

Ligações Soldadas



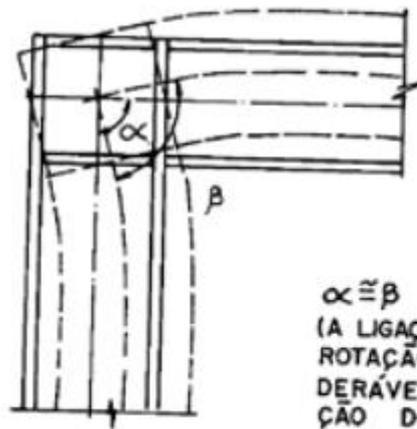
Ligações Metálicas



Rigidez das ligações

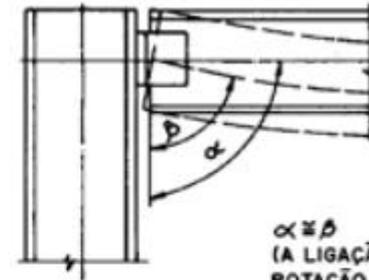


Rigidez das ligações



$\alpha \cong \beta$
(A LIGAÇÃO NÃO APRESENTA
ROTAÇÃO RELATIVA CONSI-
DERÁVEL APÓS A APLICA-
ÇÃO DO CARREGAMENTO
NA ESTRUTURA).

(a) LIGAÇÃO RÍGIDA



$\alpha \neq \beta$
(A LIGAÇÃO APRESENTA
ROTAÇÃO RELATIVA A-
PRECIÁVEL APÓS APLICA-
ÇÃO DO CARREGAMENTO
NA ESTRUTURA).

(b) LIGAÇÃO FLEXÍVEL

Fig. 13- Ligações Rígida e Flexível

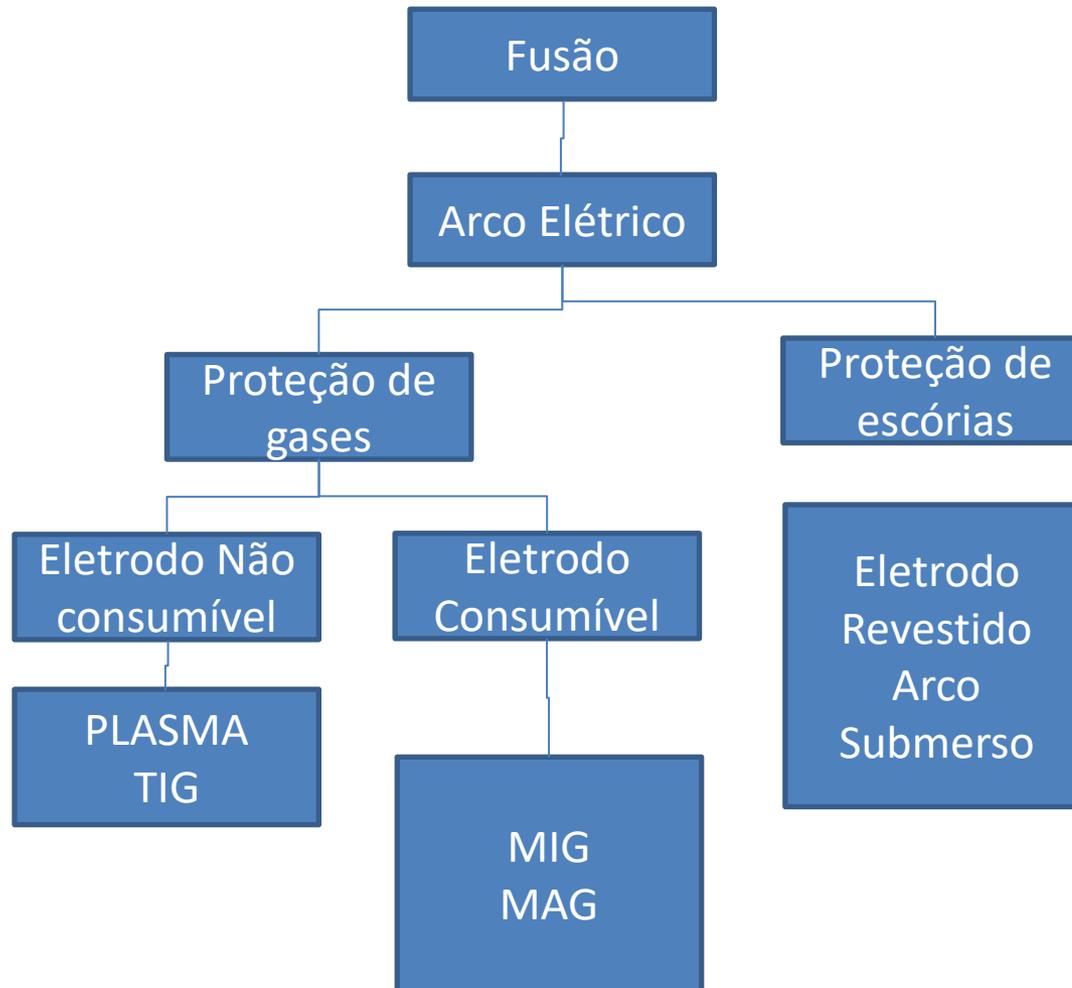
Ligações Soldadas



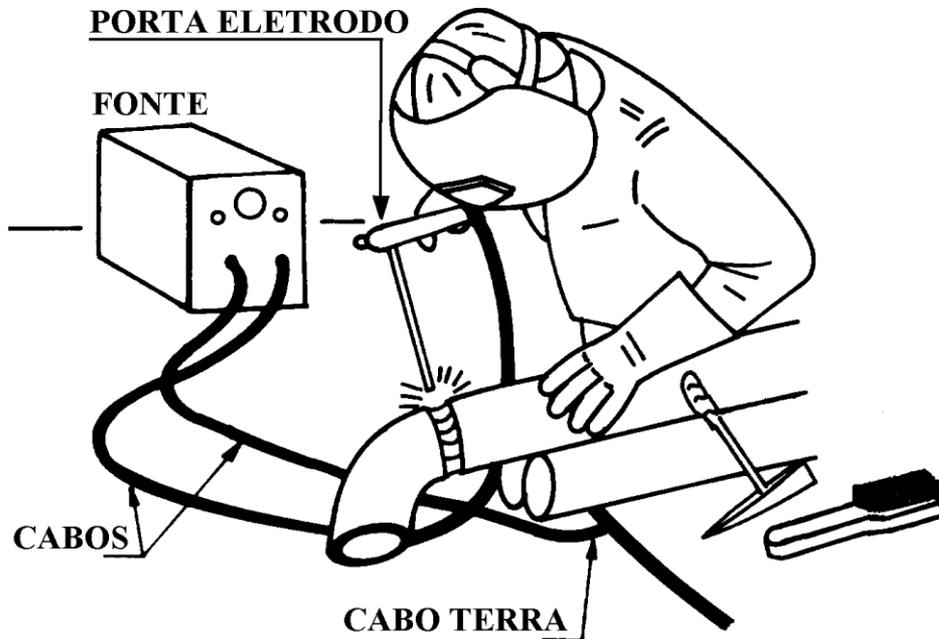
Ligações Soldadas

Soldagem é a união entre duas partes metálicas usando uma **fonte de calor**, com ou sem aplicação de pressão.

Ligações Soldadas



Soldagem por Eletrodo Revestido



SMAW: Shielded Metal Arc Welding



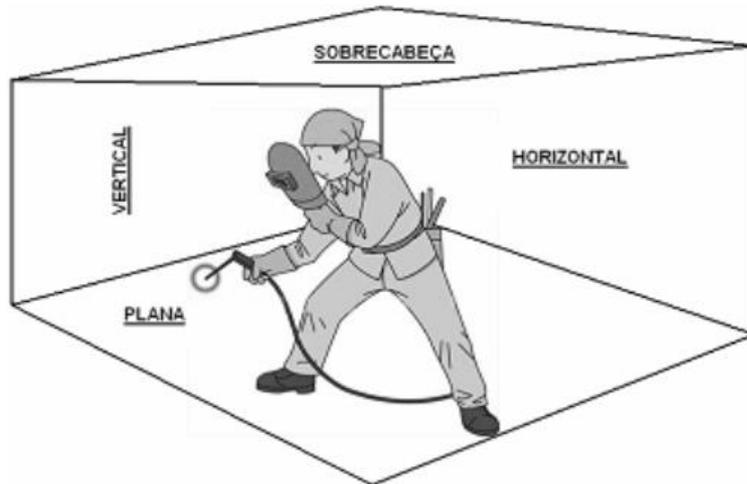
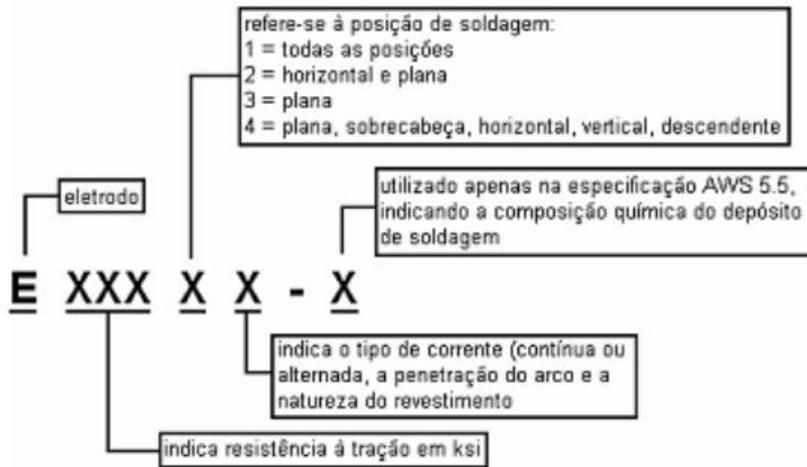


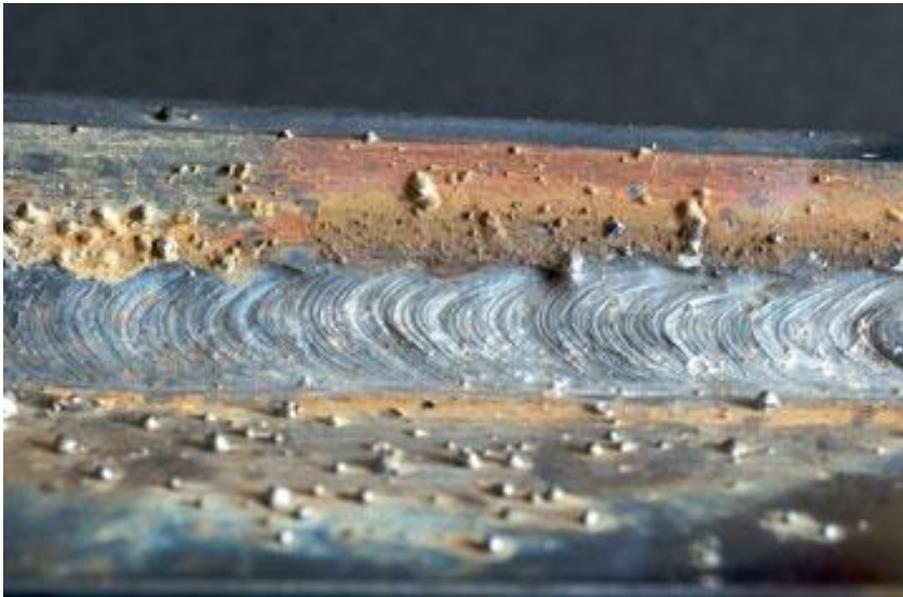
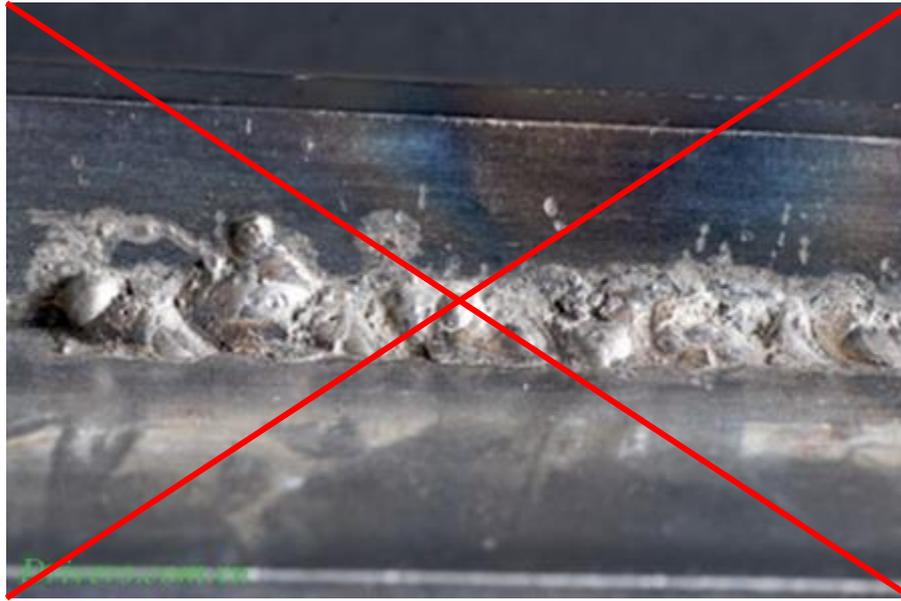
Figura 7 – Posições de soldagem e designação de eletrodos.

