

1 – SISTEMA "A.W.S." DE CLASSIFICAÇÃO DOS ELETRODOS.....	3
2 – METALURGIA DA SOLDAGEM.....	3
2.1 – MACROGRAFIA DE UMA JUNTA SOLDADA.....	4
2.2 – ASPECTO TÉRMICO DA SOLDAGEM.....	4
2.2.1 – Ciclo térmico e repartição térmica.....	4
2.2.2 – Fatores do ciclo térmico:.....	6
2.2.3 – Características térmicas dos principais processos de soldagem:.....	8
2.2.4 – Soldagem em vários passes:.....	8
2.3 – ZONA FUNDIDA – TRANSFORMAÇÕES ASSOCIADAS À FUSÃO:.....	9
2.3.1 – Transformações durante a fusão:.....	9
2.3.2 – Solidificação da zona fundida:.....	11
2.4 – ZONA TERMICAMENTE AFETADA - TRANSFORMAÇÕES ASSOCIADAS AO CICLO TÉRMICO:.....	15
2.4.1 – Soldagem de aços não temperáveis:.....	15
2.4.2 – Soldagem de aços temperáveis:.....	17
2.4.3 – Soldagem de metais e ligas não transformáveis:.....	20
2.4.4 – Soldagem dos metais encruados:.....	22
2.5 – ZONA DE FRAGILIZAÇÃO TENSO-TÉRMICA TRANSFORMAÇÕES ASSOCIADAS À DEFORMAÇÃO E AO AQUECIMENTO SIMULTÂNEO:.....	24
2.6 – DIFICULDADES E DEFEITOS PRÓPRIOS DA SOLDAGEM:.....	25
2.6.1 – Tensões residuais e deformações:.....	25
2.6.2 – Fissuração a frio dos aços ou fissuração provocada pelo hidrogênio:.....	25
2.6.3 – Fissuração a quente:.....	30
2.6.4 – Fissuração interlamelar:.....	31
2.6.5 – Fissuração durante o reaquecimento:.....	35
2.6.6 – Contaminações:.....	35
2.6.7 – Aberturas de arco:.....	35
2.6.8 – Porosidade inicial:.....	36
2.6.9 – Inclusão de escoria:.....	36
3 – TENSÕES E DEFORMAÇÕES EM SOLDAGEM:.....	36
3.1 – ANALOGIA DA BARRA AQUECIDA:.....	36
3.2 – REPARTIÇÃO TÉRMICA E PLASTIFICAÇÃO:.....	38
3.3 – DISTRIBUIÇÃO DAS TENSÕES RESIDUAIS:.....	39
3.4 – TIPOS DE DEFORMAÇÃO:.....	42
3.4.1 – Contração transversal:.....	42
3.4.2 – Contração longitudinal:.....	44
3.4.3 – Deformação angular:.....	46
3.4.4 – Empenamento:.....	47
3.5 – COMO REDUZIR AS DEFORMAÇÕES:.....	47
3.6 – EXEMPLOS DE SEQÜÊNCIAS DE MONTAGEM:.....	50
3.6.1 – Tubulações:.....	50
3.6.2 – Tanque de armazenamento:.....	56
3.6.3 – Esfera:.....	62
3.7 – EFEITO DAS TENSÕES RESIDUAIS NO COMPORTAMENTO DAS SOLDAS:.....	63
3.7.1 – Risco de ruptura frágil:.....	64
3.7.2 – Estabilidade dimensional:.....	66
3.7.3 – Resistência à corrosão sob tensão:.....	66
3.7.4 – Resistência à fadiga:.....	68
3.8 – TRATAMENTO TÉRMICO DE ALÍVIO DE TENSÕES:.....	69
3.8.1 – Mecanismo:.....	69
3.8.2 – Exigências do Código ASME seção VIII:.....	70
3.8.3 – Influência sobre as propriedades mecânicas do metal de base:.....	73
3.9 – CORREÇÃO DE DEFORMAÇÕES PELO AQUECIMENTO LOCALIZADO:.....	74
4 – ESPECIFICAÇÕES E NORMAS DE SOLDAGEM:.....	75
4.1 – ESPECIFICAÇÃO AWS/ASTM PARA METAIS DE ADIÇÃO:.....	75
4.1.1 – Eletrodos revestidos para a soldagem dos aços carbono e de baixa liga:.....	76
4.1.2 – Varetas para soldagem a gás do aço carbono:.....	80
4.1.3 – Eletrodos para a soldagem MIG/MAG dos aços carbono:.....	80
4.1.4 – Eletrodos e fluxos para a soldagem a arco submerso do aço carbono:.....	81
4.1.5 – Eletrodos e varetas para soldagem dos aços de alta liga resistentes à corrosão:.....	81
4.1.6 – Eletrodos e varetas para a soldagem do níquel e ligas de níquel:.....	84
4.1.7 – Eletrodos e varetas para a soldagem do cobre e ligas de cobre:.....	85
4.1.8 – Eletrodos e varetas para a soldagem do alumínio e ligas de alumínio:.....	86

4.1.9 – Eletrodos e varetas para a soldagem de revestimentos: .....	87
4.1.10 – Eletrodos revestidos e varetas para a soldagem do ferro fundido: .....	88
4.2 – CÓDIGO ASME SEÇÃO VIII DIVISÃO 1: .....	89
4.2.1 – Subseção A: .....	90
4.2.2 – Subseção B. Parte UW:.....	90
4.2.3 – Subseção C: .....	96
4.2.4 – Apêndices: .....	96
4.3 – CÓDIGO ASME SEÇÃO VIII DIVISÃO 2: .....	96
4.4 – CÓDIGO ASME SEÇÃO I: .....	101
4.5 – NORMA API-650:.....	102
4.6 – NORMA ANSI B31.3 - TUBULAÇÕES DE REFINARIAS: .....	104
4.7 – NORMA ANSI B31. 4 – OLEODUTOS:.....	106

## 1 – SISTEMA "A.W.S." DE CLASSIFICAÇÃO DOS ELETRODOS

O prefixo "E" significa "eletrodo" e se refere à solda ao arco elétrico.

O prefixo "R" significa "vareta" e se refere à solda autógena.

Para eletrodos de aço doce e os de baixa liga:

Os dois primeiros algarismos de um número de quatro algarismos, ou os três primeiros algarismos de um número de cinco algarismos designam a resistência à tração:

E-60xx - significa uma resistência à tração de 60.000 libras por polegada quadrada (42,2 kg/mm<sup>2</sup>).

E-70xx - significa uma resistência à tração de 70.000 libras por polegada quadrada (49,2 kg/mm<sup>2</sup>).

E-100xx - significa uma resistência à tração de 100.000 libras por polegada quadrada (70,3 kg/mm<sup>2</sup>),

O penúltimo algarismo indica a posição para soldar:

Exx1x - significa para todas as posições.

Exx2x - significa posição horizontal ou plana.

Exx3x - significa somente posição plana.

O último algarismo não tem significado se considerado isoladamente, mas os dois últimos algarismos considerados em conjunto indicam a polaridade:

Exx10 - significa Corrente Contínua, pólo positivo.

Exx11 - significa Corrente Contínua, pólo positivo ou Corrente Alternada.

Exx12 - significa Corrente Contínua, pólo negativo ou Corrente Alternada.

Exx13 - significa Corrente Contínua, pólo negativo ou Corrente Alternada.

Exx14 - significa Corrente Alternada, ou Corrente Contínua.

Exx15 - significa Corrente Contínua, pólo positivo.

Exx16 - significa Corrente Alternada ou Corrente Contínua, pólo positivo.

Exx18 - significa Corrente Contínua, pólo positivo.

Exx24 - significa Corrente Alternada ou Corrente Contínua, ambos os pólos.

Exx27 - significa Corrente Alternada ou Corrente Contínua, pólo negativo.

Exx20 - significa Corrente Alternada ou Corrente Contínua.

Exx30 - significa Corrente Alternada ou Corrente Contínua.

Quando se tratar de eletrodos de Aço Inoxidável tal como o E347-15:

Os três primeiros algarismos indicam a classe do aço inoxidável.

Os dois últimos algarismos indicam a posição e a polaridade.

Para os diferentes tipos de revestimentos nota-se que os eletrodos tipo:

E-6010 e E-6011 têm revestimento com alto conteúdo de matéria orgânica (celulose).

E-6012 e E-6013 têm revestimento com alto conteúdo de óxido rútilico (titânio).

E-6015 e E-6816 têm revestimento com baixo conteúdo de hidrogênio básico e carbonato de sódio ou básico com óxido de rutilo).

E-6020 e E-6030 têm um revestimento com alto conteúdo mineral (óxido de ferro ou óxido de manganês)

E-6014, E-6024 e E-6027 têm um revestimento consistente de ferro em pó.

E-7018 tem um revestimento com baixo teor de hidrogênio (básico com óxido de cálcio).

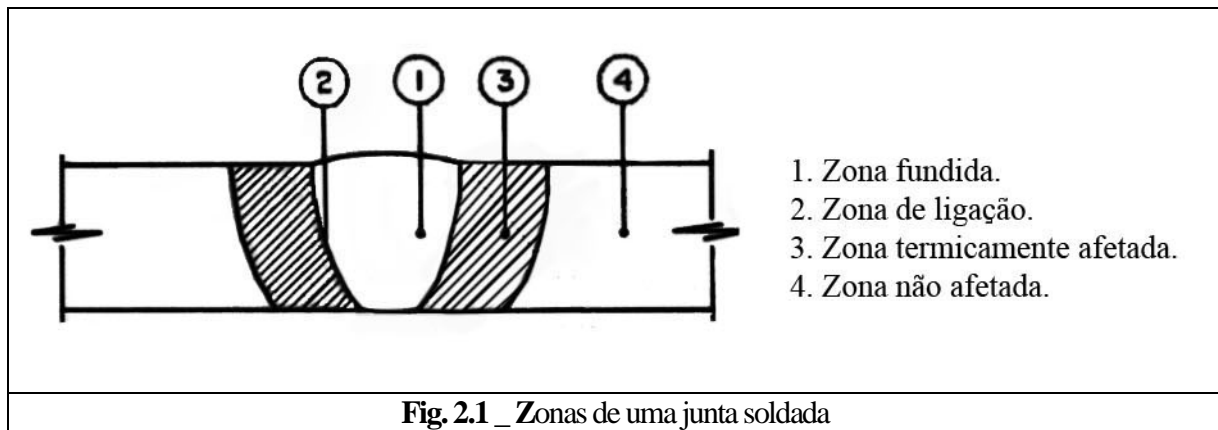
Quanto aos eletrodos de aços inoxidáveis, quinze deles tem revestimento básico, e quinze tem revestimento de óxido de rutilo.

## 2 – METALURGIA DA SOLDAGEM

A fusão da qual participam o metal de base e o metal de adição e a localização e rapidez das variações de temperatura formam as características principais das transformações metalúrgicas da junta soldada.

## 2.1 – MACROGRAFIA DE UMA JUNTA SOLDADA

A macrografia da seção transversal de uma junta soldada, no estado bruto de soldagem, permite distinguir 4 zonas dispostas simetricamente (fig. 2.1).



A zona fundida corresponde à região que esteve momentaneamente no estado líquido e cuja solidificação resultou da cessação ou afastamento da fonte de calor. Pode ser obtida em um ou vários passes.

A zona de ligação envolve a zona fundida. É a região que, durante a soldagem, foi aquecida entre as linhas liquidus e solidus. Para os metais puros, se reduz a uma superfície.

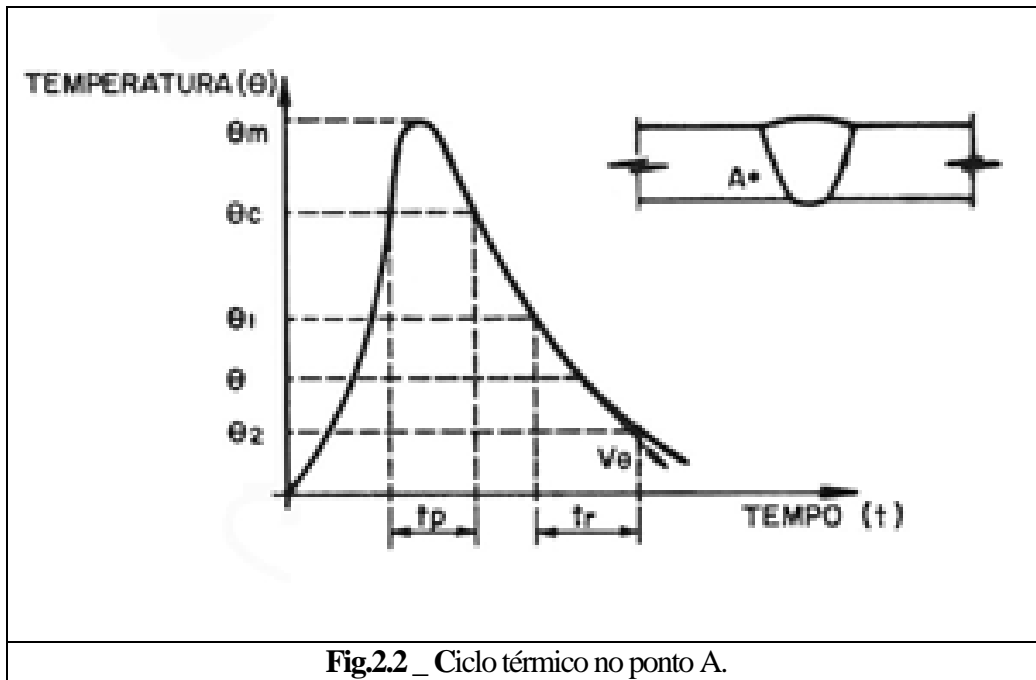
Na zona termicamente afetada ocorrem modificações da estrutura ou de constituição do metal que está sendo soldado. O calor proveniente da soldagem é a causa principal dessas transformações.

A zona não afetada se refere ao metal que não sofreu modificações metalúrgicas. Excluem-se as alterações mecânicas como, por exemplo, as deformações e as tensões residuais.

## 2.2 – ASPECTO TÉRMICO DA SOLDAGEM

### 2.2.1 – Ciclo térmico e repartição térmica

Considere um ponto da junta soldada, definido pela sua distância ao centro da solda e pela sua posição em relação à espessura. O calor da operação de soldagem provoca, neste ponto, variações de temperatura como indica a fig.2.2.



A variação de temperatura em função do tempo,  $\theta_m = f(t)$  é o ciclo térmico no ponto considerado. A curva permite a determinação de:

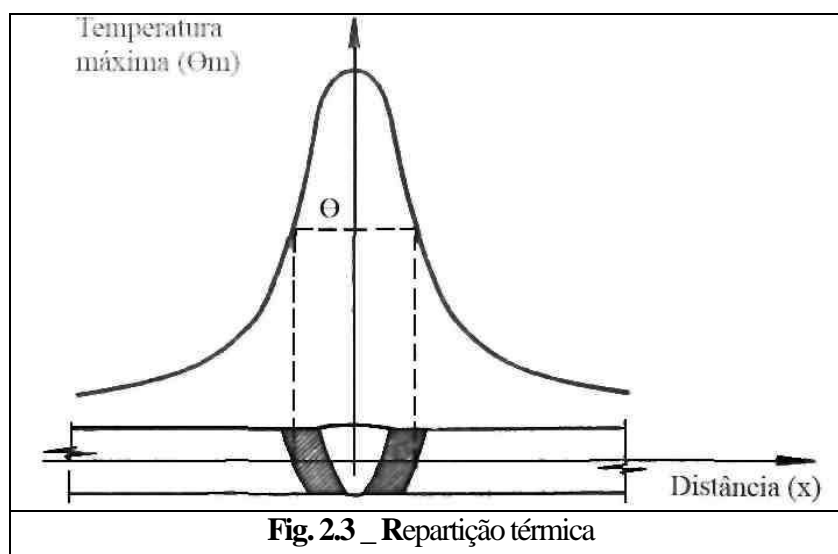
$\theta_m$  - temperatura máxima atingida

$t_p$  - tempo de permanência acima de certa temperatura, por exemplo:  $\theta_c$ .

$V_\theta$  - velocidade de resfriamento a temperatura  $\theta$

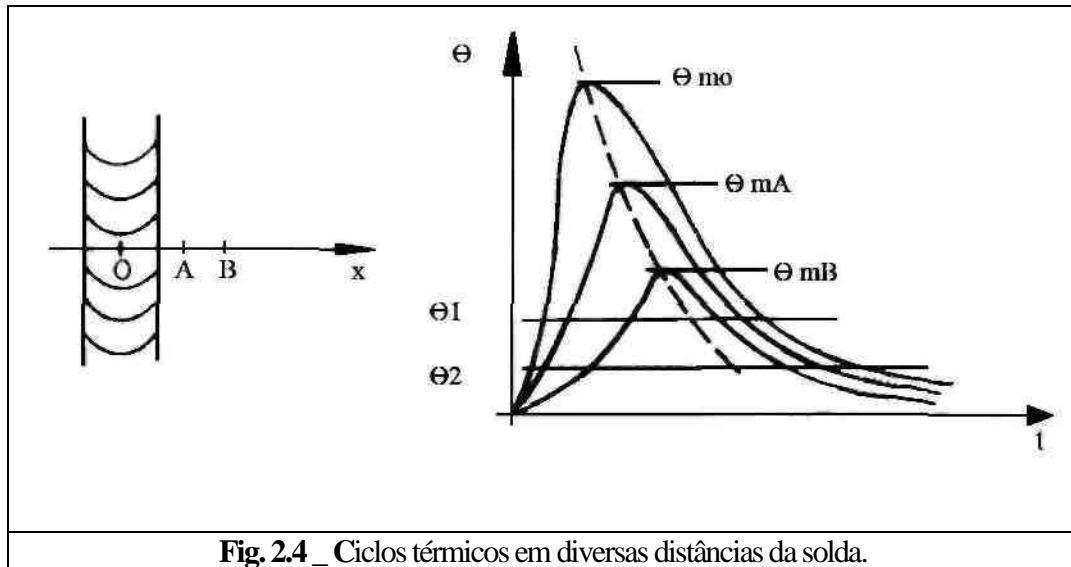
$t_r$  - tempo de resfriamento entre as temperaturas  $\theta_1$  e  $\theta_2$

Analisando todos os pontos, é possível obter as temperaturas máximas atingidas em função da distância ao centro da solda  $\theta_m = f(x)$  (fig. 2.3). Esta função é a repartição térmica para a reta considerada. Estabelecido o regime de soldagem, a repartição térmica mantém a sua forma ao longo do cordão de solda.



Com as duas funções torna-se viável o estudo das transformações metalúrgicas no estado sólido ocorrentes numa junta soldada. O ciclo térmico possibilita a interpretação ou previsão das transformações enquanto que a repartição térmica permite determinar a extensão das zonas onde se passam tais fenômenos.

As curvas temperatura – tempo levantadas em diversos pontos ao longo de uma perpendicular à solda tem a forma da fig. 2.4. À medida que o ponto considerado se afasta da solda, as temperaturas máximas são decrescentes e atingidas com certo atraso. O tempo de permanência acima de certa temperatura decresce no mesmo sentido; em consequência, os fenômenos influenciados pelo tempo, tais como, a coalescência, o crescimento de grão e a homogeneização de soluções sólidas são mais pronunciados quando mais próximos da zona fundida.



**Fig. 2.4** \_ Ciclos térmicos em diversas distâncias da solda.

Teoricamente as velocidades de resfriamento decrescem à medida que a distancia  $x$  aumenta. Entretanto, do ponto de vista prático e para a faixa de temperatura onde ocorrem os fenômenos de têmpera, pode-se considerar a velocidade de resfriamento - ou o tempo de resfriamento - como constante em toda extensão da zona termicamente afetada.

### 2.2.2 – Fatores do ciclo térmico:

A temperatura máxima e a velocidade de resfriamento, calculados pelas fórmulas a seguir, são os parâmetros principais do ciclo térmico.

$$\theta_m = (2/\Pi e)^{1/2} \cdot (E / (2C \xi X)) \cdot (1 - (\alpha X^2 / \lambda \xi))$$

C - capacidade térmica volumétrica

e - base dos logaritmos neperianos

E - energia por unidade de comprimento

$\alpha$  - coeficiente de troca térmica superficial

$\xi$  - espessura

$\lambda$  - condutibilidade térmica

$$V_\theta = (2\Pi\lambda(\theta - \theta_0)^2) / E$$

Para peças espessas ( $\xi > 40$  mm):

$$V_{\theta} = (2\pi\lambda C (\theta - \theta_0)^3 \xi^2) / E^2$$

Para peças finas:

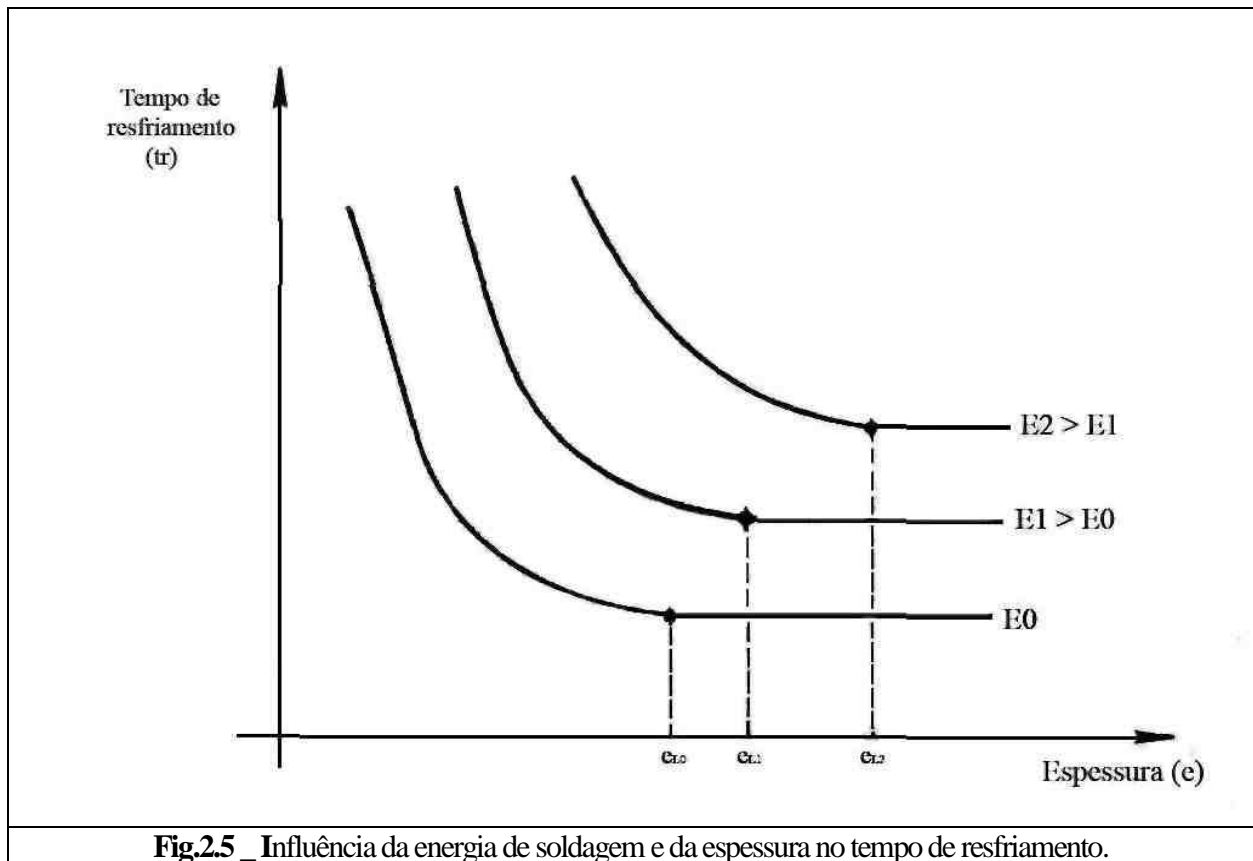
$\theta$  - temperatura na qual se calcula a velocidade de resfriamento

$\theta_0$  - temperatura inicial da peça


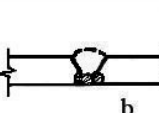
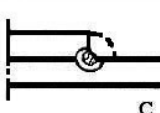
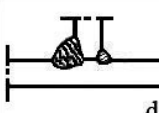
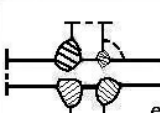
O regime térmico da operação de soldagem depende de fatores associados a peça a ser soldada e ao procedimento de soldagem.

a) Influência da peça:

A influência das propriedades físicas é evidente nas fórmulas acima. À medida que aumenta a massa da peça - expressa pela sua espessura - o gradiente de temperatura e a velocidade de resfriamento aumentam. Todavia, a velocidade de resfriamento aumenta até certa espessura limite. É a partir desta espessura, crescente com a energia de soldagem - aproximadamente 40 mm para a soldagem com eletrodo revestido - que se aplica a fórmula para peças espessas (fig. 2.5).



Além da massa, deve-se considerar a forma geométrica das peças. A fig. 2.6 mostra os coeficientes de correção para a energia e a espessura a serem empregados no cálculo da velocidade de resfriamento.

Coeficientes de correção					
E	1	3 / 2	2 / 3	2 / 3	1 / 2
$\epsilon$	1	3 / 2	1	1	1

**Fig. 2.6 \_ Coeficientes de correção levando-se em conta a disposição das peças.**

O último fator é relativo a peça e sua temperatura inicial. Temperaturas iniciais mais altas aumentam a extensão da zona termicamente afetada, o tempo de permanência em alta temperatura e reduzem a velocidade de resfriamento. Essa última consequência é o que se pretende obter com o pré-aquecimento. Pelo mesmo motivo o código ASME proíbe a soldagem em temperaturas (da peça) inferiores a 16°C.

#### b) Influência do procedimento de soldagem:

O procedimento de soldagem influencia tanto o ciclo térmico como a repartição térmica. Suas diversas variáveis podem ser reunidas num só parâmetro; a energia de soldagem, isto é, o número de Joules por centímetro de solda. Por exemplo, a soldagem com eletrodo revestido se efetua com energias entre  $5 \cdot 10^3$  J/cm e  $40 \cdot 10^3$  J/cm.

Com o aumento da energia de soldagem diminuem o gradiente de temperatura e a velocidade de resfriamento. O tempo de permanência em alta temperatura aumenta com a energia.

#### 2.2.3 – Características térmicas dos principais processos de soldagem:

##### a) Soldagem a gás:

Caracteriza-se por um aquecimento lento, um tempo de permanência relativamente longo e uma velocidade de resfriamento pouco elevada. É o processo que favorece os fenômenos sensíveis ao tempo de permanência e a temperatura, como a precipitação e o crescimento de grão. Dificulta as transformações dependentes da velocidade de resfriamento, como por exemplo, a têmpera. A zona termicamente afetada é a mais extensa entre os diversos processos.

##### b) Soldagem a arco:

São procedimentos - eletrodo revestido, TIG, MIG, MAG, arco submerso - de difícil caracterização quanto ao ciclo térmico, pois podem ser aplicados em condições energéticas bem deferentes. De modo geral são processos pouco sensíveis ao superaquecimento, mas que podem provocar a têmpera, dependendo da energia escolhida.

##### c) Soldagem eletro-escória:

Como a soldagem a gás, é um processo que conduz ao superaquecimento.

##### d) Soldagem por bombardeamento eletrônico:

O aquecimento e o resfriamento são rápidos. A deformação das peças e a zona termicamente afetada são extremamente reduzidos permitindo a soldagem de peças mecânicas usinadas, temperadas e revenidas.

#### 2.2.4 – Soldagem em vários passes:



Em muitos processos, a solda é constituída de deposições sucessivas de metal. É a soldagem em vários passes. Cada passe superpõe seu ciclo térmico aos precedentes provocando a evolução das estruturas e propriedades da solda (fig. 2.7).

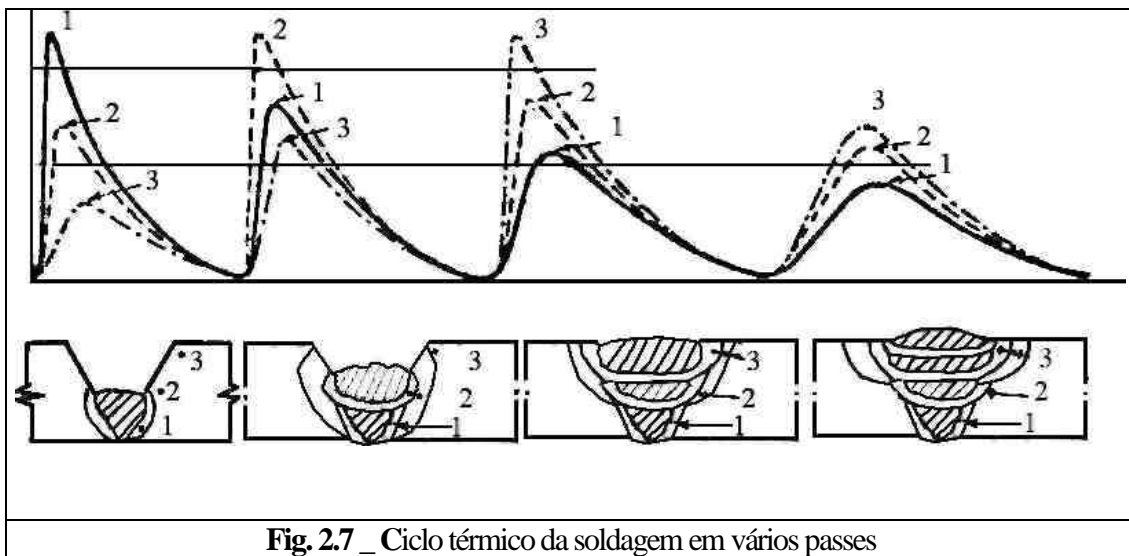


Fig. 2.7 \_ Ciclo térmico da soldagem em vários passes

Se o tempo entre passes não é longo, a temperatura inicial  $\theta_0$  tende a se elevar diminuindo, em conseqüência, a velocidade de resfriamento e aumentando o tempo de permanência. O ciclo térmico do primeiro passe é o mais severo. Tanto a solda como a zona termicamente afetada podem voltar a ultrapassar a temperatura de transformação e com velocidade de resfriamento menor. Este comportamento térmico e particularmente interessante na regeneração estrutural das zonas superaquecidas.

### 2.3 – ZONA FUNDIDA – TRANSFORMAÇÕES ASSOCIADAS À FUSÃO:

#### 2.3.1 – Transformações durante a fusão:

Durante a breve permanência no estado líquido, a solda sofre alterações em sua composição química que podem ser atribuídas às seguintes causas:

##### a) Volatilização:

A perda é considerável quando a pressão de vapor do metal é elevada na temperatura de soldagem. Se a temperatura é próxima do ponto de fusão as perdas são desprezíveis, como é o caso da soldagem a gás ou TIG de metais considerados voláteis como o chumbo e o magnésio. Na soldagem com eletrodo revestido ou MIG, onde a temperatura é elevada, as perdas por volatilização podem ser apreciáveis. Estas perdas além de acarretarem problemas de higiene, alteram a composição química da solda. Um bom exemplo é a volatilização do titânio que impede o seu uso como elemento estabilizante do metal fundido de soldas de aço inoxidável. O manganês, o ferro, o cromo e o alumínio, se comportam semelhantemente, porém, em menor intensidade. Além da temperatura, a volatilização depende também do tempo de permanência. Assim a transferência rápida de metal por pulverização (MIG) é menos favorável a perda do que a transferência por gotas da soldagem com eletrodo revestido. Aliás, uma das funções do revestimento é compensar as perdas de elementos de liga.

##### b) Reações químicas:

As reações químicas no metal líquido são prejudiciais quando provocam o desprendimento de gases. A reação entre o óxido de ferro e o carbono do aço ( $\text{FeO} + \text{C} // \text{Fe} + \text{CO}$ ) tem grande influência na qualidade das soldas. Os aços efervescentes, que apresentam esta reação durante a solidificação nas lingoteiras, têm a tendência a reiniciá-la durante a

soldagem, a menos que atuem agentes desoxidantes. Tem essa função a atmosfera redutora ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ) da soldagem a gás ou os elementos de adição (manganês, silício, alumínio, etc.) presente no revestimento ou na alma dos eletrodos na soldagem a arco. Na ausência dos elementos desoxidantes e com a solidificação rápida da solda o monóxido de carbono fica retido provocando a porosidade. A solda no estado líquido deve ser acalmada, uma vez que o óxido de ferro pode se formar em virtude do contato com a atmosfera (na raiz de soldas não protegidas) ou com gases ativos (processo MAG).

Os valores elevados dos limites de escoamento e resistência da zona fundida na soldagem com eletrodo revestido, MIG e arco submerso, são conseqüências da adição de elementos desoxidantes. Quando a adição exagerada, como pode acontecer na soldagem a arco submerso, os teores elevados de Mn e Si aumentam a resistência (dureza) das soldas predispondo-as à corrosão sob tensão pelo  $\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$ .

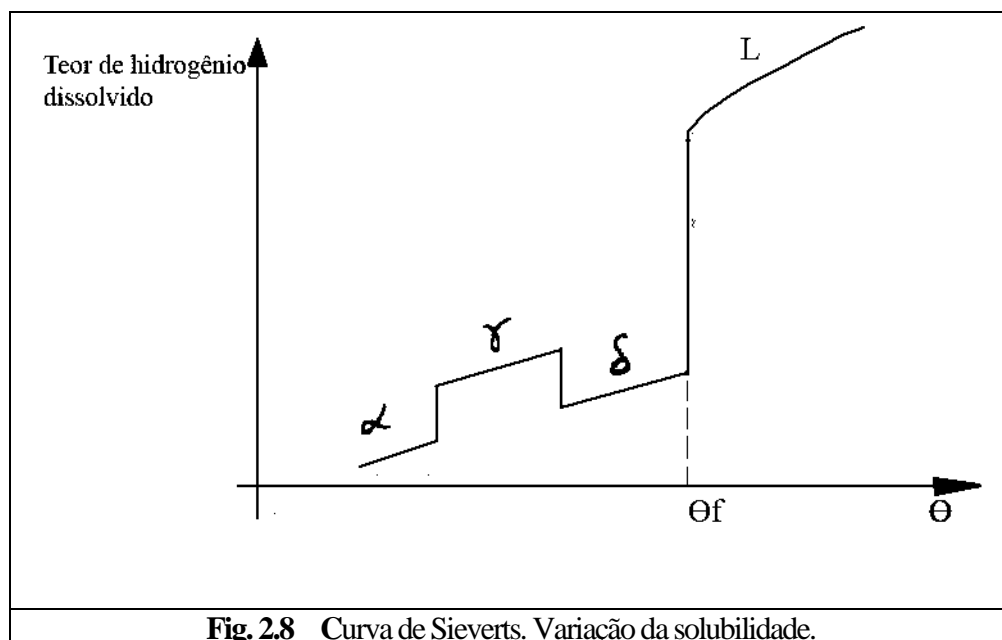
Merecem destaque as reações entre escória e metal líquido que possibilitem a adição de elementos de liga a partir de ferro-liga presentes nos revestimentos e fluxos. É o caso dos eletrodos revestidos de aço carbono e aços liga que são todos produzidos com alma de aço carbono efervescente.

#### c) Absorção de gases:

O metal líquido da solda pode dissolver gases, notadamente o hidrogênio, resultante da decomposição do vapor d'água no arco elétrico.

O vapor d'água provém da umidade adsorvida pelos fluxos e eletrodos, da água de cristalização de alguns componentes e dos produtos da combustão de substâncias orgânicas constitutivas dos revestimentos.

A variação de solubilidade, como indica a figura 2.8, e a rapidez da solidificação, na soldagem a arco, provocam a supersaturação da solda em hidrogênio. Nessa condição pode ocorrer a fissuração a frio (ou sob cordão) como veremos em 2.6.2.



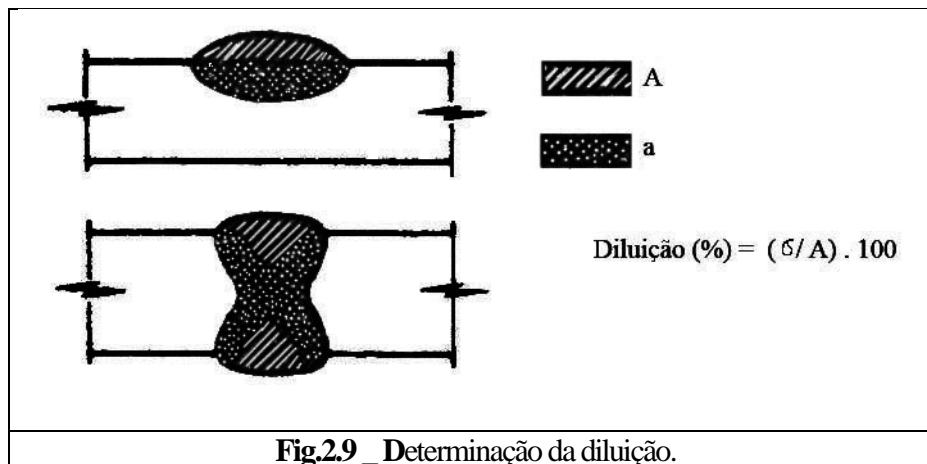
**Fig. 2.8** \_ Curva de Sieverts. Variação da solubilidade.

Após o resfriamento, o hidrogênio tende a se liberar espontaneamente. Isto se dá lentamente à temperatura ambiente e bem mais rápido à temperatura elevada.

É por esta razão que os ensaios mecânicos do metal de solda, exigidos pela norma ASTM A-233-64T são precedidos de um tratamento térmico a  $250^\circ\text{C}$  para liberação de hidrogênio.

#### d) Diluição:

O coeficiente de diluição ou simplesmente diluição indica a participação do metal de base na constituição da zona fundida ( figura 2.9).



A diluição é função do procedimento de soldagem. Por exemplo, com eletrodo revestido a diluição é da ordem de 10 a 30 % enquanto que na soldagem a arco submerso pode atingir 80 %.

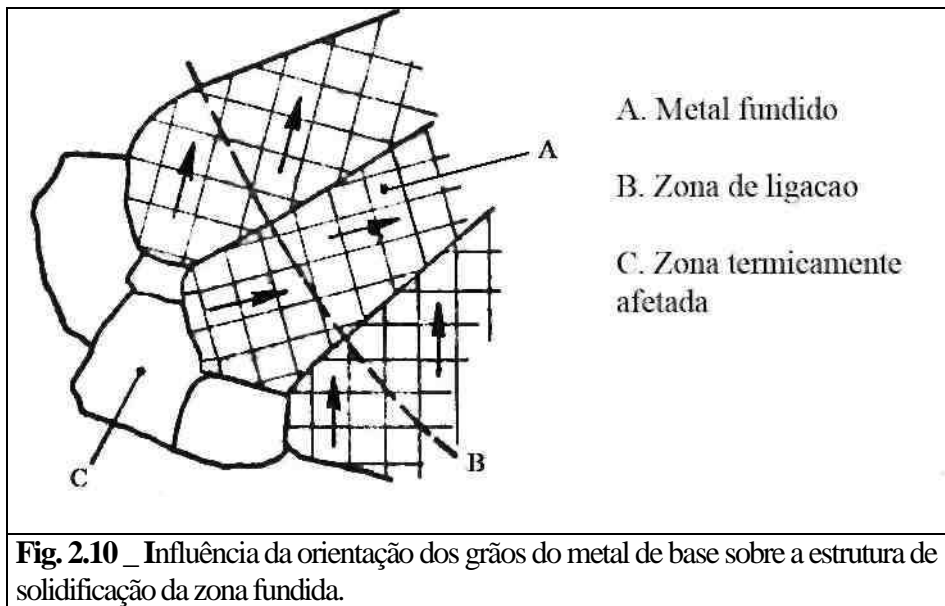
A extrapolação das propriedades dos metais de adição é geralmente comprometida pela diferença de diluição entre a preparação dos corpos de prova, para controle da qualidade, e as soldas propriamente ditas. Dai a necessidade de simulação e teste do procedimento de soldagem antes da fabricação de equipamentos.

Na soldagem de metais dissimilares, a diluição é um dado indispensável para a previsão dos constituintes e propriedades da solda. Um exemplo clássico é o emprego do diagrama de Shaeffler na soldagem dos aços inoxidáveis.

### 2.3.2 – Solidificação da zona fundida:

#### a) Epitaxia:

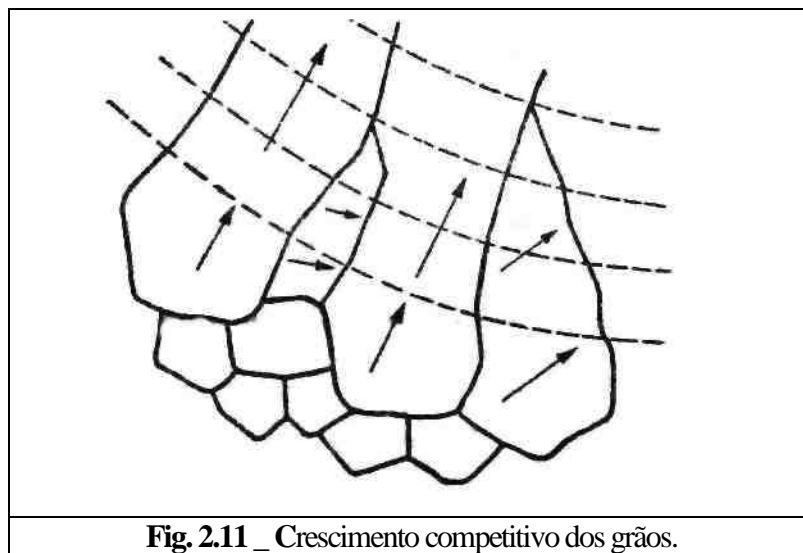
Durante a solidificação de uma peça fundida, o molde tem a função de resfriador não influenciando a granulação do material, que depende principalmente da velocidade de resfriamento e do número de grãos. Em soldagem, a estrutura de solidificação se desenvolve como um prolongamento dos grãos da zona de ligação. Os grãos se solidificam adotando a mesma orientação cristalina e tamanho dos grãos não fundidos. Os contornos de grão ultrapassam a zona de ligação, assegurando a continuidade metálica ao nível da estrutura cristalina (fig. 2.10).



