

PMR 3103

**ELEMENTOS E MÉTODOS
DE UNIÃO / FIXAÇÃO
(REBITES E SOLDA)**

Elementos e Métodos de União/Fixação

1. Objetivo da União/ Fixação

Unir duas ou mais peças de maneira a tornar possível a transmissão de força e/ou movimento

2. Classificação

Unões Desmontáveis ou Móveis

“Podem ser desfeitas (desmontadas) sem provocar dano (destruição) tanto às peças unidas quanto aos elementos utilizados para a fixação”

Exemplo: porcas/parafusos, pinos ou anéis elásticos

Unões Fixas ou Permanentes

“Ao serem desfeitas podem provocar dano ou perda total das peças unidas e/ou dos elementos utilizados para a fixação”

Exemplo: rebites, adesivos ou soldas

3. Rebites

Estrutura Rebitada



Princípio de Funcionamento

“Neste tipo de união, o elemento de fixação, denominado “REBITE” , é montado em furos usinados nos elementos a serem fixados, sendo responsável pela transmissão de esforços entre os elementos da união.”

3. Rebites

- O rebite é fabricado com uma de suas cabeças pré-moldada, sendo que a outra cabeça é conformada (fechamento) na própria obra.









São utilizados tipos de cabeça como:

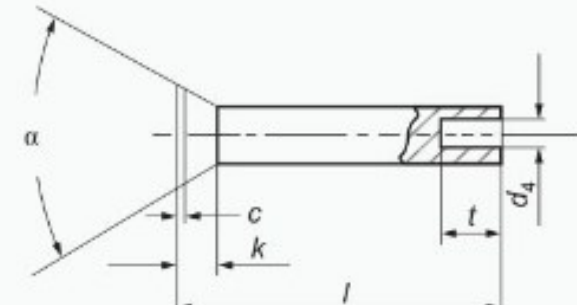
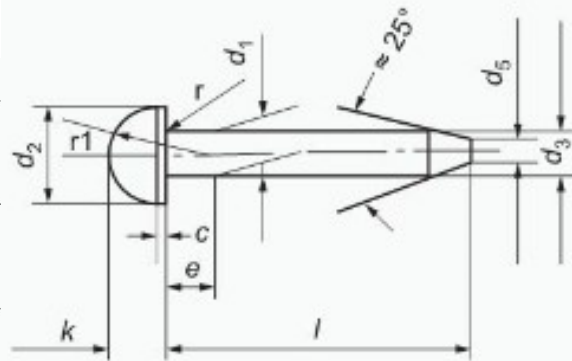
- redonda
- abaulada
- cilíndrica
- etc.

A cabeça de fechamento conformada na obra é normalmente redonda.

NBR 9580 2015 Rebites- Especificação

Denominação dos Rebites

	Rebite com cabeça redonda
	Rebite com cabeça abaulada
	Rebite com cabeça cilíndrica
	Rebite com cabeça plana e haste semitubular
	Rebite com cabeça boleada plana e haste semitubular
	Rebite com cabeça escareada plana e haste semitubular
	Rebite com cabeça abaulada ou escareada
	Rebite com cabeça chata ou escareada e ponta da haste cônica (rebite para correias)

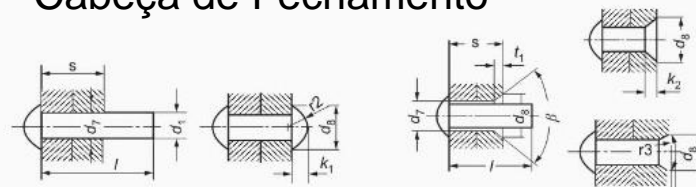


Legenda

- d_1 diâmetro nominal (diâmetro de rebites)
- d_2 diâmetro maior da cabeça
- d_3 diâmetro maior do cone ou diâmetro do corpo na extremidade
- d_4 diâmetro interno em rebites semitubulares
- d_5 diâmetro menor do cone na extremidade do corpo

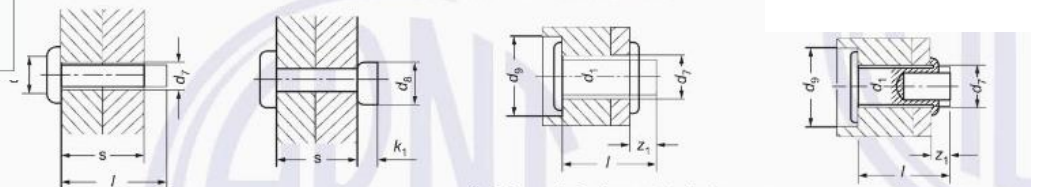
- e distância do plano de medição do diâmetro nominal
- k altura da cabeça
- l comprimento nominal
- r raio de concordância entre a cabeça e o corpo
- r_1 raio da cabeça de rebites de cabeça redonda e abaulada
- t profundidade do furo
- α ângulo do escareado da cabeça
- c borda da cabeça do rebite

Cabeça de Fechamento



a) Cabeça de fechamento redondo

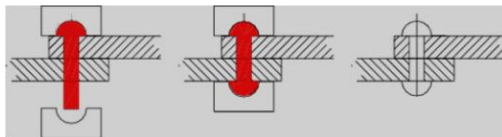
b) Cabeça de fechamento escareado ou escareado-abaulada



c) Cabeça de fechamento cilíndrico

d) Cabeça de fechamento chato

e) Cabeça de fechamento furado



Não se cortam rebites no sentido longitudinal

Torre Eiffel



Projetada e construída por

Gustave Eiffel

Exposição Mundial de **1889**
comemorando o Centenário da
Revolução Francesa.

Alguns Dados:

- 300 trabalhadores
- 2 anos (1887-1889) para construção
- Oscilação de, no máximo, 120 mm em ventos fortes.
- Altura (324m) varia até 150 mm dependendo da temperatura.
- 15.000 peças de aço (excluindo rebites).
- 2,5 milhões de rebites
- 40 toneladas de pintura.

Processos de Rebitagem

Rebitagem Mecânica à Quente



<https://www.youtube.com/watch?v=I9Q50HYDbvo>



<https://www.youtube.com/watch?v=RFIexsFXBI0>

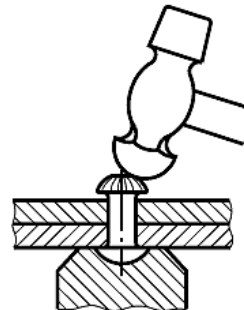
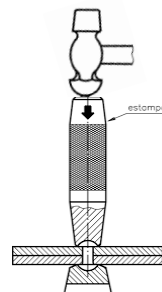
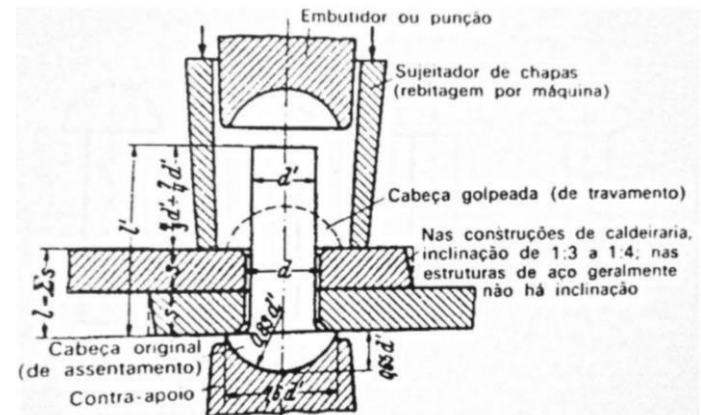


<https://www.youtube.com/watch?v=Ncgq6OPmY4o>

Rebitagem Manual à Quente



https://www.youtube.com/watch?v=FwTAZN_00Ww



ESTRUTURAS REBITADAS



Boeing 747-400

Custo da Estrutura: US\$100 milhões

Materiais: ligas de Al e PRFC (polímero reforçado com fibra de carbono)

Peso Vazio: 180.895kg

Peso Máximo Total: 396.890kg

Fixadores: 3 milhões (1,5 milhões de rebites)



- **Rebites de Expansão/Repuxo**
(Rebite “POP”)

Este tipo de rebite é bastante empregado em situações não estruturais.

O rebite de expansão/repuxo, muitas vezes denominado de rebite “pop”, pode ser instalado na união de uma forma bastante simples, **sem necessitar de equipamento especial para conformação da cabeça, nem de acesso a ambos os lados da união.**

O rebite de expansão é de material metálico (normalmente alumínio), com uma das cabeças já conformada, e com outra cabeça conformada pela movimentação do corpo interno (mandril) do rebite. Para esta movimentação emprega-se uma ferramenta especial.



NBR ISO 15977

Rebites de Repuxo

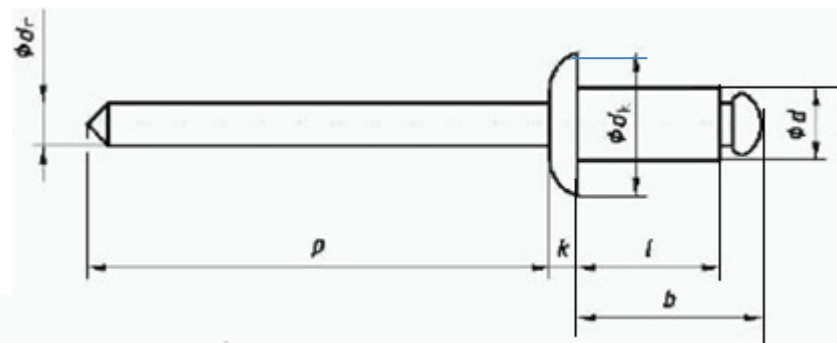


Tabela 1 — Dimensões dos rebites

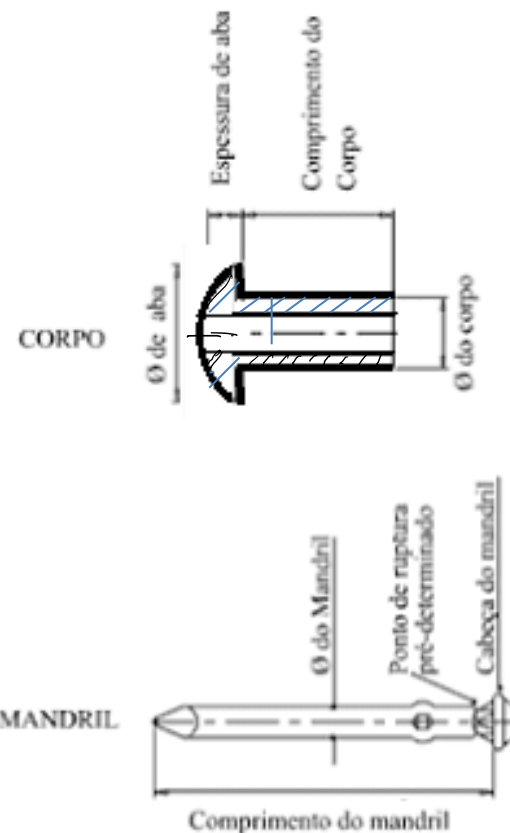
Dimensões em milímetros

Corpo do rebite	nom.	2,4	3	3,2	4	4,8	5	6	6,4	
		d	máx. 2,48	3,08	3,28	4,08	4,88	5,08	6,08	6,48
		mín. 2,25	2,85	3,05	3,85	4,65	4,85	5,85	6,25	
d_k	máx.	5,0	6,3	6,7	8,4	10,1	10,5	12,6	13,4	
	mín.	4,2	5,4	5,8	6,9	8,3	8,7	10,8	11,6	
k	máx.	1	1,3	1,3	1,7	2	2,1	2,5	2,7	
Mandril	d_m	máx. 1,55	2	2	2,45	2,95	2,95	3,4	3,9	
	ρ	mín. 25	25	25	27	27	27	27	27	
Comprimento do repuxo	b	máx. $l_{máx} + 3,5$	$l_{máx} + 3,5$	$l_{máx} + 4$	$l_{máx} + 4$	$l_{máx} + 4,5$	$l_{máx} + 4,5$	$l_{máx} + 5$	$l_{máx} + 5,5$	
Comprimento do rebite l^b		Espessuras rebiteáveis recomendadas ^a								
nom. = mín.	máx.									
4	5	0,5 a 2,0	0,5 a 1,5	-	-	-	-	-	-	
6	7	2 a 4	1,5 a 3,5	1 a 3	1,5 a 2,5	-	-	-	-	
8	9	4 a 6	3,5 a 5,0	3 a 5	2,5 a 4,0	2 a 3	-	-	-	
10	11	6 a 8	5 a 7	5,0 a 6,5	4 a 6	3 a 5	-	-	-	
12	13	8,0 a 9,5	7 a 9	6,5 a 8,5	6 a 8	5 a 7	3 a 6	-	-	
16	17	-	9 a 13	8,5 a 12,5	8 a 12	7 a 11	6 a 10	-	-	
20	21	-	13 a 17	12,5 a 16,5	12 a 15	11 a 15	10 a 14	-	-	
25	26	-	17 a 22	16,5 a 21,0	15 a 20	15 a 20	14 a 18	-	-	
30	31	-	-	-	20 a 25	20 a 25	18 a 23	-	-	