E 60 13

- Eletrodo Revestido
- Resistência À ruptura por tração de 60ksi (41,5 kN/cm²)
- Permite soldagem em todas as posições
- Revestimento rutílico com silicato de potássio. Recomendado para chapas finas

E 70 18

- Eletrodo Revestido
- Resistência À ruptura por tração de 70ksi (48,5 kN/cm²)
- Permite soldagem em todas as posições
- Requer maior habilidade, uso onde propriedades mecânicas e qualidade da soldagem sejam essenciais, alta penetração de pó de ferro. Recomendado em estruturas metálicas em geral



Soldagem por eletrodo protegido por gases

GMAW: GAS Metal Arc Welding



Soldagem por eletrodo protegido por gases

MIG: METAL INERT GAS

Utiliza-se gases inertes para proteção da soldagem

MAG: METAL ACTIVE GAS

Utiliza-se gases ativos para proteção da soldagem

TIG: Tungsten Inert Gas

Utiliza-se um eletrodo de Tungstênio (não consumível) e um gás inerte na proteção da soldagem, além de um metal de adição

VANTAGENS DO GMAW

Não há formação de escórias

Penetração mais uniforme

Menor distorção e tensões residuais

Mais fácil (treinamento rápido)

Maior Produtividade

DESVANTAGENS DO GMAW

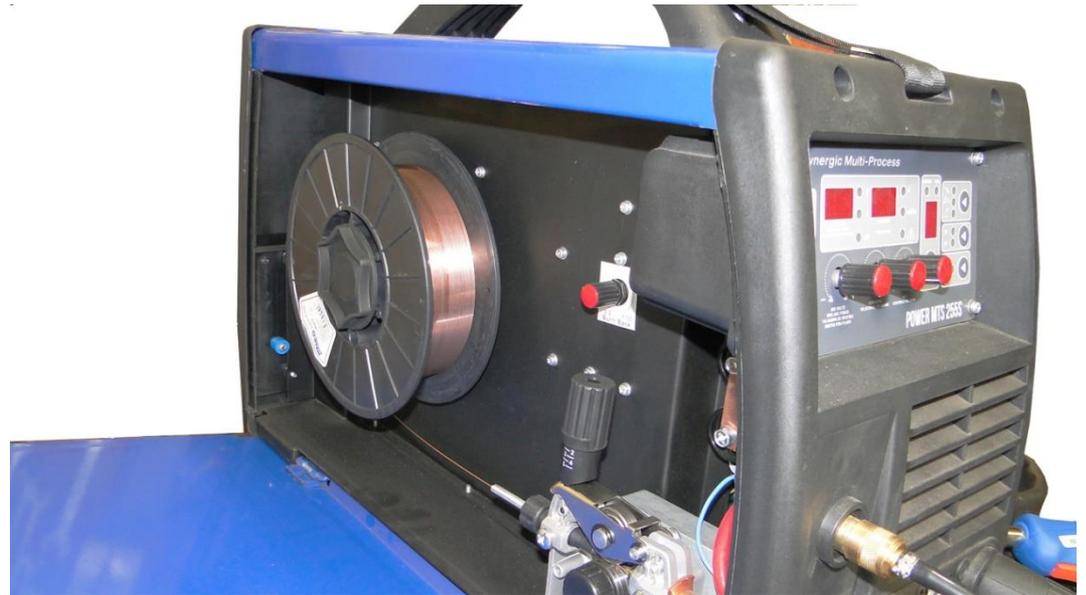
Necessita proteção contra o vento

Não acessa lugares mais estreitos (devido ao bocal do gás)

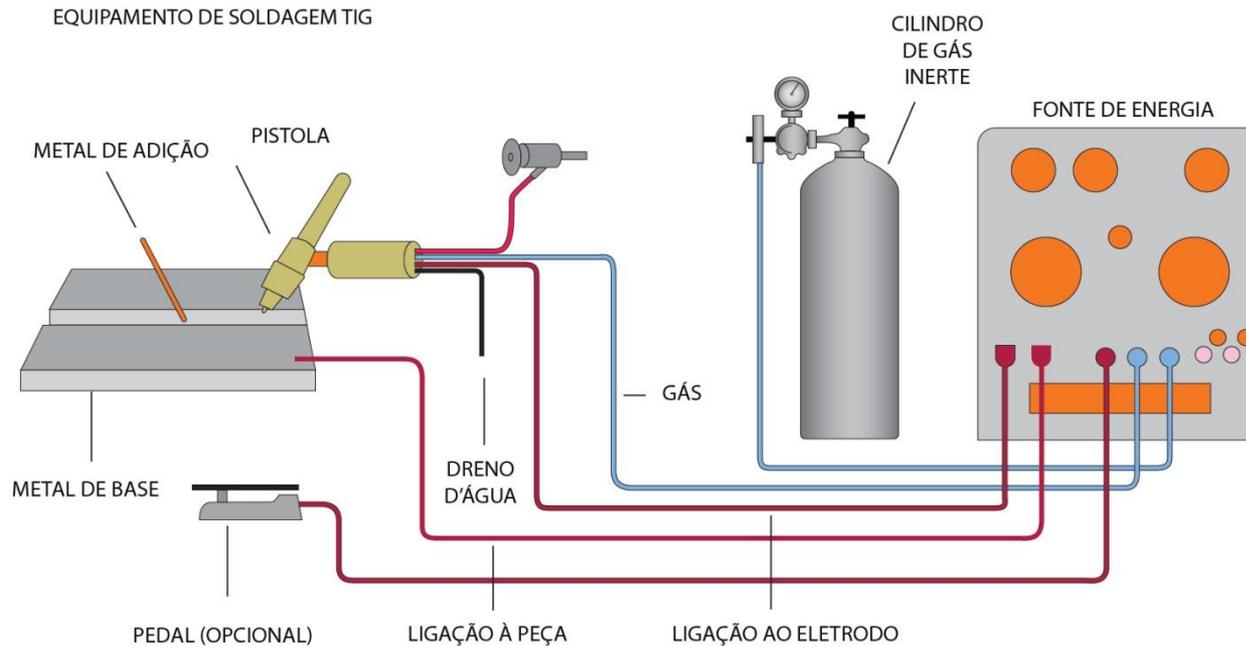
Equipamento grande

Custo do gás

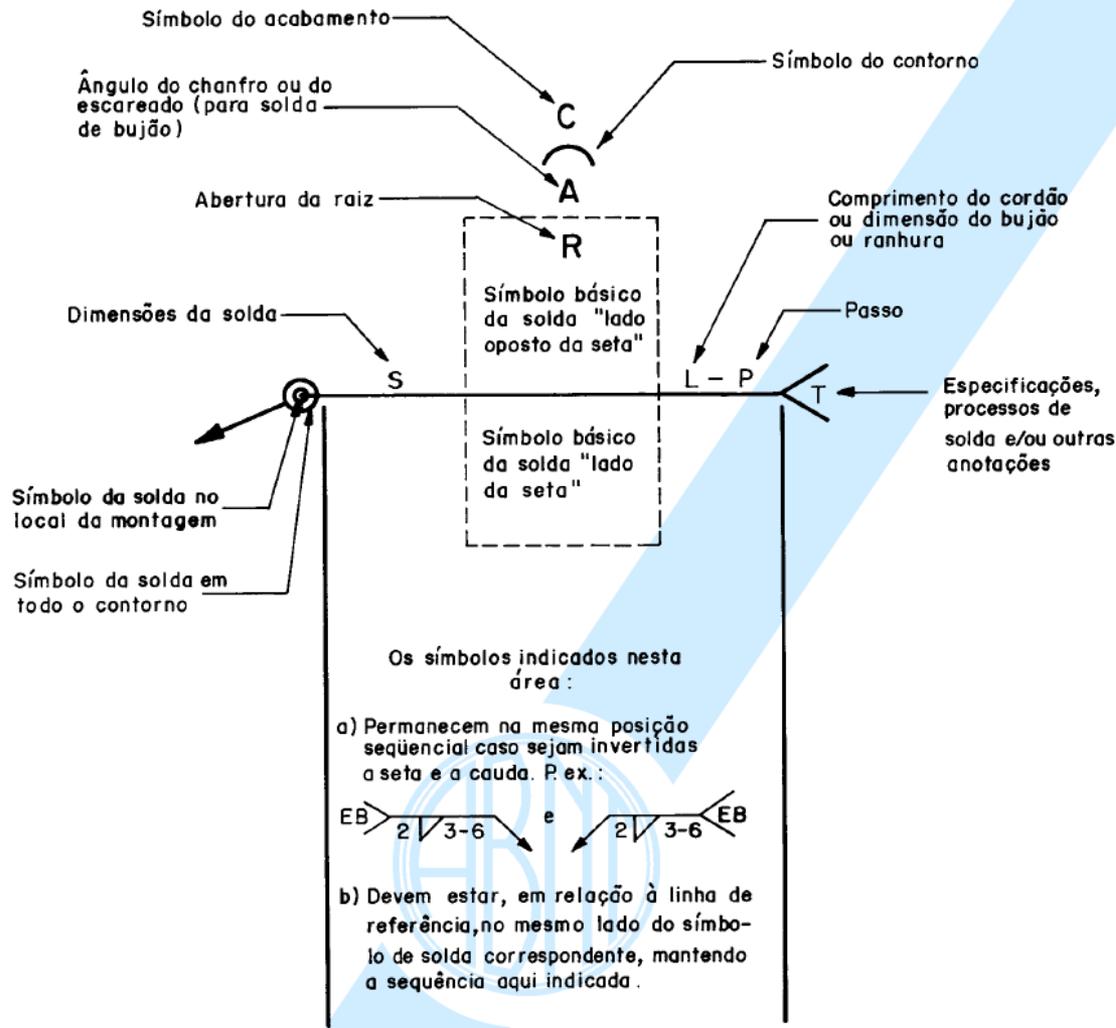
Equipamento MIG/MAG



Equipamento TIG

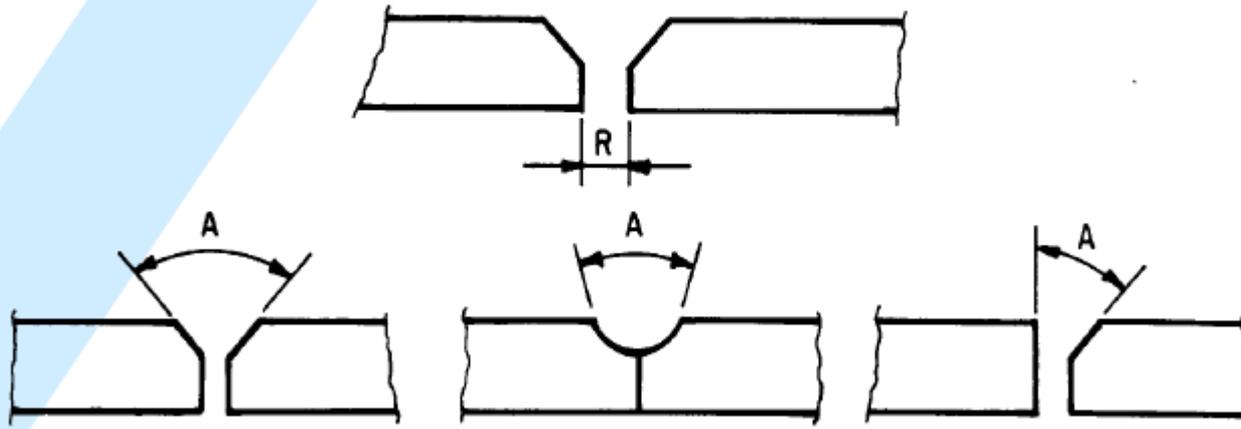


Símbolos de Soldagem



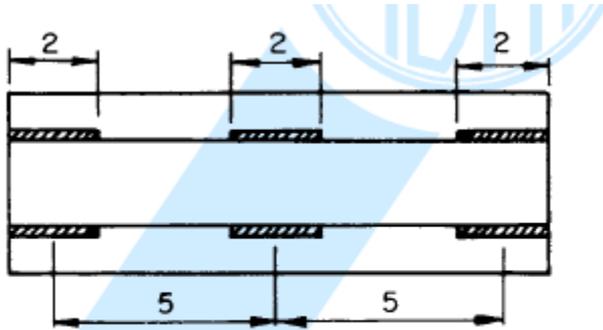
Símbolos de Soldagem

- a) passo - espaçamento centro a centro das soldas, quando descontinuas;
- b) abertura da raiz (R) - distância entre as peças a unir na raiz da junta;
- c) ângulo de chanfro - ângulo formado entre os dois planos das extremidades das peças que formam o sulco para solda.

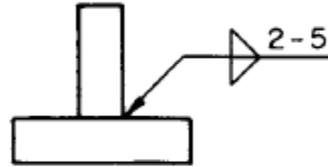


NBR 7165

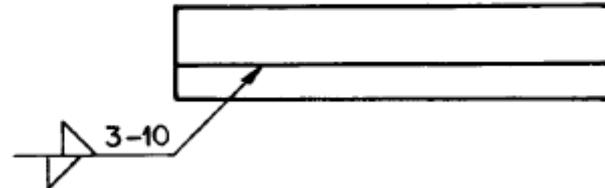
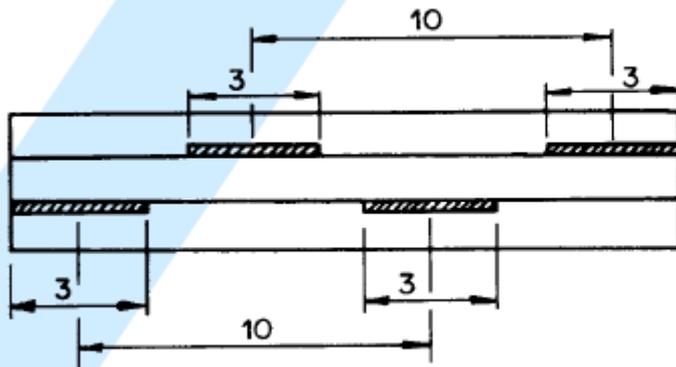
Símbolos de Soldagem



Significado



Representação



Símbolos de Soldagem

Símbolos Básicos de Solda									
Rebordo	Filete	Tampão	Ranhura ou Chanfro					Filetes convexos	
			Reto	V	Meio V	U	J	Duplo	Simplex
Símbolos Suplementares									
Solda com chapa de base	Afastamento	Toda volta	Solda de campo	Contorno					
				Esmerilhar	Convexa				

