

# Capítulo 3

## Tecnologia --- de soldagem

A soldagem está intimamente ligada às mais importantes áreas das atividades industriais que existem no mundo contemporâneo, como a construção civil e naval, os setores ferroviário, aeronáutico, automobilístico e de caldeiraria e as indústrias metalúrgica, mecânica e elétrica.

A tecnologia de soldagem experimentou um grande avanço durante a Segunda Guerra Mundial, principalmente em consequência da enorme quantidade de navios e aviões soldados que foram produzidos para uso no conflito. Apesar de a soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido ter se desenvolvido a partir do século XIX, o salto evolutivo das técnicas de soldagem só ocorreu mesmo no século XX com o desenvolvimento de novos processos e a fabricação de equipamentos automáticos e semiautomáticos. Um fato fundamental nesse contexto foi o surgimento de robôs, que revolucionaram os processos de soldagem, tornando-os mais rápidos e precisos. A figura 3.1 mostra uma máquina automática para soldagem.

**Figura 3.1**  
Máquina automática  
para soldagem.



© ESAB

### 3.1 Definição de soldagem

No sentido clássico, a soldagem é considerada um processo de união permanente de peças. Atualmente, no entanto, muitos processos de soldagem são usados para deposição de material sobre uma superfície desgastada de uma peça ou para a formação de um revestimento com características especiais. Podemos classificar os processos de soldagem segundo a natureza da união, conforme será visto a seguir.

### 3.2 Classificação dos processos de soldagem a partir da natureza da união

a) **Estado sólido:** o material não se encontra fundido (em estado líquido). Dentre os processos, temos:

- a frio: explosão e ultrassom;
- a quente: atrito e difusão.

b) **Fusão:** o material se encontra fundido (em estado líquido). Dentre os processos, temos:

- aluminotermia;
- feixe de elétrons;
- laser;
- gás: brasagem, soldabrasagem, oxiacetilênica;
- resistência elétrica: eletroescória e resistência;
- arco elétrico;
- proteção de gases: eletrodo não consumível (plasma e TIG) e eletrodo consumível (MIG e MAG);
- proteção de escória: eletrodo revestido e arco submerso.

Neste capítulo, estudaremos os seguintes processos: arco elétrico com eletrodo revestido, soldagem a gás oxiacetilênica, MIG/ MAG, TIG e arco submerso.

### 3.3 Soldagem manual a arco elétrico com eletrodo revestido

Este processo tem grande versatilidade e permite a soldagem de um grande número de materiais, que vão desde o aço carbono, aços liga e aços inoxidáveis até ferros fundidos.

O emprego da soldagem manual a arco elétrico com eletrodo revestido ocorre na fabricação, montagem e manutenção de equipamentos e estruturas metálicas. É indicado tanto dentro da fábrica quanto em campo, em operações que exigem soldagem nas mais diversas posições. Isso compensa suas desvantagens – afinal, é um processo manual, com baixa velocidade de produção.

Além disso, ele exige cuidados especiais com o eletrodo (por exemplo, deixá-lo isento de umidade e estocá-lo em estufa) e muita habilidade do operador. Também produz um grande volume de gases e fumos de soldagem.



A soldagem a arco elétrico é um processo por fusão em que a fonte é gerada por um arco elétrico formado entre o eletrodo (metal de adição) e a peça a ser soldada (metal base).

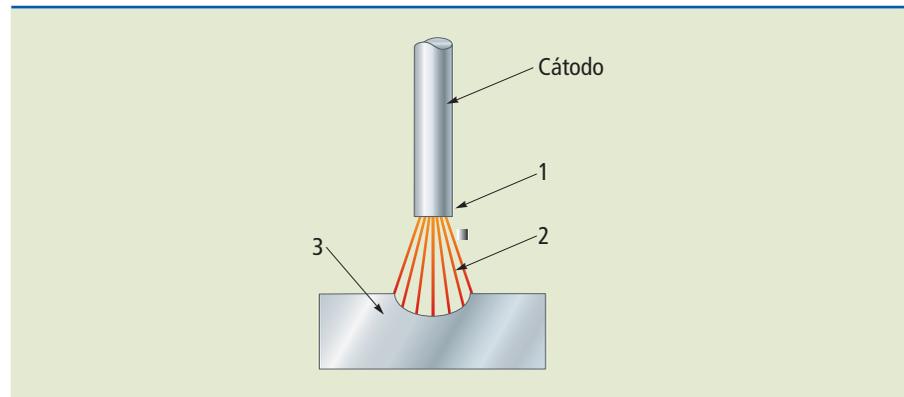
O arco de soldagem é formado quando uma corrente elétrica passa entre uma barra de metal, que é o eletrodo e que pode corresponder ao polo negativo (cátodo), e o metal a ser soldado, que pode corresponder ao polo positivo (ânodo).

1- Cátodo (aproximadamente 3.200°C);

2- Espaço de ar entre o eletrodo e a peça (até 6.000°C);

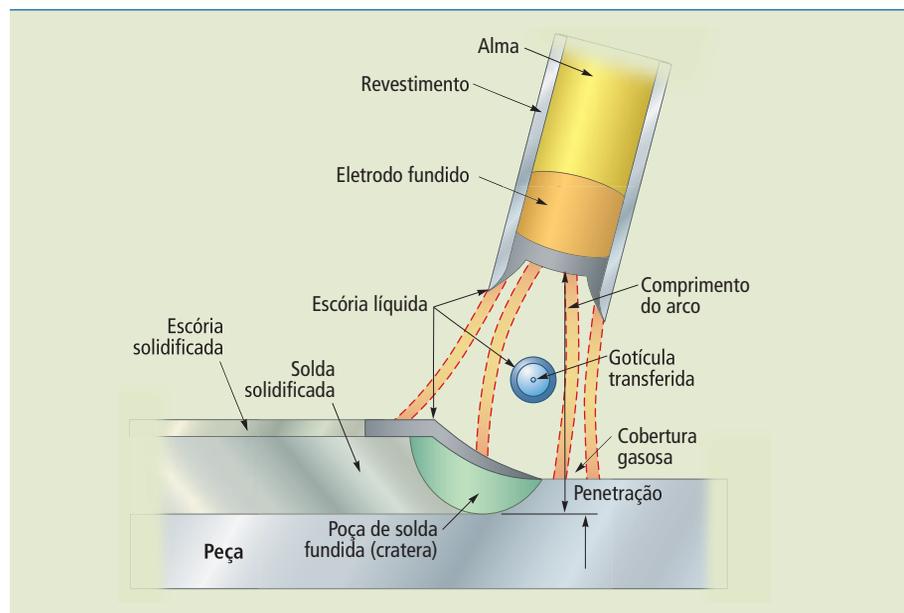
3- Ânodo (aproximadamente 3.400°C)

**Figura 3.2**  
Regiões no processo de soldagem a arco.



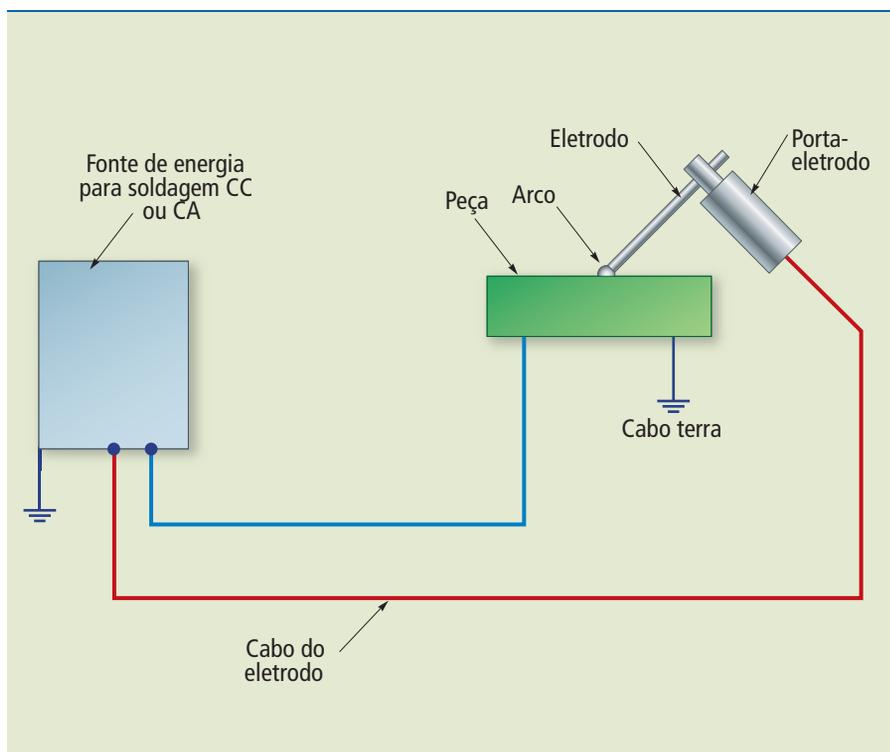
O metal fundido do eletrodo é transferido através do arco até a poça de fusão do metal base, formando, assim, o metal de solda depositado. Uma escória, que é formada do revestimento do eletrodo e das impurezas do metal base, flutua sobre a superfície e cobre o depósito, protegendo-o da contaminação atmosférica e controlando a taxa de resfriamento.

**Figura 3.3**  
Características da soldagem a arco.



### 3.4 Equipamento de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido

Este equipamento consiste em uma fonte de energia, cabos de ligação, um porta-eletrodo (alicate porta-eletrodo), braçadeira (conector terra) e eletrodo.



**Figura 3.4**

Esquema funcional de uma máquina de soldagem a arco elétrico.

#### 3.4.1 Fonte de energia

A fonte de energia pode ser tanto de corrente alternada (CA) como de corrente contínua (CC). É possível escolher o tipo de polaridade a ser usado, dependendo da aplicação e do material a soldar: corrente contínua e eletrodo negativo (polaridade direta) ou corrente contínua e eletrodo positivo (polaridade inversa).

- **Corrente contínua – polaridade direta:** a peça é ligada ao polo positivo e o eletrodo, ao polo negativo. O bombardeio de elétrons dá-se na peça, que será mais quente.
- **Corrente contínua – polaridade inversa:** o eletrodo é ligado ao polo positivo e a peça, ao polo negativo. O bombardeio de elétrons dá-se na alma do eletrodo, que será a parte mais quente.

#### 3.4.2 Cabos de soldagem

São usados para conectar o alicate porta-eletrodo e o grampo terra à fonte de energia. Eles devem ser flexíveis para permitir fácil manipulação, especialmente do alicate porta-eletrodo. Os cabos fazem parte do circuito de soldagem

e são constituídos de vários fios de cobre enrolados juntos e protegidos por um revestimento isolante e flexível.

### 3.4.3 Porta-eletrodo ou alicate porta-eletrodo

É simplesmente um alicate que permite ao soldador controlar e segurar o eletrodo.

### 3.4.4 Grampo conector terra

É um dispositivo para conectar o cabo terra à peça a ser soldada.

## 3.5 Tipos de fonte de energia

As fontes de energia são classificadas de acordo com os equipamentos e tipos de corrente que esses equipamentos fornecem.

### 3.5.1 Tipos de equipamentos utilizados na soldagem com eletrodo revestido

a) **Máquina transformadora:** abaixa a tensão na soldagem.

I. corrente alternada, polos definidos;

II. silenciosa;

III. de pequeno porte;

IV. problema na soldagem do alumínio.

b) **Máquina geradora:** transforma energia mecânica em elétrica.

I. corrente contínua;

II. barulhenta;

III. de grande porte;

IV. solda grande gama de materiais.

c) **Máquina retificadora:** retifica corrente alternada para corrente contínua.

I. corrente contínua;

II. barulhenta;

III. de grande porte;

IV. solda grande gama de materiais.



## 3.6 Eletrodos

### 3.6.1 Generalidades sobre eletrodos

Os eletrodos revestidos são constituídos de uma alma metálica envolvida por um revestimento composto de materiais orgânicos e minerais em dosagens bem definidas.

### 3.6.2 Arame

O material da alma metálica depende do metal a soldar, podendo ser da mesma natureza do metal base ou de natureza diferente.

### 3.6.3 Revestimentos

O revestimento tem uma série de funções na soldagem, dentre as quais:

- Ele protege contra o oxigênio e o nitrogênio do ar.
- Controla a velocidade de solidificação.
- Facilita a abertura e a estabilização do arco.
- Introduce elementos de liga e desoxida o metal depositado.
- Facilita a soldagem nas diversas posições de trabalho.
- Serve de guia das gotas em direção à poça de fusão.
- Constrói um isolante na soldagem de chanfros estreitos ou de difícil acesso.