NOTA As dimensões dos corpos dos rebites estão desenvolvidas nas equações de projeto constantes no anexo A.

^a Espessuras rebiteáveis para dimensões de rebites, como mostradas na tabela 1, com a combinação de material como indicado na seção 4, são especificadas pelos comprimentos máximos e mínimos rebiteáveis. As espessuras rebiteáveis mínimas são fornecidas apenas como recomendação. Em situações individuais é possível trabalhar com valores abaixo do mínimo.

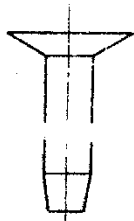
^b Comprimentos maiores do que 30 mm devem ser especificados com incrementos de 5 mm. Consultar o fabricante quanto à disponibilidade e espessura rebiteável.



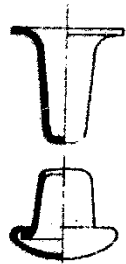
Rebites Especiais

<https://www.youtube.com/watch?v=qUEbePVyS3c>

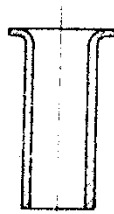
Rebite com conformação por explosivo



rebite para correia



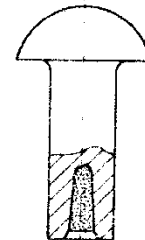
rebite macho e fêmea



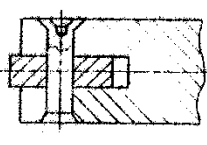
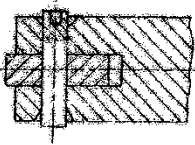
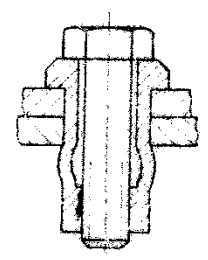
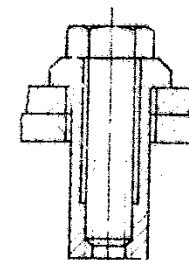
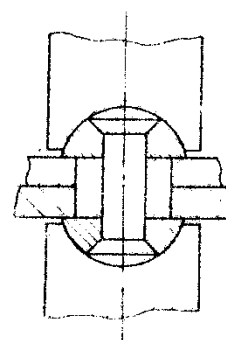
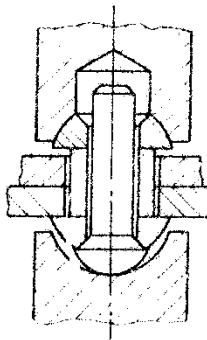
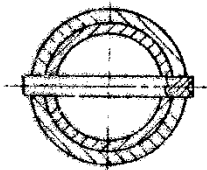
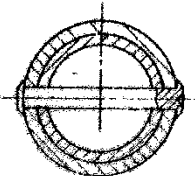
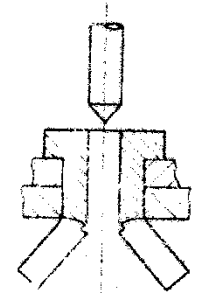
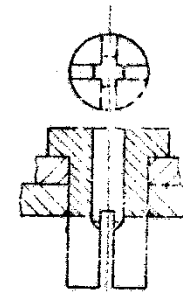
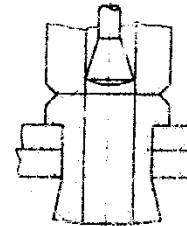
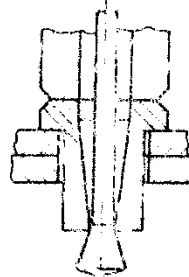
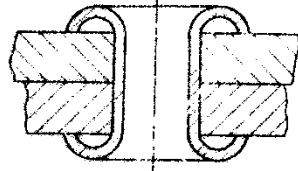
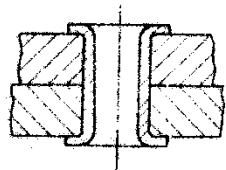
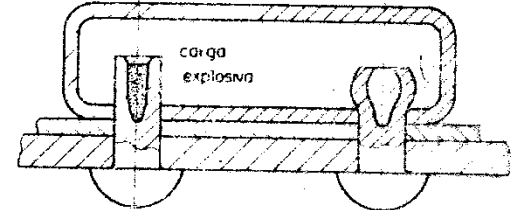
rebite furado



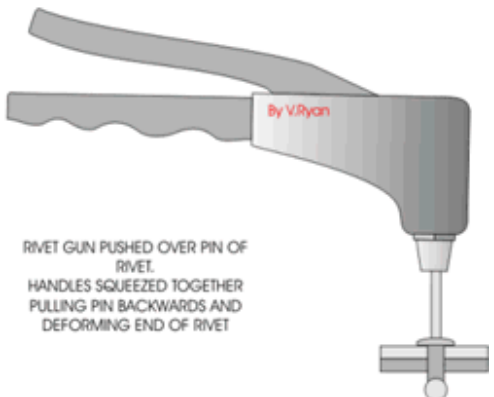
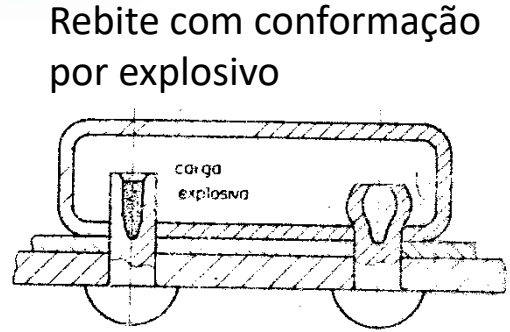
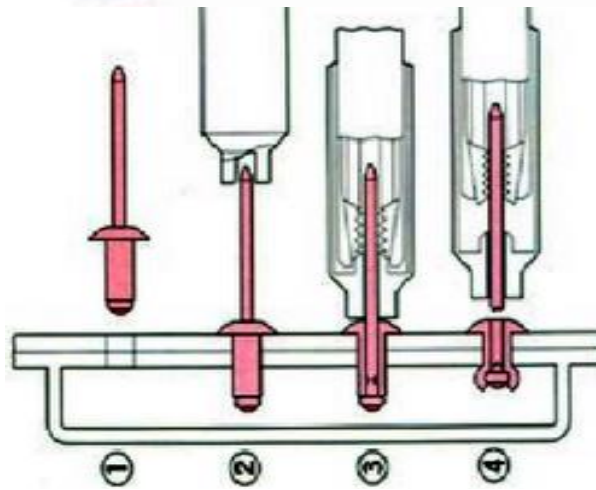
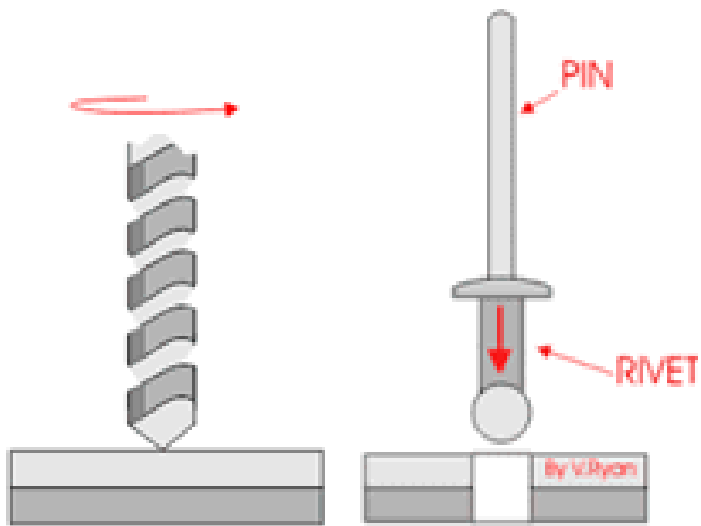
rebites sem cabeça



rebite com carga explosiva



Instalação de Rebites de Repuxo (POP) e Tracionador (Ferramenta)



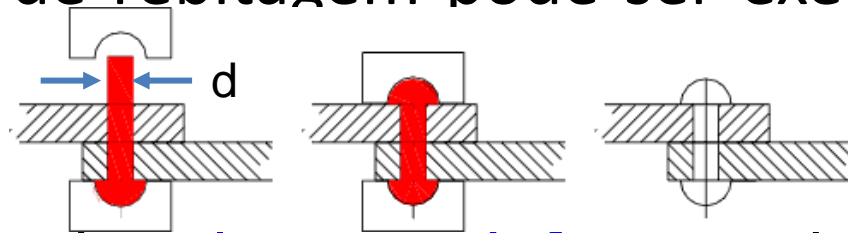
<https://www.youtube.com/watch?v=qUEbePVyS3c>

https://youtu.be/9aoXmzdSf_I

<https://www.youtube.com/watch?v=yuJqCtSrad0>

- **Tipos de Junção por Rebites**

O processo de rebitagem pode ser executado à quente ou à frio.



No processo de **rebitagem à frio**, o rebite é inserido no furo à **temperatura ambiente**.

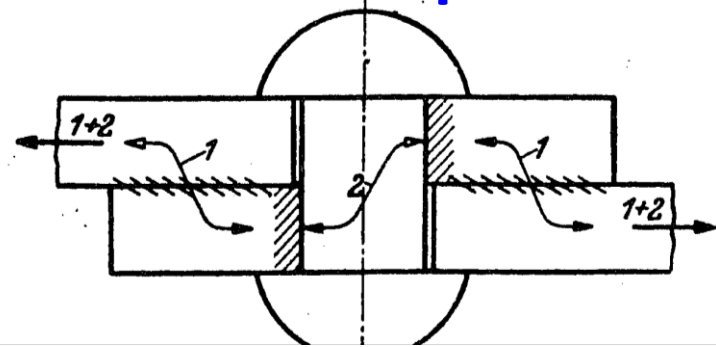
Já na **rebitagem à quente**, o rebite é inserido aquecido no furo, sendo que após a **contração do mesmo** há o aumento da força de **compressão entre as peças unidas**, fato que aumenta a resistência ao cisalhamento da união.

