

## SOLDAGEM DE CHAPAS ZINCADAS POR IMERSÃO A QUENTE (1)

Sergio Azambuja (2)

Yelson Duboc Natal (3)

Eliezer José Barcelos (4)

### RESUMO

As influências das principais variáveis dos processos de solda por resistência elétrica (ponto e costura) e a arco (MIG/MAG) são relatados e discutidas. São também apresentados os principais resultados obtidos nos estudos de soldabilidade e de otimização de condições de soldagem realizados em materiais destinados a indústria automobilística.

Estes estudos demonstram ser possível boas juntas soldadas em chapas zincadas, desde que sejam utilizadas as condições de soldagem adequadas.

(1) Trabalho apresentado no I Seminário sobre Chapas Metálicas para Indústria Automobilística.

(2) M.Sc. em Tecnologia de Soldagem, Engº Metalurgista, Assessor Técnico da Superintendência Geral de Pesquisa e Desenvolvimento da CSN.

(3) MSc em Tecnologia de Soldagem, Engº Metalurgista, Superintendente de Administração de Tecnologia da Superintendência Geral de Pesquisa e Desenvolvimento da CSN.

(4) Técnico de Pesquisa da Superintendência Geral de Pesquisa e Desenvolvimento.

## ABSTRACT

Influences of the principal variables of the Resistance Welding (spot and seam) and Metal Inert Gas (MIG/MAG) welding processes are reported and discussed. Also presented are the principal results obtained in weldability studies and welding conditions' optimization carried out on materials aimed at automotive industry use.

The studies have shown to be possible to achieve good welding joints with hot dip zinc-coated steel, if the appropriate welding conditions are selected.

## 1 - INTRODUÇÃO

As chapas de aço galvanizado por imersão a quente, apresentam características importantes tais como, nível de resistência mecânica, acabamento superficial, estampabilidade e principalmente resistência a corrosão, a um custo relativamente baixo, tornando-as viáveis para diversas aplicações, mesmo para as mais críticas, como a indústria automobilística.

Na indústria automobilística é largamente utilizado o processo de soldagem por Resistência Elétrica, principalmente pelo seu baixo custo aliado a rapidez, reprodutibilidade e qualidade das soldas realizadas. Quando existem limitações operacionais ou para soldas de filete, o processo MIG/MAG é utilizado.

O processo de soldagem por costura é utilizado na confecção de tanques de combustível.

Neste trabalho são apresentadas as principais variáveis dos processos de soldagem por resistência elétrica (ponto e costura) e a arco elétrico (MIG/MAG) e suas influências em soldas de chapas zincadas por imersão a quente. Estes estudos mostram que desde que sejam adotadas condições adequadas de soldagem é possível obter soldas de boa qualidade em chapas zincadas por imersão a quente.

## 2 - SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Na soldagem a ponto por resistência elétrica das chapas zincadas uma parte do revestimento de zinco se vaporiza e o restante

se difunde na superfície do ponto de solda, formando uma camada de liga Fe-Zn.

Como o maior responsável pela resistência à corrosão do ponto de solda é a proteção galvânica do zinco, recomenda-se que sejam adotados procedimentos específicos para soldagem de chapas zincadas, de modo a assegurar uma boa resistência mecânica do ponto de solda, aliada a uma adequada resistência à corrosão atmosférica.

Na soldagem de chapas zincadas, tem-se que levar em consideração sua soldabilidade, assim como a vida útil dos eletrodos. Estas características são influenciadas pelos seguintes fatores:

- **Resistência do substrato:** quanto maior a resistência do substrato mais estreita se torna a faixa de corrente a ser utilizada e maior é a força necessária entre eletrodos.
- **Peso do revestimento:** quanto maior o peso do revestimento de zinco mais estreita é a faixa de corrente e conseqüentemente menor é a vida útil dos eletrodos.
- **Acabamento superficial:** em princípio o tipo de acabamento superficial (cristais normais ou minimizados) não interfere de maneira importante na soldabilidade, contudo quando se trata de superfície lisa ou extra lisa, devido a passe de encruamento a superfície se torna mais rugosa diminuindo assim a soldabilidade.
- **Tratamento superficial:** o tratamento químico passivamente tem efeito detrimental na soldabilidade e vida útil dos eletrodos, portanto deve ser removido antes da soldagem (solução de ácido crômico a 5%; lavar em água corrente; secar em seguida). O oleamento desde que livre de impurezas,

não afeta de forma sensível a soldabilidade.

