
CONSUMÍVEIS DE SOLDAGEM

ÍNDICE:

1. Conceitos.
2. Normas Técnicas Aplicáveis.
3. Especificações e Classificações AWS.
4. As Normas AWS.
5. Gases de Proteção AWS A5.32.
6. Eletrodos Revestidos AWS A5.1, A5.5 e A5.4.
7. Varetas para Soldagem Oxi-Gás AWS A5.2.
8. Arames e Varetas para aço carbono AWS A5.18.
9. Arames e Varetas para aço inoxidável AWS A5.9.
10. Fluxos e Arames para Soldagem a Arco Submerso AWS A5.17.
11. Arames Tubulares AWS A5.20, A5.22 e A5.29.
12. Identificação, Embalagem dos Consumíveis.
13. Inspeção Visual dos Eletrodos.
14. Armazenamento dos Consumíveis.
15. Bibliografia

Eng. Antonio C. Souza

1. CONCEITOS

Os consumíveis são definidos pela Terminologia de Soldagem como todos os materiais empregados na deposição ou proteção da solda. Exemplos de consumíveis são os eletrodos revestidos, as varetas, os arames sólidos e tubulares, os fluxos, os gases e os anéis consumíveis.

1.1 seleção de consumíveis

Na seleção dos consumíveis, primeiramente deve-se ter o conhecimento do processo de soldagem a ser utilizado, pois cada processo de soldagem define os consumíveis que serão empregados. Os fatores que devem ser analisados na seleção dos consumíveis são:

- O metal base;
- A geometria e o tipo de junta;
- A espessura da peça;
- A posição de soldagem;
- O tipo de fonte de energia;
- A produtividade;
- Os custos de soldagem;
- A habilidade do soldador.

1.2 tipos de consumíveis

Os consumíveis utilizados estão relacionados com o processo de soldagem empregado.

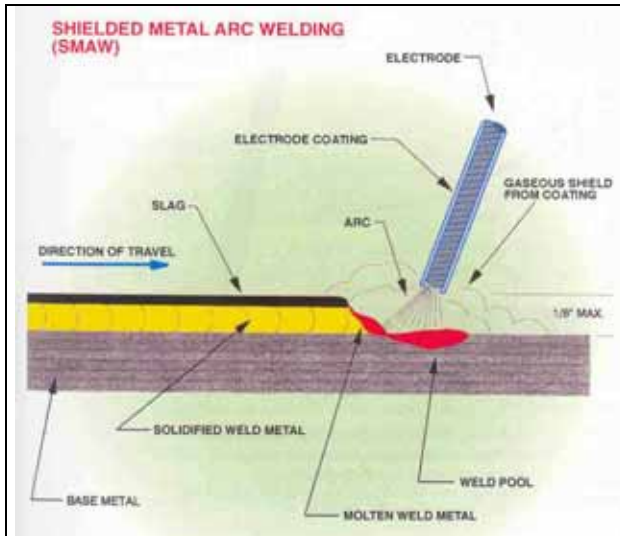
- Processo de Soldagem a Gás

Os consumíveis são:

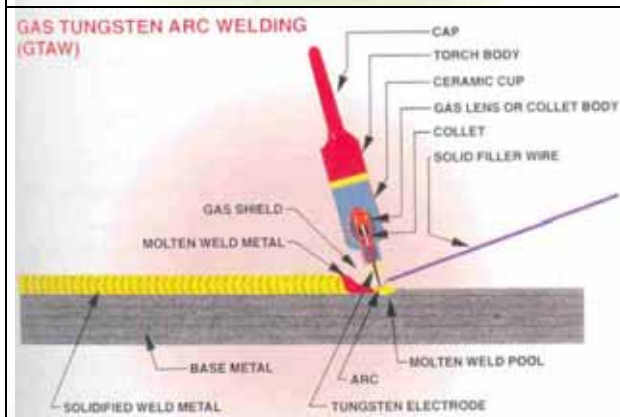
- Gases Combustíveis: Acetileno, Propano;
- Gases Comburentes: Oxigênio, Ar atmosférico;
- Varetas;
- Fluxos – que são os fundentes que facilitam a remoção dos óxidos superficiais e melhoram a fluidez da poça de fusão.

- Processo de Soldagem a Arco Elétrico

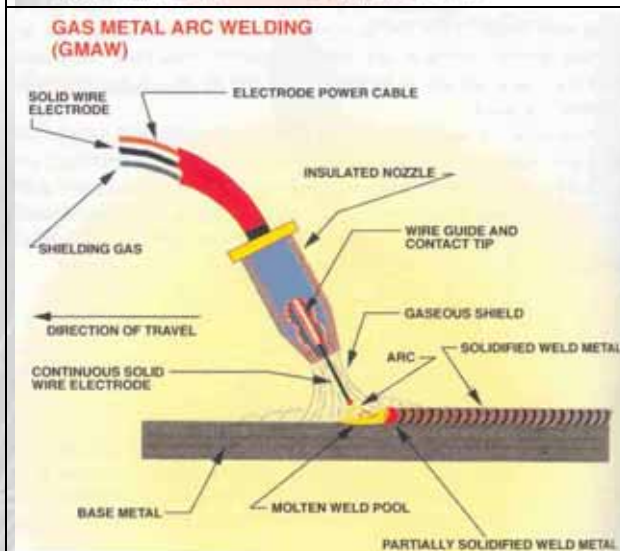
Os consumíveis e os esquemas de cada processo de soldagem a arco elétrico são mostrados nas figuras a seguir:



SMAW (Shield Metal Arc Welding) – Soldagem com Eletrodo Revestido: Eletrodo Revestido.



GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) – Soldagem TIG: Vareta ou Arame e o Gás de Proteção.



GMAW (Gas Metal Arc Welding) – Soldagem com proteção gasosa –
MIG: Arame e Gás de Proteção Inerte.
MAG: Arame e Gás de Proteção Ativo.

FCAW (Flux Cored Arc Welding) - Soldagem com arame Tubular: Arame Tubular com ou sem utilização de Gás de Proteção.

SAW (Submerged Arc Welding) – Soldagem a Arco Submerso: Arame e Fluxo.

As siglas acima são retiradas da Terminologia de Soldagem da Norma AWS.

2. NORMAS TÉCNICAS APLICÁVEIS

As Organizações Privadas ou Governamentais desenvolvem e atualizam Normas Técnicas que se aplicam a áreas de engenharia de interesse, entre elas pode-se destacar:

- **ASME** - American Society for Mechanical Engineers;
- **API** - American Petroleum Institute;
- **AWS** – American Welding Society;
- **ASTM** – American Society for Testing and Materials;
- **AISI** – American Iron and Steel Institute;
- **ANSI** – American National Standards Institute;
- **ISO** – International Organization for Standardization.

No Brasil se aplica quase que na totalidade as Normas Técnicas de procedência Americana. A Norma aplicada a consumíveis de soldagem é a **AWS**.

Pode-se ainda em muitos trabalhos em soldagem se aplicar as Normas **AWS** acrescidas de especificações internas, como é o caso, de serviços ou projetos **Petrobrás**.

As Normas principais de projeto que empregam soldagem como exemplo a **API** para construção de tubulação, **ASME** para construção de vasos de pressão e caldeiras e **AWS** para a construção de pontes e estruturas utilizam as Normas de consumíveis de soldagem desenvolvidas pela **AWS**.

Ao utilizar um consumível de soldagem classificado pela Norma AWS, as Normas API, ASME e AWS se asseguram pela qualidade do projeto.

Desta forma estas organizações se especializam nas suas áreas e fazem que todos os assuntos referentes a consumíveis de soldagem sejam tratados pela AWS, exigindo assim uma contínua adequação e atualização.

Deve-se observar que as especificações AWS para consumíveis de soldagem são idênticas as do ASME, apenas que a AWS trata as especificações como A5. ... e o ASME II parte C, seção do ASME referente a consumíveis de soldagem como SFA 5. ... (SF – Specification).

3. ESPECIFICAÇÕES E CLASSIFICAÇÕES AWS

A Norma AWS procura abranger a maioria dos consumíveis de soldagem, incluindo os metais de adição e recentemente elaborada uma especificação própria para os gases de proteção.

As especificações AWS agrupam os metais de adição pelo seu tipo ou composição química do metal depositado ou processo de soldagem.

As especificações AWS, em geral, exigem que os consumíveis atendam a requisitos específicos como:

- Propriedades Mecânicas do metal depositado;
- Composição Química do metal depositado;
- Sanidade do metal depositado.

As especificações AWS além de classificar os consumíveis determinam que os consumíveis atendam a requisitos de:

- Fabricação;
- Critérios de Aceitação;
- Sistemas de unidades, Sistema Internacional ou Sistema Americano;
- Ensaios para cada tipo de consumível, como:
 - o Propriedades mecânicas do metal depositado;
 - o Composição Química do metal depositado;
 - o Sanidade do metal depositado – exame radiográfico.
- Embalagem;
- Identificação;
- Certificação;
- Garantias e Validade.

A classificação AWS refere-se a um consumível e a respeito do mesmo. Esta classificação permite com uma simples identificação fornecer informações sobre as suas propriedades mecânicas, a sua composição química, o seu tipo de revestimento e as suas características operacionais como o tipo de corrente de soldagem a ser empregado.

Podemos concluir que a especificação AWS determina a maneira exata, as características de um consumível, inclusive a maneira de classificá-lo e dá garantias sobre as suas propriedades enquanto que a classificação AWS apresenta uma maneira lógica de designar um consumível.