Para rebites de aço a rebitagem a frio é utilizada para diâmetros do rebite (d) de até ϕ 6 mm, quando manual, ou ϕ 10 mm quando mecânica.

Transmissão de forças através de uma união por rebite

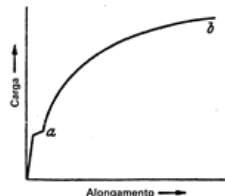
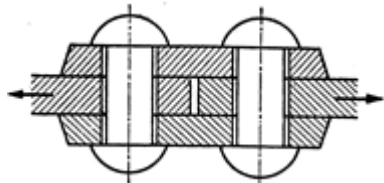
1- por atrito

2- por compressão das superfícies cilíndricas dos furos e dos rebites



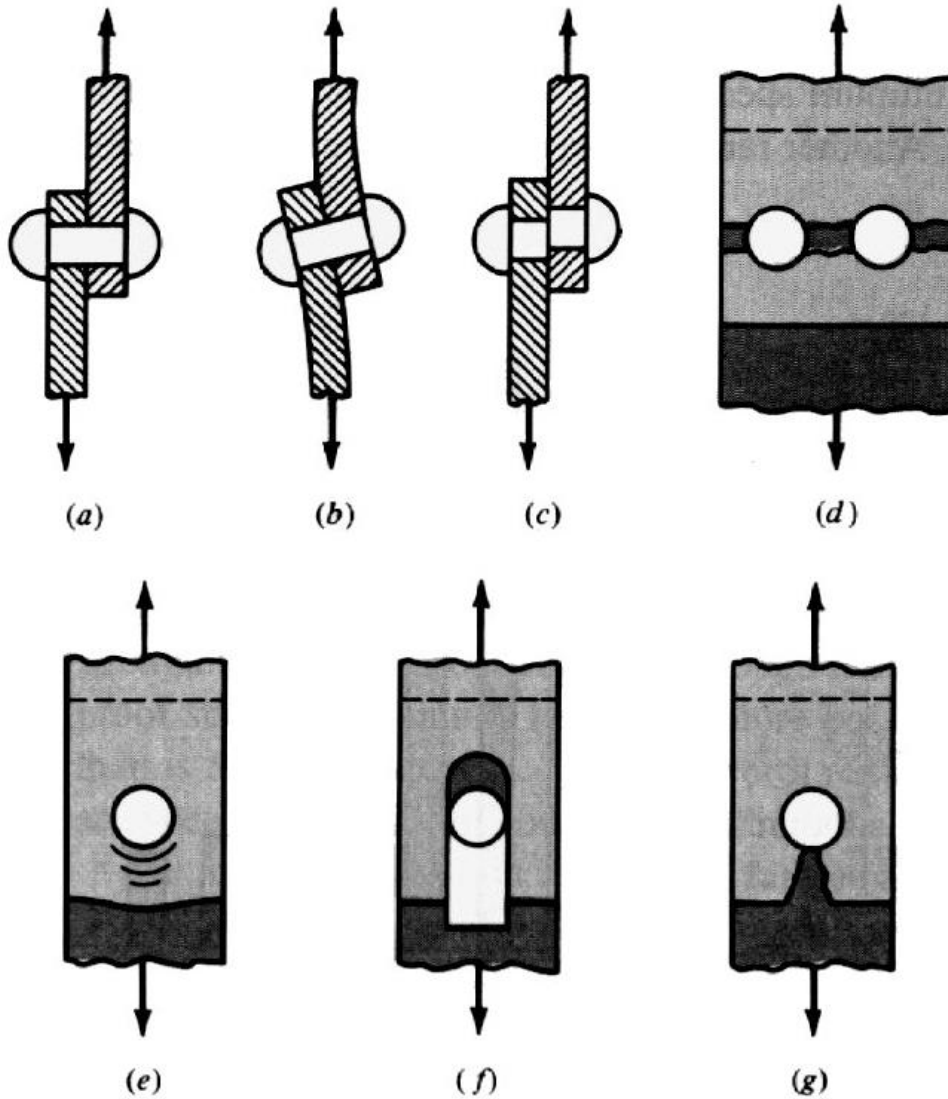
• Tipo de Carregamento Preferencial

As uniões rebitadas resistem preferencialmente ao **carregamento de cisalhamento**, sendo o rebite responsável por esta resistência. No caso da **rebitagem à quente**, a força de compressão **entre as peças** gera uma **força de atrito (1)** que auxilia na resistência aos esforços de cisalhamento, **aumentando a resistência da união.**



Ensaio de tração de uma junção por rebite (segundo Röttscher). Em a, dá-se a ultrapassagem do limite de escorregamento e se inicia a aplicação de forças cortantes; em b verifica-se o cisalhamento

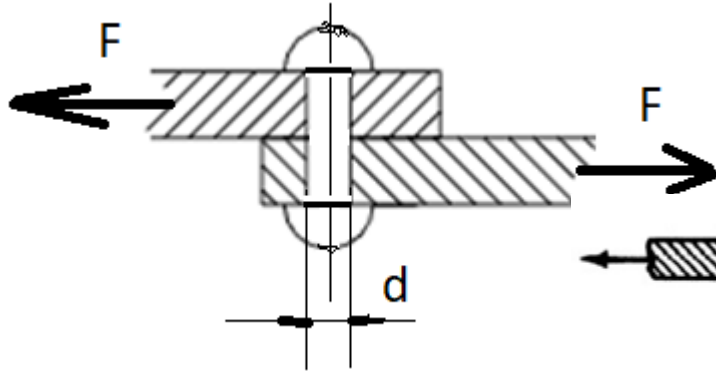
Modos de Falha de Uniões por Rebites



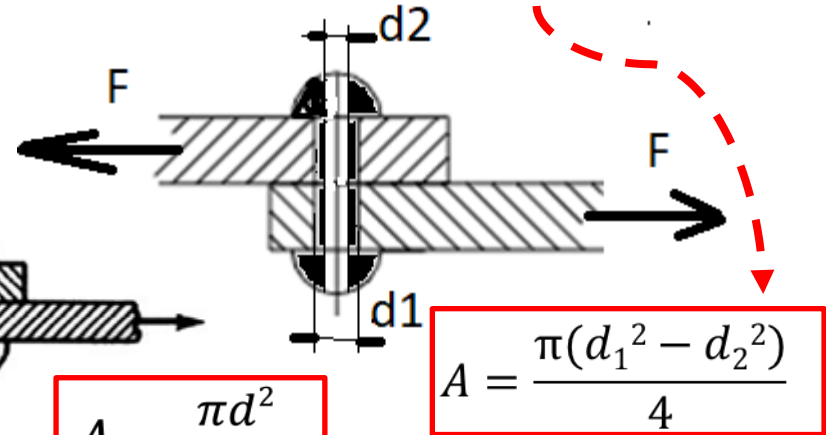
- a) Aplicação de Rebite
- b) Flexão das Peças Ligadas
- c) Cisalhamento do Rebite
- d) Ruptura das Peças
- e) Esmagamento do Rebite ou da Peça
- f) Corte da Bainha
- g) Rasgo da Bainha

Cálculo de Resistência do Rebite ao Cisalhamento

Rebite Maciço (1 rebite)



Rebite Tubular-POP (1 rebite)



Área Cisalhada (Rebite Maciço)

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(d_1^2 - d_2^2)}{4}$$

Tensão de Cisalhamento devida à força F (1 rebite) $\tau = F/A$

Tensão de Cisalhamento Admissível (máxima) do material do rebite = τ_{\max}

Para que o rebite não falhe

$$\tau \leq \tau_{\max}$$

$$F \leq \tau_{\max} \cdot A$$

Força máxima suportada pelo rebite

$$F_{\max} = \tau_{\max} \cdot A$$

Diâmetro mínimo do rebite para suportar força F

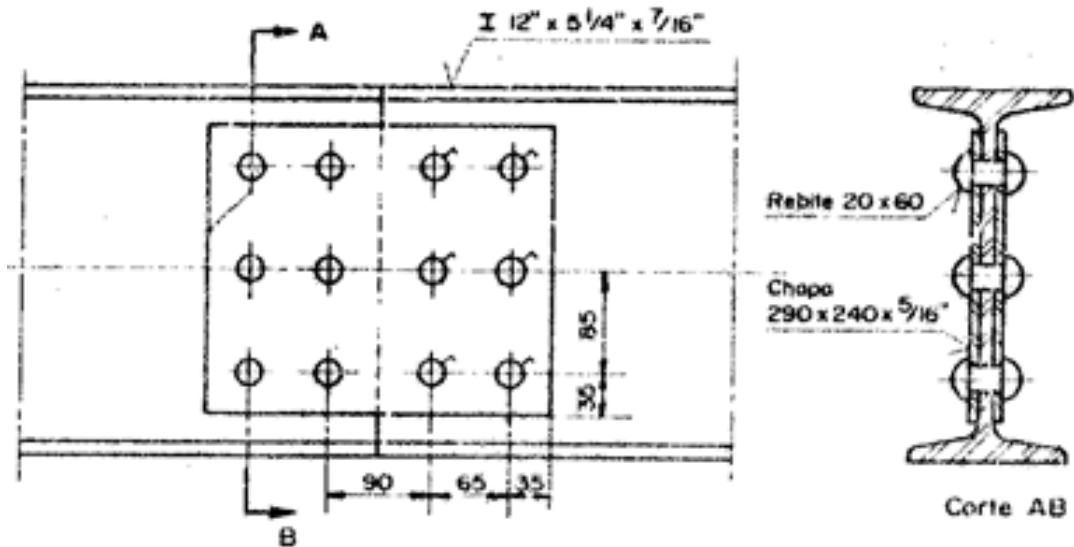
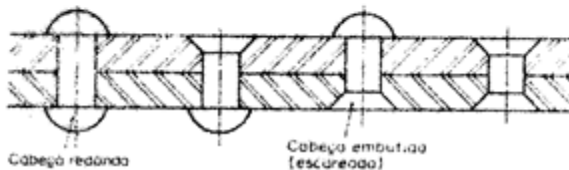
$$d_{\min} = \sqrt[2]{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot \tau_{\max}}}$$

Simbologia de Rebites

Diâmetro do rebite (mm)		(8)	10	12	(14)	16	(18)	20	22	24	27	30	(33)	36	
Diâmetro do furo (mm)		8,4	11	13	15	17	19	21	23	25	28	31	34	37	
SÍMBOLOS CONVENCIONAIS	Cabeças redondas de ambos os lados														
	Cabeças chatas	Cabeça superior embutida													
		Cabeça inferior embutida													
		Ambas as cabeças embutidas													
	Rebitar na montagem														
	Furar na montagem														

Até à escala 1:5 os símbolos convencionais serão representados com diâmetros iguais aos furos, para escalas menores usar-se-ão diâmetros iguais as cabeças dos rebites.

Evitar os valores entre parênteses.



