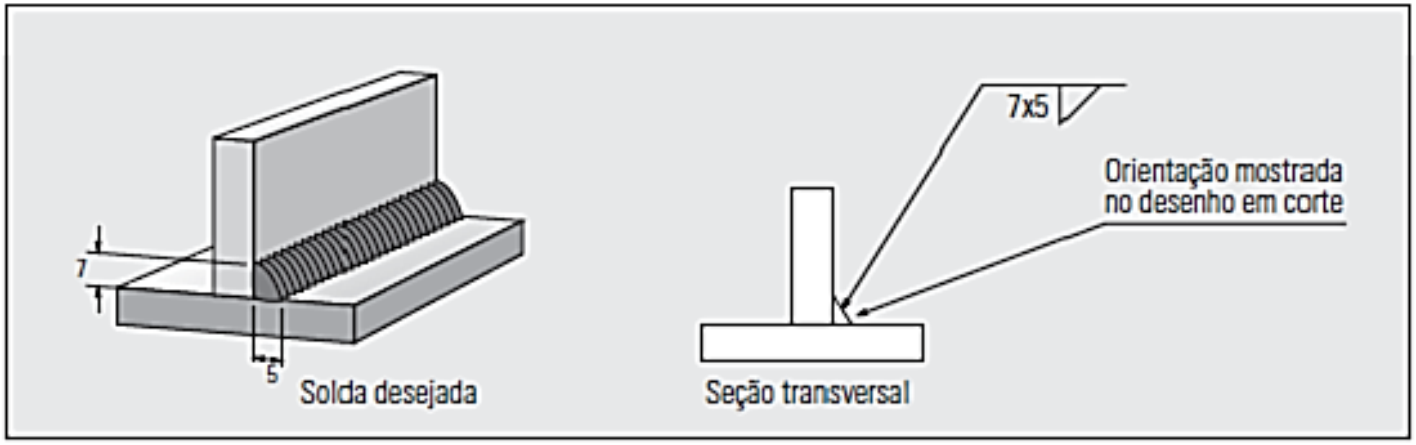
Simbologia de Soldas de Filete (1)