Símbolos de Soldagem

Significado	Representação 1	Representação 2

		-
		-
		-

Símbolos de Soldagem

		-
		-
		-

		-
		-
		-

ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Método de inspeção	Características	Limitações
Visual	O mais comum e mais económico. Particularmente bom para soldas com um único passe.	Detecta somente trincas superficiais grosseiras, excessos e falta de solda e imperfeições.
Líquido penetrante	Utilizado quando a geometria da peça é complexa, dificultando a operação do equipamento de partículas magnéticas. Uso instantâneo em qualquer lugar. Detecta defeitos superficiais como trincas (microtrincas da ordem de 0,001 mm de largura), fissuras, porosidade, mordeduras.	Detecta somente descontinuidades superficiais. Ondulações de soldas reentrantes e ranhuras podem dar falsas indicações. Exame de custo mais elevado do que o de partículas magnéticas.
Partícula magnética	Detecta defeitos na superfície e sub-superfície como trincas, fissuras, porosidade, mordeduras e sobreposição, descontinuidades lineares da ordem de 0,5mm, além de descontinuidades mascaradas por esmerilhamento, óxidos etc., e as escondidas sob pinturas. É um exame mais rápido e económico do que o anterior. Indicações podem ser coletadas e preservadas em fitas plásticas.	Requer relativa lisura da superfície. Falta de cuidado no uso de pontas magnetizadas podem desprezar defeitos de golpeamento de arco. Necessita que o campo magnético seja gerado perpendicularmente à descontinuidade. Necessita em certos casos de desmagnetização da peça. Limpeza posterior. Depende da força do campo magnético.
Radiográfico	Detecta defeitos internos como porosidade, escória, vazios, fissuras, irregularidades, falta de fusão. Indicado para espessuras entre 4 mm e 70 mm. Um filme negativo é registro permanente. Distingão mais fácil do tipo de descontinuidade detectada. Executado em qualquer tipo de superfície.	Defeitos devem ocupar mais que aproximadamente 1,5% da espessura para ser registrado. Somente fissuras paralelas ao eixo de solda são registradas. Necessidade de acesso pelos dois lados da superfície inspecionada. Radiação perigosa, havendo a necessidade de evacuação de todo pessoal próximo à área em que está sendo realizada a radiografia. Tempo de exposição aumenta com a espessura. Custo mais elevado do que o ultra-sônico. Resultado duvidoso para soldas de filete.
Ultra-sônico	Detecta fissuras em qualquer orientação, escória, falta de fusão, inclusões, rupturas lamelares, vazios. Pode examinar minuciosamente quase qualquer espessura comercial. Alta sensibilidade na detecção de pequenos defeitos. Precisão na localização da descontinuidade e estimativa do tamanho. Inspeção rápida. Necessidade de acesso por somente uma superfície do elemento ensaiado.	Superfícies devem ser lisas. Equipamento deve ser frequentemente calibrado. Operador deve ser qualificado. Grânulos excessivamente grosseiros fornecem falsas indicações. Defeitos classificados por tamanho podem não ser muito exatos. O sistema pode ser sensível a pequenos defeitos que não são nocivos à estrutura. Falta de registro permanente. Difícil aplicação em peças de geometria complexa.

Tabela 8 – Compatibilidade do metal-base com o metal da solda ^{a, b}

	Metal-base		Metal da solda compatível			
	ABNT	ASTM	Arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW)	Arco submerso (SAW)	Arco elétrico com proteção gasosa (GMAW)	Arco elétrico com fluxo no núcleo (FCAW)
Grupo I	ABNT NBR 6648 (CG-26 - $t \leq 20$ mm) ABNT NBR 6649 (CF-26) ABNT NBR 6650 (CF-26) ABNT NBR 7007 (MR 250 - $t \leq 19$ mm)	ASTM A36 ($t \leq 19$ mm) ASTM A500 Grau A ASTM A500 Grau B	AWS A5.1 - E60XX, E70XX AWS A5.5 ^e E70XX-X	AWS A5.17 - F6XX-EXXX, F6XX-ECXXX, F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX AWS A5.23 ^e F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX	AWS A5.18 - ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (exceto -GS) AWS A5.28 ^e - ER70S-XXX, E70C-XXX	AWS A5.20 - E6XT-X, E6XT-XM, E7XT-X, E7XT-XM (exceto -2, -2M, -3, -10, -13, -14 e -GS e exceto -11 com espessura superior a 12 mm) AWS A5.29 ^e - E6XTX-X, E6XT-XM, E7XTX-X, E7XTX-XM
Grupo II	ABNT NBR 5000 (G-30) ABNT NBR 5000 (G-35) ABNT NBR 5004 (F-32/Q-32) ABNT NBR 5004 (F-35/Q-35) ABNT NBR 5004 (Q-40) ABNT NBR 5008 (CGR 400) ^d ABNT NBR 5008 (CGR 500) ^d ABNT NBR 5008 (CGR 500A) ^d ABNT NBR 5920 (CFR 500) ^d ABNT NBR 5921 (CFR 400) ^d ABNT NBR 5921 (CFR 500) ^d ABNT NBR 6648 (CG-26 - $t > 19$ mm) ABNT NBR 6648 (CG-28) ABNT NBR 6649 (CF-28) ABNT NBR 6650 (CF-28) ABNT NBR 6650 (CF-30) ABNT NBR 7007 (MR 250 - $t > 19$ mm) ABNT NBR 7007 (AR-350) ABNT NBR 7007 (AR-350 COR) ABNT NBR 8261 (Graus B e C)	ASTM A36 ($t > 19$ mm) ASTM A242 ^d ASTM A572 Grau 42 ASTM A572 Grau 50 ASTM A572 Grau 55 ASTM A992 ASTM A588 ^d	AWS A5.1 - E7015, E7016, E7018, E7028 AWS A5.5 ^e E7015-X, E7016-X, E7018-X	AWS A5.17 - F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX AWS A5.23 ^e F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX	AWS A5.18 - ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (exceto -GS) AWS A5.28 ^e ER70S-XXX, E70C-XXX	AWS A5.20 - E7XT-X, E7XT-XM (exceto -2, -2M, -3, -10, -13, -14 e -GS e exceto -11 com espessura superior a 12 mm) AWS A5.29 ^e - E7XTX-X, E7XTX-XM
Grupo III	ABNT NBR 5000 (G-42) ABNT NBR 5000 (G-45) ABNT NBR 5004 (Q-42) ABNT NBR 5004 (Q-45) ABNT NBR 7007 (AR-415)	ASTM A572 Grau 60 ASTM A572 Grau 65 ASTM A913 ^c	AWS A5.5 ^e - E8015-X, E8016-X, E8018-X	AWS A5.23 ^e - F8XX-EXXX-XX, F8XX-ECXXX-XX	AWS A5.28 ^e - ER80S-XXX, E80C-XXX	AWS A5.29 ^e - E8XTX-X, E8XTX-XM
a	Em juntas constituídas de metais-base de grupos diferentes, podem ser usados metais da solda compatíveis com o metal-base de maior resistência ou de menor resistência, devendo-se usar eletrodos de baixo hidrogênio para a segunda opção. O preaquecimento deve ser baseado no grupo de maior resistência.					
b	Quando for feito alívio de tensões nas soldas, o metal da solda não pode conter mais de 0,05% de vanádio.					
c	As limitações da AWS D1.1 relativas à entrada de calor não se aplicam ao ASTM A913, graus 60 e 65.					
d	Podem ser necessários processos e materiais de soldagem especiais (por exemplo: eletrodos de baixa liga E80XX-X) para atender às características de resistência à corrosão atmosférica e de resistência ao choque do metal-base - ver AWS D1.1.					
e	Metais de solda dos grupos B3, B3L, B4, B4L, B5, B5L, B6, B6L, B7, B7L, B8, B8L, B9, ou qualquer grau BXH, na AWS A5.5, A5.23, A5.28 e A5.29, não são pré-qualificados.					

Tabela 9 – Força resistente de cálculo de soldas

Tipo de solda	Tipo de solicitação e orientação	Força resistente de cálculo $F_{w,Rd}^{a, b, d}$	Nível de resistência requerida do metal de solda (relação de compatibilidade)
Penetração total	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda	Não precisa ser considerado	Compatibilidade parcial
	Tração normal à seção efetiva da solda	Metal-base: $A_{MB}f_y/\gamma_{a1}^{e, g}$	Compatibilidade total
	Compressão normal à seção efetiva da solda	Metal-base: $A_{MB}f_y/\gamma_{a1}^{e, g}$	É permitido o uso de metal de solda com resistência nominal inferior ao metal base em até 10 ksi (70MPa)
	Cisalhamento (soma vetorial) na seção efetiva	Metal-base: $0,6A_{MB}f_y/\gamma_{a1}^g$	Compatibilidade total ^j
Penetração parcial	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda ^c	Não precisa ser considerado	Compatibilidade parcial
	Tração ou compressão normal à seção efetiva da solda	O menor dos dois valores: a) Metal-base: $A_{MB}f_y/\gamma_{a1}^g$ b) Metal da solda: $0,6A_wf_w/\gamma_{w1}^h$	Compatibilidade parcial
	Cisalhamento paralelo ao eixo da solda, na seção efetiva	Metal-base deve atender a 6.5 Metal da solda: $0,6A_wf_w/\gamma_{w2}^i$	Compatibilidade parcial
Filete	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda ^c	Não precisa ser considerado	Compatibilidade parcial
	Cisalhamento na seção efetiva (a solicitação de cálculo é igual à resultante vetorial de todas as forças de cálculo na junta que produzam tensões normais ou de cisalhamento na superfície de contato das partes ligadas)	Metal-base deve atender a 6.5 Metal da solda: $0,6A_wf_w/\gamma_{w2}^{f, i}$	Compatibilidade parcial
Tampão em furos ou rasgos	Cisalhamento paralelo às superfícies em contato, na seção efetiva	Metal-base deve atender a 6.5 Metal da solda: $0,6A_wf_w/\gamma_{w2}^i$	Compatibilidade parcial

^a Para definição de áreas efetivas de soldas, ver 6.2.2.

^b O metal da solda a ser usado para cada metal-base é obtido na Tabela 8, respeitando-se a relação de compatibilidade desta tabela.

^c Soldas de filete e soldas de penetração parcial, ligando os elementos componentes de perfis soldados (mesas e almas), podem ser calculadas sem considerar as tensões de tração ou de compressão nesses elementos, paralelas ao eixo da solda; devem ser consideradas, entretanto, as tensões de cisalhamento causadas pelas forças cortantes e os efeitos locais.

^d Em soldas sujeitas a tensões não uniformes, as forças solicitante e resistente de cálculo são determinadas com base em comprimentos efetivos unitários.

^e Nesse caso, quando houver duas classes de resistência de metal da solda na Tabela 8, só pode ser usada a classe de maior resistência.

^f Ver 6.2.5.2.

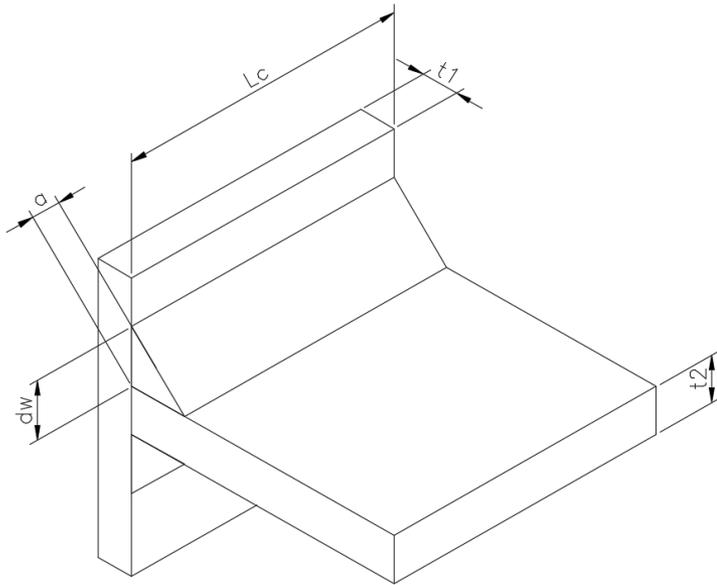
^g O valor de γ_{a1} é dado em 4.9.2.

^h O valor de γ_{w1} é igual a 1,25 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,05 para combinações excepcionais.

ⁱ O valor de γ_{w2} é igual a 1,35 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,15 para combinações excepcionais.

^j A compatibilidade parcial é permitida em soldas de chanfro entre alma e mesas de perfis soldados transmitindo forças de cisalhamento.

Resistência de soldas de Filete



a = Garganta efetiva do filete de solda

L_c = comprimento do filete de solda

A_w = área efetiva do filete de solda

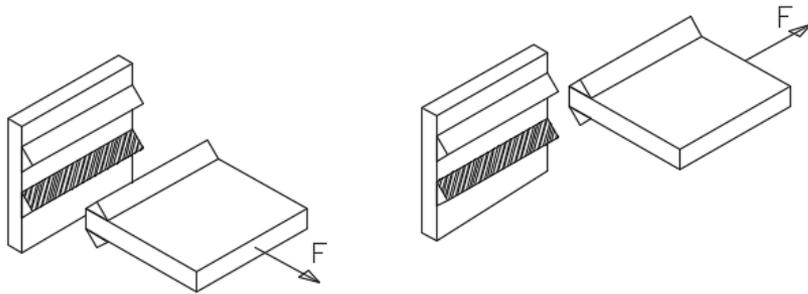
A_{MB} = área do metal Base

$$a = 0,707 \cdot d_w$$

$$A_w = a \cdot \sum L_c$$

$$A_{MB} = d_w \cdot \sum L_c$$

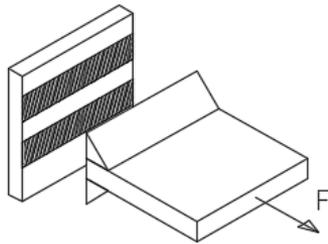
Resistência de soldas de Filete



Cisalhamento na seção efetiva da solda

$$F_{wRd} = \frac{0,6 \cdot A_w \cdot F_w}{1,35}$$

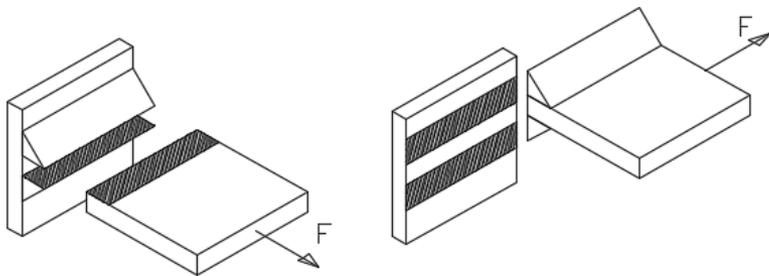
$$F_{wRd} = \frac{0,6 \cdot 0,707 d_w \cdot 2 \cdot L_c \cdot F_w}{1,35}$$



Tração no Metal-Base

$$F_{wRd} = \frac{A_{MB} \cdot F_y}{1,10}$$

$$F_{wRd} = \frac{d_w \cdot 2L_c \cdot F_y}{1,10}$$



Cisalhamento no metal base

$$F_{wRd} = \frac{0,6 \cdot A_{MB} \cdot F_y}{1,10}$$

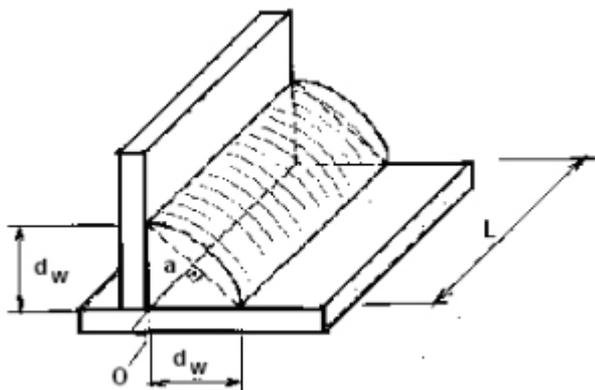
$$F_{wRd} = \frac{0,6 \cdot d_w \cdot 2 \cdot L_c \cdot F_y}{1,10}$$

Dimensões mínimas

Tabela 10 — Tamanho mínimo da perna de uma solda de filete

Menor espessura do metal-base na junta mm	Tamanho mínimo da perna da solda de filete, d_w ^a mm
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19	8

^a Executadas somente com um passe.