- **Vantagens da União Rebitada**

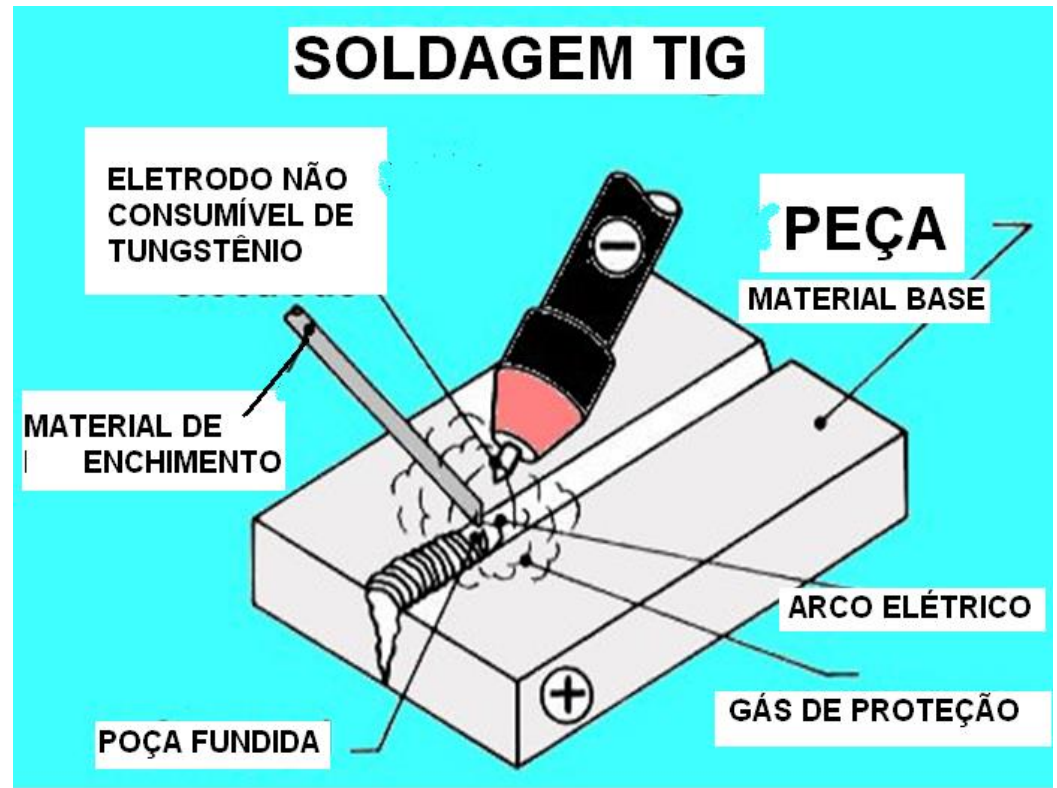
- Não necessita de mão-de-obra especializada para a sua execução;
- Impõe uma descontinuidade estrutural, evitando a propagação de defeitos (principalmente trincas) entre os componentes da união.

- **Desvantagens da União Rebitada**

- Introdução de pontos de concentração de tensões nos componentes da união, devido à presença dos furos;
- Peso da estrutura mais elevado, devido a sobreposição das peças componentes da união;
- Eventual ponto de desgaste ou corrosão.

4. Soldagem

- O processo de união por soldagem envolve a fusão de um material de enchimento e/ou do material base, obtendo-se, a partir da solidificação dos materiais fundidos, uma peça contínua, através da união de duas partes distintas.
- Atualmente é o processo de união mais empregado na fabricação de componentes estruturais.



Estruturas Soldadas



Tipos de Soldagem

Os processos de soldagem podem ser classificados em três tipos, os quais são:

- **A) Fusão do Material de Enchimento**
- **B) Fusão do Material Base e do Material de Enchimento**
- **C) Fusão do Material Base**

- **A) Fusão do Material de Enchimento:**

Neste processo, o material de enchimento apresenta um ponto de fusão inferior ao metal base, e este é posicionado entre as peças a serem unidas. A junta é aquecida, havendo a fusão do material de enchimento, que por capilaridade escoava entre as peças a serem unidas.

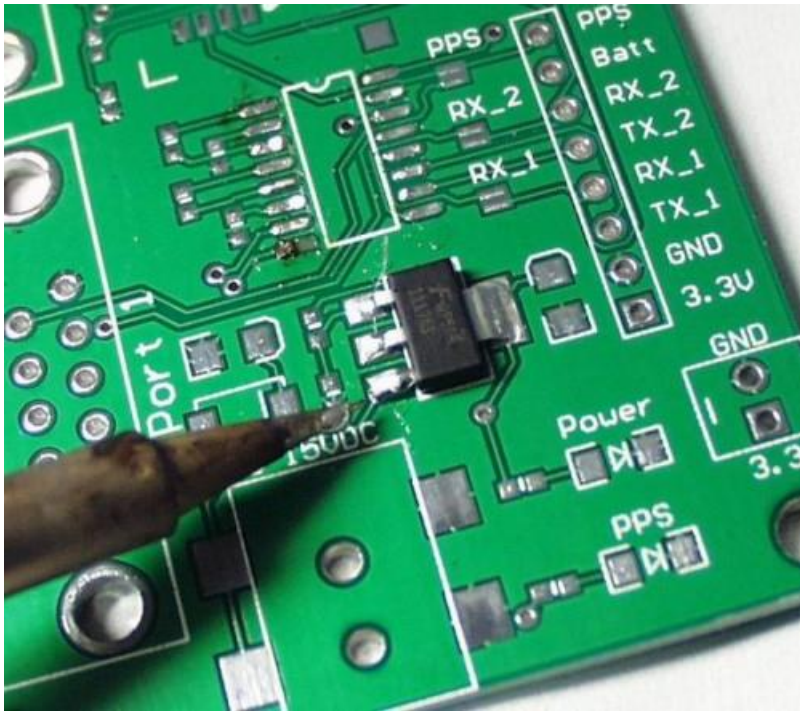
Uma vez cessada a fonte de calor, há a solidificação do material de enchimento, havendo a união entre as peças.

Exemplo: brasagem (brazing) e solda fraca (soldering)

O material de enchimento é usualmente uma liga à base de estanho ou prata.

Soldagem por fusão do material de enchimento

Soldagem(Soldering) com ferro de solda



< 300° C

Brasagem (Solda Prata)



> 400° C

- **B) Fusão do Material Base e do Material de Enchimento:**

Neste processo de soldagem ocorre a fusão do material de enchimento e do material das peças que compõem a união, denominado de material base.

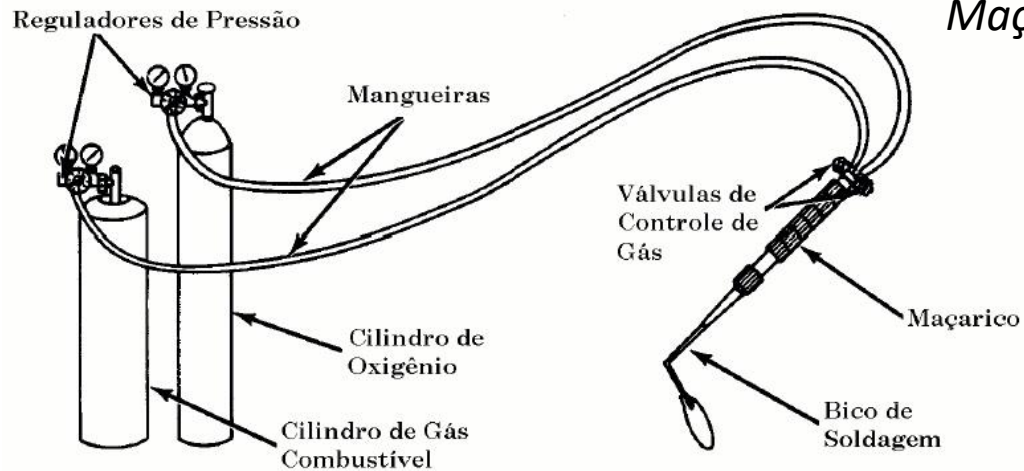
Com a utilização de uma fonte de calor, funde-se o material de enchimento e o material base, formando uma poça de material liquefeito. Cessando a fonte de calor há a solidificação deste material, havendo a formação de uma peça contínua, ou seja, há uma completa união entre as partes que compõem a junção. Dentre estes processos podem ser citados:

- Soldagem a gás (oxi-acetileno)
- Soldagem a arco-elétrico

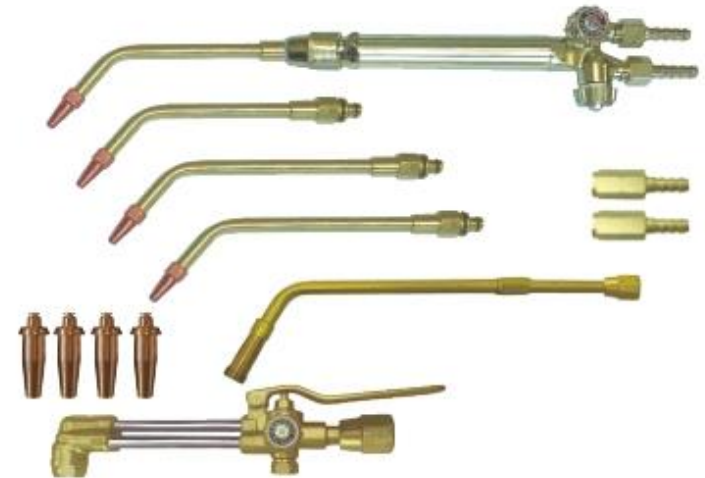
➤ Soldagem a gás (oxi-acetileno)

Utiliza o calor gerado por uma chama como fonte de calor para fusão dos materiais

Equipamento de soldagem a gás (oxi-acetileno)



Maçaricos de soldagem a gás (oxi-acetileno)

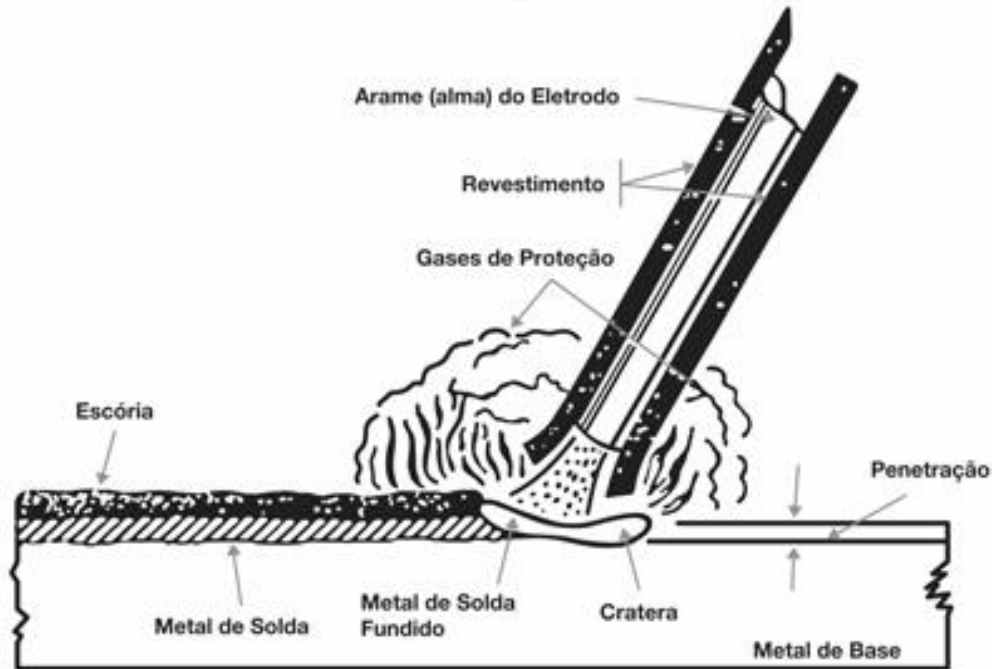


Cf. UFMG



➤ *Soldagem a arco-elétrico*

Utiliza o calor gerado por uma arco elétrico, formado entre um eletrodo e as peças a serem unidas.