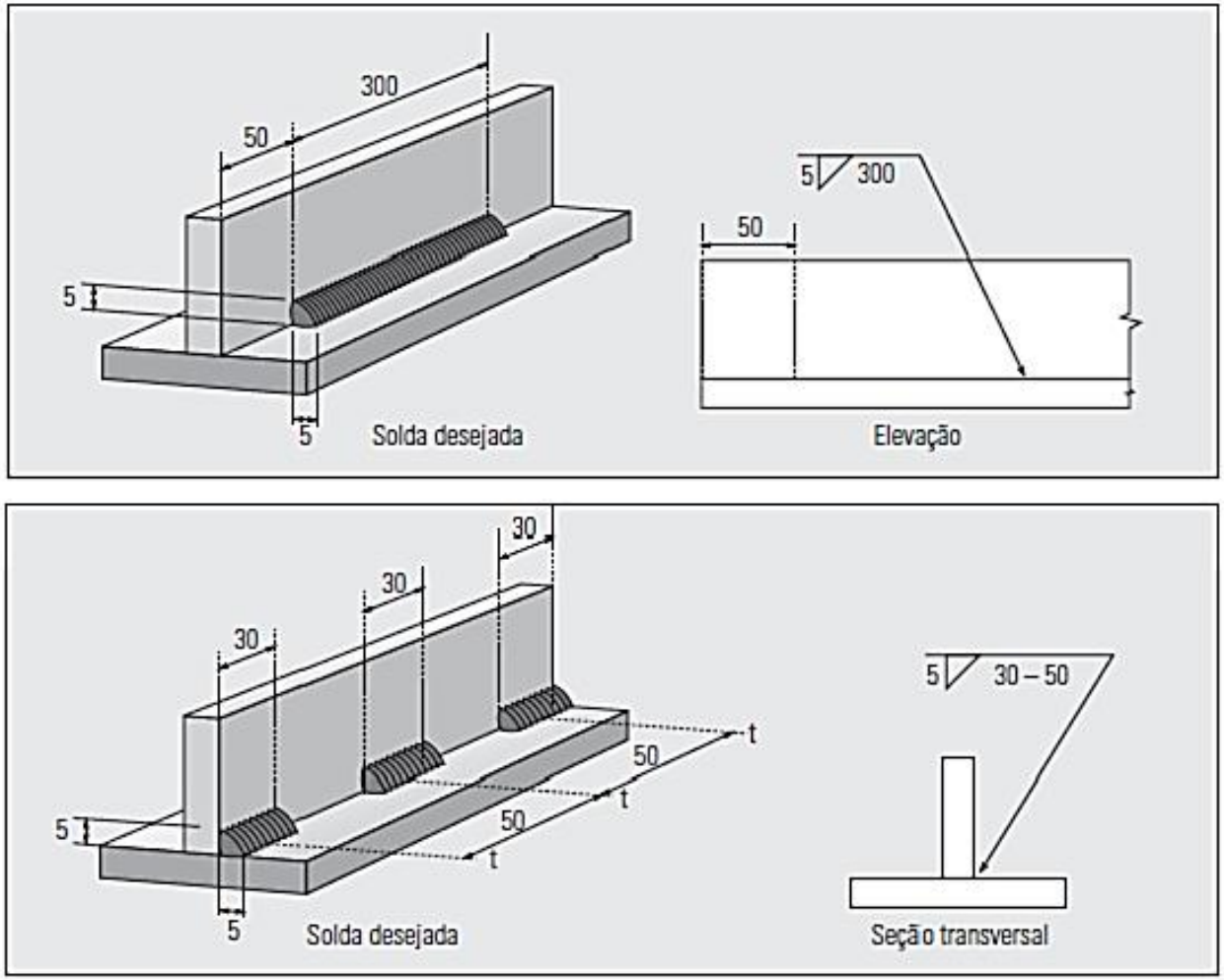


Simbologia de Soldas de Filete (2)





Simbologia de Soldas de Filete (3)



Simbologia de Soldas de Filete (4)

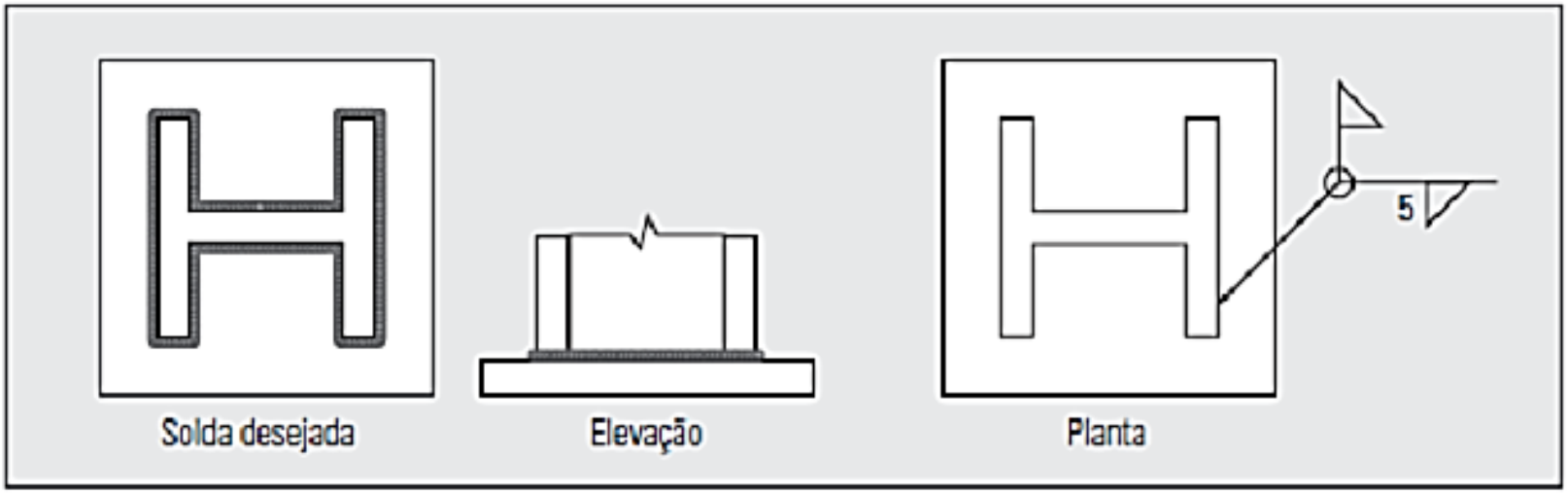


Tabela 9.7 — Símbolos suplementares da solda

Solda de campo	Solda de contorno	Espaçador	Contra chapa	Acabamento	
				Convexo	Faceado
		M	M		

Limites Dimensionais para Filetes (1)

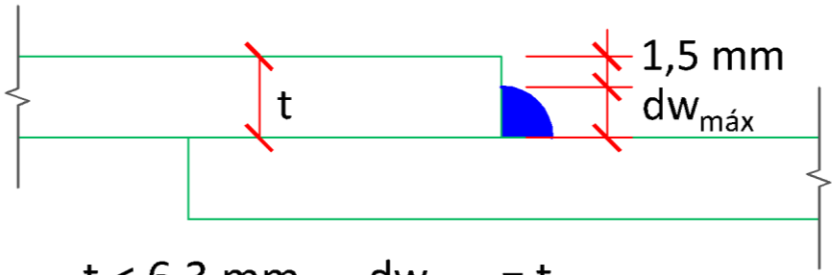
Dimensão Mínima de Perna de Solda de Filete