Os seguintes prefixos são utilizados nas classificações AWS:

- E** – (ELECTRODE) refere-se a Eletrodo para soldagem a arco elétrico;
- R** – (ROD) refere-se à vareta para soldagem a oxi-gás;
- ER** – refere-se a eletrodo nu (arame) ou vareta na soldagem a arco elétrico;
- F** – (FLUX) refere-se ao Fluxo para soldagem a arco submerso;
- Q** – refere-se à Fita para soldagem a arco elétrico;
- C** – (COMPOSITE) refere-se a eletrodo composto para a soldagem a arco elétrico;

T – (TUBULAR) refere-se ao eletrodo tubular para a soldagem com processo arame tubular (FCAW)

A terminologia empregada no Brasil ainda está em falta para os consumíveis do tipo composto, às vezes quando não é bem compreendida, se confunde com o consumível tubular.

O consumível tubular pode ser com núcleo fluxado (flux cored) ou com núcleo metálico (metal cored).

O eletrodo tubular com núcleo fluxado é empregado no processo de soldagem arame tubular (FCAW). Este núcleo tem as funções similares ao revestimento do eletrodo revestido ou do fluxo para soldagem arco submerso.

O eletrodo tubular com núcleo metálico pode ser empregado nos processos GMAW, GTAW, PAW e SAW. Este núcleo tem no mínimo 85% de pó metálico e tem as funções de deposição e adição de liga. São classificados como eletrodos compostos.

4. AS NORMAS AWS

Para o programa de certificação de Inspetores de Soldagem Nível 1 e Nível 2 são exigidos o estudo e a compreensão das seguintes Normas AWS:

Designação AWS / ASME II parte C	Especificação
A5.1 – SFA 5.1	Eletrodos de Aço Carbono para o Processo de Soldagem Eletrodo Revestido.
A5.2 – SFA 5.2	Varetas de Aço Carbono e Baixa Liga para o Processo de Soldagem Oxi-Gás.
A5.4 – SFA 5.4	Eletrodos de Aço Inoxidável para o Processo de Soldagem Eletrodo Revestido.
A5.5 – SFA 5.5	Eletrodos de Aço tipo Baixa Liga para o Processo de Soldagem Eletrodo Revestido.
A5.9 – SFA 5.9	Eletrodos Nus e Varetas de Aço Inoxidável para os Processos de Soldagem GMAW, PAW, GTAW e SAW.
A5.17 – SFA 5.17	Fluxos e Eletrodos de Aço Carbono para ao Processo de Soldagem Arco Submerso.
A5.18 – SFA 5.18	Eletrodos e Varetas de Aço Carbono para Processo de Soldagem com Proteção a Gasosa.
A5.20 – SFA 5.20	Eletrodos de Aço Carbono para o Processo de Soldagem Arame Tubular (FCAW)
A5.22 – SFA 5.22	Eletrodos de Aço Inoxidável para o Processo de Soldagem Arame Tubular (FCAW)
A5.29 – SFA 5.29	Eletrodos de Aço tipo Baixa liga para o Processo de Soldagem Arame Tubular (FCAW)
A5.32 – SFA 5.32	Gases de Proteção para os Processos de Soldagem GTAW, GMAW, FCAW e PAW.

5. GASES DE PROTEÇÃO – AWS A5.32

Os gases de proteção utilizados nos processos de soldagem a arco elétrico podem ser Inertes ou Reativos.

Os gases de proteção inertes são os considerados que não reagem com o metal líquido da poça de fusão. Os gases inertes mais utilizados na soldagem são Argônio e Hélio.

Os gases de proteção reativos são os considerados que reagem com o metal líquido da poça de fusão, podendo alterar as propriedades metalúrgicas e mecânicas do metal de solda. Estes gases podem ser ativos ou redutores.

Os gases ativos utilizados na soldagem são o CO₂ - Dióxido de Carbono e Oxigênio. O gás redutor que pode ser utilizado na soldagem é o Hidrogênio - H₂.

A recente Especificação AWS A5.32 se aplica aos gases de proteção utilizados nos processos de soldagem **GTAW**, **GMAW**, **FCAW** e **PAW** (Plasma Arc Welding).

Os gases de proteção podem ser de um único tipo de gás (puro) ou de mistura de gases. A AWS A5.32 identifica os componentes individuais dos gases como:

A – Argônio ; **C** – CO₂ - Dióxido de Carbono ; **He** – Hélio ; **H** – Hidrogênio ;
N – Nitrogênio ; **O** – Oxigênio .

Os testes requeridos para a classificação dos gases de proteção são:

	Pureza do Gás	Ponto de Orvalho	Composição da Mistura
Gás Puro	Requerida	Requerida	Não aplicável
Mistura de Gases	Requerida*	Requerida*	Requerida

* Tratando-se de mistura de gases, cada gás individualmente deve apresentar os requerimentos de pureza e ponto de orvalho.

Os requerimentos de pureza e ponto de orvalho aplicados aos gases de proteção são apresentados na tabela a seguir:

Gás	Classificação AWS	Gasoso/ Líquido	Pureza Mínima	Umidade Máxima	Temperatura Máxima de Ponto de Orvalho
Argônio	SG-A	Gasoso	99,997	10,5 ppm	-60°C
		Líquido	99,997	10,5 ppm	-60°C
CO ₂	SG-C	Gasoso	99,8	32 ppm	-51°C
		Líquido	99,8	32 ppm	-51°C
Hélio	SG-He	Gasoso	99,995	15 ppm	-57°C
		Líquido	99,995	15 ppm	-57°C
Hidrogênio	SG-H	Gasoso	99,95	32 ppm	-51°C

		Líquido	99,995	32 ppm	-51°C
Nitrogênio	SG-N	Gasoso	99,9	32 ppm	-51°C
		Líquido	99,998	4 ppm	-68°C
Oxigênio	SG-O	Gasoso	99,5	-	-48°C
		Líquido	99,5	-	-63°C

5.1 sistema de classificação AWS

A AWS utiliza os seguintes sistemas para classificação:

a) Gás Puro

SG – B

Onde **SG** – Gás de proteção (**S**hielding **G**as).

B – designa o tipo de gás.

b) Mistura de Gases

SG – B X - % para 2 gases;

SG – B X Y - %/% para 3 gases;

SG – B X Y Z - %/%/% para 4 gases;

Onde **SG** – Gas de Proteção.

B – designa o gás principal.

X – designa o segundo gás da mistura.

Y e Z – designam o terceiro e quarto gás na mistura.

% - designa a % do menor gás na mistura.

A tabela a seguir apresenta as Classificações AWS para as misturas típicas:

Classificação AWS	Mistura Típica de Gás (%)	Gases de Proteção
SG-AC-25	75/25	Argônio + CO ₂
SG-AO-2	98/2	Argônio + Oxigênio
SG-AHe-10	90/10	Argônio + Hélio
SG-AH-5	95/5	Argônio + Hidrogênio
SG-HeA-25	75/25	Hélio + Argônio
SG-HeAC-7.5/2.5	90/7.5/2.5	Hélio + Argônio + CO ₂
SG-ACO-8/2	90/8/2	Argônio + CO ₂ + Oxigênio
SG-A-G	Especial	Argônio + Mistura

Observação: Há uma tolerância de +/-10% para o gás de menor teor.

5.2 considerações de soldagem

As propriedades dos gases de proteção afetam o desempenho de todos os processos de soldagem a arco elétrico.

O potencial de ionização é uma das principais propriedades dos gases de proteção influenciando a abertura e estabilidade do arco elétrico.

A condutividade térmica é também uma característica importante, determinando a tensão e a energia do arco elétrico. Por exemplo, o gás CO₂ apresenta maior condutividade térmica do que o Hélio a alta temperatura por causa do efeito de dissociação e recombinação das moléculas.

Muitos fatores podem influenciar a seleção do gás ou mistura de gás a ser utilizado no processo de soldagem a arco elétrico, como:

- Tipo e espessura do metal base;
- Características do arco elétrico;
- Modo de transferência do metal de adição;
- Velocidade de soldagem;
- Profundidade e largura de fusão;
- Custo de soldagem;
- Propriedades mecânicas;
- Abertura da raiz;
- Limpeza do metal base;
- Ação de limpeza do arco;
- Pureza do gás;
- Configuração de junta;
- Posição de soldagem;
- Geração de Fumos e respingos.

5.3 descrição e aplicação típica de cada gás de proteção

a) SG-A - Argônio:

É inerte. É usado puro ou em mistura. Praticamente todos os processos de soldagem a arco elétrico podem utilizar argônio ou mistura para obter boa soldabilidade, propriedades mecânicas, boas características do arco e produtividade.

Argônio puro é usado para a soldagem de ligas ferrosas e não ferrosas, como alumínio, níquel, cobre, ligas de magnésio, zircônio e titânio.

O alto potencial de ionização do argônio gera uma excelente estabilidade do arco.

O Argônio puro no processo GMAW gera uma coluna de arco constricta a alta densidade de corrente que causa uma energia do arco concentrada em uma pequena parte central da poça de fusão.

b) SG-C - CO₂:

É ativo. É utilizado principalmente na soldagem com os processos FCAW e GMAW.

O calor do arco dissocia $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{O}$. Este oxigênio livre combinará com elementos que são transferidos através do arco e serão depositados na forma de óxidos ou escória. É necessário compensar esta atividade com boa quantidade de desoxidante no arame.

O CO_2 é utilizado em GMAW com transferência em curto circuito ou globular ou em FCAW para a soldagem de aço carbono e baixa liga e aços inoxidáveis.