Tipos

- ✓ ***Soldagem Manual com Eletrodo Revestido***
- ✓ ***Soldagem MIG (Metal Inert Gas)***
- ✓ ***Soldagem TIG (Tungsten Inert Gas)***

✓ Soldagem Manual com Eletrodo Revestido (SMAW e MMA)

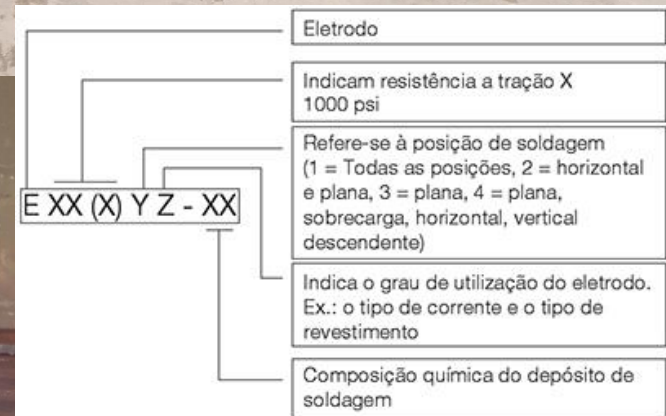
Shielded Metal Arc Welding
Manual Metal Arc

Eletrodos



E6013 = 42kg/mm²

E7018 = 49kg/mm²



Operador adiciona manualmente o material de enchimento na forma de varetas revestidas com um material especial que quando exposto às altas temperaturas do arco gera escória ou gás que protege a poça de fusão

<https://www.youtube.com/watch?v=x8KSMpqIldo>

✓ Soldagem Manual com Eletrodo Revestido (SMAW e MMA)

VANTAGENS

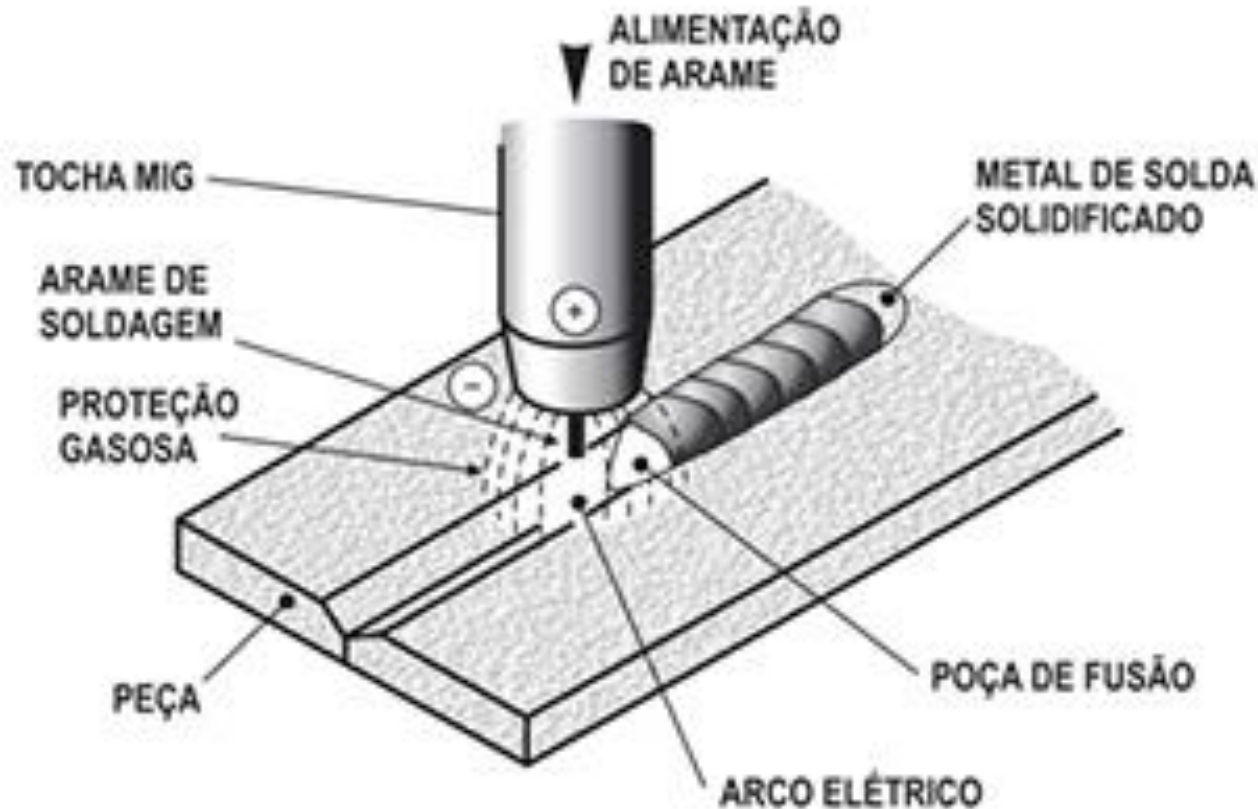
- Processo de Soldagem de baixo investimento;
- Não há necessidade suprimento de gases;
- Flexibilidade de aplicação;
- Grande variedade de consumíveis;
- Equipamentos podem ser usados também para outros processos.

DESVANTAGENS

- Baixa produtividade;
- Necessidade de cuidados especiais com os eletrodos;
- Volume de gases e fumos gerados no processo.

✓ Soldagem MIG (Metal Inert Gas)

GMAW (Gas Metal Arc Welding)



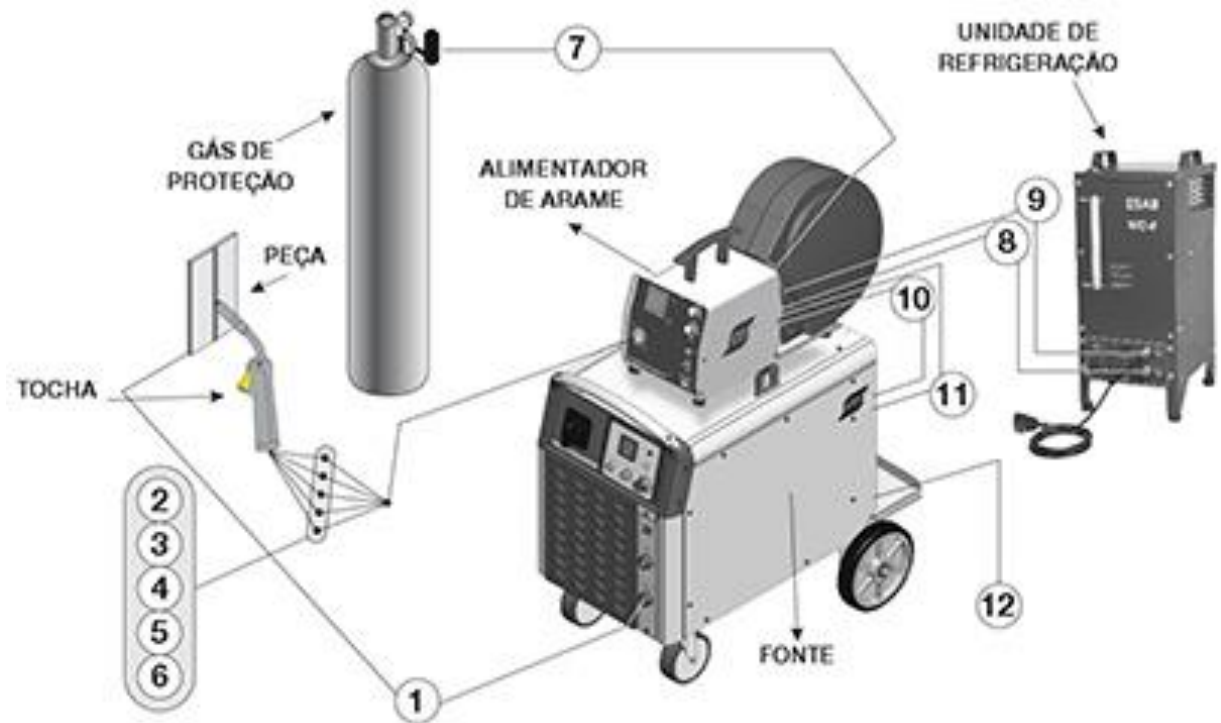
Gás Inerte
-Argônio
-Hélio

Soldagem MAG (Metal Active Gas) ?
Gás Ativo - CO₂

✓ Soldagem MIG (Metal Inert Gas)

Equipamento de Solda MIG

- 1 - CABO DE SOLDA (NEGATIVO)
- 2 - REFRIGERAÇÃO DA TOCHA (ENTRADA ÁGUA)
- 3 - GÁS DE PROTEÇÃO
- 4 - GATILHO DA TOCHA
- 5 - REFRIGERAÇÃO DA TOCHA (RETORNO ÁGUA)
- 6 - CONDUÍTE DO ARAME
- 7 - GÁS DE PROTEÇÃO VINDO DO CILINDRO
- 8 - SAÍDA DE ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO
- 9 - ENTRADA DE ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO
- 10 - CABO DE COMANDO (ALIMENTADOR/FONTE)
- 11 - CABO DE SOLDA (POSITIVO)
- 12 - CONEXÃO PARA A FONTE PRIMÁRIA (220/380/440 VCa)