6.2.6.2.2 O tamanho máximo da perna de uma solda de filete que pode ser usado ao longo de bordas de partes soldadas é o seguinte:

- ao longo de bordas de material com espessura inferior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material;
- ao longo de bordas de material com espessura igual ou superior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material subtraída de 1,5 mm, a não ser que nos desenhos essa solda seja indicada como reforçada durante a execução, de modo a obter a espessura total desejada da garganta.

6.2.6.2.4 Podem ser usadas soldas intermitentes de filete, dimensionadas para transmitir solicitações de cálculo, quando a resistência de cálculo exigida for inferior à de uma solda contínua do menor tamanho de perna permitido, e também para ligar elementos de barras compostas. O comprimento efetivo de qualquer segmento de solda intermitente de filete não pode ser menor que 4 vezes o tamanho da perna, nem menor que 40 mm. O uso de soldas intermitentes requer cuidados especiais com flambagens locais e com corrosão.

Tabela 9 — Espessura mínima da garganta efetiva de uma solda de penetração parcial

Menor espessura do metal-base na junta mm	Espessura mínima da garganta efetiva ^a mm
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19 até 37,5	8
Acima de 37,5 até 57	10
Acima de 57 até 152	13
Acima de 152	16

^a Ver 6.2.2 para definição de garganta efetiva.

Dimensões mínimas

- d) soldas de filete em lados opostos de um plano comum devem ser interrompidas no canto comum a ambas as soldas.

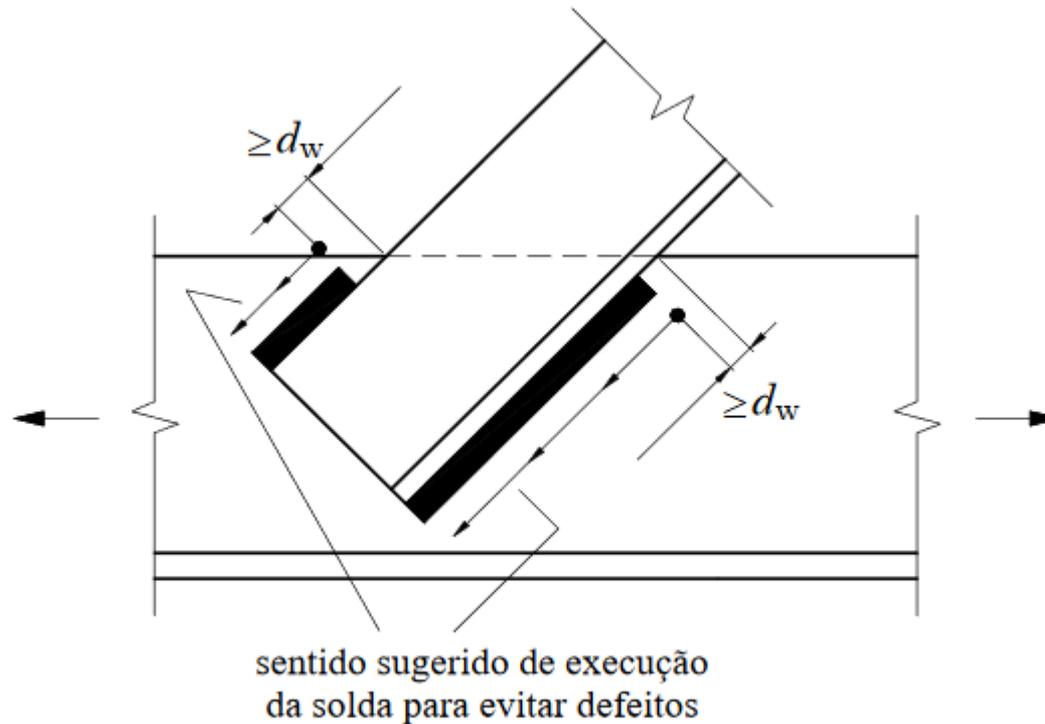
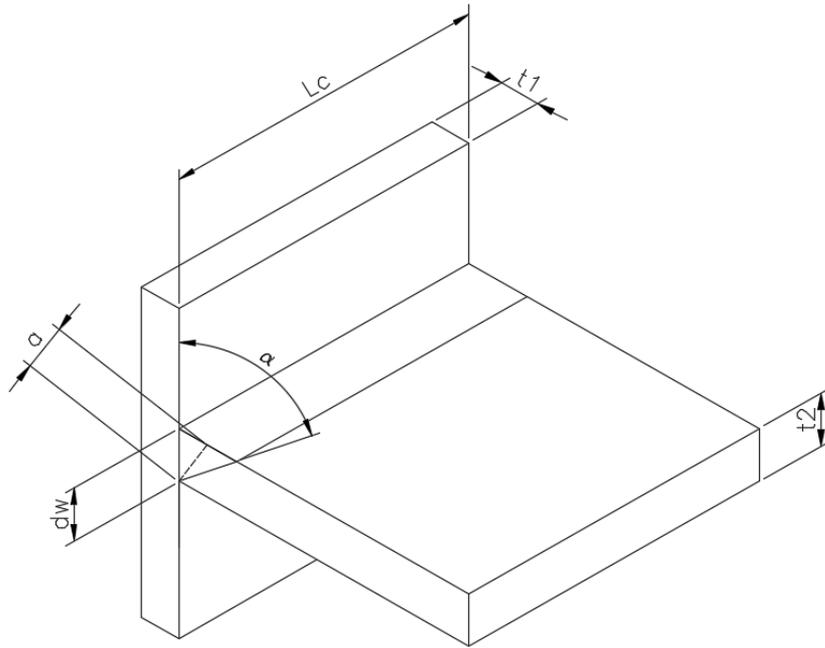


Figura 14 — Filetes de solda próximos de bordas tracionadas

Resistência de soldas de Penetração Total



a = Garganta efetiva do filete de solda

L_c = comprimento do filete de solda

A_w = área efetiva do filete de solda

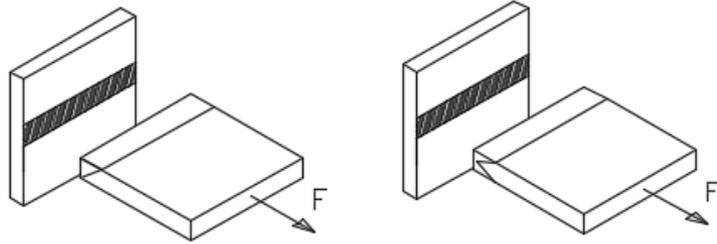
A_{MB} = área do metal Base

a = determinado caso a caso

$$A_w = a \cdot \sum L_c$$

$$A_{MB} = d_w \cdot \sum L_c$$

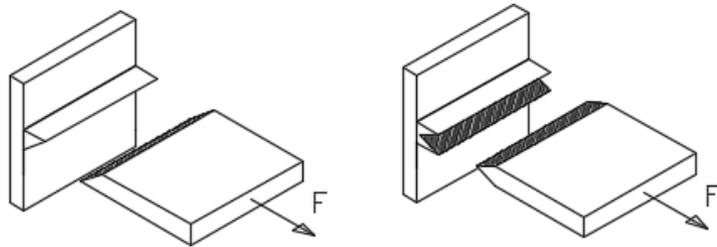
Resistência de soldas de penetração total



Tração Normal à seção efetiva da solda

$$F_{wRd} = \frac{A_{MB} \cdot F_y}{1,10}$$

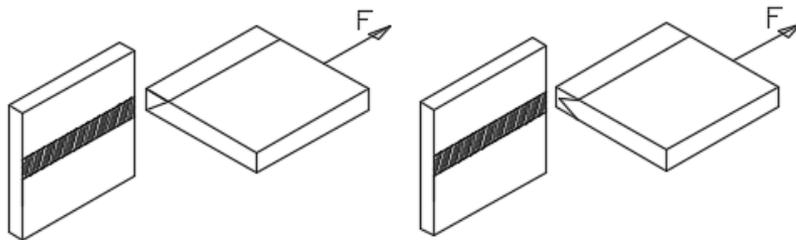
$$F_{wRd} = \frac{t_2 \cdot L_c \cdot F_y}{1,10}$$



Cisalhamento na seção efetiva

$$F_{wRd} = \frac{0,6 \cdot A_{MB} \cdot F_y}{1,10}$$

$$F_{wRd} = \frac{0,6 \cdot \frac{t_2}{\cos\alpha} L_c \cdot F_y}{1,10} \text{ (exemplo)}$$



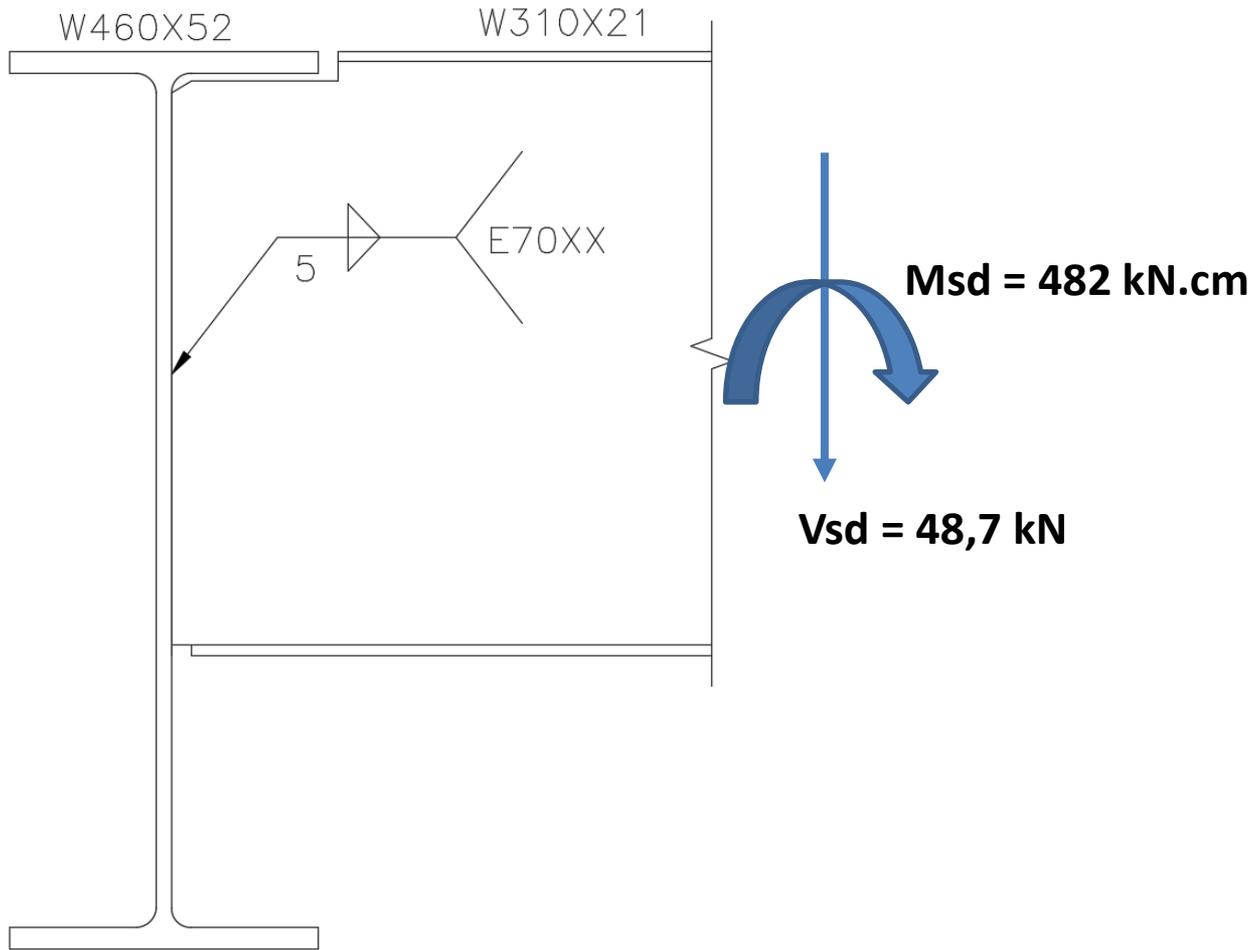
Cisalhamento na seção efetiva

$$F_{wRd} = \frac{0,6 \cdot A_{MB} \cdot F_y}{1,10}$$

$$F_{wRd} = \frac{0,6 \cdot t_2 \cdot L_c \cdot F_y}{1,10}$$

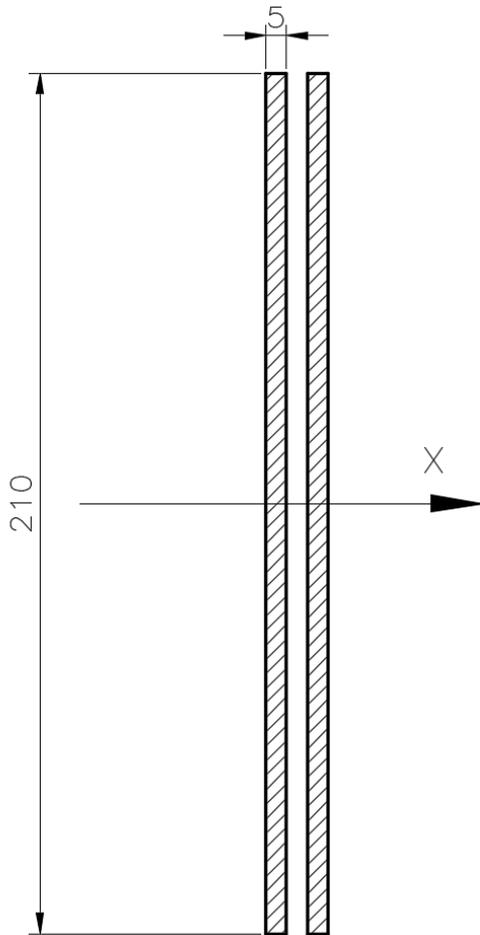
Exercício 01

Dimensione a ligação viga-Viga abaixo



Exercício 01

A menor das duas espessuras de metal base é a alma do perfil W310X21 (5,1mm)
Adotando de forma arbitrária a espessura da perna de solda de 5mm (E70XX) com comprimento de 70% da altura do perfil ($0,7 \times 303 \sim 210\text{mm}$)