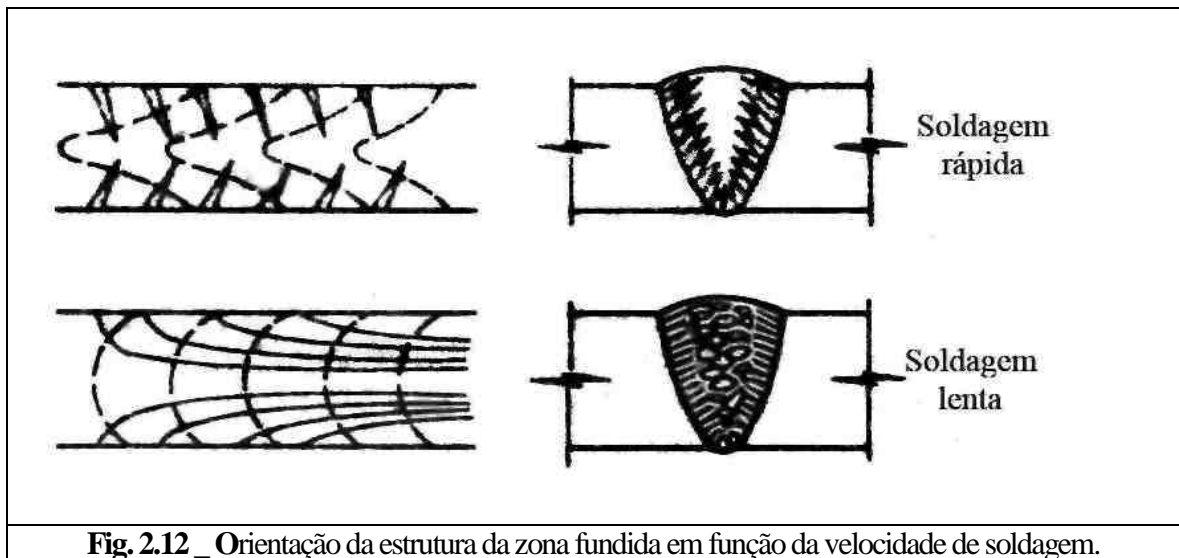
Este comportamento, conhecido como epitaxia, mostra que o tamanho de grão da zona fundida depende diretamente da granulação da zona termicamente afetada que por sua vez é grosseira em virtude do superaquecimento a que é submetida.

b) Crescimento competitivo de grãos:

A partir desta orientação, pré-determinada pelo metal de base, os grãos obedecem a um crescimento competitivo. Os grãos que dispõem do eixo  $[1, 0, 0]$  perpendicular às isothermas crescem com maior facilidade que os demais (fig. 2.11).



Assim, a zona fundida, além da granulação grosseira, tem uma estrutura orientada conforme a curvatura das isothermas e a velocidade da fonte de calor ou, com maior precisão, da relação entre a velocidade de soldagem e a velocidade de solidificação (fig. 2.12).



**Fig. 2.12 \_** Orientação da estrutura da zona fundida em função da velocidade de soldagem.

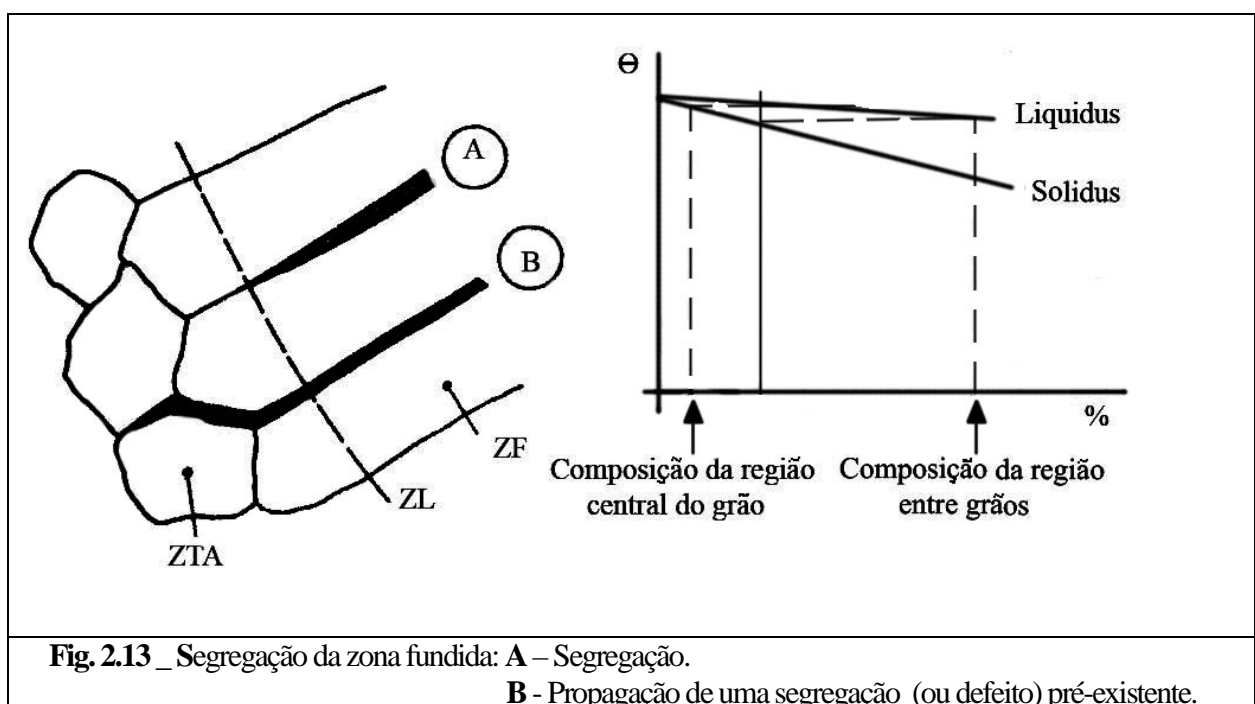
A granulação grosseira e a orientação da estrutura exercem uma influência marcante sobre as propriedades mecânicas da zona fundida. Toma-se mais fácil a propagação da fratura frágil (trans-granular), que se constata pela diminuição da resiliência.

A segregação da zona fundida pode ocupar uma posição desfavorável em relação às tensões de contração da solda. Também, descontinuidades do metal base - por exemplo, a dupla-laminação - podem se propagar pelo metal fundido em direção a superfície da peça.

É óbvio que essas considerações se referem à soldagem em um só passe. A regeneração estrutural, conseguida com a soldagem em vários passes, atenua estes inconvenientes.

#### c) Segregação:

O diagrama de equilíbrio mostra que à medida que a solidificação progride, o líquido se enriquece em impurezas ou elementos de liga (fig. 2.13).



**Fig. 2.13 \_** Segregação da zona fundida: **A** - Segregação.

**B** - Propagação de uma segregação (ou defeito) pré-existente.

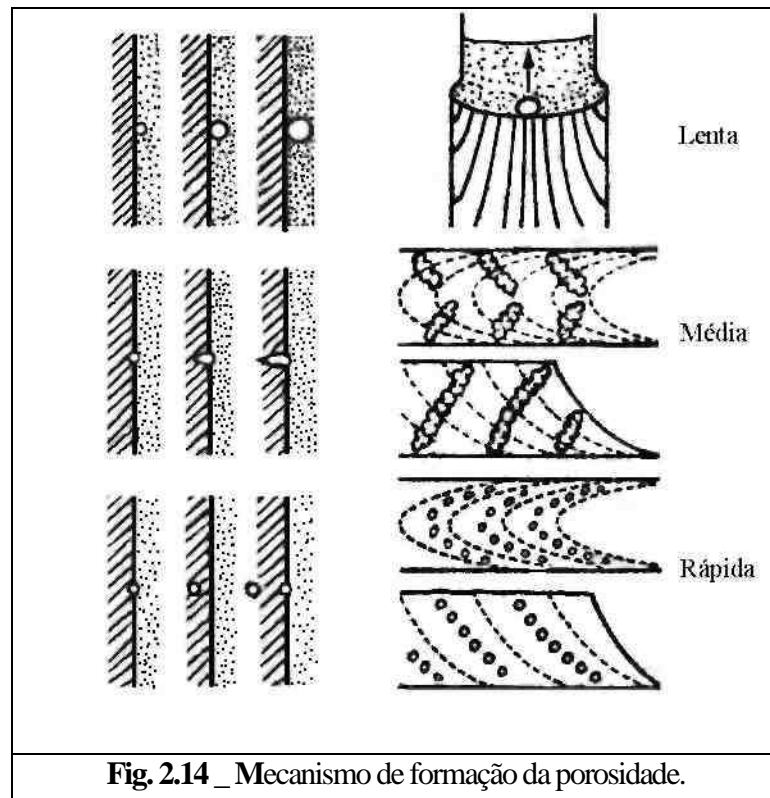
A segregação de fases de ponto de fusão mais baixo que a solda é, geralmente, a causa da fissuração a quente.

A zona fundida, com grãos envolvidos por um filme líquido, não tem resistência mecânica suficiente para suportar as tensões de contração da solda. É o caso, por exemplo, das soldas do aço carbono com teor de enxofre elevado e do aço inoxidável tipo AISI-347 onde a fase pré-fusível é constituída de Ni, C e N.

Observe que estrutura de uma solda de deposição rápida (fig. 2.12) é mais desfavorável à segregação e a fissuração a quente. A trinca pode ocorrer no eixo do cordão, atingindo um grande comprimento.

d) Separação de substâncias insolúveis:

O metal fundido pode conter substâncias dissolvidas que se separam durante a solidificação. É o caso, por exemplo, do hidrogênio ou mesmo do monóxido de carbono produzido pela reação de efervescência. Esses gases podem ser eliminados ou produzir inclusões de aspecto particular dependendo da relação entre a velocidade da solidificação e taxa de separação líquido-gás (fig. 2.14).



A porosidade vermiforme evidencia a orientação de solidificação da solda. Ela ocorre, por exemplo, na soldagem dos aços efervescentes ou quando da utilização dos eletrodos de baixo hidrogênio por soldadores não qualificados.

Quando a substância insolúvel é um sólido ou líquido, a composição química varia periodicamente resultando na estratificação da zona fundida.

## 2.4 – ZONA TERMICAMENTE AFETADA - TRANSFORMAÇÕES ASSOCIADAS AO CICLO TÉRMICO:

O confronto da repartição e ciclo térmicos com o diagrama de equilíbrio do metal de base possibilita a previsão ou interpretação das transformações metalúrgicas da solda no estado sólido.

### 2.4.1 – Soldagem de aços não temperáveis:

A classificação não temperável desse parágrafo se refere aos aços que não apresentam a transformação martensítica não apenas devido a sua composição química como também pela velocidade de resfriamento do ciclo térmico.

#### a) Micrografia:

A zona termicamente afetada apresenta varias regiões cuja estrutura e constituições dependem das temperaturas atingidas (figura 2.15).

Região 1: região superaquecida de granulação grosseira com estrutura celular e de Widmanstaetten - que se prolonga pela zona fundida através da epitaxia.

Região 2: região de granulação fina devido a austenitização total e, portanto, de excelentes propriedades mecânicas.

Região 3: austenitização parcial - aquecimento entre A1 e A3 - provoca a subdivisão dos grãos que atingiram o estado austenítico.

Região 4: corresponde ao metal de base sem alterações visíveis.

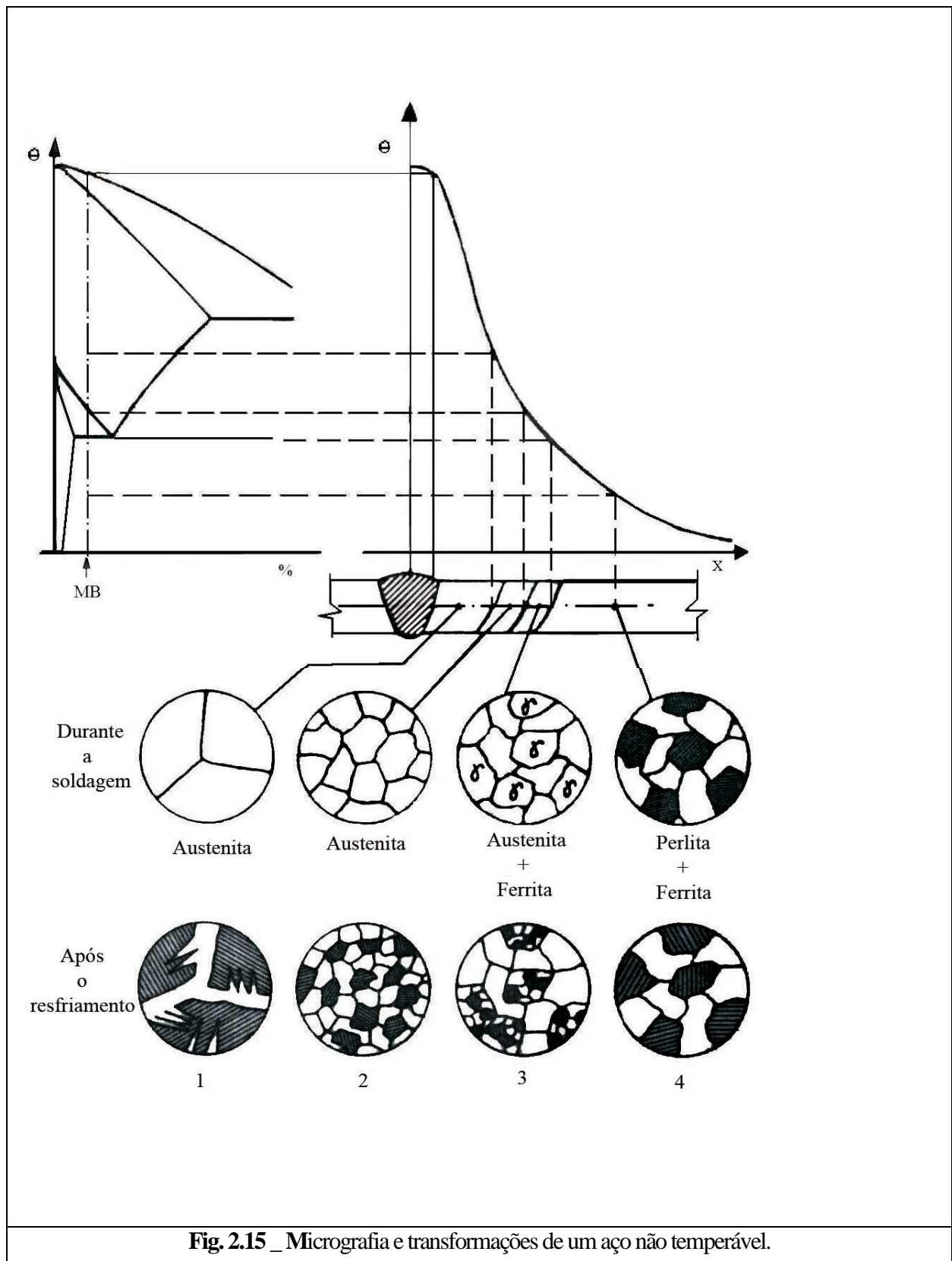
#### b) Propriedades mecânicas:

Nas regiões 2 e 3, a soldagem proporciona uma diminuição do tamanho de grão aumentando o limite de resistência e a resiliência. Contrariamente, na região 1 como também na zona fundida, a granulação grosseira e orientada reduz a ductilidade do material, notadamente sua resiliência.

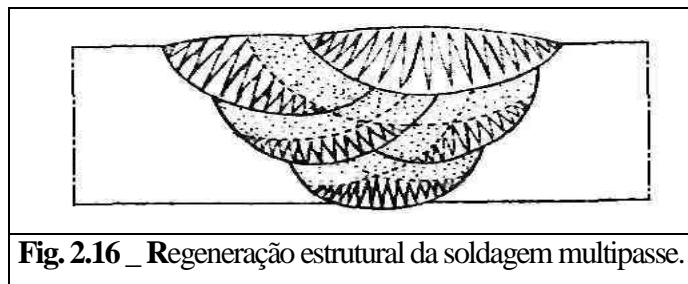
Entretanto, essas observações se referem a solda deposita da com um só passe. Na soldagem em vários passes, cada passe reaustenitiza uma parte dos passes anteriores recuperando suas propriedades mecânicas. Trata-se da regeneração estrutural (fig. 2.16) que é a principal vantagem metalúrgica da soldagem multipasse.

A falta da regeneração estrutural pode ser compensada pelo tratamento térmico de normalização. É o caso, por exemplo, da soldagem eletro-escória quando aplicada a fabricação de vasos de pressão.

Evidentemente, para que se processe a regeneração estrutural, é necessário que a temperatura de cada passe atinja, no resfriamento, valores inferiores ao ponto de transformação, antes da deposição do passe subsequente. A elevação excessiva dessa temperatura aumenta o tempo de permanência do ciclo térmico contribuindo para o crescimento de grão. Decorre desses fatos, a importância do controle e da limitação da temperatura entre passes.







#### 2.4.2 – Soldagem de aços temperáveis:

Em função da composição química do aço e da velocidade de resfriamento, determinada pelo ciclo térmico, a soldagem pode provocar a têmpera tanto na zona termicamente afetada como na zona fundida.

##### a) Micrografia:

As regiões da zona termicamente afetada que foram austenitizadas total ou parcialmente, apresentam, após o resfriamento, martensita e perlita fina. Predominando uma ou outra, em função da velocidade de resfriamento e do tempo de permanência (fig. 2.17). É claro que onde houve austenitização parcial, aparecem, ainda, os grãos de ferrita. Na zona fundida poderão aparecer estruturas idênticas se o metal depositado tiver temperabilidade suficiente, tendo em vista as condições de soldagem.

##### b) Propriedades mecânicas:

Como nos tratamentos térmicos, a têmpera provoca um aumento de resistência e fragilidade das soldas. Em alguns casos é proposital, como na soldagem dos aços temperados e revendidos - por exemplo: o aço ASTM A-517 grade P. Para isso o ciclo térmico é ajustado para que sejam atingidas as propriedades desejadas. Em outras aplicações, a têmpera é um efeito colateral da adição de elementos de liga que visa obter propriedades não relacionadas a temperabilidade. O aço cromo-molibdênio resistente ao calor é um exemplo. Nesse caso as condições de soldagem são escolhidas para atenuar os inconvenientes da têmpera.

A fig. 2.18 mostra como a dureza varia ao longo da seção transversal da solda de um aço temperável.

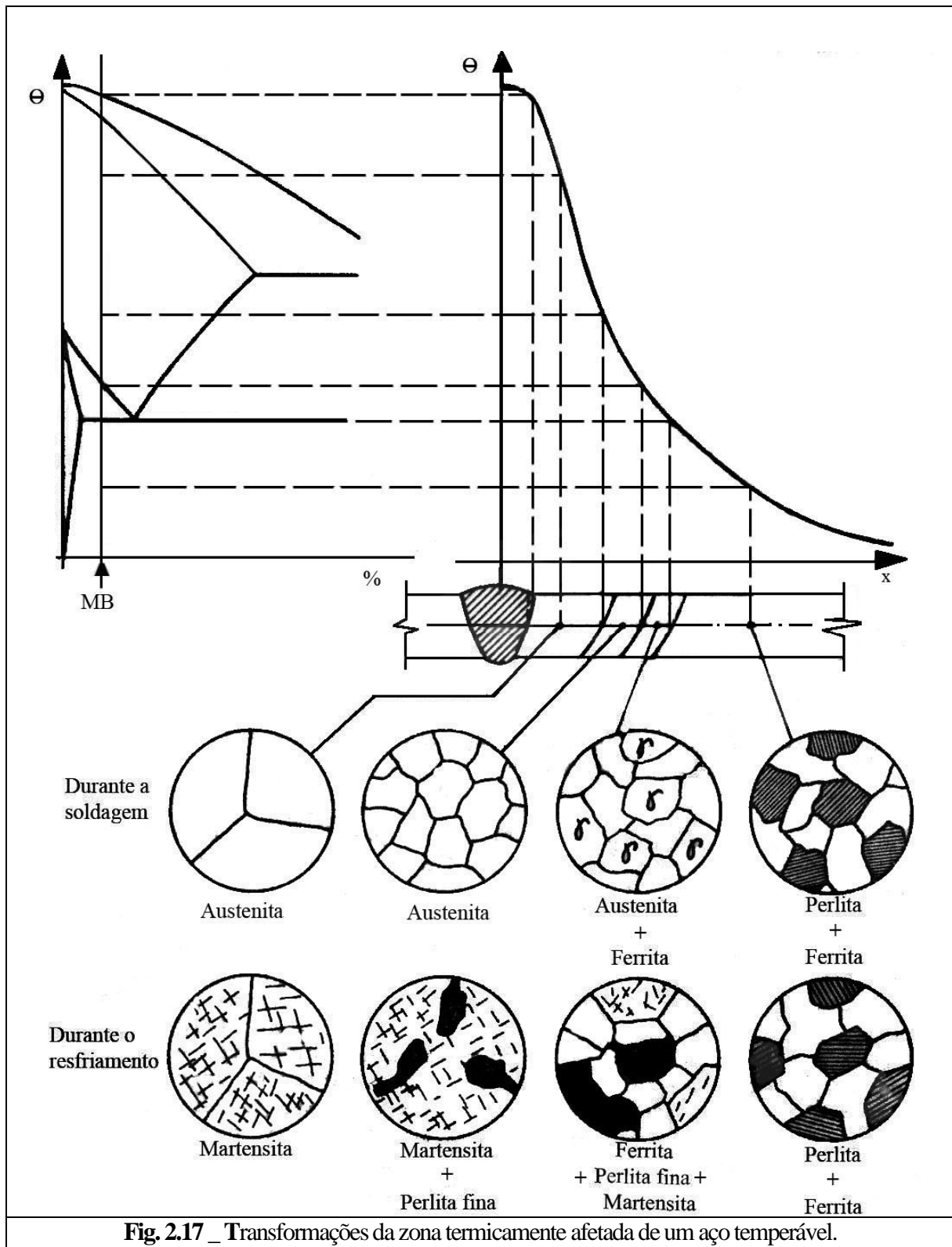
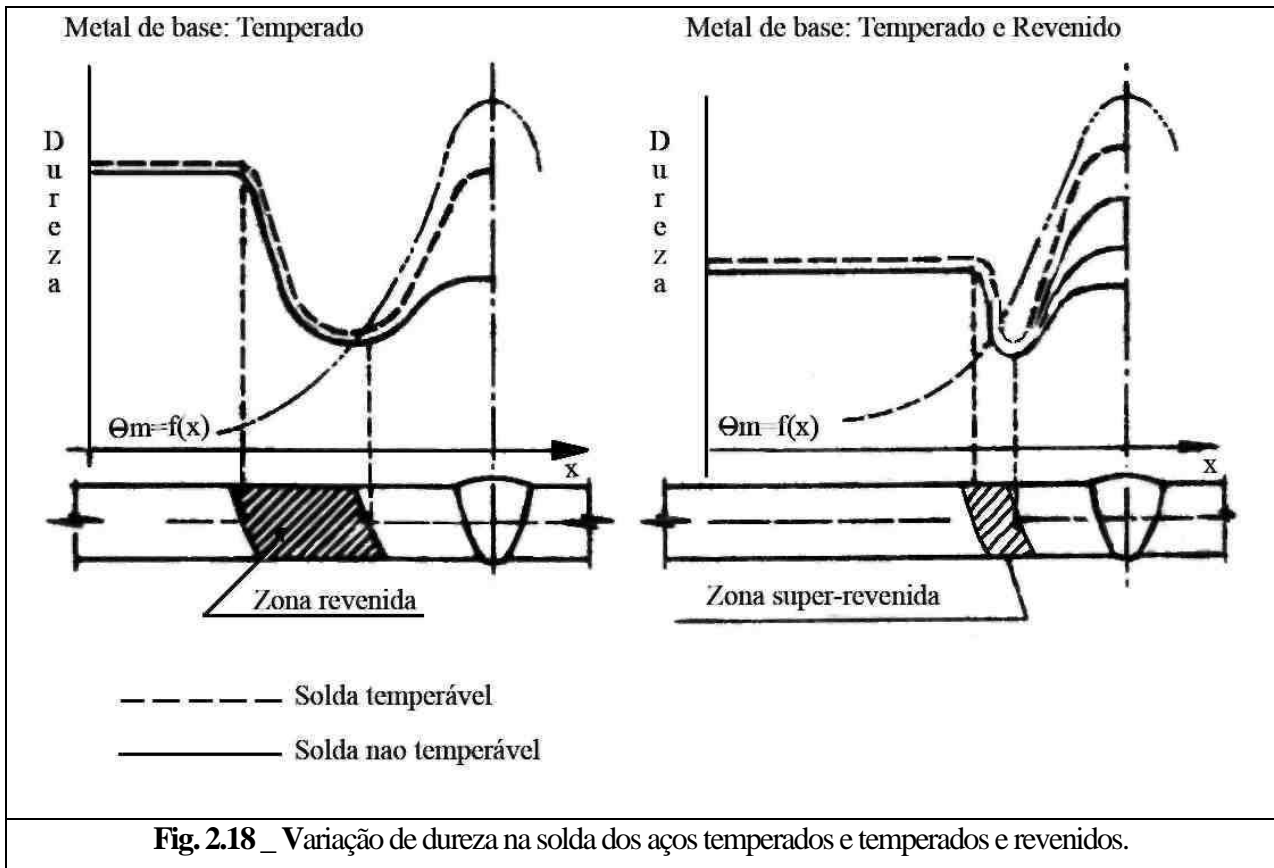


Fig. 2.17 \_ Transformações da zona termicamente afetada de um aço temperável.

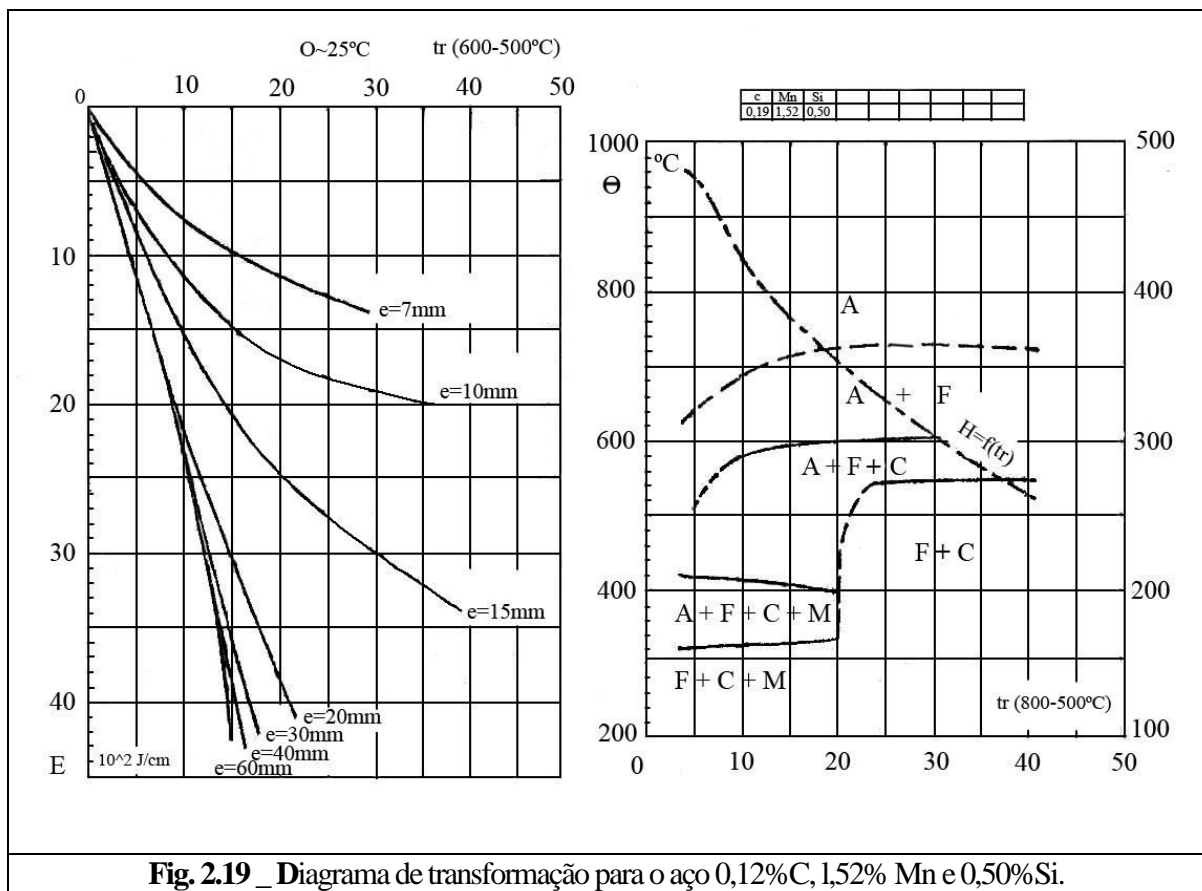
A existência de uma faixa super-revenida de menor dureza não compromete a resistência global da junta soldada. As bordas mais resistentes limitam a deformação da faixa compensando sua menor resistência. Entretanto este efeito, chamado de consolidação só é válido para faixas relativamente estreitas.



A escolha das condições de soldagem para a obtenção de propriedades previamente estabelecidas pode ser feita por meio de diagramas de transformação próprios para a soldagem (fig. 2.19). Com o gráfico A - válido para todos os aços ferríticos - determina-se o tempo de resfriamento (800-500 C), a partir da energia de soldagem e da espessura da peça. Em função do tempo de resfriamento, o diagrama fornece as temperaturas de transformação, os constituintes intermediários e finais e a dureza da zona termicamente afetada.

Convém lembrar que os diagramas de transformação isotérmica ou de resfriamento contínuo não se aplicam, com precisão, às soldas. A falta de homogeneização da austenita durante a soldagem é a razão principal dessa restrição.

A exceção da composição química do aço, os fatores que determinam a têmpera da solda são os mesmos que alteram a velocidade de resfriamento do ciclo térmico de soldagem (conforme 2.2.2).



**Fig. 2.19** \_ Diagrama de transformação para o aço 0,12%C, 1,52% Mn e 0,50%Si.

A influência da composição química na possibilidade de tempera das soldas dos aços carbono, carbono-manganês e micro-ligados pode ser expressa em função do carbono equivalente, isto é:

$$C_{eq} = \%C + (\%Mn / 6) + ((\%Cr + \%Mo + \%V) / 5) + ((\%Ni + \%Cu) / 15)$$

O carbono equivalente é útil para a avaliação da soldabilidade relativa destes aços. Por exemplo, aços com carbono equivalente maior que 0,40 necessitam de cuidados especiais para evitar a fissuração.

A têmpera, evidenciada pela dureza alta, acarreta inconvenientes como a fragilidade da martensita quando com teores elevados de carbono ou hidrogênio. Além disso, a variação de dureza no local da solda atua como entalhe metalúrgico diminuindo a resistência a fadiga da peça.

A dureza pode ser reduzida a valores aceitáveis por meio do tratamento térmico de revenimento. A fragilidade requer precauções especiais que serão comentadas no parágrafo 2.6.2.

#### 2.4.3 – Soldagem de metais e ligas não transformáveis:

Os metais e ligas sem ponto de transformação estão sujeitos ao crescimento irreversível dos grãos.

##### a) Micrografia:

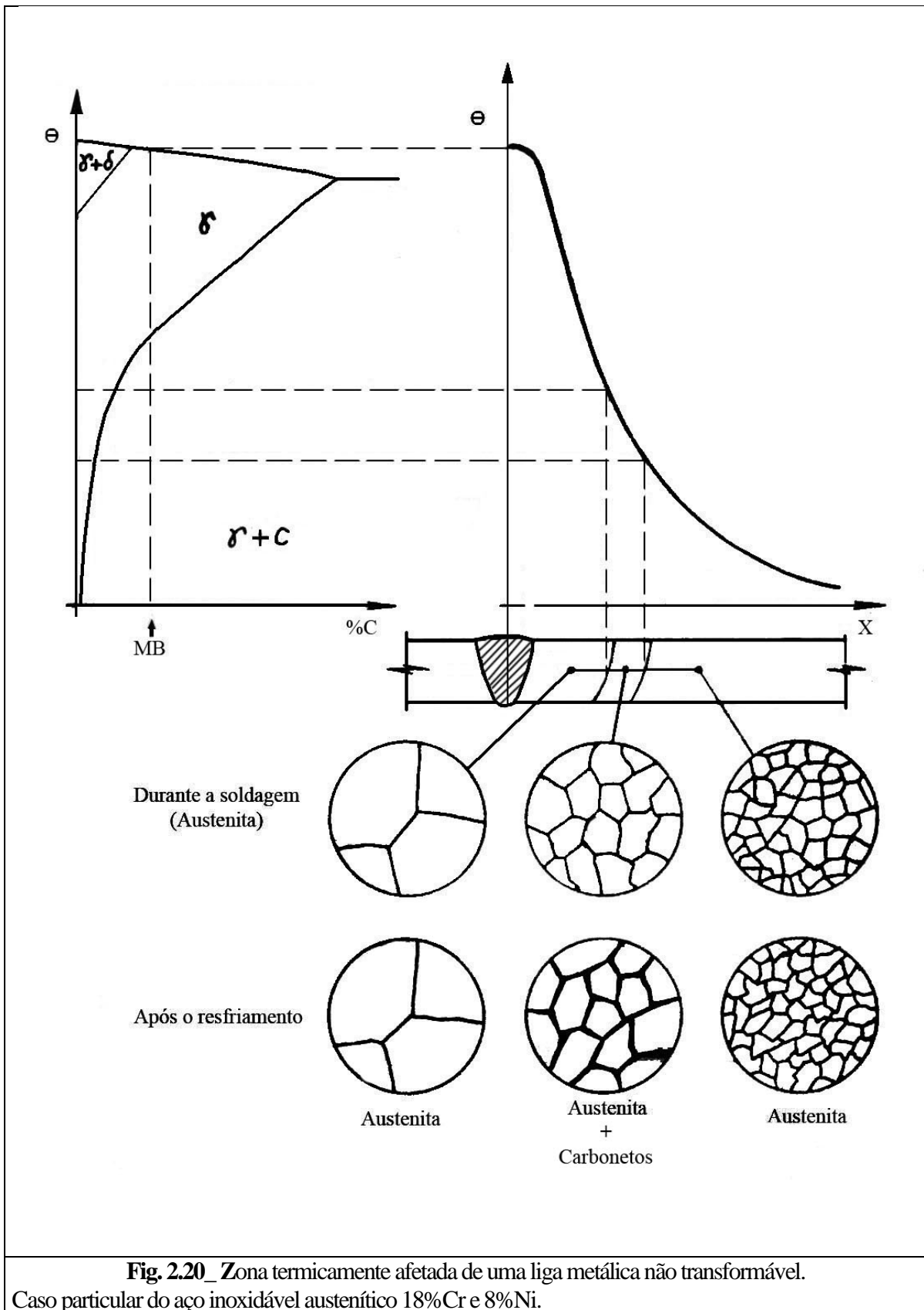
A zona termicamente afetada caracteriza-se pela granulação grosseira que se estende à zona fundida através da epitaxia e do crescimento competitivo dos grãos. No caso particular do aço inoxidável austenítico 18%Cr-8% Ni, ainda ocorre à precipitação de carboneto de cromo na faixa correspondente as temperaturas entre 420 e 870°C tornando o aço sensível à corrosão intergranular (figura 2.20).

**b) Propriedades mecânicas:**

A ausência de transformação impede a regeneração estrutural quer por meio de tratamento térmico como pela soldagem multipasse. A estrutura grosseira e orientada aumenta consideravelmente a fragilidade dos metais de estrutura cúbica de corpo centrado. Os aços inoxidáveis ferríticos não são soldáveis por fusão devido a essa fragilidade irreversível.

A estrutura cúbica de face centrada, graças a maior possibilidade de deformação, apresenta ductibilidade suficiente mesmo com o crescimento dos grãos. É o caso, por exemplo, dos aços inoxidáveis austeníticos, cuja soldabilidade é satisfatória.

A orientação da estrutura da zona fundida, mantida mesmo na soldagem multipasse, favorece a propagação da fissuração a quente.



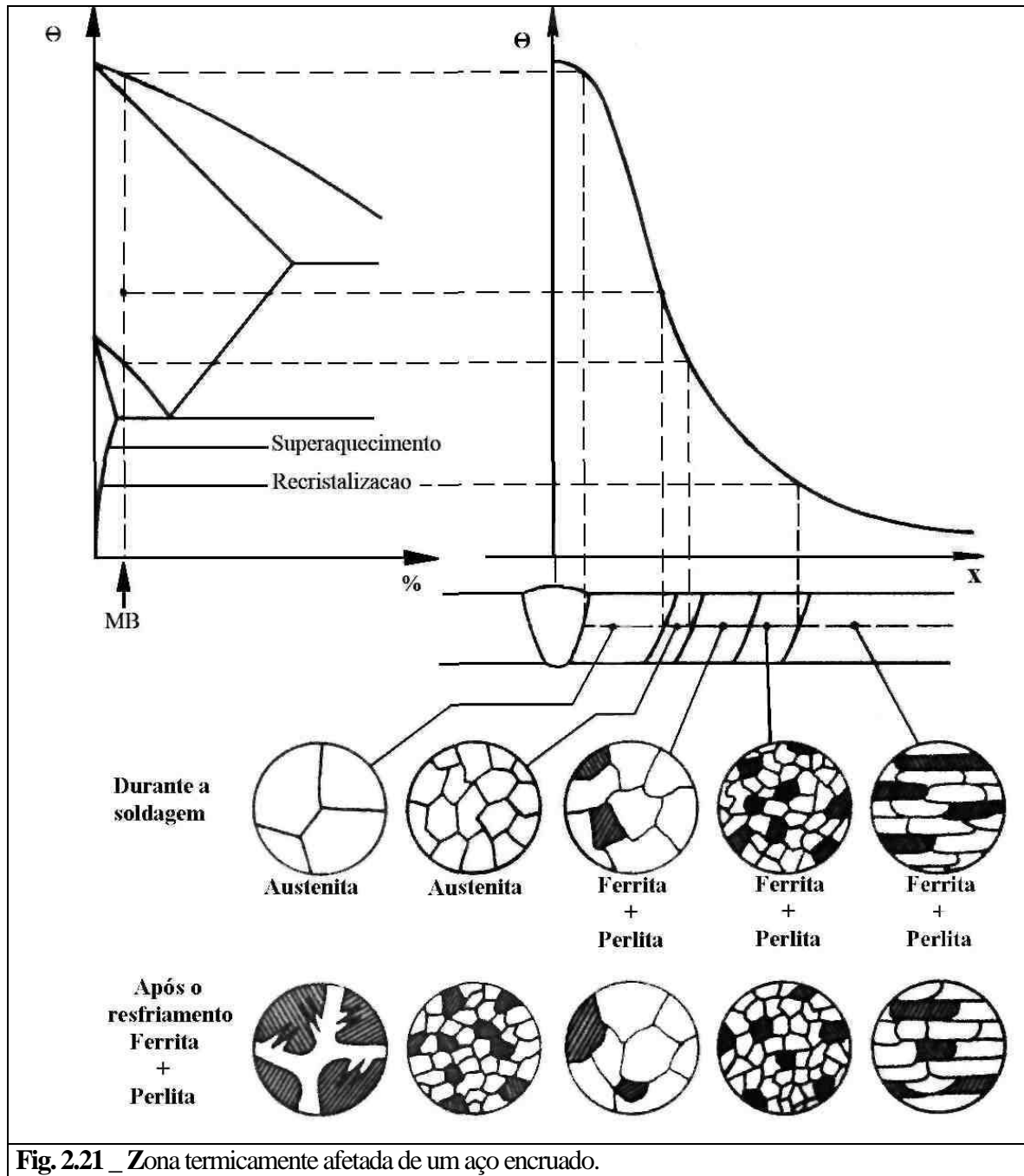
**Fig. 2.20** Zona termicamente afetada de uma liga metálica não transformável. Caso particular do aço inoxidável austenítico 18%Cr e 8%Ni.

2.4.4 – Soldagem dos metais encruados:

Os metais encruados, na zona termicamente afetada da solda são submetidos à recristalização e ao superaquecimento. Essas transformações podem estar associadas a modificação alotrópica como no caso dos aços.

a) Micrografia:

A zona termicamente afetada apresenta duas regiões de granulação grosseira. A mais distante da zona fundida corresponde ao crescimento de grãos que ocorre em temperatura superior a de recristalização (fig. 2.21). Se o aço ou a liga metálica não tiver ponto de transformação, existirá uma região superaquecida única e mais extensa.

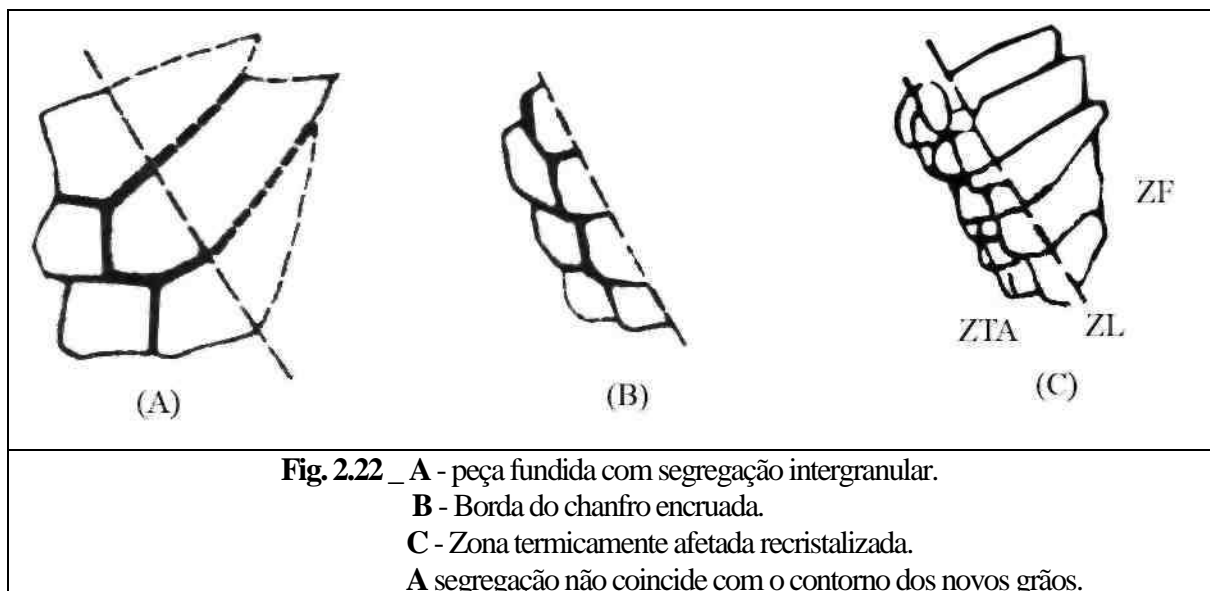
b) Propriedades mecânicas:

A recristalização e o superaquecimento diminuem a resistência mecânica do metal encruado. Se as regiões correspondentes da zona termicamente afetada forem estreitas, a resistência mecânica global da peça não será afetada, graças ao efeito de consolidação.

A extensão da zona recristalizada depende da forma da curva de repartição térmica, da temperatura de recristalização e do grau de encruamento. Esse último fator quando próximo do encruamento crítico pode resultar em granulação excessivamente grosseira.