### 3 - SOLDAGEM A PONTO POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA (SPR)

Este processo consiste em se fazer passar um fluxo de corrente elétrica através das chapas a serem soldadas. O calor gerado pela resistência à passagem deste fluxo promove, na região de contato chapa/chapa, a fusão das partes sobrepostas, que são mantidas unidas pela força dos eletrodos.

Na figura 1 é apresentado um desenho esquemático da soldagem por resistência elétrica.

Os parâmetros de soldagem recomendados pela norma BS-1140 (General Requirements for the Spot Welding of Uncoated and Coated Mild Steel) devem ser utilizados como referência e são apresentados na tabela I.

- **Eletrodos:** o material indicado para os eletrodos na soldagem a ponto das chapas zincadas é, de acordo com a Resistance Welder Manufacturers' Association, RWMA - grupo A, classe 2, uma liga cobre-cromo-zircônio (Cu-Cr-Zr), com dureza mínima de 75 R<sub>B</sub> (Rockwell B), seja do tipo haste ou capa.

O formato recomendado da ponta é de cone truncado a 120°, com face de contato plana e diâmetro (d) igual a  $5\sqrt{e}$ , onde "e" é a espessura da chapa a ser soldada (vide figura 1).

O diâmetro (D) mínimo normalmente utilizado para soldar chapas zincadas de espessuras até 1,50mm é de 16mm (5/8"). De 1,50mm

2,50mm o diâmetro mínimo é de 19mm (3/4").

Um par de eletrodos é capaz de fazer até 3000 pontos de solda em chapas zincadas por imersão a quente. A utilização de uma ponta inserida de tungstênio pode aumentar esta vida útil para 20.000 ou 30.000 pontos, embora apresentem algumas desvantagens que devem ser levadas em consideração. É importante lembrar que eletrodos novos devem ser "amaçados" antes da utilização através da realização de 30 a 50 soldas, e que cada eletrodo deve ser refrigerado com uma vazão de no mínimo 7 l/min de água.

- **Corrente de soldagem:** devido à menor resistência do contato provocada pela alta condutividade do zinco, as correntes de soldagem requeridas para chapas zincadas são mais altas em média 20 a 30% que aquelas para soldagem de chapas não revestidas de mesma espessura. Quanto maior o peso do revestimento mais estreita é a faixa de corrente a ser utilizada; o mesmo acontece quando do aumento da resistência a tração da chapa.

- **Tempo de solda:** os tempos de solda são normalmente de 50% a 100% maiores na soldagem de chapas zincadas, quando comparadas com os da soldagem de chapas não revestidas de mesma espessura.

- **Força entre eletrodos:** em condições normais a força entre eletrodos deverá ser de 10 a 25% maiores na soldagem de chapas zincadas e quanto maior o peso do revestimento maior deverá ser esta força. Altas forças entre eletrodos ocasionam identações maiores e necessitam de níveis de corrente mais elevados para se obter soldas com qualidade.

Por outro lado, baixas forças podem provocar a ocorrência de porosidade na região da lente de solda, trincas superficiais e um

excessivo aquecimento nas interfaces eletrodo/chapa.

A força entre eletrodos também deve ser aumentada em função do aumento da resistência a tração da chapa. Como exemplo, para a espessura de 0,8mm e diâmetro da ponta do eletrodo de 5,0mm, a força entre eletrodos indicada para ZC é de -180 Kgf e para ZAR 345 é de -250 Kgf, respectivamente 9,2 Kgf e 12,7 Kgf por milímetro quadrado da face de contato dos eletrodos.