Esforço vertical por cm:

$$V_{sd} = \frac{48,7}{2 \cdot 21} = 1,16 \text{ kN}$$

Esforço horizontal por cm:

$$I = 2 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 21^3}{12} \right) = 771,75 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_h = \frac{M \cdot y}{I} \rightarrow \frac{482 \cdot 10,5}{771,75} = 6,56 \text{ kN/cm}^2$$

$$H_{sd} = 6,56 \cdot 0,5 = 3,28 \text{ kN}$$

Resultante:

$$F_{sd} = \sqrt{3,28^2 + 1,16^2} = 3,48 \text{ kN}$$

Exercício 01

Verificação da Resistência da Solda

$$V_{w,Rd} = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 48,5}{1,35} = 7,61 \text{ kN}$$

Verificação da Resistência do Metal Base (Tração):

$$V_{MB,Rd} = \frac{0,5 \cdot 1 \cdot 34,5}{1,10} = 15,68 \text{ kN}$$

Verificação da Resistência do Metal Base (Cisalhamento):

$$V_{MB,Rd} = \frac{0,6 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 34,5}{1,10} = 9,41 \text{ kN}$$

$$F_{wRd} = 7,61 \text{ kN} > 3,48 \text{ kN OK}(45,72\%)$$

Exercício 01

Determinação da mínima espessura do filete de solda

Verificação da Resistência da Solda

$$3,48 = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot d_w \cdot 1 \cdot 48,5}{1,35} \rightarrow d_w = \mathbf{0,228cm}$$

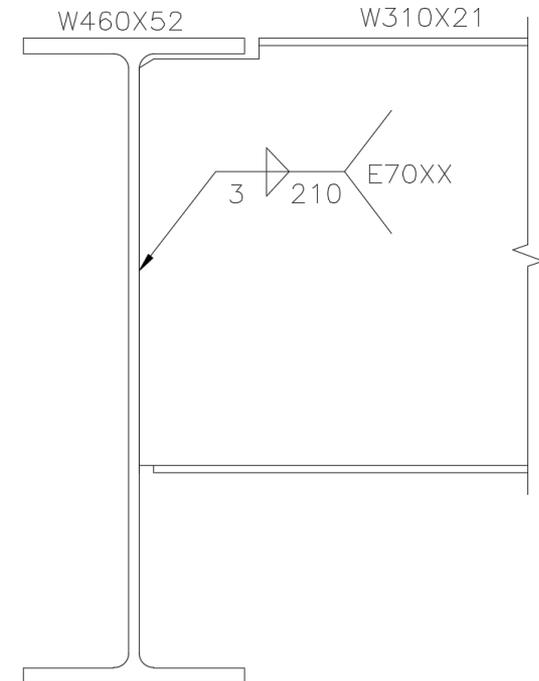
Verificação da Resistência do Metal Base (Tração):

$$3,48 = \frac{d_w \cdot 1 \cdot 34,5}{1,10} \rightarrow d_w = 0,11cm$$

Verificação da Resistência do Metal Base (Cisalhamento):

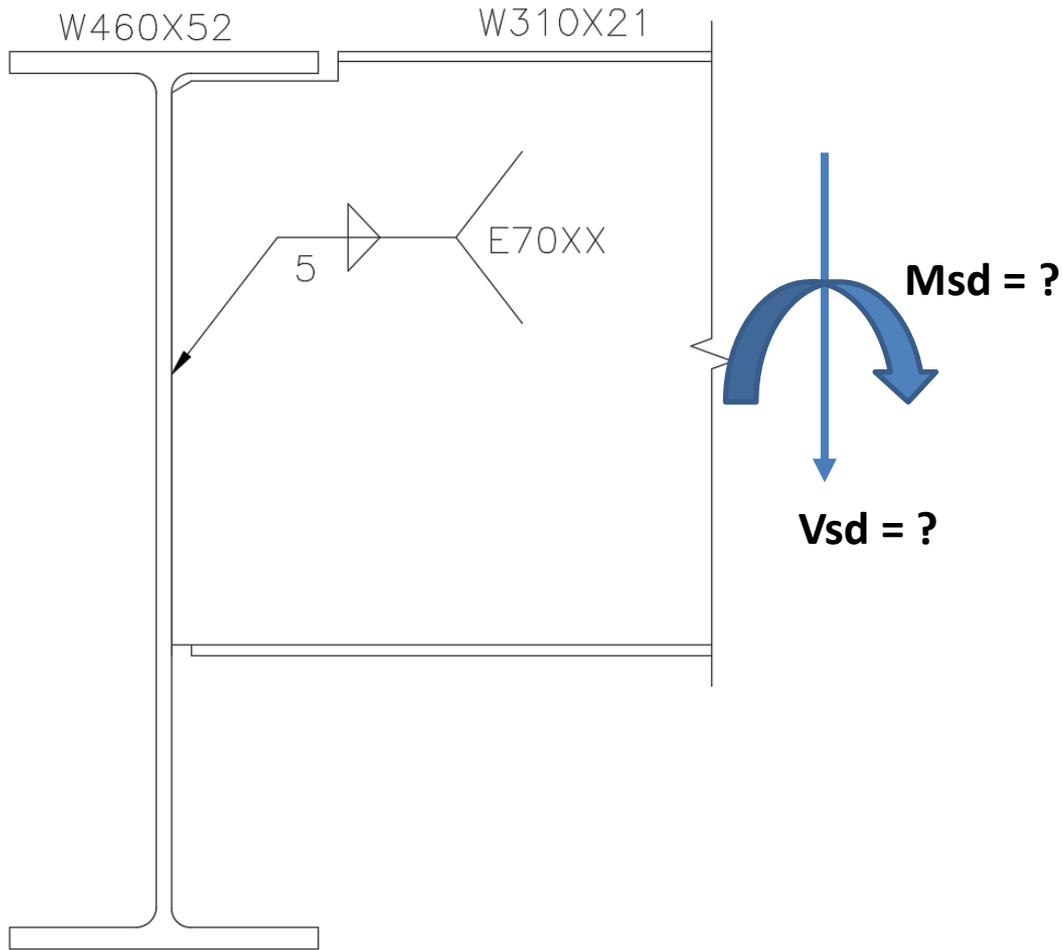
$$3,48 = \frac{0,6 \cdot d_w \cdot 1 \cdot 34,5}{1,10} \rightarrow d_w = 0,19cm$$

$d_w = 0,228$ adotar 3mm



Exercício 02

Dimensione a ligação viga-Viga abaixo



Exercício 02

Quando não sabemos exatamente quais esforços atuam no perfil, podemos adotar sua máxima capacidade como ponto de partida

Máxima capacidade ao esforço cortante da Viga W310X21

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot 30,3 \cdot 0,51 \cdot 34,5}{1,10} = 291 \text{ kN}$$

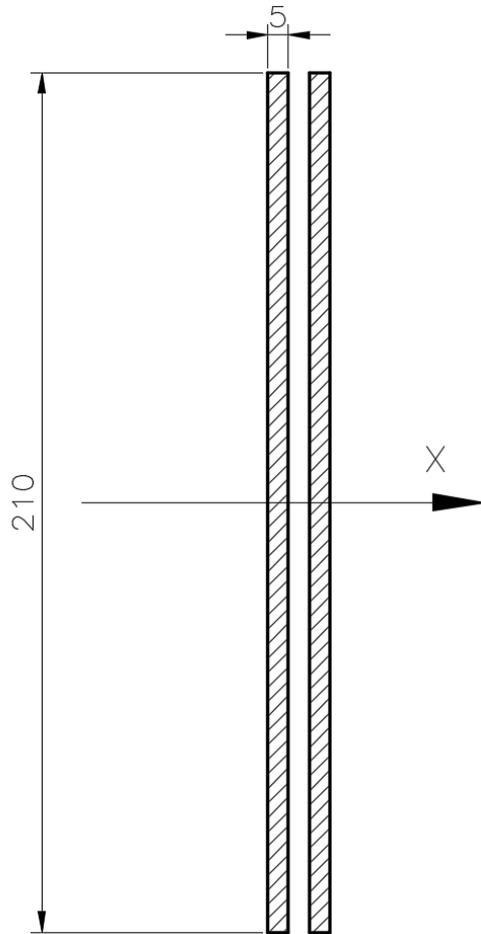
Momento fletor para conter a W460X52

$$M_{br} = \frac{0,024 \cdot M_{sd} \cdot L}{n \cdot C_b \cdot L_{bb}} \quad M_{br} = \frac{0,024 \cdot \left(\frac{Z_x \cdot F_y}{1,10}\right) \cdot L}{n \cdot C_b \cdot L_{bb}} \rightarrow \frac{0,024 \cdot \left(\frac{1095,9 \cdot 34,5}{1,10}\right) \cdot 800}{3 \cdot 1.200} = 1100 \text{ kN.cm}$$

Método aproximado:

$$M_{br} = 0,03 \cdot Z \cdot F_y \rightarrow 0,03 \cdot 1095,9 \cdot 34,5 = 1134 \text{ kN.cm}$$

Exercício 02



Esforço vertical por cm:

$$V_{sd} = \frac{291}{2 \cdot 21} = 6,93 \text{ kN}$$

Esforço horizontal por cm (adotando $d_w=1\text{cm}$):

$$I = 2 \cdot \left(\frac{1 \cdot 21^3}{12} \right) = 1543,5 \text{ cm}^4/\text{cm}^2$$

$$\sigma_h = H_{sd} = \frac{M \cdot y}{I} \rightarrow \frac{1134 \cdot 10,5}{1543,5} = 7,71 \text{ kN}$$

Resultante:

$$F_{sd} = \sqrt{6,93^2 + 7,71^2} = 10,52 \text{ kN}$$

Exercício 02

Determinação da mínima espessura do filete de solda

Verificação da Resistência da Solda

$$10,52 = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot d_w \cdot 1 \cdot 48,5}{1,35} \rightarrow d_w = 0,69cm$$

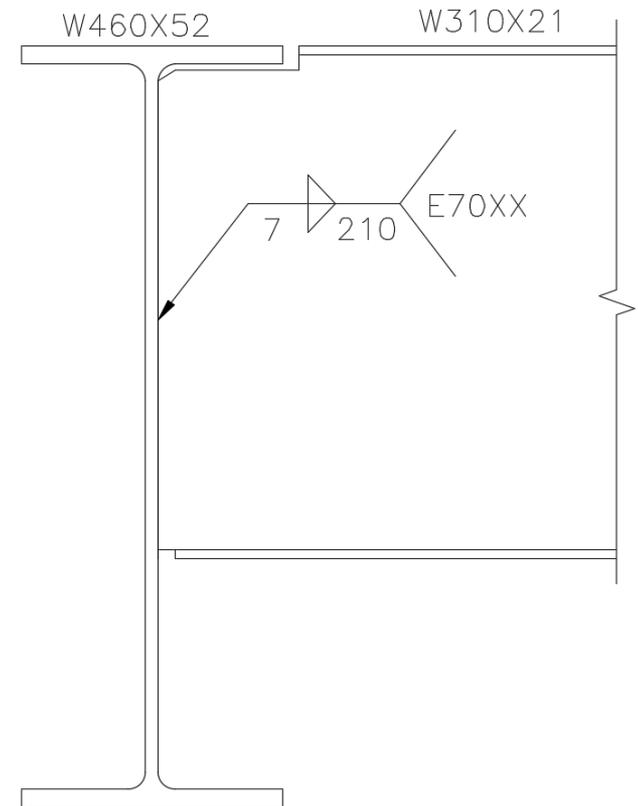
Verificação da Resistência do Metal Base (Tração):

$$10,52 = \frac{d_w \cdot 1 \cdot 34,5}{1,10} \rightarrow d_w = 0,335cm$$

Verificação da Resistência do Metal Base (Cisalhamento):