### 3.6.4 Tipos de revestimentos

#### a) **Revestimento celulósico**

Os eletrodos celulósicos têm um revestimento com alto teor de celulose, cuja decomposição no arco produz uma atmosfera de gases protetores ( $\text{CO}_2$ ).

Esses eletrodos caracterizam-se por um arco fortemente penetrante e por uma boa velocidade de fusão. As perdas por salpicos são grandes, e a solda apresenta acabamento de má qualidade. A escória não é abundante e destaca-se facilmente.

Os eletrodos celulósicos podem ser utilizados em todas as posições de soldagem.

#### b) **Revestimento rutilico**

Os eletrodos rutilicos contêm uma grande quantidade de rutilio (também conhecido como rutilo) ou de compostos derivados de óxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ).

Os eletrodos desse tipo apresentam o arco estável e muito suave, com uma boa velocidade de fusão, escória densa e viscosa, mas facilmente removível. São utilizados em diversos tipos de construção e soldam muito bem em todas as posições.

O metal depositado por esses eletrodos é de belo aspecto e suas propriedades mecânicas são ótimas.

#### c) **Revestimento básico**

O revestimento dos eletrodos básicos contém quantidades significativas de carbonatos e fluorita.

O metal depositado por eles é de baixo teor de hidrogênio e apresenta excelentes características mecânicas.

Esses eletrodos são utilizados em trabalhos que exigem alta segurança (construção naval, vasos de pressão) em uniões muito rígidas, por causa de sua alta resistência às trincas e à fissuração, e também em juntas submetidas a esforços de fadiga.

Esse tipo de eletrodo é altamente higroscópico e, portanto, é preciso estocá-lo em locais secos a fim de evitar o risco de surgirem porosidades no cordão.

#### d) **Revestimento ácido ou neutro**

Os eletrodos ácidos ou neutros apresentam revestimento à base de óxido de ferro-manganês, titânio ou silício e contém quantidades importantes de desoxidantes com ferro-manganês (Fe-Mn) e ferro-silício (Fe-Si).

Esses eletrodos, que podem ser utilizados em corrente contínua ou corrente alternada, apresentam velocidade de fusão elevada, boa penetração e banho de fusão bastante fluído.

#### e) **Revestimento oxidante**

Os eletrodos oxidantes contêm em seu revestimento, principalmente, óxido de ferro com ou sem óxido de manganês.

A escória é abundante, autodestacável e oxidante, apresentando no metal depositado pequenas porcentagens de carbono e manganês.

Esses eletrodos, que podem ser utilizados em corrente alternada ou corrente contínua, apresentam pequena penetração. São utilizados para uniões nas posições plana e horizontal de aço doce (aço macio) de pequena e média espessura.



Tipo de eletrodos Características	Ácido	Básico (baixo hidrogênio)	Celulósico	Oxidante	Rutílico	Titânico
Quanto ao revestimento e seus componentes	<b>Médio ou espesso</b> Óxidos de ferro e/ou manganês, ferro manganês e/ou outros desoxidantes	<b>Espesso</b> Carbonatos de cálcio ou outros básicos e flúor-higroscópico	<b>Médio</b> Materiais orgânicos com combustíveis	<b>Espesso</b> Óxidos de ferro com ou sem óxido de manganês	<b>Médio ou espesso</b> Rutilo ou derivados de óxido de titânio	<b>Médio</b> Semelhante ao rutilo
Escória	Ácida, facilmente destacável	Básica, compacta, pouco abundante, facilmente destacável	Pouca, fácil remoção	Pesada, compacta, autodecável, oxidante	Densa e bastante viscosa, fácil remoção	Mais fluida e menos densa que o rutilo, fácil remoção
Penetração	Boa	Média	Máxima	Medíocre	Boa	Boa
Posição de soldagem mais recomendada	Plana	Todas	Todas	Soldas de ângulo nas posições horizontal, vertical e plana	Todas	Vertical e sobre-cabeça
Tipo de corrente elétrica	CC ou CA	CC com polaridade inversa DUCA	CC com polaridade inversa ou CA	CC ou CA	CC ou CA	CC ou CA
Suscetibilidade a trincas	Sim	Pouca	Sim	Alta	Sim	Sim
Propriedades mecânicas do depósito	Boas	Excelentes, utilizados em trabalhos de alta segurança	Bastante boas	Bastante fracas. Eletrodos usados apenas para acabamento	Boas	Boas

**Tabela 3.1**

Principais características dos diferentes tipos de eletrodos.

### 3.6.5 Classificação dos eletrodos

A American Welding Society (AWS), sistema de classificação de eletrodos mais utilizado no mundo, identifica-os por uma letra e quatro ou cinco algarismos.

#### Exemplo de especificação de eletrodo para aço doce segundo a AWS

No código de identificação E – 6013, a letra “E” (prefixo) é a designação de eletrodo para soldagem ao arco elétrico.

Os dois primeiros dígitos de um conjunto de quatro ou ainda os três primeiros de um conjunto de cinco indicam a mínima resistência à tração da solda em kips/pol<sup>2</sup> (1 kips/pol<sup>2</sup> = 1.000 lbs/pol<sup>2</sup>) do metal depositado.



O penúltimo dígito indica as posições de soldagem:

- 1- Todas as posições.
- 2- Posição plana e horizontal.
- 3- Somente posição plana.

Os dois últimos dígitos em conjunto indicam o tipo de revestimento, penetração, posições e corrente de soldagem.

**Tabela 3.2**

Classificação dos eletrodos segundo os algarismos.

Algarismo	Significado
2 ou 3 primeiros	Resistência à tração em kips/pol <sup>2</sup>
Penúltimo	Posição de soldagem
Último	Tipo de corrente, tipo de escória, penetração; quantidade de pó de ferro

No exemplo E – 6013, temos:

$$60 - 60 \text{ kips/pol}^2 = 60.000 \text{ lbs/pol}^2$$

- 1- Soldagem em todas as posições.
- 3- Eletrodo com revestimento rutilico, média penetração, corrente: CA e CC (-).

Observação: Para verificar mais exemplos de especificação de eletrodo, é preciso consultar tabelas.

**Tabela 3.3**

Classificação dos eletrodos segundo o último algarismo.

Último	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Tipo de corrente	(I) a	CC + ou CA	CC – ou CA	CC ± ou CA	CC ± ou CA	CC +	CC + ou CA	CC ± ou CA	CC + ou CA
Tipo de escória	(I) b	Orgânica	Rutilica	Rutilica	Rutilica	Baixo H	Baixo H	Mineral	Baixo H
Penetração	(I) c	Alta	Média	Pequena	Pequena	Média	Média	Média	Média
Pó de ferro	0–10%	–	0–10%	0–10%	30–50%	–	–	50%	30–50%

a) E6010 é CC+, E6020 é CC± ou CA;

b) E6010 é orgânica, E6020 é mineral;

c) E6010 é alta, E6020 é média.

A escolha da corrente para cada tipo de eletrodo é feita por meio de tabelas fornecidas pelo próprio fabricante de eletrodos.

Existe uma regra prática para a escolha da corrente do eletrodo:

$$1'' = 1.000 \text{ A}$$

Ou seja, para cada polegada de diâmetro de eletrodo deve-se estabelecer uma corrente de mil amperes.

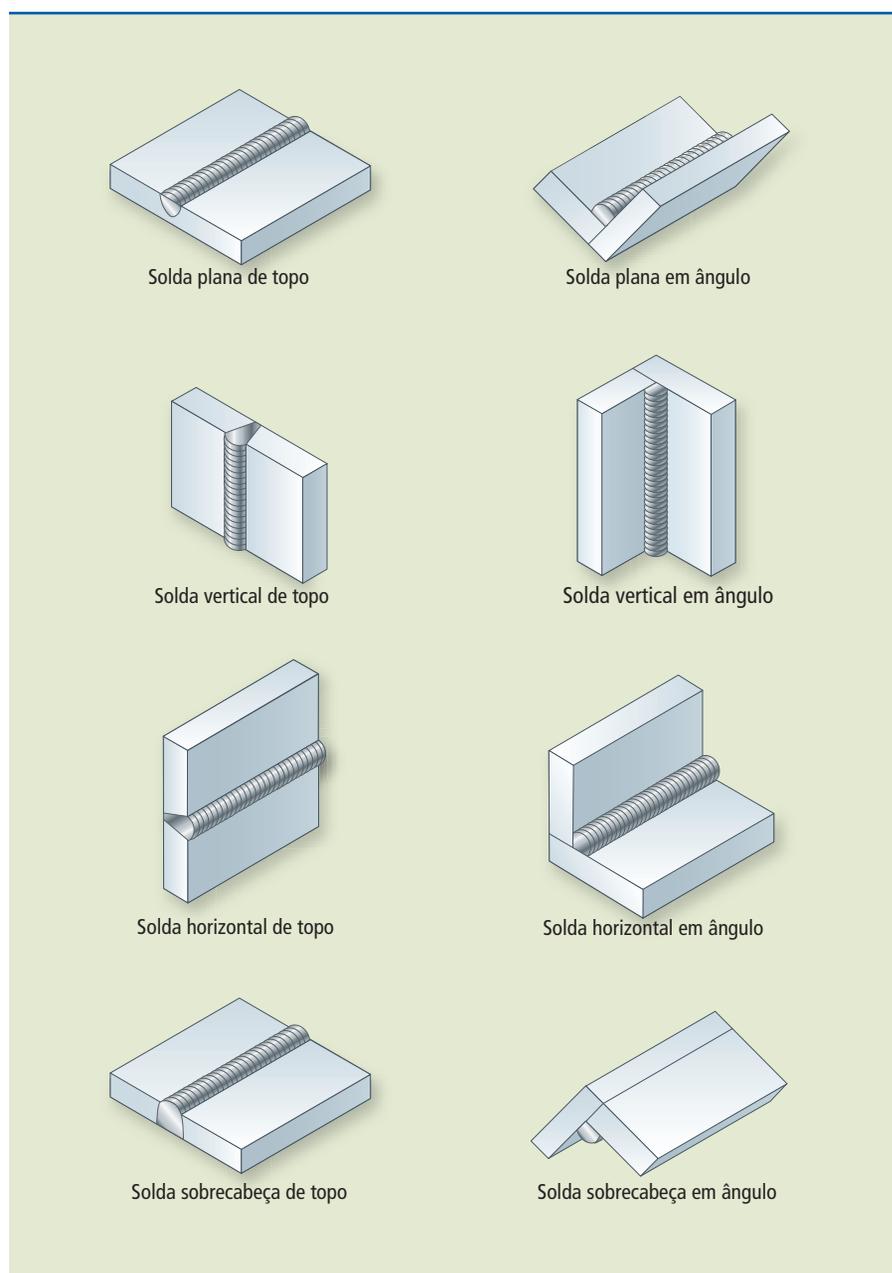


## 3.7 Juntas

A união entre duas ou mais peças por processos de soldagem é chamada de junta soldada.

Os tipos mais comuns de juntas soldadas são:

- junta soldada de topo (com ou sem chanfro);
- junta soldada em ângulo;
- junta soldada sobreposta.



**Figura 3.5**

Diferentes tipos de uniões soldadas.