É muito utilizado como mistura com Argônio, melhorando as suas características na soldagem, principalmente estabilidade do arco elétrico, modo de transferência e propriedades mecânicas.

O CO_2 apresenta baixo custo.

c) SG-N – Nitrogênio:

Não é recomendado para a soldagem de aços carbono e baixa liga.

O nitrogênio é frequentemente utilizado como gás de purga ou de proteção da raiz evitando contaminação com o ar atmosférico.

Atualmente é utilizado em pequenas adições < do que 3% em combinação com Argônio nos processos GMAW e GTAW para a soldagem de aços inoxidáveis duplex.

c) SG-He – Hélio:

É inerte. É usado para a soldagem que exige alto aporte de calor. Apresenta boa ação de molhagem da poça de fusão, profundidade de penetração e boa velocidade de soldagem.

Hélio apresenta maior condutividade térmica e maior coluna do arco do que o Argônio.

Apresenta maior tensão de arco, aumentando o aporte de calor, promovendo melhor fluidez e ação de molhagem da poça de fusão quando comparado com o Argônio.

É uma vantagem quando utilizado para a soldagem de ligas não ferrosas, como alumínio, cobre e ligas de magnésio.

Em GMAW apresenta apenas o modo de transferência globular. É utilizado em misturas de Argônio para melhorar a estabilidade do arco elétrico.

O Hélio apresenta alto custo.

d) SG-AO – Argônio + Oxigênio:

A adição de Oxigênio ao Argônio no processo GMAW melhora as características do arco elétrico e aumenta fluidez da poça de fusão pela redução da tensão superficial do metal de solda. O Oxigênio é um gás ativo que intensifica o arco plasma, aumentando o aporte de calor, velocidade de soldagem, profundidade de fusão e ação de molhagem.

Em GMAW a adição de 1 a 8% de Oxigênio melhora a estabilidade do arco elétrico, aumenta a taxa de deposição das gotas, abaixa a corrente de transição para o modo Spray e influencia o formato do cordão de solda.

A adição de Oxigênio não é utilizada em GTAW por promover a contaminação do eletrodo de tungstênio.

e) SG-AC – Argônio + CO_2 :

A adição de CO_2 ao Argônio pode produzir uma larga faixa das características de soldagem, desde a transferência de curto circuito a arco spray.

A dissociação de CO₂ melhora a estabilidade do arco e sua ação de molhagem. A condutividade térmica maior do CO₂ tende a aumentar a largura de fusão quando comparado com Argônio puro.

f) SG-AHe – Argônio + Hélio:

Estas misturas freqüentemente são utilizadas na soldagem GTAW e GMAW de alumínio, aumentando a largura de fusão e melhorando a aparência do cordão de solda.

g) SG-AH – Argônio + Hidrogênio:

Produzem uma atmosfera redutora. As misturas SG-AH-1, SG-AH-2 ou SG-AH-5 são usadas em GTAW, GMAW para a soldagem de níquel e aços inoxidáveis austeníticos.

O Hidrogênio melhora a condutibilidade térmica, aumenta o aporte de calor auxiliando no aumento da velocidade de soldagem. A profundidade e largura de fusão são aumentadas, melhora a fluidez e ação de molhagem do metal de solda.

Não se deve aplicar esta mistura para a soldagem de aços carbono e baixa liga podendo causar trincas e porosidade.

Deve-se tomar cuidados especiais no manuseio do gás Hidrogênio, pois pode gerar facilmente mistura explosiva em combinação com o ar atmosférico.

5.4 comparativo das principais características entre os gases Argônio e Dióxido de Carbono

Variável e Características	Argônio	CO₂
▪ Comprimento do arco	Maior	Menor
▪ Potencial de ionização	Maior	Menor
▪ Perdas de temperatura do arco por radiação	Maiores	Menores
▪ Temperatura da poça de fusão	Menor	Maior
▪ Penetração	Menor	Maior
▪ Seção transversal do Arco	Menor	Maior
▪ Largura do cordão	Menor	Maior
▪ Altura do cordão	Maior	Menor
▪ Volume de gotas	Menor	Maior
▪ Freqüência de gotas por segundo	Maior	Menor
▪ Acabamento	Melhor	Pior
▪ Estabilidade do Arco	Maior	Menor
▪ Dureza do cordão	Maior	Menor
▪ Temperatura do metal líquido na poça de fusão	Menor	Maior

6. ELETRODOS REVESTIDOS AWS A5.1, A5.5 E A5.4

Os eletrodos revestidos são compostos de duas partes, alma e revestimento.

A alma do eletrodo revestido para aço carbono, para aço de baixa liga e também para aço inoxidável do tipo sintético é a mesma.

O aço empregado com alma do eletrodo revestido é do tipo efervescente para permitir a soldagem na posição vertical e sobre cabeça.

O revestimento do eletrodo está na forma de uma massa homogênea que contém elementos estabilizadores, desoxidantes, formadores de escória e elementos de liga.

As principais funções do revestimento do eletrodo na soldagem são:

- estabilização do arco elétrico através de elementos ionizantes (CC+/CC- ou CA);
- proteção da poça de fusão;
- formação de escória, agentes que promovem a remoção das impurezas da superfície do metal base e metal de solda;
- desoxidação principalmente com Mn - manganês e Si - silício, reduzindo a tendência para a porosidade;
- isolação térmica formada pela escória, protegendo o resfriamento do metal de solda da atmosfera;
- adição de elementos de liga que aumentam a resistência do metal de solda;
- aumento da deposição de metal de solda, quando é incorporado pó de ferro no revestimento.

O esquema de fabricação dos eletrodos revestidos é:

- mistura dos componentes do revestimento;
- aglomeração com silicato de sódio ou potássio;
- a mistura homogênea em forma de um bloco vai para a prensa de extrusão;
- a mistura e a alma são prensadas juntas;
- faz a secagem em forno do eletrodo.

Este esquema de fabricação é ilustrado nas fotos a seguir:



1. Alma: aço baixo teor de Carbono cortado na forma de varetas.



2. Pesagem e peneiramento das matérias-primas do revestimento.



3. Mistura e aglomeração com silicato de sódio ou potássio.



4. Formação de um bloco homogêneo das matérias-primas do revestimento.



5. Prensa: a alma (vareta) e o bloco do revestimento são prensados juntos.



6. Acabamento do eletrodo revestido, fazer as pontas e identificação.

6.1 tipos de revestimento

De acordo com a composição química do revestimento do eletrodo, estes podem ser ácidos, celulósicos, rútilicos ou básicos.

- **revestimento ácido:** seus principais constituintes são o óxido de ferro e sílica (SiO_2). Os eletrodos ácidos podem ter pó de ferro na sua fórmula para aumentar o seu rendimento. Estes eletrodos apresentam fácil soldabilidade e boas propriedades mecânicas do metal de solda.

- **revestimento celulósico:** seus principais constituintes são matérias orgânicas, a celulose. Apresenta uma formação de escória fina que permite realizar a soldagem em todas as posições, inclusive na vertical descendente. Estes eletrodos são de alta

penetração e sempre são indicados para a soldagem de passe de raiz. Estes eletrodos têm boa soldabilidade e são indicados para a soldagem de tubulação.

- **revestimento rutílico:** o principal constituinte deste revestimento é rutilo, mineral que apresenta grande quantidade de dióxido de titânio (TiO₂). Estes eletrodos apresentam fácil soldabilidade em qualquer posição de soldagem, o arco elétrico é muito estável mesmo em corrente alternada. A escória é de fácil remoção e as soldas têm bom acabamento.

- **revestimento básico:** os principais elementos deste revestimento constituem de cálcio (CaCO₃ e CaF₂), que são elementos refratários. Podem ainda conter pó de ferro para aumentar o seu rendimento. Este revestimento caracteriza-se por apresentar excelentes propriedades mecânicas, incluindo tenacidade à baixa temperatura. Apresentam também baixo teor de hidrogênio (H₂) do metal de solda. Este revestimento é higroscópico, ou seja, têm facilidade em absorver umidade e prejudicar as suas características operacionais, por isso é necessário cuidado com o seu armazenamento. Exigem que os soldadores sejam devidamente treinados e qualificados para utilizarem eletrodos com este tipo de revestimento.

6.2 Especificação AWS A5.1

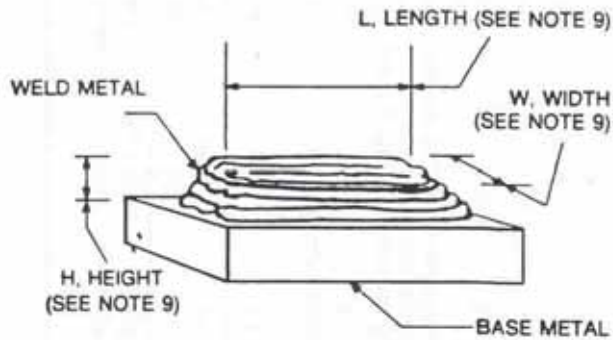
A Especificação AWS A5.1 se aplica a eletrodos revestidos de aço carbono. O critério empregado para a classificação dos eletrodos é:

- tipo de corrente de soldagem;
- tipo de revestimento;
- posição de soldagem;
- propriedades mecânicas do metal de solda.