O metal deformado plasticamente pode sofrer o envelhecimento e conseqüente fragilização, quando aquecido na faixa de 250 a 500°C. Isso pode ocorrer em regiões encruadas próximas à solda, como por exemplo: furos, rasgos e nervuras feitos por estampagem e, sobretudo, os perfis fabricados a frio. A situação é particularmente grave quando nestas regiões existem entalhes ou cantos vivos. A possibilidade de envelhecimento deve ser considerada nas chapas calandradas a frio, onde raio / espessura < 33.

A recristalização pode ser explorada para prevenir a fissuração a quente nas soldas de peças fundidas de aço de alta liga. As regiões segregadas tendem a se estender a zona fundida da solda pelo mecanismo de epitaxia. A deformação plástica das bordas do chanfro e a recristalização eliminam a coincidência da segregação com o contorno dos grãos, diminuindo as possibilidades de propagação e fissuração a quente das regiões segregadas (fig. 2.22).

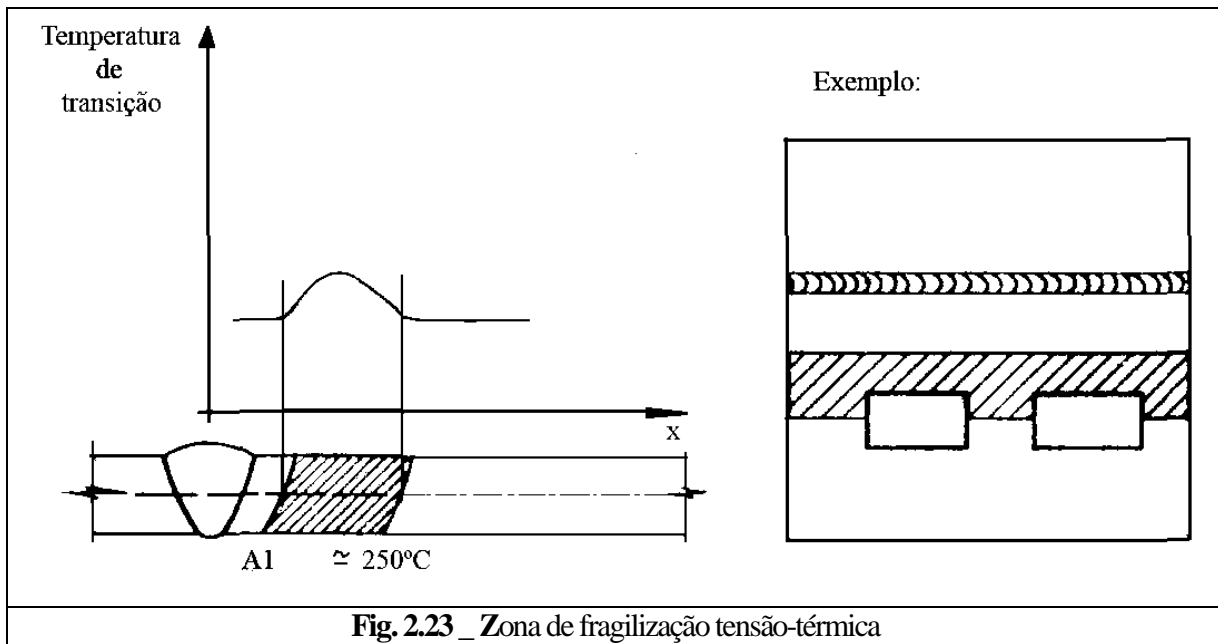


**Fig. 2.22** \_ A - peça fundida com segregação intergranular.  
 B - Borda do chanfro encruada.  
 C - Zona termicamente afetada recristalizada.  
 A segregação não coincide com o contorno dos novos grãos.

## 2.5 – ZONA DE FRAGILIZAÇÃO TENSO-TÉRMICA TRANSFORMAÇÕES ASSOCIADAS À DEFORMAÇÃO E AO AQUECIMENTO SIMULTÂNEO:

Os aços carbono quando deformados plasticamente e aquecidos à temperatura relativamente moderadas sofrem uma diminuição de ductilidade atribuída ao envelhecimento. O metal de base, nas vizinhanças da solda é submetido simultaneamente à deformação plástica e ao aquecimento. Nessas condições, se o aço é sensível ao envelhecimento, ocorre uma redução de ductilidade denominada fragilização tensão-térmica (fig.2 . 2 3 ).





A redução de resiliência é preocupante quando na zona fragilizada existem entalhes como ilustra o exemplo da fig. 2.23.

O problema pode ser resolvido com a escolha de aço cuja temperatura de transição seja suficientemente baixa para que mesmo com a fragilização tenso-térmica, permaneça inferior aos valores desejados. O tratamento térmico de normalização é também uma solução. A recuperação da dutibilidade pode ainda ocorrer pelo coalescimento dos precipitados durante o tratamento térmico de alívio de tensões.

## 2.6 – DIFICULDADES E DEFEITOS PRÓPRIOS DA SOLDAGEM:

### 2.6.1 – Tensões residuais e deformações:

Resultantes do aquecimento localizado, as tensões residuais e as deformações são os principais inconvenientes da soldagem.

### 2.6.2 – Fissuração a frio dos aços ou fissuração provocada pelo hidrogênio:

A fissuração a frio é conseqüência da ação simultânea de três fatores: a têmpera da zona fundida ou zona termicamente afetada, o hidrogênio dissolvido no metal fundido e as tensões associadas ao aquecimento localizado da operação de soldagem. Nenhum desses fatores, isoladamente, provoca a fissuração a frio, pelo menos nos aços considerados soldáveis.

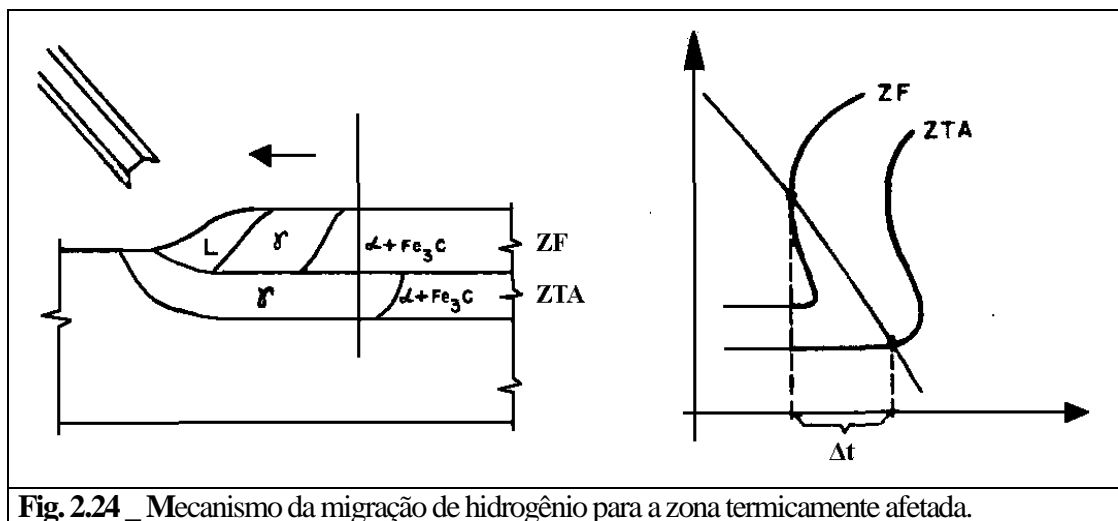
O mecanismo da fissuração pode ser estabelecido em função dos seguintes pontos:

a) Compostos que contém hidrogênio, como por exemplo, o vapor d'água, se decompõem na atmosfera do arco gerando hidrogênio atômico ou iônico (H+). As principais fontes de hidrogênio são:

- revestimento orgânico dos eletrodos;
- umidade absorvida pelo revestimento dos eletrodos, particularmente os de baixo hidrogênio;
- umidade do fluxo, na soldagem a arco submerso;
- compostos hidratados existentes na peça, como por exemplo, a ferrugem;
- umidade do ar.

b) A solda, no estado líquido, dissolve quantidades apreciáveis de hidrogênio. A solubilidade decresce com a temperatura e de forma descontínua na solidificação, fixação e nas modificações alotrópicas, conforme mostra a fig. 2.8. Conseqüentemente, na fase final do resfriamento ao sol da estrutura supersaturada em hidrogênio.

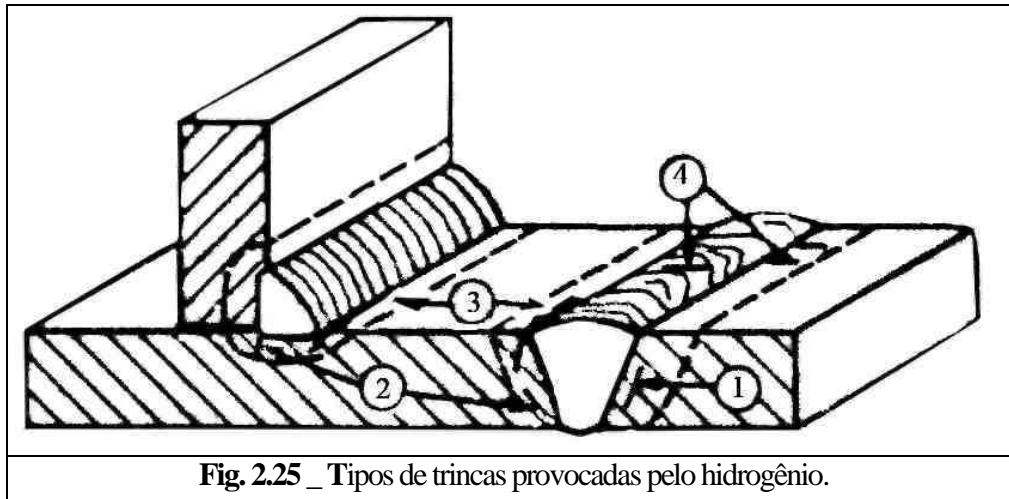
c) Quando a temperabilidade da zona fundida é inferior a da zona termicamente afetada - que é uma situação relativamente freqüente em virtude do menor teor de carbono da solda - o hidrogênio pode migrar para esta última zona. A fig. 2.24 mostra que a defasagem ( $\Delta t$ ) entre as transformações  $\delta - \alpha$  (ou martensita) propicia a difusão do hidrogênio. Nesse intervalo de tempo - indicado pela reta R - a zona termicamente afetada, no estado  $\delta$ , esta mais apta a receber o hidrogênio que está sendo expulso da zona fundida em virtude da supersaturação. O hidrogênio fica retido na zona fundida, quando sua temperabilidade é superior ou quando tem estrutura austenítica.



**Fig. 2.24** \_ Mecanismo da migração de hidrogênio para a zona termicamente afetada.

d) A martensita saturada em hidrogênio é consideravelmente frágil. A solda, em virtude de sua composição química e das condições térmicas da soldagem, pode temperar parcial ou totalmente. Nessas condições e na fase final do resfriamento apresentará regiões martensíticas saturadas em hidrogênio e submetidas a um sistema de tensões residuais, cuja intensidade é próxima do limite de escoamento da zona fundida.

A ação simultânea desses três fatores é responsável pelo aparecimento de trincas que se manifestam segundo os tipos apresentados na fig. 2.25. A tempera poderá ser inevitável como no caso dos aços liga ou por descuido, como por exemplo em peças pré-aquecidas incorretamente.



1. trinca sob cordão (underbead crack)
2. trincas na raiz (root crack)
3. trincas na margem da solda (toe crack)
4. trincas transversais (transverse crack)

e) Os entalhes, como por exemplo, mordeduras, penetração incompleta e inclusões, promovem, através da concentração de tensões, deformações plásticas locais que põem em movimento as discordâncias da estrutura cristalina. O hidrogênio, conduzido pelas discordâncias, aumenta sua concentração local, favorecendo a fissuração junto aos entalhes. As trincas dos tipos 2 e 3 resultam desse fato.

f) A maior parte do hidrogênio em supersaturação se difunde e abandona a solda após um tempo que, como em todo mecanismo de difusão, depende da temperatura. Os dados da tabela 2.1 ilustram a difusão do hidrogênio a temperatura ambiente. A 250°C o hidrogênio difusível é eliminado em poucas horas.

Processo	Concentrações de hidrogênio em mg/100g			
	Solda líquida	Liberado nas primeiras 24 horas	Liberado nos 20 dias sub-sequentes	Residual
Eletrodo revestido E 6010	28	10	3	15
Eletrodo revestido E 6012	15	6	2	7
Eletrodo revestido E 6015	8	2	1	5
TIG (argonio)	4	1	0	3

**Tabela 2.1 \_ Evolução do hidrogênio nas soldas.**

Por intermédio destes dados, vê-se que o risco de fissuração é temporário, existindo enquanto o hidrogênio estiver se desprendendo da solda.

É evidente a vantagem do pós-aquecimento de soldas sensíveis à fissuração a frio, pois, nessas condições - por exemplo,

a 250°C durante 2 horas, o hidrogênio é eliminado enquanto a temperatura da soldagem é bem superior à temperatura de transição.

g) É útil destacar que o exame radiográfico não permite detectar certos tipos de trincas, especialmente as sob cordão, sendo necessário o exame ultra-sônico. Além disso, as trincas podem aparecer ou se propagar várias horas após a conclusão da soldagem, tornando recomendável a aplicação dos ensaios não destrutivos com uma defasagem de 48 horas. Esta recomendação se aplica, é claro, as soldas sem pós-aquecimento.

h) A fragilidade da martensita depende da composição química do aço. Sabe-se que a ação fragilizante do hidrogênio é muito mais pronunciada nas martensitas ricas em carbono. Os aços com teor de carbono superior a 0,30% são sensíveis à fissuração a frio mesmo com quantidades reduzidas de hidrogênio. É provável que o silício se comporte como o carbono e que o níquel inverta essa tendência. Tendo-se em vista a interdependência dos fatores da fissuração, o critério de soldabilidade baseado no carbono equivalente só tem validade para níveis iguais de hidrogênio e tensões.

	E 6010	E 6011	E 6020 / E 6012 E 6013	E 7024 / E 7014 E 6027	E 7016 / E 7015
Teor de umidade tolerável do revestimento (1) (%)	3 a 5	2 a 4	Menor que 1	Menor que 0,5	Menor que 0,4
Umidade relativa ambiente para estocagem a 25°C ± 10°C (%)	20 a 60	20 a 60	60 max	60 max	50 max
Temperatura de secagem durante 1 hora (°C)	Seguir a recomendação do fabricante		130 ± 20	130 ± 20	290 ± 30
Temperatura de permanência em estufa depois da secagem (°C)	Ídem		40 a 50	40 a 50	60 a 170

Notas: (1) O teor de umidade dos revestimentos de baixo hidrogênio são determinados conforme a especificação AWS A5.5.

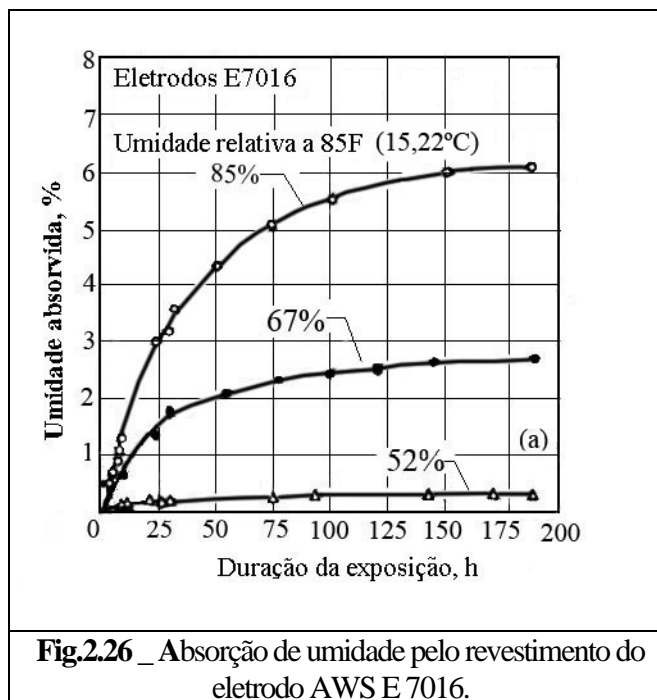
(2) Os eletrodos expostos por mais de uma hora ou que não tenham sido usados no mesmo dia devem ser submetidos à secagem durante 8 horas.

(3) Dados retirados do Metals Handbook – vol. 6 8ª. edição.

**Tabela 2.2 \_ Recomendações relativas à umidade e secagem de eletrodos revestidos (3)**

i) As medidas preventivas da fissuração a frio são agrupadas em torno de seus três fatores, a saber:

i.1) Teor em hidrogênio: A atmosfera do arco deve ter o menor teor possível em hidrogênio. Os eletrodos de baixo hidrogênio foram desenvolvidos com este propósito. Entretanto, tais revestimentos são altamente higroscópicos como ilustra a figure 2.26.



Em conseqüência a secagem e o manuseio desses eletrodos são de importância fundamental na prevenção do problema.

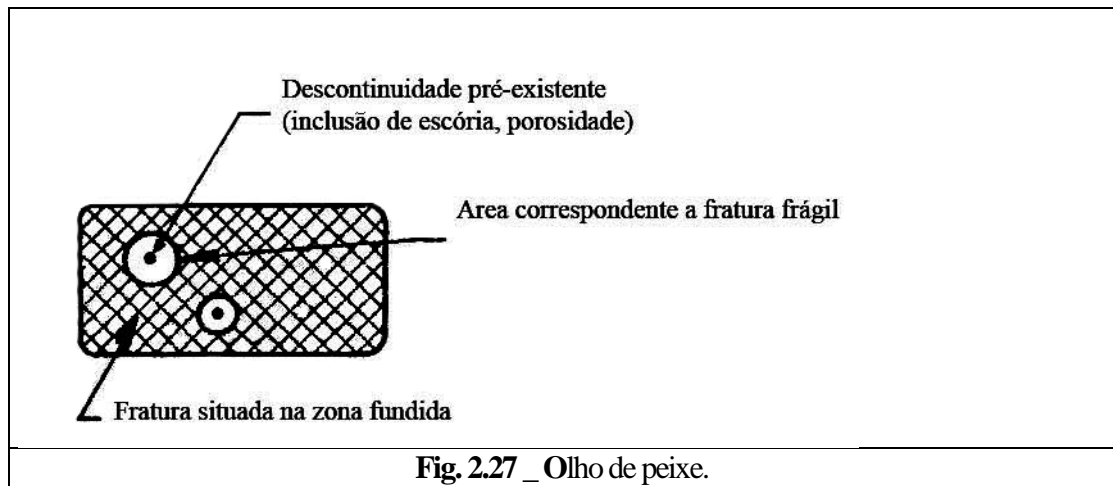
A Tabela 2.2 apresenta as recomendações de estocagem, secagem e manuseio dos diferentes tipos de eletrodo. As exigências nesse sentido são tanto mais necessárias quanto maior for a umidade relativa ambiente e mais críticos são os outros dois fatores. A secagem do fluxo, na soldagem a arco submerso, embora menos necessária em face de maior energia de soldagem, é uma medida a ser considerada no caso dos fluxos básicos.

i.2) **Têmpera:** Quando pode ser evitada ou diminuída é um dos recursos preventivos. O preaquecimento, o aumento da energia de soldagem, a escolha do metal de adição de menor resistência possível, contribuem para a redução do risco de fissuração. A alta severidade térmica das soldas provisórias - fixação de dispositivos de montagem é, freqüentemente, a origem de trincas.

i.3) **Tensões:** A soldagem com o menor grau de restrição possível é uma medida útil. O tensionamento das juntas soldadas contribui para fissuração, especialmente se for levado em conta que a deformação plástica - através da movimentação das discordâncias - eleva a concentração de hidrogênio na extremidade dos entalhes. Assim, deve-se considerar a ação de esforços como exemplo: peso próprio, contração de outras soldas, testes de pressão, dispositivos para correção de deformações, etc.

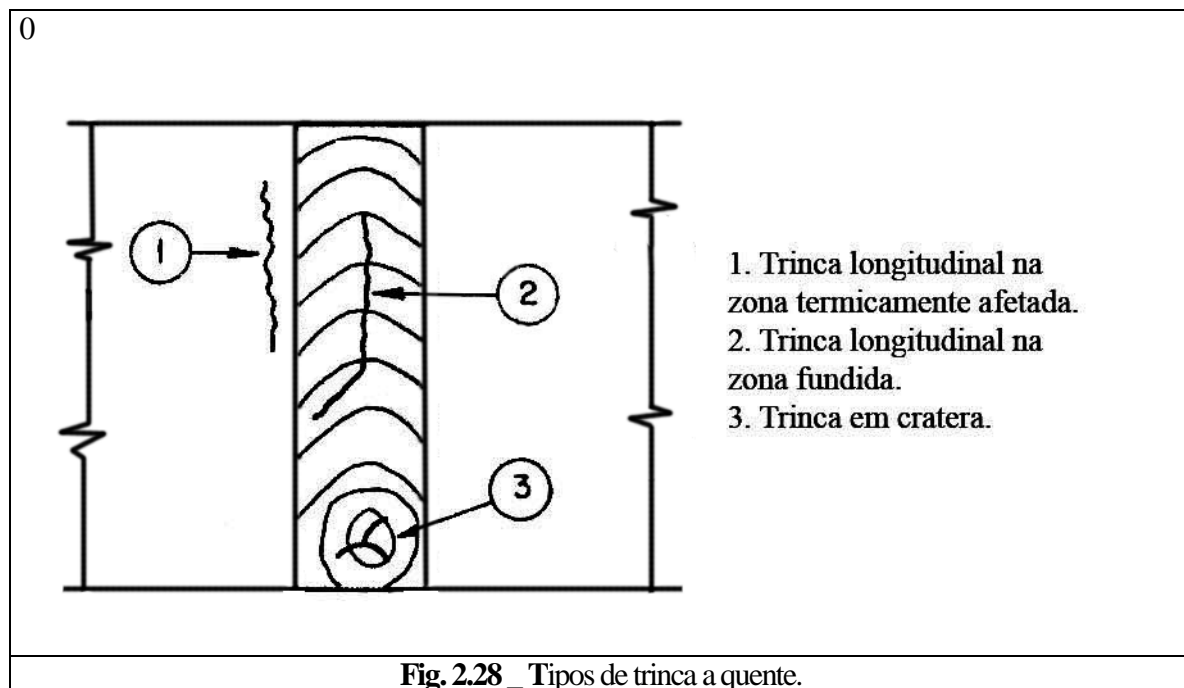
O teor de umidade excessivo dos revestimentos - acima de 5% para os eletrodos E-6010 e acima de 1 a 2% para os de baixo hidrogênio - pode provocar, além de trincas, a porosidade da solda. Esse defeito não deve ser confundido com a porosidade (geralmente vermiforme) resultante da falta de adaptação do soldador as características de operação dos eletrodos de baixo hidrogênio. A secagem dos eletrodos E-6010 e E-6011 deve obedecer as instruções de seu fabricante face ao risco de calcinação da celulose.

A fratura do corpo de prova do ensaio de tração ou de dobramento pode evidenciar a presença do hidrogênio através de defeitos conhecidos como "olho de peixe" (fish eye) (fig. 2.27). Durante a deformação plástica o hidrogênio é conduzido para pequenas cavidades como, por exemplo, as inclusões. A elevação de pressão na cavidade e a fragilização pelo hidrogênio das suas imediações provocam a fratura frágil local.



### 2.6.3 – Fissuração a quente:

Como já foi comentado, a fissuração a quente resulta da segregação de fases de ponto de fusão mais baixo que o metal da zona fundida ou da zona termicamente afetada. Os grãos envolvidos por um filme líquido não dispõem de resistência mecânica e ductilidade suficientes para suportar os esforços devidos à contração da solda. As trincas são do tipo intergranular e se manifestam macroscopicamente, como indica a fig. 2.28.



As medidas preventivas estão relacionadas aos dois fatores principais da fissuração, isto é, a existência de uma pequena quantidade de fase pré-fusível e os esforços de contração.

#### a) Fase pré-fusível:

O fósforo e o enxofre, em teores superiores a 0,04%, são os principais causadores da fissuração a quente dos aços carbono e de baixa liga. O fósforo, associado ao ferro, manganês, níquel e cromo, forma eutéticos de baixo ponto de fusão. O baixo ponto de fusão do sulfeto de ferro (Fe S) é o responsável pela ação nefasta do enxofre.

No caso do fósforo a solução consiste em limitar o seu teor. Atualmente, a maioria das soldas tem teores de fósforo situados entre 0,02 e 0,03%, atingindo, em alguns aços de alta resistência, valores inferiores a 0,01%. Além da limitação

do seu teor, a influência do enxofre pode ser anulada pela adição de manganês. O sulfeto de manganês solidifica-se em forma de inclusões evitando a formação do filme líquido que conduz a fissuração a quente. A quantidade de manganês deve ser 1,75 vezes maior que a de enxofre. A soldagem de chapas com carepa ou óxidos pode resultar na oxidação de parte do manganês não permitindo a fixação de todo o enxofre. Nessas condições a solda pode apresentar fissuras a quente.

O silício também aumenta a suscetibilidade a fissuração. Os teores limites dependem do tipo de aço; alguns aços são afetados com teores da ordem de 0,75% outros toleram até 1,5%. Em soldas de alta resistência, o teor de silício é limitado em 0,35% pela sua ação prejudicial sobre a resiliência - como, por exemplo, nos eletrodos da série E-100. A fissuração a quente assume uma importância fundamental na soldagem do níquel e suas ligas. A contaminação da solda com compostos sulfetados - como lubrificantes produtos de corrosão, lápis indicador de temperatura - resulta na formação de sulfeto de níquel que se segrega no contorno dos grãos e nos espaços interdendríticos. Decorrem desse fato as exigências de limpeza na soldagem das ligas de níquel.

Estruturas totalmente austeníticas pré dispõem os aços inoxidáveis a fissuração a quente. É o caso dos aços 25%Cr-20%Ni e 18%Cr-38%Ni. Constata-se também que pequenas quantidades de ferrita tornam o aço imune a fissuração. O teor adequado de ferrita depende do grau de restrição da solda e da quantidade e natureza dos elementos de liga ou impurezas presentes. Para os aços 18%Cr-10%Ni e 25%Cr-12%Ni o teor recomendável situa-se entre 3 a 8%.

Esse teor é obtido pela seleção do metal de adição, com o auxílio do diagrama de Schaeffler. Admite-se que a ação benéfica da ferrita está relacionada à sua posição nos espaços interdendríticos e a maior solubilidade quanto aos elementos causadores da fase pré-fusível: fósforo, enxofre, nióbio, silício, oxigênio, entre os de pior reputação. Os aços inoxidáveis austeníticos estabilizados com nióbio são também sensíveis à fissuração a quente.

#### b) Esforços de contração:

A fissuração a quente é, em resumo, a incapacidade do metal de se deformar sob a ação dos esforços inerentes a soldagem. Algumas medidas preventivas podem ser tomadas para reduzir os esforços atuantes sobre a zona fundida na fase inicial do resfriamento. A diminuição da energia de soldagem, usando-se eletrodos de pequeno diâmetro é um exemplo. A soldagem com o mínimo de restrição a contração ou a transferência dos esforços da zona fundida para dispositivos de montagem são providências úteis.

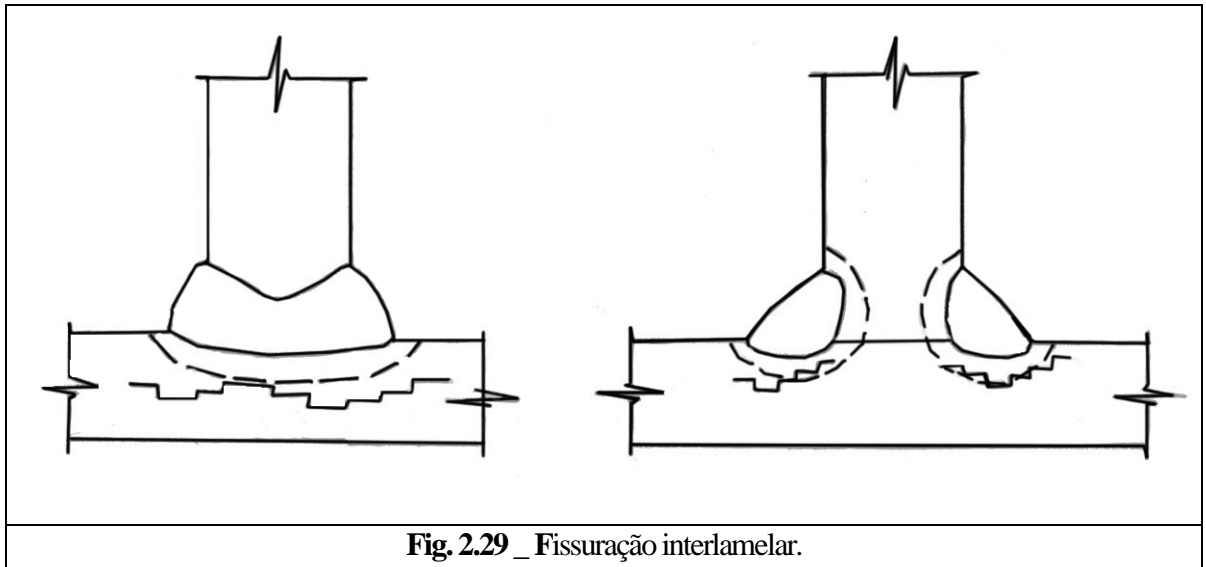
O final da solda - a cratera - é uma região suscetível à fissuração devido aos elevados esforços de contração resultantes da solidificação rápida (fig. 2.28). A extinção gradativa do arco elétrico por meio de dispositivo especial (crater filler) e a melhor solução. O esmerilhamento da cratera e outra solução.

Mesmo que as medidas preventivas sejam adotadas é aconselhável à inspeção com líquido penetrante de cada camada das soldas sensíveis à fissuração a quente.

#### 2.6.4 – Fissuração interlamelar:

A fissuração interlamelar pode ocorrer quando os esforços de contração da solda são perpendiculares ao plano de laminação e o grau de restrição imposto a essa contração é elevado. As trincas aparecem próximas a zona termicamente afetada e com o aspecto mostrado na figura 2.29.

A possibilidade de fissuração interlamelar depende de três fatores principais: a ductilidade reduzida na direção normal ao plano de laminação ou forjamento, o tipo de junta e o grau de restrição da estrutura soldada.

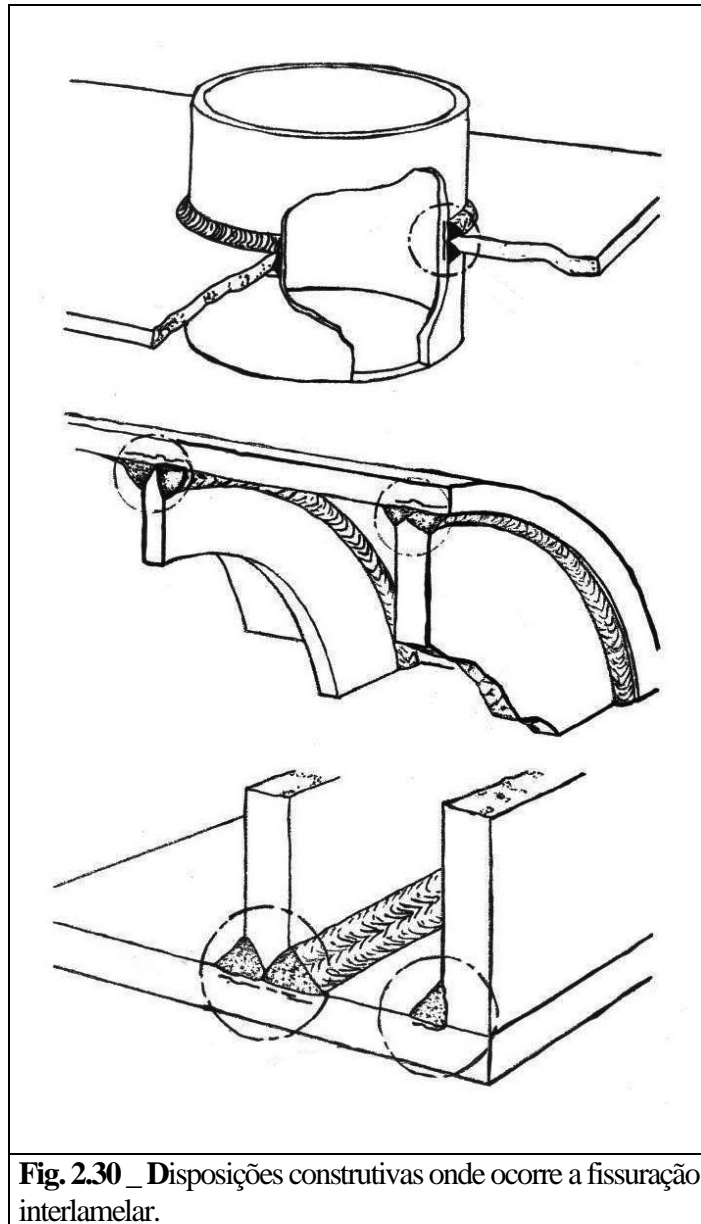


**Fig. 2.29** \_ Fissuração interlamelar.

a) Ductilidade ao longo da espessura:

A suscetibilidade do material a fissuração interlamelar está relacionada a quantidade e ao tipo de inclusões. A concentração elevada de inclusões alongadas é responsável pela redução da ductilidade ao longo da espessura e a conseqüente predisposição à fissuração. O modo de elaboração do aço tem influência marcante sobre esse fator. Os ensaios para avaliação do comportamento do aço quanto à fissuração interlamelar estão ainda em estudo.

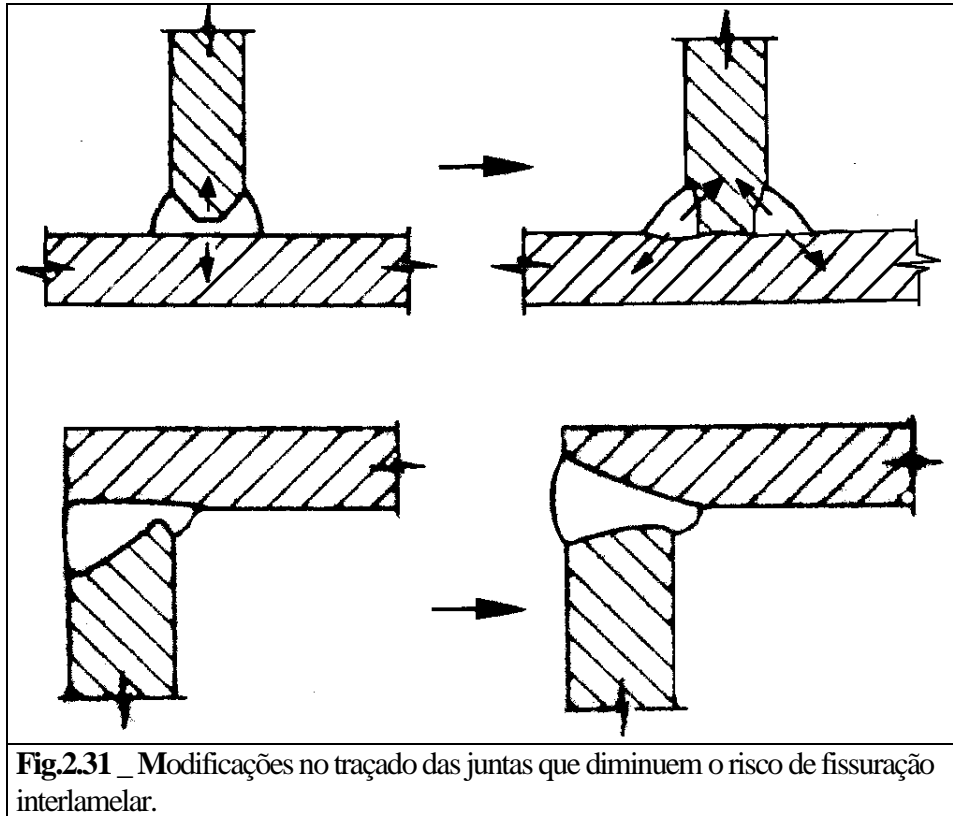




b) Tipo de junta:

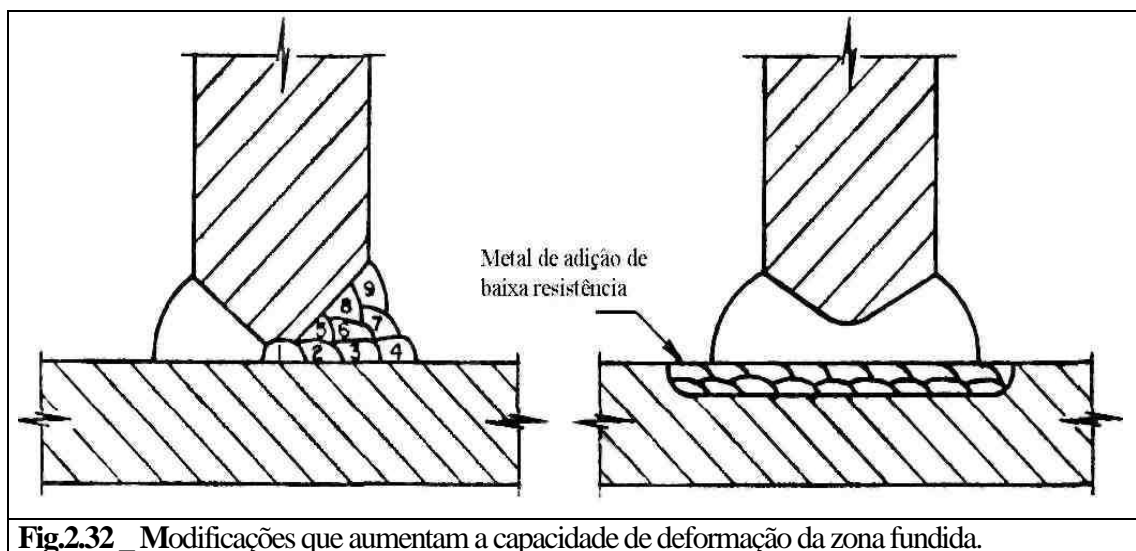
A fissuração é mais freqüente nas juntas em “T” ou em angulo com soldas em angulo ou de topo. A fig. 2.30 mostra as disposições construtivas mais sensíveis ao problema.

Vê-se, portanto, que as providências preventivas devem ser tomadas na fase de projeto do equipamento, no tocante ao traçado da peça e das juntas soldadas. A fig. 2.31 mostra dois exemplos.



c) Grau de restrição:

Testes de laboratório mostraram que, mesmo os aços sensíveis, só apresentam trincas interlamelares quando a solda é realizada com elevado grau de restrição. Entende-se por grau de restrição a dificuldade que a estrutura tem em absorver a expansão e a contração provocadas pela soldagem.



O uso de metal de adição de baixa resistência - compatível, é claro, com o trabalho da junta - modificação da seqüência de soldagem e o revestimento ou amanteigamento (buttering), são precauções úteis que visam aumentar a capacidade de deformação da zona fundida (figura 2.32).

O exame ultra-sônico, com a frequência de 2 MHz, é o método de inspeção recomendável para a detecção desse tipo de defeito.

### 2.6.5 – Fissuração durante o reaquecimento:

São trincas intergranulares situadas na zona termicamente afetada que ocorrem no reaquecimento após a conclusão da soldagem. O reaquecimento pode ser o tratamento térmico de alívio de tensões bem como a entrada em serviço de estruturas no estado bruto de soldagem.

As causas e fatores de influência não foram ainda elucidados. Tudo indica que os aços carbono e carbono-manganês, normalmente usados na fabricação de vasos de pressão, não sejam sensíveis ao problema. A suscetibilidade parece ser pronunciada nos aços resistentes à fluência (creep) e aços de alta resistência. O aço USS T-1 (ASTM A-517 grau F) apresenta uma tendência acentuada a essa fissuração.

A providência aconselhável nesse caso refere-se à inspeção. É recomendável a inspeção com líquido penetrante ou partículas magnéticas, após o tratamento térmico, das soldas dos aços cromo-molibdênio, cromo-molibdenio-vanádio e de alta resistência.

### 2.6.6 – Contaminações:

Limpeza deficiente ou existência de revestimento são as causas mais freqüentes da contaminação das soldas, isto é, da modificação, com inconvenientes, de sua composição química.

O carbono proveniente de óleo, graxa, lubrificante, à base de grafite e de resíduos de goivagem com eletrodo de carvão, reduz a ductilidade das soldas.

O zinco geralmente oriundo de peças galvanizadas ou recobertas com tinta rica em zinco tem várias conseqüências indesejáveis. Promove a fissuração a quente dos aços especialmente quanto mais elevado e o teor de elementos de liga e maior e o grau de restrição imposto à solda. O zinco fundido penetra nos aços - notadamente nos aços liga - ocasionando a fissuração. Resulta disso a contra-indicação de arames e fitas galvanizadas para fixação do isolamento para o tratamento térmico de alívio de tensões. O zinco é um metal volátil e seus vapores têm efeitos fisiológicos prejudiciais ao soldador. Os processos de soldagem que desenvolvem grande quantidade de escoria dificultam a efusão dos vapores provocando a porosidade.

O cádmio, o chumbo e o estanho, usados em revestimentos, têm ação semelhante ao zinco produzindo a fissuração a quente dos aços soldados por fusão.

O alumínio exerce três efeitos metalúrgicos distintos. Pode formar com o ferro uma liga acentuadamente frágil. Quando em menor quantidade, se dissolve na ferrita transformando o aço em “ferrítico”, sem ponto de transformação. Provoca, em conseqüência, a granulação grosseira, cuja fragilidade é irrecuperável por tratamento térmico. O terceiro efeito é sua grande afinidade pelo oxigênio, formando a alumina que torna a escoria viscosa e de difícil decantação. Essas dificuldades devem ser levadas em conta na soldagem dos materiais aluminizados que começam a ser empregados nas refinarias.

O cobre, no estado líquido, pode penetrar no contorno dos grãos promovendo a fissuração.

Os compostos de enxofre, mesmo em pequena quantidade, causam a fissuração a quente das ligas de níquel.

A carepa de laminação e a ferrugem podem alimentar a reação de efervescência que é uma das causas da porosidade. Essas considerações tornam evidente a necessidade de limpeza e preparação das peças a soldar.

### 2.6.7 – Aberturas de arco:

Abertura de arco (arc strike) e a alteração superficial da peça resultante do estabelecimento momentâneo do arco elétrico. A curta duração do arco provoca o aquecimento local entre as temperaturas  $A_{c1}$  e  $A_{c3}$ , e o resfriamento extremamente rápido. O resultado é a formação de martensita com alto teor em carbono e, portanto, frágil. Pequenas trincas existentes

nesses locais podem atuar como início de uma ruptura frágil. O esmerilhamento dos pontos afetados é um remédio recomendável.