- **Tempo de solda:** deverá ser de 20% a 50% superior ao da chapa sem revestimento. Isto se deve à menor geração de calor no início da soldagem e a necessidade de haver tempo para a completa fusão e expulsão do zinco fundido da interface das chapas.

- **Tempo de compressão:** nas chapas zincadas ou sem revestimento, deve ser suficiente para a máquina atingir a pressão estipulada entre os eletrodos antes da entrada da corrente de soldagem. Este tempo é específico para cada máquina.

- **Tempo de retenção:** em chapas zincadas deve ser tal que permita um escoamento de calor suficiente para garantir a boa aparência da solda minimizando a presença de zinco fundido na superfície da região de solda. Normalmente é utilizada a faixa de 10 a 20 ciclos.

#### **Gráficos de soldabilidade**

As condições de soldagem a ponto são melhor apresentadas na forma de gráficos de soldabilidade, onde os dois parâmetros principais (corrente e tempo de solda) são definidos por curvas limites que garantem a qualidade das soldas dentro de limites arbitrariamente estabelecidos. Os gráficos de soldabilidade convencionais

(G.S.G.) tem como limite à esquerda o diâmetro mínimo de lente de  $4\sqrt{e}$  ou 80% do diâmetro inicial da ponta do eletrodo, e como limite à direita a ocorrência de expulsão. Nestes gráficos foi estabelecida uma região (parte achurada nas figuras) em que a qualidade das soldas obtidas é garantida levando-se em consideração uma série de fatores, tais como: resistência a tração, indentação, aspecto superficial, resistência a corrosão e resistência a tração após 1000 pontos de solda com o mesmo par de eletrodos (vida útil dos eletrodos).

Exemplos típicos de gráficos de soldabilidade, para vários tipos de chapas zincadas, de 0,8mm de espessura, são apresentados nas Figuras 2 e 3. As tabelas 2 e 3 apresentam os parâmetros otimizados (referente às regiões achuradas dos gráficos) para os tipos de chapas zincadas analisadas.

#### 4 - SOLDAGEM POR COSTURA (SPC)

A soldagem por costura por resistência de chapas zincadas é um processo crítico devido aos estritos limites de operação e principalmente devido a baixa vida útil dos eletrodos. A soldagem de chapas zincadas pelo processo convencional não é recomendável em decorrência do efeito prejudicial da contaminação dos discos na formação de soldas imperfeitas e na necessidade de constante manutenção (não mais que 10m de solda são conseguidos sem um reparo nos discos). Algumas técnicas foram desenvolvidas para facilitar a soldagem por costura de chapas zincadas, três delas são destacadas

a seguir.

A técnica mais simples se resume na utilização de um raspador e de uma recartilha (Figura 4). O raspador é utilizado para retirar o excesso de impregnação do zinco da face de contato dos eletrodos. A recartilha que é acionada hidraulicamente (com força de -10 KN), além de fazer girar os discos por fricção, garantindo assim uma mesma velocidade periférica dos mesmos (independente dos diâmetros), mantém também o perfil das bordas dos discos.

Com a utilização destes dispositivos, soldas de qualidade podem ser obtidas, mesmo após longa utilização (acima de 30.000m de solda podem ser realizadas com chapas zincadas) e velocidades de 7m/min. podem ser atingidas com faces de contato dos eletrodos de 1,5 a 3,5mm.

A Tabela 4 apresenta dados encontrados na literatura para soldagem por costura de chapas zincadas, utilizando recartilha e o raspador.

As outras técnicas se resumem na introdução de um eletrodo intermediário, que pode ser um arame de cobre contínuo (processo Soudronic), ou duas fitas de aço que ficam incorporadas à junta soldada (Figura 5). as fitas são normalmente de 4,0mm de largura e de 0,35mm de espessura; podem ser de aço ao cromo ou de aço inoxidável. O aumento de espessura no local da solda chega a um máximo de 0,2mm. A utilização do sistema Soudronic (Figura 6) é mais empregada. Com esta técnica chapas zincadas de até 1,2mm de espessura podem ser soldadas.