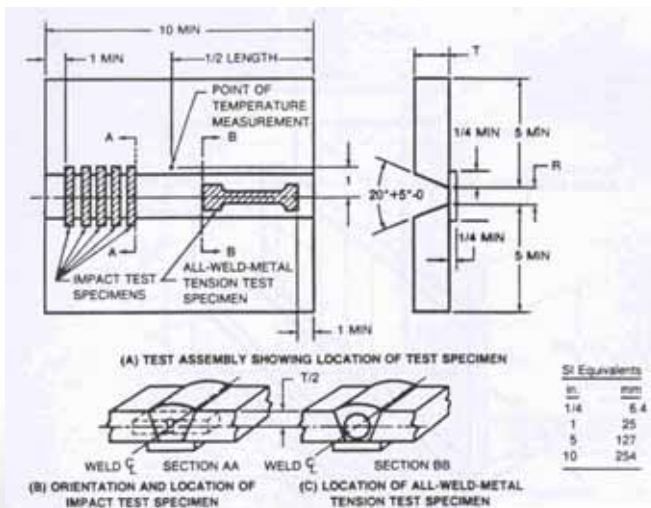
Os ensaios requisitados para estes eletrodos são:

- Análise química em 4 camadas de solda (weld pad),
- Conjunto soldado em chanfro para avaliar a sanidade do metal depositado e propriedades mecânica,
- Solda de filete para avaliar a usabilidade do eletrodo.

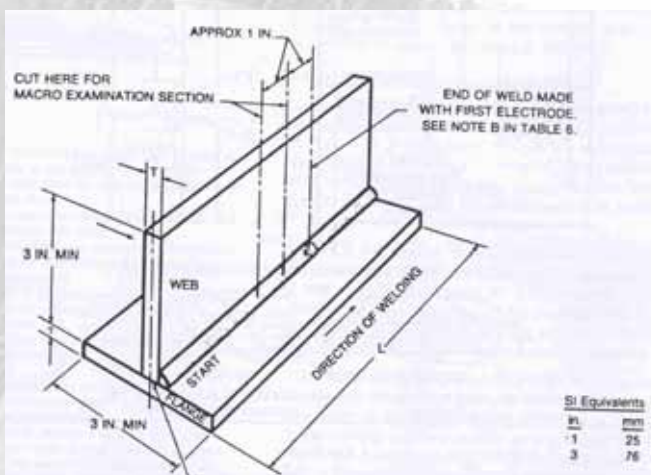
Estes ensaios são ilustrados nas figuras a seguir:



→ Ensaio de soldagem para análise química do metal depositado (weld pad).



→ Ensaio conjunto soldado para sanidade e propriedades mecânicas do metal depositado (groove weld test assembly).



→ Ensaio de Usabilidade do Eletrodo – soldagem de Filete (fillet weld test assembly).

O sistema de classificação obrigatório é:

E XX YY

E – designa Eletrodo;

XX – designa limite de ruptura do ensaio de tração na unidade de Ksi (1000 psi); Estes dígitos podem ser 60 ou 70 e significam:

Classificação	Limite de Ruptura		Limite de Escoamento		Alongamento
	Ksi	MPa	Ksi	MPa	A%
E 60XX	60	414	48	331	22
E 70XX	70	482	58	399	22

Observações:

- O Eletrodo E6013 especifica o mínimo A = 17%;
- O Eletrodo E6022 não é especificado o limite de escoamento e alongamento mínimos;
- O Eletrodo E7014 e E7024 especifica o mínimo A = 17%.

Y – designa posição de soldagem; Estes dígitos significam:

Classificação	Posição de Soldagem
E601Y ou E701Y	Todas as posições.
E602Y ou E702Y	Posição plana e horizontal.
E7048	Todas as posições mais a vertical descendente.

YY – tipo de revestimento e tipo de corrente de soldagem. A tabela 1 apresenta as informações necessárias sobre estes dígitos.

O sistema opcional desta especificação para classificação é:

E XX YY – 1 HZ R,

1 – designa requerimentos especiais de impacto para os eletrodos E7016, E7018 e para o E7024 designa requerimento especial de ductilidade.

HZ – designa eletrodo com requerimentos de teste de hidrogênio difusível.

R – designa que o eletrodo encontra requerimentos de teste de umidade absorvida.

Tabela 1: Tipo de Revestimento e Tipo de Corrente, dígitos YY.

YY	Tipo de Corrente	Tipo de Arco	Penetração	Revestimento	Teor de Hidrogênio
10	CC +	Forte Spray	Profunda	Celulósico. Silicato de Sódio.	Alto 20ml/100g
11	CC+ / CA	Forte Spray	Profunda	Celulósico. Silicato de Potássio.	Alto 20ml/100g
12	CC- / CA	Médio Spray	Média	Rutílico. Silicato de Sódio.	Médio 15ml/100g
13	CC+ - / CA	Suave Spray	Pouca	Rutílico. Silicato de Potássio.	Médio 15ml/100g
14	CC+ - / CA	Suave Spray	Média	Rutílico. Silicato de Potássio, 25-40% Pó de Ferro.	Médio 15ml/100g
15	CC+	Médio Globular	Média	Básico. Silicato de Sódio.	Baixo 2 ml/100g
16	CC+ / CA	Médio Globular	Média	Básico. Silicato de Potássio.	Baixo 2 ml/100g
18	CC + / CA	Médio Globular	Média	Básico. Silicato de Potássio, 25-40% Pó de Ferro.	Baixo 2 ml/100g
19	CC + - / CA	Suave Spray	Alta	Rutílico e Ácido. Silicato de Potássio.	Médio 15ml/100g
20	CC + - / CA	Suave Spray	Alta	Ácido. Silicato de Potássio.	Médio 15ml/100g
22	CC - / CA	Suave Spray	Alta	Ácido. Silicato de Potássio.	Médio 15ml/100g
24	CC + - / CA	Suave Spray	Média	Rutílico. Silicato de	Médio

				Potássio, 50% Ferro.	Pó de	15ml/100g
27	CC + - / CA	Suave Spray	Alta	Ácido.	Silicato de	Médio
				Potássio, 50% Ferro.	Pó de	15ml/100g
28	CC + / CA	Médio Globular	Média	Básico.	Silicato de	Baixo
				Potássio, 50% Ferro.	Pó de	2 ml/100g
48	CC + / CA	Médio Globular	Média	Básico.	Silicato de	Baixo
				Potássio, 25-40% de Ferro.	Pó	2 ml/100g

A seguir é apresentada uma breve descrição dos principais eletrodos revestidos desta especificação e as suas principais características:

E6010: eletrodo celulósico, com silicato de sódio CC+. Apresenta alta penetração. Soldagem em todas as posições tanto na vertical descendente e sobre-cabeça.

E6011: Similar, com silicato de Potássio CC+ e CA.

E6012/13: eletrodo rutílico, CA e CC+-. O E-6013 com silicato de potássio apresenta arco elétrico muito estável indicado para soldar chapa fina.

E7014/24: eletrodo rutílico, similar ao E-6012/13, porém com adição de pó de ferro.

E7014 oscila entre 25 a 40% de adição de pó de ferro e 7024 oscila 50%. O E7024 é indicado para a posição plana e horizontal.

Estes eletrodos são indicados para a soldagem de filete. Apresentam fácil remoção de escória.

E7015: eletrodo básico, com baixo H₂ no metal de solda. É formulado com silicato de sódio - CC+. Indicado para as posições de soldagem plana, horizontal, vertical descendente e sobre-cabeça.

E7016: eletrodo básico, com baixo H₂ no metal de solda. É formulado com silicato de potássio - CC+ e CA.

E7018/28: eletrodo básico, com Baixo H₂ no metal de solda. E7018 oscila de 25 a 40% pó de ferro.

E7028 oscila 50% pó de ferro. Posição plana e horizontal filete. CC+ e CA.

E7048: eletrodo básico similar ao E-7018, formulado para posição vertical descendente.

E6019: eletrodo formulado com minério ilmenita, (TiO₃.Fe₂O₃). Apresenta característica intermediária entre os E-6013 e E-6020. CC-+ e CA. As soldas apresentam bom acabamento e remoção escória autodestacável.

E6020/27: eletrodos ácidos. CC- e CA. Apresenta boa soldabilidade. É indicado para as posições de soldagem plana e horizontal. E-6027 com adição de pó ferro de 50%.

E6022: eletrodo similar ao E6020. É indicado para soldagem em alta velocidade e alta deposição em juntas de topo e sobrepostas. Posição plana e horizontal de filete.

6.3 Especificação AWS A5.5

A Especificação AWS A5.5 se aplica a eletrodos revestidos de aço carbono de baixa liga. Esta especificação se assemelha a AWS A5.1, com adicional requerimento de obrigatoriedade de análise química do metal depositado.

O critério empregado para a classificação dos eletrodos é:

- tipo de corrente de soldagem;
- tipo de revestimento;
- posição de soldagem;
- análise química do metal depositado;
- propriedades mecânicas do metal de solda.

Os ensaios requisitados para estes eletrodos são idênticos aos da especificação AWS A5.1:

- Análise química em 4 camadas de solda,
- Conjunto soldado em chanfro para avaliar a sanidade do metal depositado e propriedades mecânicas,

- Solda de filete para avaliar a usabilidade do eletrodo.

O sistema de classificação obrigatório é:

E (X)XX YY – X

E – designa Eletrodo;

(X)XX – designa limite de ruptura do ensaio de tração na unidade de Ksi (1000 psi);

Estes dígitos podem ser 70, 80, 90, 100, 110 ou 120 e significam:

Classificação	Limite de Ruptura		Limite de Escoamento		Alongamento A%
	Ksi	MPa	Ksi	MPa	
E 70XX-X	70	480	57	390	22
E 80XX-X	80	550	67	460	19
E90XX-X	90	620	77	530	17
E100XX-X	100	690	87	600	16
E110XX-X	110	760	97	670	15
E120XX-X	120	830	107	740	14

Observações:

- É conveniente para cada eletrodo verificar exatamente a faixa de propriedades mecânicas requeridas. A tabela acima registra os valores genéricos para as classes de propriedades mecânicas.