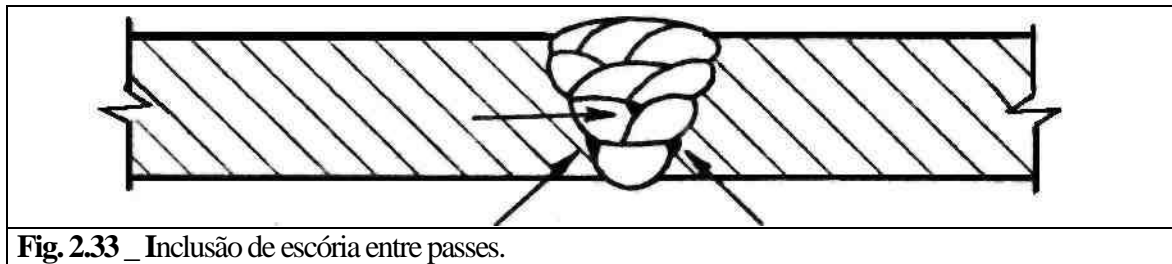
Na soldagem TIG do alumínio a abertura de arco é um descuido que deve ser evitado. O depósito de minúsculas partículas de tungstênio provoca a corrosão galvânica do alumínio, especialmente quando em contato com ácido nítrico concentrado.

#### 2.6.8 – Porosidade inicial:

Os eletrodos das series E-100, E-110 e E-120 tem teores de silício inferiores a 0,35% para não prejudicar a resiliência da solda. Essa quantidade é insuficiente para desoxidar a solda no início da deposição do eletrodo, acarretando a formação da porosidade inicial. A medida preventiva usada é o método conhecido como início em "back-step", isto é, o soldador inicia a deposição do eletrodo a 25 mm do ponto desejado e em sentido contrario. Depositados os 25 mm de solda, ele inverte o sentido da soldagem refundindo e eliminando a porosidade inicial.

#### 2.6.9 – Inclusão de escoria:

Entre os diferentes tipos de inclusões de escória, merece destaque a inclusão entre passes ("wagons tracks") - fig. 2.33.



**Fig. 2.33 \_ Inclusão de escória entre passes.**

A convexidade dos passes e a aderência da escoria são as causas principais desse defeito que ocorre freqüente na soldagem com eletrodos de baixo hidrogênio quando a remoção de escoria é descuidada.

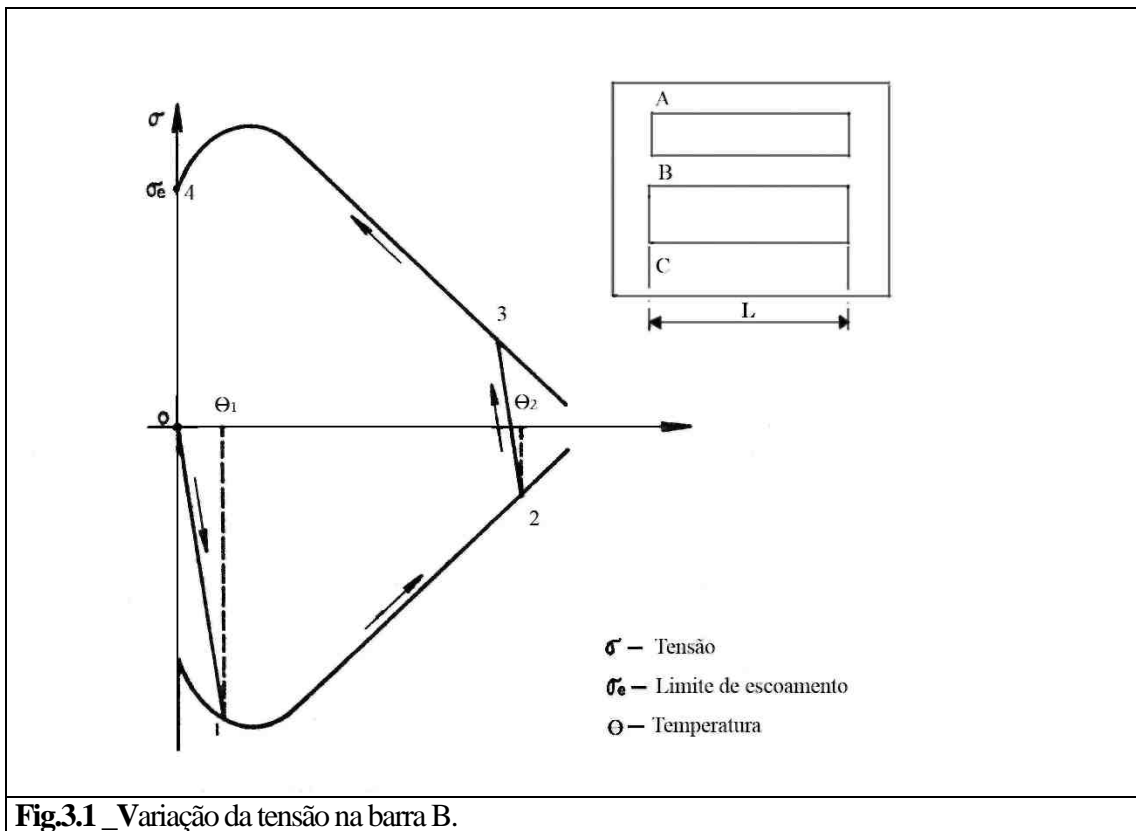
### 3 – TENSÕES E DEFORMAÇÕES EM SOLDAGEM:

A soldagem, devido ao aquecimento localizado, provoca tensões residuais e deformações que devem ser levadas em conta no projeto e fabricação dos equipamentos.

#### 3.1 – ANALOGIA DA BARRA AQUECIDA:

Considere um dispositivo constituído de 3 barras engastadas entre suportes fixos, inicialmente à temperatura ambiente (figura 3.1). Admita, agora, que a barra B seja aquecida independentemente das outras duas.

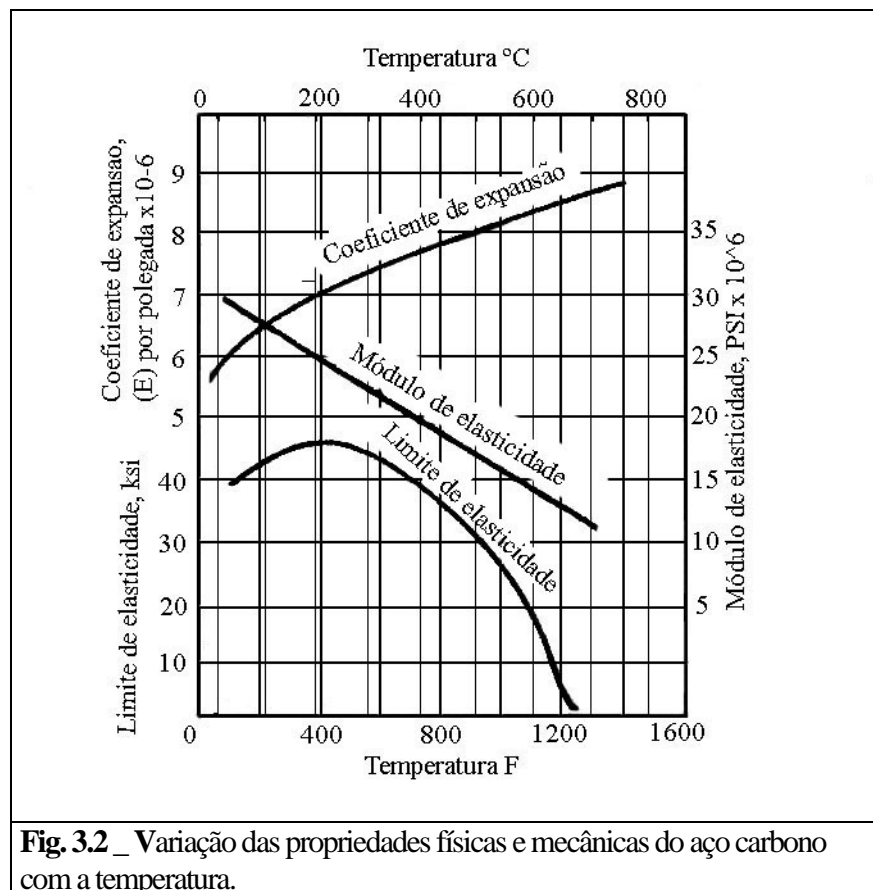
- A dilatação térmica restringida provoca tensões de compressão na barra B e de tração - para que o equilíbrio seja mantido nas barras A e C.
- À medida que a temperatura se eleva, as tensões nas barras aumentam, atingindo o limite de escoamento na barra B (ponto 1). A partir desse ponto a dilatação térmica é absorvida com a deformação plástica da barra B.



**Fig.3.1** \_ Variação da tensão na barra B.

- c) As curvas indicam a variação do limite de escoamento com a temperatura. Continuando o aquecimento, a tensão na barra B evolui ao longo de 1,2, onde a plastificação impede o estabelecimento de tensões superiores ao limite de escoamento. O ponto 2 corresponde à temperatura máxima atingida ( $\theta_2$ ).
- d) Durante o resfriamento, a barra B se contrai tendendo para um comprimento livre menor do que L, em virtude da deformação plástica a que foi submetida. A tensão diminui, muda de sinal e atinge o limite de escoamento - à tração - no ponto 3.
- e) A partir do ponto 3 a contração térmica é absorvida por deformação plástica, não permitindo que a tensão na barra ultrapasse o limite de escoamento. Ao longo de 3,4, o valor da tensão acompanha a variação do limite de escoamento, com a temperatura.
- f) Concluído o resfriamento, as 3 barras ficam submetidas a um sistema de tensões residuais. Na barra B a tensão é de tração e da ordem de grandeza do limite de escoamento do material.

Esse raciocínio é evidentemente simplificado. Não foi considerada a variação do módulo de elasticidade e do coeficiente de dilatação térmica, com a temperatura (ver fig. 3.2). A fluência do material ("creep") foi também desprezada.



**Fig. 3.2** \_ Variação das propriedades físicas e mecânicas do aço carbono com a temperatura.

### 3.2 – REPARTIÇÃO TÉRMICA E PLASTIFICAÇÃO:

Uma peça soldada se assemelha ao sistema de 3 barras. A repartição térmica mostra que a zona aquecida acima de  $\theta_1$  sofre deformações plásticas, analogamente à barra B, determinando o aparecimento de tensões residuais (fig.3.3). O nível de tensões depende do grau de restrição da estrutura, na direção considerada. Na maioria dos casos, a restrição é total na direção longitudinal do cordão de solda. Verificações experimentais confirmam que nessa direção as tensões são muito próximas do limite de escoamento.

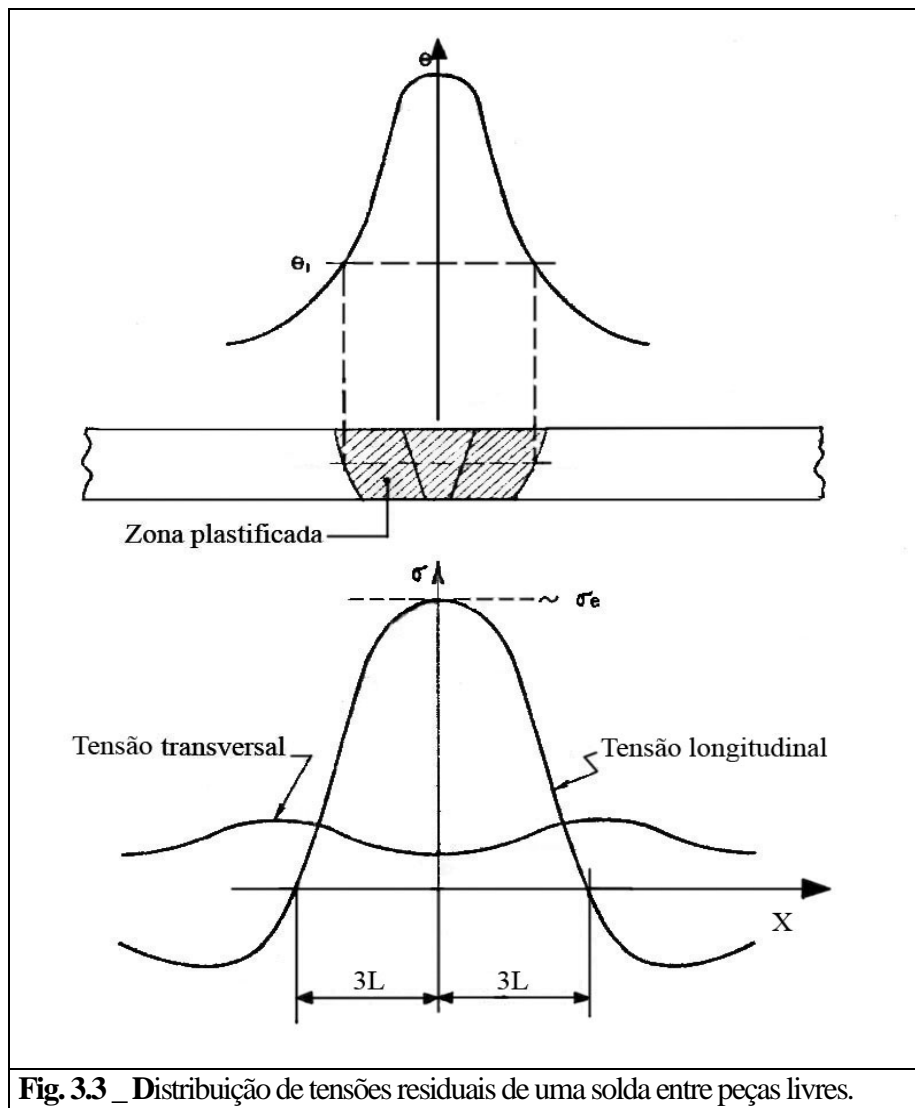
Não dispo de rigidez suficiente, as peças se deformam tendendo a aliviar as tensões residuais. As deformações são proporcionais a extensão da zona plastificada.

As tensões e deformações resultantes da soldagem aparecem em condições muito mais complexas que no modelo da barra aquecida. O movimento da fonte de calor, a variação do grau de restrição à medida que a solda é depositada e a soldagem em vários passes é o principal fator eliminado pela simplificação. Entretanto, apesar de sua relativa simplicidade, a analogia permite conclusões úteis, tais como:

a) O pré-aquecimento em temperaturas inferiores a  $\theta_1$  aproximadamente 150°C, para os aços carbono praticamente não reduz o nível de tensões residuais. O pré-aquecimento total da peça em temperaturas nas quais o limite de escoamento se anula, previne o aparecimento das tensões residuais. Entretanto, nesta condição, a peça pode se deformar sob ação desse peso. O pré-aquecimento local - qualquer que seja a temperatura - não reduz o nível de tensões, embora apresente várias outras ações benéficas.

b) Repartições térmicas mais estreitas - soldagem com baixa energia ("low heat input") - reduzem a zona plastificada, diminuindo as deformações. A soldagem a gás, por exemplo, provoca maiores deformações que a soldagem a arco. Pela mesma razão, o pré-aquecimento tende a aumentar as deformações.

c) A contração de solidificação não tencionna a peça soldada. A falta de continuidade do meio sólido não possibilita a ação de forças. Em vista disso, ao avaliarmos as deformações, devemos nos reportar às dimensões da zona plastificada e não da zona fundida da solda.



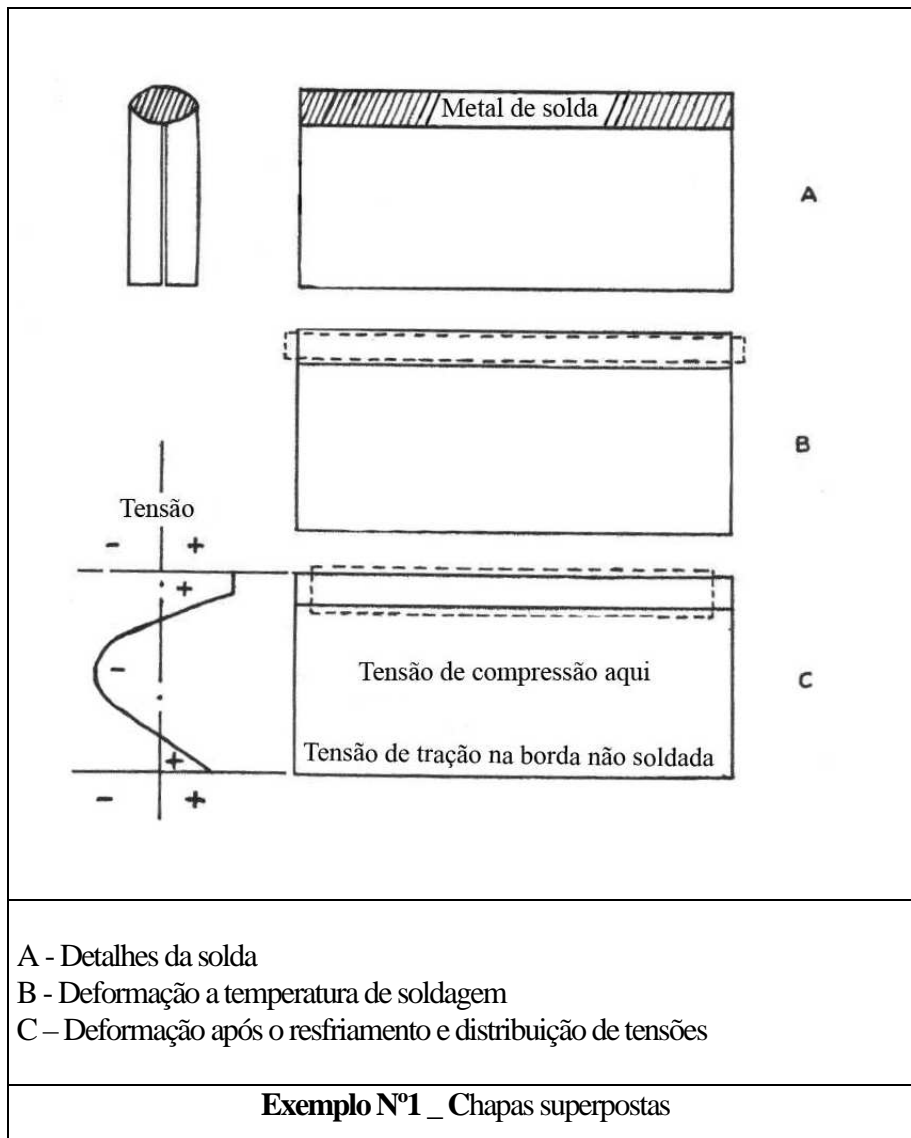
**Fig. 3.3** \_ Distribuição de tensões residuais de uma solda entre peças livres.

d) As deformações podem ser evitadas, com a utilização de dispositivos de montagem; entretanto devemos considerar que, quanto maior o grau de restrição, mais elevadas são as tensões residuais de soldagem.

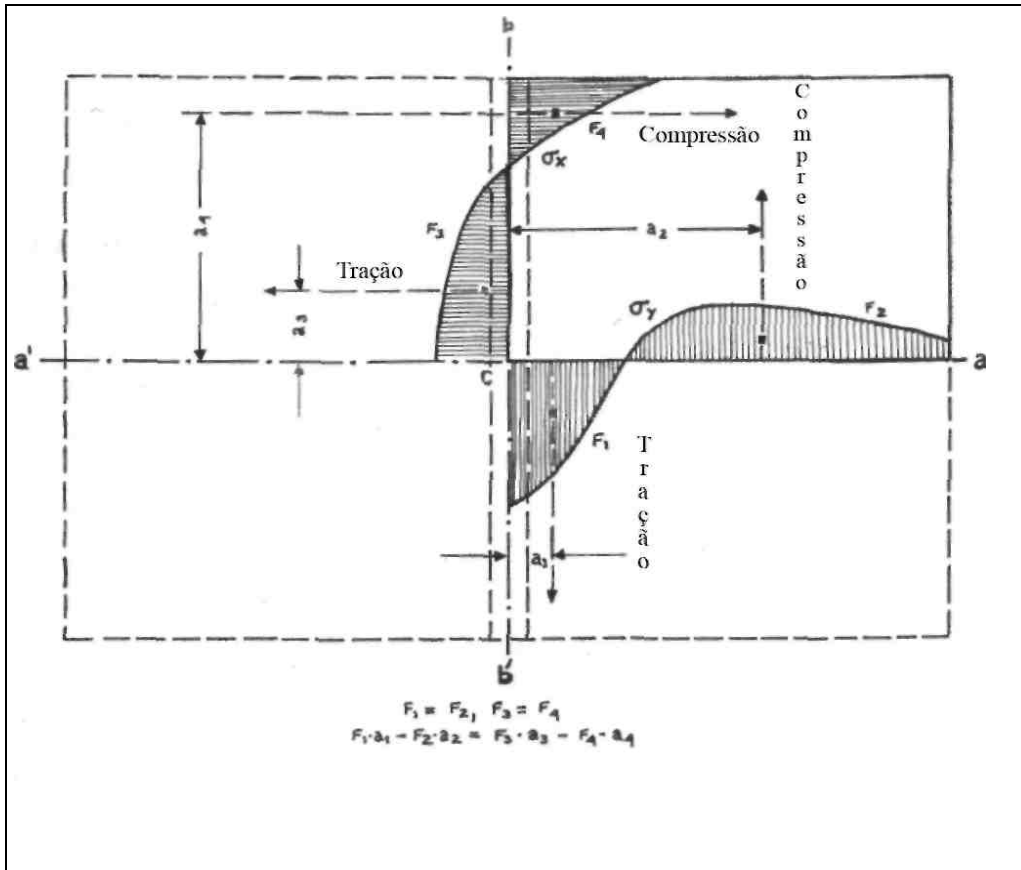
e) Se as tensões atuam em duas ou três direções - dependendo da forma e dimensões da peça - as possibilidades de plastificação diminuem e as tensões residuais podem atingir valores superiores ao limite de escoamento, determinado pelo ensaio convencional - uniaxial - de tração.

### 3.3 – DISTRIBUIÇÃO DAS TENSÕES RESIDUAIS:

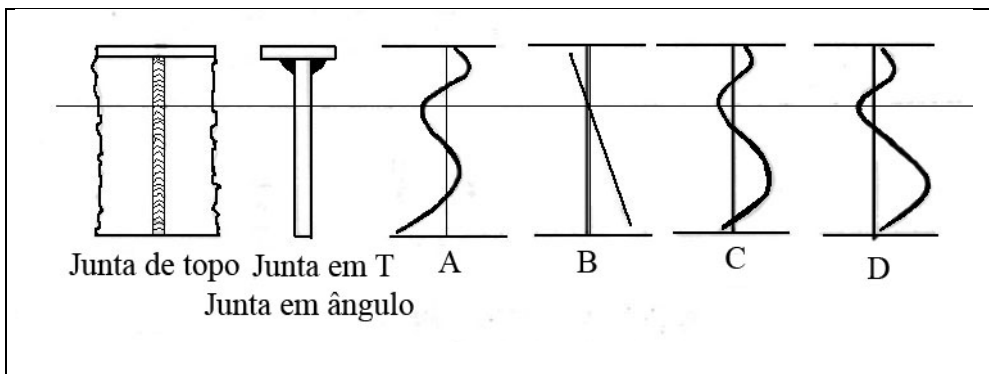
As tensões residuais, sendo internas à peça, devem estar em equilíbrio. Assim, sua distribuição pode ser prevista aplicando-se as condições de equilíbrio da Estática, como mostram os exemplos a seguir.







**Exemplo nº 2** \_ Chapas soldadas de topo sem restrição.

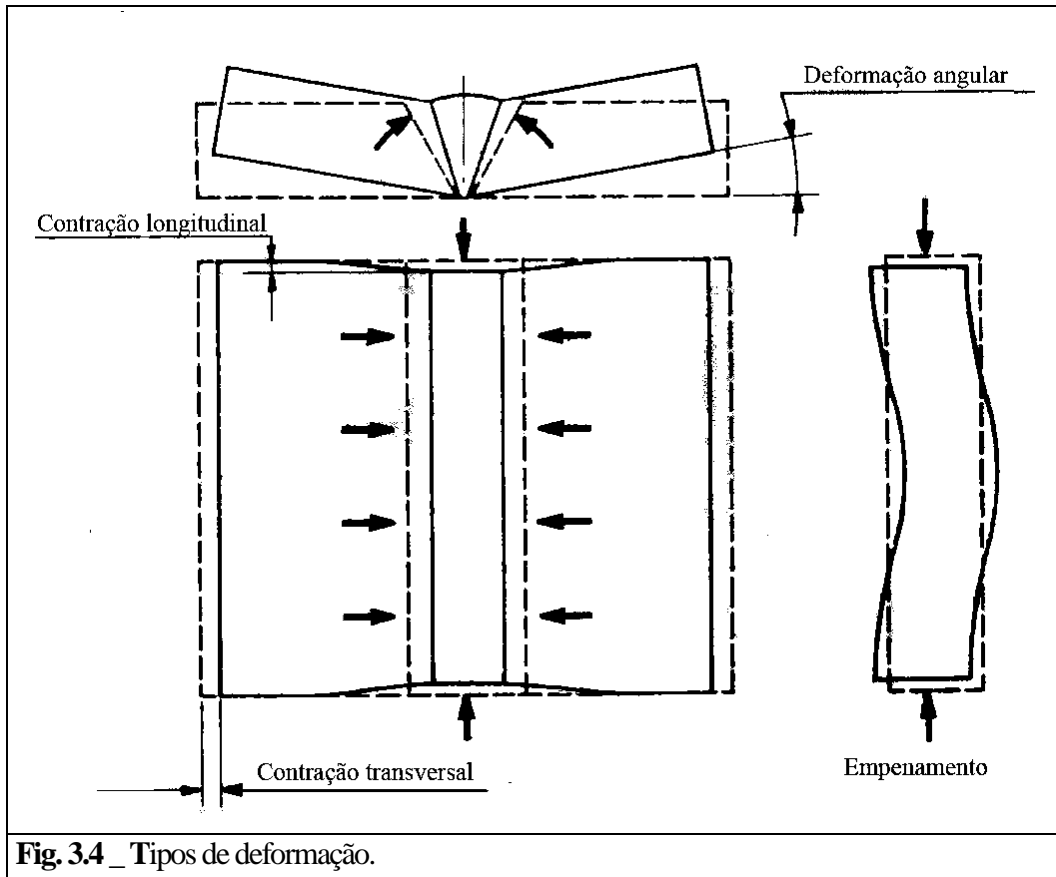


- A – Tensões residuais na alma da solda
- B – Tensões de flexão devidas a uma carga externa
- C – Tensões resultantes considerando uma tensão da flexão de 20.000 psi
- D – Tensões resultantes considerando uma tensão da flexão de 28.500 psi

**Exemplo nº3** \_ Composição de tensões numa viga I soldada, aba: 280 mm x 10mm; alma: 153mm x 15mm.

### 3.4 – TIPOS DE DEFORMAÇÃO:

A contração da zona plastificada provoca deformações que se manifestam sob 4 formas diferentes como ilustra a figura 3.4:

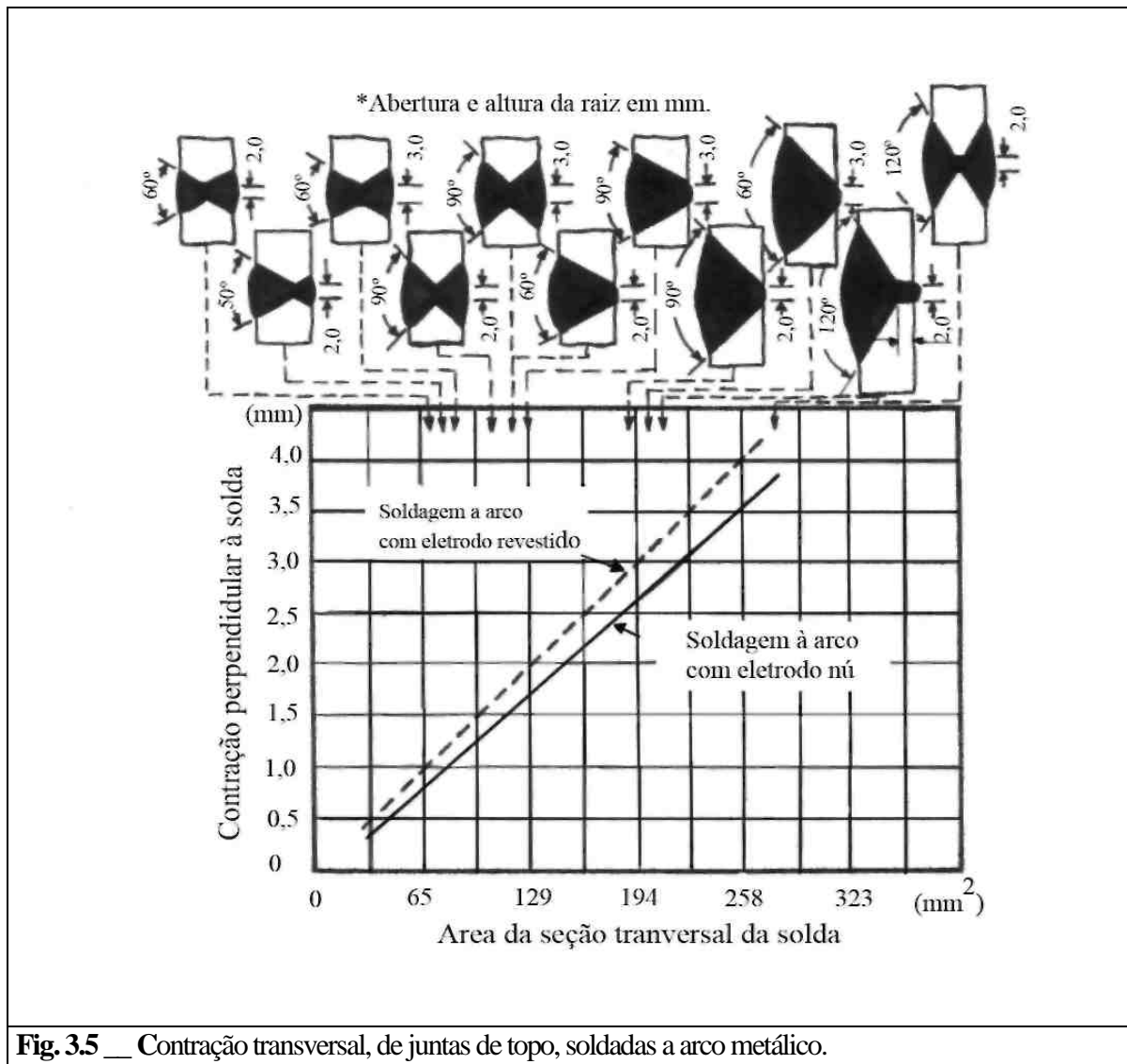


**Fig. 3.4** \_ Tipos de deformação.

A previsão quantitativa das deformações, que seria indispensável para se estabelecer as dimensões iniciais da peça, é ainda difícil e limitada a alguns casos simples. Entretanto, as observações que seguem proporcionam um entendimento menos superficial do problema.

#### 3.4.1 – Contração transversal:

Trata-se de uma redução de dimensão perpendicular ao eixo do cordão de solda. Quanto maior a seção transversal da zona plastificada, maior a contração (fig. 3.5).



Em primeira aproximação, cada  $1 \text{ in}^2$  ( $645,16 \text{ mm}^2$ ) de seção transversal de zona fundida provoca uma contração transversal de  $1/4 \text{ in}$  ( $6,35 \text{ mm}$ ). Os principais fatores de influência são:

- grau de restrição das peças durante a soldagem e resfriamento;
- extensão da curva de repartição térmica, isto é, energia de soldagem, pré-aquecimento, número de passes;
- martelamento das soldas.

A ação destes fatores deve ser vista em conjunto. Por exemplo: o pré-aquecimento aumenta a contração pelo alargamento da zona plastificada, entretanto, proporciona um resfriamento mais regular que tende a reduzir as deformações. O número de passes pode aumentar a contração, mas, à medida que a solda é depositada, o grau de restrição tende a conter esta tendência.

O martelamento das soldas ("peening"), à exceção do primeiro e último passes, pode evitar grande parte da deformação. Por outro lado, o martelamento excessivo é prejudicial.

Uma previsão mais exata, para chapas de espessura maior que 25 mm, soldadas sem restrição, pode ser feita com a aplicação da seguinte fórmula:

$$\text{Contração transversal} = 0,2 (A / t) + 0,05 (d)$$

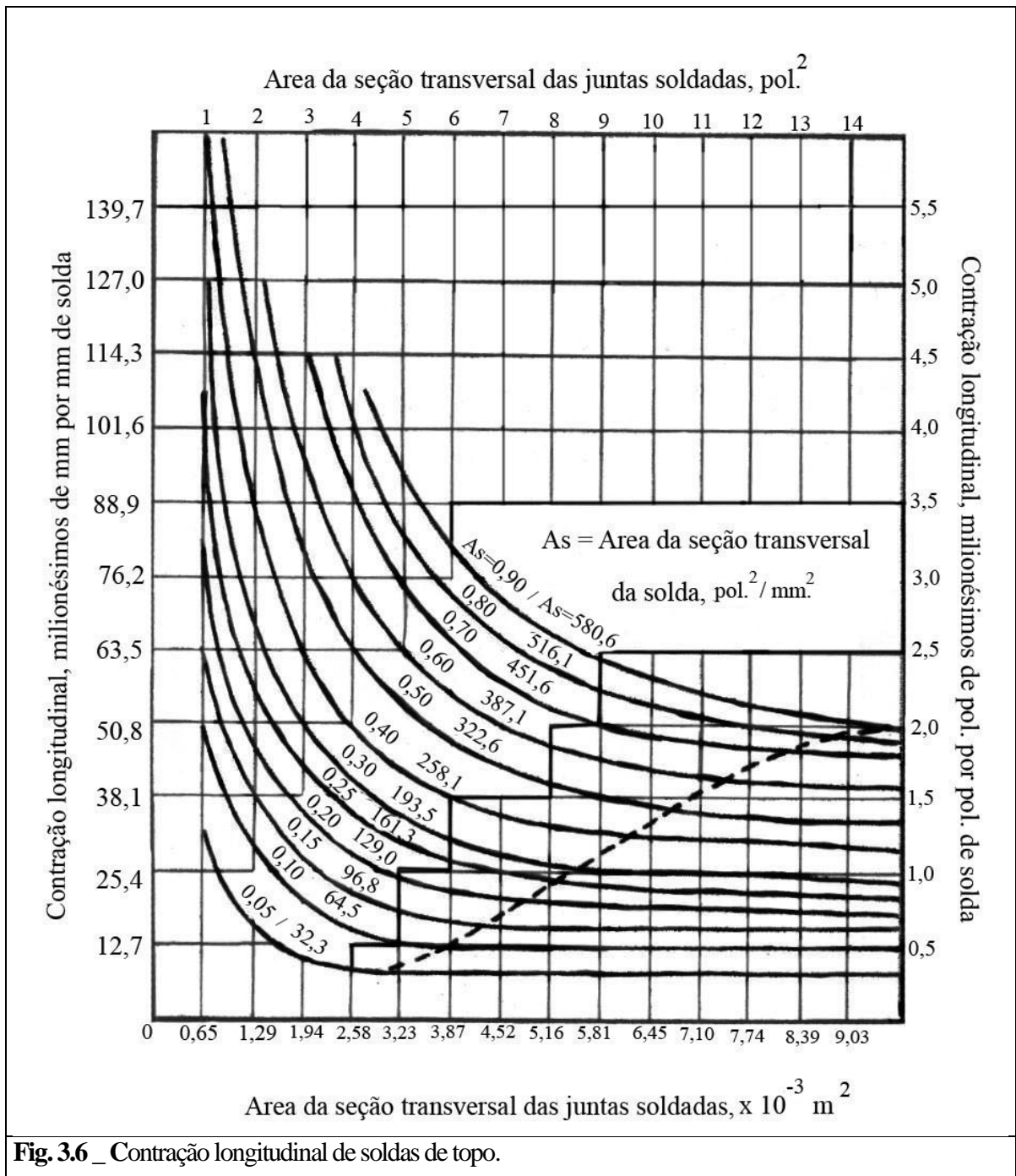
A - Área da secção transversal da zona fundida ( $\text{mm}^2$ )  
t - Espessura das chapas (mm)  
d - Abertura da raiz (mm)

O coeficiente 0,2 deve ser reduzido a 0,18, para chapas de espessura inferior a 25 mm. A fórmula não se aplica, para espessuras inferiores a 6 mm. A soldagem automática, como por exemplo a arco submerso, graças à menor energia dependida por unidade de comprimento de solda, proporciona deformações 50% menores do que os valores fornecidos pela fórmula.

A contração transversal e a deformação angular são desprezíveis para a solda em ângulo.

#### 3.4.2 – Contração longitudinal:

A contração longitudinal – redução do comprimento do cordão de solda – depende da relação entre a seção transversal da zona plastificada e a seção restante da peça (fig. 3.6).



Observe que a contração tende para um valor constante quando a seção total excede os valores indicados pela linha tracejada.

Quando em seção transversal a área das peças não excede em 20 vezes a área da zona fundida, e válida a seguinte relação:

$$\text{Contração longitudinal} = 0,025 (A_s / A_p)$$

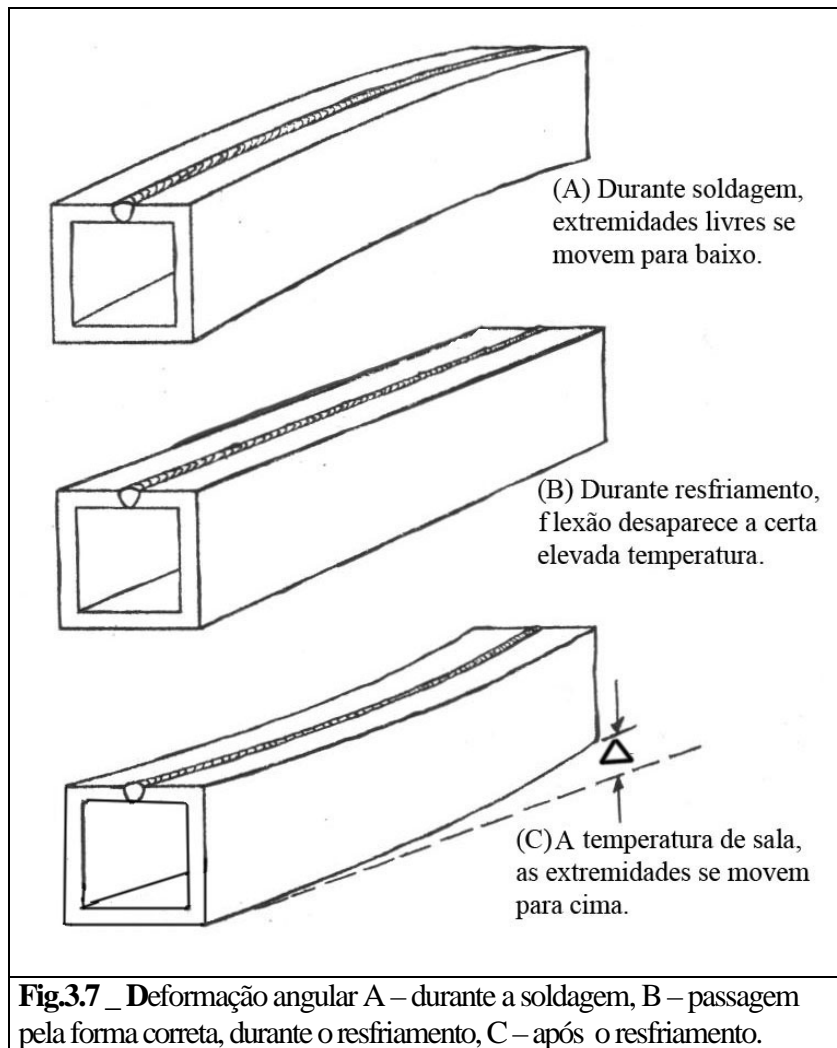
$A_s$  - Área da zona fundida (in<sup>2</sup> ou mm<sup>2</sup>)

$A_p$  - Área das peças (in<sup>2</sup> ou mm<sup>2</sup>)

A contração longitudinal está sujeita aos mesmos fatores de influência que a contração transversal.

### 3.4.3 – Deformação angular:

A disposição irregular da zona plastificada em relação à linha neutra da peça é a principal razão da deformação angular. Observe que a assimetria do chanfro (fig. 3.4) determina uma contração maior na região do reforço do que na raiz da solda. O mesmo raciocínio se aplica à distribuição dos cordões de solda em torno da linha neutra de um perfil (fig. 3.7).



Para peças finas, a deformação angular pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$A = \frac{0,005 A_s (L^2) d}{I}$$

A – Deflexão (mm)

$A_s$  – Área total, em seção transversal, dos cordões de solda (mm<sup>2</sup>).

d – Distância do centro de gravidade dos cordões de solda à linha neutra da peça (mm).

L – Comprimento da peça (mm). Considerando-se a soldagem ao longo de toda a peça.

I – Momento de inércia da peça.

A fórmula evidencia as medidas preventivas da deformação angular. Quando soldas de tamanhos diferentes devem ser depositadas em distâncias também diferentes da linha neutra, deve-se procurar equilibrar os esforços de contração soldando, por exemplo, em primeiro lugar, os cordões mais próximos da linha neutra. Quando possível, durante o projeto,

os cordões maiores devem ser localizados próximos à linha neutra.

#### 3.4.4 – Empenamento:

O empenamento é o resultado da flambagem da peça, provada pela contração longitudinal do cordão de solda (fig. 3.4). Ocorre freqüentemente na soldagem de chapas finas e perfis leves. É o principal tipo de deformação a evitar na soldagem de chapas por superposição - solda em ângulo - como, por exemplo, fundo e teto de tanques de armazenamento.

#### 3.5 – COMO REDUZIR AS DEFORMAÇÕES:

As deformações podem ser reduzidas desde que seja possível a adoção de medidas preventivas, como por exemplo:

- a) Reduzir ao mínimo a quantidade de metal depositado. Os chanfros devem ter abertura e espaçamento ("gap") pequenos, compatíveis com a penetração completa. Não havendo contra indicação de ordem metalúrgica, preferir os eletrodos de maior diâmetro.
- b) Usar chanfros duplos - V duplo ou U duplo. A solda em ambos os lados possibilita o equilíbrio dos esforços de contração. Os chanfros podem ser simétricos ou assimétricos. No primeiro caso os cordões de vem ser de pontados alternadamente nos dois lados (fig. 3.8).