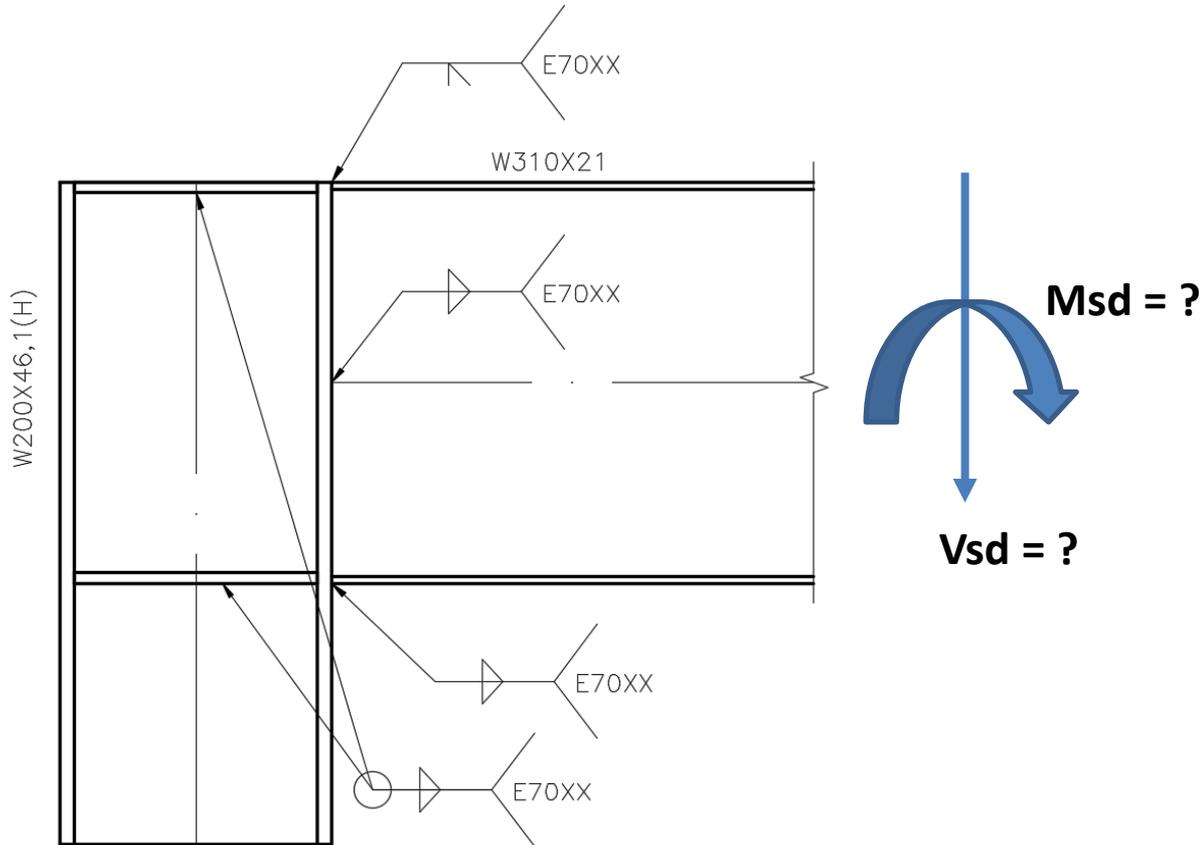
$$10,52 = \frac{0,6 \cdot d_w \cdot 1 \cdot 34,5}{1,10} \rightarrow d_w = 0,56cm$$

$$d_w = 0,69 \text{ adotar } 7mm$$



Exercício 03

Dimensione a ligação viga-Coluna abaixo



Exercício 03

Verificação das soldas do perfil W310X21

Para simplificação atribuiremos os esforços de momento às mesas e os esforços de cisalhamento à alma

Esforço máximo de tração/compressão nas mesas (conservador)

$$F_t = F_c = \frac{M_{pl}}{1,10 \cdot d} = \frac{Z_x \cdot F_y}{1,10 \cdot d} \rightarrow \frac{291,9 \cdot 34,5}{1,10 \cdot 30,3} = 302 \text{ kN}$$

Esforço máximo de tração/compressão nas mesas (exato)

$$F_t = F_c = \frac{A_{mesa} \cdot F_y}{1,10} \rightarrow \frac{0,5 \cdot [A_g - (d' \cdot t_w)] \cdot F_y}{1,10} \rightarrow \frac{0,5 \cdot [27,2 - (27,2 \cdot 0,51)] \cdot 34,5}{1,1} = 209 \text{ kN}$$

Máxima capacidade ao esforço cortante da Viga W310X21

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot 30,3 \cdot 0,51 \cdot 34,5}{1,10} = 291 \text{ kN}$$

Exercício 03

Verificação da solda da mesa superior do perfil W310X21

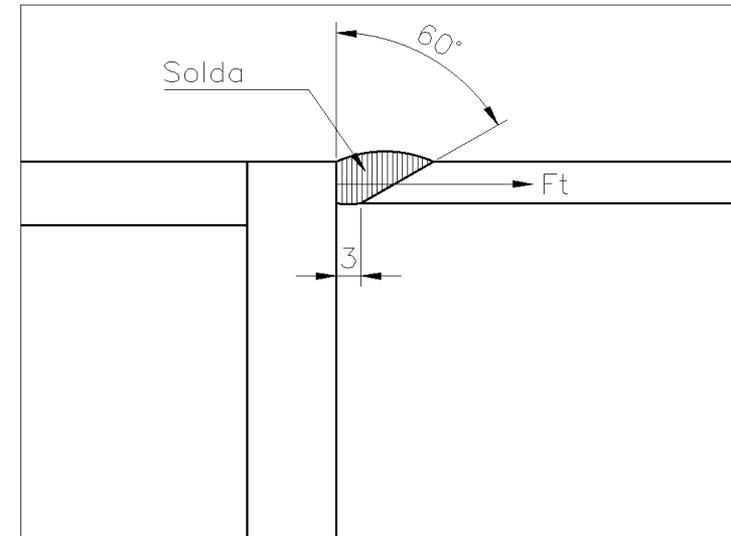
Solda de penetração total com chanfro a 60° e abertura de raiz 3mm

Tração Normal à seção efetiva da solda:

$$F_{wRd} = \frac{A_{MB} \cdot F_y}{1,10}$$

$$F_{wRd} = \frac{t_f \cdot b_f \cdot F_y}{1,10} \rightarrow \frac{0,57 \cdot 10,134,5}{1,10} = 180,6 \text{ kN} < 209 \text{ kN Não OK!}$$

Considerando a capacidade máxima do perfil W310X21 à flexão, a mesa da coluna falha por excesso de tensão de tração.



Exercício 03

Alternativa 1: realizar o chanfro na coluna

Solda de penetração total com chanfro V a 120° e abertura de raiz 3mm

Tração na seção efetiva

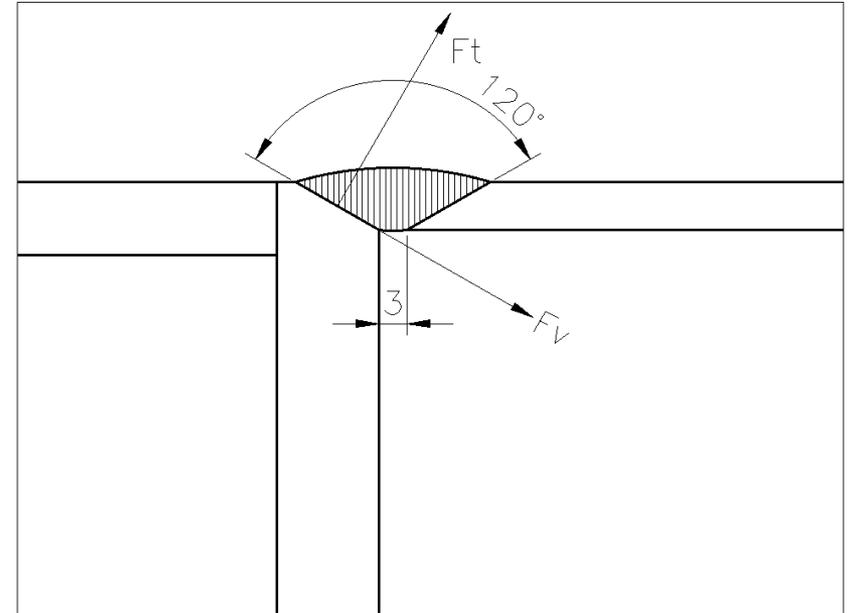
$$F_t = 209 \cdot \cos 60 = 104,5 \text{ kN}$$

$$F_{wRd} = \frac{0,57}{\cos 60} \cdot 10,134,5 = 361 \text{ kN} > 104,5 \text{ kN OK}$$

Cisalhamento na seção efetiva

$$F_v = 209 \cdot \sin 60 = 181 \text{ kN}$$

$$F_{wRd} = \frac{0,6 \cdot 0,57}{\cos 60} \cdot 10,134,5 = 217 \text{ kN} > 181 \text{ kN OK}$$



Exercício 03

Alternativa 2: Realizar o chanfro na W310X21 e reforçar com solda de filete por baixo

Solda de penetração total com chanfro a 60° e abertura de raiz 3mm com reforço de filete

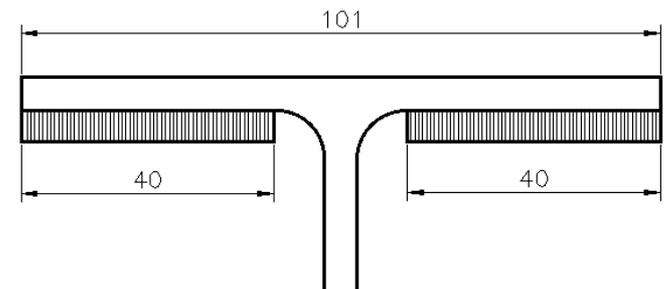
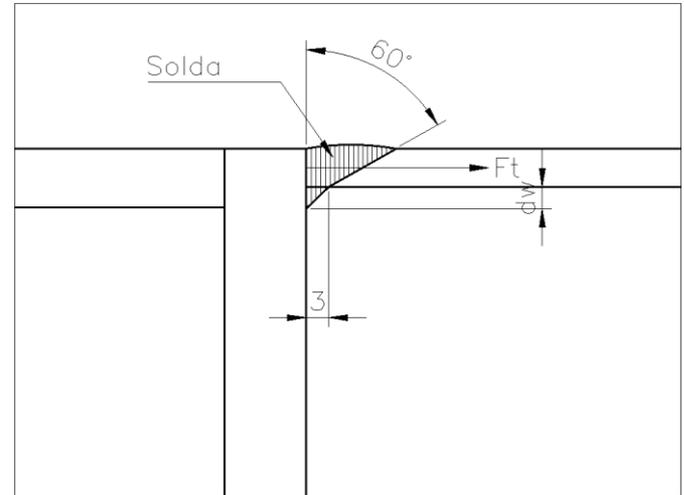
Tração Normal à seção efetiva da solda:

$$F_{wRd} = \frac{A_{MB} \cdot F_y}{1,10}$$

$$F_{wRd} = \frac{t_f \cdot b_f \cdot F_y}{1,10} + \frac{d_w \cdot 2 \cdot 4}{1,10}$$

$$209 = \frac{0,57 \cdot 10,134,5}{1,10} + \frac{d_w \cdot 2 \cdot 4 \cdot 34,5}{1,10} \rightarrow d_w = 0,1133$$

Adota-se reforço com filete de 3mm e abertura de raiz = 3mm



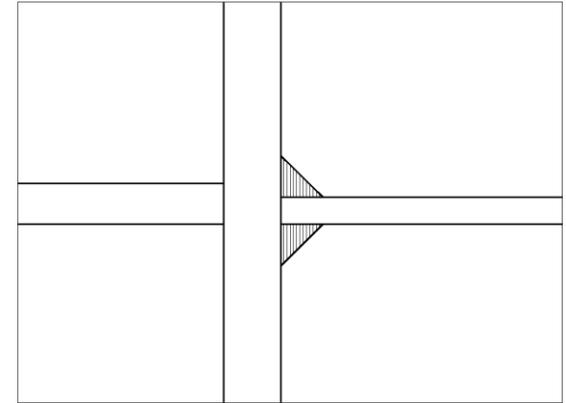
Exercício 03

Verificação da solda da mesa inferior do perfil W310X21

Solda de filete

Verificação da Resistência da Solda

$$209 = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot d_w \cdot (10,1 + 2,4) \cdot 48,5}{1,35} \rightarrow d_w = 0,76 \text{ cm}$$



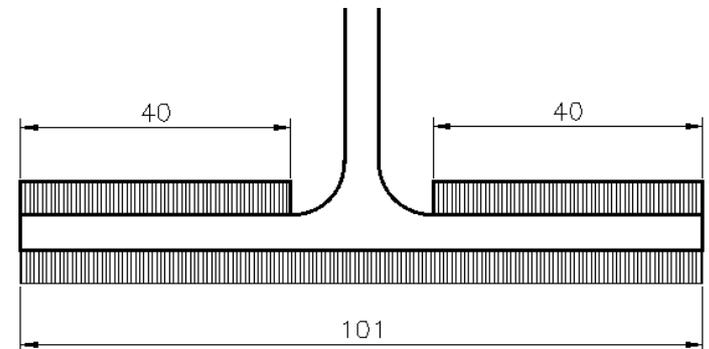
Verificação da Resistência do Metal Base (Tração):

$$209 = \frac{d_w \cdot (10,1 + 2,4) \cdot 34,5}{1,10} \rightarrow d_w = 0,368 \text{ cm}$$

Verificação da Resistência do Metal Base (Cisalhamento):

$$209 = \frac{0,6 \cdot d_w \cdot (10,1 + 2,4) \cdot 34,5}{1,10} \rightarrow d_w = 0,61 \text{ cm}$$

$d_w = 0,76$ adotar 8mm



Exercício 03

Alternativa: Realizar abertura para ampliação do filete de solda superior

Solda de filete

Verificação da Resistência da Solda

$$209 = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot d_w \cdot 2 \cdot 10,1 \cdot 48,5}{1,35} \rightarrow d_w = \mathbf{0,67cm}$$

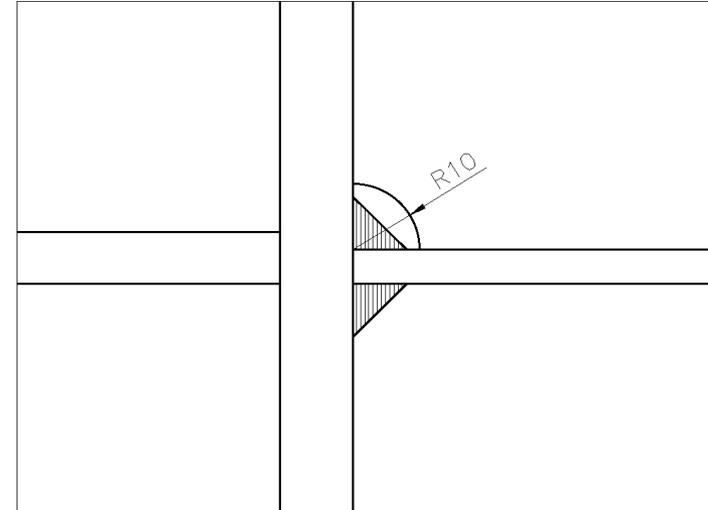
Verificação da Resistência do Metal Base (Tração):

$$209 = \frac{d_w \cdot 2 \cdot 10,1 \cdot 34,5}{1,10} \rightarrow d_w = 0,329cm$$

Verificação da Resistência do Metal Base (Cisalhamento):

$$209 = \frac{0,6 \cdot d_w \cdot 2 \cdot 10,1 \cdot 34,5}{1,10} \rightarrow d_w = 0,55cm$$