Menor espessura do metal na base da junta t (mm)	dw (mm)
t <= 6,35	3
6,35 < t <= 12,5	5
12,5 < t <=19	6
t > 19	8

Dimensão Máxima de Perna de Solda de Filete

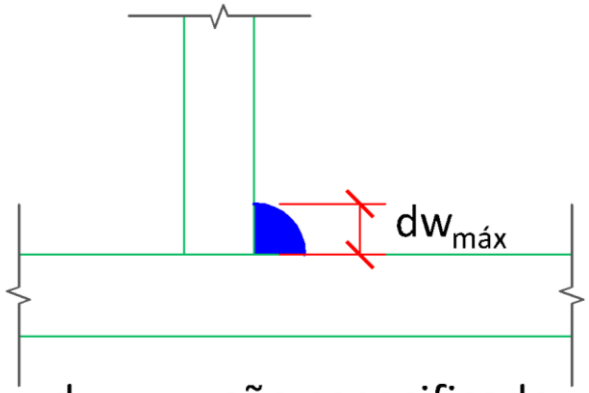
Espessura o material da borda t (mm)	dw (mm)
t < 6,35	t
t >= 6,35	t - 1,5

Limites Dimensionais para Filetes (2)



$t < 6{,}3$ mm $\quad dw_{máx} = t$

$t \geq 6{,}3$ mm $\quad dw_{máx} = t - 1{,}5$ mm



$dw_{máx}$ = não especificado

Cada cordão de solda deve ainda respeitar os seguintes limites:

$$L_w \geq 4d_w$$

e

$$L_w \geq 40\ mm$$

Verificações do Dimensionamento de Soldas de Filete

- As duas condições básicas a serem verificadas na seção de uma ligação são:
  - **ruptura da solda;**
    - *Para efeito de resistência de cálculo do filete não precisam ser considerados esforços solicitantes de tração ou compressão atuando na direção paralela ao eixo longitudinal da solda.*
    - *Considera-se que que a transferência de esforços de uma chapa à outra se dá por* ***cisalhamento através da garganta de solda****.*
  - **escoamento / ruptura do metal base;**
    - *O metal base deve atender* ***aos estados limites de verificação de elementos de ligação*** *(iguais aos utilizados para ligações parafusadas)*

Ruptura da Solda

- **Força resistente do metal da solda** (ao cisalhamento):

$$F_{Rd} = \frac{0,60 A_w f_w}{\gamma_{w2}}$$

Aw – área efetiva de solda;

fw – limite de resistência à tração do metal de solda

γ_{w2} – 1,35 para combinações normais, especiais e de construção,
1,15 para combinações excepcionais.

Escoamento do Metal Base

- Força resistente ao **escoamento** de elementos submetidos a ***tensões de tração ou compressão***:
  (NBR 8800 / 2008 - 6.5.3 e 6.5.4)

$$F_{Rd} = \frac{A_{MB} f_y}{\gamma_{a1}}$$

- Força resistente ao **escoamento** de elementos submetidos a ***tensões de cisalhamento***:
  (NBR 8800 / 2008 - 6.5.5)

$$F_{Rd} = \frac{0,60 A_{MB} f_y}{\gamma_{a1}}$$

A_{MB} – área do metal base;
fy – limite de escoamento do metal base;
γ_{a1} – 1,10 (estado limite de escoamento de peças metálicas);

Ruptura do Metal Base

- Força resistente à **ruptura** de elementos submetidos a ***tensões de tração ou compressão***:
  (NBR 8800 / 2008 - 6.5.3 e 6.5.4)

$$F_{Rd} = \frac{A_{MB} f_u}{\gamma_{a2}}$$

- Força resistente à **ruptura** de elementos submetidos a ***tensões de cisalhamento***:
  (NBR 8800 / 2008 - 6.5.5)

$$F_{Rd} = \frac{0,60 A_{MB} f_u}{\gamma_{a2}}$$

A_{MB} – área do metal base;
fu – limite de ruptura do metal base;
γ_{a2} – 1,35 (estado limite de ruptura de peças metálicas)