Y – designa posição de soldagem; Estes dígitos significam:

Classificação	Posição de Soldagem
E(X)XX1Y-X	Todas as posições.
E(X)XX2Y-X	Posição plana e horizontal.

YY – tipo de revestimento e tipo de corrente de soldagem. Estes dígitos são idênticos a AWS A5.1 sendo eletrodos ácidos, básicos, celulósicos ou rutílicos.

X – último dígito desta classificação designa composição química do metal depositado.
Esta classificação quanto à composição química é:

A: liga de Mo – molibdênio;

B: liga de Cr – cromo e Mo – molibdênio;

C: liga de Ni – níquel;

D: liga de Mn – manganês, Ni – níquel e Mo – molibdênio;

G: Geral - é uma liga definida como um acordo fornecedor-cliente.

P: eletrodos para tubulação – Contêm Ni – níquel, Mn – manganês, Cr – cromo, Mo – molibdênio e V – vanádio.

W: Indicado para a soldagem de aços resistentes a corrosão – Contêm Ni – níquel, Cr – cromo e Cu – cobre.

M: Especificação Militar Americana indicado para a soldagem de aços temperados e revenidos de alta resistência mecânica até 120 Ksi – Contêm Mn – Manganês, Ni – níquel, Cr - cromo e Mo - molibdênio.

Exemplos de eletrodos revestidos desta especificação:

Classificação	Principais Características
E7010-A1	Celulósico – Liga de Mo
E7018-A1	Básico – Liga de Mo
E8016-B1	Básico – Liga Cr – Mo
E8018-B1	Básico com pó de ferro – Liga Cr - Mo
E8018-B2	Básico com pó de ferro - mais Cr e Mo do que a liga B1
E9018-D1	Básico com pó de ferro– Liga Mn – Mo – alta resistência
E10018-D1	Básico com pó de ferro – Liga Mn – Mo – alta resistência
E12018-M	Básico com pó de ferro – Especificação Militar para aços de alta resistência
E7010-P1	Celulósico – soldagem de tubulação
E7018-W1	Básico com pó de ferro – soldagem de aços de resistência corrosão ASTM A242 e A588

6.4 Especificação AWS A5.4

A Especificação AWS A5.4 se aplicam a eletrodos revestidos de aços inoxidáveis. O teor de Cr – cromo destes eletrodos é no mínimo de 10,5%.

O critério empregado para a classificação dos eletrodos é:

- análise química do metal depositado;
- corrente e posição de soldagem.

Quanto à análise química estes eletrodos utilizam a classificação da Norma AISI aplicada a aços inoxidáveis.

O sistema de classificação obrigatório é:

E XXX(X) - YY

E – designa Eletrodo;

XXX(X) – refere-se à composição química do metal depositado de acordo com a Norma AISI. Série 300 – aços austeníticos , Série 400 – aços martensíticos.

(X) – pode ser **L** que significa baixo teor de C – carbono e **H** que significa alto teor de C – carbono.

Y – referem-se as posições de soldagem idêntica a AWS A5.1 e A5.5. 1 – significa todas as posições de soldagem e 2 – significa posição de soldagem plana e horizontal.

YY – referem-se ao tipo de corrente e característica do revestimento.

Comentários destes Dígitos YY:

EXXX(X)-15: CC+. Todas as posições de soldagem. Os elementos de liga são provenientes da alma do eletrodo. O revestimento é do tipo básico, similar ao eletrodo E 7015.

EXXX(X)-25: CC+. Para as posições de soldagem plana e horizontal. Eletrodo do tipo sintético, ou seja, os elementos de liga são provenientes do revestimento e a alma é de aço carbono.

EXXX(X)-16: CC+ ou CA. Todas as posições de soldagem. Os elementos de liga são provenientes da alma do eletrodo. O revestimento é do tipo TiO_2 e Silicato de Potássio, similar E 6013.

EXXX(X)-17: CC+ ou CA. Todas as Posições. Têm Ilmenita e TiO_2 . Este eletrodo é similar E 6019.

EXXX(X)-26: CC+ ou CA. Para as posições de soldagem plana e horizontal. Eletrodos Sintéticos.

Exemplos de composição química destes eletrodos desta especificação são mostrados na tabela a seguir:

Classificação AWS	Composição Química									
	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	N	Cu
E240-XX	0,05	17,0-19,0	4,0-6,0	0,75	10,5- 13,5	1,00	0,03	0,03	0,1-0,3	0,75
E308-XX	0,08	19,5-22,0	9,0-11,0	0,75	1,0-2,5	0,3-0,65	0,03	0,03	-	0,75
E308L-XX	0,03	19,5-22,0	9,0-11,0	0,75	1,0-2,5	0,3-0,65	0,03	0,03	-	0,75
E308H-XX	0,04- 0,08	19,5-22,0	9,0-11,0	0,5	1,0-2,5	0,3-0,65	0,03	0,03	-	0,75
E309-XX	0,12	23,0-25,0	12,0-14,0	0,75	1,0-2,5	0,3-0,65	0,03	0,03	-	0,75
E309L-XX	0,03	23,0-25,0	12,0-14,0	0,75	1,0-2,5	0,3-0,65	0,03	0,03	-	0,75
E347-XX	0,08	19,0-21,5	9,0-11,0	0,75	1,0-2,5	0,3-0,65	0,03	0,03	-	0,75
E410-XX	0,12	11,5-13,5	0,6	0,75	0,6	0,5	0,03	0,03	-	0,75
E410NiMo-XX	0,06	11,0-12,5	4,0-5,0	0,4- 0,7	0,6	0,5	0,03	0,03	-	0,75
E2209-XX	0,03	21,5-23,5	7,5-9,5	2,5- 3,5	0,5-2,0	0,9	0,03	0,03	0,08- 0,20	0,75

E347-XX têm Nióbio= $10 \times \%C =$ máximo 1,0%.

7. VARETAS PARA SOLDAGEM OXI-GÁS AWS A5.2

As varetas de aço carbono e baixa liga para o processo de soldagem oxi-gás são classificados de acordo com as propriedades mecânicas do metal de solda na condição como soldado.

O sistema de classificação obrigatório é:

R XXX

R – designa vareta.

XXX – designa limite de ruptura no ensaio de tração em Ksi.

A tabela a seguir apresenta as varetas desta classificação com os requisitos de propriedades mecânicas e análise química.

Classificação	LR	Análise Química										
		AWS	Ksi	C	Mn	Si	S	P	Cu	Cr	Ni	Mo
R45	-	0,08	0,5	0,1	0,035	0,040	0,3	0,2	0,3	0,2	0,02	
R60	60	0,15	0,9- 1,4	0,1- 0,35	0,035	0,030	0,3	0,2	0,3	0,2	0,02	
R65	65	0,15	0,9- 1,6	0,1- 0,7	0,035	0,03	0,3	0,4	0,3	0,2	0,02	
R100	100	0,18- 0,23	0,7- 0,9	0,2- 0,35	0,025	0,025	0,15	0,4- 0,6	0,4- 0,7	0,15- 0,25	0,02	
RXXX-G	XXX	Não Especificado – acordo fornecedor/cliente.										

Para fazer análise química é retirado material da própria vareta.

8. ARAMES E VARETAS PARA AÇO CARBONO AWS A5.18

A especificação AWS A5.18 prescreve os requerimentos para a classificação de eletrodos sólidos ou compostos (arame tubular com núcleo metálico – metal cored) e varetas para os processos GMAW, GTAW e PAW na soldagem de aço carbono.

O critério de classificação desta especificação é:

- Eletrodos e Varetas sólidas: análise química do próprio eletrodo ou vareta e propriedades mecânicas do metal depositado;
- Eletrodos Compostos: análise química e propriedades mecânicas do metal depositado.

O sistema de classificação obrigatório é:

ER XX Y – X

ER – designa eletrodo na forma de arame ou vareta.

XX – designa o limite de ruptura no ensaio de tração em Ksi.

Y - este dígito pode ser **S** – designa eletrodo **sólido** ou **C** – designa eletrodo **composto**.

X – designa a faixa de composição química.

Os requerimentos de propriedades mecânicas dos principais eletrodos e varetas desta especificação são apresentados na tabela a seguir:

Classificação AWS	Gás de Proteção(a)	Ensaio de Tração			Ensaio Impacto
		LR Ksi – MPa	LE Ksi – MPa	A (%)	
ER70S-3	SG – C	70 – 480	58 – 400	22	27J a -20°C
ER70S-6	SG – C	70 – 480	58 – 400	22	27J a -30°C
ER70S-G	SG – C	70 – 480	58 – 400	22	(c)
ER70C-6(X)	(b)	70 – 480	58 – 400	22	27J a -30°C
ER70C-G(X)	(b)	70 – 480	58 - 400	22	(c)

- (a) – Em GTAW utilizar SG – A,
(b) – O gás de proteção é definido pelo fornecedor/cliente, este **(X)** pode ser **C** – quando utilizar **SG-C** ou **M** quando utilizar mistura de gases.
(c) – O requerimento de ensaio de impacto é definido pelo fornecedor/cliente.