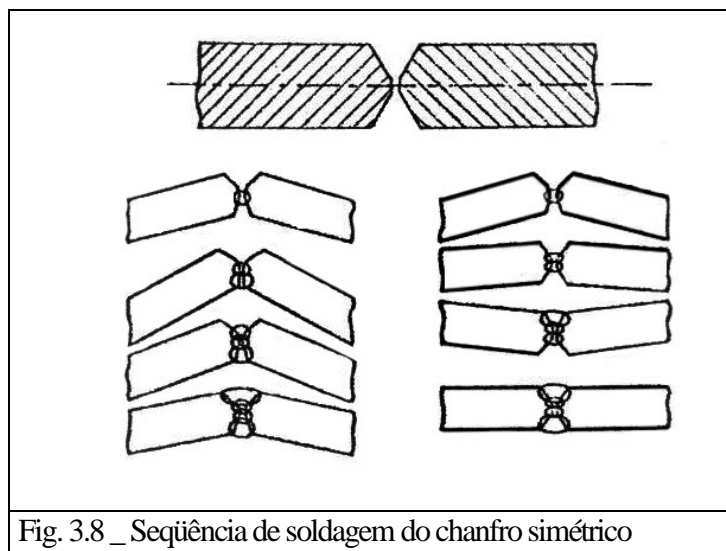


Fig. 3.8 \_ Sequência de soldagem do chanfro simétrico

O chanfro assimétrico é empregado quando torna-se inviável a aplicação de vários cordões alternados (fig. 3.9).

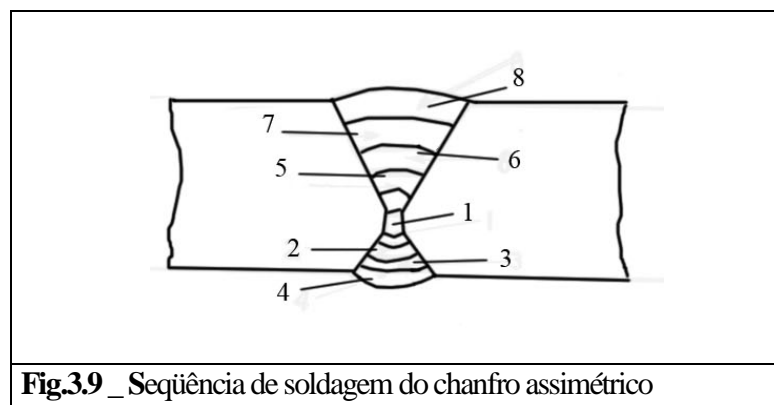
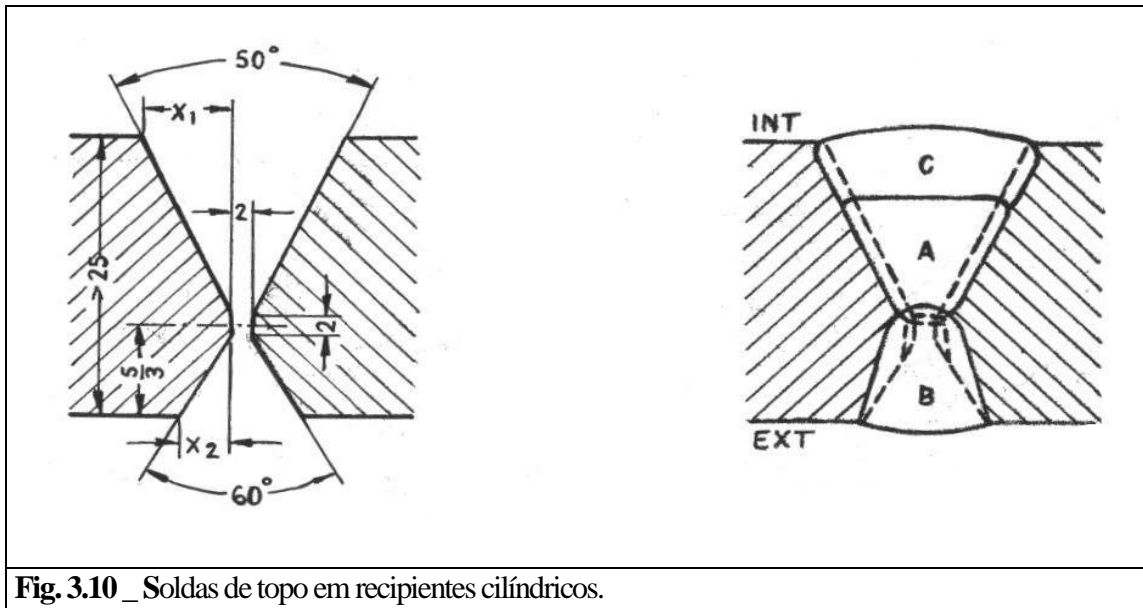


Fig.3.9 \_ Sequência de soldagem do chanfro assimétrico

O lado a ser preenchido por último tem maior volume de metal depositado para compensar a restrição imposta pela primeira solda.

A seqüência de soldagem nos recipientes cilíndricos deve levar em conta a diferença de rigidez para esforços internos e externos (fig. 3.10).

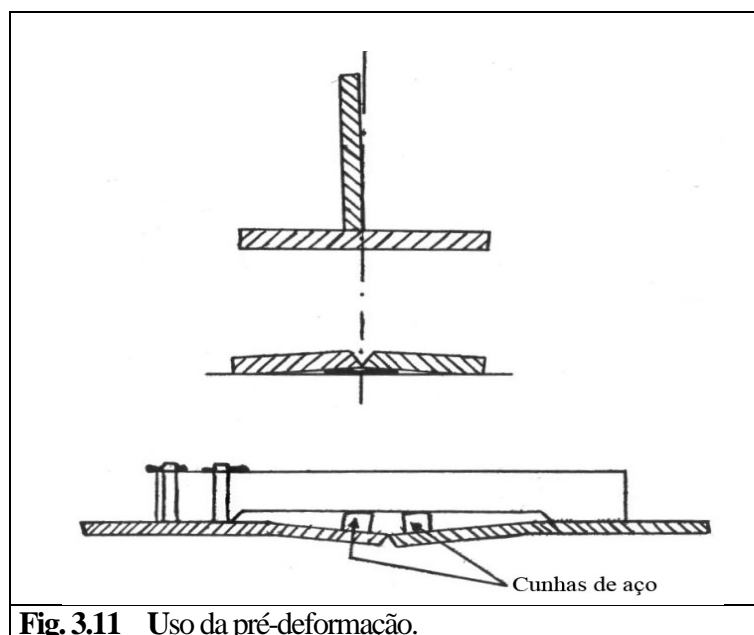


**Fig. 3.10** \_ Soldas de topo em recipientes cilíndricos.

Seqüência das operações:

- 1° Soldagem de aproximadamente 2/3 do volume do chanfro interno;
- 2° Goivagem pelo lado externo;
- 3° Soldagem do chanfro externo;
- 4° Conclusão da soldagem pelo lado interno.

c) Considerar que, quanto maior o grau de restrição durante a soldagem, mais elevado será o nível de tensões residuais. Adotar o mínimo de restrição utilizando quando possível a pré-deformação (fig. 3.11).



**Fig. 3.11** \_ Uso da pré-deformação.

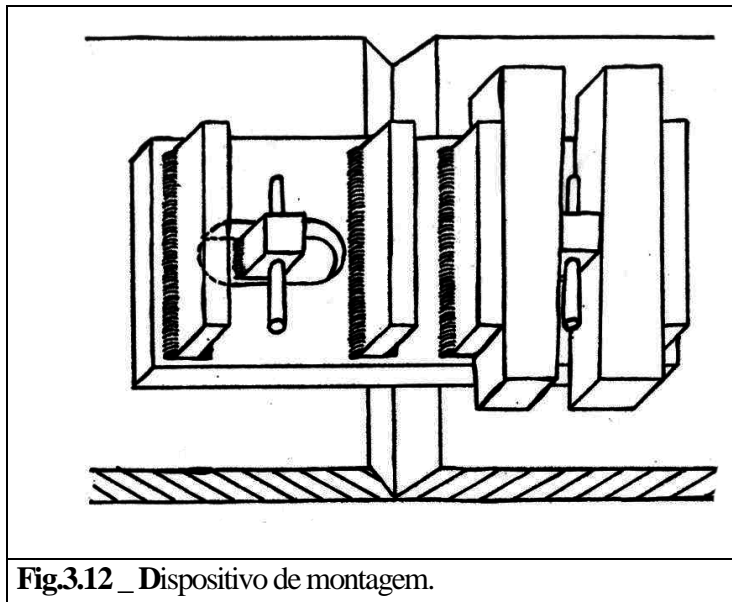
Os dispositivos de montagem que limitam todas as possibilidades de deformação - como por exemplo o "cachorro" - não



constituem a melhor solução. O dispositivo mostrado na fig. 3.12, impede a deformação angular e favorece o alinhamento das chapas sem restringir a contração transversal.

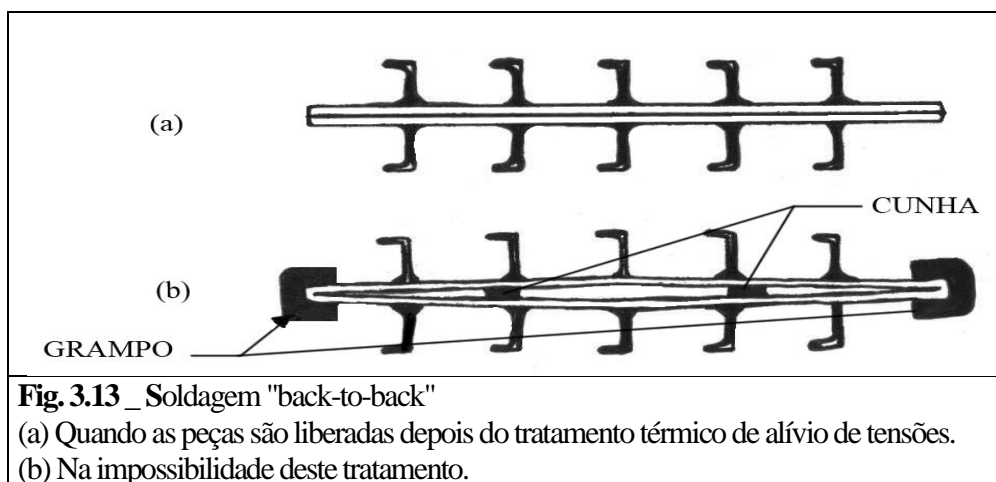
d) Evitar excesso de material nas soldas em ângulo. Em se tratando de chapas finas como nos fundos de tanque adotar seqüências especiais de soldagem (ver 3.6.1).

e) O processo de soldagem raramente é escolhido tendo em vista as deformações. De um modo geral os processos automáticos provocam menos deformação.

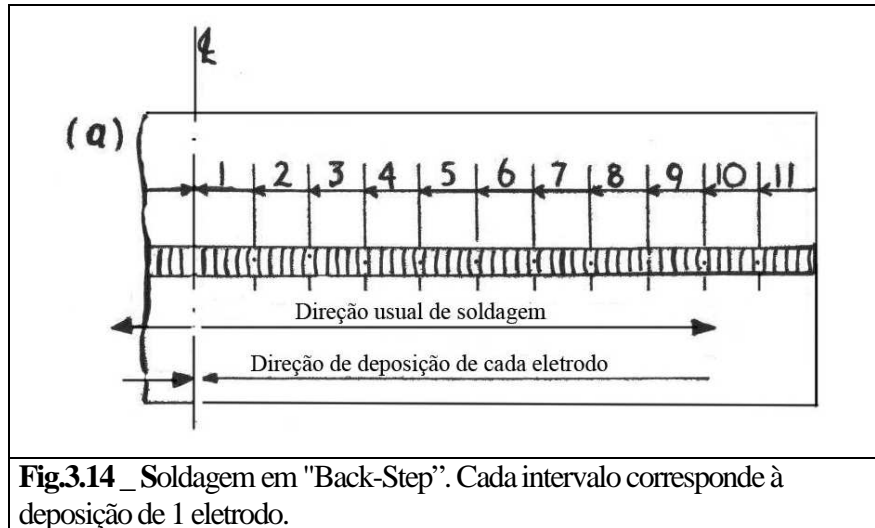


f) Peças idênticas podem ser soldadas uma contra a outra constituindo conjuntos simétricos (fig. 3.13).

Quando as peças são liberadas depois do tratamento térmico de alívio de tensões.  
Na impossibilidade deste tratamento.



g) É preferível que a soldagem se desloque em direção à extremidade livre, entretanto, a seqüência indica da na fig. 3.14 reduz as deformações.



A seqüência de montagem de equipamentos pode ser estabelecida empregando-se 3 regras básicas, a saber:

1º Regra:

Escolher a seqüência de soldagem que proporcione, para cada solda, a contração transversal livre.

Quando não existir esta liberdade, optar se possível, pela solda por superposição ou martelamento das soldas. Esse processo só se aplica - a exceção do primeiro e últimos passes - a espessuras superiores a 15 mm.

A soldagem com contração transversal livre nem sempre é possível. A execução de reparos, o uso de dispositivos de montagem para evitar ou corrigir deformações são exemplos desta situação. Nestes casos, deve-se atuar sobre outros parâmetros no sentido de atenuar a influência do alto nível de tensões residuais. Pré-aquecimento, pós-aquecimento e soldas com baixo teor em hidrogênio são medidas eficazes.

2º Regra:

Iniciar a montagem pelos detalhes constituindo subconjuntos, associando-os progressivamente. Na execução de cada etapa prever e compensar as deformações.

Esta regra coincide com o princípio geral de pré fabricação, que conduz ao máximo de eficiência de montagem.

3º Regra:

Adotar disposições simétricas e desenvolver as operações de soldagem, obedecendo a simetria.

Deve-se tomar como referência a linha neutra da peça.

Os exemplos que passaremos a comentar ilustram a aplicação dessas regras.

### 3.6 – EXEMPLOS DE SEQÜÊNCIAS DE MONTAGEM:

#### 3.6.1 – Tubulações:

O termo tubulações envolve tubos e seus acessórios. Em indústrias de processamento, indústrias químicas, refinarias de petróleo, indústrias petroquímicas, boa parte das indústrias alimentícias e farmacêuticas, o custo das tubulações pode representar 70% do custo dos equipamentos ou 25% do custo total da instalação.

Iremos tratar somente das definições e diretrizes de montagem de tubulações que deve ser realizada de acordo com procedimentos específicos de controle de qualidade na fabricação e montagem de tubulações industriais. A seleção de materiais e dimensões são definidos durante projeto de acordo com normas e especificações técnicas.

a) Definições:

Biselamento: preparação da face de um tubo para solda.

Pipe Shop: oficina para pré-fabricação de tubulação e fabricações diversas como estruturas metálicas, suportes, caldeiraria, insertos metálicos, etc...

Spools: parte de um isométrico ou de uma linha, definido em função de uma dimensão, peso, interferência na montagem e transporte.

b) Pré-fabricação de tubulações industriais:

O objetivo da pré-fabricação é facilitar e otimizar a montagem das tubulações, executando no Pipe-Shop os subconjuntos (Spools), definidos preliminarmente em função das dimensões, peso, interferências na montagem e facilidade de transporte e montagem.

Para iniciar os trabalhos é recomendável estar definido:

- \_ Plantas e/ou isométricos da tubulação.
- \_ Especificações do material.

b.1) Pré-fabricação de Spools:

Os Spools são. pré-fabricados na seguinte seqüência:

b.1.1) Traçagem e corte:

\_ A traçagem consiste em marcar na matéria-prima e nos materiais a serem utilizados a configuração geométrica para atender o produto final. Será executada utilizando ferramentas de encanadores, traçadores e caldeireiros, tais como punções, riscador, compasso, etc.

\_ É durante a traçagem que ocorre a conferência do material a ser utilizado com o especificado desenho do cliente. Caso algum item não estiver de acordo, informar ao setor de logística para correção.

\_ Após a traçagem, serão executados os cortes, que poderão ser por oxi-corte ou processos mecânicos utilizando disco de corte ou bits, serra de fita, etc.

\_ Durante os cortes perpendiculares aos eixos de tubos e acessórios, o esquadro da face cortada deverá ser obedecido para possibilitar a montagem dos acessórios (flanges, válvulas, etc...) na fase seguinte.

b.1.2) Biselamento e limpeza:

Após o corte será processado o biselamento das extremidades do tubo por esmerilhamento, oxi-corte ou chanfradeira mecânica. Em qualquer dos processos, após biselamento será verificado:

- \_ Esquadro das extremidades em duas posições defasadas de 90°.
- \_ Planicidade das extremidades em 1mm.
- \_ O ângulo do bisel será definido em 37,5° +/- 2,5° ou conforme especificação de procedimento de

soldagem (EPS), devendo ser verificado pelo setor de execução. Em caso de divergência, deve-se consultar o Inspetor da Qualidade.

\_ O bisel deverá ser medido com transferidor de graus em posição defasada em 90°.

Obs: O bisel quando executado por esmerilhamento deverá ser executado utilizando disco de desbaste apropriado com o material do tubo a ser trabalhado.

Executado o bisel, será processado a limpeza do mesmo, por processo abrasivo, utilizando-se materiais apropriados ao tubo a ser trabalhado, para remover marcação de tinta e oxidação, por comprimento de 20 mm interna e externamente. Esta limpeza também será executada nas conexões (curvas, tês e reduções), antes das montagens.

#### b.1.3) Montagem dos componentes na pré-fabricação:

Será processado de acordo com as disposições abaixo e de acordo com a documentação técnica pertinente:

\_ Posicionar os componentes observando os ajustes a serem executados na montagem definitiva. Onde for previsto ajuste no campo, o encanador deverá deixar um comprimento adicional na peça (recomendável deixar um comprimento adicional de 100mm +/- 10%).

\_ Flanges: Os flanges devem ser montados e soldados com a furação posicionada de acordo com os planos principais de simetria.

\_ Quando um spool tiver mais de um flange, deve-se deixar um deles para ser soldado no campo.

#### b.1.4) Curvas obtidas de tubo a quente ou a frio:

\_ O raio das curvas pré-fabricadas a partir de tubo deverá ser igual no mínimo 05 (cinco) vezes o diâmetro nominal do tubo, salvo indicação contrária nos desenhos ou nas Especificações de Materiais.

\_ Curvas pré-fabricadas a partir de tubos de aço inox, não poderão ser obtidas a quente.

##### b.1.4.1) Curvas de gomos:

\_ As curvas de gomos serão utilizadas somente se indicadas nos desenhos ou nas Especificações de Materiais.

\_ O seu emprego é permitido somente para diâmetros maiores que 6”.

##### b.1.4.2) Juntas roscadas:

\_ Todas as juntas roscadas devem ser do tipo NPT cônica, salvo indicações nas especificações de projeto.

\_ Verificar a limpeza da rosca e do tubo, que devem estar livres de rebarbas, limalhas e outros resíduos antes da aplicação do vedante ou montagem.

\_ O vedante a ser aplicado deve ser capaz de suportar a temperatura e pressão de trabalho da linha, não sendo permitido complementar a vedação por soldagem.

\_ Onde a solda de selagem for especificada pelo projeto, não será permitida a aplicação de vedante e a solda não poderá ser executada sobre a região de rosca.

\_ Quando especificado pelo projeto poderá ser utilizada fita de teflon ou similar para selagem de rosca onde a temperatura de trabalho for inferior a 300°.

#### b.2) Montagem e soldagem dos componentes no pipe-shop:

\_ Os tubos e conexões devem estar posicionados e travados de maneira a não permitir a contração da seção transversal da solda.

\_ A soldagem dos componentes será executada de acordo com EPS – Especificação de Procedimento de Soldagem, compatível com as juntas e materiais a serem soldados.

\_ Cada “spool” deverá estar devidamente identificado com marcação definitiva, constando:

- \_ Identificação do Spool.
- \_ N° da junta.
- \_ N° da linha.
- \_ Sinete do soldador.

\_ A identificação de “spool” de aço carbono e baixa-liga, deve ser executada através de puncionamento com caracteres de 5 a 10 mm ou marcação com tinta; para aços inoxidáveis identificar somente com tinta.

\_ Fazer a remoção total dos elementos temporários, esmerilhar os pontos de solda no material e preparar a junta soldada para inspeção.

\_ Após aprovação final de inspeção, todos os “spools” fabricados no “pipe-shop” serão limpos, condicionados, transferidos para área de jateamento e pintura quando aplicável e posteriormente enviados para montagem final. Nesta etapa deverão ser observados os seguintes cuidados:

\_ Os “spools” devem estar limpos e isentos de objetos estranhos.

\_ As extremidades biseladas ou roscadas dos “spools” deverão ser protegidas por capas plásticas, fita adesiva ou material adequado.

\_ Os “spools” transportados para a área de armazenagem ou de montagem deverão ser condicionados de maneira a evitar o contato direto com o solo, acumulação de água no interior das peças e quaisquer outras deformações.

#### b.3) Montagem de tubulações no campo:

\_ Ter em mãos a documentação técnica necessária quando fornecida pelo cliente.

\_ Preparar suportes definitivos, evitando suportes provisórios.

\_ Quando necessário, construir suportes provisórios de modo a favorecer a qualidade e segurança dos serviços de montagem.

\_ Limpar componentes ou tubos antes da montagem.

\_ Priorizar a montagem de tubos de maior diâmetro.

\_ Observar alinhamento entre tubos e peças pré-fabricadas. Quando especificado pelo projeto, atender o nivelamento e prumo dos componentes montados.

\_ Após posicionamento dos suportes provisórios e/ou definitivos e das tubulações, pontear os componentes com a finalidade de manter o alinhamento final, quando se tratar de juntas soldadas.

c) Cuidados na montagem em função do tipo de ligação:

c.1) Ligações soldadas:

\_ Serão executadas de acordo com EPS – Especificação de Procedimento de Soldagem aprovado para cada sistema a ser soldado.

\_ Não executar soldas próximas a válvulas com essas montadas, principalmente em trechos verticais, pois os respingos da solda podem danificar os internos da válvula.

\_ Antes de iniciar a soldagem, confirmar o alinhamento da junta e a seqüência de soldagem a ser seguida.

c.2) Ligações flangeadas:

\_ Após posicionamento correto dos flanges, quando apropriado, soldar conforme indicação do projeto.

\_ Os flanges serão montados de maneira que os planos vertical e horizontal que contém a linha de centro da tubulação dividam igualmente a distância entre furos do parafuso do flange.

\_ Os flanges serão apertados pelos parafusos de uma maneira uniforme. O aperto será feito gradativamente e, em ordem de seqüência tal que sejam apertados parafusos diametralmente opostos.

\_ Não será permitido inserir qualquer material entre os flanges, que não sejam as juntas especificadas, a fim de, conseguirem-se alinhamentos, ajustes, etc, mesmo que provisoriamente.

c.3) Ligações roscadas

\_ Os tubos roscados serão montados no campo.

\_ Juntas roscadas levarão pasta de vedação ou fita teflon, exceto quando indicado o contrário.

\_ Antes da colocação da pasta de vedação ou fita teflon, será executado limpeza no local de modo a eliminar rebarbas e limalhas.

c.4) Montagem de válvulas:

\_ Verificar o sentido do fluxo da linha montada.

\_ As válvulas serão montadas totalmente abertas em linhas com juntas soldadas e fechadas nas demais.

d) Lavagem das tubulações:

Quando exigido pelo cliente, uma série de medidas e providências se fazem necessárias para que o mesmo seja lavado, ou seja:

\_ Entradas de equipamentos raqueteadas ou desconectadas.

\_ As válvulas de controle e retenção tem que ser abertas e caso especificado no projeto ou solicitado

pelo cliente deverão ser retiradas.

\_ As válvulas de segurança devem ser removidas ou raqueteadas.

\_ As placas de orifício e outros tipos de restrições devem ser retirados.

\_ Os drenos são mantidos abertos, sendo fechados em intervalos de tempo e seguido-se o fluxo de lavagem.

#### NOTAS:

\_ Sistemas de vapor não precisam ser lavados, sendo a limpeza executada com o próprio vapor.

\_ Tanto a água para lavagem quanto para o teste, tem que ser limpa, não podendo ser salgada, salobra ou conter produtos agressivos que possam causar corrosão nas paredes internas da tubulação.

#### e) Testes:

Serão executados conforme Instrução de Trabalho Testes Hidrostáticos de tubulações, quando determinado pelo cliente.

#### f) Limpeza e decapagem:

Após a execução do teste são desfeitos os preparativos exclusivos do teste, o sistema é drenado e é feita uma secagem com ar comprimido. Certas tubulações, no entanto, devido à natureza do serviço e do fluido a que se destinam, exigem que seja feita uma limpeza mais efetiva, através de água, processos mecânicos e químicos conhecidos como decapagem. A decapagem só será executada quando determinado em projeto e/ou pelo cliente.

A decapagem mecânica é processada através de escovas rotativas elétricas ou pneumáticas e escovas manuais. É comum neste processo usar ferramentas (martelões) que martelam a tubulação, principalmente as soldas, para soltar a escória e carepas existente internamente.

A decapagem através de produtos químicos é mais completa e eficiente. Ela pode ser processada de duas maneiras: imersão e circulação.

Em ambos os processos a ordem e a natureza das operações são:

##### f.1) Limpeza:

É empregado um desengraxante que pode ser soluções de carbonato de sódio acompanhadas de um detergente, destinado a eliminar contaminantes a base de óleos e graxas.

##### f.2) Decapagem:

Para esta fase são empregados geralmente os ácidos sulfúricos, nítricos, fosfóricos, clorídrico ou ácido de base orgânica inibido. A decapagem tem como finalidade a retirada de óxidos de ferro, carepas de laminação e escória de soldas livres remanescentes da montagem.

##### f.3) Interrupção da decapagem:

Após a decapagem usa-se – de acordo com o decapante utilizado – uma solução alcalina a fim de eliminar quaisquer resíduos ácidos.

#### f.4) Conservação:

Após as etapas listadas e em se tratando de tubulação hidráulica, esta é preenchida com óleo. No caso de tubulação de processo elas podem sofrer uma fosfatização, formando-se assim uma película que irá proteger a tubulação contra oxidação ou então pressuriza-se a tubulação com nitrogênio até a sua entrada em operação.

#### 3.6.2 – Tanque de armazenamento:

Esta seqüência tem por objetivo estabelecer as condições mínimas a serem observadas na montagem de tanques de aço carbono, de armazenamento, cilíndricos, verticais, não enterrados com teto fixo.

##### a) Recebimento e Armazenamento de Materiais:

Todos os materiais a serem empregados na montagem devem ser recebidos conforme procedimento específico do órgão de controle de qualidade.

As chapas de costado devem ser armazenadas sobre berços de madeira, de modo a não se deformarem. As chapas calandradas devem ser armazenadas sobre berços de madeira com a mesma curvatura das chapas e a quantidade deve ser tal que não deforme as chapas situadas em baixo.

Para todos os casos de chapas devem ser armazenadas acima do solo em pelo menos 200 mm.

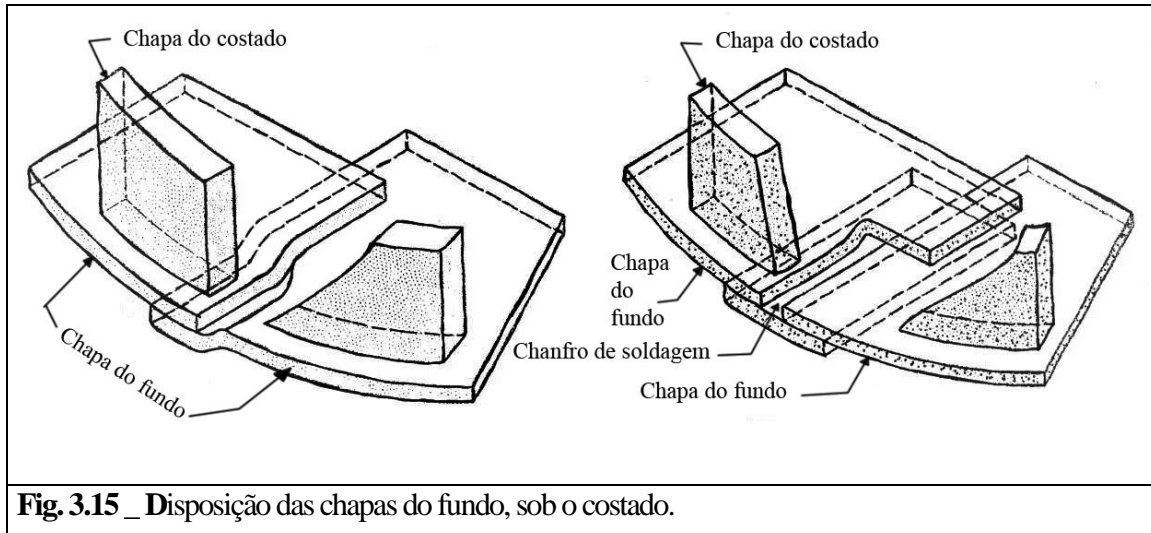
As conexões, parafusos, porcas, etc., devem ser armazenadas em caixas de madeira e, em lugares secos. As superfícies usinadas devem ser protegidas contra corrosão. As faces dos flanges devem ser protegidas com discos de madeira.

##### b) Resumo da seqüência de montagem:

b.1) A solda em ângulo das chapas superpostas permitirá, numa etapa posterior, a soldagem com restrição da contração transversal.

b.2) Soldagem da parte do fundo situada sob o costado. São possíveis 2 modos de disposição das chapas» como indica a fig. 3.15.

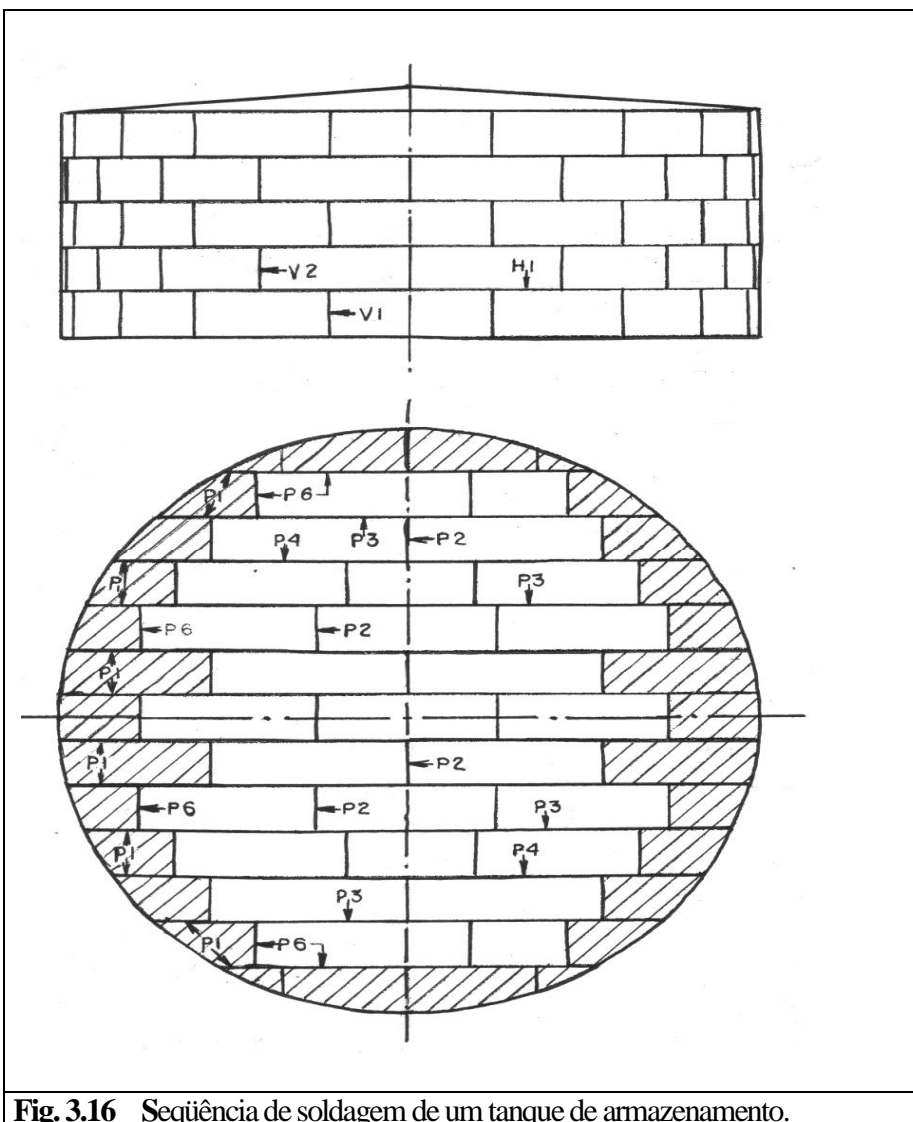




**Fig. 3.15** \_ Disposição das chapas do fundo, sob o costado.

b.3 ) Montagem dos 1º e 2º anéis do costado.

b.4 ) Execução das soldas VI do costado (fig. 3.16).



**Fig. 3.16** \_ Sequência de soldagem de um tanque de armazenamento.

b5) Execução das soldas em ângulo entre costado e fundo. Os soldadores devem atuar em setores diametralmente opostos. Esta solda esta sujeita a uma contração longitudinal elevada, motivo pelo qual somente 20 cm do fundo encontra-se soldado nesta fase.

b.6 ) Soldagem dos trechos P1 constituindo um anel de chapas marginais do fundo.

b.7 ) Prosseguimento da montagem do costado. Soldagem da junta H1 após a conclusão de todas as V1 e V2. O restante do costado obedece à mesma seqüência, ou seja, cada horizontal é precedida de todas as verticais adjacentes. A disposição das chapas com juntas verticais desencontradas favorece a obtenção da circularidade.

b.8 ) Soldagem de todas as juntas P2 do fundo,

b.9 ) Soldagem das juntas de grande comprimento do fundo na seqüência P3, P4, P5...

b.10 ) Soldagem do fundo ao anel marginal - solda P6. Os soldadores devem atuar em setores opostos. A seqüência (h, 1, 1) tem por objetivo, obter a máxima planicidade do fundo.

A soldagem do costado e do fundo podem ser desenvolvidas em paralelo desde que as verticais do 1º anel estejam concluídas. Nos tanques de grande porte - API 650 Apêndice D - as conexões maiores que 12 in são soldadas e tratadas termicamente antes da montagem.

c) Detalhamento de montagem e inspeção:

c.1) Montagem do Fundo:

As chapas do fundo devem ser montadas obedecendo aos desenhos de projeto, obedecendo às coordenadas dos eixos e a sobreposição das chapas.

Deverá haver uma sobreposição mínima nas chapas de periferia de 10mm para compensação da contração da solda.

A sobreposição das chapas do fundo deverá ser marcada com tinta à uma distância de borda da chapa de 30mm para facilitar a verificação durante a montagem.

O ponteamto e a soldagem das chapas do fundo obedecerão à seqüência de soldagem indicadas nos desenhos.

A solda entre o costado e o fundo deve ser efetuada após anel, após soldas verticais do 1º anel, logo após a montagem do 2º anel e, antes da soldagem do fundo com as chapas periféricas. A seqüência de soldagem será executada em primeiro lugar as soldas internas e em seguida a solda externa. A solda entre o costado e o fundo deverá ser inspecionada conforme procedimento de recebimento e montagem.

O junto fundo costado deverá ser soldada por completo.

Quando houver sobreposição de três chapas, o cordão de solda deverá começar e terminar além do canto arredondado.

As soldas de fundo devem ser executadas utilizando duas camadas no mínimo.

Logo após a soldagem das bacias de drenagem dos drenos sifonados, as mesmas deverão ser grauteadas.

Deverão ser marcadas com tinta a posição das sapatas das colunas de sustentação do teto no fundo do tanque.

### c.2 ) Montagem do Costado:

O diâmetro interno do tanque deverá ser marcado sobre as chapas do fundo.

A montagem do costado deverá ser iniciada pelas chapas das bocas de visita, e porta de limpeza.

Deverá ser cheio com massa para grauteamento, ou com areia compacta, o espaço sob as chapas do fundo junto à chapa da soleira, antes de soldá-la.

A soldagem da chapa da soleira da boca de visita ao fundo deve ser executada antes de posicionar as chapas adjacentes do costado.

A distribuição das chapas do costado deve seguir rigorosamente a defasagem entre as juntas verticais estipuladas nos desenhos.

Não é permitido deixar a chaparia do costado incompleta, visando facilitar a montagem do teto ou estruturas.

Os dispositivos auxiliares de montagem devem ser do tipo “cachorro” com a metade da espessura da chapa do tanque, e deverão ser montados com inclinação de 30° em relação à direção longitudinal, distribuídos a uma distância de 500mm no mínimo. A remoção dos dispositivos não pode ser por impacto.

Poderá ser utilizado o ponteamto direto no chanfro, na mesma quantidade de cachorros e quando o ponto for incorporado à solda, o mesmo deverá ser inspecionado visualmente imediatamente antes da soldagem.

As chapas do costado devem ser estiradas durante toda montagem para evitar deformações causadas por ventos, através de cabos de aço presos por “orelhas” no costado e piquetes no solo esticados com tirfôr.

O desalinhamento máximo permitido das juntas soldadas de topo das chapas do costado não deve exceder o maior dos valores a seguir:

\_ Verticais : 10% da espessura da chapa ou 2mm

\_ Horizontais: 20% de espessura da chapa superior, valor limitado à 3mm, excetuando-se os casos em que a espessura da chapa superior é menor que 8mm, quando é uma projeção de até 2mm.

\_ Deve ser emitido um relatório dimensional após cada operação.

A abertura da raiz das juntas deve obedecer aos valores indicados nas EPS especificada.

\_ Deve ser emitido um relatório dimensional após cada ajustagem.

As barrigas no costado não devem exceder à 12mm. Para verificação desta medida, deverá ser constituídos um gabarito com o mesmo raio de curvatura do costado aplicado na direção horizontal, ou aplicado uma régua de comprimento igual à 90mm na direção vertical. O valor da barriga é determinado por uma das extremidades do gabarito, quando se encosta a outra no costado do tanque.

\_ Deve ser emitido um relatório dimensional após cada operação.

Para verificação da circularidade do primeiro anel a ser medido a partir de 300mm da solda de canto entre o fundo e o costado deve ser obedecido as seguintes tolerâncias:

<b>FAIXA DE DIÂMETROS ( M )</b>	<b>TOLERÂNCIA RADIAL ( MM )</b>
0 à 12, exclusive	+/- 12,7
12 à 45, exclusive	+/- 19,0
45 à 75, exclusive	+/- 25,4
Acima de 75	+/- 31,75

\_ Deve ser emitido um relatório dimensional após cada operação

.Para o nivelamento dos anéis, deverá ser utilizado nível óptico instalado sobre a base do tanque, o desnível não deve exceder à 3mm em qualquer ponto (localizado) do perímetro e a 6mm em todo o perímetro.

Deverá ser verificado antes e após a soldagem de cada anel o prumo do costado, a falta de prumo não deve exceder 1/400 de altura total do tanque.

Para as verificações de circularidade, nivelamento e prumo, deverão ser adotados a quantidade de pontos como segue:

<b>FAIXA DE DIÂMETROS ( M )</b>	
até 12	A cada 30° (12 pontos)
De 13 a 24	A cada 20° (18 pontos)
De 25 a 36	A cada 15° (24 pontos)
De 37 a 45	A cada 10° (36 pontos)
Acima de 45	A cada 7,5° (48 pontos)

Só deverá ser iniciada a montagem de cada anel superior, após a emissão e aprovação dos relatórios referentes a montagem do anel inferior.

Após a montagem do 1º anel, a base deverá ser grauteada, antes de se continuar a montagem, deixando-se aberturas para a saída de água, se necessário antes do grauteamento, o tanque poderá ser calçado com chapas, não em forma de cunha.

Se constatadas deformações, a correção das mesmas, só poderá ser executada de acordo com a apresentação de um procedimento específico para reparo, que deverá ser elaborado durante a execução dos serviços.

Deverá ser montado no máximo um anel subsequente, antes que se tenha concluído a soldagem do respectivo anel inferior. Só deverá ser iniciada a soldagem das juntas do anel superior quando todos os reparos do anel inferior forem executados.

Deverá ser iniciada a soldagem de um determinado anel, somente após a conclusão da soldagem e inspeção da junta horizontal que liga este anel.

Deverá ser iniciada a soldagem da junta vertical de fechamento de um anel depois de concluída a ajustagem da junta horizontal que liga este anel.

Para correção de deformações no costado deverá ser utilizados o método de “macaqueamento” e nunca impactos mecânicos (tipo marretas, etc.)

A posição dos suportes das vigas radiais fixados no costado de tanque de teto fixo deverá ser marcada com tinta.

Todos os suportes fixados no costado devem ter sua soldagem executada antes do início do teste hidrostático.

### c.3 ) Montagem de Tetos Fixos:

Devem ser marcados os quatro pontos indicativos dos fixos das coordenadas do tanque no topo do costado. Todas as peças das estruturas devem estar instaladas durante a montagem.

Os perfis não deverão sofrer emendas.

As colunas devem ser ponteadas no fundo do tanque durante a montagem.

Após a soldagem das colunas devem ser verificados os prumos e a flecha, e a tolerância para ambos são de: +/- 1.200

As chapas de reforço das sapatas das colunas devem ser soldadas ao fundo de maneira contínua.

\_ As chapas de reforço das sapatas, só devem ser montadas após execução do teste de estanqueidade na região do fundo onde as sapatas foram apoiadas.

Após o teste hidrostático, as colunas devem receber calços ou suportes adicionais para apoio no fundo quando necessário.

A flecha horizontal e vertical das vigas do teto fixo, devem ser inspecionadas logo após a montagem e depois do teste hidrostático. A tolerância é de 2mm/m de comprimento e no máximo 10mm.

As chapas de teto de teto devem ser montadas de acordo com os eixos, coordenadas e a sobreposição das chapas conforme desenho do equipamento.

A sobreposição nas chapas da periferia deve ser aumentada em 10mm para compensar a contração da solda.

As chapas a serem montadas não deverão ser empilhadas em um mesmo local para evitar sobrecarga na estrutura. As chapas de teto não devem ter ligação por solda com a estrutura de sustentação.

O ponteamto e a soldagem das chapas do teto devem obedecer a mesma seqüência da soldagem indicada nos desenhos.

Quando houver sobreposição de três chapas, o cordão de solda deverá iniciar e terminar além do canto arredondado.

As soldas de periferia do teto à cantoneira do topo do costado devem ser executadas antes da soldagem do teto com as chapas periféricas.

Nenhuma das ligações parafusadas da estrutura de sustentação do teto podem ser ponteadas ou soldadas.

d) Montagem de Acessórios:

As conexões devem ser locadas por instrumento óptico, observando-se se são: radiais ou paralelas.

Não deverá haver sobreposição das chapas das conexões com as soldas do costado exceto para os casos de reforço integral, quando especificado.

Imediatamente após a montagem dos flanges, os mesmos devem ter suas faces protegidas com graxa e com tampos de madeira.