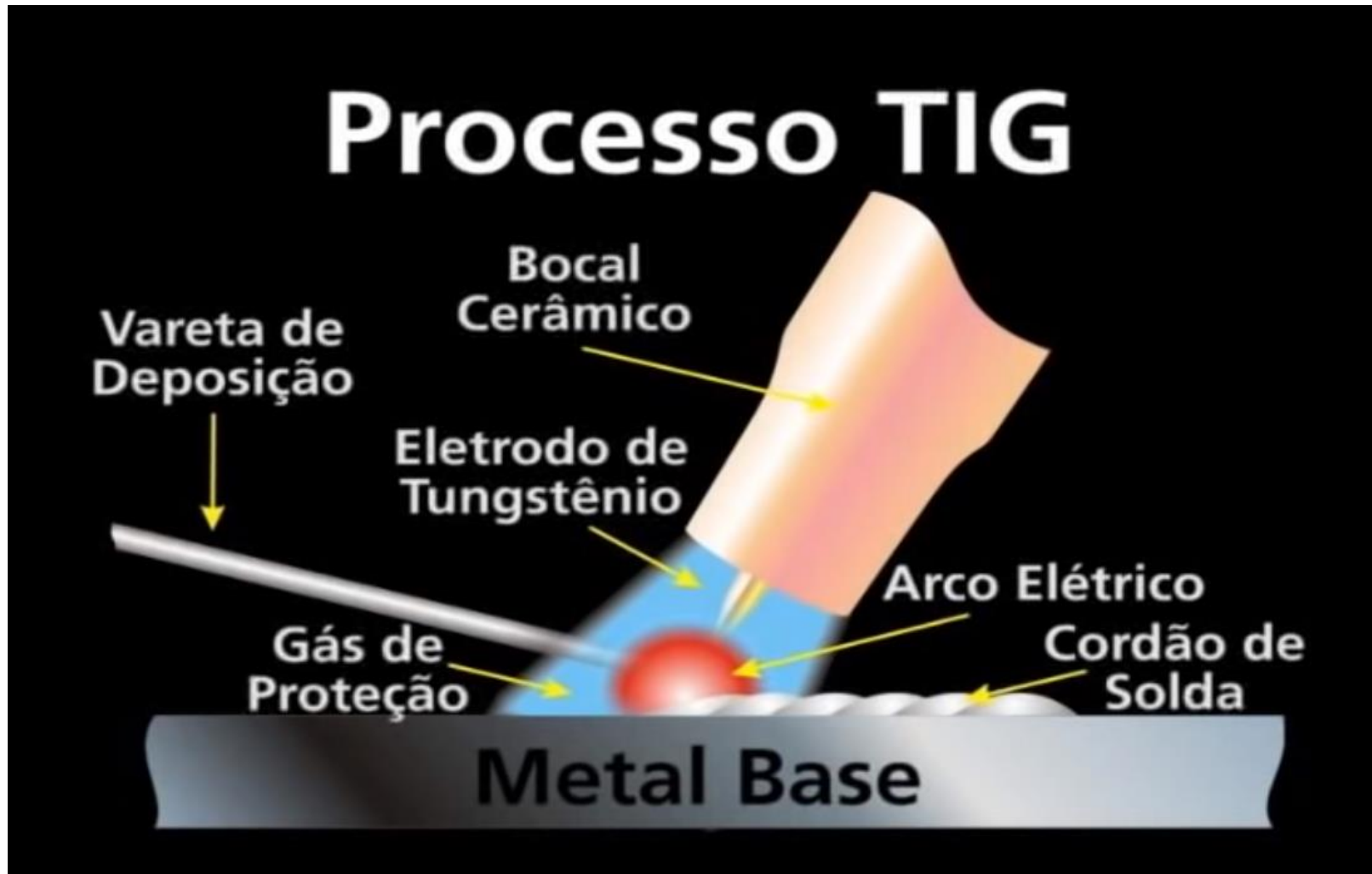
SOLDAGEM MIG



<https://www.youtube.com/watch?v=jG211otCuhs>

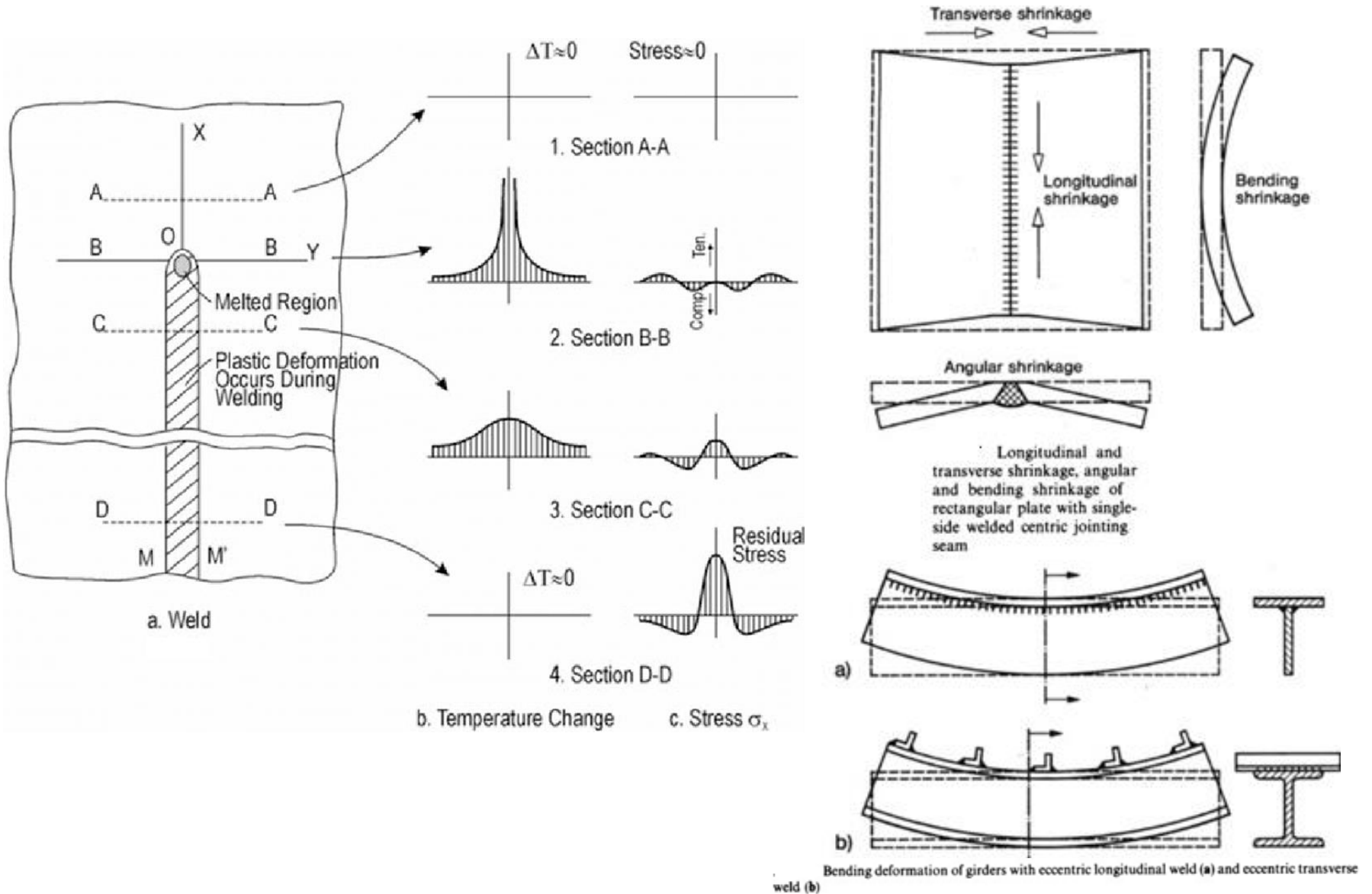
https://www.youtube.com/watch?v=7MLVnd0b_CU

✓ Soldagem TIG (Tungsten Inert Gas)



<https://www.youtube.com/watch?v=bYlmgpLmkMA>

Tensão Residual e Deformação na Soldagem a Arco Elétrico



Soldagem por Fusão de Materiais Diferentes (Dissimilares)

A formação de fases intermetálicas na soldagem por fusão convencional de materiais diferentes (dissimilares) é uma preocupação pois isto pode prejudicar a integridade da união

Qual a definição de materiais dissimilares na soldagem?

Dois metais que possuem diferentes propriedades químicas ou mecânicas são considerados dissimilares.

Dois metais com o mesmo nome podem ser soldados juntos, mas se eles têm propriedades básicas diferentes eles são classificados como metais dissimilares. Por exemplo, podemos soldar dois aços austeníticos mas eles podem ser diferentes o suficiente para ser considerados dissimilares.

Soldagem por Fusão de Materiais Diferentes (Dissimilares)

Que fatores devem ser considerados?

Estes são os fatores que devem ser considerados no planejamento da soldagem de materiais dissimilares e terão impacto na facilidade ou não de se conseguir a soldagem.

- **Solubility** – This refers to a metal's ability to dissolve in a solvent. Both metals must be able to dissolve together
- **Intermetallic compounds** – These will be formed in the transition zone during the welding process, and exhibit metallic bonding
- **Weldability** – Based on the solubility and intermetallic compounds of two metals, you can work out the level of weldability between the two
- **Thermal expansion** – How much the shape of your metals will change when a temperature is applied
- **Melting rates** – The point at which your metals will melt
- **Corrosion** – If two metals are extremely different on the electrochemical scale, then corrosion could occur
- **End-service conditions** – What are the conditions that your dissimilar metals will be operating within?

É muito importante a consideração de cada um destes fatores antes de se começar o processo de soldagem para conseguir o resultado correto.

- **C) Fusão do Material Base**

Neste processo de soldagem não se emprega um material de enchimento, sendo que apenas o material que compõe as partes a serem unidas forma a junta soldada.

Como fonte de calor emprega-se uma fonte de energia concentrada, como feixe de elétrons ou raio laser, que causa a fusão do material das partes a serem unidas, formando uma poça de material liquefeito. Cessando a fonte de energia, há a solidificação do material liquefeito, gerando a união entre as peças.

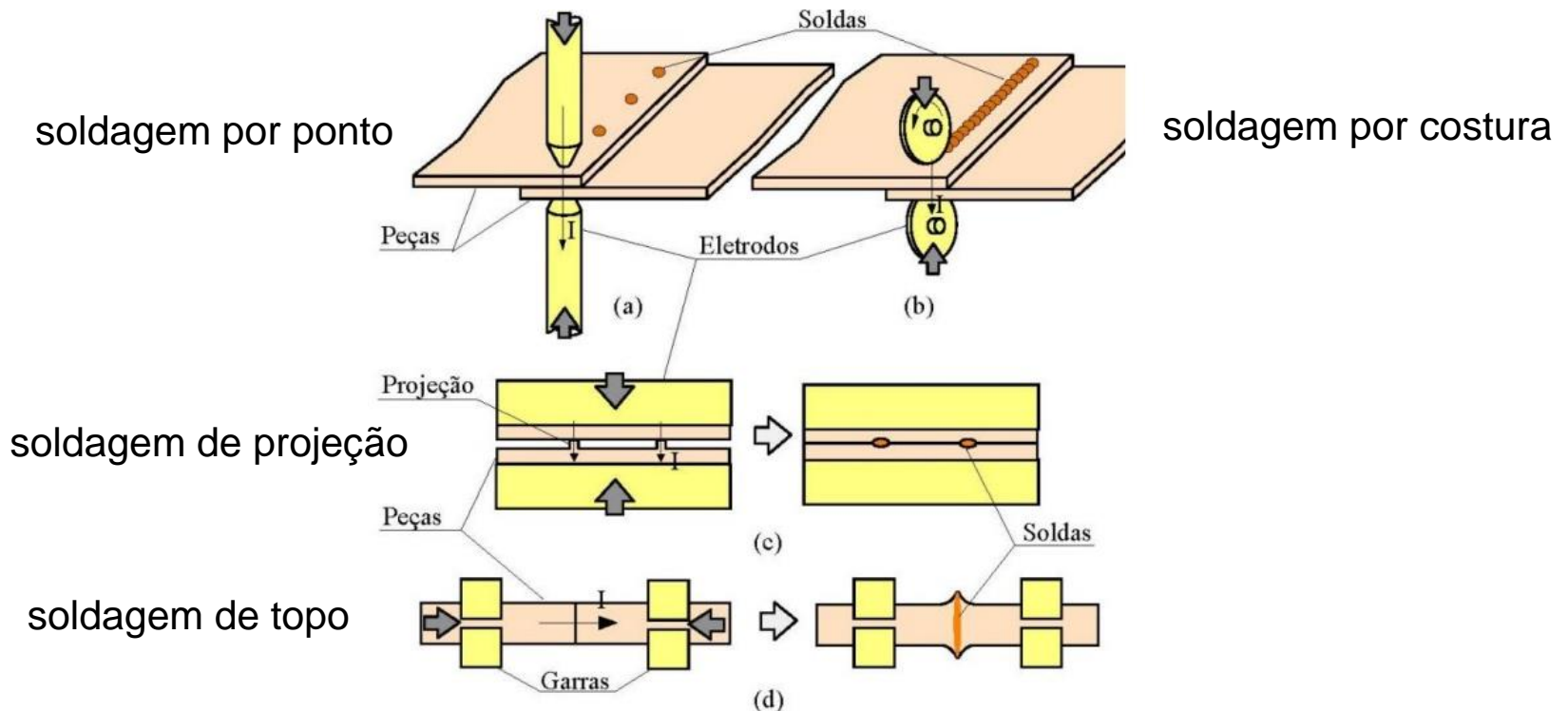
Soldagem a Laser



<https://www.youtube.com/watch?v=q6He9H8yxUY>

Soldagem por Resistência (RW)