$d_w = 0,67$ adotar 7mm



Exercício 03

Verificação da solda na alma do perfil W310X21

Solda de Filete L = 210mm

Verificação da Resistência da Solda

$$291 = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot d_w \cdot 2 \cdot 21 \cdot 48,5}{1,35} \rightarrow d_w = \mathbf{0,46cm}$$

Verificação da Resistência do Metal Base (Cisalhamento):

$$291 = \frac{0,6 \cdot d_w \cdot 2 \cdot 21 \cdot 34,5}{1,10} \rightarrow d_w = 0,368cm$$

d_w = 0,46 adotar 5mm

Exercício 03

Verificação da espessura dos Enrijecedores

Cada enrijecedor recebe $209/2 = 104,5$ kN de tração / compressão

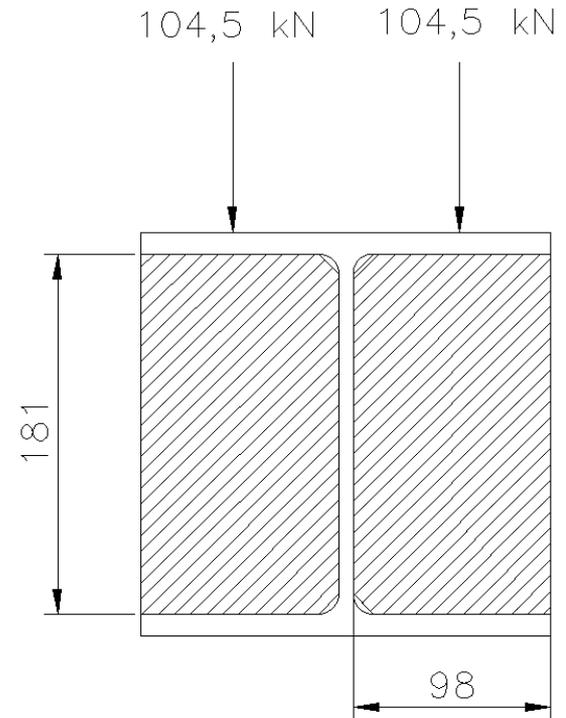
Cálculo da espessura necessária do enrijecedor

$$104,5 = \frac{A \cdot F_y}{1,1} = \frac{t \cdot (9,8 - 1) \cdot 25}{1,1} \rightarrow 0,522 \text{ cm}$$

Esbeltez do enrijecedor para seção compacta

$$\frac{b}{t} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow t \approx \frac{b}{16} = \frac{9,8}{16} = 0,6125 \text{ cm}$$

Adota-se enrijecedor $t = 6,35$ mm (A36)



Exercício 03

Verificação da solda na alma do perfil W200X46,1 (enrijecedor inferior)

Solda de Filete $L = 140\text{mm}$ (E60XX)

Verificação da Resistência da Solda

$$104,5 = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot d_w \cdot 2 \cdot 14 \cdot 41,5}{1,35} \rightarrow d_w = \mathbf{0,286\text{cm}}$$

Verificação da Resistência do Metal Base (Cisalhamento):

$$104,5 = \frac{0,6 \cdot d_w \cdot 2 \cdot 14 \cdot 34,5}{1,10} \rightarrow d_w = 0,198\text{cm}$$

$d_w = 0,286$ adotar 3mm

Exercício 03

Verificação da solda na mesa do perfil W200X46,1 (enrijecedor inferior)

Solda de Filete L = 88mm (E60XX)

Verificação da Resistência da Solda

$$104,5 = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot d_w \cdot 2,8,8 \cdot 41,5}{1,35} \rightarrow d_w = 0,455cm$$

Verificação da Resistência do Metal Base (Cisalhamento):

$$104,5 = \frac{0,6 \cdot d_w \cdot 2 \cdot 8,8 \cdot 25}{1,10} \rightarrow d_w = 0,435cm$$

Verificação da Resistência do Metal Base (tração):

$$104,5 = \frac{d_w \cdot 2 \cdot 8,8 \cdot 34,5}{1,10} \rightarrow d_w = 0,19cm$$

$d_w = 0,455$ adotar 5mm

Exercício 03

Verificação da solda na alma do perfil W200X46,1 (enrijecedor Superior)

Solda de penetração total L= 140mm (E60XX) chanfro 60° abertura raiz = 3mm

Cisalhamento Normal à seção efetiva da solda (Coluna W200X46,1):

$$F_{wRd} = \frac{0,6 \cdot t \cdot L_c \cdot F_y}{1,10} \rightarrow \frac{0,6 \cdot 0,635 \cdot 14 \cdot 34,5}{1,10} = 167,3 \text{ kN} > 104,5 \text{ OK}$$

Cisalhamento Normal à seção efetiva da solda (Enrijecedor):

$$F_{wRd} = \frac{0,6 \cdot \frac{t}{\cos 60} \cdot L_c \cdot F_y}{1,10} \rightarrow \frac{0,6 \cdot \frac{0,635}{\cos 60} \cdot 14 \cdot 25}{1,10} = 242 \text{ kN} > 104,5 \text{ OK}$$

Exercício 03

Verificação da solda na mesa do perfil W200X46,1 (enrijecedor Superior)

Solda de penetração total $L = 88\text{mm}$ (E60XX) chanfro 60° abertura raiz = 3mm

tração Normal à seção efetiva da solda (Coluna W200X46,1):

$$F_{wRd} = \frac{t \cdot L_c \cdot F_y}{1,10} \rightarrow \frac{0,635 \cdot 8,8 \cdot 34,5}{1,10} = 175,26 \text{ kN} > 104,5 \text{ OK}$$

(Enrijecedor):

Tração na seção efetiva

$$F_t = 104,5 \cdot \cos 60 = 52,25 \text{ kN}$$

$$F_{wRd} = \frac{\frac{0,635}{\cos 60} \cdot 8,8 \cdot 25}{1,10} = 254 \text{ kN} > 52,25 \text{ kN OK}$$

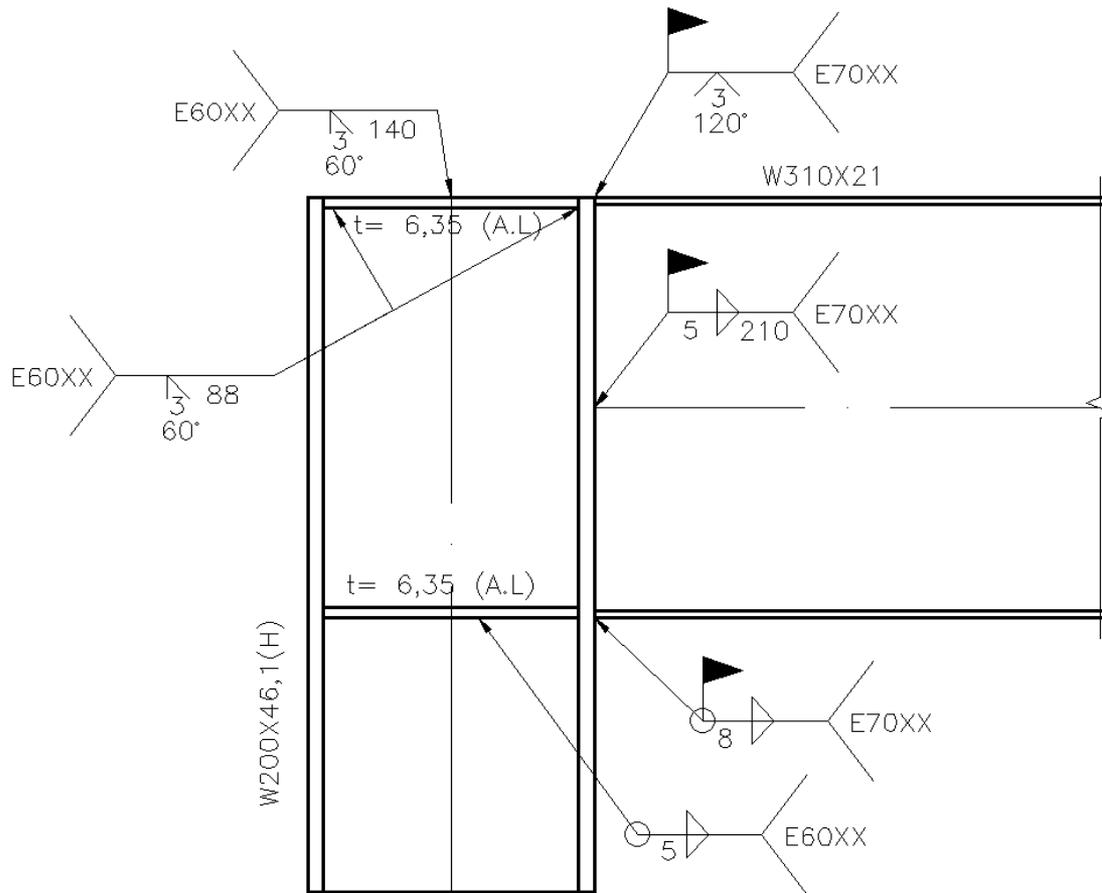
Cisalhamento na seção efetiva

$$F_v = 104,5 \cdot \sin 60 = 90,5 \text{ kN}$$

$$F_{wRd} = \frac{0,6 \cdot \frac{0,635}{\cos 60} \cdot 8,8 \cdot 25}{1,10} = 152,4 \text{ kN} > 90,5 \text{ kN OK}$$

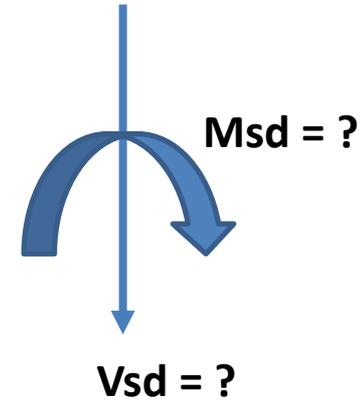
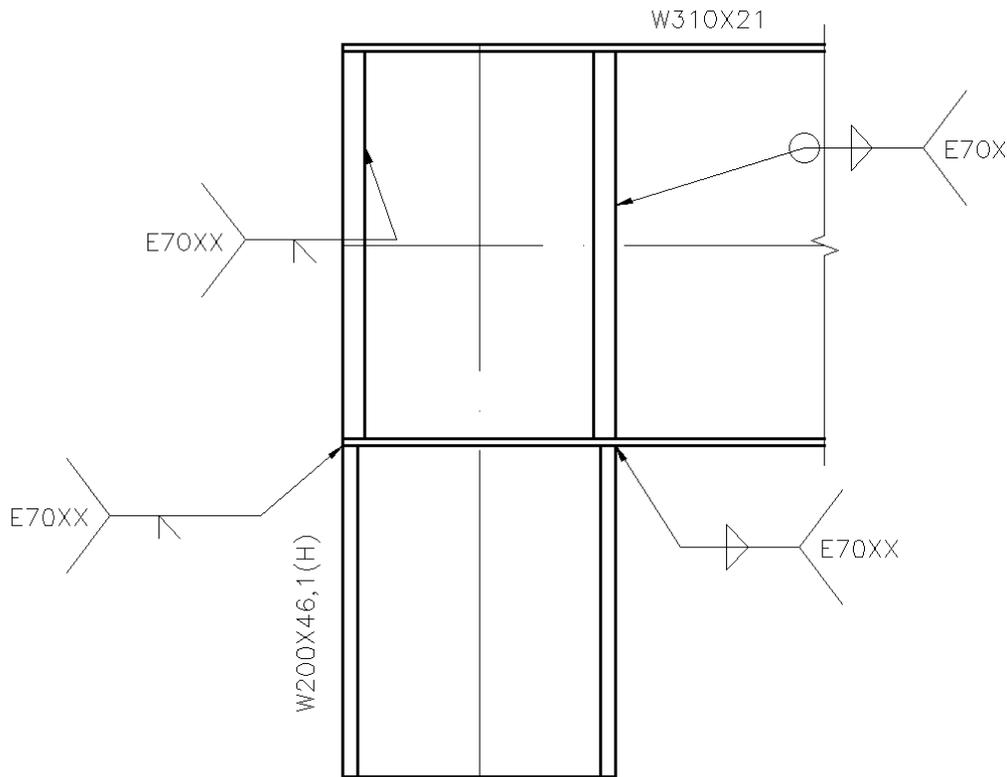
Exercício 03

Detalhamento da ligação



Exercício 04

Dimensione a ligação viga-coluna



Exercício 04

Verificação das soldas do perfil W200X46,1

No caso de ligação rígida, o momento fletor na extremidade de ambas peças é idêntico

Esforço máximo de tração/compressão nas mesas da coluna

$$F_t = F_c = \frac{M_{pl}}{1,10 \cdot d} = \frac{Z_x \cdot F_y}{1,10 \cdot d} \rightarrow \frac{291,9 \cdot 34,5}{1,10 \cdot 20,3} = 451 \text{ kN}$$

Capacidade máxima de esforço tração/compressão da coluna

$$F_t = F_c = \frac{A_{mesa} \cdot F_y}{1,10} \rightarrow \frac{0,5 \cdot [A_g - (d' \cdot t_w)] \cdot F_y}{1,10} \rightarrow \frac{0,5 \cdot [58,6 - (16,1 \cdot 0,72)] \cdot 34,5}{1,1} = 737 \text{ kN}$$

Máxima capacidade ao esforço cortante da Coluna W200X46,1

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot 20,3 \cdot 0,72 \cdot 34,5}{1,10} = 275 \text{ kN}$$

Exercício 04

Verificação da solda da mesa externa do perfil W200X46,1

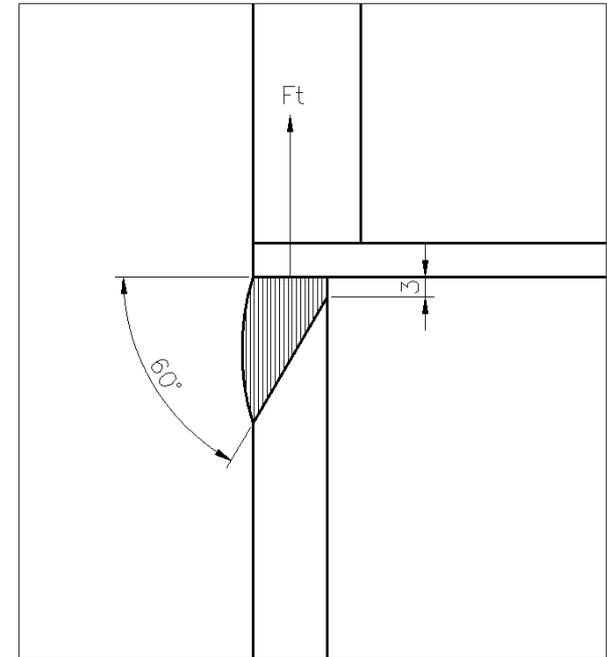
Solda de penetração total com chanfro a 60° e abertura de raiz 3mm

Tração Normal à seção efetiva da solda:

$$F_{wRd} = \frac{A_{MB} \cdot F_y}{1,10}$$

$$F_{wRd} = \frac{t_f \cdot b_f \cdot F_y}{1,10} \rightarrow \frac{1,1 \cdot 10,134,5}{1,10} = 348 \text{ kN} < 451 \text{ kN Não OK!}$$

Considerando a capacidade máxima do perfil W310X21 à flexão, a mesa da coluna falha por excesso de tensão de tração.