Os flanges devem ser instalados, nivelando-os de forma que o eixo vertical passe pelo meio do intervalo entre dois furos.

Os furos para testes das chapas de reforço devem ser feitos antes da montagem das mesmas.

As chapas de reforço não devem ter cantos vivos e rebarbas e deverão ser testadas com ar comprimido conforme procedimento de inspeção.

O tratamento térmico quando especificado deverá ser executado conforme procedimento de execução específico.

Todos os parafusos empregados devem estar identificados, protegidos com graxa contra corrosão e conforme especificação do projeto.

e) Pintura:

A pintura deverá ser executada conforme procedimento específico e após a liberação do teste hidrostático.

3.6.3 – Esfera:

As soldas das colunas às chapas equatoriais e das conexões às chapas polares são feitas na fase da pré-fabricação e submetidas ao tratamento térmico de alívio de tensões.

A montagem é desenvolvida na seguinte seqüência:

a) Montagem das colunas e chapas da zona equatorial..

b) Soldagem das juntas verticais V1 da zona equatorial.

c) Soldagem das emendas, H2, das colunas.

d) Montagem das zonas intermediárias e soldagem das juntas V2.

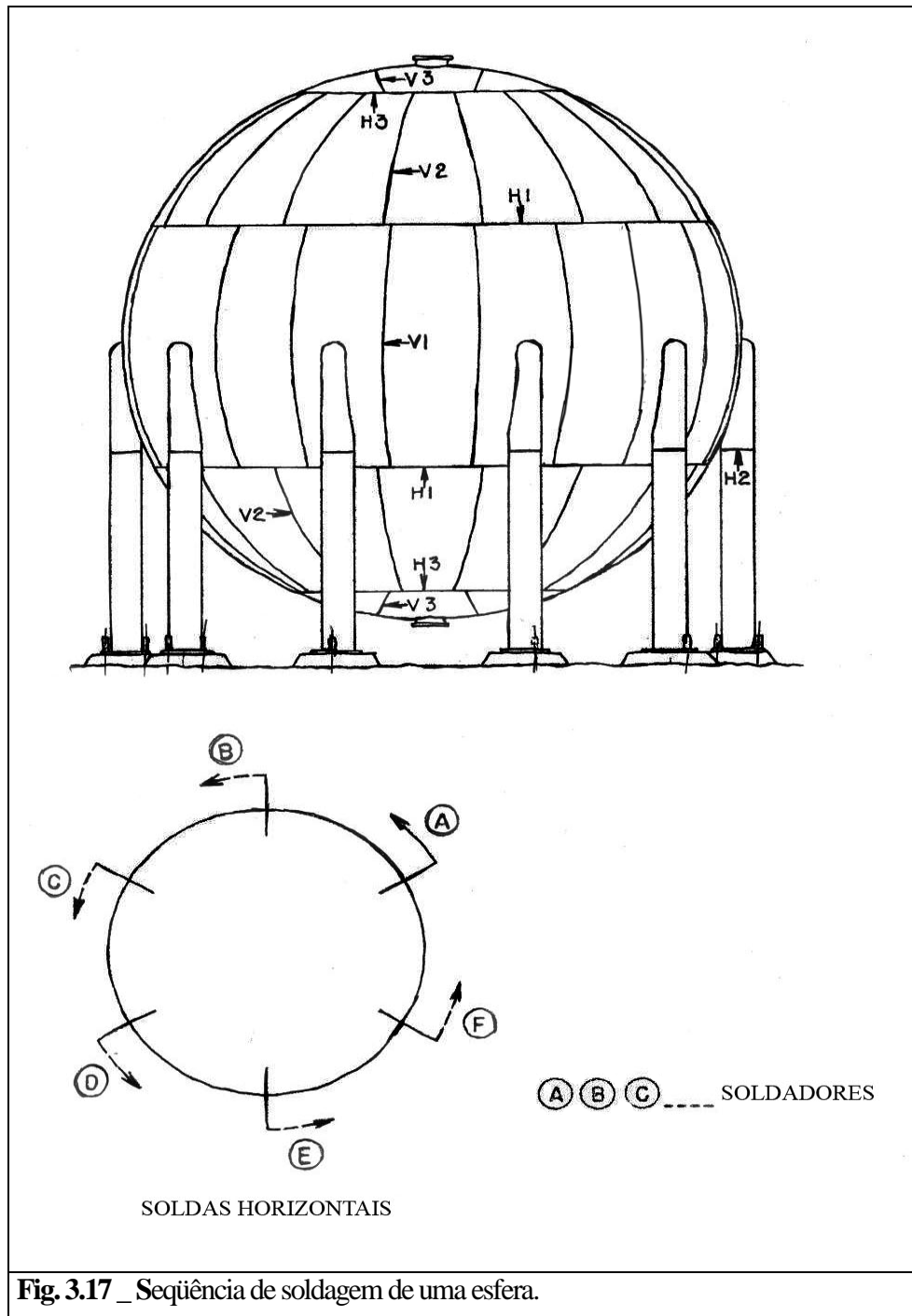
e) Soldagem das juntas horizontais H1. Os soldadores são dispostos simetricamente como indica a fig. 3.16.

f) Montagem das partes que compõem os pólos. Soldagem das juntas V3.

g) Soldagem das horizontais H3. São soldas que dispõem de pequeno grau de liberdade de contração e, por isso a maior probabilidade de apresentar trincas. Esse defeito pode ocorrer tanto durante a montagem como em serviço no caso dos vasos sem tratamento de alívio de tensões.

A obediência à seqüência de montagem e tanto mais necessária quanto maior e a resistência do material empregado.

A seqüência de enchimento do chanfro é função da posição dos dispositivos de montagem. No hemisfério superior os dispositivos são instalados no lado externo e a soldagem inicia-se no lado interno. No hemisfério Inferior ocorre o inverso. Os chanfros podem ser assimétricos com o lado menor reservado à goivagem.



### 3.7 – EFEITO DAS TENSÕES RESIDUAIS NO COMPORTAMENTO DAS SOLDAS:

As tensões residuais influenciam o comportamento, em serviço, das soldas de 4 modos, a saber:

- \_ Aumentam o risco de ruptura frágil.
- \_ Alteram a estabilidade dimensional.
- \_ Diminuem a resistência à corrosão, notadamente à corrosão sob tensão.
- \_ Modificam a resistência à fadiga.

### 3.7.1 – Risco de ruptura frágil:

As observações, a seguir, foram retiradas do Código Francês para vasos de pressão (SNCT N° 133.1-1).

"Três condições são necessárias para o início de uma ruptura frágil":

- a) Nível de tensões suficientemente elevado.
- b) Presença de um entalhe suficientemente agudo.
- c) Temperatura inferior a uma certa "temperatura de transição".

Estas três condições devem existir simultaneamente para que a fratura se inicie. O risco é praticamente inexistente se uma destas condições não é satisfeita, por exemplo, se a temperatura é elevada ou se não existe entalhes ou tensões.

A influência mútua dificulta a definição de cada um dos fatores. De um modo geral a ruptura ocorre, em temperatura tanto mais baixa quanto menor é o nível de tensões e menos agudos são os entalhes.

As dimensões e a complexidade do equipamento têm grande importância, Para entalhes idênticos e materiais de mesma ductilidade, a ruptura frágil é mais provável nos equipamentos de grandes dimensões e, sobretudo, de espessura elevada. Orifícios grandes também contribuem para o aumento desta probabilidade.

#### a) Nível de tensões:

A ruptura frágil só se inicia sob tensões da tração. Tudo indica que para os aços carbono e carbono-manganês - usados na maior parte dos vasos de pressão - são necessárias tensões da ordem do limite de escoamento, na região do entalhe, para que a ruptura se desencadeie. Deste modo, para os vasos construídos conforme o Código, não há possibilidade de ruptura nas chapas ou soldas tratadas termicamente, mesmo em presença de entalhe, a menos que a temperatura seja muito inferior (70 a 110°C) a temperatura de transição. No entanto, a fratura pode ter início num entalhe situado nas regiões de concentração de tensões que existem na maioria dos vasos construídos de acordo com o Código, como por exemplo, nas imediações de grandes aberturas, entre orifícios próximos etc... Uma vez iniciada, a fratura se propaga sob tensões bem inferiores ao limite de escoamento.

As tensões susceptíveis de provocarem ruptura frágil podem ser as tensões de trabalho, as tensões residuais ou a superposição das duas. As tensões residuais de soldagem são particularmente perigosas, em face de sua intensidade e por atuarem sobre um metal que foi submetido à deformação plástica em temperatura capaz de provocar o envelhecimento (fragilização tenso-térmica). Estas tensões provocam, às vezes, rupturas frágeis durante a fabricação ou mesmo com os equipamentos fora de operação. É, portanto, indiscutível a importância do tratamento térmico de alívio de tensões.

#### b) Entalhes:

Entende-se por entalhe toda descontinuidade que modifica a distribuição de tensões, por exemplo:

- Variações de forma e espessura com canto vivo (conexões, bocas de visita, chapa de reforça).
- Reforços, suportes de isolamento térmico, suportes do vaso.

#### Defeitos de solda:

- Irregularidades superficiais: reforço excessivo e mordeduras.



- Penetração incompleta e falta de fusão.
- Inclusões e porosidades.

Além destes entalhes geométricos, também se deve considerar os "entalhes metalúrgicos", isto é, variações bruscas de propriedades mecânicas como, por exemplo, a tempera provocada pela soldagem.

Sobre a ação dos entalhes, aplicam-se as seguintes observações:

- Nos equipamentos sem alívio de tensões, os defeitos mais perigosos são aqueles que estão nos limites da zona fundida (mordedura, falta de fusão, penetração incompleta), pois é relativamente rara a fratura provocada por defeitos internos à solda. Nos equipamentos tratados termicamente, não há motivo para essa distinção.
- Os entalhes metalúrgicos devidos à tempera podem ser agravados pela presença de trincas sob cordão provocadas pelo hidrogênio nos aços ferríticos. Após o tratamento térmico o efeito de entalhe desaparece, entretanto as trincas permanecem.
- É perigoso soldar os aços envelhecíveis que tenham sido encruados por ocasião das operações de conformação. As ranhuras superficiais e as marcas de punção são perigosas. Estas últimas, além de entalhes geométricos, são também metalúrgicos resultantes do encruamento e envelhecimento.
- Quanto aos aços temperáveis, os cordões de solda executados sem precauções - sem pré-aquecimento e com baixa energia - são os mais perigosos. For exemplo: ponteamento, soldas de suportes e soldas provisórias.

#### c) Temperatura de transição:

Acima da temperatura de transição o material - mesmo com entalhe - apresenta uma grande deformação antes do rompimento. Abaixo dessa temperatura, em presença de um entalhe suficientemente agudo, é possível o rompimento por decoesão - fratura de aspecto cristalino - sem deformação.

Convém distinguir a "temperatura de transição do material", que é uma de suas características, da "temperatura de transição do equipamento". Esta última, além das propriedades do material, leva em conta as dimensões, os entalhes e as solicitações específicas do equipamento.

Em última análise é a temperatura de transição do equipamento que interessa, um equipamento em nenhuma ocasião deve estar abaixo desta temperatura. Sua determinação pode ser conseguida em função da temperatura de transição do material, obtida por um método padronizado - como, por exemplo: charpy V...

Deve-se levar em conta a influência dos processos de fabricação sobre a temperatura de transição. A granulação grosseira resultante do superaquecimento nas operações de conformação a quente, eleva consideravelmente a temperatura de transição. O encruamento por deformação a frio tem o mesmo efeito. Daí a necessidade de tratar termicamente peças encruadas ou conformadas a quente fora dos limites de temperatura adequados.

O conceito de "temperatura de transição do equipamento" conduz à necessidade de definição de uma temperatura mínima permissível para operação e teste do equipamento e sua relação com a "temperatura de transição do material".

A tabela HD-155.1 do Código ASME secção VIII Revisão 2 estabelece esta relação.

Os equipamentos que atendem as exigências do Código - quanto a materiais, tensões admissíveis e defeitos toleráveis - não correm o risco de ruptura frágil nas temperaturas recomendadas.

Tabela HD-15B.1

Temperaturas mínimas permissíveis de metais em vasos de pressão para metais ferrosos, outros que não austeníticos, em relação à temperatura de teste de impacto.

Tipo de vaso	Temperatura de serviço	Temperatura do teste de pressão	Temperatura de partida
Base Vessel			
Como soldado	Mesma	Acima de 30 F (1,1°C )	(Nota 1)
Pós tratamento térmico	Mesma	Mesma	(Nota 1)
Lethal			
Como soldado		Não permitido	
Pós tratamento térmico	(Nota 4)	(Nota 4)	(Nota 1)
Serviço refrigerado (Note 3)			
Como soldado	Mesma (Nota 2)	Acima de 30 F (1,1°C )	(Nota 1)
Pós tratamento térmico	Mesma	Mesma	(Nota 1)

## NOTAS:

<sup>1</sup> Se for aplicada uma pressão em um metal a uma temperatura abaixo da temperatura mínima permissível esta não deve exceder 20 por cento do requerido no teste de pressão.

<sup>2</sup> Somente quando em solda de bocais e outras áreas de altos valores de concentração de tensões sofrem tratamento térmico após soldagem, exceto no caso de aço com 9 por cento de níquel, até e incluindo 25 mm de espessura, ou mesmo acima de 30 F (-1,1°C).

<sup>3</sup> Serviço refrigerado para propósitos desta tabela é definido como serviço abaixo de 32F (0°C) onde a temperatura é controlada no processo ao invés de ser causada por condições atmosféricas.

<sup>4</sup> 20 F (~10°C) a mais para cada polegada adicional de espessura nominal ou fração para espessuras acima de 1" (~25 mm), mas não deve exceder temperaturas superiores a 60F (~15°C).

\* Quando testes de impacto não forem realizados por que a fig. AM-218.1 é utilizada, a temperatura mínima permissível da fig. AM-218.1 ser considerada para temperatura de teste de impacto para uso aplicando esta tabela.

Tabela HD-155.1

3.7.2 – Estabilidade dimensional:

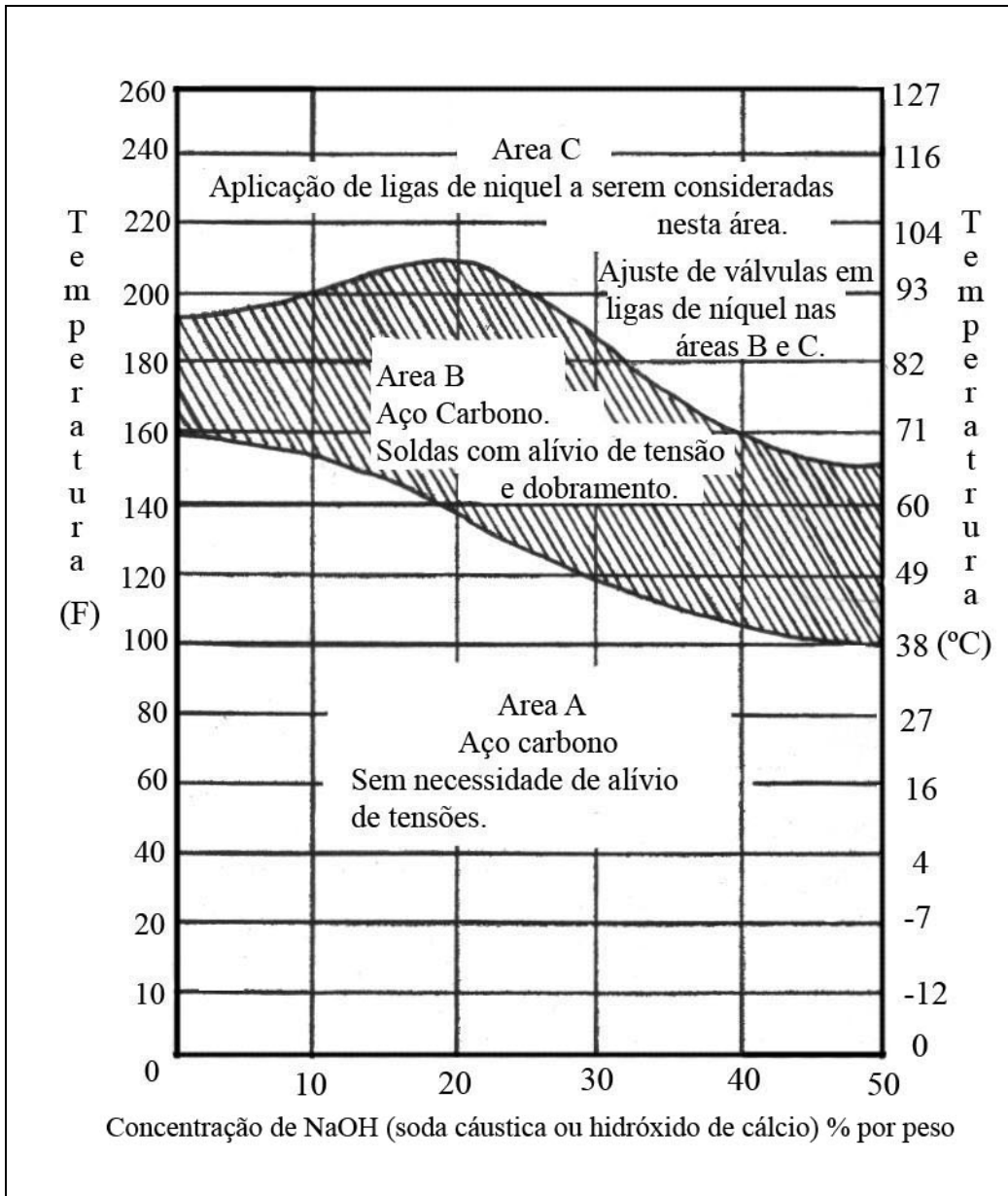
A usinagem de uma peça soldada e sem alívio de tensões remove material tensionado causando uma redistribuição de tensões e conseqüente deformação. O tratamento térmico de alívio de tensões restitui a estabilidade dimensional.

3.7.3 – Resistência à corrosão sob tensão:

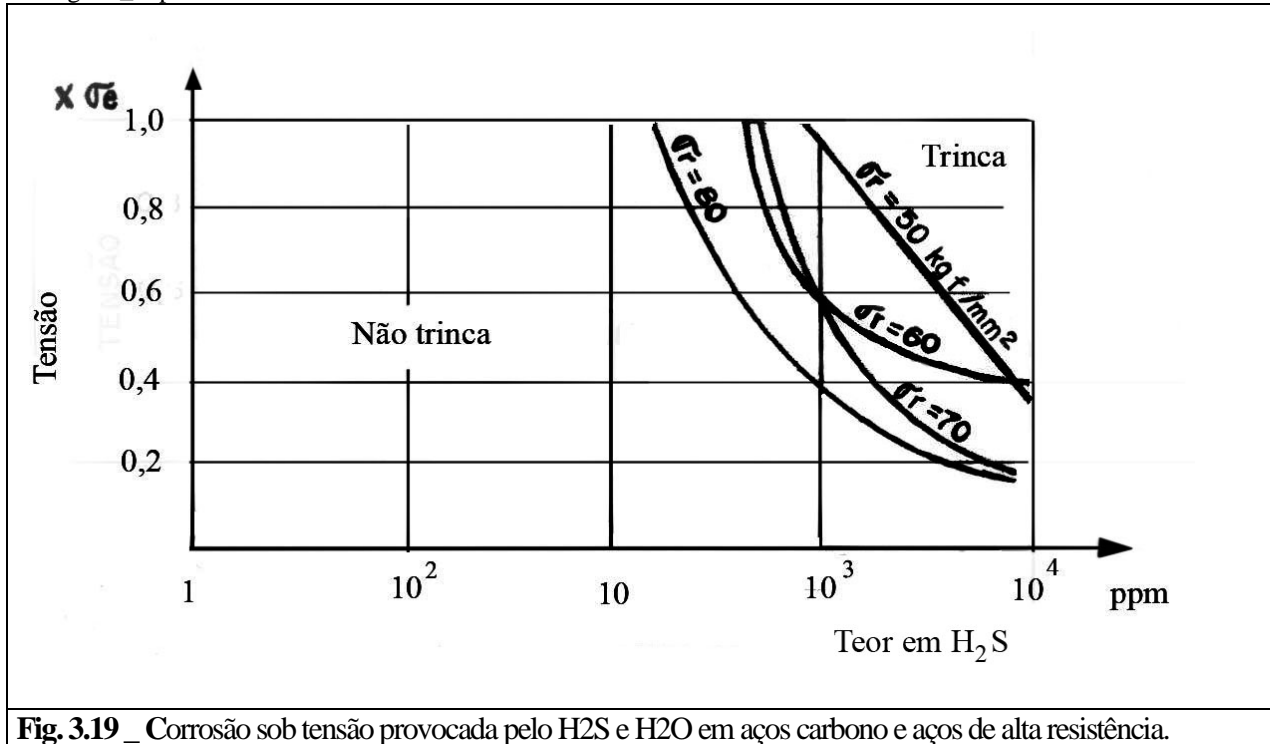
Em presença de determinados meios corrosivos, os materiais metálicos estão sujeitos a apresentar trincas nas regiões submetidas a tensões estáticas de tração. Às tensões residuais de soldagem são particularmente perigosas em virtude de sua intensidade.

Em refinarias de petróleo e petroquímicas é comum a aplicação de tratamento térmico de alívio de tensões para prevenir a corrosão sob tensão. Os meios agressivos mais comuns são:

- Aços carbono x soda cáustica, conforme indica a fig. 3.18.
- Aço carbono e aços de alta resistência H<sub>2</sub>S (ácido sulfídrico). Fará meios com teores elevados de H<sub>2</sub>S, além do tratamento térmico é necessária a limitação da dureza das soldas em 200 Brinell (fig. 3.19).
- Aço carbono x cianetos em fase líquida a frio.
- Aço de alta resistência x amônia anidra.



**Fig. 3.18** \_ Corrosão sob tensão provocada pela soda cáustica. Condições para as quais é necessário o tratamento térmico de alívio de tensões.



**Fig. 3.19** \_ Corrosão sob tensão provocada pelo  $H_2S$  e  $H_2O$  em aços carbono e aços de alta resistência.

O aço inoxidável austenítico em contato com cloretos, iodetos e fluoretos é susceptível à corrosão sob tensão, entretanto o tratamento térmico de alívio de tensões pode provocar outros inconvenientes como a "sensitização" - predisposição à corrosão intergranular.

#### 3.7.4 – Resistência à fadiga:

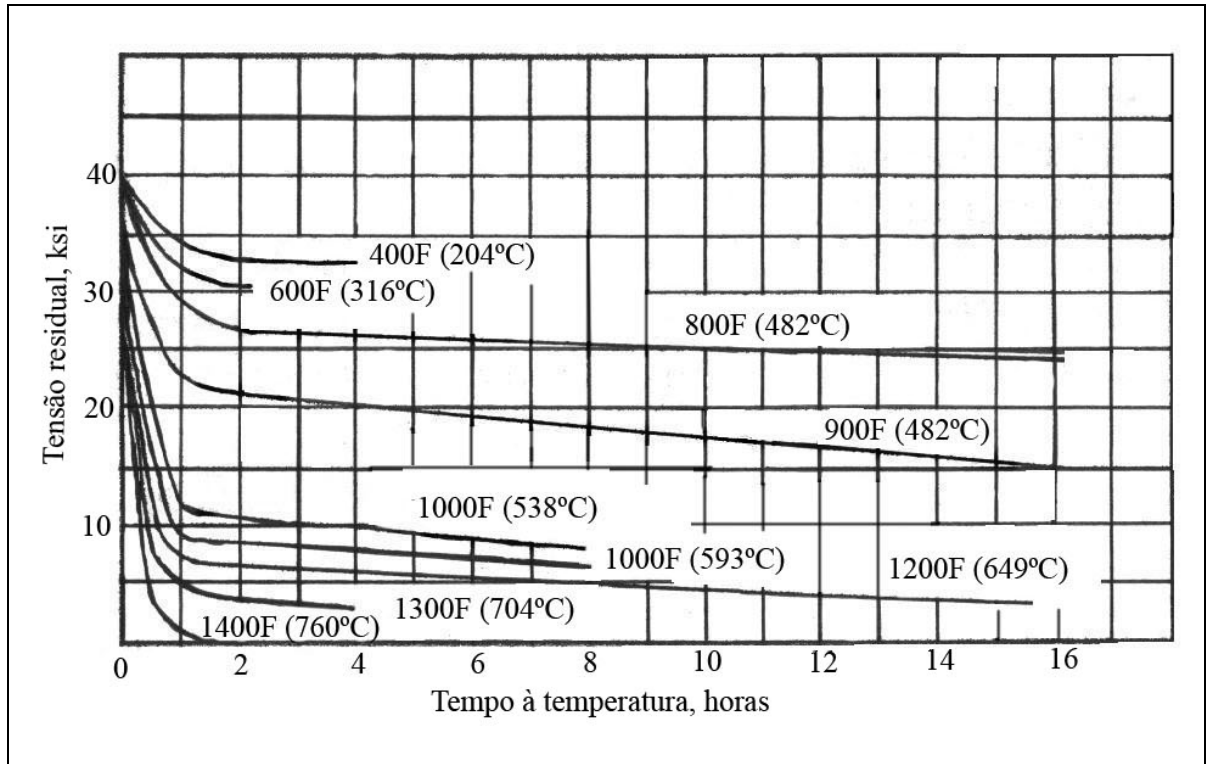
Os defeitos de solda e as variações de forma têm muito maior influência na resistência à fadiga do que as tensões residuais. Embora dados exatos do problema são obtidos por meio da verificação experimental e razoável afirmar que as peças submetidas ao tratamento térmico de alívio de tensões têm resistência à fadiga levemente maior que as peças no estado bruto de soldagem.

### 3.8 – TRATAMENTO TÉRMICO DE ALÍVIO DE TENSÕES:

#### 3.8.1 – Mecanismo:

Admitindo algumas simplificações, o tratamento térmico de alívio de tensões consiste em aquecer uniformemente a peça de modo que o limite de escoamento do material fique reduzido a valores inferiores às tensões residuais. Nesta condição, as tensões residuais provocam deformações plásticas locais diminuindo de intensidade.

A fig. 3.20 mostra que o alívio de tensões se faz em duas etapas:



**Fig. 3.20** \_ Influência da temperatura e do tempo no alívio de tensões.

Aço com 0,21%C e 1,44%Mn. Limite de resistência de 70.000 psi.

a) Durante a primeira hora de tratamento ocorre a maior redução de tensões. Nos tratamentos realizados em temperatura elevada, a principal causa do alívio de tensões é a plastificação local resultante da redução do limite de escoamento. O pequeno alívio de tensões que ocorre em temperaturas baixas, como, por exemplo, a 204°C (400°F), não pode ser atribuído à redução do limite de escoamento e sim ao fenômeno de recuperação ("recovery").

b) Nas horas subseqüentes as tensões residuais diminuem também por deformação plástica, resultante da fluência ("creep") do material.

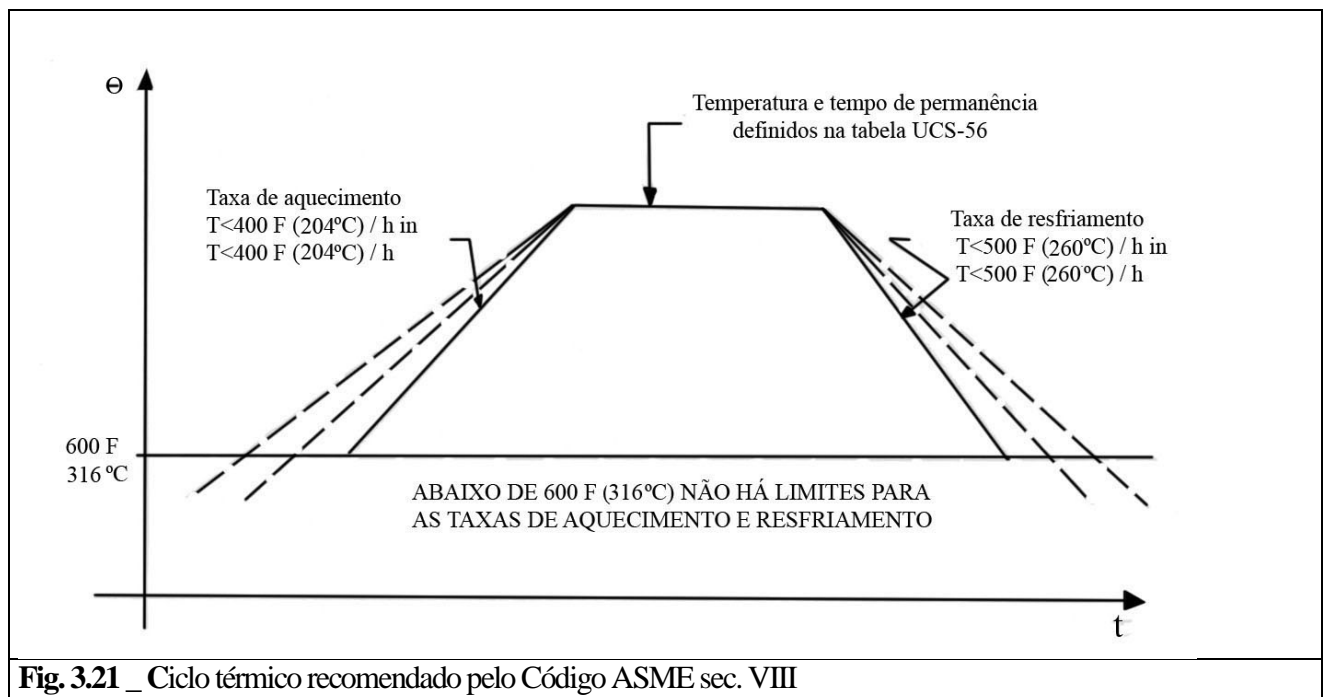
Somente os tratamentos feitos em temperaturas superiores a 500°C - para os aços carbono - são realmente eficazes. Quanto maior for o nível inicial de tensões residuais mais elevadas serão as tensões após o tratamento térmico. Os aços resistentes à fluência ("creep") requerem temperatura - ou tempo - mais elevados que para os aços carbono. Na soldagem em vários passes, a sucessividade dos passes não reduz a intensidade das tensões residuais.

### 3.8.2 – Exigências do Código ASME seção VIII:

O Código ASME define a necessidade do tratamento térmico em função da espessura da peça e do tipo de material - grupo P.

a) O item UCS-56 (d) estabelece a espessura que deve ser tomada como base.

b) O ciclo térmico do tratamento, conforme o item UCS-56(e), está esquematizado na fig. 3.21.



As variações de temperatura máximas toleradas são as seguintes:

Durante o aquecimento: 250F (121°C) entre pontos distantes de 470 mm.

Durante a permanência: 150F (65°C) entre pontos quaisquer.

c) As exigências e exceções próprias aos diferentes materiais encontram-se nas notas da tabela UCS-56. Vasos para substâncias letais ou que operem em temperaturas inferiores a -20°F (-29°C) devem sofrer o tratamento térmico de alívio de tensões independentemente da espessura e material. Para os aços liga, além do alívio de tensões, o tratamento restitui a ductilidade do material através do revenimento das regiões temperadas.

d) É possível a execução do tratamento em temperaturas inferiores a recomendada, desde que o tempo de permanência seja aumentado na seguinte proporção (conforme nota 1 da tabela UCS-56):

600° C	-	1 hora
570°C	-	2 horas
540°C	-	3 horas
510°C	-	5 horas
480°C	-	10 horas

É interessante notar que o ultimo valor está em desacordo com o gráfico da fig. 3.19. Este procedimento não se aplica aos materiais dos grupos P4, P5 e P10B.

e) O método de tratamento preferido é o aquecimento total do recipiente no interior de um forno.

Entretanto, são admitidos os seguintes modos de execução (conforme item UW-4-0):

e.1) Aquecimento do vaso em partes, desde que haja uma superposição mínima de 1050mm e que o gradiente de temperatura não seja prejudicial.

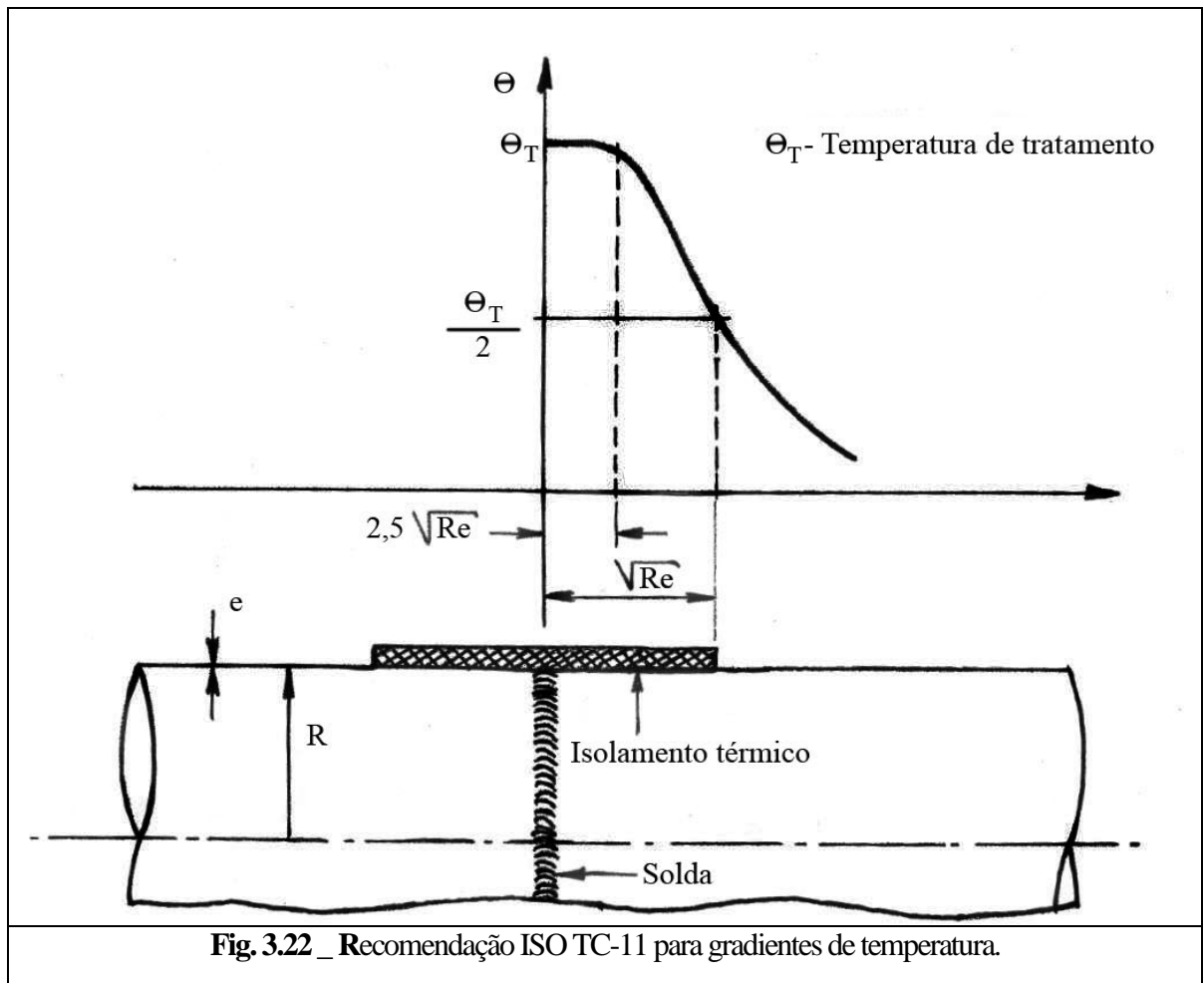
e.2) Tratamento de soldas circunferenciais, desde que seja aquecida uma faixa de 2 x espessura de cada lado da solda e em toda volta, observado o gradiente de temperatura adequado.

e.3) Aquecimento interno ao vaso, desde que a pressão interna seja inferior a 50% da pressão máxima de trabalho permissível, na temperatura de tratamento.

e.4) No tratamento térmico local das soldas de conexões, a faixa aquecida deve envolver todo o vaso, conter a conexão e mais 6 x espessura de cada lado. Deve-se controlar o gradiente de temperatura.

As observações acima são válidas para os aços carbono e baixa liga. Existem regras idênticas nos itens UHT-56, UHA-32 e UCL-34.

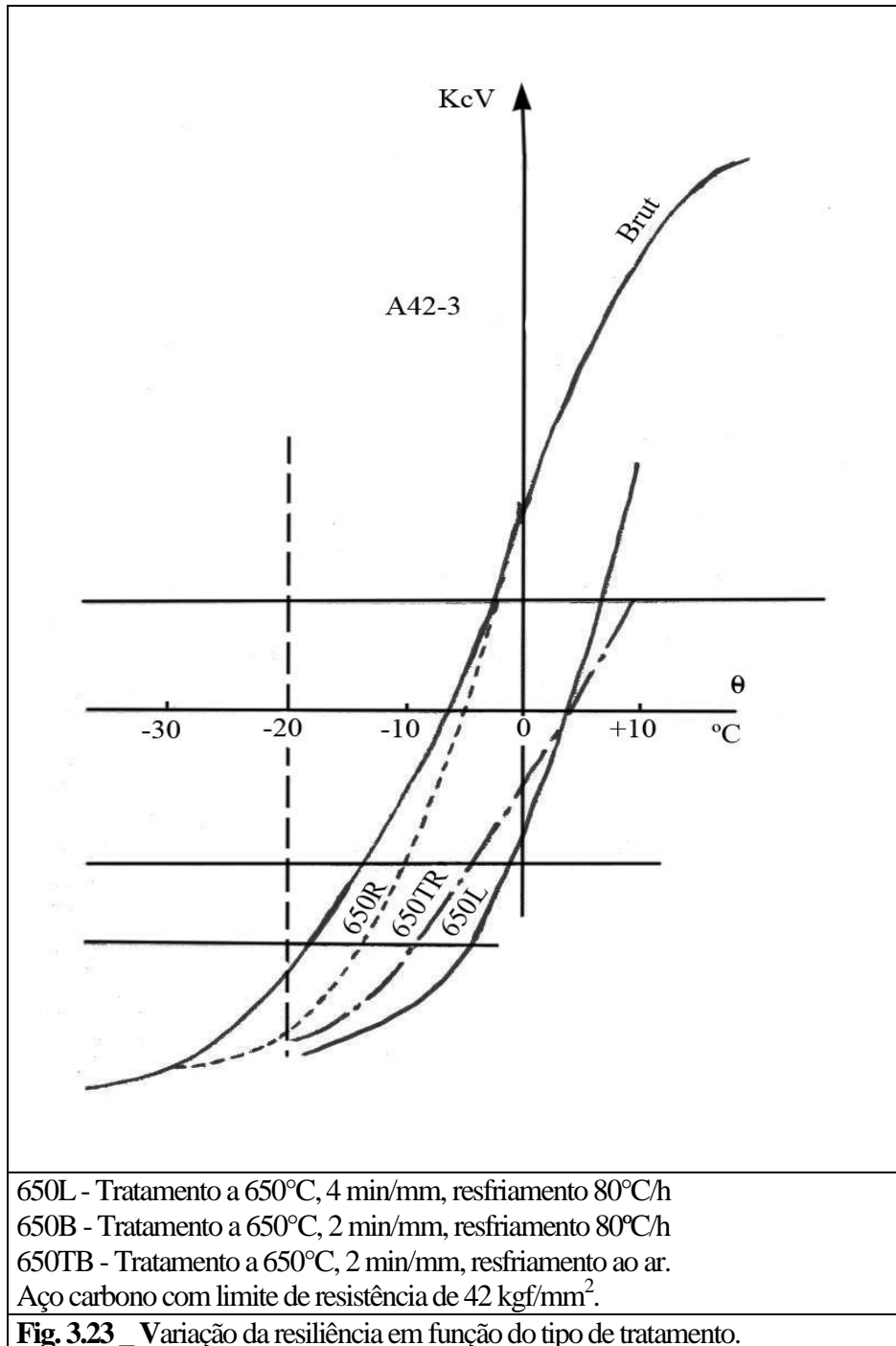
O Código não especifica os gradientes de temperatura a serem obedecidos, contudo, a adoção da recomendação da comissão ISO TC-11 (Código internacional para vasos de pressão) tem apresentado bons resultados (fig. 3.22).



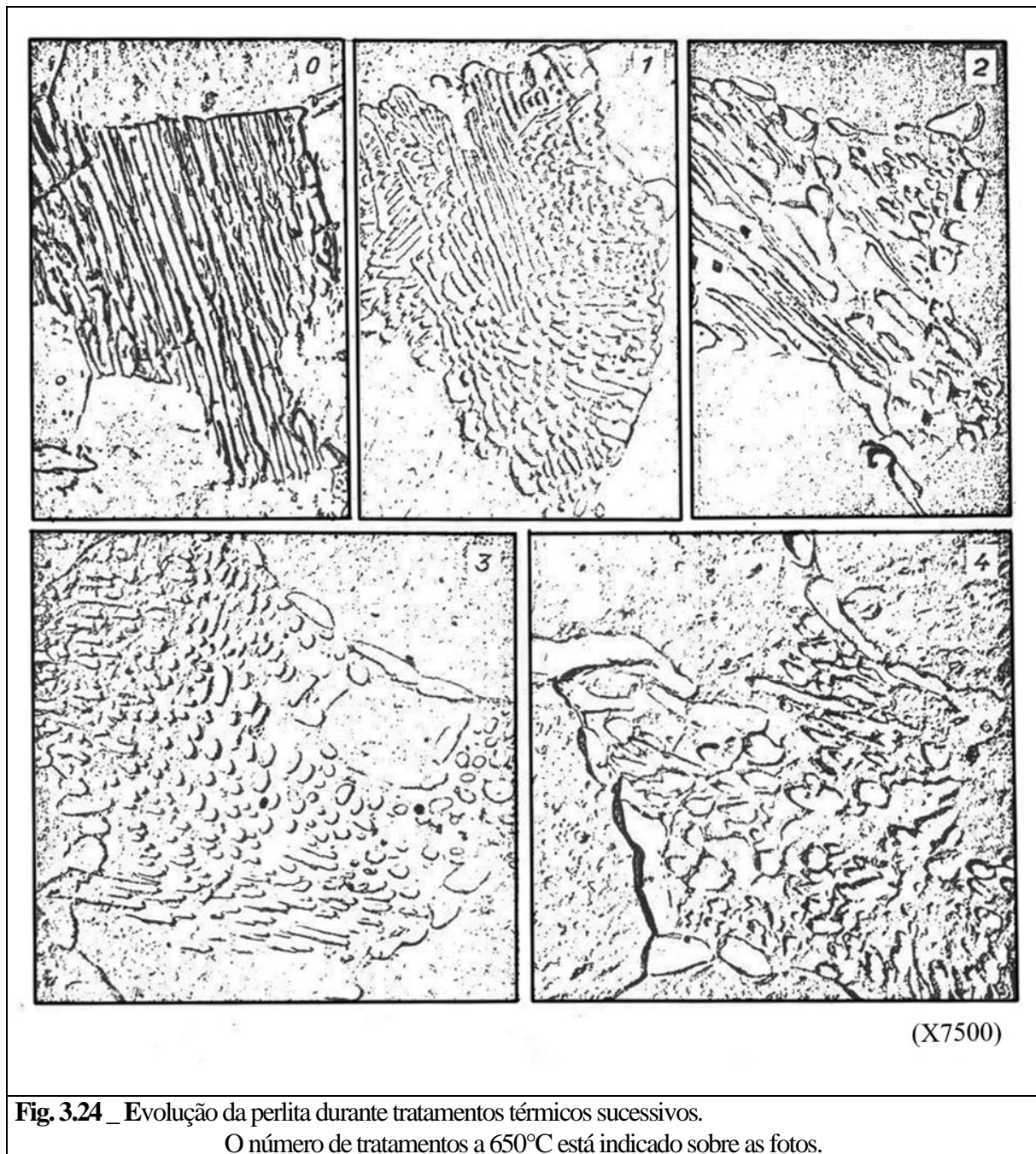


### 3.8.3 – Influência sobre as propriedades mecânicas do metal de base:

O tratamento térmico de alívio de tensões pode reduzir a resiliência do metal de base. A fig. 3.23 apresenta os resultados do ensaio de resiliência com entalhe em V.