A soldagem por resistência (Resistance Welding- RW) compreende um grupo de processos de soldagem nos quais o calor necessário à formação da junta soldada é obtido pela resistência à passagem da corrente elétrica através das peças sendo soldadas. O aquecimento da região da junta pela passagem da corrente elétrica, abaixa a resistência mecânica do material permitindo, através da aplicação de pressão, a deformação localizada e, assim, a soldagem por deformação da junta. Em alguns casos, ocorre uma fusão localizada na região da junta. Assim, neste processo de soldagem pode ocorrer a formação da solda tanto por fusão como por deformação. Existem quatro processos principais de soldagem por resistência: (a) soldagem por ponto (Resistance Spot Welding, RSW), (b) soldagem por costura (Resistance Seam Welding, RSEW), (c) soldagem de projeção (Resistance Projection Welding, RPW) e (d) soldagem de topo por resistência (Upset Welding, UW),



Exemplos de “Cordões” de Solda por Fusão

RUIM

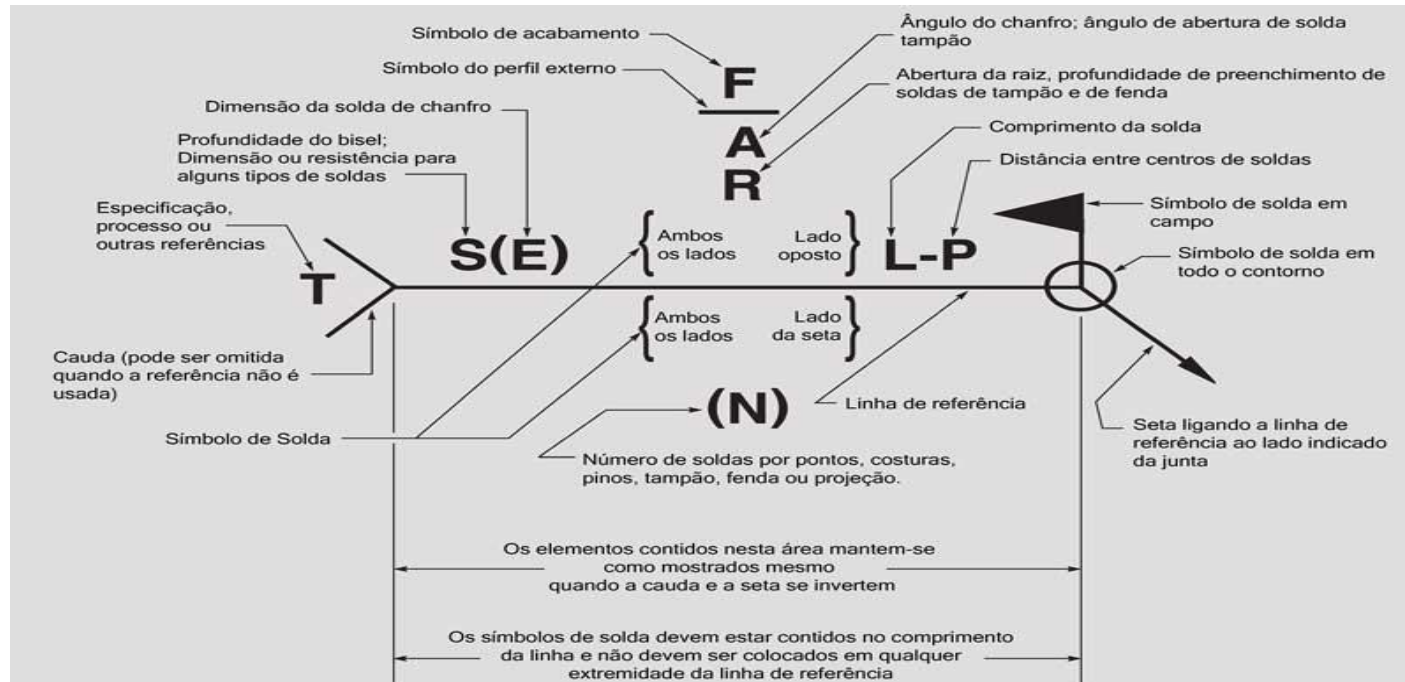
BOM

Problemas:

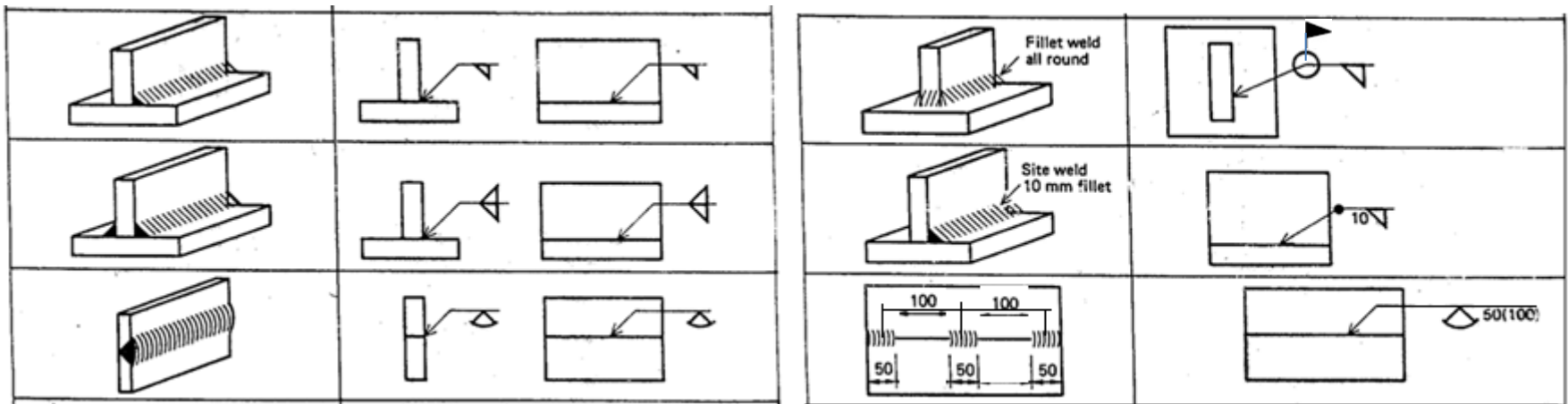
- Trincas
- Cavidades
- Poros
- Impurezas
- Fusão Incompleta



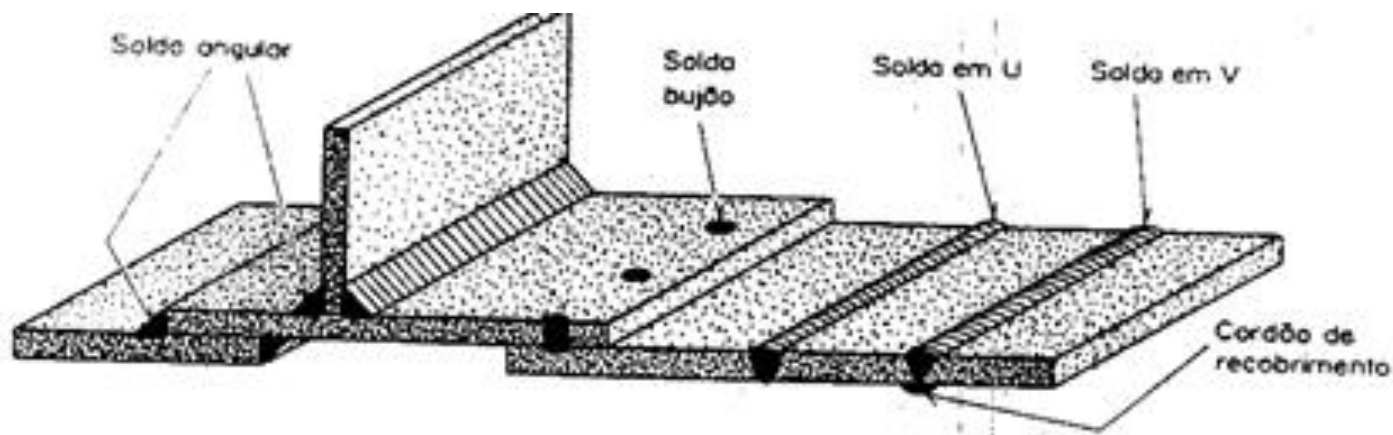
Representação da Soldagem em Desenho Técnico



Consultar
Norma
AWS 2.4:2007
(American
Welding Society)



Representação da Soldagem em Desenho Técnico

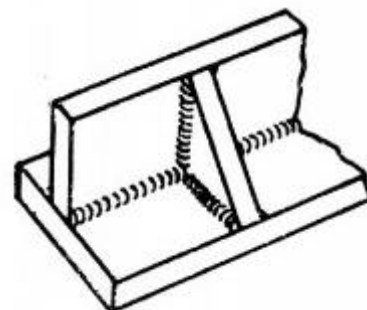
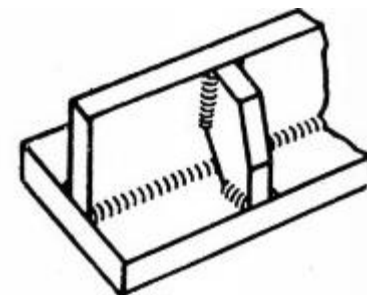


Símbolos da Solda

TIPOS DE SOLDA							
Recortes de chapas					bujão e ranhura	Cordões	
reto	V	bisel	U	J		recobrimento	filête ou angular
	∇	∠	∪	∩	□	—	△

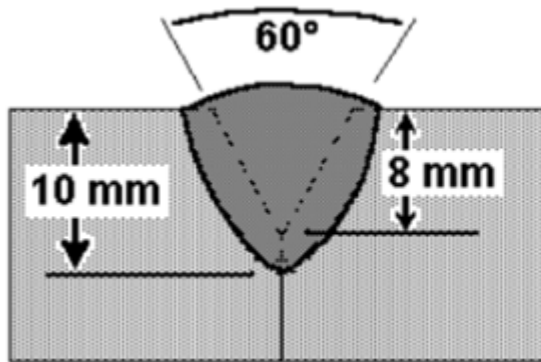
Acabamento do cordão		Solda em todo o contorno	Solda de campo ou de montagem
roso	convexo		
—	—	○	▶