Cisalhamento de Bloco

- Mesma formulação já estudada em peças tracionadas:

$$\mathbf{R_{dt}} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{\gamma}_{\mathbf{a2}}}\left(\mathbf{0,60.f}_{u}\,\mathbf{A_{nv}} + \mathbf{C}_{ts}\mathbf{.f}_{u}\,\mathbf{A_{nt}}\right) \leq \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{\gamma}_{\mathbf{a2}}}\left(\mathbf{0,60.f}_{y}\,\mathbf{A_{gv}} + \mathbf{C}_{ts}\mathbf{.f}_{u}\,\mathbf{A_{nt}}\right)$$

- *onde:*
  - $\mathbf{0,60}.f_u$ – ***tensão de ruptura a cislhamento do aço;***
  - $\mathbf{0,60}.f_y$ – ***tensão de escoamento a cislhamento do aço;***
  - A_{nv} – ***área líquida cisalhada;***
  - A_{gv} – ***área bruta cisalhada;***
  - A_{nt} – ***área líquida tracionada;***
  - C_{ts} – ***1,0 quando a tensão de tração na área A_{nt} é uniforme e 0,5 quando a tensão não for uniforme***

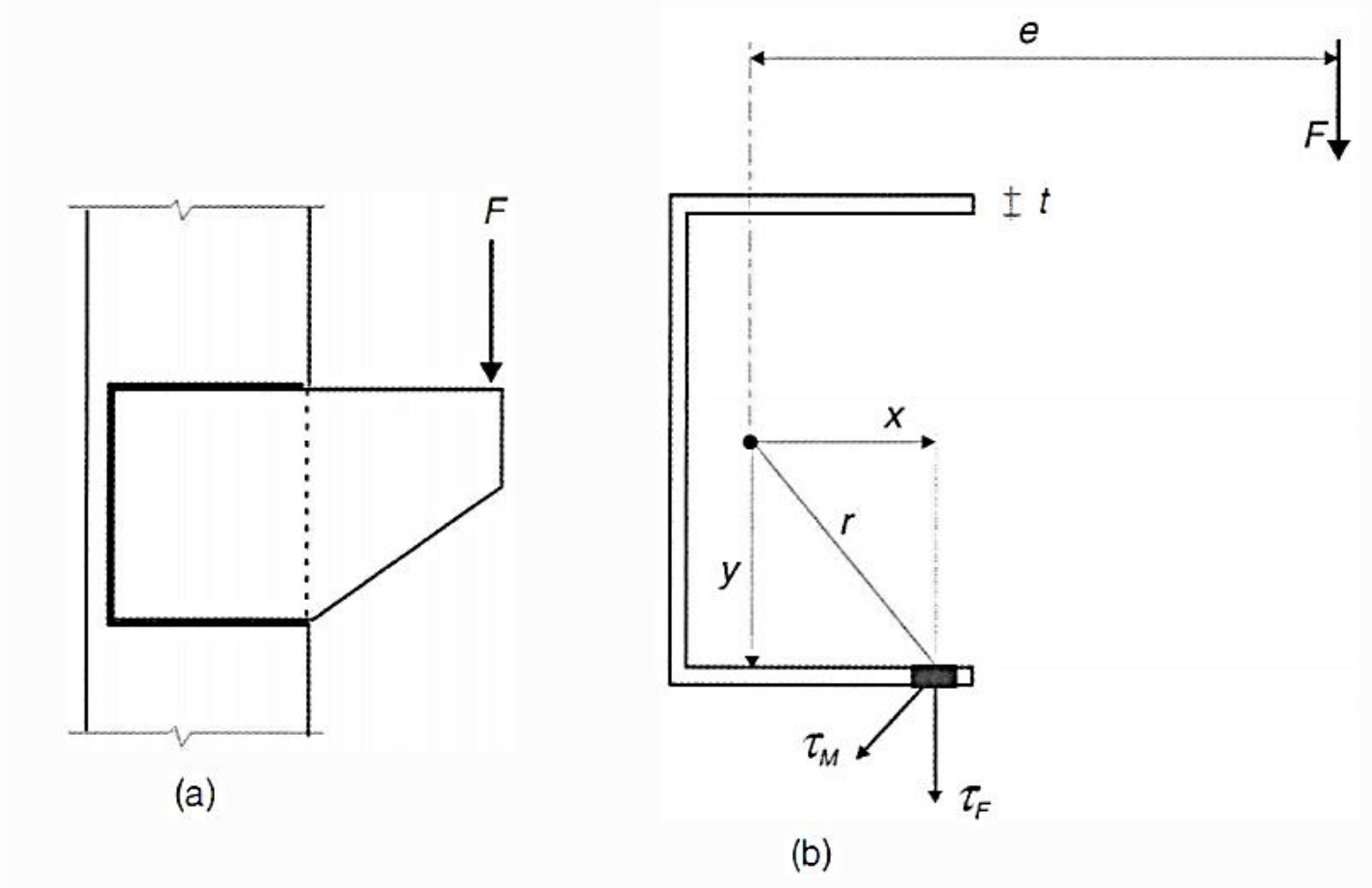
Cisalhamento de Bloco do Metal Base em Lig. Soldadas