A figura 3.24 ilustra as modificações estruturais resultantes de tratamentos sucessivos.

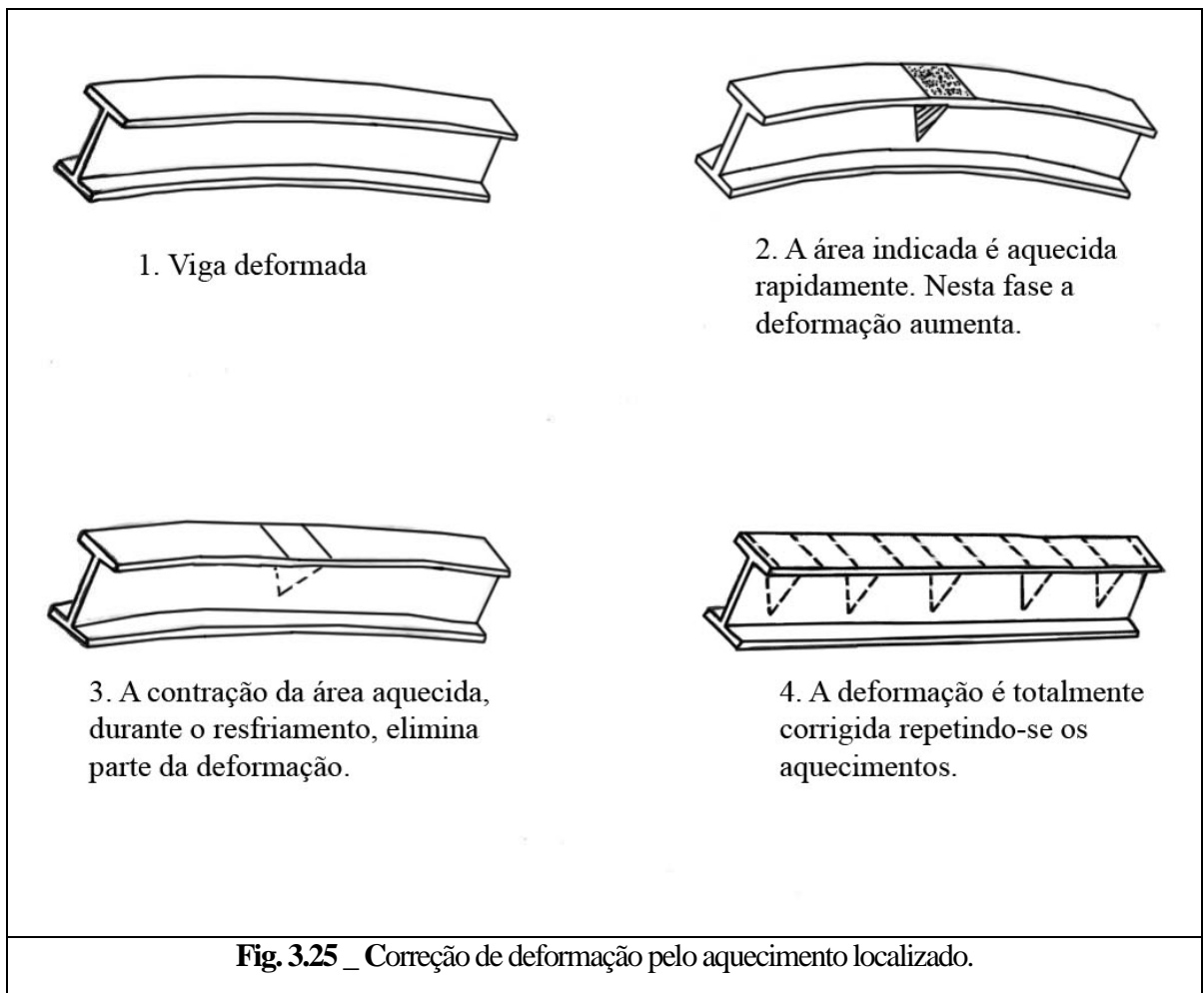


A coalescência da cementita durante o tratamento térmico de alívio de tensões diminui a resiliência do metal de base. Tudo indica que a alteração estrutural está relacionada à duração do tratamento e principalmente do patamar. É, portanto, razoável a exigência do Código ASME secção VIII Revisão 2 para que as chapas de produção - de onde são retirados os corpos de prova para o ensaio de resiliência - sejam submetidas a um tratamento térmico idêntico ao que se espera para o vaso em questão.

### 3.9 – CORREÇÃO DE DEFORMAÇÕES PELO AQUECIMENTO LOCALIZADO:

A contração provocada por aquecimentos localizados pode corrigir deformações. A aplicação dessa técnica depende

fundamental mente da experiência. A única regra geral é de que o lado aquecido diminuirá após o resfriamento. A operação está esquematizada na figura 3.25.



#### 4 – ESPECIFICAÇÕES E NORMAS DE SOLDAGEM:

A soldagem, quando aplicada à fabricação de equipamentos da Indústria do Petróleo e Petroquímica, é disciplinada por normas e especificações que passaremos a analisar.

##### 4.1 – ESPECIFICAÇÃO AWS/ASTM PARA METAIS DE ADIÇÃO:

Na especificação AWS/ASTM (American Welding Society/American Society for Testing and Materials) os metais de adição são designados por um conjunto de algarismos e letras com um dos três prefixos:

- E - Eletrodo consumível
- R - Vareta para soldagem a arco e a gás
- B - Metal de adição para brasagem

Combinações, como por exemplo ER, indicam a possibilidade de aplicação aos dois processos.

Os metais de adição são grupados em função da classe da material a do processo de soldagem, como segue:

AWS A 5.1 (ASTM A 233) - Eletrodos revestidos para a soldagem do aço carbono.

AWS A 5.2 (ASTM A 251) - Varetas para a soldagem a gás do aço carbono.

AWS A 5.3 (ASTM B 184) - Eletrodos para a soldagem do alumínio e ligas de alumínio.

AWS A 5.4 (ASTM A 298) - Eletrodos revestidos para a soldagem dos aços cromo e cromo-níquel resistentes a corrosão.

AWS A 5.5 (ASTM A 316) - Eletrodos revestidos para a soldagem dos aços de baixa liga.

AWS A 5.6 (ASTM B 225) - Eletrodos nus e revestidos para a soldagem do cobre e ligas de cobre.

AWS A 5.7 (ASTM B 259) - Varetas para a soldagem do cobre e ligas de cobre.

AWS A 5.9 (ASTM A 371) - Eletrodos e varetas para a soldagem dos aços cromo e cromo-níquel resistentes à corrosão.

AWS A 5.10 (ASTM B 285) - Eletrodos e varetas para a soldagem do alumínio e ligas de alumínio.

AWS A 5.11 (ASTM B 295) - Eletrodos revestidos para a soldagem do níquel e ligas de níquel.

AWS A 5.12 (ASTM B 297) - Eletrodos de tungstênio.

AWS A 5.13 (ASTM B 399) - Eletrodos e varetas para a soldagem de revestimentos.

AWS A 5.14 (ASTM B 304) - Eletrodos e varetas para a soldagem do níquel e ligas de níquel.

AWS A 5.15 (ASTM A 398) - Eletrodos revestidos e varetas para a soldagem do ferro fundido.

AWS A 5.16 (ASTM A 382) - Eletrodos e varetas para a soldagem do titânio e ligas de titânio.

AWS A 5.17 (ASTM A 558) - Eletrodos e fluxos para a soldagem a arco submerso do aço carbono.

AWS A 5.18 (ASTM A 559) - Eletrodos para a soldagem MIG - MAG dos aços carbono.

AWS A 5.19 - Eletrodos e varetas para a soldagem das ligas de magnésio.

AWS A 5.20 - Eletrodos tubulares para a soldagem do aço carbono.

AWS A 5.21 - Eletrodos e varetas compósitos para a soldagem de revestimentos.

Observações:

(1) A especificação AWS/ASTM não prevê todos os tipos de metais de adição disponíveis atualmente. Alguns por serem de formulação recente e outros por terem suas características mantidas como segredo de fabricação.

(2) Não serão considerados, neste capítulo, os metais de adição para brasagem. Suas propriedades estão descritas na especificação AWS A 5.8 (ASTM B 260).

(3) O objetivo das considerações que se seguem é apresentar os diferentes tipos de metais de adição AWS/ASTM.

4.1.1 – Eletrodos revestidos para a soldagem dos aços carbono e de baixa liga:

Os eletrodos revestidos têm designação do tipo EXXXX-X. Os dois (em alguns casos, três) primeiros algarismos indicam aproximadamente o limite de resistência mínimo exigido para o metal depositado.

Eletrodo	Limite de resistência mínimo (psi) (1)	
	E60XX	62.000 (2)
E70XX-I	72.000 (4)	70.000
E80XX-I	80.000	
E90XX-X	90.000	
E100XX-X	100.000	
E110XX-X	110.000	
E120XX-X	120.000	

(1) Os corpos de prova são preparados em condições padronizadas especialmente no que se refere ao pré-aquecimento, temperatura entre passes e tratamentos térmicos.

(2) Valor exigido para os eletrodos E6010, E6011.

(3) Valor exigido para os eletrodos E6012, E6013.

(4) Valor exigido para os eletrodos de aço carbono.

Os demais valores correspondem aos eletrodos de baixa liga.

O terceiro algarismo especifica as posições em que o eletrodo pode ser empregado com resultados satisfatórios.

Eletrodo	Posições
EXX1X-X	Todas
EXX2X-X	Horizontal (em ângulo). Plana
EXX3X-X	Plana

O tipo de corrente elétrica requerida e a natureza do revestimento são indicados pelo quarto algarismo. A parte metálica do eletrodo (alma) é comum aos diferentes tipos de eletrodo, mesmo para os aços de baixa liga. Trata-se de um aço de baixo carbono do tipo efervescente. Os elementos desoxidantes e de liga são incorporados ao revestimento.

A expansão dos gases contidos no aço efervescente, durante a fusão do eletrodo, favorece a transferência de metal para a solda, notadamente na posição sobre-cabeça. A tabela 4.1 apresenta os tipos de revestimentos reconhecidos pela classificação AWS/ASTM.

Eletrodo	Revestimento (1)	Tipo de corrente
EXXX0-X	Celulose aglomerada com silicato de sódio.	CC polaridade inversa.
EXXX1-X	Celulose aglomerada com silicato de potássio.	CA CC polaridade inversa.
EXXX2	Óxido de titânio aglomerado com silicato de sódio.	CA CC polaridade direta.
EXXX3-X	Óxido de titânio aglomerado com silicato de potássio .	CA CC ambas polaridades.
EXXX4	Idêntico aos dois anteriores com 20% de pó de ferro.	CA CC ambas polaridades.
EXXX5-X	Baixo hidrogênio. Calcário aglomerado com silicato de sódio.	CC polaridade inversa.
EXXX6-X	Baixo hidrogênio. Calcário e óxido de titânio aglomerados com silicato de potássio.	CA CC polaridade inversa.
EXXX7	Oxido de ferro e pó de ferro aglomerados com silicato de sódio.	CA CC polaridade direta.
EXXX8-X	Idêntico ao anterior com 25-40% de pó de ferro.	CA CC polaridade inversa.

**Tabela 4.1 \_ Tipos de revestimentos.**

(1) Características principais do revestimento:

EXXX0-X - O alto teor em celulose proporciona um arco penetrante com transferência de metal por "spray" protegido por uma atmosfera de CO, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O. Como consequência, apresenta boas características de operação em todas as posições de soldagem. A camada de escória é fina e fácil remoção. O teor de hidrogênio dissolvido no metal depositado é elevado, da ordem de 20 ml por 100 g de metal.

EXXX1-X – O silicato de potássio estabiliza o arco elétrico permitindo a soldagem com corrente alterna da. No restante é idêntico ao revestimento anterior.

EXXX2 - o revestimento é constituído principalmente de substâncias formadoras de escória. O arco é de penetração média. Com baixa intensidade de corrente a penetração é reduzida a ponto de possibilitar a soldagem de Juntas de preparação deficiente. Os depósitos são mais resistentes e menos duteis que os celulósicos, entretanto às soldas com

mais de 1 passe tem tendência a apresentar quantidades não desprezíveis de porosidade e escória.

EXXX3-X - Eletrodo que pode ser usado com qualquer tipo de corrente elétrica. A escória é de fácil remoção proporcionando boa compacidade mesmo às soldas em vários passes. Muito usado para juntas de preparação deficiente ("poor fit-up"). A quantidade de hidrogênio dissolvido no metal depositado é moderada, da ordem de 13 ml/100 g. Esta última observação é também válida para o revestimento EXXX2.

EXXX4 - A adição de pó de ferro melhora as características de operação do eletrodo. Quanto às propriedades restantes, são idênticas aos dois revestimentos anteriores.

A principal propriedade dos 3 revestimentos que se seguem é o baixo teor em hidrogênio dissolvido no metal depositado - da ordem de 2 ml/100 g - conseguido com ingredientes inorgânicos e por meio de secagem em temperatura elevada e a vácuo. Conhecidos como eletrodos de baixo hidrogênio, proporcionam as seguintes vantagens:

(a) Evitam a fissuração sob cordão nas soldas dos aços temperáveis, desde que, durante seu manuseio, o revestimento não absorva umidade.

(b) Produzem soldas de resiliência elevada, mesmo sem tratamento térmico.

(c) Permitem a soldagem dos aços com teor de enxofre elevado graças à ação dessulfurizante da escória básica.

EXXX5-X - Revestimento calcário. Arco de penetração moderada. Escória de fácil remoção, exceto em chanfros estreitos e profundos.

EXXX6-X - O óxido de titânio e o silicato de potássio possibilitam a soldagem com corrente alternada.

EXXX8-X - É o revestimento que reúne diversas vantagens. Têm o arco estável como o EXXX4 e o baixo teor em hidrogênio do EXXX5.

EXXX7 - Trata-se de um revestimento, normalmente empregado nos eletrodos E6027, que contém grande quantidade de óxido e pó de ferro possibilitando a soldagem com alta taxa da deposição.

O sufixo X da designação se compõe de letras e algarismos que especificam a composição química do metal depositado.

Eletrodo	Composição aproximada
EXXXX-A1	C - 1/2% Mo
EXXXX-B1	1/2% Cr - 1/2% Mo
EXXXX-B2	1 1/4% Cr - 1/2% Mo
EXXXX-B2L	1 1/4% Cr - 1/2% Mo (baixo carbono)
EXXXX-B4L	2% Cr - 1/2% Mo (baixo carbono)
EXXXX-C1	2 1/2% Ni
EXXXX-C2	3 1/2% Ni
EXXXX-C3	1% Ni
EXXXX-B3	2 1/4% Cr - 1% Mo
EXXXX-B3L	2 1/4% Cr - 1% Mo (baixo carbono)
EXXXX-D1	1 1/2% Mn - 1 1/2% Mo
EXXXX-D2	2% Mn - 1 1/2% Mo
EXXXX-G	Aço de alta resistência com 5 diferentes composições de Mn, Ni, Cr, Mo e V.
EXXXX-M	Aço de alta resistência com 4 diferentes composições de Mn, Ni, Cr, Mo e V.

**Tabela 4.2** \_ Designação da composição química.

Nota: Não foram considerados os eletrodos para soldas endurecíveis por tratamento térmico (ver especificação AWS A.5.5).

#### 4.1.2 – Varetas para soldagem a gás do aço carbono:

As varetas são classificadas em função do limite de resistência do metal depositado, a saber:

Vareta	Limite de resistência mínimo
RG 45	45.000 psi
RG 60	62.000 psi
RG 65	67.000 psi

#### 4.1.3 – Eletrodos para a soldagem MIG/MAG dos aços carbono:

Os eletrodos estão classificados nos três grupos seguintes:

EXXS-X - Eletrodo nu maciço

EXXT-X - Eletrodo tubular com fluxos e ferro ligas em pó em seu interior.

EXXU-X - Eletrodo emissivo isto é eletrodo nu revestido de uma camada fina de materiais termo-emissivos que possibilitam a soldagem com corrente contínua sob polaridade direta. O interesse desta alimentação elétrica é a alta taxa de deposição conseguida.

Os dos primeiros algarismos indicam aproximadamente o limite de resistência mínimo do metal depositado. O sufixo X especifica a composição química do depósito (ver especificação AWS A 5.18) (ASTM A 559).



#### 4.1.4 – Eletrodos e fluxos para a soldagem a arco submerso do aço carbono:

Trata-se de um processo no qual a composição química. Propriedades mecânicas da solda dependem não apenas do metal de adição, mas, sobretudo do fluxo, do metal de base e do procedimento de soldagem. A especificação prevê 9 tipos de eletrodos - agrupados em 3 classes - que podem ser combinados com 6 fluxos diferentes.

Eletrodo	Classe
EL8, EL8K, EL12	Baixo manganês
EM5K, EM12, EK12K, EK13K, EM15K	Médio manganês
EH14	Alto manganês

Os fluxos têm designação do tipo FXX, onde dois algarismos indicam os valores mínimos exigidos para as propriedades mecânicas da solda. Tais valores são obtidos a partir dos corpos de prova soldados em condições padronizadas, cuja extrapolação para os casos específicos de soldagem, nem sempre é válida.

#### 4.1.5 – Eletrodos e varetas para soldagem dos aços de alta liga resistentes à corrosão:

A designação dos eletrodos revestidos se compõe dos números indicados na tabela 4.3 acompanhados de um dos seguintes sufixos:

- 15 - Revestimento calcário.	Corrente contínua polaridade inversa.
- 16 - Revestimento rútilico.	Corrente contínua e alternada.

As varetas e os eletrodos nus são especificados simplesmente como na tabela 4.4.

Eletrodo	Composição química						
	C	Cr	Ni	Mo	Cb + Ta	Mn	Si
E308	0,08	18,0-21,0	9,0-11,0	...	...	2,50	0,90
E308L	0,04	18,0-21,0	9,0-11,0	...	...	2,50	0,90
E309	0,15	22,0-25,0	12,0-14,0	...	...	2,50	0,90
E309Cb	0,12	22,0-25,0	12,0-14,0	...	0,70-1,00	2,50	0,90
E309Mo	0,12	22,0-25,0	12,0-14,0	2,00-3,00	...	2,50	0,90
E310	0,20	25,0-28,0	20,0- 22,5	...	...	2,50	0,75
E310Cb	0,12	25,0-28,0	20,0- 22,0	...	0,70-1,00	2,50	0,75
E310Mo	0,12	25,0-28,0	20,0- 22,0	2,00-3,00	...	2,50	0,75
E312	0,15	28,0-32,0	8,0-10,5	...	...	2,50	0,90
El6-8-2	0,10	14,5-16,5	7,5-9,5	1,00-2,00	...	2,50	0,50
E316	0,08	17,0-20,0	11,0-14,0	2,00-2,50	...	2,50	0,90
E316L	0,04	17,0-20,0	11,0-14,0	2,00-2,50	...	2,50	0,90
E317	0,08	18,0-21,0	12,0-14,0	3,00-4,00	...	2,50	0,90
E318	0,08	17,0-20,0	11,0-14,0	2,00-2,50	6xC min. 1,00 max	2,50	0,90
E330	0,25	14,0-17,0	33,0-37,0	...	...	2,50	0,90
E347	0,08	18,0-21,0 (b)	9,0-11,0	...	8xC min, 1,00 max	2,50	0,90
E349 (c)	0,13	18,0-21,0	8,0-10,0	0,35-0,65	0,75-1,20.	2,50	0,90
E410	0,12	11,0-13,5	0,60	...	...	1,00	0,90
E430	0,10	15,0-18,0	0,60	...	...	1,00	0,90
E502	0,10	4,0-.6,0	0,40	0,45-0,65	...	1,00	0,90
E505	0,10	8,0-10,5	0,40	0,85-1,20	...	1,00	0,90
E7Cr	0,10	6,0-8,0	0,40	0,45-0,65	...	1,00	0,90

Valores únicos mostrados são porcentagens máxima, exceto indicado o contrário.  
Cromo pode ser especificado como 1,9 x Ni mín.  
Também o titânio 0,15 máx e tungstênio 1,25 a1,75.

**Tabela 4.3** \_ Eletrodos revestidos para aço de baixa liga.

Eletrodo	Composição química						
	C	Cr	Ni	Mb	Cb+T	Mn	Si
ER308	0,08	19,5-22,0(a)	9,0-11,0	...	...	1,0-2,5	0,25-0,60
ER308L	0,03	19,5-22,0(a)	9,0-11,0	...	...	1,0-2,5	0,25-0,60
ER309	0,12	23,0-25,0	12,0-14,0	...	...	1,0-2,5	0,25-0,60
ER310	0,08-0,15	25,0-28,0	20,0-22,5	...	...	1,0-2,5	0,25-0,60
ER312	0,08-0,15	28,0-32,0	8,0-10,5	...	...	1,0-2,5	0,25-0,60
ER316	0,08	18,0-20,0	11,0-14,0	2,0-3,0	...	1,0-2,5	0,25-0,60
ER316L	0,03	18,0-20,0	11,0-14,0	2,0-3,0	...	1,0-2,5	0,25-0,60
ER317	0,08	18,5-20,5	13,0-15,0	3,0-4,0	...	1,0-2,5	0,25-0,60
ER318	0,08	18,0-20,0	11,0-14,0	2,0-3,0	8xC mín- 1,0 max	1,0-2,5	0,25-0,60
ER321 (b)	0,08	18,5-20,5	9,0-10,5	0,5	...	1,0-2,5	0,25-0,60
ER330 (d)	0,15-0,25	15,0-17,0	34,0 min	...	...	1,0-2,5	0,25-0,60
ER347	0,08	19,0-21,5 (a)	9,0-11,0	...	10xC <sub>min</sub> ; 1,0 max	1,0-2,5	0,25-0,60
ER348	0,08	19,0-21,5 (a)	9,0-11,0	...	10xC <sub>min</sub> ; 1,0 max	1,0-2,5	0,25-0,60
ER349 (c)	0,07-0,13	19,0-21,5	8,0-9,5	0,35-0,65	1,0-1,4	1,0-2,5	0,25-0,60
ER410	0,12	11,5-13,5	0,6	0,6	...	0,6	0,50
ER420	0,25-0,40	12,0-14,0	0,6	...	...	0,6	0,50
ER430	0,10	15,5-17,0	0,6	...	...	0,6	0,50
ER502	0,10	4,5-6,0	0,6	0,45-0,65	...	0,6	0,25-0,60

Cromo, min. = 1,9 x níquel, quando assim especificado  
Também o titânio 9xC mín. à 1,0 máx.  
Também o titânio 0,10 a 0,30 e tungstênio 1,25 a 1,75  
Não é classificação reconhecida nas especificações AWS-ASTM

Tabela 4.4 \_ Varetas e eletrodos nus para aços de alta liga

#### 4.1.6 – Eletrodos e varetas para a soldagem do níquel e ligas de níquel:

Os metais de adição, identificados como mostra a tabela 4.5 são classificados em:

- Eletrodos revestidos
- Varetas e eletrodos nus

Eletrodo	Nome comercial	Ni	Cu	Cr	Si	Fe	Outros
ENi-1	Níquel (131e14l)	94	...	...	1,0	...	Al1, Ti 2,5
ENiCr-1	Monel (140)	66	22	...	1,0	2	Cb+Ta 2
ENiCu-2	Monel	64	22	...	1,0	2	Cb+Ta 2
ENiCu-3	"K" Monel (134)	64	24	...	1,0	2	Al 3; Ti 1,0; Mn 4
ENiCu-4	Monel (130)	67	23	...	0,5	2	Al1, Ti1
ENiCr-1	80Ni-20Cr (142)	77	...	18	0,5	4	Cb+Ta 2
ENiCrFe-1	Inconel (132)	68	...	15	0,5	10	Cb+Ta 3
ENiCrFe-2	Incoweld"A"	70	...	16	0,5	6	Mn2, Mo 2, Cb+Ta 2
ENiCrFe-3	Inconel (182)	67	...	15	0,5	6	Mn7, Cb+Ta, Ti0,5
ENiMo-1	Hastelloy B	60	...	...	1,0	6	Mo 29
ENiMo-2	Hastelloy C	54	...	15	1,0	6	Mo 16, W 4
ENiMo-3	Hastelloy W	62	...	5	1,0	6	Mo 25
...	Inconel "X" (139)	66	...	15	1,0	10	Al 0,7; Ti 2; Cb+Ta = 4xSi min
Eletrodo ou Vareta	Nome comercial	Ni	Cu	Cr	Si	Fe	Outros
RNi-2	Nickel(41)	99	...	...	0,5	...	Ti 0,5
ERNi-3	Nickel(6l)	95	...	...	0,5	1	Al 1, Ti 2
RNiCu-5	Monel(40)	66	23	...	0,5	2	...
RNiCu-6	Monel(43)	58	38	...	1,0	1	...
ERNiCu-7	Muncl(60)	66	24	...	1,0	2	Al 1,Ti 2
ERNiCu-8	"K"Monel(64)	67	27	...	1,0	2	Al 3; Ti 0,5; Mn 1,5
ERNiCr-2	80Ni-20Cr	75	...	20	0,3	2	Al 0,4; Ti 0,3
ERNiCr-3	Inconel(82)	72	...	20	0,3	2	Mn 3; Cb+Ta 2,5; Ti 0,3
RNiCrFe-4	Incone!(42)	74	...	16	0,5	8	...
ERNiCrFe-5	Inconel(62)	72	...	16	0,5	8	Cb+Ta 2
ERNiCrFe-6	Inconel(92)	70	...	16	0,2	6	Ti 3; Mn 2,5
ERNiCrFe-7	Inconel "X"(69)	70	...	16	0,5	7	Al 0,7; Ti 2; Cb+Ta 1
ERNiMo-4	Hastelloy "B"	60	...	...	1,0	6	Mo 29; V 0,4
ERNiMo-5	Hastelloy "C"	54	...	15	1,0	6	Mo 16, W 4
ERNiMo-6	Hastelloy "W"	62	...	5	1,0	6	Mo 25

**Tabela 4.5 \_ Eletrodos e varetas de níquel e ligas de níquel**

## 4.1.7 – Eletrodos e varetas para a soldagem do cobre e ligas de cobre:

A especificação prevê eletrodos revestidos e varetas conforme estão relacionados na tabela 4.6.

Eletrodo	Nome comercial	Composição química									
		Cu	Zn	Sn	Mn	Fe	Si	Ni	P	Al	Ti
ECu	Cobre	98,0 min	*	1,0	0,5	*	0,5	*	0,15	0,01*	...
ECuSi	Silício bronze	Bal.	*	1,5	1,5	0,5	2,8-4,0	*	*	0,01*	...
ECuSn- A	Enxofre bronze	Bal.	*	4,0-6,0	*	*	*	*	0,10-0,35	0,01*	...
ECuSn- C	Enxofre bronze	Bal.	*	7,0-9,0	*	*	*	*	0,05-0,35	0,01*	...
ECuNi	Cobre níquel	Bal.	*	*	1,00	0,40-0,70	0,50	29,0 min	...	...	0,50
ECuAl - A1	Alumínio bronze	Bal.	0,02	...	...	...	0,10	...	...	6,0-9,0	...
ECuAl - A2	Alumínio bronze	Bal.	0,02	...	...	1,5	0,10	...	...	9,0-11,0	...
ECuAl - B	Alumínio bronze	Bal.	0,02	...	...	3,0-4,25	0,10	...	...	11,0-12,0	...

Valores únicos contemplados referentes à porcentagem máxima exceto onde especificado o contrário.

\* Total de elementos marcados com um asterisco ( \*) não deve exceder 0,50%.

Vareta	Nome comercial	Composição química									
		Cu	Zn	Sn	Mn	Fe	Si	Ni	P	Al	Ti
R Cu	Cobre	98,0 min	...	1,0	0,5	*	0,50	*	0,15	0,01*	...
R Cu Si - A	Silício bronze	94,0 min	1,5	1,5	1,5	0,5	2,8-4,0	*	*	0,01*	...
R Cu Si - B	Silício bronze	97,0 min	1,5	1,5	1,5	0,5	1,0-2,0	*	*	0,01*	...
R Cu Sn - A	Enxofre bronze	93,5 min	*	4,0-6,0	*	*	*	*	0,10-0,35	0,01*	...
R Cu Ni	Cobre - nickel	Bal.	1,0	1,20	1,25	0,40-0,70	0,25	29,0-33,0	...	...	0,50
RB Cu Zn - A	Brasagem naval	57-61	Bal.	0,25-1,00	*	*	*	...	...	0,01*	...
R Cu Zn - B	Níquel bronze baixo fumo	56-60	Bal.	0,75-1,10	0,01-0,50	0,25-1,25	0,04-0,15	0,2-0,8	...	0,01*	...
R Cu Zn - C	Níquel bronze baixo fumo	56-60	Bal.	0,75-1,10	0,01-0,50	0,25-1,25	0,04-0,15	...	...	0,01*	...
RB Cu Zn- D	Níquel bronze	46-50	Bal.	...	...	...	0,04-0,25	9,0-11,0	0,25	0,01*	...
R Cu Al- A2	Alumínio bronze	Bal.	0,02	...	...	1,5	0,10	...	...	9,0-11,0	...
R Cu Al - B	Alumínio bronze	Bal.	0,02	...	...	3,0-4,25	0,10	...	...	11,0-12,0	...

Valores únicos mostrados são porcentagens máximas, exceto especificado o contrário.

\* Total de elementos marcados com (\*) não deve exceder 0,50%

**Tabela 4.6 \_ Eletrodos e varetas de cobre e ligas de cobre**

#### 4.1.8 – Eletrodos e varetas para a soldagem do alumínio e ligas de alumínio:

A tabela 4.7 apresenta os metais de adição classificados pela AWS/ASTM.

Classificação AWS-ASTM	Silício %	Ferro %	Cobre %	Manganês %	Magnésio %	Cromo %	Níquel %	Zinco %	Titânio %	Outros Elementos %		Alumínio %
										Cada	Total	
ER1100	b	b	0,2	0,05	não esp.	não esp.	não esp.	0,1	não esp.	0,05	0,15	99,00 min h
ER1260	c	c	0,04	0,01	não esp.	não esp.	não esp.	não esp.	não esp.	0,03	...	99,00 min h
ER4043	4,5 – 6,0	0,8	0,3	0,05	0,05	não esp.	não esp.	0,1	0,2	0,03	0,15	Remanescente
ER5652	c	c	0,04	0,01	2,2-2,8	0,15 - 0,35	não esp.	0,1	Não esp.	0,05	0,15	Remanescente
ER5154	d	d	0,1	0,1	3,1-3,9	0,15 - 0,35	não esp.	0,2	0,2	0,05	0,16	Remanescente
ER5254	d	d	0,05	0,01	3,1-3,9	0,05 - 0,35	não esp.	0,2	0,05	0,05	0,15	Remanescente
ER5554	c	c	0,1	0,50-1,0	2,4-3,0	0,05 - 0,20	não esp.	0,25	0,05 - 0,20	0,05	0,15	Remanescente
ER5356	e	e	0,1	0,05 - 0,2	4,5-5,5	0,05 - 0,20	não esp.	0,1	0,06 - 0,20	0,05	0,15	Remanescente
ER5556	c	c	0,1	0,50 – 1,0	4,7-5,5	0,05 - 0,20	não esp.	0,25	0,05 - 0,20	0,05	0,15	Remanescente
ER5183	0,4	0,4	0,1	0,50 – 1,0	4,3 - 5,2	0,05 - 0,25	não esp.	0,25	0,15	0,05	0,18	Remanescente
R-C4Aa	1,5	1	4,0 - 5,0	0,35	0,03	não esp.	não esp.	0,35	0,25	0,05	0,16	Remanescente
R-SN42a	0,7	1	3,5 – 4,5	0,35	1,2-1,8	0,25	1,7-2,3	0,35	0,25	0,05	0,18	Remanescente
R-SC51Aa	4,5 - 5,5	0,8 f	1,0 - 1,5	0,50 f	0,40-0,6	0,25	não esp.	0,35	0,25	0,05	0,18	Remanescente
R-SG70Aa	6,5 - 7,5	0,6	0,25	0,35	0,20-0,40	não esp.	não esp.	0,35	0,25	0,05	0,16	Remanescente
R-SG61Aa	0,25	1	0,3	0,3	0,50-0,65	0,40 - 0,60	não esp.	5,2 - 6,0	0,10 - 0,25	0,05	0,25	Remanescente

a. Para reparo de recobrimentos.

b. Silício mais aço não deve exceder 1,0 por cento.

c. Silício mais aço não deve exceder 40 por cento.

d. Silício mais aço não deve exceder 45 por cento.

e. Silício mais aço não deve exceder 0,50 por cento.

f. Se o aço exceder 0,45% o manganês deve estar presente em uma adição de uma e meia vezes do ferro.

g. Berílio não deve exceder 0,0008 por cento.

h. O teor de alumínio é a diferença entre 100% e a soma de todos os outros elementos metálicos presentes numa quantidades de 0,010 ou mais cada, expresso no segundo decimal.

Nota 1 – Limites de composição são porcentagens máximas, exceto quando mostrados em uma faixa inclusiva ou

como porcentagem mínima.

Nota 2 – A análise a ser feita nos elementos para os quais os limites específicos são mostrados. Se, de alguma forma, há suspeita da presença de outros elementos, ou indicado uma rotina de análise deve ser feita para determinar se estes outros elementos não estão em excesso nos limites especificados para “outros elementos”.

**Tabela 4.7** \_ Eletrodos e varetas de alumínio e ligas de alumínio

#### 4.1.9 – Eletrodos e varetas para a soldagem de revestimentos:

Os metais de adição deste grupo destinam-se à preparação de superfícies com propriedades especiais, tais como: resistência à corrosão, resistência ao desgaste, dureza a quente, etc. Apenas uma pequena parte das ligas disponíveis no mercado dispõe de especificação AWS/ASTM (tabela 4.8). A maior parte é designada pelo nome comercial.

Ligas	Especificação AWS-ASTM
<b>I FERROSOS</b>	
<b>A. LIGAS ENDURECÍVEIS</b>	
1. Aço carbono	
a. Baixo	...
b. Médio	...
c. Alto	...
2- Aços baixa-liga	
a. Baixo carbono	...
b. Médio carbono	...
c. Alto carbono	...
3. Aços média liga	
a. Médio carbono	...
b. Alto carbono	...
c. Aço para revestimento	
4. Média-alta liga	
a. Baixo carbono	...
b. Médio carbono	...
c. Alto carbono	...
d. Aço para revestimento	R ou EFeCr-Al
5. Aço rápido	...
<b>B. AÇOS AUSTENÍTICOS</b>	
1. Cromo e cromo-níquel	
a. Baixo carbono	...
b. Alto carbono - baixo níquel	...
c. Alto carbono - alto níquel	...
2. Alto manganês	EFeMn-A e -B
<b>C. AUSTENÍTICO - NORMALMENTE NÃO TRATADO TERMICAMENTE</b>	
1. Aço alto cromo	...
2. Aço alta liga	...
a. 1,7% carbono	...
b. 2,5% carbono	...
c. Altíssima liga	...
<b>II. LIGAS A BASE DE COBALTO</b>	
A. BAIXA LIGA	...
B. ALTA LIGA	R ou ECoCr-A, -B e -C
<b>III. CARBETOS</b>	
A. INSERTES	...
B. COMPOSTOS	...
C. PÓ	...
<b>IV A BASE DE COBRE</b>	
A. COBRE-ZINCO	RCuZn-E
C. COBRE-ALUMÍNIO	RCuSi-A
D. COBRE-TIN (nitreto de titânio)	R ou ECuAl-A2,-B,-C,-D,-E
<b>V. A BASE DE NÍQUEL</b>	
A. NÍQUEL-COBRE (MONEL)	...
B. NÍQUEL-CROMO (NICHROME)	R ou ENiCr-A, -B e -C
C. NÍQUEL-CROMO-TUNGSTÊNIO-MOLIBDÊNIO (HASTELLOYS)	...

**Tabela 4.8** \_ Eletrodos e varetas para revestimentos.

#### 4.1.10 – Eletrodos revestidos e varetas para a soldagem do ferro fundido:

Para a soldagem do ferro fundido, a especificação AWS/ ASTM considera 4 classes de metais de adição (tabela 4.9).



Eletrodo ou Vareta	Composição química					
Ferro fundido						
	C	Si	Mn	Fe	Ni	Outros
RCI	3,5	3,0	0,7	rest.	-	-
ECI	3,5	3,0	0,7	rest.	-	-
BCI-A	3,5	2,5	0,6	rest-	1,5	0,3Mo
BCI-B	3,5	3,5	0,3	rest.	0,5	-
Ligas de cobre						
	Cu	Zn	Ni	Sn	Al	Outros
RBCuZn-A	60,0	rest.	-	0,6	-	-
BCuZn-B	60,0	rest.	0,5	0,8		0,1Si; 0,3Mn; 0,7Fe
BCu2n-C	60,0	rest.	1,0	1,0		0,1Si; 0,3Mn; 0,7Fe
RBCuZn-D	50,0	rest.	10,0	-	-	0,2P; 0,2Si
ECuSn-A	rest.	-	-	5,0	-	0,2P
ECuSn-C	rest.	-	-	8,0	-	0,2P
ECUA1-A2	rest.	-	-	-	10,0	0,1Si; 1,5Fe
Aço carbono						
	C	Si	Mn	P	S	Outros
ESt	0,15	0,03	0,40	0,04	0,04	rest. Fe
Ligas de níquel						
	C	Si	Mn	Fe	Ni	Outros
ENi-CI	<2,0	<4,0	<1,0	<8,0	>85	<2,5Cu
ENiFe-CI	<2,0	<4,0	<1,0	rest.	50,0	<2,50u
ENiCu-A	0,4	<0,75	<2,5	4,0	55,0	40Cu
ENiCu-B	0,4	<0,75	<2,5	4,0	65,0	30Cu
Nota: Os teores indicados são aproximados. Para maiores detalhes ver especificação AWS A 5.15.						
<b>Tabela 4.9</b> _ Eletrodos e varetas para ferro fundido						

#### 4.2 – CÓDIGO ASME SEÇÃO VIII DIVISÃO 1:

O código ASME (American Society of Mechanical Engineers) seção VIII Divisão 1 é o conjunto de regras que disciplina o projeto, a fabricação e a inspeção de vasos de pressão. Várias exigências relativas à soldagem e ao controle

de qualidade das soldas es tão dispersas entre seus diversos capítulos. É indispensável portanto o conhecimento de sua organização para se compor o conjunto de regras aplicáveis a cada caso específico.

Os requisitos, quer para o projeto como para a fabricação e inspeção, estão agrupados em três subsecções:

Subsecção A: requisitos gerais, comuns a qualquer tipo de material ou métodos de fabricação.

Subsecção B: requisitos relativos aos métodos de fabricação.

Subsecção C: requisitos pertinentes aos materiais em pregados.

A fig. 4.1 mostra as partes que constituem cada subsecção. É interessante notar que todas as "fatias" têm a mesma organização. Assim, diante de um caso específico, os capítulos a serem consultados ficam reduzidos a três; a subsecção A, a parte correspondente ao material empregado e a parte relativa ao método de fabricação. Exemplo: as regras aplicáveis a um vaso de aço inoxidável fabricado por soldagem encontram-se na subsecção A e nas partes UHA e UW. Neste mesmo exemplo, se estivéssemos interessados nas regras de fabricação então somente os itens "fabricação" das três partes, deveriam ser consultados.

Cada regra é identificada pela sigla da subsecção e por um número de ordem. A Divisão 1 ainda possui um conjunto de apêndices que podem ser obrigatórios ou simplesmente informativos.

Verificaremos, a seguir, apenas os requisitos principais que regulamentam a soldagem.

#### 4.2.1 – Subsecção A:

No item UG84 encontram-se as regras sobre a execução e interpretação do ensaio de resiliência das soldas e metal de base.

Como a necessidade de aplicação deste ensaio depende das propriedades do material empregado, os casos para os quais ele e exigido estão relacionados na subsecção C.