Soldar varando a junta	Revestimento ou enchimento
—	—

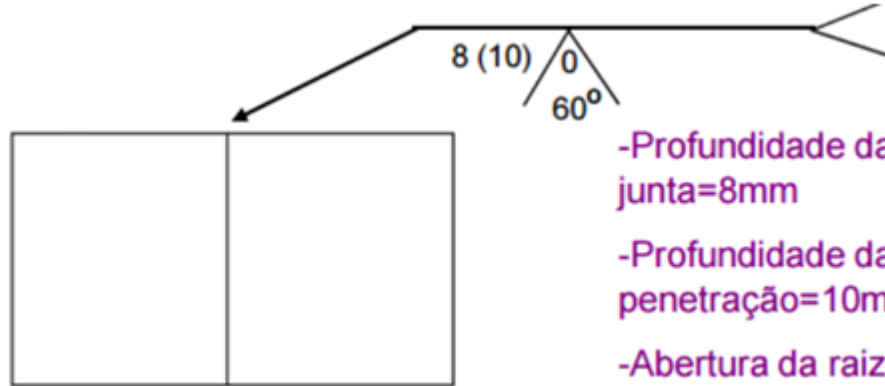


Exemplos da Simbologia de Soldagem

Solda Desejada

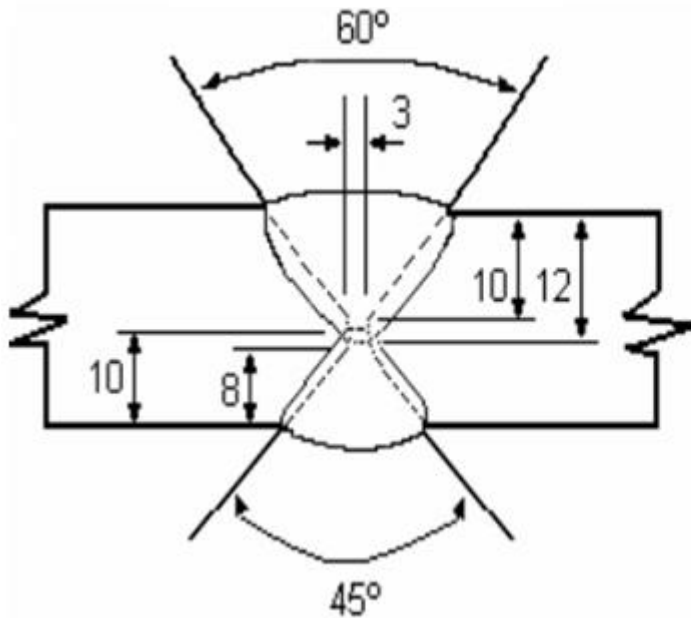


Símbolo no Desenho

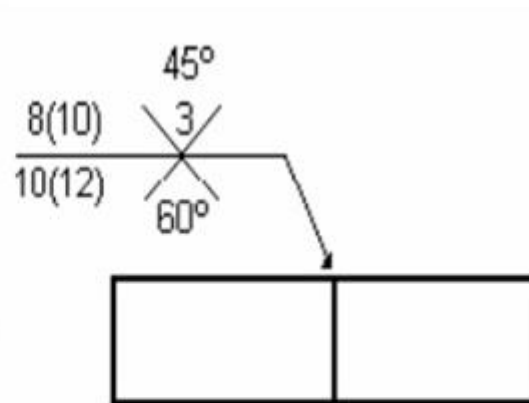


- Profundidade da preparação da junta=8mm
- Profundidade da penetração=10mm
- Abertura da raiz=0
- Ângulo da junta=60°

Solda Desejada

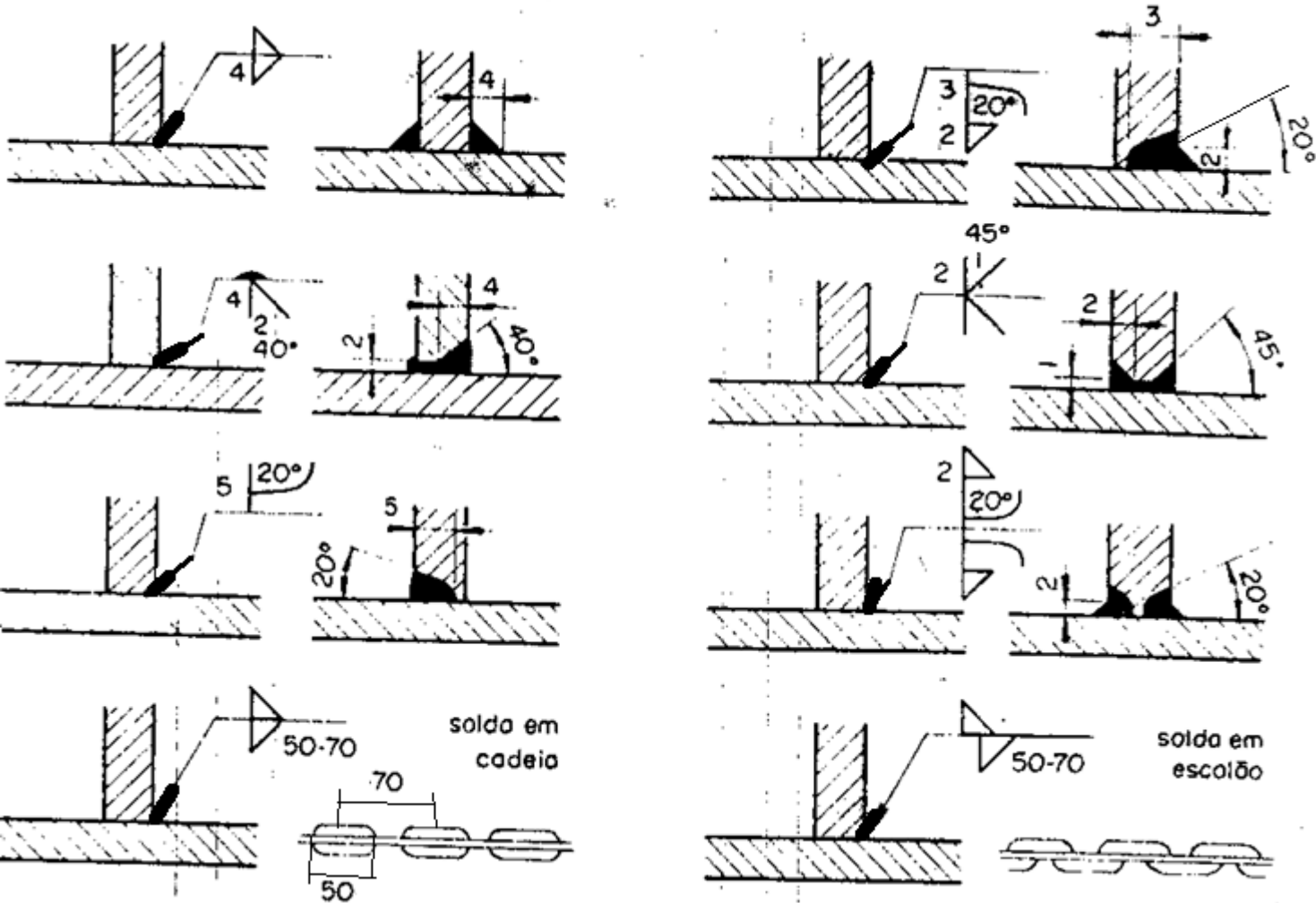


Símbolo no Desenho



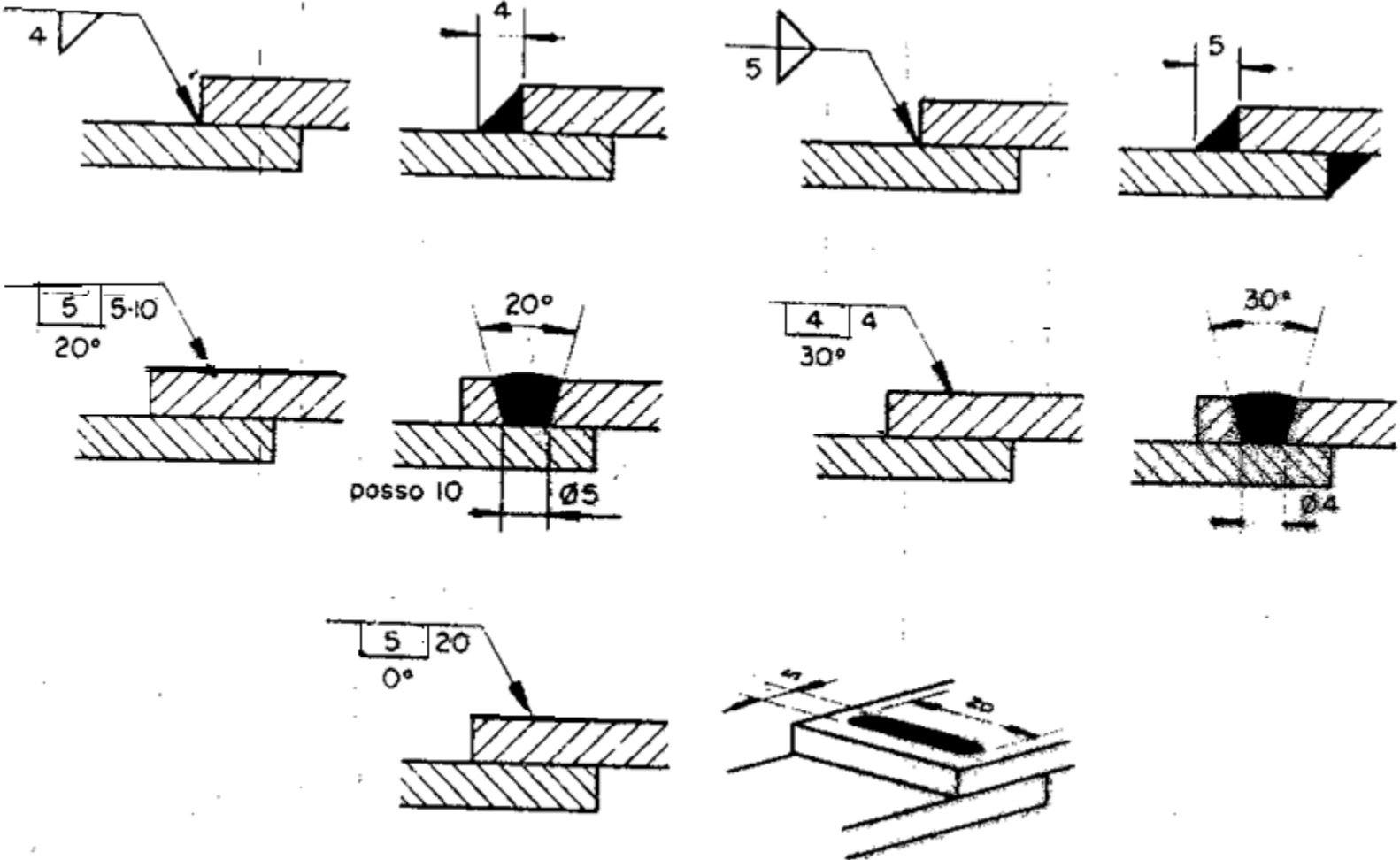
Exemplos da Simbologia de Soldagem

Junta em T



Exemplos da Simbologia de Soldagem

Junta Superposta



Vantagens e Desvantagens do Processo de Soldagem

• Vantagens

- Redução do peso da estrutura;
- Redução do tempo dispendido na fabricação da estrutura;
- Praticamente não há limitação da espessura das peças a serem unidas por soldagem;
- Facilidade de obtenção de estanqueidade;
- Eficiência mecânica da junta soldada é superior ao da união rebitada.

• Desvantagens

- Maior sensibilidade do processo com relação aos materiais empregados na união;
- Necessita de controle de qualidade bastante rigoroso, envolvendo inspeções antes, durante e após o processo de soldagem;
- Necessita de mão-de-obra especializada;
- Devido ao aquecimento não uniforme ao longo do cordão de solda e das próprias peças a serem unidas, o processo de soldagem introduz tensões térmicas e distorções, as quais podem afetar o desempenho mecânico da união.

REFERÊNCIAS

Niemann, G., Elementos de Máquinas, vol1, Edgard Blücher Ltda, 1971.

Manfé, G. et al, “Desenho Técnico Mecânico”, Ed. Hemus, 3 vols, 1996.

Dean Deng , Hidekazu Murakawa, Prediction of welding distortion and residual stress in a thin plate butt-welded joint, Computational Materials Science 43 (2008) 353–365

Senai, “Telecurso 2000 – Mecânica, Ed. Globo, 2002.

<https://infosolda.com.br/category/artigos/processos-de-soldagem/>

Normas Solda: AWS 2.4:2007 e AWS A3.0M /A3.0:2020

ISO 2553:2019 NBR 5874 (Cancelada)