Os requerimentos de composição química dos principais eletrodos e varetas desta especificação são apresentados na tabela a seguir:

Classificação	Análise Química											
	AWS	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu	
ER70S-3	0,06- 0,15	0,9-1,4	0,45- 0,75	0,025	0,035	0,15	0,15	0,15	0,03	0,5		
ER70S-6	0,06- 0,15	1,4- 1,85	0,8- 1,15	0,025	0,035	0,15	0,15	0,15	0,03	0,5		
ER70S-G				Não especificado – acordo fornecedor/cliente.								
ER70C-6(X)	0,12	1,75	0,9	0,03	0,03	0,5	0,2	0,3	0,08	0,5		
ER70C-G(X)				Não especificado – acordo fornecedor/cliente.								

Para eletrodos compostos a análise química refere à análise do metal depositado. O gás de proteção pode ser SG-C ou SG-AC-25 ou SG-AC-20.

Para eletrodos sólidos ou varetas é retirado material do próprio produto para análise.

9. ARAMES E VARETAS PARA AÇO INOXIDÁVEL AWS A5.9

A Especificação AWS A5.9 se aplicam a arames, varetas, fitas e eletrodos compostos de aços inoxidáveis. O teor de Cr – cromo destes consumíveis é no mínimo de 10,5%.

O critério empregado para a classificação dos eletrodos é:

- Análise química do arame, vareta ou fita;
- Análise química do metal depositado para eletrodos compostos.

Quanto à análise química estes eletrodos utilizam a classificação da Norma AISI aplicada a aços inoxidáveis.

O sistema de classificação obrigatório é:

E Y XXX(X)

E – designa Eletrodo;

Y – este dígito pode ser **ER** – na forma de **eletrodo ou vareta**, **C** – na forma de **eletrodo composto** ou **Q** – na forma de **fita**.

XXX(X) – refere-se à composição química do metal depositado de acordo com a Norma AISI. Série 300 – aços austeníticos, Série 400 – aços martensíticos. É idêntica a composição química apresentada na especificação AWS A5.4.

Estes consumíveis desta especificação podem ser utilizados nos processos de soldagem GTAW, GMAW, PAW e SAW.

A seguir são apresentadas algumas considerações sobre os processos de soldagem referente à utilização destes consumíveis:

- **PAW e GTAW:** A composição química do metal de solda é idêntica a composição da vareta ou arame, pode ocorrer perdas de 0,02% no teor de C e adições em 0,02% no teor de N. Apresenta pequena diferença entre o teor de ferrita e o real encontrado na soldagem.

- **GMAW:** Ocorrem adições no teor de N no metal depositado. Pode ocorrer perda por volatilização nos teores de Mn, Si, Ni, Mo e principalmente Cr.

- **SAW:** Devida à alta intensidade de energia neste processo podem ocorrer grande perda no teor de Cr (0,5 a 3,0%). Ocorre aumento no teor de Si de 0,3 a 0,6%, aumento no teor de Mn de 0,5%.

As aplicações de todos os consumíveis de soldagem para aços inoxidáveis, incluindo os eletrodos e arames tubulares, são selecionados pela sua composição química AISI.

9.1 Tipos de Eletrodos e suas aplicações

ER - 308 : 21% Cr e 10% Ni. São freqüentemente associados aos 28-8, 19-9 e 20-10. Soldagem Inox tipo 304.

ER - 308L: Classificação idêntica ER-308, apenas C 0,03% máximo para reduzir a possibilidade de corrosão intergranular.

ER-308H: Classificação idêntica ao ER-308, apenas com o teor de C restrito na faixa superior. Alta resistência á alta temperatura. Soldagem 304H.

ER-309: 24% Cr e 13% Ni. Usado para soldagem dissimilar, aço carbono com aço inox tipo 304. Utilizado também em condições severas de corrosão em 304.

ER-309L: Classificação idêntica ER-309, apenas C 0,03% máximo para reduzir a possibilidade de corrosão intergranular.

ER-309Mo: Classificação idêntica a ER-309 com 2 a 3% de Mo para aumentar a resistência á corrosão por Pit. São utilizados nas primeiras camadas para preservar o teor de Cr e Mo - diluição.

ER-316L: 19% Cr, 12,5% Ni e 2,5% Mo com teor de C máximo de 0,03%. Soldagem Inox 316, Serviços em Alta Temperatura.

ER-347: 20% Cr, 10% Ni e Nb. É reduzida a possibilidade de corrosão intergranular. Apresenta alta resistência mecânica em altas temperaturas. Soldagem Inox 347 e 321.

ER-410NiMo: 12% Cr, 4,5 % Ni e 0,55% Mo. Soldagem Inoxidável 410. É utilizado para a soldagem de revestimento. Para a soldagem de união é necessário fazer pré e pós-aquecimento.

ER-430: 16% Cr. Suficiente balanço de Cr para garantir boa resistência à corrosão. É conveniente tratamento térmico.

10. FLUXOS E ARAMES PARA SOLDAGEM A ARCO SUBMERSO AWS A5.17

Os fluxos para a soldagem arco submerso são um produto granulado, adequado para suportar elevada intensidade de corrente usada neste processo. O Fluxo apresenta as seguintes funções:

- Estabilizar o arco elétrico;
- Formar uma escória que protege a poça de fusão líquida contra ação da atmosfera;
- Atuar como desoxidante, limpando o metal de solda líquido;
- Proporcionar isolamento térmica, concentrando o calor na poça de fusão;
- Adicionar elementos de liga no metal de solda;
- Ter características físico-químicas que controlam o acabamento e a geometria do cordão de solda.

Estas funções são similares a apresentadas pelo revestimento do eletrodo revestido.

Os fluxos quanto ao método de fabricação podem ser aglomerados ou fundidos.

10.1 fluxos aglomerados

Os fluxos aglomerados são constituídos de compostos minerais (óxidos de manganês, silício, alumínio, titânio, zircônio, magnésio ou cálcio) e ferro-ligas como ferro-silício, ferro-manganês ou ligas similares que têm como principal função desoxidar a poça de solda. A esses ingredientes é adicionado um agente aglomerante, normalmente silicato de sódio. O produto agregado é sinterizado em fornos com temperaturas entre 600-900°C.



Os fluxos aglomerados têm as seguintes características:

- Permite o uso de desoxidantes e adição de elementos de liga;
- A escória se destaca facilmente;
- Baixo custo de fabricação;
- Os finos não devem ser totalmente removidos, pois podem alterar a composição original;
- São higroscópicos, principalmente os fluxos básicos, necessitando de secagem antes do seu uso.

10.2 fluxos fundidos

Os fluxos fundidos são constituídos dos mesmos compostos minerais utilizados nos fluxos aglomerados. Estes ingredientes são fundidos em forno a gás em temperaturas entre 1250-1450°C. O fluxo fundido é vazado contra um jato de água, adquirindo aspecto vítreo e após a moagem fica granular.



Os fluxos fundidos têm as seguintes características:

- Homogeneidade química;
- Os finos podem ser removidos sem mudança da composição do fluxo;
- Não são higroscópicos, dispensando a secagem;
- Não se pode adicionar elementos de liga, pois estes se oxidariam durante o processo de fusão;
- Alto custo de fabricação.

10.3 Especificação AWS A5.17

A especificação AWS A5.17 é aplicada a fluxos e arames para a soldagem a arco submerso de aços carbono.

O critério empregado para esta classificação é:

- Propriedades mecânicas do metal depositado obtido da combinação fluxo-eletrodo;
- A condição de tratamento térmico na qual as propriedades mecânicas foram obtidas;
- Análise química do arame-eletrodo ou do metal depositado para eletrodos compostos.

Os ensaios requisitados para esta classificação são: análise química do arame-eletrodo, análise química de metal depositado para arame composto e o conjunto soldado em chanfro para avaliar as propriedades mecânicas e sanidade do metal depositado.

O sistema de classificação obrigatório é:

F X X X – E XXX

F – designa Fluxo;

X – designa limite de ruptura do ensaio de tração na unidade de 10 Ksi. Estes dígitos podem 6 ou 7 e significam:

Classificação	Limite de Ruptura		Limite de Escoamento		Alongamento
	Ksi	MPa	Ksi	MPa	A%
F6XX-EXXX	60-80	430-560	48	330	22
F7XX-EXXX	70-95	480-660	58	400	22

X – designa a condição de tratamento térmico no qual as propriedades mecânicas foram obtidas: **A** – como soldado (as welded) e **P** – após tratamento térmico de alívio de tensões (postweld heat treated).

X – designa requerimentos de impacto. Indica a temperatura no qual é efetuado ensaio de impacto e encontra requerimentos mínimos de 27 J:

Dígito	Temperatura em °F	Temperatura em °C
Z	sem requisitos	sem requisitos
0	0	-18
2	-20	-29
4	-40	-40
5	-50	-46
6	-60	-51
8	-80	-62

E – designa Eletrodo.

XXX(X) – designa a composição química do arame eletrodo.

X – este dígito pode ser L – baixo teor de Mn, M – médio teor de Mn e H – alto teor de Mn. Este dígito ainda pode ser C que significa eletrodo composto (metal cored).

XX – estes dígitos significam a faixa centesimal do teor de C.

(X) – este dígito quando esta nesta classificação é K – que significa acalmado ao silício.

A tabela a seguir apresenta a composição química dos principais eletrodos desta classificação.