- *Em ligações soldadas:*
  - ***$A_{nv} = A_{gv}$ – área líquida cisalhada igual à área bruta cisalhada;***

$$R_{dt} = \frac{1}{\gamma_{a2}}\left(0,60.f_u\,A_{gv} + C_{ts}.f_u\,A_{nt}\right) \leq \frac{1}{\gamma_{a2}}\left(0,60.f_y\,A_{gv} + C_{ts}.f_u\,A_{nt}\right)$$

$$R_{dt} = \frac{1}{\gamma_{a2}}\left(0,60.f_y\,A_{gv} + C_{ts}.f_u\,A_{nt}\right)$$

Distribuição de Esforços em Ligação Excêntrica por Corte (1)



Distribuição de Esforços em Ligação Excêntrica por Corte (2)

- Esforços por unidade de comprimento em solda de filete ($f = F/L_w$)
- **Devido ao corte axial têm-se (Q):**

$$f_Q = \frac{F}{\sum L_w}$$

- **Devido ao momento (M):**

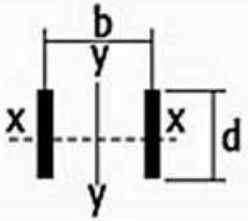
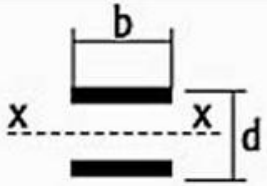
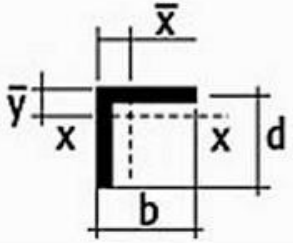
$$f_{MX} = \frac{M}{I_p(t=1)} y$$

$$f_{MY} = \frac{M}{I_p(t=1)} x$$

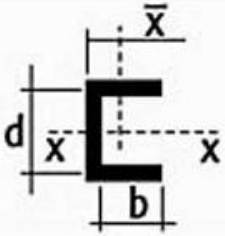
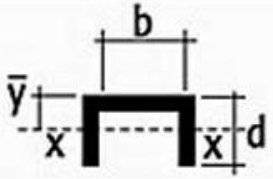
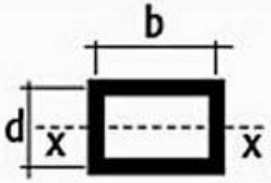
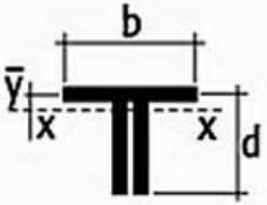
Sendo:

r - distância do ponto de solda considerado ao C.G. dos filetes de solda;
L_w - comprimento do filete de solda;
Ip (t=1) – momento de inércia polar da solda para t_{we}=1;

Propriedades Geométricas dos Filetes de Solda (1)

Seção b = largura d = altura	Seção modular $I_x/\bar{y}$ (cm²)	Momento de inércia polar em relação ao centro de gravidade
	$W = \frac{d^2}{6}$	$I_p = \frac{d^3}{12}$
	$W = \frac{d^2}{3}$	$I_p = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
	$W = bd$	$I_p = \frac{b(3d^2 + b^2)}{6}$
 $\bar{x} = \frac{b^2}{2(b+d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b+d)}$	$W = \frac{4bd + d^2}{6}$	$I_p = \frac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$

Propriedades Geométricas dos Filetes de Solda (2)

Seção b = largura d = altura	Seção modular $I_x/\bar{y}$ (cm²)	Momento de inércia polar em relação ao centro de gravidade
 $\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$	$W = bd + \frac{d^2}{6}$	$I_p = \frac{(2b+d)^3}{12} - \frac{b^2(b+d)^2}{2b+d}$
 $\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$W = \frac{2bd+d^2}{3}$	$I_p = \frac{(b+2d)^3}{12} - \frac{d^2(b+d)^2}{2d+b}$
	$W = bd + \frac{d^2}{3}$	$I_p = \frac{(b+d)^3}{6}$
 $\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$W = \frac{2bd+d^2}{3}$	$I_p = \frac{(b+2d)^3}{12} - \frac{d^2(b+d)^2}{(b+2d)}$