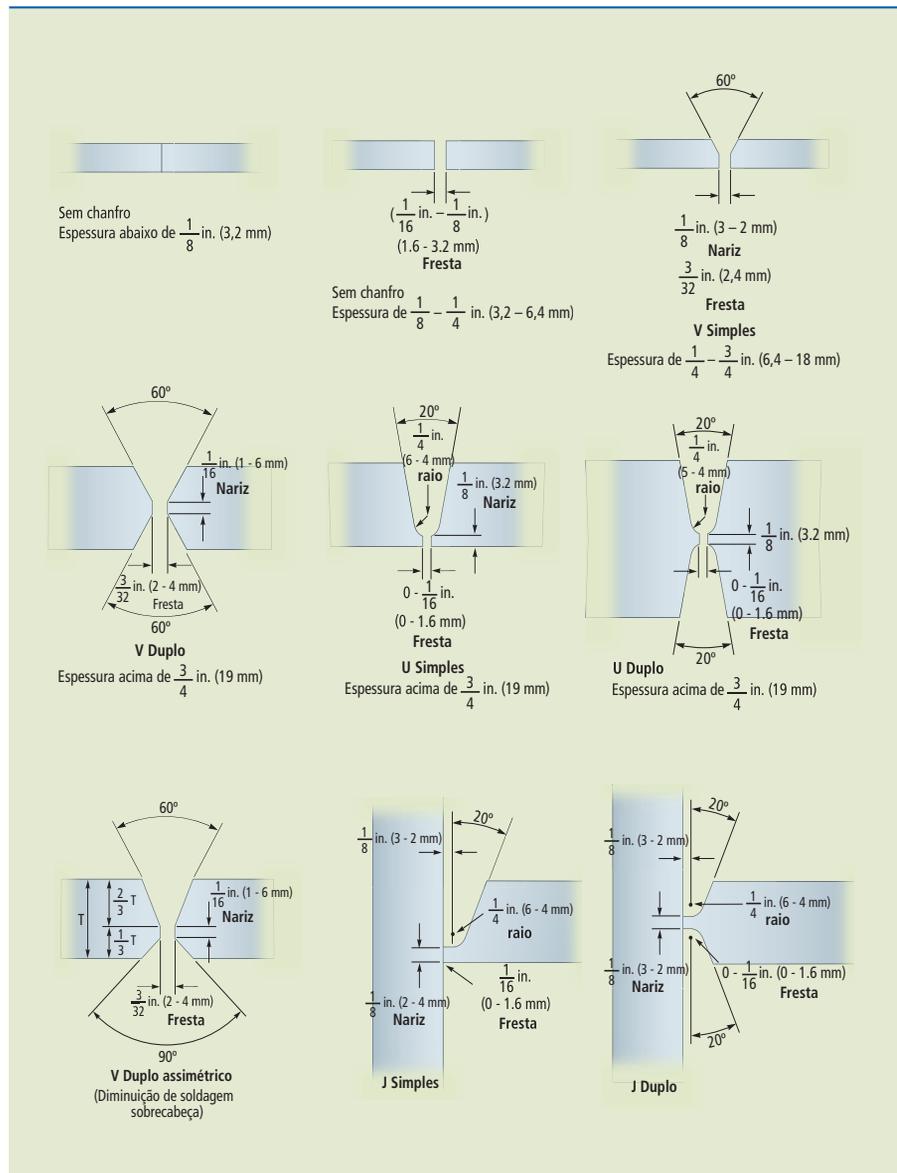
### 3.7.1 Preparação das juntas

As chapas a serem soldadas, se tiverem 5 mm de espessura ou mais, devem ser chanfradas. Conforme sua espessura e as condições de trabalho do soldador, esses chanfros podem ser simples ou duplos. O chanfro simples oferece a vantagem de usar menos material. Em geral, o chanfro duplo é aplicado em chapas com espessura de 12 mm ou mais.

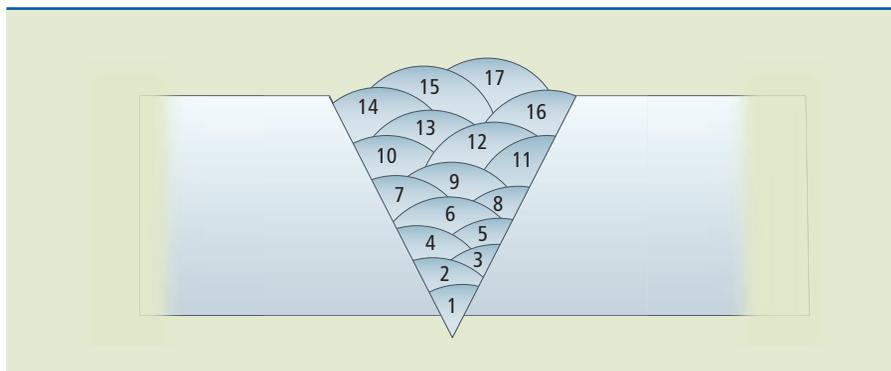
As chapas devem estar limpas e isentas de qualquer sujeira, óleo, graxa ou outro elemento que possa prejudicar a soldagem.

Elas devem ser posicionadas conforme o desenho de projeto, ou seja, colocadas na posição correta de soldagem, esquadrejadas e ponteadas (receber pequenos pontos de solda). Uma vez executado esse procedimento, é preciso conferir a conformidade com o desenho do projeto. Se ele estiver correto, pode-se fazer a solda.

**Figura 3.6**  
Diferentes tipos de  
preparação de bordas.



Dependendo da espessura da chapa, ângulo e tamanho do chanfro, às vezes é necessário dar mais de um passe de cordão de solda em uma junta de topo para obter uma solda homogênea, de qualidade e resistente, conforme mostra a figura 3.7.



**Figura 3.7**

Distribuição dos cordões de solda em uma junta de topo.

É possível conseguir boas soldagens com um número de passes bastante variável e uma distribuição de posições muito diferentes. Disso conclui-se que há diversos modos de realizar uma soldagem. Para ser eficiente, um método deve permitir:

- boa penetração;
- boa união do metal de adição à base;
- a eliminação total da escória;
- uma velocidade de execução tão rápida quanto possível.

**Tabela 3.4**

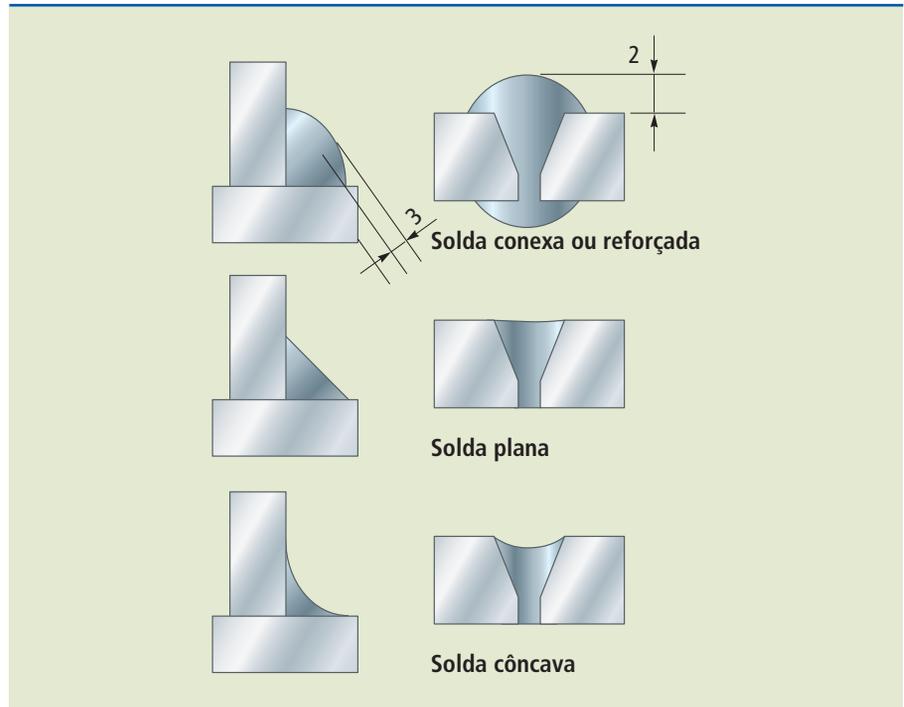
Relações entre espessura, diâmetro do eletrodo e número de passes para soldagem de juntas de topo.

Espessura da junta (mm)	Solda plana		Solda vertical		Solda horizontal		Solda sobre cabeça	
	Diâmetro (mm)	Nº de passes	Diâmetro (mm)	Nº de passes	Diâmetro (mm)	Nº de passes	Diâmetro (mm)	Nº de passes
3 – 4	3,25	1	3,25	1	3,25	2	3,25	1
5 – 6	4 – 5	2	3,25	2	3,25 – 4	3	3,25	2
7 – 8	4 – 5	2 – 3	3,25	2	3,25 – 4	4	3,25	2 – 3
9 – 11	5 – 6	2 – 3	3,25	3	4 – 5	4 – 5	3,25 – 4	3 – 4
12 – 13	5 – 7	3 – 4	3,25 – 4	4	4 – 5	5 – 7	3,25 – 4	4 – 5
14 – 15	5 – 7	4 – 5	3,25 – 4	5	4 – 5	7 – 10	3,25 – 4	6 – 7
16 – 19	5 – 7	5 – 7	4	5 – 7	4 – 5	11 – 18	4	7 – 8
20 – 25	5 – 7	7 – 11	4 – 5	7 – 10	4 – 5	19	4	9 – 15
24 – 30	5 – 7	9 – 18	4 – 5	10 – 15	4 – 5		4	16

Conforme o tipo de aplicação, trabalho e espessura da chapa é que escolhemos o tipo de junta a ser utilizada em um projeto de juntas soldadas.

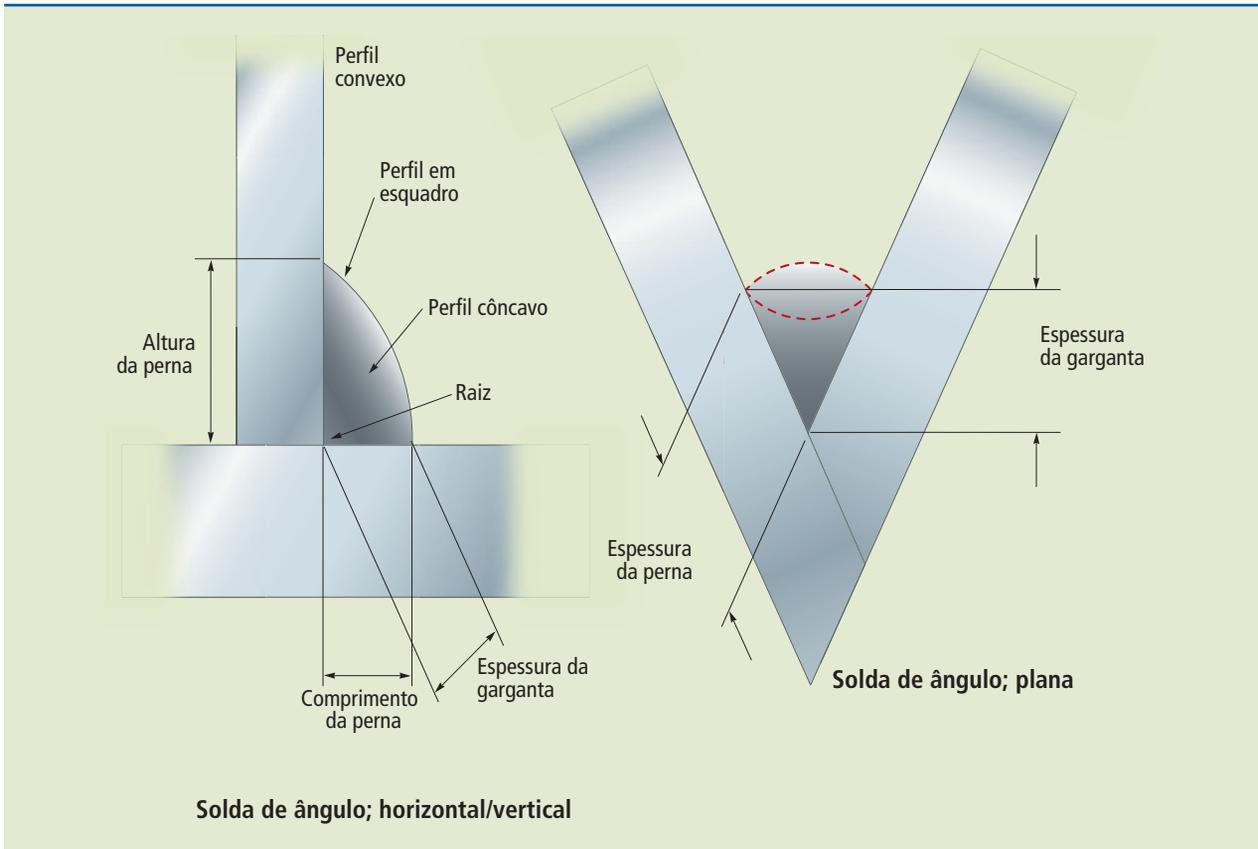
A figura 3.8 mostra alguns tipos de preparação de juntas soldadas.