#### 4.2.2 – Subsecção B. Parte UW:

As soldas são classificadas em categorias A, B, C e D - em função de sua localização - para facilitar a relação dos demais requisitos (fig. 4.2)

UW-3

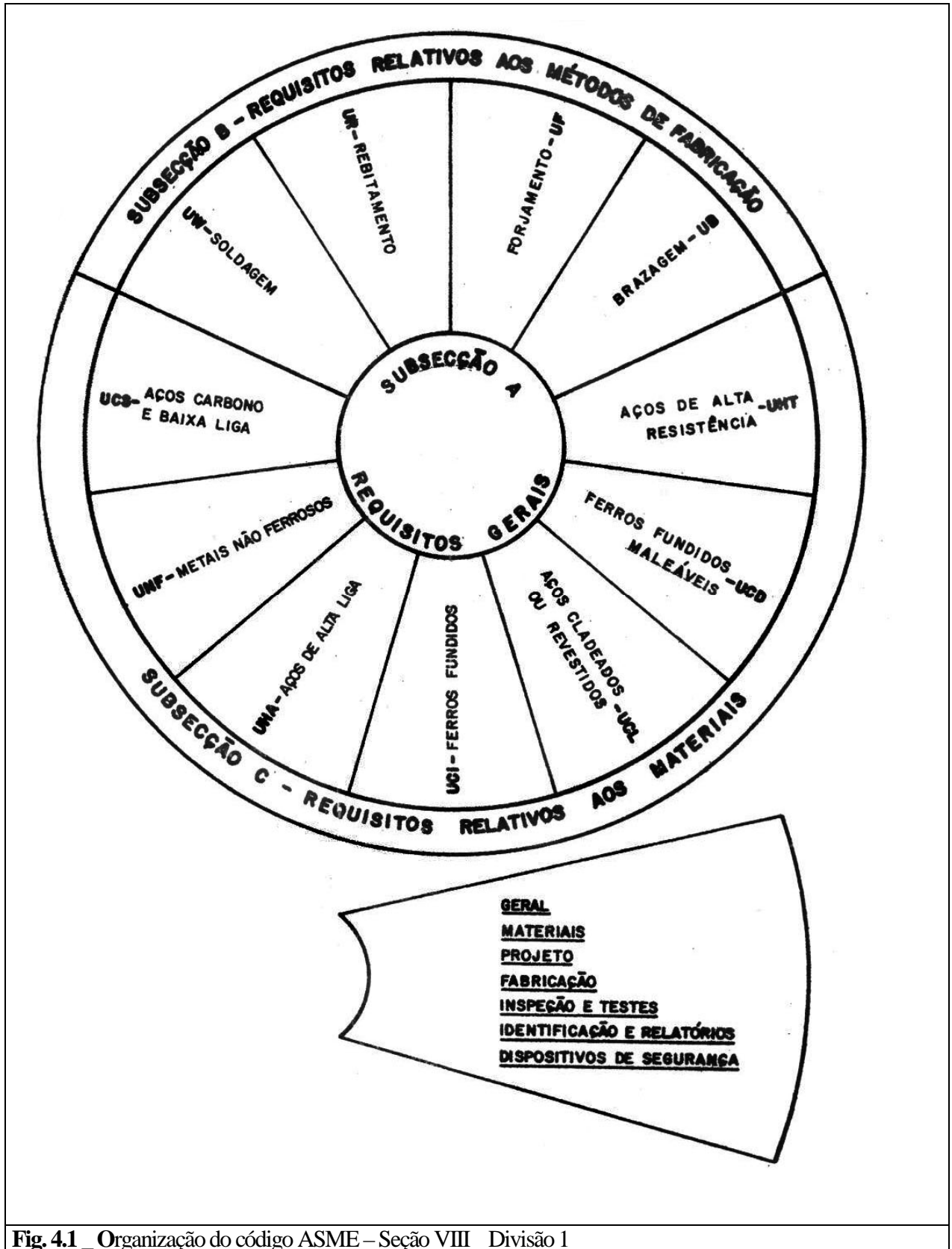
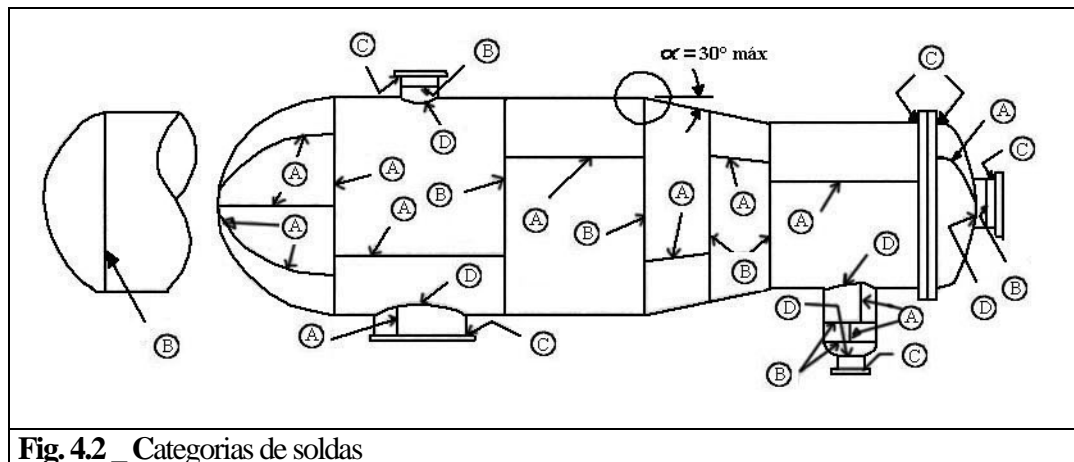


Fig. 4.1 \_ Organização do código ASME – Seção VIII Divisão 1



**Fig. 4.2** \_ Categorias de soldas

b) Os tipos de solda permitidos estão indicados na tabela UW-12 (tabela 4.1). Observe que os detalhes de execução da solda e o grau de inspeção participam do cálculo da espessura. Os chanfros devem ser projetados para permitir a penetração total.

W-9(a) e (b)

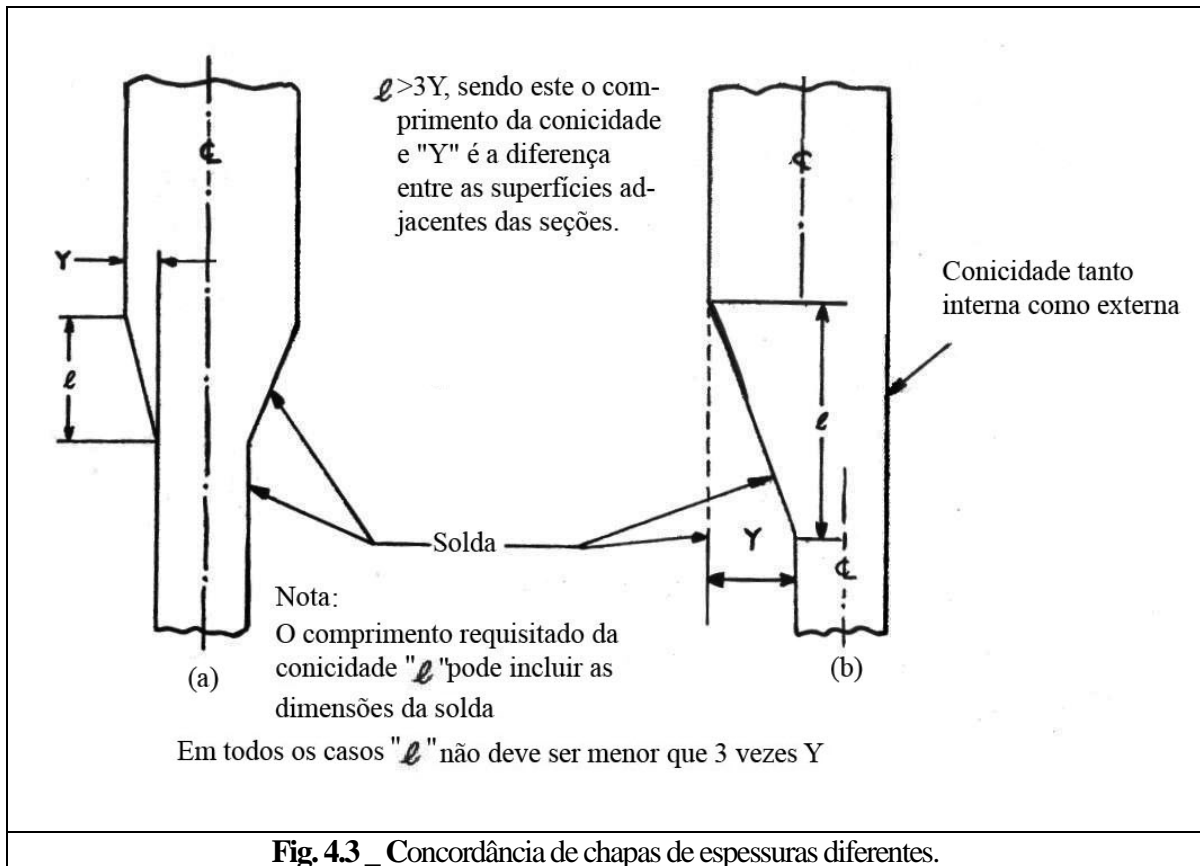
b) Os tipos de solda permitidos estão indicados na tabela UW-12 (tabela 4.1). Observe que os detalhes de execução da solda e o grau de inspeção participam do cálculo da espessura. Os chanfros devem ser projetados para permitir a penetração total. – W-9(a) e (b)

c) Soldas entre chapas de espessuras diferentes devem ser chanfradas conforme indica a fig. 4.3.

– UW-9 (c).

Tabela UW-12 - Eficiências de juntas máximas permitidas para juntas soldadas por soldagem à arco ou soldagem à gás.					
Nº.	Tipo de junta Descrição	Limitações	Grau de examinação		
			(a) Completamente radiografado 1	(b) Examinado por spot 2	(c) Não examinado por spot 3
(1)	Juntas de topo unidas por dupla soldagem ou por outros meios que irão obter a mesma qualidade de metal de solda depositado nas faces de solda interna e externa indo de encontro aos requerimentos do UW-35. Soldas utilizando tiras de metal como cobre-junta permanentes são excluídas.	Nenhuma	1,00	0,85	0,70
(2)	Juntas de topo unidas por soldagem única com cobre-juntas empmanentes tiras de metal, outros que não incluídos no item (1).	(a) Nenhuma exceto em (b) abaixo (b) Junta de topo com uma chapa apêndice - somente para juntas circunferenciais, ver UW-13 (c) e figura UW 13.1 (k).	0,90	0,80	0,65
(3)	Juntas de topo unidas por soldagem única sem tiras de metal como cobre-junta.	Somente juntas circunferenciais não acima de 5/8 pol. (15,9 mm) de espessura e não acima de 24 pol. (609,6 mm) de diâmetro externo.	...	...	0,60
(4)	Duplo filete completo, junta de sobreposição.	Juntas longitudinais não acima de 5/8 pol. (15,9 mm) de espessura. Juntas circunferenciais não acima de 5/8 pol. (15,9 mm) em espessura.	...	...	0,55
(5)	Filete único completo, junta de sobreposição com solda de tampão conforme UW-17.	(a) Juntas circunferenciais (4) para união de extremidades não acima de 24 pol. (609,6 mm) de diâmetro externo para o costado não acima de 1/2 pol. (12,7 mm) de espessura (b) Juntas circunferenciais para as uniões de jaqueta à carcaça não acima de 5/8 pol. (15,9 mm) de espessura nominal onde a distância do centro da solda de tampão ao limite da chapa não é menor que 1 1/2 pol. vezes o diâmetro do furo ao tampão.	...	...	0,50
(6)	Filete único completo, junta de sobreposição sem solda de tampão.	(a) Para a união das extremidades convexas para pressão nas paredes não acima que 5/8 pol. Dureza requerida somente como uso de solda de filete pelo lado de dentro da parede, ou (b) para união das cabeças tendo pressão dos dois lados, para a carcaça não mais que 24 pol. (609,6 mm) Diâmetro externo não mais que 1/4 pol. (6,3 mm) com solda de filete somente na parte externa da cabeça do flange.	...	...	0,45
(1) Ver UW-12 (a) e UW-51.					
(2) Ver UW-12 (b) e UW-52.					
(3) As eficiências de junta máximas permitidas são as eficiências de juntas soldadas multiplicadas por 0,8 com erro aproximado de 0,05 para efeito da redução básica na permissão da tensão requerida nesta Divisão para vasos soldados que não são examinados por spots (amostragem). Ver UW-12 (c)					
4 Juntas unidas com extremidades hemisféricas à parede são excluídas					

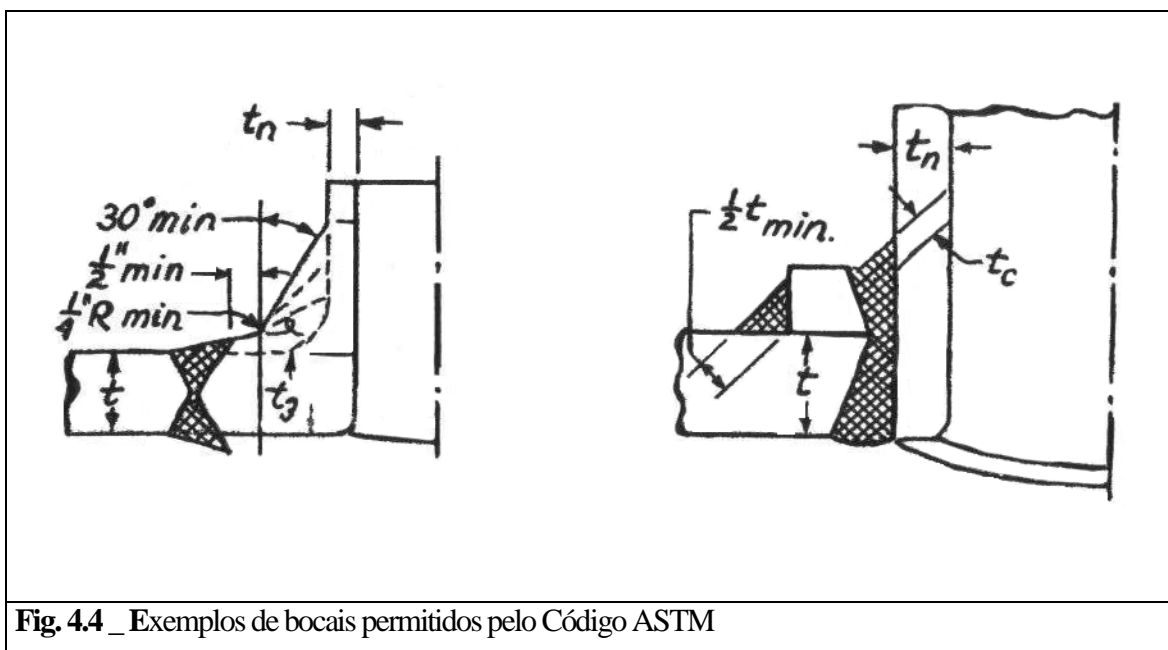
Tabela 4.10 \_ Tipos de solda e eficiência de junta



d) A menos que sejam radiografados, os cruzamentos de soldas devem estar afastados de, no mínimo, 5 vezes a espessura da chapa. UW9(d)

e) Os bocais podem coincidir com as soldas do casco desde que devidamente reforçados. Quando não necessitam de chapa de reforço, a solda deve ser radiografada. UW-14.

f) O detalhamento das soldas entre bocal, chapa de reforço e casco deve atender às regras e esquemas dos itens UW-15 e UW-16 (fig. 4.4).



g) Os processos de soldagem permitidos são os seguintes:

- Arco metálico protegido,
- Arco submerso,
- TIG, MIG e MAG,
- Plasma,
- Hidrogênio atômico,
- Oxiacetilênica e oxídrica,
- Por pressão,.

O "Case Interpretation" nº 1355 autoriza o processo de eletro-escória desde que sejam tomadas precauções especiais de fabricação e inspeção. – UW-27

h) Os trabalhos de soldagem não podem ser iniciados antes que:

h.1) Os procedimentos previstos para a fabricação sejam simulados e testados em corpos de prova.

h.2) Os soldadores e operadores de solda - no caso de solda automática - tenham seu desempenho avaliado por meio de testes.

Estes testes, designados como Qualificação do procedimento da soldagem a Qualificação dos soldadores, são regulamentados pela seção IX do Código ASME.

i) A soldagem não pode ser realizada com as peças em temperatura inferior a 16°C, nem tão pouco sob chuva ou ventos fortes, a menos que o trabalho seja devidamente protegido.

UW-30

j) O ponteamto preliminar das peças deve ser feito com procedimentos e soldadores qualificados. Os pontos podem ser incorporados a solda sob a condição de serem previamente inspecionados.

UW-31 (c)

1) Nos casos relacionados abaixo, as soldas devam ser totalmente radiografadas:

1.a) Vasos que armazenam substâncias letais. Neste caso, outras limitações, descritas em UW-2, se aplicam aos tipos de solda empregada.

1.b) Vasos com espessura superior a 1 1/2 in ou superior aos valores estabelecidos nos itens: UCS-57, UHA-33, UCL-35 a UCL-36 da subseção C.

1.c) Caldeiras com pressão superior a 50 psi.

1.d) Para obter a eficiência de junta escolhida no projeto (conforma tabela 31-12).

Para os demais casos, é permitida a inspeção radiográfica por amostragem (spot radiography) ou mesmo a dispensa desta Inspeção, desde que seja observada a eficiência da junta correspondente. As soldas dos bocais ao casco não são submetidas ao controle radiográfico. Contam com a mesma dispensa os vasos projetados exclusivamente para pressão externa.

\_ UW-2. UW-11

m) A aplicação do tratamento térmico após a soldagem é definida na subsecção C. O item UW-40 apresenta os requisitos comuns aos diversos tratamentos.

n) Alguns detalhes de execução são normalizados nos itens:

UW-31	Corte, ajuste e alinhamento das chapas.
UW-32	Limpeza das peças, antes da soldagem.
UW-33	Tolerâncias para o alinhamento das chapas.
UW-35	Acabamento das soldas.
UW-37(a)	Goivagem.
UW-37(c)	Interrupções da operação de soldagem.
UW-37(e)	Solda de tampão ("plug welds").
UW-37(f)	Identificação das soldas.
UW-38	Reparos.
UW-39	Martelamento ("peening").

o) A inspeção de fabricação é orientada pelos itens UW-46 a UW-52, acrescidos dos requisitos das subsecções A e C.

#### 4.2.3 – Subsecção C:

Encontram-se na subsecção C as exigências que dependem das propriedades dos materiais empregados na fabricação dos vasos. A tabela 4.11 foi elaborada com o intuito de facilitar a sua consulta.

Os materiais são agrupados em "famílias" de temperabilidade semelhante e designados pelo número P ("P-number"), como por exemplo:

P1 Aços carbono

P3 Aços carbono-molibdênio Aços 0,5%Cr 0,5%Mo

P4 Aços 1%Cr 0,5%Mo Aços Ni-Cr-1% Mo

O número P poderá ser obtido nas tabelas: UCS-23, UCS-27, UHA-23 e UHT-23 da subsecção C ou tabela Q 11.1 da seção IX, tomando-se como entrada o número da especificação ASTM.

#### 4.2.4 – Apêndices:

Três apêndices não obrigatórios interessam à soldagem, a saber:

Apêndice F - Recomendações para aplicação de revestimentos.

Apêndice K - Seccionamento de soldas.

Apêndice R - Recomendações de pré-aquecimento.

#### 4.3 – CÓDIGO ASME SEÇÃO VIII DIVISÃO 2:

As regras da Divisão 2, adotadas como alternativas da Divisão 1, possibilitam o projeto de vasos de pressão com tensões admissíveis mais elevadas. Exigem, em compensação, um cálculo mais preciso e um controle de qualidade de materiais e processos de fabricação mais rigoroso. Os requisitos são agrupados de modo diferente da Divisão 1, constituindo as seguintes partes:



	Aços carbono e de baixa liga	Aços de alta liga	Aços cladeados ou revestidos	Aços de alta resistência	Metais não ferrosos
1. Controle de qualidade das soldas					
1.1 Exame radiográfico	UCS-57	UHA-33	UCL-35, UCL-36	DHT-57	UNF-57
1.2 Teste com partículas magnéticas				UHT-57(c)	
1.3 Teste com líquido penetrante		UHA-34	UCL-36(1)	UHT-57(b)	UNF-58
1.4 Ensaio de resiliência	UCS-66	UHA-51		UHT-82	
1.3 Composição química		UHA-42	UCL-32	UHT-82	
1.6 Modificações nos testes para qualificação de procedimento de soldagem soldadores			UCL-40, UCL-41, UCL-42, UCL-43, UCL-44, UCL-45		
1.7 Chapas de teste		UHA-52		UHT-81	
1.8 Teste de estanqueidade			UCL-51		
2. Tratamentos térmicos	UCS-56, UCS-85	UHA-32	UCL-34	UHT-56, UHT-81	UNF-56
3. Detalhe da execução das soldas				UHT-20, UHT-83 UHT-84, DHT-85	
4. Tipos de soldas permitidos	UCS-19	UHA-21	UCL-31	UHT-17, UHT-18	UNF-19

**Tabela 4.11 \_ Requisitos pertinentes aos materiais**

Parte	Requisitos
A	Gerais
AM	Materiais
AD	Projeto
AP	Fabricação
AR	Dispositivo de segurança
AI	Inspeção e radiografia
AT	Testes
AS	Identificação e relatórios

Cada parte se divide em artigos, cujo número de identificação é precedido da letra designativa da parte. Assim por exemplo o requisito AT-203 é a terceira regra do artigo T-2 pertencente à parte AT-testes.

Como na Divisão 1, um conjunto de apêndices, obrigatórios ou informativos, complementa a Divisão.

As soldas são divididas em 4 categorias de modo idêntico à Divisão 1. As exigências de projeto, fabricação e inspeção são facilmente encontradas por meio da tabela AP-241.1 (tabela 4.12).

Quanto à soldagem, as exigências são basicamente as mesmas da Divisão 1. O principal requisito adicional se refere à utilidade das soldas. Durante a qualificação do procedimento de soldagem, o ensaio de resiliência é necessário nas seguintes condições:

- Teste da zona fundida para todos os aços de alta liga.

- Teste da zona fundida e zona termicamente afetada quando metal de base requer o ensaio de resiliência, conforme AM-204 ou pertence aos grupos IV e V (\*). \_ AT-202

(\*) Grupo IV \_ Chapas ASTM-A-442 até 1" quando não normalizadas.

Outros produtos até 3" quando fabricados com granulação fina e com teores de carbono e manganês comparáveis a ASTM-A-516.

Grupo V \_ Aços descritos no grupo anterior no estado normalizado.

Coluna 1 (1)					Coluna 2					
Materiais P1, P8, P9A, P12B AS-387 Gr. B somente para P4 e P3, exceto AS-302					Materiais não listados na coluna 1,3 e 4					
Aspectos da junta		Fabricação & Exame			Aspectos da junta		Fabricação & Exame			
Categoria da junta ou tipo de conexão	Tipo de solda	Partes aplicáveis	Figuras aplicáveis	Método de exame	Observações	Tipo de solda	Partes aplicáveis	Figuras aplicáveis	Método de exame	Observações
Categoria A	Nº1 B	AD411		RT	Ver AF-221.2	Nº1 B	AD411		RT	Ver AF-221.2
Categoria B	Nº1 Nº2 B	AD412		RT	Ver AF-221.2 e AF-222.3	Nº1 Nº2 B	AD412		RT	Ver AF-221.2 e AF-222.3
Categoria C	Nº1 B	AD413	AD-701.1 3-310.1	RT	Ver AF-221.2	Nº1 B	AD413 AD-601	AD-701.1 3-310.1	RT	Ver AF-221.2
	FP	AD413	AD-701.3	RT ou UT	Cost. Tq > 2 1/2" Ver AF-223.2 (C)	FP	AD413 AD-601	AD-701.3 3-310.1	RT ou UT	Cost. Tq > 2 1/2" Ver AF-223
	FP	AD413	AD-701.3	MT ou PT	Cost. Tq > 2 1/2" Ver AF-223.2 (C)	FP	AD413	AD-701.3 3-310.1	MT ou PT	Após PWHT, se realizado, esp. Cost. Tq > 2 1/2"
	FW	AD413	310.1 (B)	MT ou PT	Ver AF-225 & AD-711.1 p/ limitações					Ver AF-223.2 (c) e (d).
Categoria D	Nº1 B	AD414	AD-613.1	RT	Ver AF-221.2	Nº1 B	AD414.1 AD-613.1		RT	Ver AF-221.2
	FP	AD414 AD-601	AD-610.1	RT ou UT	Aberturas > 6" d. costado tq > 2 1/2" Ver AF-223.2 (C)	FP	AD414.1 AD-601	AD-610.1	RT ou UT	Aberturas no cost. tq > 2 1/2". Ver AF-223.2 (c)
	FP	AD414 AD-601	AD-610.1	MT ou PT	Aberturas < 6" ou aberturas > 6" nas carcaças < 2 1/2 tq	FP	AD414.1 AD-601	AD-610.1	MT ou PT	Aberturas no cost. tq Após PWHT, se realizado. Ver AF-223.2 (c) e (d)
	FP+FW (Almofadas)	AD414	AD-612.1	MT ou PT	Ver AD-560 para limitações					
	FW	AD414	AD-612.1	MT ou PT	Ver AD-620 ou AD-635 para limitações	PP	AD414.1	AD-621.1	MT ou PT	Ver AD-621 p/ limitações após PWHT, se realiz. Ver AF-223.2 (d)
	PP	AD414.1	AD-621.1	MT ou PT	Ver AD-621 para limitações					
Anexos	B FP			MT ou PT	Ver AF-227.1	B FP	AD912		MT ou PT	Ver AF-227.1 Após PWHT, se realiz.
	FP+FW					FP+FW				Ver AF-223.2 (d)
	PP+FW					FP+FW				
	FW					FW				
Soldas Austeníticas	Todos		PT	Costados P8 > 1/4" Ver AF-228 após realizado o PWHT						
Solda de Não-ferrosos										

## Nomeclatura

## TIPO DE JUNTA

B= Junta de topo: Tipo nº.1 – Ver AF-221, Tipo nº. 2 – Ver AF222

FP= Penetração total exceto amanteigamento – Ver AF-223

PP= Penetração parcial – Ver AF-224

FW=Solda em ângulo – Ver AF-225

## MÉTODO DE EXAME:

RT = Radiografia completa.

MT = Parcula magnética

PT = Líquido penetrante

UT = Ultrassom

## TEMPO DE EXAME

PWHT = Tratamento térmico após soldagem

NOTA 1: Para vasos em que não é requerida uma análise de fadiga quando materiais acima de 1/2 pol. Não incluindo AS-515Gr. 70, SA-204 e AS-299, as substituições nos métodos de exame podem ser feitas como segue:

(a) Exame visual pode ser substituído por MT ou PT, como segue:

**Tabela 4.12 \_ Código ASME Seção VIII, Divisão 2.**

Requisitos relativos às soldas.

Cóluna 3					Cóluna 4					
Materiais tabela AQF-1 Exceto AS-372CI IV&V para recipientes forjados (2)					Materiais P21 a P25 inclusive P31 a P35 inclusive, P41 a P45 inclusive					
Aspectos da junta		Fabricação & Exame			Aspectos da junta		Fabricação & Exame			
Tipo de solda	Partes aplicáveis	Figuras aplicáveis	Método de exame	Observações	Tipo de solda	Partes aplicáveis	Figuras aplicáveis	Método de exame	Observações	Categoria da junta ou tipo de conexão
N1 B	AD411		RT+MT ou PT	Ver AF-651, após teste pressão Ver AF-653	N1 B	AD411		RT	Ver AF-221.2	Categoria A
N1 B	AD415		RT+MT ou PT	Ver AF-651, após teste pressão Ver AF-653	N1 N2 B	AD412		RT	Ver AF-221.2 e AF-222.3	Categoria B
N1 B	AD415	AD701.1 3-310.1	RT+MT ou PT	Ver AF-651, após teste pressão Ver AF-653	N1 B FP FP	AD413	AD701.1 3-310.1 AD701.3 3-310.1 AD701.3 3-310.1	RT RT ou UT PT	Ver AF-221.2 Cst. Tq > 2 1/2" Ver AF-223.2 (C) Cst. Tq > 2 1/2" Ver AF-223.2 (C)	Categoria C
N1 B FP	AD415	AD613.1 AD610.1	RT+MT ou PT RT+UT+ MT ou PT	Ver AF-651, após teste pressão Ver AF-653 Aberturas no costado somente esp. acima 2" Após teste de pressão ver AF-653	N1 B FP FP FP+FW (Almofadas) FW FP	AD414	AD613.1 AD610.1 AD601 AD610.1 AD601 AD612.1 AD612.1 AD621.1	RT RT ou UT PT PT PT PT	Ver AF-221.2 Aberturas > 6" d costado tq > 2 1/2" Ver AF-223.2 (C) Aberturas < 6" ou aberturas > 6" nas carcaças < 2 1/2 tq Ver AF-223.2 (C) Ver AD560 para limitações Ver AD620 ou AD635 para limitações Ver AD621 para limitações	Categoria D
B FP FP+FW FP+FW FW	AD912		MT ou PT	Após teste de pressão ver AF-653	B FP FP+FW FP+FW FW	AD991		PT	Ver AF-227.1	Anexos
						Todos		PT		Soldas Austeríticas
									P-43, P-44 e P-45 Após PWHT se realiz.	Solda de Não-ferrosos

## NOTA 1 (CONT.)

## Categoria Tipo de solda

## Condições

C	FP & PP	Quando o mais fino dos materiais unidos for < 1/2 pol.
D	FP	Quando o mais fino dos materiais unidos for < 1/2 pol. e o mais espesso for < 1 1/4
	Pad FP	Quando calços são permitidos.
Anexos	Todos	Quando o mais fino dos materiais unidos for < 1/2 pol. e o mais espesso for < 1 1/4

(b) MT ou PT pode ser substituído por RT ou UT para soldas de topo na localidade na categoria C quando o mais fino dos materiais não excede 1/2 pol. e o diâmetro nominal da abertura não exceder 10 pol.

NOTA 2: Soldagem em de envólucros forjados de materiais AS-372CI, IV e V é limitada solda de selagem após tratamento térmico final Ver AF-741 para soldas de emendas e reparos permitidos antes do tratamento térmico final.

Todas as soldas permitidas devem ser examinadas antes e depois do teste de pressão.

**Tabela 4.12 \_ Código ASME Seção VIII, Divisão 2.**

Requisitos relativos às soldas.

Quando, de acordo com o projeto, o material base requer o ensaio de resiliência, é obrigatório o controle da soldagem por meio de chapas de produção ("production test plates" ou "vessel test plate"). São corpos de prova, pertencentes a uma das corridas das chapas do vaso, que são soldados como apêndices das soldas de categoria A ou isoladamente. Nesta soldagem são empregados os mesmos materiais, procedimentos e equipamentos previstos para o vaso. Verifica-se a resiliência das zonas fundida e termicamente afetada. Se os resultados forem insatisfatórios, todas as soldas, representadas pela chapa de produção, serão rejeitadas.

#### 4.4 – CÓDIGO ASME SEÇÃO I:

É a seção do Código ASME que se aplica às caldeiras. Seus requisitos estão reunidos com a seguinte organização:

Parte	Conteúdo
PG	Requisitos gerais aplicáveis todos os métodos de fabricação.
PW	Requisitos para a fabricação por soldagem.
PR	Requisitos para a fabricação por rebitamento.
PWT	Esquisitos específicos para caldeiras aquatubulares.
PWF	Requisitos específicos para caldeiras flamotubulares.
PMB	Requisitos específicos para caldeiras pequenas.
PVG	Requisitos específicos para vaporizadores de fluidos orgânicos.

Quanto à soldagem as regras são semelhantes à seção VIII Divisão 1, divergindo entretanto em alguns pontos.

a) Mesmo submetida ao exame radiográfico total, a eficiência da junta (E) é igual a 0,9%. Podendo, entretanto, ser elevada para 1,0 se o reforço da solda for removido.

PP-27.4 Nota 1. PW-12

b) Praticamente todos os coletores e tambores são submetidos ao exame radiográfico total.

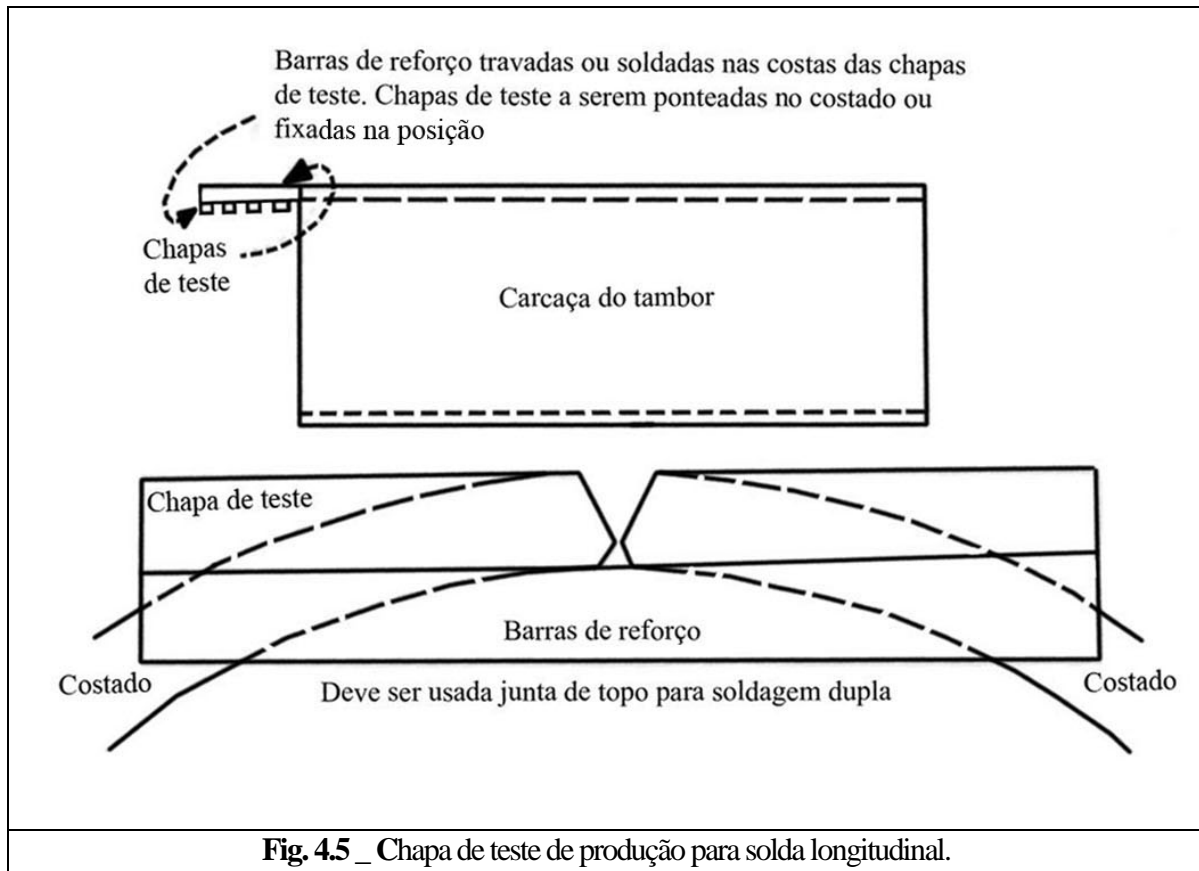
PW-11

c) As recomendações de pré-aquecimento, que na seção VIII pertencem a um apêndice informativo, na seção I são obrigatórios. As temperaturas são especificadas em função do número P do material de base.

PW-38

d) A exigência de aplicação do tratamento térmico de alívio de tensões tem menos exceções que na seção VIII (ver notas da tabela PW-39. e) O controle da soldagem por meio da chapas da produção ("vessel test plate") é exigido para a fabricação dos vasos ou tambores com materiais outros que os do grupo PI (fig. 4.5).

PW-53

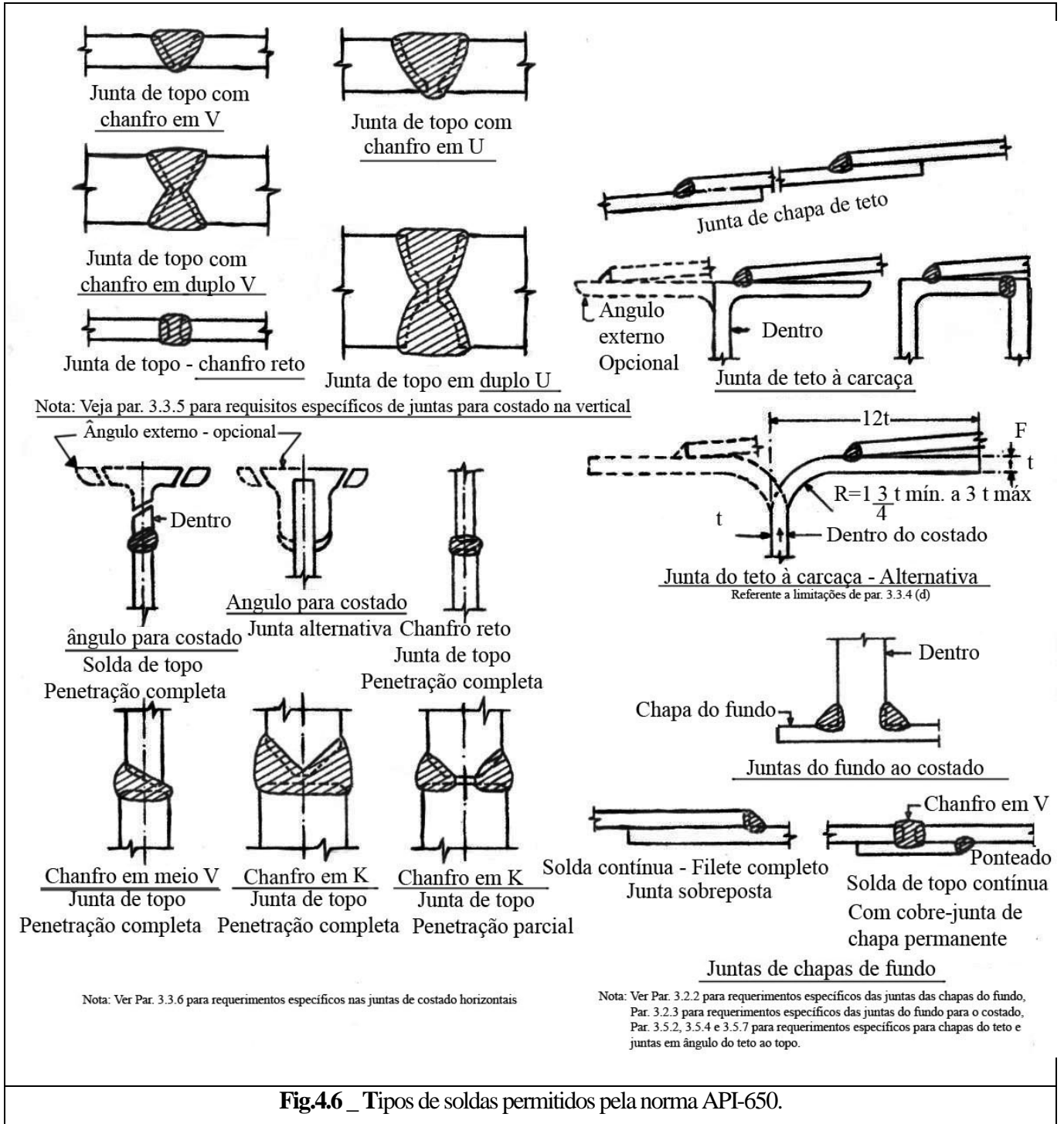


#### 4.5 – NORMA API-650:

Editada pelo API (American Petroleum Institut), a norma API-650 padroniza o projeto, a fabricação e a inspeção de tanques de armazenamento soldados.

No que se refere à soldagem, os seguintes pontos merecem destaque:

- a) Os eletrodos devem satisfazer a especificação AWS A 5.1 (ASTM-A-233) (item 2.3).
- b) Os tipos de solda permitidos estão mostrados na fig. 4.6. As restrições e recomendações encontram se nos itens 3.1, 3.2 e 3.3. Observe que são permitidas - com exceção dos cruzamentos com verticais soldas horizontais de penetração parcial.
- c) Para as soldas de montagem aplicam-se requisitos semelhantes aos da seção VIII do ASME, como descritos no item 5.2.
- d) Os testes de estanqueidade (itens 5.3.2, 5.3.3 e 5.3.4), o exame radiográfico (item 6.1) e o seccionamento das soldas (item 6.2) são os meios propostos para a inspeção. O seccionamento deve ser evita do face ao risco de ruptura frágil decorrente do alto nível de tensões residuais resultante da soldagem dos plugues.
- e) Soldadores e procedimentos de soldagem devem ser qualificados conforme a seção IX do Código ASME (item 7).



f) O apêndice C trata dos tetos flutuantes. Merece atenção o item C.3.3.c que recomenda a solda em ambos os lados da junta superposta, nas regiões submetidas à flexão, como por exemplo, nas proximidades das "pernas". magnéticas após o tratamento térmico e antes do teste hidrostático.

#### 4.6 – NORMA ANSI B31.3 - TUBULAÇÕES DE REFINARIAS:

É a norma que regulamenta o projeto, a fabricação, a montagem e a inspeção das tubulações de refinaria.

- a) Como nas demais normas, os soldadores e processos de soldagem devem ser qualificados de acordo com a seção IX do Código ASME (item 327.5.1).
- b) Pré-aquecimento, tratamento térmico e dureza máxima das soldas são especificados nas tabelas 331.2.1 e 331.3.1 da norma (tabela - 4.13). A necessidade de pré-aquecimento e de tratamento térmico deve ser analisada durante a qualificação do procedimento de soldagem. Entretanto, tubos de aço carbono e aço liga ferríticos, com espessura nominal superior a 3/4 in ( ), requerem o tratamento térmico (item 331.3.2.a). O controle de dureza limita não apenas a fragilidade das soldas como também evita os chamados entalhes metalúrgicos.
- c) A soldagem de aço liga ferríticos com eletrodos de materiais não temperáveis - como por exemplo os aços inoxidáveis tipo AISI-310 e 309 - são permitidos somente para soldas de selagem ou de encaixe em tubulações de diâmetro nominal inferior a 2 in. E isto, se as condições de trabalho - temperatura, variações de temperatura e corrosão - não forem severas (item 331.3.2.c). Estes materiais usados em soldas de topo são suscetíveis à fissuração por fadiga térmica.
- d) A norma não define os casos em que a inspeção radiográfica é obrigatória.



SOLTEC

TABELA 4.13 A

TABELA 4.13 B

#### 4.7 – NORMA ANSI B31. 4 – OLEODUTOS:

O projeto, a fabricação, a montagem e a inspeção de oleodutos são orientados pela norma ANSI B31.4. As exigências relativas à soldagem encontram-se no Capítulo 5.

- a) A qualificação do processo de soldagem e dos soldadores deve ser feita conforme a seção IX do Código ASME ou norma API-1104. Quanto às "variáveis essenciais" aplica-se a seguinte exceção: aços com teor de carbono inferior a 0,32 ou carbono equivalente ( $\%C + 1/4\%Mn$ ) inferior a 0,65 podem ser considerados como pertencentes ao grupo PI.
- b) A inspeção radiográfica e o critério de aceitação de defeitos obedecem à norma API-1104.
- c) Zonas afetadas pela abertura de arco sobre o metal base - "Arc burn" - não são toleradas e devem ser removidas por esmerilhamento. A área afetada é considerada como um entalhe metalúrgico. A remoção total é controlada pela macrografia com a solução de persulfato de amônia a 20%. Um escurecimento localizado indica a presença do entalhe.
- d) Aços com  $\%C > 0,32$  ou  $Ceq > 0,65$  devem ser pré-aquecidos. Mesmo para teores inferiores, o pré-aquecimento é aconselhável, quando a soldabilidade do metal base assim o exigir.
- e) A necessidade de tratamento térmico de alívio de tensões é definida por um requisito idêntico ao do Código ASME seção VIII Divisão 1.