FIM

Exercício 10.1

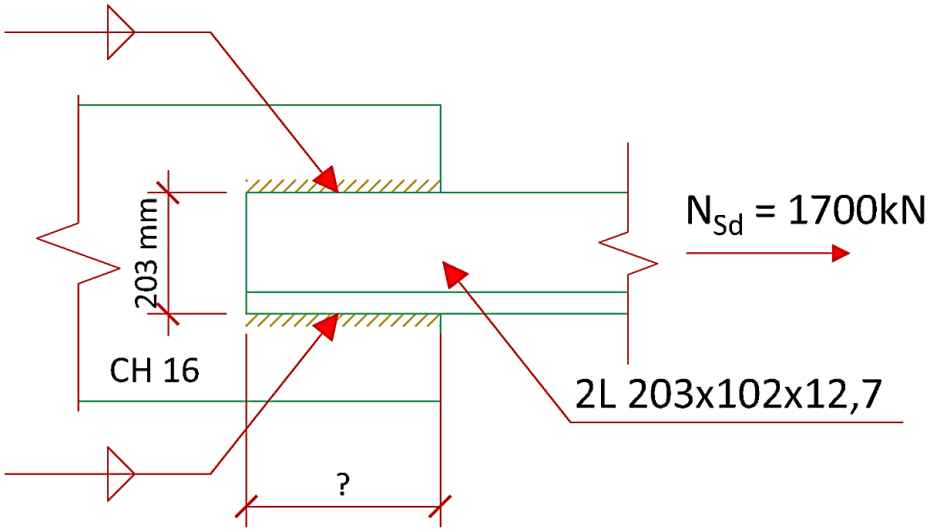
- A figura abaixo representa a ligação entre **dois perfis L e uma chapa**. **Dimensione os filetes de solda** de modo que a ligação resista uma força de tração em valor de cálculo de **1700kN**.

- Dados:

  - Aço MR250;

  - Eletrodo E70XX (fw = 48,5kN/cm²)

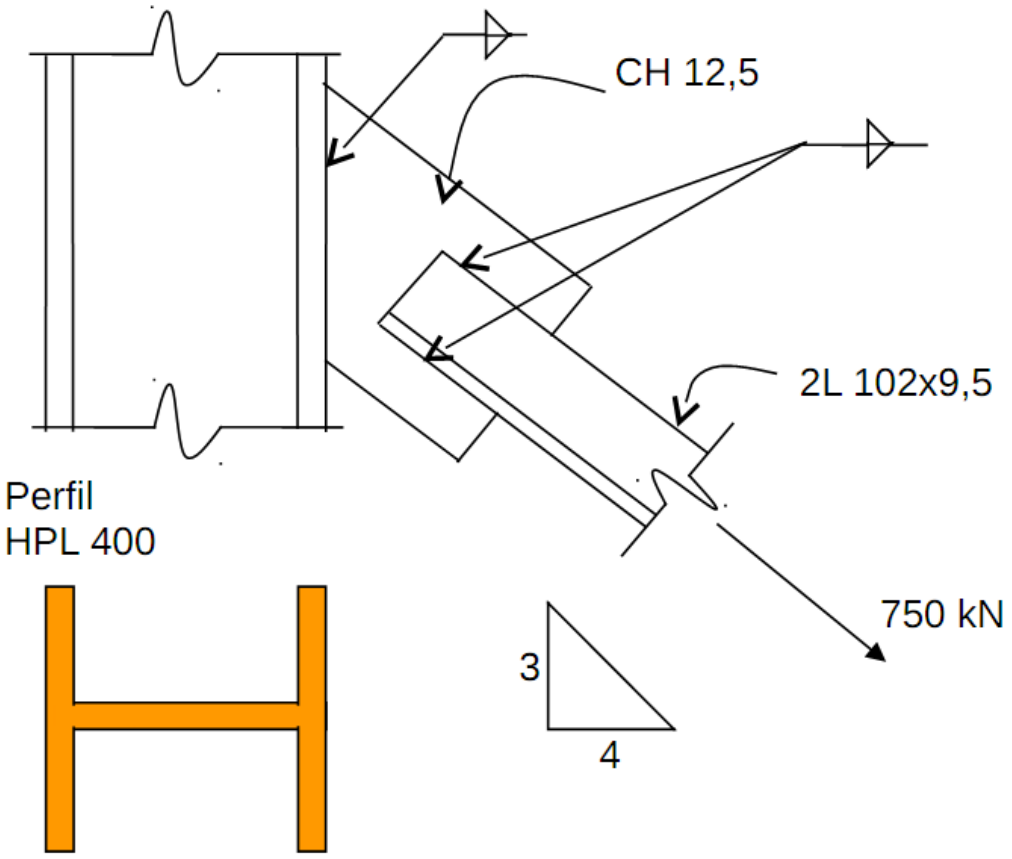
  - OBS: desprezar a excentricidade da solicitação e utilizar a menor perna de solda possível.