Exercício 04

Realizar o chanfro na W200X46,1 e reforçar com solda de filete à direita

Solda de penetração total com chanfro a 60° e abertura de raiz 3mm com reforço de filete

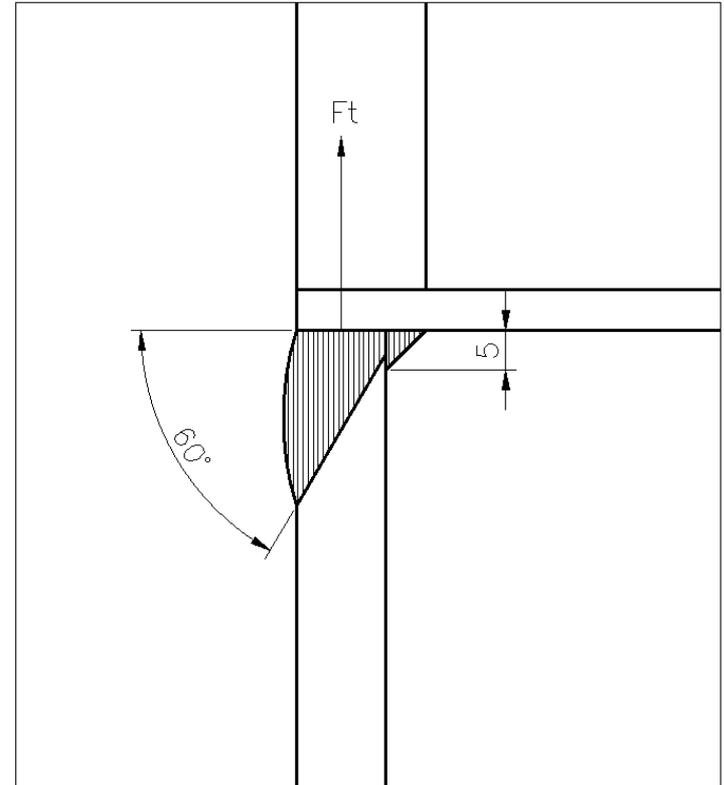
Tração Normal à seção efetiva da solda:

$$F_{wRd} = \frac{A_{MB} \cdot F_y}{1,10}$$

$$F_{wRd} = \frac{t_f \cdot b_f \cdot F_y}{1,10} + \frac{d_w \cdot 2 \cdot 4}{1,10}$$

$$451 = \frac{1,10 \cdot 10,134,5}{1,10} + \frac{d_w \cdot 2 \cdot 4 \cdot 34,5}{1,10} \rightarrow d_w = 0,41$$

Adota-se reforço com filete de 5mm e abertura de raiz = 3mm



Exercício 04

Verificação da Mesa do perfil W200X46,1

Tração na seção efetiva

$$F_t = 451 \cdot \cos 60 = 226 \text{ kN}$$

$$F_{wRd} = \frac{\frac{0,72}{\cos 60} \cdot 10,1,34,5}{1,10} = 481 \text{ kN} > 226 \text{ kN OK}$$

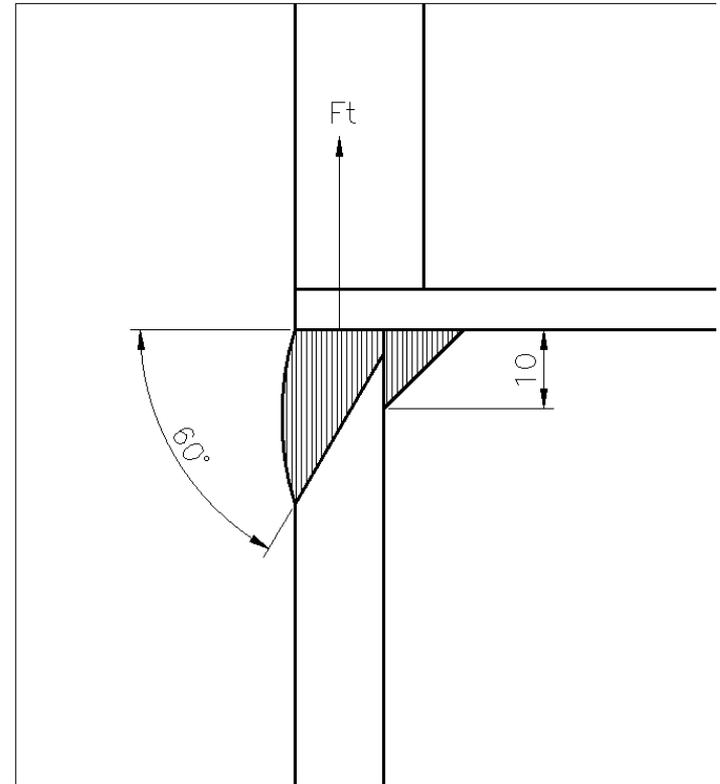
Cisalhamento na seção efetiva

$$F_v = 451 \cdot \sin 60 = 391 \text{ kN}$$

$$F_{wRd} = \frac{0,6 \cdot \frac{0,72}{\cos 60} \cdot 10,1,34,5}{1,10} = 273 \text{ kN} < 391 \text{ kN NÃO OK}$$

NECESSÁRIO AUMENTAR O FILETE DE REFORÇO

$$391 = 273 + \frac{0,6 \cdot (d_w + 0,3) \cdot 10,1,34,5}{1,10} \rightarrow 0,92 \rightarrow \text{Adotar } d_w = 10 \text{ mm}$$



Exercício 04

Verificação da solda da mesa interna do perfil W200X46,1

Solda de filete

Verificação da Resistência da Solda

$$451 = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot d_w \cdot (10,1 + 2,4) \cdot 48,5}{1,35} \rightarrow d_w = 1,64cm$$

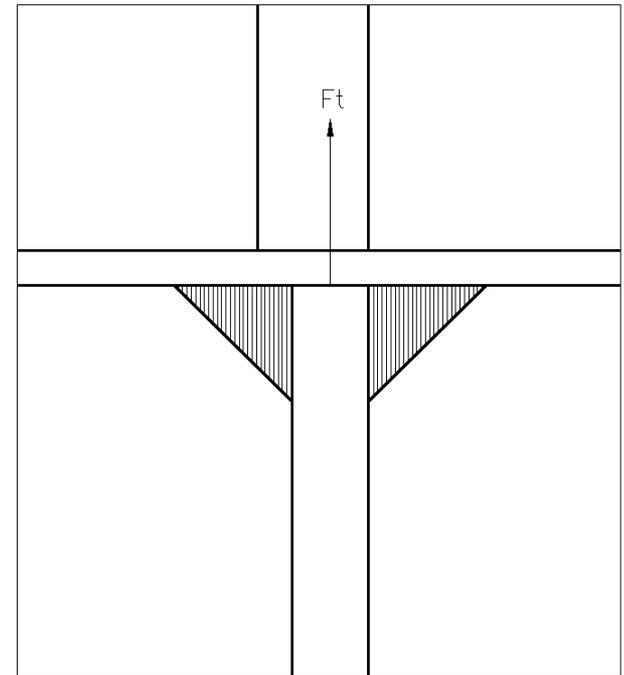
Verificação da Resistência do Metal Base (Tração):

$$451 = \frac{d_w \cdot (10,1 + 2,4) \cdot 34,5}{1,10} \rightarrow d_w = 0,794cm$$

Verificação da Resistência do Metal Base (Cisalhamento):

$$451 = \frac{0,6 \cdot d_w \cdot (10,1 + 2,4) \cdot 34,5}{1,10} \rightarrow d_w = 1,32cm$$

$d_w = 1,64$ adotar $17mm$



Exercício 04

Verificação da espessura dos Enrijecedores

Cada enrijecedor recebe 451/2 ~ 226 kN de tração / compressão

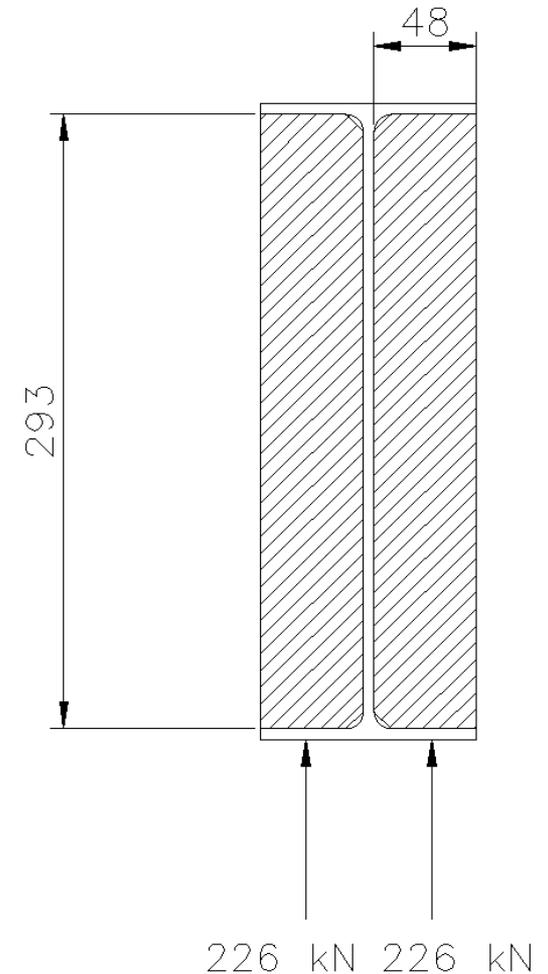
Cálculo da espessura necessária do enrijecedor

$$226 = \frac{A \cdot F_y}{1,1} = \frac{t \cdot (4,8 - 1) \cdot 25}{1,1} \rightarrow 2,62 \text{ cm}$$

Esbeltez do enrijecedor para seção compacta

$$\frac{b}{t} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow t \approx \frac{b}{16} = \frac{48}{16} = 0,3 \text{ cm}$$

Adota-se enrijecedor t = 31,75mm (A36)



Exercício 04

Verificação da solda na alma do perfil W310X21 (enrijecedor interno)

Solda de Filete $L = 210\text{mm}$ (E60XX)

Verificação da Resistência da Solda

$$226 = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot d_w \cdot 2 \cdot 21 \cdot 41,5}{1,35} \rightarrow d_w = 0,42\text{cm}$$

Verificação da Resistência do Metal Base (Cisalhamento):

$$226 = \frac{0,6 \cdot d_w \cdot 2 \cdot 21 \cdot 34,5}{1,10} \rightarrow d_w = 0,146\text{cm}$$

$d_w = 0,42$ adotar 5mm

Exercício 04

Verificação da solda na mesa do perfil W310X21 (enrijecedor interno)

Solda de Filete $L = 38mm$ (E60XX)

Verificação da Resistência da Solda

$$226 = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot d_w \cdot 2 \cdot 3,8 \cdot 41,5}{1,35} \rightarrow d_w = 2,28cm$$

Verificação da Resistência do Metal Base (Cisalhamento):

$$226 = \frac{0,6 \cdot d_w \cdot 2 \cdot 3,8 \cdot 25}{1,10} \rightarrow d_w = 2,18cm$$

Verificação da Resistência do Metal Base (tração):

$$226 = \frac{d_w \cdot 2 \cdot 3,8 \cdot 34,5}{1,10} \rightarrow d_w = 0,95cm$$

$d_w = 2,28$ adotar 23mm

Exercício 04

Verificação da solda na alma do perfil W310X21 (enrijecedor externo)

Solda de penetração total L= 210mm (E60XX) chanfro 60° abertura raiz = 3mm

Cisalhamento Normal à seção efetiva da solda (Coluna W200X46,1):

$$F_{wRd} = \frac{0,6 \cdot t \cdot L_c \cdot F_y}{1,10} \rightarrow \frac{0,6 \cdot 3,175 \cdot 21 \cdot 34,5}{1,10} = 1254 \text{ kN} > 226 \text{ OK}$$

Cisalhamento Normal à seção efetiva da solda (Enrijecedor):

$$F_{wRd} = \frac{0,6 \cdot \frac{t}{\cos 60} \cdot L_c \cdot F_y}{1,10} \rightarrow \frac{0,6 \cdot \frac{3,175}{\cos 60} \cdot 21 \cdot 25}{1,10} = 1818 \text{ kN} > 226 \text{ OK}$$

Exercício 04

Verificação da solda na mesa do perfil W310,21 (enrijecedor externo)

Solda de penetração total $L = 38\text{mm}$ (E60XX) chanfro 60° abertura raiz = 3mm

tração Normal à seção efetiva da solda (Viga W310X21)

$$F_{wRd} = \frac{t \cdot L_c \cdot F_y}{1,10} \rightarrow \frac{3,175 \cdot 3,8 \cdot 34,5}{1,10} = 378 \text{ kN} > 226 \text{ kN}$$

(Enrijecedor):

Tração na seção efetiva

$$F_t = 226 \cdot \cos 60 = 113 \text{ kN}$$

$$F_{wRd} = \frac{\frac{3,175}{\cos 60} \cdot 3,8 \cdot 25}{1,10} = 548 \text{ kN} > 113 \text{ kN OK}$$

Cisalhamento na seção efetiva

$$F_v = 226 \cdot \sin 60 = 196 \text{ kN}$$

$$F_{wRd} = \frac{0,6 \cdot \frac{3,175}{\cos 60} \cdot 3,8 \cdot 25}{1,10} = 329 \text{ kN} > 196 \text{ kN OK}$$

Exercício 04

Detalhamento da ligação