**Figura 3.8**  
Preparação de bordas e reforço do cordão.



**Figura 3.9**  
Soldas em ângulo.

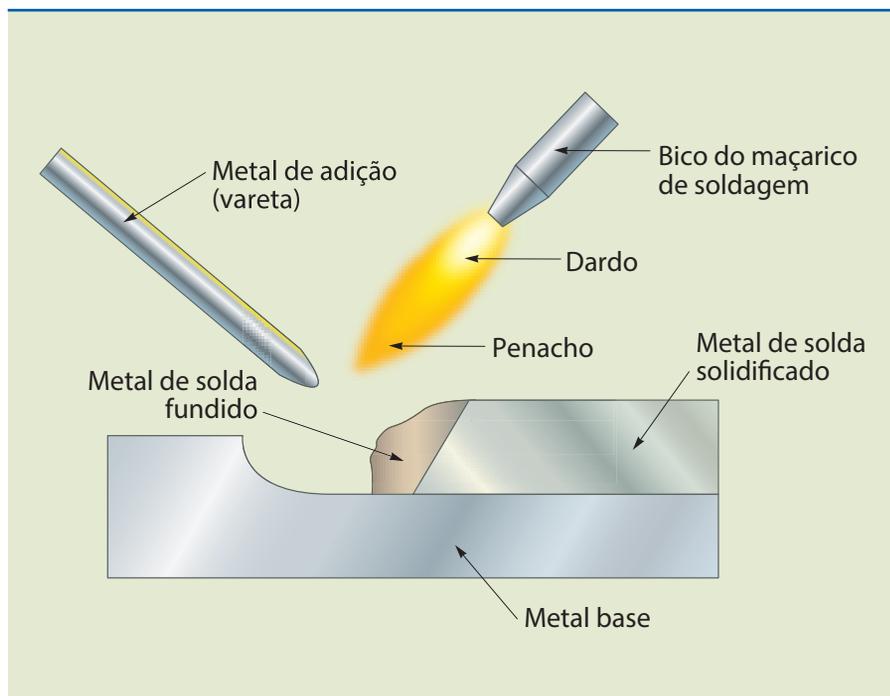
Dependendo do projeto de aplicação, é necessário soldar as juntas em ângulo para que haja conformidade com o desenho da peça projetada e para que ela seja aprovada pelo controle de qualidade.



## 3.8 Processo de soldagem a gás oxi-acetilênica (oxyfuel gas welding)

Soldagem a gás é todo processo que utiliza um gás combustível (acetileno) combinado com um gás comburente (oxigênio) para efetuar a união de metais. A fonte de calor, sendo uma chama, é menos potente que o arco elétrico. O aquecimento da peça é mais demorado, submetendo-a por mais tempo a altas temperaturas.

A soldagem pelo processo a gás pode ser realizada com pressão e com ou sem adição de material.



**Figura 3.10**

Processo de soldagem a gás.

### 3.8.1 Equipamento de soldagem

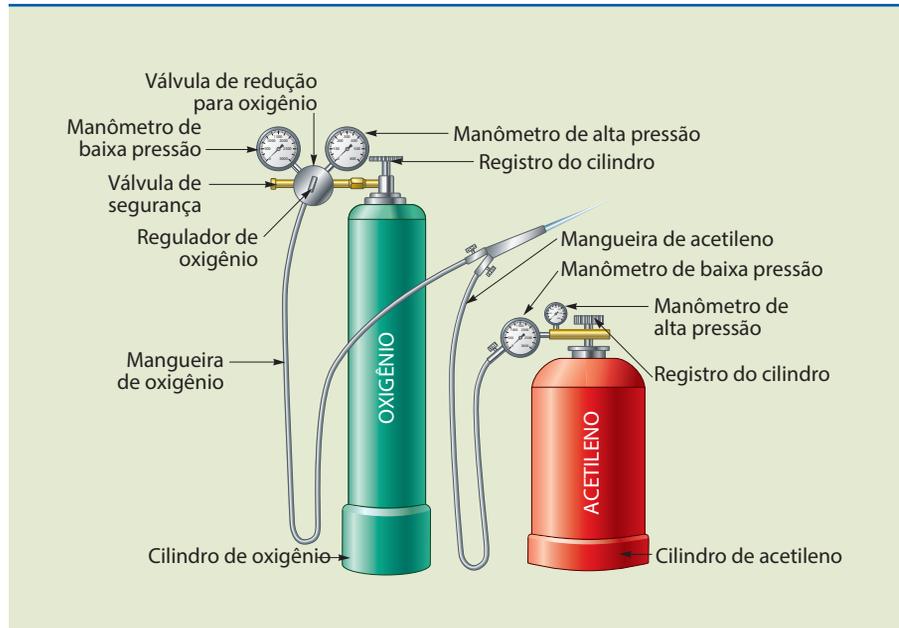
O equipamento necessário para esse processo varia muito, dependendo da aplicação e do tipo de combustível usado. O equipamento básico consiste de cilindro de gás combustível (acetileno) e cilindro de gás comburente (oxigênio), com reguladores para cada mangueira, e de maçarico de soldagem. O maçarico desempenha a função de misturador de gás combustível com o oxigênio a fim de gerar o tipo de chama adequado para a soldagem. Além da conexão de mangueira e de um manipulador, o maçarico contém válvulas de oxigênio e acetileno para regulação da mistura.

### 3.8.2 O acetileno e suas funções

Há uma grande variedade de gases disponíveis para soldagem. Geralmente, o acetileno é o preferido, por ser barato, de fácil comercialização e apresentar um considerável poder calorífico. Com fórmula  $C_2H_2$ , ele é um hidrocarboneto que contém uma porcentagem maior de carbono em peso do que qualquer outro gás hidrocarboneto combustível.

**Figura 3.11**

Processo de soldagem a gás.



Incolor, o acetileno é mais leve que o ar. Quando gasoso, torna-se instável e sua temperatura excede  $780\text{ }^{\circ}\text{C}$  ou sua pressão manométrica sobe acima de  $2\text{ kgF/cm}^2$ . Uma decomposição explosiva pode ocorrer, mesmo sem a presença de oxigênio. Por isso o acetileno deve ser manuseado com cuidado.

### 3.8.3 Tipos de consumíveis e suas funções

O metal de adição para a soldagem é de classificação RG (vareta, gás) sem nenhuma exigência química específica. Um fluxo de soldagem é também requerido com alguns metais, com o objetivo de manter a limpeza do metal de base na área da solda e também para ajudar na remoção de filmes de óxido da superfície.

Varetas de soldagem com várias composições químicas estão disponíveis no mercado para a soldagem de diversos metais ferrosos e não ferrosos. “As varetas geralmente são selecionadas conforme suas características, visando a obtenção das propriedades desejadas na solda”. Elas são classificadas segundo as especificações da American Welding Society com base em sua resistência mecânica.

### 3.8.4 Características e aplicações da soldagem

A soldagem a gás pode ser à direita ou à esquerda.

#### a) Soldagem à direita

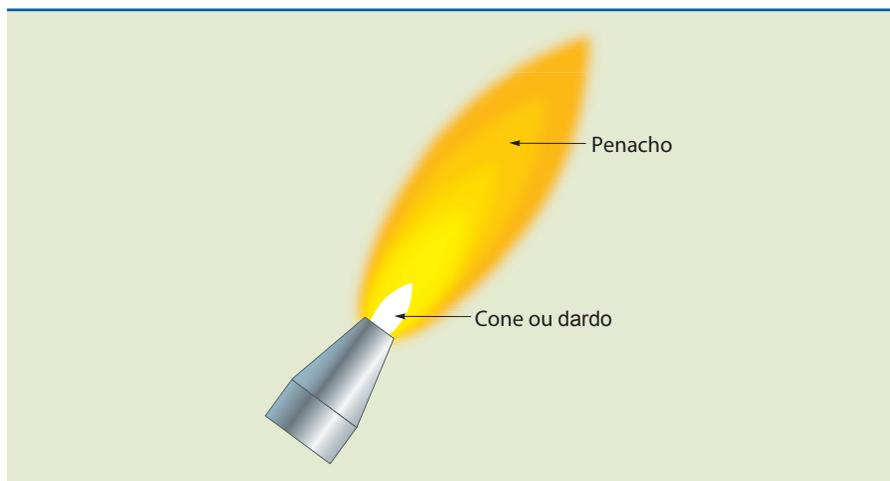
A vareta desloca-se atrás da chama, no sentido de soldagem. É um processo rápido e econômico.

#### b) Soldagem à esquerda

A vareta desloca-se à frente da chama, no sentido da soldagem. É um processo lento que consome muito gás, mas produz soldas de bom aspecto e é de fácil execução.

### 3.8.5 Tipos de chama

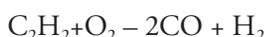
Uma chama de soldagem apresenta duas regiões: cone ou dardo e penacho.



**Figura 3.12**

Regiões da chama de soldagem.

**Cone ou dardo** – de cor azulada, na qual ocorre uma combustão incompleta, também dita combustão primária:



Sob temperatura elevada, há dissociação do hidrogênio molecular em hidrogênio atômico e fornecimento de energia.

**Penacho** – região mais alongada, que envolve o cone e na qual a combustão se completa. As combustões secundárias ocorrem segundo as equações:



O ponto de temperatura mais alta encontra-se no penacho, a aproximadamente 2 mm do cone. Aí deve ser situada a peça para uma soldagem mais eficiente. A atmosfera protetora é formada pelos gases de combustão.

Se chamarmos de “a” a relação entre o volume de acetileno e o de oxigênio participantes da combustão, podemos definir três tipos de chama:

a) **Chama normal**

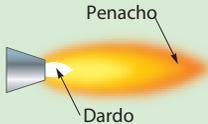
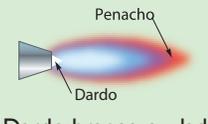
Ocorre quando “a” = 1, isto é, o volume de acetileno é igual ao de oxigênio.

b) **Chama redutora**

Ocorre quando “a” > 1, isto é, o volume de acetileno é maior que o de oxigênio.

c) **Chama oxidante**

Ocorre quando “a” < 1, isto é, o volume de acetileno é menor que o de oxigênio.

Relação de consumo	Tipo de chama	Forma de chama	Aplicações/características
$a = l$	Normal	 <p>Dardo branco, brilhante e arredondado</p>	Normal
$a > l$	Redutora	 <p>Penacho verde</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• chama menos quente;</li> <li>• na soldagem do aço carbono, fornece uma junta porosa e quebradiça;</li> <li>• tem enchimentos duros.</li> </ul>
$a < l$	Oxidante	 <p>Dardo branco, azulado ou avermelhado. Dardo branco, pequeno e pontudo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tem ruído característico;</li> <li>• na soldagem do aço: junta queimada, grande quantidade de óxidos;</li> <li>• usada na soldagem do latão.</li> </ul>

**Tabela 3.5**

Relação de consumo, tipo de chama, forma de chama e aplicações/características.

### 3.8.6 Descontinuidades induzidas pelo processo

As descontinuidades mais comumente encontradas na soldagem a gás são: porosidade, inclusões de escória, falta de fusão, falta de penetração, mordedura, sobreposição e várias formas de trincas.

#### a) Falta de fusão

Geralmente ocorre na margem da solda, quando utilizamos indevidamente a chama oxidante. Pode ocorrer também com a utilização da chama apropriada, desde que manipulada de forma errada.

#### b) Inclusão de escória

É denominada escória a combinação da fusão da vareta de adição com as impurezas da solda, que se formam sobre o cordão de solda.

Ocorre geralmente com a chama oxidante e, menos frequentemente, com a chama normal. A manipulação inadequada do metal de adição também pode provocar inclusões de escória.

#### c) Porosidade

A porosidade é formação de cavidades ou vazios na região da solda, provocando na junta soldada falhas na deposição de material, o que gera

enfraquecimento da mesma. Se for espalhada uniformemente, revela uma técnica de soldagem imperfeita.

#### d) **Mordeduras e sobreposições**

São falhas atribuídas diretamente ao soldador, pois depende do posicionamento correto das juntas e da regulagem correta do maçarico de soldagem.

#### e) **Trincas**

Na soldagem a gás, as trincas ocorrem em decorrência da fissuração a quente. O aquecimento e o resfriamento lentos, que permitem a difusão do hidrogênio, descartam a possibilidade da fissuração a frio ou pelo hidrogênio.

### 3.8.7 Segurança na soldagem

É fundamental o emprego das normas de segurança e uso dos EPIs (equipamento de proteção individual) nos processos de soldagem, bem como o manuseio correto dos equipamentos e cilindros de gases.

### 3.8.8 Cuidados a serem observados no manuseio dos equipamentos

#### a) **Cilindro de acetileno**

É importante:

- evitar choques violentos, principalmente nos reguladores de pressão;
- não armazenar os cilindros em local próximo a uma fonte de calor;
- armazenar os cilindros preferencialmente na posição vertical e seguros por correntes;
- observar que o acetileno é mais leve que o ar e não se acumula em locais baixos;
- não esvaziar completamente o cilindro, evitando assim a entrada de ar ou a saída de vapor de acetona misturado com o acetileno;
- ter cuidado com vazamentos, uma vez que a mistura do acetileno com o ar pode ser explosiva;
- verificar sempre o estado das válvulas e reguladores de pressão para evitar vazamentos.