Exercício 10.2

- **Dimensionar as soldas** da chapa de ligação (gusset) de espessura 12,5 mm, com a mesa do perfil HPL representado na figura.

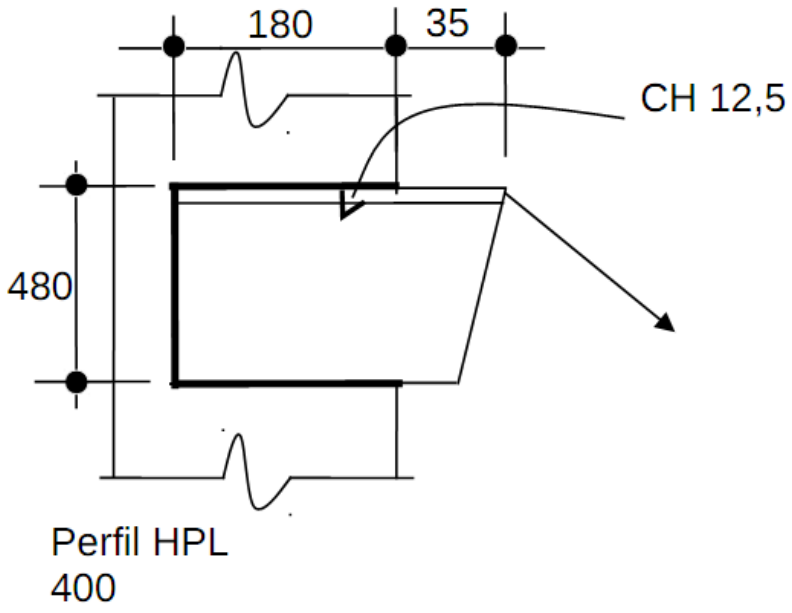
- **Aço ASTM A36;**
- **Eletrodo E70XX (fw = 48,5kN/cm²)**
- **O perfil HPL tem tf = 19 mm**

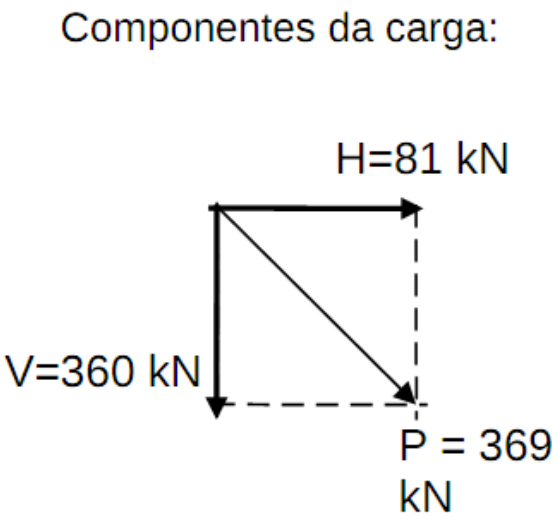


Exercício 10.3

- **Calcular a dimensão necessária para o filete de solda** representado de modo esquemático na figura abaixo.