Classificação	Análise Química					
	Eletrodo	C	Mn	Si	S	P
EL12	0,04-0,14	0,25-0,60	0,10	0,030	0,030	0,35
EM12K	0,05-0,15	0,80-1,25	0,10-0,35	0,030	0,030	0,35
EM13K	0,06-0,16	0,90-1,40	0,35-0,75	0,030	0,030	0,35
EH11K	0,07-0,15	1,40-1,85	0,80-1,15	0,030	0,030	0,35
EH12K	0,06-0,15	1,50-2,00	0,25-0,65	0,025	0,025	0,35
EC1	0,15	1,80	0,90	0,035	0,035	0,35

Para os eletrodos sólidos é retirado material para análise do próprio produto. Para os eletrodos compostos é analisada a composição química do metal depositado.

O apêndice desta especificação estabelece a classificação dos fluxos segundo a neutralidade, ou seja, pela sua atividade metalúrgica na poça de fusão.

Por esta classificação os fluxos podem ser ativos, neutros ou compostos com liga.

- **Fluxos Ativos:** contêm grande quantidade de Mn e Si. Estes elementos são adicionados ao fluxo para fornecer elevada resistência a porosidade e trincas causadas por contaminantes no metal base ou sobre sua superfície. O principal uso dos fluxos ativos é a soldagem em passe único com baixo índice de defeitos e boa qualidade de solda. Deve-se tomar cuidado ao aplicar este tipo de fluxo em soldas multipasse em chapas com espessura acima de 25 mm.
- **Fluxos Neutros:** a composição química do metal de solda é praticamente idêntica a composição do eletrodo. O principal uso dos fluxos neutros é a soldagem multipasse em chapas de elevada espessura. Estes fluxos apresentam excelentes propriedades mecânicas, principalmente tenacidade à baixa temperatura. Deve-se tomar cuidados com a preparação da junta, pois é sensível a porosidade.
- **Fluxos Compostos com Liga:** Estes Fluxos além de Mn e Si podem adicionar elementos de liga como Cr, Mo, Ni. A principal aplicação destes fluxos é a soldagem de revestimento duro. Deve-se tomar cuidados com a variação dos

parâmetros de soldagem porque podem alterar a composição química do metal de solda.

11. ARAMES TUBULARES AWS A5.20, A5.29 E A5.22

As Especificações AWS A5.20, A5.29 e A5.22 prescreve requerimentos para a classificação de arames tubulares com núcleo fluxado para o processo de soldagem arame tubular – FCAW.

Estes arames tubulares podem utilizar ou não proteção auxiliar de gás. Os gases de proteção normalmente usados são SG-C ou SG-AC. Os arames tubulares que não necessitam de proteção auxiliar de gás são chamados de autoprotégidos.

11.1 Especificação AWS A5.20

Esta especificação prescreve os requerimentos para a classificação de arames tubulares de aço carbono.

Os eletrodos tubulares cobertos por esta especificação são classificados de acordo com:

- As propriedades mecânicas do metal de solda na condição como soldado;
- As características de usabilidade do eletrodo, incluindo presença ou ausência de proteção gasosa;
- As posições de soldagem que os eletrodos são adequados.

O sistema de classificação obrigatório é:

E X X T X

E – designa eletrodo.

X – designa limite de ruptura no ensaio de tração em 10 Ksi.

X – indica a posição de soldagem: **1** – todas as posições e **0** – posição plana e horizontal.

T – designa arame tubular com núcleo fluxado.

X – indica a usabilidade do eletrodo. A Tabela 2 apresenta estas características dos eletrodos.

Os requerimentos de propriedades mecânicas dos principais eletrodos tubulares desta especificação são apresentados na tabela a seguir:

Classificação AWS	Ensaio de Tração			Ensaio Impacto
	LR Ksi – MPa	LE Ksi – MPa	A (%)	
E7XT-1, -1M	70 – 480	58 – 400	22	27J a -18°C
E7XT-2, -2M	70 – 480			Não Especificado
E7XT-3	70 – 480			Não Especificado
E7XT-4	70 – 480	58 – 400	22	27J a -29°C
E7XT-5, -5M	70 – 480	58 – 400	22	27J a -29°C
E7XT-6	70 – 480	58 – 400	22	27J a -29°C
E7XT-7	70 – 480	58 – 400	22	Não Especificado
E7XT-8	70 – 480	58 – 400	22	27J a -29°C
E7XT-9, -9M	70 – 480	58 – 400	22	27J a -29°C
E7XT-10	70 – 480			Não Especificado
E7XT-11	70 – 480	58 – 400	22	Não Especificado
E7XT-12, -12M	70/90 – 480/620	58 – 400	22	27J a -29°C
E6XT-13	60 – 415			Não Especificado
E7XT-13	70 – 480			Não Especificado
E7XT-14	70 – 480			Não Especificado
E7XT-G	70 – 480	58 – 400	22	Não Especificado
E7XT-GS	70 – 480			Não Especificado

Quando os eletrodos tubulares E7XT-1, E7XT-5, E7XT-6, E-7XT-8, E7XT-9 e E7XT-12 quando acrescidos da letra J no final, significa que os requisitos de impacto passam para 27J a -40°C. Exemplo E7XT-1J ou E7XT-1MJ.

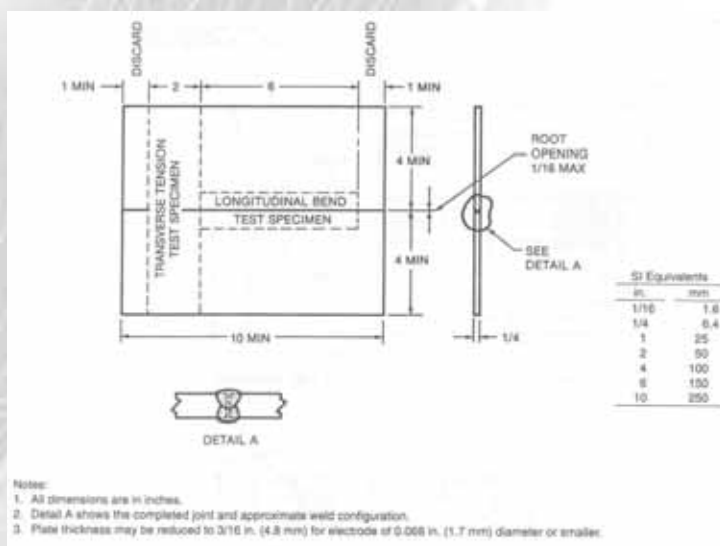
Tabela 2: Usabilidade do eletrodo tubular quanto à polaridade, proteção de gás e técnica operatória.

Classificação AWS	Técnica	Técnica, Proteção, Polaridade e Características.		
		Proteção Externa	Polaridade	Características
E7XT-1, -1M	Passes Múltiplos	-1: SG-C -1M: SG-AC	CC+	Transferência spray, rutilico, alta taxa de deposição.
E7XT-2, -2M	Passes Simples	-2: SG-C -2M: SG-AC	CC+	Transferência spray, rutilico, alto teor de Mn e Si, alta taxa de deposição.
E7XT-3	Passes Simples	-	CC+	Transferência spray, altas velocidades de soldagem.
E7XT-4	Passes Múltiplos	-	CC+	Transferência globular, alta taxa de deposição, baixo teor de S, baixa penetração.
E7XT-5, -5M	Passes Múltiplos	-5: SG-C -5M: SG-AC	CC+/-	Transferência globular, CaF ₂ , impacto a baixa temperatura, alta resistência à trinca a frio ou a quente.
E7XT-6	Passes Múltiplos	-	CC+	Transferência spray, impacto a baixa temperatura, boa penetração em passes de raiz, fácil remoção de escória.
E7XT-7	Passes Múltiplos	-	CC-	Transferência spray, baixo teor de S, alta taxa de deposição.
E7XT-8	Passes Múltiplos	-	CC-	Transferência spray, impacto a baixa temperatura, alta resistência à trinca, adequado para todas as posições.
E7XT-9, -9M	Passes Múltiplos	-9: SG-C -9M: SG-AC	CC+	Transferência spray, características similares ao E7XT-1 com melhor impacto. Baixo teor de Mn e Si.
E7XT-10	Passes Simples	-	CC-	Transferência em pequenas gotas, altas velocidades de soldagem.
E7XT-11	Passes Múltiplos	-	CC-	Transferência spray suave, recomendado para espessura até 19mm.
E7XT-12, -12M	Passes Múltiplos	-12: SG-C -12M: SG-AC	CC+	Transferência spray, características similares ao E7XT-1 com melhor impacto. Baixo teor de Mn – baixa dureza metal de solda.
E6XT-13	Passes	-	CC-	Transferência curto circuito, indicado para

	Simple			passagem de raiz em soldas de tubulação.
E7XT-13	Passagem Simple	-	CC-	Transferência curto circuito, indicado para passagem de raiz em soldas de tubulação.
E7XT-14	Passagem Simple	-	CC-	Transferência spray, alta velocidade de soldagem, chapas de espessura até 4,8mm, chapas galvanizadas.
E7XT-G	Passagens Múltiplos	Não Especificado		Acordo fornecedor/cliente – controle apenas no teor de C para atender a propriedades no ensaio de tração.
E7XT-GS	Passagem Simple	Não Especificado		Acordo fornecedor/cliente – requisitos apenas para atender propriedades no ensaio de tração.

Para os eletrodos com aplicação de soldagem de passe simples, esta especificação determina que seja realizado um teste de soldagem específico, mostrado na figura abaixo, ao invés de conjunto soldado referenciado nas outras especificações. Neste ensaio apenas se avalia o limite de ruptura por tratar de uma avaliação de junta soldada ao invés de metal depositado.

Este ensaio é ilustrado na figura a seguir:



➔ Ensaio conjunto soldado para eletrodos tubulares de passe simples. Avaliam-se as propriedades mecânicas de ensaio de tração da junta soldada e sanidade da solda pelo ensaio de dobramento.