#### b) **Cilindro de oxigênio**

É importante:

- não usar oxigênio em vez de ar comprimido para retirar resíduos de locais que estejam também sujos de óleo ou graxa, pois pode haver combustão espontânea dos óleos;
- não usar oxigênio para limpar roupa suja de óleo ou graxa, pois há risco de combustão espontânea desse traje;



- não lubrificar nenhuma conexão ou parte do equipamento em contato com o cilindro de oxigênio;
- evitar choques violentos nos reguladores de pressão, uma vez que, em virtude da elevada pressão interna, o cilindro de oxigênio pode “voar como um míssil”;
- conservar o cilindro sempre com o capacete de proteção quando não estiver em uso.

### c) Durante a soldagem

É importante:

- fechar imediatamente as válvulas do maçarico e dos cilindros de gases caso ocorra retrocesso da chama;
- limpar o bico do maçarico, evitando entupimentos;
- prevenir-se contra o risco de explosão ao soldar ou cortar recipientes metálicos que tenham tido contato com combustíveis.

## 3.9 Processos de solda automáticos e semiautomáticos com proteção gasosa do arame de solda e arco elétrico como fonte de calor

### 3.9.1 Processo MIG/MAG

O processo MIG/MAG indica a soldagem por fusão, que utiliza o calor de um arco elétrico formado entre um eletrodo metálico consumível e a poça. Nele, o arco e a poça de fusão são protegidos contra a contaminação pela atmosfera por um gás ou uma mistura de gases.

**Figura 3.13**

Máquina para soldagem pelo processo MIG/MAG.



© ESAB

As siglas MIG/MAG vêm do inglês. MIG significa *metal inert gas* e MAG, *metal active gas*. Essas siglas se referem, respectivamente, aos gases de proteção usados em cada processo: gases inertes ou mistura de gases inertes (no processo de soldagem MIG) e gás ativo ou mistura de gás ativo com gás inerte (no processo de soldagem MAG).

Por meio dos gases é que se diferencia o processo MIG do processo MAG. A soldagem MAG é usada principalmente em materiais ferrosos (aços em geral), enquanto a soldagem MIG é usada em materiais não ferrosos (cobre, alumínio, níquel, magnésio e suas ligas).

O processo de soldagem MIG/MAG apresenta duas diferenças básicas em relação ao processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido:

- a) O processo de soldagem MIG/MAG não usa eletrodo revestido.
- b) A alimentação do eletrodo é feita mecanicamente.

Essa semiautomação do processo de soldagem MIG/MAG faz com que o soldador inicie, interrompa e mova a tocha ao longo da junta, tornando o processo mais eficaz.

A manutenção do arco é assegurada pela alimentação mecanizada e contínua do eletrodo. Isto garante a alta produtividade do processo, sua principal vantagem em relação a outros processos de soldagem manual.

A soldagem MIG/MAG é usada na fabricação de componentes estruturais, na fabricação de equipamentos de médio e grande porte (como pontes rolantes, vigas, escavadeiras e tratores), na indústria automobilística e na manutenção de equipamentos e peças metálicas com materiais especiais.

As amplas aplicações desses processos têm como causas:

- a) a alta taxa de deposição, o que gera grande produtividade no trabalho do soldador;
- b) a versatilidade em relação aos tipos de materiais, espessura e posições de soldagem em que podem ser aplicados;
- c) a ausência de operações de remoção de escória em decorrência da não utilização de fluxos de soldagem;
- d) a pouca exigência de habilidade do operador.

Apesar da maior sensibilidade à variação dos parâmetros elétricos de operação do arco de soldagem – que influenciam diretamente no cordão da solda – a soldagem MIG/MAG, por sua alta produtividade, é a que vem apresentando, nos últimos anos, maior crescimento em utilização no mundo inteiro.

### 3.9.2 Equipamento para soldagem MIG/MAG

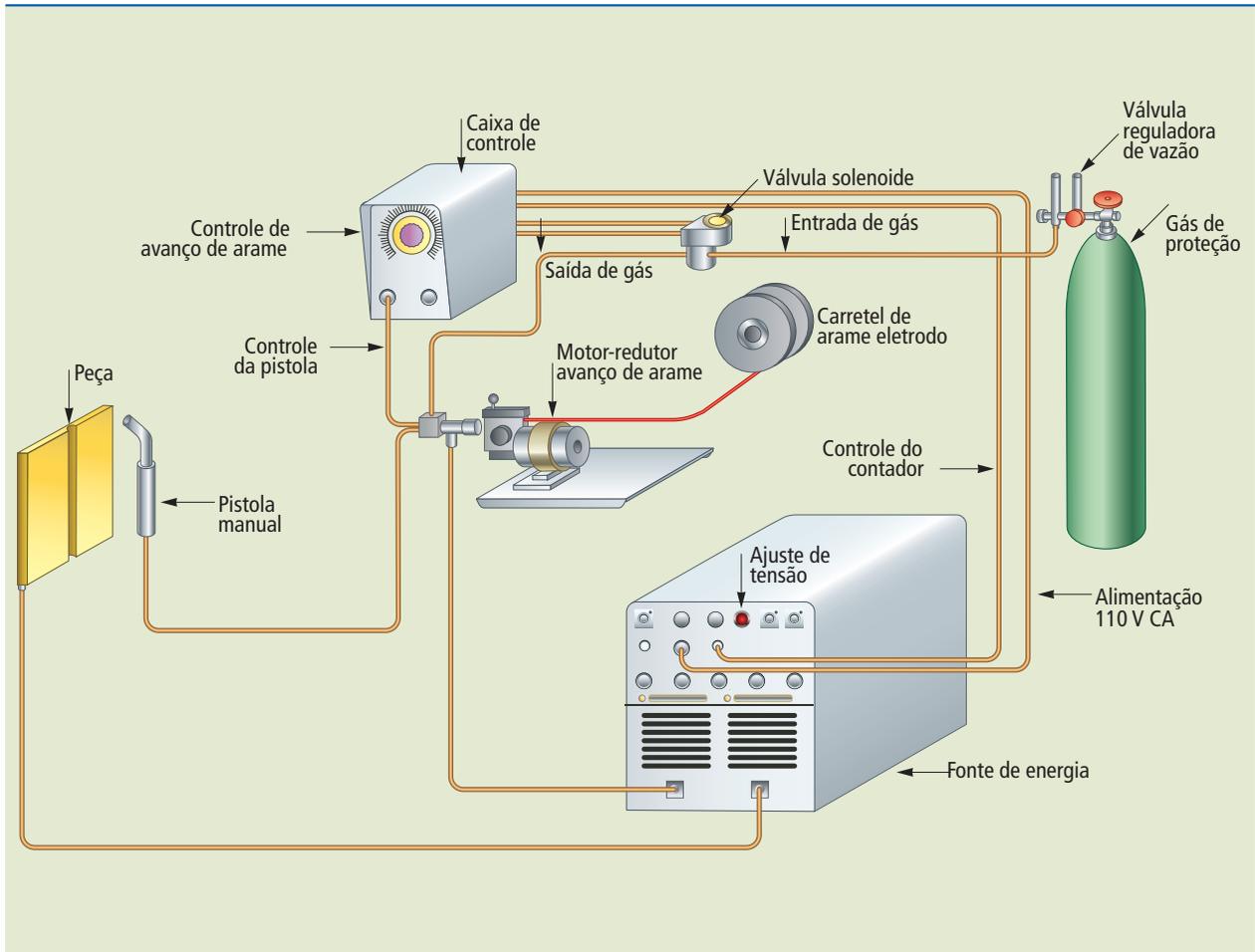
O equipamento usado no processo de soldagem com proteção de gás pode ser:

a) semiautomático, no qual a alimentação do eletrodo é feita automaticamente pela máquina, e as demais operações são realizadas pelo soldador;

b) automático, no qual o soldador não interfere no processo após a regulagem feita por ele.

**Figura 3.14**

Esquema de uma máquina de soldagem MIG/MAG.



Para empregar o processo MIG/MAG, é necessário ter os seguintes equipamentos:

- fonte de energia;
- sistema de alimentação do eletrodo;
- tocha, pistola de soldagem;
- suprimento de gás de proteção com regulador de pressão e fluxômetro;
- sistema de refrigeração de água, quando necessário.

### a) Fonte de energia

As fontes de energia para soldagem MIG/MAG são do tipo transformador-retificador de corrente contínua.

Para que o processo de soldagem com eletrodo consumível seja estável, é preciso que o comprimento do arco permaneça constante. Para isso, a velocidade de consumo do eletrodo deve ser, em média, igual à sua velocidade de alimentação. Esse trabalho é feito pelas fontes de energia de duas formas:

- Pelo controle da velocidade de alimentação do eletrodo de modo a igualar a velocidade de fusão;
- Pela manutenção da velocidade de alimentação constante, permitindo variações nos parâmetros de soldagem.

### b) Sistema de alimentação do eletrodo

Geralmente, o sistema alimentador do eletrodo combina com as funções de acionar o eletrodo e controlar elementos como vazão de gás, água e a energia elétrica fornecida ao eletrodo. Ele é acionado por um motor de corrente contínua independente da fonte. A velocidade de alimentação do arame (eletrodo), que vem enrolado em bobinas, está diretamente relacionada à intensidade da corrente de soldagem fornecida pela máquina de soldagem, conforme características da fonte e do processo.

Para ser movimentado, o eletrodo passa por um conjunto de roletes de alimentação que pode estar próximo ou afastado da tocha de soldagem.

### c) Tocha, pistola de soldagem

A tocha de soldagem conduz simultaneamente o eletrodo, a energia elétrica e o gás de proteção a fim de produzir o arco de soldagem. Suas funções são:

- guiar o eletrodo de modo a alinhar o arco com a junta a ser soldada;
- fornecer corrente de soldagem ao eletrodo;
- envolver o arco e a poça de fusão com o gás de proteção.

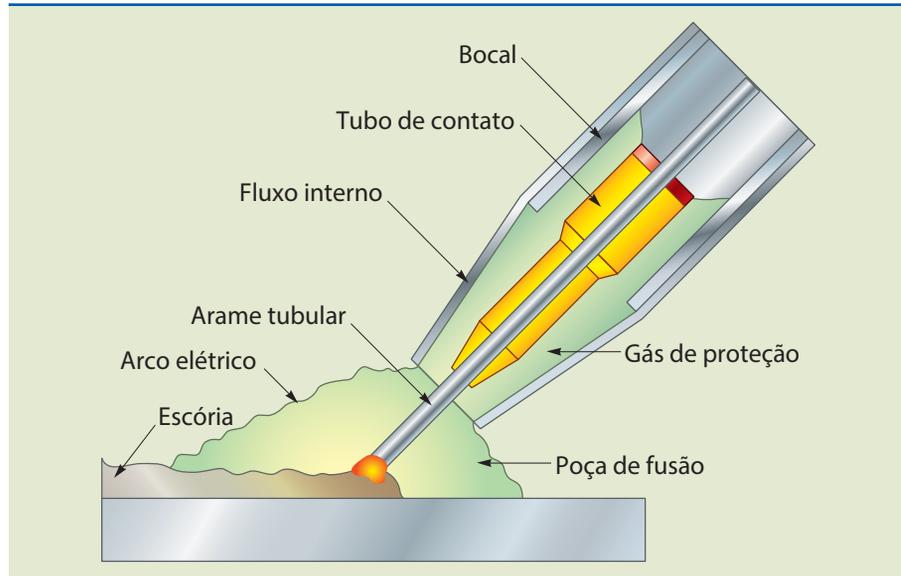
A tocha é constituída basicamente por:

- bico de contato, que faz a energização do arame (eletrodo);
- bocal, que orienta o fluxo de gás;
- gatilho de acionamento do sistema.

As tochas de soldagem podem ser refrigeradas por água ou pelo próprio gás de proteção que conduzem. Isso depende dos valores de corrente usados e do ciclo de trabalho do equipamento. Assim, por exemplo, correntes de trabalho mais elevadas (acima de 220 A) e ciclos de trabalho superiores a 60% pedem refrigeração com água.

**Figura 3.15**

Esquema de uma tocha de soldagem MIG/MAG.



#### d) Suprimento de gás de proteção com regulador de pressão e fluxômetro

A fonte de gás consiste em um cilindro de gás – ou de uma mistura de gases de proteção – dotado de regulador de pressão (manômetro) e/ou vazão (fluxômetro).

Os gases mais utilizados são:

- para o processo MIG: os gases inertes argônio e hélio;
- para o processo MAG: misturas de gás inerte e  $\text{CO}_2$  ou apenas  $\text{CO}_2$ .