- **Aço ASTM A36;** - **Eletrodo E70XX (fw = 48,5kN/cm²)**

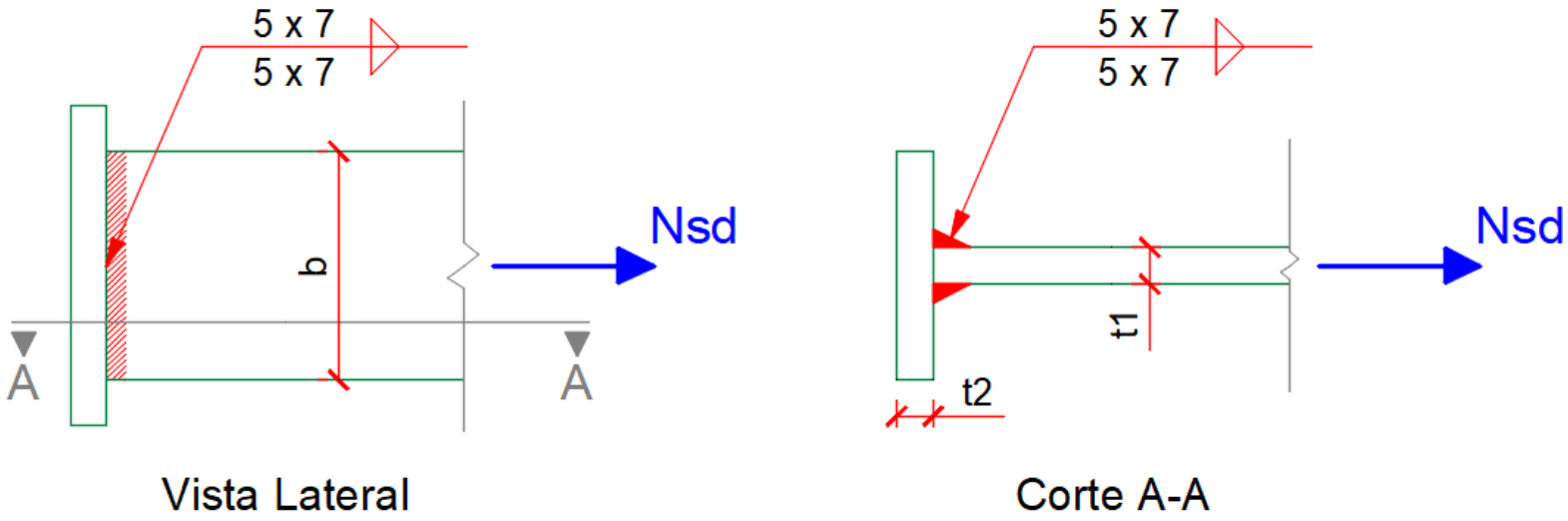




Exercício 10.4

- Considerando o detalhe de ligação soldada esboçado, calcule a **máxima solicitação Nsd possível de ser aplicada** de modo que as **verificações pertinentes aos filetes de solda sejam atendidas**.

- Dados:
  - **Aço AR415;**
  - **Eletrodo E70XX (fw = 48,5kN/cm²)**
  - **t1 = t2 = 10 mm**



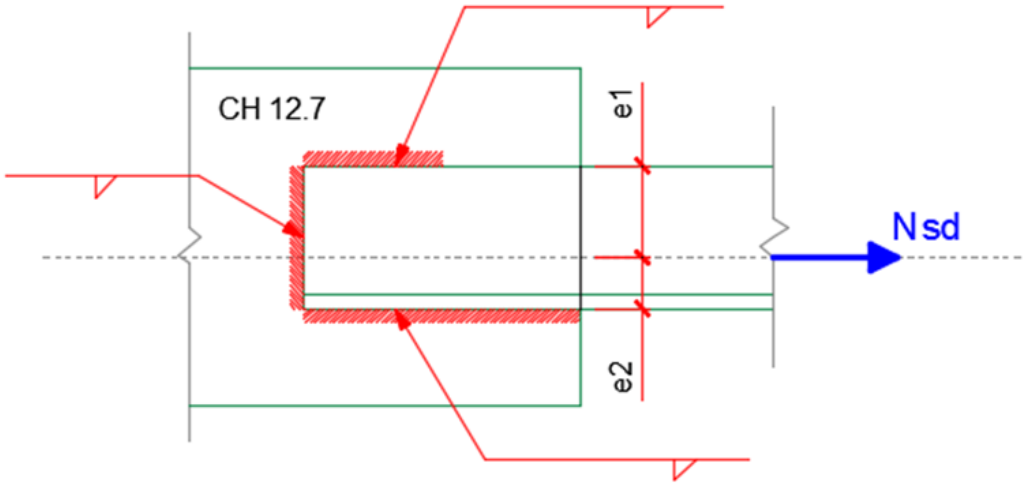
Exercício 10.5

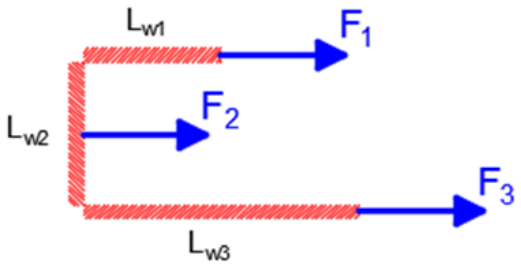
- Calcular a ligação com **solda de filetes de comprimentos diferentes** no **perfil L 127 x 12,7 mm** submetido à tração axial conforme abaixo. Desprezar a verificação de colapso por rasgamento (cisalhamento de bloco).

  Dados:

  - Aço MR250 **- Nsd = 195kN**

  - Eletrodo E70XX **- e1 = 90,7 mm / e2 = 36,2 mm**





Exercício 10.6

- Verificar a ligação soldada para o esforço aplicado.

  Dados:
  - Aço MR250
  - Eletrodo E60XX (fw = 48,5kN/cm²)
  - Nsd = 70 kN (valor de cálculo)
  - b = 250 mm
  - t = 12,5 mm
  - e = 100 mm