11.2 Especificação AWS A5.29

Esta especificação prescreve os requerimentos para a classificação de arames tubulares de aço carbono de baixa liga.

Os eletrodos tubulares cobertos por esta especificação são classificados de acordo com:

- As propriedades mecânicas do metal de solda;
- As características de usabilidade do eletrodo, incluindo presença ou ausência de proteção gasosa;
- As posições de soldagem que os eletrodos são adequados;
- A composição química do metal depositado.

O sistema de classificação obrigatório é:

E X X T X - X

E – designa eletrodo.

X – designa limite de ruptura no ensaio de tração em 10 Ksi.

X – indica a posição de soldagem: **1** – todas as posições e **0** – posição plana e horizontal.

T – designa arame tubular com núcleo fluxado.

X – indica a usabilidade do eletrodo. Estas características dos eletrodos são idênticas as apresentadas na Tabela 2 na Especificação AWS A5.20, apenas que são encontrados apenas os tipos: EXXT1-X, EXXT4-X, EXXT5-X, EXXT6-X, EXXT7-X, EXXT8-X, EXXT11-X e EXXTG-X.

X – indica a composição química do metal depositado. Este dígito pode ser:

A – liga de Mo.

B – liga Cr e Mo.

Ni – liga de Ni.

D – liga de Mn e Mo.

K – liga de Ni, Cr e Mo – aços de alta resistência mecânica temperados e revenidos.

W – liga de Ni, Cu e Cr – aços de resistência à corrosão atmosférica.

Os requerimentos de propriedades mecânicas dos principais eletrodos tubulares desta especificação são apresentados na tabela a seguir:

Classificação AWS	Ensaio de Tração		
	LR Ksi – MPa	LE Ksi – MPa	A (%)
E6XTX-X, -XM	60/80 – 410/550	50 – 340	22
E7XTX-X, -XM	70/90 – 480/620	58 - 400	20
E8XTX-X, -XM	80/100 – 550/690	68 - 470	19
E9XTX-X, -XM	90/110 – 620/760	78 - 540	17
E10XTX-X, -XM	100/120 – 690/830	88 - 610	16
E11XTX-X, -XM	110/130 – 760/900	98 - 680	15
E12XTX-X, -XM	120/140 – 830/970	108 - 745	14
EXXTX-G			
EXXTG-X	Propriedades não especificadas.		
EXXTG-G			

Observações: Os requerimentos de impacto são para cada tipo de eletrodo tubular.

11.2 Especificação AWS A5.22

Esta especificação prescreve os requerimentos para a classificação de arames tubulares de aço inoxidável para a soldagem com processo FCAW e varetas tubulares para o processo GTAW aplicada em passes de raiz. O teor de Cr – cromo destes consumíveis é no mínimo de 10,5%.

O critério empregado para a classificação dos eletrodos é:

- Análise química do metal depositado;
- O tipo de proteção;
- As posições de soldagem e tipo de corrente utilizado.

O sistema de classificação obrigatório é:

E XXX(X) TX-X

E – designa Eletrodo;

XXX(X) – refere-se à composição química do metal depositado de acordo com a Norma AISI. Série 300 – aços austeníticos, Série 400 – aços martensíticos. É idêntica a composição química apresentada nas especificações AWS A5.4 e A5.9.

T – designa arame tubular com núcleo fluxado.

X – indica a posição de soldagem: **1** – todas as posições e **0** – posição plana e horizontal.

X – indica a usabilidade do eletrodo. A tabela a seguir apresenta estas características do eletrodo.

Classificação AWS	Técnica, Proteção e Polaridade.		
	Processo	Proteção Externa	Polaridade
EXXTX-1	FCAW	SG-C	CC+
EXXTX-3	FCAW	-	CC+
EXXTX-4	FCAW	SG-AC	CC-
RXXTX-5	GTAW	SG-A	CC-
EXXTX-G	FCAW	Não especificado – acordo fornecedor/cliente.	
RXXTX-G	GTAW		

12. IDENTIFICAÇÃO, EMBALAGEM DOS CONSUMÍVEIS.

A Especificação AWS A5.1 exige que todos os eletrodos revestidos devem ser identificados da seguinte forma:

1. Deve ser impressa a classificação do eletrodo;
2. Esta identificação deve estar no máximo a 65mm da ponta do eletrodo sobre o revestimento;
3. A identificação deve ser em negrito e legível.
4. A tinta utilizada deve providenciar devido destaque com o revestimento do eletrodo.

As embalagens precisam ser estanques garantindo que preserve as características de cada eletrodo.

As embalagens mais comuns são as latas, como mostrado na figura abaixo, mas hoje em dia estão ficando mais comum os cartuchos fechados hermeticamente. A Norma AWS exige que os eletrodos E7018-M sejam embalados hermeticamente.

A especificação AWS A5.1 exige que cada embalagem contenha as seguintes informações:

1. Especificação e Classificação AWS;
2. Nome do fabricante e marca comercial;
3. Dimensão do eletrodo e peso;
4. Lote, controle ou número de corrida;
5. Cada embalagem deve estar impressa as recomendações quanto a risco na operação de soldagem descrito pela ANSI Z49.1

13. INSPEÇÃO VISUAL DOS ELETRODOS

A inspeção visual deve seguir as recomendações escritas nas especificações. No Brasil se utiliza a Norma Petrobrás N-133.

Esta norma exige que os eletrodos que apresentem irregularidades ou descontinuidades no revestimento sejam considerados inaceitáveis.

Exemplos de descontinuidades ou irregularidades são: redução localizada de espessura, trincas transversais ou longitudinais, destacamento do revestimento, danos na extremidade, falta de aderência, deficiências dimensionais de comprimento e excentricidade e sinais de oxidação da alma.

Uma descontinuidade considerada muito grave é a excentricidade do eletrodo, pois se este apresentar excentricidade além dos limites da especificação, irá apresentar um arco elétrico errático, com grande probabilidade de induzir um defeito na soldagem.

14. ARMAZENAMENTO DOS CONSUMÍVEIS

Os consumíveis devem seguir as especificações quanto ao seu armazenamento. No Brasil se utiliza a Norma Petrobrás N133. As principais recomendações quanto ao armazenamento e manuseio dos consumíveis estão nos parágrafos abaixo.

Os eletrodos, varetas, fluxos e arames em sua embalagem original devem ser armazenados sobre estrados ou prateleiras, em estufas que atendam as seguintes condições:

- A temperatura deve ser no mínimo 10°C acima da temperatura ambiente e igual ou superior a 20°C.
- A umidade relativa do ar deve ser no máximo de 50%.

Quando as latas são armazenadas na posição vertical devem preservar as pontas dos eletrodos. Estas pontas devem estar voltadas para cima, devendo seguir as instruções do fabricante.

A ordem de retirada de embalagens do estoque deve evitar a utilização preferencial dos materiais recém chegados.

Os eletrodos e fluxos de baixo hidrogênio devem ser submetidos à secagem e às condições de manutenção da secagem em estufas apropriadas.

Na estufa de secagem, os eletrodos devem ser dispostos em prateleiras, em camada não superior a 50mm e na estufa de manutenção de secagem em camada igual ou inferior a 150mm.

Nas estufas com bandejas para secagem ou manutenção de secagem, a camada de fluxo deve ser igual ou inferior a 50mm.

A secagem e a manutenção de secagem devem obedecer aos parâmetros requeridos nas especificações ou nas recomendações do fabricante.

Os eletrodos revestidos de baixo hidrogênio, quando de sua utilização, devem ser mantidos em estufas portáteis, em temperatura entre 80°C e 150°C. As estufas devem ser calibradas.

Os eletrodos revestidos de baixo hidrogênio que, fora da estufa de manutenção de secagem, não forem utilizados após uma jornada de trabalho devem ser identificados e retornar à estufa de manutenção para serem ressecados. Permite-se apenas uma ressecagem.

A seguir são apresentados alguns exemplos de estufas utilizados na operação de soldagem:



⇒ **Estufa de Secagem:** Devem ter termostato e termômetro. A estufa deve manter a temperatura até 400°C.



⇒ **Estufa de Manutenção de Secagem:** Devem ter termostato e termômetro. A estufa deve manter a temperatura até 200°C. Estas estufas devem permitir a circulação do ar.



⇒ **Estufas Portáteis:** Devem ter termostato e termômetro. Acompanham o soldador individualmente. Estas estufas devem manter a temperatura entre 80°C e 150°C.

15. Bibliografia

A bibliografia utilizada para a elaboração desta apostila foi:

1. As especificações AWS A5.1; A5.2, A5.4, A5.5, A5.9, A5.17, A5.18, A5.20, A5.22, A5.29 e A5.32 de último ano e revisão.
2. Livro WELDPERFECT editado pela AWS.
3. Livro Soldagem a Arco Submerso – Coleção Soldagem 2000.
4. Apostila FBTS – Inspetor de Soldagem ano 1990.
5. Norma Petrobrás N-133.

O autor, Eng. Antonio C. Souza é engenheiro de soldagem com experiência de 20 anos na área de soldagem, com atuação no Brasil e Exterior, exerce a função de

Gerente do Depto. Técnico da Lincoln Electric do Brasil, certificado pela AWS como CWI, exerce o cargo de gerente de produtos de solda na empresa Carbox Resende Química Ind. e Com. Ltda onde trabalha a 12 anos, professor dos cursos de inspetor de soldagem há 6 anos nas disciplinas de consumíveis e processos de soldagem.