Todo esse conjunto tem um custo inicial maior do que o equipamento necessário para execução da soldagem por eletrodos revestidos. Além disso, ele também exige mais cuidados de manutenção no decorrer de sua vida útil. Isto, no entanto, é compensado pelo alto nível de produtividade proporcionado pela utilização da soldagem MIG/MAG.

### 3.9.3 Consumíveis e suas especificações

Como em quase todo processo de soldagem ao arco elétrico, além do equipamento, é necessário o emprego dos consumíveis.

Na soldagem MIG/MAG, os consumíveis são os eletrodos (também chamados de arames) ou metal de adição, o gás de proteção e, em alguns casos, um líquido para a proteção da tocha e das adjacentes à solda contra a adesão de respingos.

Os eletrodos para a soldagem MIG/MAG são fabricados com metais ou ligas metálicas como aço inoxidável, aço com alto teor de cromo, aço carbono, aços de baixa liga, alumínio, cobre, níquel, titânio e magnésio. Eles apresentam composição química, dureza, superfície e dimensões controladas e normalizadas. A norma é a da American Welding Society (AWS) e a classificação para aço carbono é feita por meio de um conjunto de letras e algarismos: ER XXXY-ZZ.

Nesse conjunto:

- As letras **ER** são usadas sempre juntas e referem-se ao consumível aplicável em processos de soldagem TIG, MIG, MAG e arco submerso.
- Os próximos dois ou três dígitos referem-se à resistência à tração mínima do metal depositado em 1.000 PSI (Lbs/pol<sup>2</sup>).
- O dígito **Y** pode ser um **S** para arame sólido, **T** para arame tubular e **C** para arames indicados para revestimentos duros.
- O **Z** indica a classe de composição química do arame e outras características.

Deve-se reforçar ainda a importância dos cuidados necessários ao armazenamento e manuseio dos eletrodos. Eles têm de ser armazenados em um local limpo e seco para evitar umidade. Para prevenir contaminação pelas partículas presentes no ambiente, a bobina deve retornar à embalagem original quando não estiver em uso.

O tipo de gás influencia nas características do arco e na transferência de metal, na penetração, na largura e no formato do cordão de solda, na velocidade máxima de soldagem.

Os gases inertes puros são usados principalmente na soldagem de metais não ferrosos, como o alumínio e o magnésio. Os gases ativos puros ou as misturas de gases ativos com inertes são usados principalmente na soldagem dos metais ferrosos. As misturas de gases ativos com gases inertes em diferentes proporções permitem soldagens com maior estabilidade de arco nos metais ferrosos.

### 3.9.4 Transferência de metal

Na soldagem MIG/MAG, o metal fundido na ponta do eletrodo tem de se transferir para a poça de fusão. O modo como essa transferência ocorre é muito importante. Ele é influenciado, principalmente, pelo valor da corrente de soldagem, pela tensão, pelo diâmetro do eletrodo e pelo tipo de gás de proteção usado.

Por outro lado, o modo como essa transferência ocorre influi na estabilidade do arco, na aplicabilidade, em determinadas posições de soldagem, e no nível de geração de respingos.

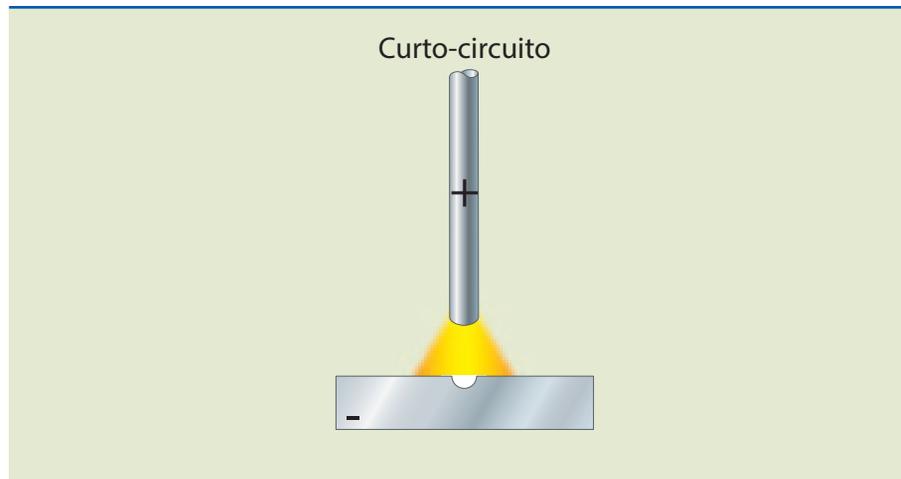
Para simplificar, pode-se dizer que a transferência ocorre basicamente de quatro formas:

- 1- Transferência por curto-circuito.
- 2- Transferência globular.
- 3- Transferência por *spray* ou pulverização axial.
- 4- Transferência por arco pulsante.

### 3.9.5 Transferência por curto-circuito

Essa forma de transferência ocorre com baixos valores de tensão e corrente. O curto-circuito ocorre quando a gota de metal que se forma na ponta do eletrodo vai aumentando de diâmetro até tocar a poça de fusão. A transferência por curto-circuito pode ser empregada na soldagem fora de posição, ou seja, em posições diferentes da plana. É usada também na soldagem de chapas finas, em que os valores baixos de tensão e corrente são indicados.

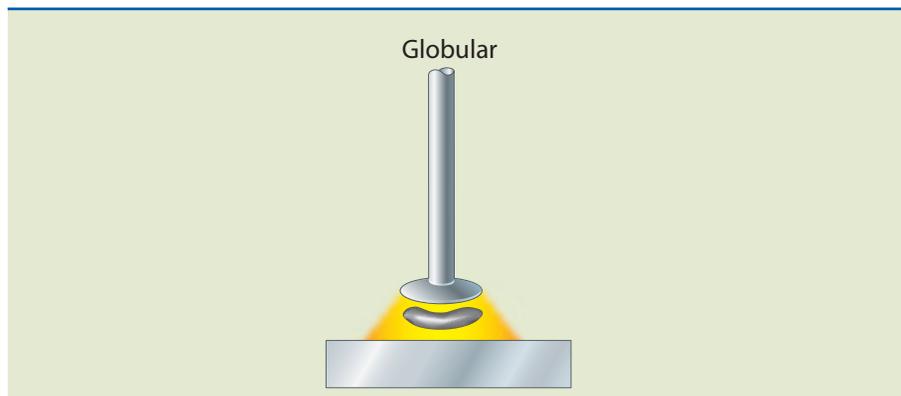
**Figura 3.16**  
Transferência por  
curto-circuito.



### 3.9.6 Transferência globular

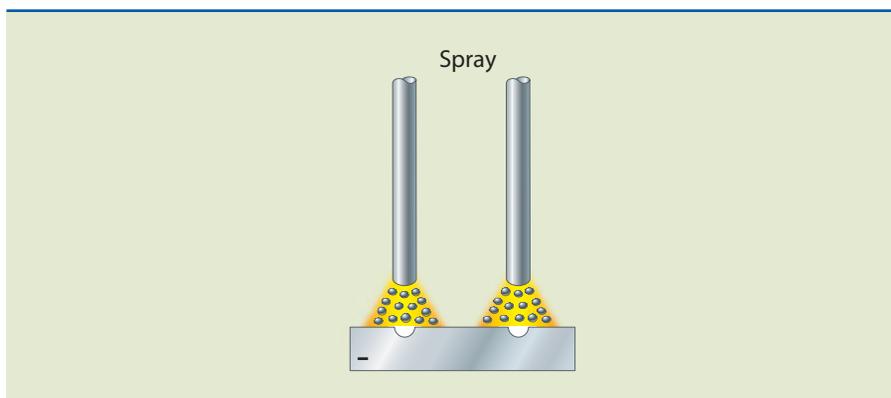
Ocorre quando o metal do eletrodo se transfere para a peça em gotas com diâmetro maior do que o diâmetro do eletrodo. Como não seguem uma direção única, essas gotas geram uma quantidade elevada de respingos. A transferência globular é indicada para a soldagem na posição plana.

**Figura 3.17**  
Transferência globular:



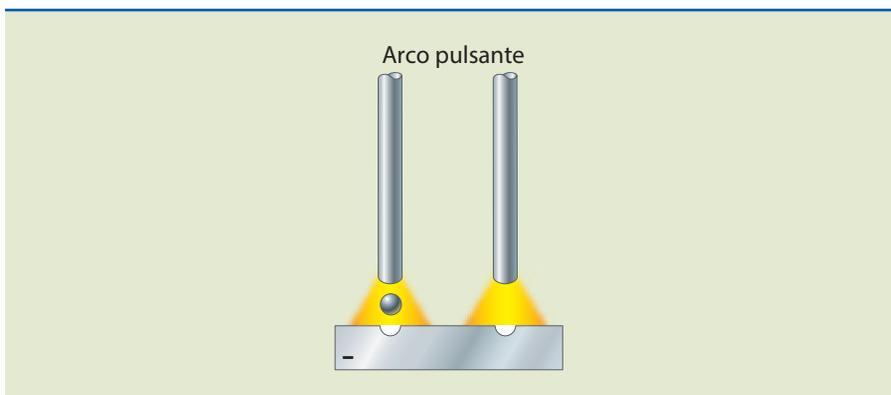
### 3.9.7 Transferência por *spray*

Ocorre com correntes de soldagem altas, que fazem diminuir o diâmetro médio das gotas de metal líquido. A transferência por *spray* produz uma alta taxa de deposição, mas é limitada à posição plana.

**Figura 3.18**Transferência por *spray*.

### 3.9.8 Transferência por arco pulsante

Ocorre com correntes principais de soldagem baixa e pulsos de altas correntes, no modo *spray* durante o pulso, e é utilizado em operações automatizadas.

**Figura 3.19**

Transferência por arco pulsante.

**Figura 3.20**

Processo de soldagem MAG.

### 3.10 Etapas, técnicas e parâmetros do processo

Para soldar peças pelo processo de soldagem MIG/MAG, o soldador segue as seguintes etapas:

- a) preparação das superfícies;
- b) abertura do arco;
- c) início da soldagem pela aproximação da tocha da peça e acionamento do gatilho para início do fluxo do gás, alimentação do eletrodo e energização do circuito de soldagem;
- d) formação da poça de fusão;
- e) produção do cordão de solda pelo deslocamento da tocha ao longo da junta com velocidade uniforme;
- f) liberação do gatilho para a interrupção da corrente, da alimentação do eletrodo, do fluxo do gás e extinção do arco.

O número de passes se dá conforme a espessura do metal e o tipo de junta.

Para estabelecer o procedimento de soldagem, é preciso considerar variáveis como tensão, corrente, velocidade, ângulo e deslocamento da tocha, tipo de vazão do gás, diâmetro e comprimento da extensão livre do eletrodo (*stick out*). Essas variáveis afetam a penetração e a geometria do cordão de solda.

Assim, por exemplo, se todas as demais variáveis do processo forem mantidas constantes, um aumento na corrente de soldagem, com consequente aumento da velocidade de alimentação do eletrodo, causará aumento na penetração e também na taxa de deposição.

Sob as mesmas condições, ou seja, com as variáveis mantidas constantes, um aumento da tensão produzirá um cordão de solda mais largo e mais chato.

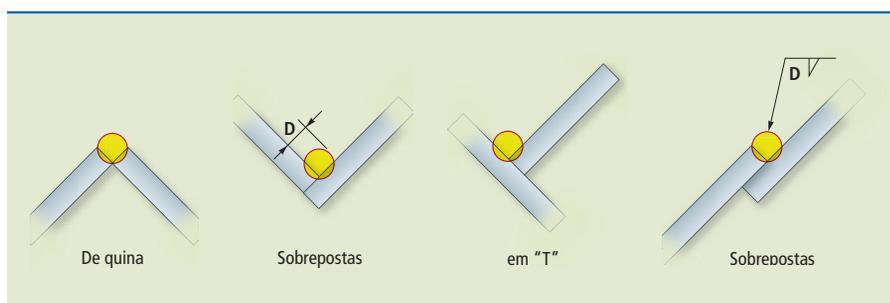
A baixa velocidade de soldagem resulta em um cordão de solda muito largo e com muito depósito de material. Velocidades mais altas produzem cordões estreitos e com pouca penetração.

A vazão do gás deve ser tal que proporcione boas condições de proteção. Em geral, quanto maior for a corrente de soldagem, maior será a poça de fusão e, portanto, maior a área a proteger e maior a vazão necessária.

O comprimento da extensão livre do eletrodo (*stick out*) é a distância entre o último ponto de contato elétrico e a ponta do eletrodo ainda não fundida. Isto é importante porque, quanto maior for a distância, maior será o aquecimento do eletrodo (por causa da resistência elétrica do material) e menor a corrente necessária para fundir o arame.



A figura 3.21 mostra tipos de solda em ângulo na posição plana.



**Figura 3.21**

Soldas em ângulo na posição plana.

A escolha da junta deverá ser feita com base na análise da necessidade do projeto de execução da peça.

A tabela 3.6 mostra a relação entre a dimensão da solda e a espessura do material a ser soldado.

**Tabela 3.6**

Relação entre a dimensão da solda e a espessura do material a ser soldado.

Dimensão da solda (mm)	Espessura do material		Nº de passes	Diâmetro do eletrodo (mm)	Condições de soldagem C.C.P.I. volts-ampères		Vazão de gás Litros pó/min cúbico/h		Velocidade de avanço mm/min
	Nº	mm							
	24	0,64	1	0,8	15 – 17	30 – 50	7 – 9,5	15 – 20	380 a 510
	22	0,79	1	0,8	15 – 17	40 – 60	7 – 9,5	15 – 20	455 a 560
	20	0,95	1	0,9	15 – 17	65 – 85	7 – 9,5	15 – 20	890 a 1.015
	18	1,27	1	0,9	17 – 19	80 – 100	7 – 9,5	15 – 20	890 a 1.015
1,57	16	1,57	1	0,9	17 – 19	90 – 110	9,5 – 12	20 – 25	765 a 890
3,18	14	1,98	1	0,9	18 – 20	110 – 130	9,5 – 12	20 – 25	655 a 765
3,16	11	3,19	1	0,9	19 – 21	140 – 160	9,5 – 12	20 – 25	510 a 635
3,18*	11	3,18	1	1,2	20 – 23	180 – 200	9,5 – 12	20 – 25	685 a 815
4,76	7	4,76	1	1,2	20 – 23	180 – 200	9,5 – 12	20 – 25	355 a 480
4,76*	7	4,76	1	1,2	20 – 23	180 – 200	9,5 – 12	20 – 25	455 a 560
6,35	3	6,35	1	0,9	19 – 21	140 – 180	9,5 – 12	20 – 25	250 a 380
6,35*	3	6,35	1	1,2	20 – 23	180 – 200	9,5 – 12	20 – 25	305 a 455

N.B. – Material aço-carbono

1. Gás protetor CO<sup>2</sup> grau soldagem

2. Distância bico-peça\* 6 mm a 10 mm (altura)

3.\* Escolha alternativa do eletrodo



### 3.10.1 Processo de soldagem TIG

O processo de soldagem TIG (*tungsten inert gas*) refere-se ao processo de soldagem ao arco elétrico, com ou sem metal de adição, que usa um eletrodo não consumível de tungstênio envolto por uma cortina de gás protetor.

**Figura 3.22**

Processo de soldagem TIG.



LADY KIRNALAMY/OTHER IMAGES

Neste processo, a união das peças metálicas é produzida por aquecimento e fusão através de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de tungstênio não consumível e as peças a serem unidas. A principal função do gás inerte é proteger a poça de fusão e o arco contra contaminação da atmosfera.

O processo de soldagem TIG é aplicável à maioria dos metais e suas ligas numa ampla faixa de espessuras. No entanto, por causa da baixa taxa de deposição, sua aplicação é limitada à soldagem de peças pequenas e no passe de raiz, principalmente de metais não ferrosos e de aço inoxidável.

O arco elétrico na soldagem TIG produz soldas com boa aparência e bom acabamento, o que exige pouca ou nenhuma limpeza após a operação de soldagem. Esse arco pode ser obtido por meio de corrente alternada (CA) ou corrente contínua (CC) e eletrodo negativo (-), ou ainda corrente contínua (CC) e eletrodo positivo (+). Esta última é pouco usada em decorrência dos riscos de fusão do eletrodo e contaminação da solda.

Um arco de soldagem TIG ideal é aquele que fornece a máxima quantidade de calor ao metal base e a mínima ao eletrodo. Além disso, no caso do alumínio e magnésio e de suas ligas, ele deve promover a remoção da camada de óxido que se forma na frente da poça de fusão. Dependendo da situação e de acordo com as necessidades do trabalho, cada um dos modos de reproduzir o arco (CA, CC+ ou CC-) apresenta um ou mais desses requisitos.

A tabela 3.7 mostra a variação de corrente e polaridade em relação ao material na soldagem TIG.

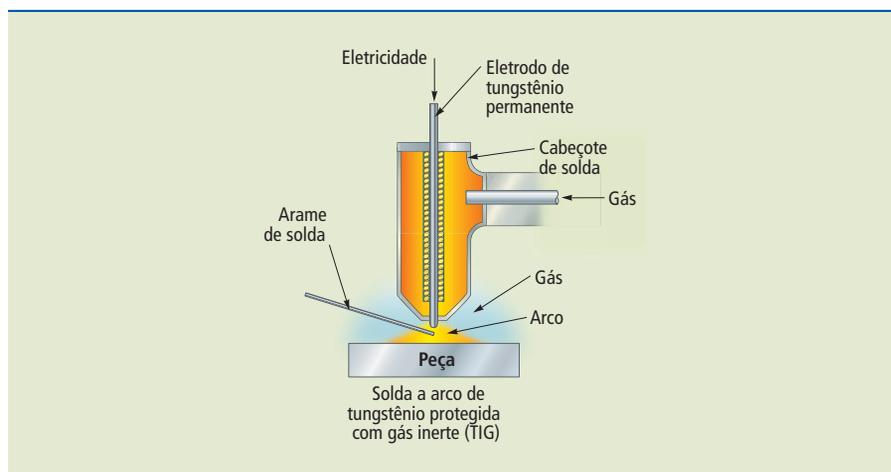
Natureza do metal a soldar	Corrente contínua		Corrente alternada
	Polaridade inversa	Polaridade direta	
Alumínio e ligas	3	4	I
Magnésio e ligas com espessura inferior a 3 mm	2	4	I
Magnésio e ligas com espessura superior a 3 mm	3	4	I
Aços inoxidáveis	3	I	I''
Aços inoxidáveis com espessura inferior a 0,7 mm	3	I	3
Aços inoxidáveis com espessura superior a 0,7 mm	3	I	3
Aços doces ou de baixa liga	3	I	I''
Aços doces ou de baixa liga com espessura até 1 mm	3	I	3
Ferro fundido	3	I	3
Cobre, latão e bronze, níquel e ligas, enchimentos	3	I	I'''

Significado dos números e aspas na tabela: I. meio de alimentação dando os melhores resultados; 2. meio de alimentação dando bons resultados; 3. meio de alimentação não recomendado; 4. solda impossível; '' utilizar se o arco é estável em corrente contínua; ''' utilizar para trabalho em posição; '''' utilizar em certos casos (peças pequenas e mínimo de diluição no metal de base).

O uso do eletrodo não consumível permite a soldagem sem utilização de metal de adição. O gás inerte, por sua vez, não reage quimicamente com a poça de fusão. Com isso, há pouca geração de gases e fumos de soldagem, o que proporciona ótima visibilidade para o soldador.

A soldagem TIG é geralmente manual em qualquer posição. No entanto, com o uso de dispositivos adequados, o processo pode ser facilmente mecanizado.

A figura 3.23 mostra esquematicamente a nomenclatura de um cabeçote de soldagem TIG.



**Figura 3.23**

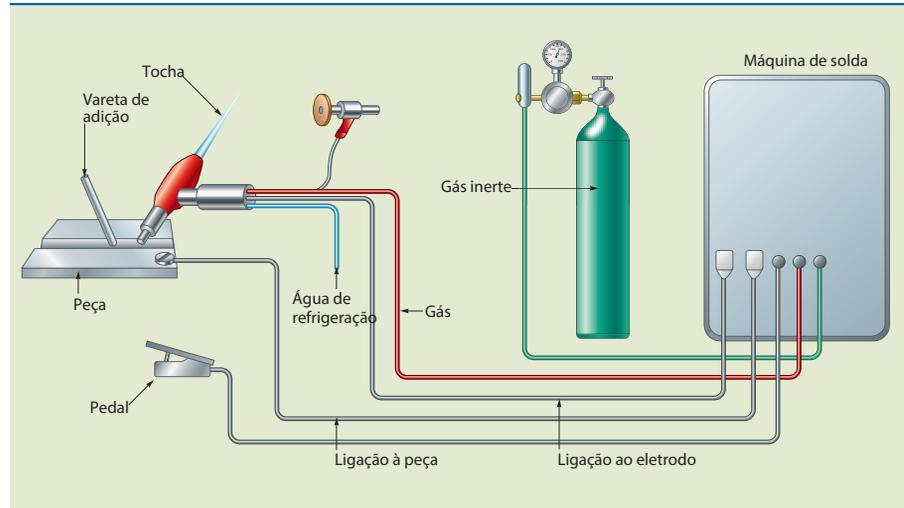
Nomenclatura de um cabeçote de soldagem TIG.

O equipamento usado na soldagem TIG é composto basicamente por:

- fonte de energia elétrica;
- tocha de soldagem;
- fonte de gás protetor;
- eletrodo para abertura do arco;
- unidade para circulação de água para refrigeração da tocha.

### Fonte de energia elétrica

**Figura 3.24**  
Equipamento Básico  
do Processo TIG.



A fonte de energia elétrica é do tipo ajustável e pode ser:

- transformador que fornece corrente alternada (CA);
- transformador/retificador de corrente contínua com controle eletromagnético ou eletrônico;
- fonte de corrente pulsada;
- fontes capazes de fornecer corrente contínua (CC) ou corrente alternada (CA).

**Tabela 3.8**  
Tipo de corrente e  
polaridade em função do  
diâmetro do eletrodo.

Diâmetro do eletrodo em mm	Corrente contínua		Corrente alternada em amperes
	Polaridade direta em amperes	Polaridade inversa em amperes	
1	25 – 70	15	15 – 50
1,6	60 – 150	10 – 20	40 – 110
2	100 – 200	15 – 25	70 – 140
3	200 – 350	25 – 40	140 – 200
4	350 – 520	40 – 60	200 – 275
5	520 – 800	60 – 85	260 – 365
6			320 – 500
7			380

## Tocha de soldagem

A tocha de soldagem tem como função suportar o eletrodo de tungstênio e conduzir o gás de proteção de forma apropriada. Ela é dotada de uma pinça interna que serve para segurar o eletrodo e fazer o contato elétrico. Tem também um bocal, que pode ser de cerâmica ou de metal, cuja função é direcionar o fluxo do gás.

Todas as tochas precisam ser refrigeradas. Isso pode ser feito pelo próprio gás de proteção em tochas de até 150 A (amperes) ou para tochas com capacidade entre 150 e 500 A, com água fornecida por um circuito de refrigeração composto por um motor elétrico, um radiador e uma bomba d'água.

## Eletrodos

O eletrodo usado no processo de soldagem TIG é uma vareta sinterizada de tungstênio, puro ou com adição de elementos de liga (tório, zircônio, lantânio e cério). Sua função é conduzir a corrente elétrica até o arco. Essa capacidade de condução varia de acordo com sua composição química, seu diâmetro e o tipo de corrente de soldagem.

A seleção do tipo e do diâmetro do eletrodo é feita conforme o material a ser soldado, a espessura da peça, o tipo da junta, o número de passe necessário à realização da soldagem e os parâmetros de soldagem que vão ser usados no trabalho.

### 3.10.2 Consumíveis

Para a realização da soldagem TIG, além dos eletrodos, também são necessários os itens conhecidos como consumíveis, ou seja, o metal de adição e o gás de proteção.

No processo TIG, a soldagem sem metal de adição é de uso limitado, principalmente em materiais de espessura muito fina e ligas não propensas a trincamento quando aquecidas. A função do metal de adição é justamente ajudar a diminuir as fissuras e participar na produção do cordão de solda.

Para a soldagem manual, o metal de adição é fornecido na forma de varetas. Para a soldagem mecanizada, o metal é fornecido na forma de um fio enrolado em bobinas. Os diâmetros dos fios e das varetas são padronizados e variam entre 0,5 e 5 mm. O diâmetro é escolhido conforme a espessura das peças, a quantidade de material a ser depositado e os parâmetros de soldagem.

A escolha do metal de adição para uma determinada aplicação leva em conta a composição química e as propriedades mecânicas desejadas para a solda. Em geral, o metal de adição tem composição semelhante à do metal base.

É importante lembrar que os catálogos dos fabricantes são as fontes ideais de informação, essenciais para a escolha dos gases de proteção, dos eletrodos e do metal de adição.



O gás inerte, além de proteger a região do arco compreendida pela poça de fusão, também transfere a corrente elétrica quando ionizado. Para sistemas, os gases usados são: hélio, argônio ou uma mistura dos dois.

A seleção do gás de proteção é feita com base no tipo de metal que se quer soldar, na posição de soldagem e na espessura das peças a unir.

O grau de pureza do gás de proteção é essencial para a quantidade da solda; esse grau deve ficar em torno de 99,99%. É fundamental lembrar que essa pureza deve ser mantida até que o gás chegue efetivamente ao arco, a fim de evitar que vestígios de sujeira e umidade contaminem a solda.

Além dos equipamentos e materiais já citados, vários equipamentos ou sistemas auxiliares podem ser usados para facilitar ou mecanizar a operação de soldagem, tais como:

- posicionadores para permitir a soldagem na posição plana;
- dispositivos de deslocamentos para movimentar a tocha ou a peça;
- controladores automáticos de comprimentos de arco para manter constante a distância da ponta do eletrodo até a peça;
- alimentadores de metal de adição para mecanizar a adição do metal e permitir que ela seja uniforme;
- osciladores do arco de soldagem para mecanizar a “tecedura” do cordão;
- temporizadores para controlar o início e o fim da operação dos diversos dispositivos auxiliares da soldagem, controlar o fluxo de gás e sincronizar toda a operação do sistema.

### 3.10.3 Etapas do processo de soldagem TIG manual

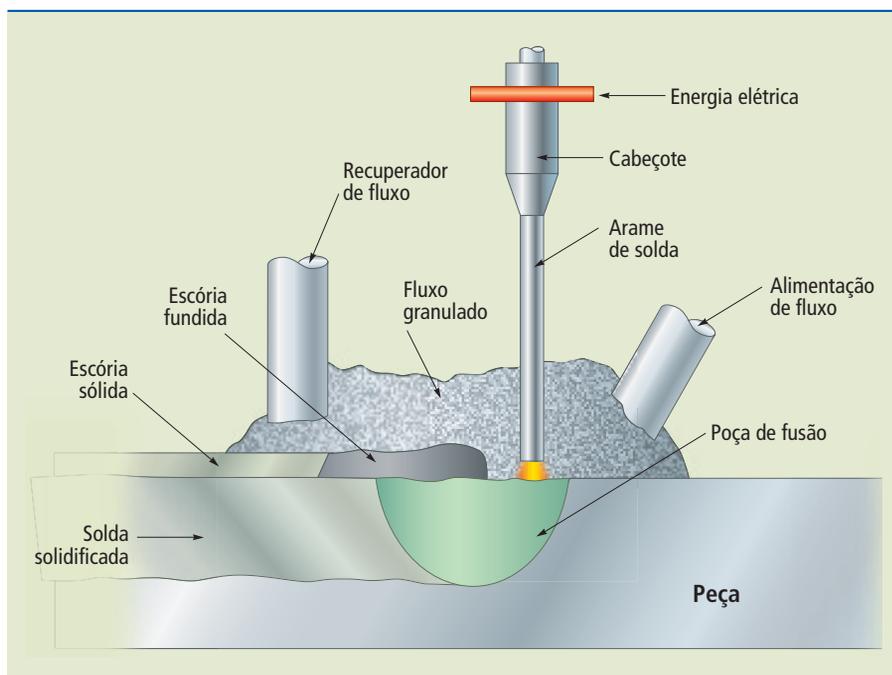
Para realizar a soldagem TIG, o operador deve seguir as seguintes etapas:

- a) preparação da superfície para remover óleo, graxa, sujeira, tinta e óxidos por meio de lixamento, escovação e decapagem;
- b) abertura do gás para expulsar o ar da abertura da mangueira de gás e da tocha;
- c) pré-vazão ou formação de cortina protetora antes da abertura do arco;
- d) abertura do arco por meio de um ignitor de alta frequência;
- e) formação da poça de fusão;
- f) adição do metal na poça de fusão, quando aplicável;
- g) ao final da junta, extinção do arco por interrupção da corrente elétrica;
- h) passagem do gás inerte sobre a última parte soldada para resfriamento do eletrodo e proteção da poça de fusão em solidificação (pós-vazão);
- i) fechamento do fluxo de gás.

## 3.11 Processo de soldagem com arco submerso

O processo de soldagem com arco submerso possui alimentação do arame semelhante ao processo de soldagem MIG/MAG, ou seja: ela é automática. A diferença está na proteção da solda, já que no arco submerso usa-se um fluxo granular. Ele age como fundente, protegendo a solda ao formar uma casca de escória, e pode até adicionar elementos de liga à solda.

Esse processo permite alto grau de automatização, o que o torna mais rápido e econômico quando comparado aos demais processos de soldagem por arco elétrico.



**Figura 3.25**  
Processo de soldagem com arco submerso.

### 3.11.1 Características do processo de soldagem por arco submerso

As juntas soldadas pelo processo por arco submerso apresentam boas propriedades mecânicas, com ductilidade e tenacidade, e alta qualidade na uniformidade e no acabamento da solda.

A maior limitação do processo é a necessidade de realizar a solda sempre na posição plana ou horizontal. Fora desta posição o fluxo não cobriria a poça de fusão, perdendo o efeito de proteção da solda. Por causa do fluxo, essa solda não emite faíscas, luminosidade nem respingos.

### 3.11.2 Aplicações

O processo de soldagem por arco submerso é aplicado em aços de baixo e médio teor de carbono, alguns aços ligas, níquel e suas ligas.

Ele é indicado para a soldagem de peças com espessura mínima de 3 mm, sendo ideal para cordões compridos e de espessura superior a 8 mm. Os chanfros mais utilizados são V e X em costuras horizontais.

**Tabela 3.9**  
Valores práticos  
para soldagem com  
arco submerso.

Forma da costura	Espessura da chapa em mm	Tensão em mm	Corrente em A	Velocidade de soldagem em mm/min
V	5	36	575	840
V	8	36	900	735
V	10	37	1.000	685
V	16	38	1.250	480
V	22	40	1.500	255
V	28	41	1.650	225
V	32	41	1.700	205
V	38	41	2.000	150
V	51	42	2.900	125
V	64	42	3.200	450
X	30	40	930	300
X	50	42	1.350	300
X	50	42	1.950	330

### 3.11.3 Vantagens do uso do processo por arco submerso

- Apresenta alto rendimento térmico.
- Gera elevada produção de material de soldagem.
- Proporciona grande penetração da solda, com economia de chanfro.
- Dispensa protetores visuais.
- Obtém maior rendimento de deposição que outros processos.

### 3.11.4 Limitações do uso do processo por arco submerso

- A solda é realizada somente nos limites da posição plana.
- É praticamente impossível soldar juntas de difícil acesso.
- Há necessidade de remoção de escória a cada passe de solda.
- A superfície do chanfro deve ser regular e o ajuste, uniforme.
- Afeta termicamente uma zona extensa.

## 3.12 Segurança na soldagem

Ao executar qualquer processo de soldagem, é necessário que o operador utilize os equipamentos de proteção individual (EPIs) adequados para cada tipo de processo.

O operador corre o risco de queimar a pele e os olhos em decorrência das radiações ultravioleta e do calor fortíssimo gerados durante o processo.

Por isso, torna-se obrigatório o uso dos EPIs em qualquer tipo de execução dos processos de soldagem.

Na soldagem a gás, além dos riscos já mencionados, há o perigo de explosão dos cilindros de gases. Deve-se tomar cuidado ao manuseá-los e verificar se existem vazamentos nas mangueiras e conexões.

Os EPIs mais utilizados nos processos de soldagem são:

- luvas de raspa (material em couro apropriado);



- avental de raspa;



- mangas ou mangotes de raspa;



- perneiras de raspa;



- touca;



- máscara de solda com vidro filtro apropriado (solda ao arco elétrico);



- óculos para solda a gás.



FOTOS: CENTERSOLDASVORTECH

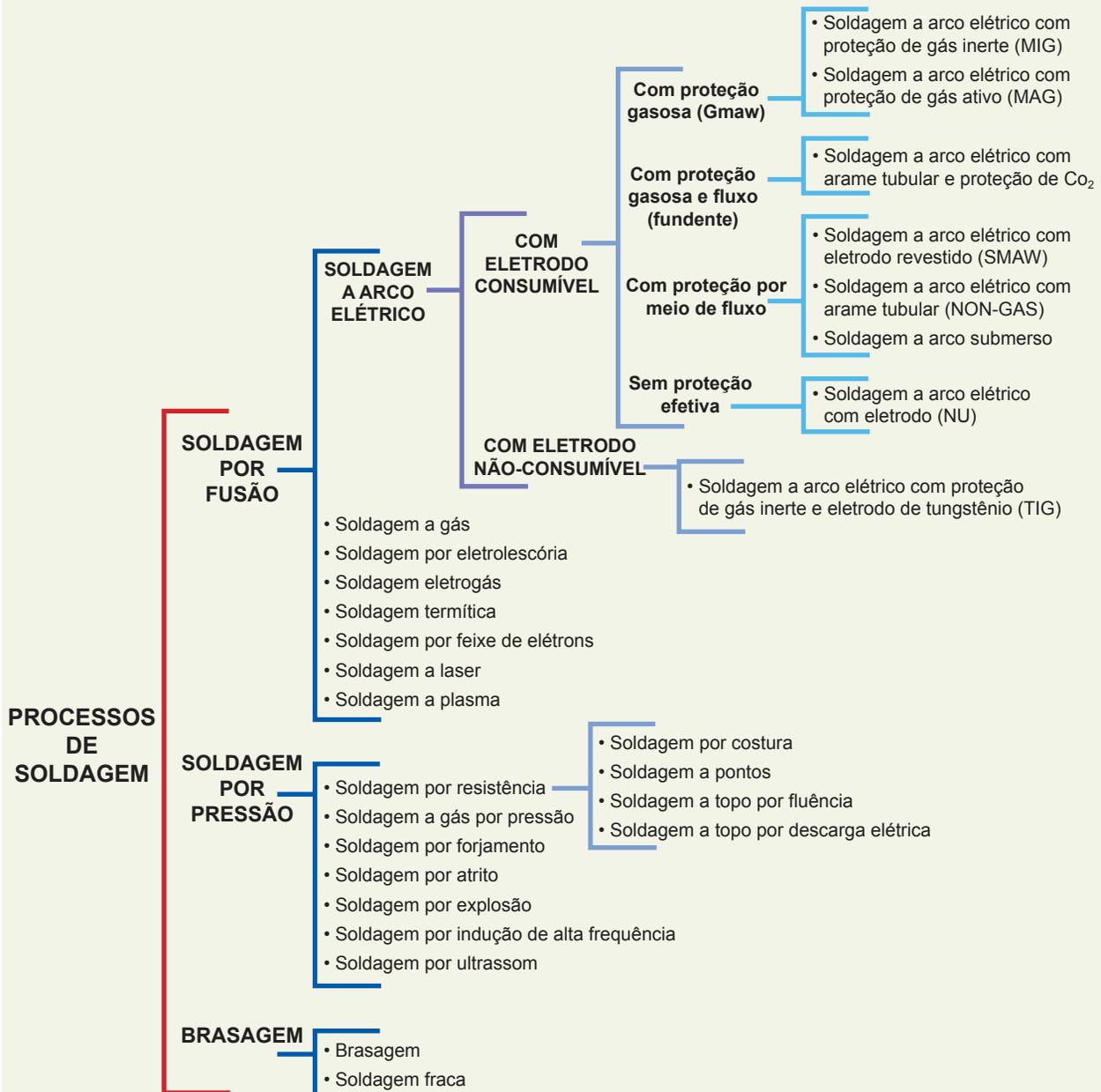
A utilização correta dos equipamentos de proteção individual (EPIs) previne acidentes e garante a integridade física do operador. O uso dos EPIs é obrigatório em qualquer ramo da indústria.

### 3.13 Soldagem na indústria

Os processos de soldagem são amplamente utilizados na indústria, principalmente em processos de soldagem automatizados, ou seja, com a utilização de robôs soldadores (por exemplo, na indústria automotiva, na soldagem de chassis e longarinas).

Estima-se que hoje em dia mais de 70 processos de soldagem vêm sendo utilizados. Embora este livro tenha abordado alguns processos, o quadro abaixo faz uma representação mais clara dos diversos tipos de processos de soldagem.

## CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM



**Tabela 3.10**

Diversos tipos de processos de soldagem.

É sabido que a área industrial sofre uma evolução tecnológica muito rápida. Isso torna os processos de fabricação dinâmicos, pois vários outros processos estão em desenvolvimento em nível de pesquisa, o que projeta para breve novas alterações no mercado de soldagem.