Na soldagem por costura de chapas zincadas, os limites de soldagem podem ser definidos de acordo com a Figura 7, ou seja:

- um primeiro limite inferior baseado no efeito de brazagem;
- um segundo limite inferior baseado na corrente mínima que garanta um cordão de solda contínuo;
- um primeiro limite superior que corresponde ao início de ocorrência de trincas;
- um segundo limite superior baseado na aparência superficial da solda em termos de ocorrência de empolamento, impregnação de cobre e início de expulsão;
- um terceiro limite superior corresponde à queima da solda.

A escolha de um particular limite depende exclusivamente dos requisitos de aplicação. Amplitudes de até 1,8 KA podem ser viáveis para obtenção de soldas sem trincas.

## 5 - SOLDAGEM AO ARCO ELÉTRICO-PROCESSO MIG/MAG

A soldagem de chapas zincadas por imersão a quente quando comparado com chapas sem revestimento, alguns pontos sobressaem:

- as velocidades de soldagem são nas zincadas mais reduzidas do que nas outras.
- para as mesmas condições de soldagem os níveis de amperagem são menores para as chapas zincadas.
- para as mesmas condições de soldagem a penetração é menor nas chapas zincadas.
- quanto mais espessa a camada de zinco, maior a quantidade de respingos.

- maior a quantidade de fumos de soldagem quanto o material de base é zincado.
- após soldagem, há necessidade de recomposição da camada de zinco afetada pelo calor da solda.
- as propriedades mecânicas para espessuras até 3,8mm não são afetadas por porosidades ou fragilização por metal líquido, oriundas da proteção de zinco, da chapa de aço.
- nas chapas zincadas a utilização da mistura 80% Ar - 20%  $CO_2$  favorece um arco mais estável que o  $CO_2$  puro, produzindo menos respingos e depósitos de solda com melhor acabamento.
- para soldagem de chapas zincadas há necessidade de adequação dos soldadores, um soldador médio com pouco treinamento domina perfeitamente a técnica.

Foram realizados testes operacionais com detalhes de junta e posição de soldagem de acordo com a norma AWS D1.3., e como material e chapa zincada com revestimento B, correspondendo a 260g de zinco por metro quadrado de chapa. Os consumíveis de soldagem foram: arame de classificação AWS ER 70S-6, de diâmetro nominal de 0,80mm e gases de proteção  $CO_2$  e mistura 80% Ar - 20%  $CO_2$  ambos com vazão de 18 l/min. A fonte de soldagem foi de 200A e indutância de posição única. A técnica de soldagem foi manter o arco curto e realizar solda puxando (ângulo de avanço positivo) (fig. 8). Os parâmetros de soldagem selecionados são apresentados na tabela 5, sendo as principais características das soldas, o bom acabamento superficial e evitar o excesso de penetração, não permitindo "vazamento" da solda na face oposta. As soldas foram submetidas ao

teste de quebra de filete (fig 9) onde foi constatado uma pequena falta de fusão no acendimento do arco, sendo mais crítico nas chapas mais finas. Este fato foi praticamente solucionado reuzindo-se a velocidade de soldagem na abertura de arco.

## B - CONCLUSÕES

1 - Na Soldagem por Ponto por Resistência Elétrica de chapas zincadas é possível obter a vida útil de até 3.000 pontos utilizando equipamentos e comandos de solda convencionais.

A partir do gráfico de soldabilidade convencional (GSC) foi determinada a região onde são atendidos simultaneamente diversos requisitos de soldas em chapas zincadas.

2 - Para garantir e manter a estanqueidade de soldas por costura em chapas zincadas é recomendado utilizar as técnicas citadas neste trabalho.

3 - A soldagem de chapas zincadas a arco elétrico (MIG/MAG) sob proteção de  $CO_2$  e mistura 80% Ar - 20%  $CO_2$  é viável, não sendo evidenciadas diferenças marcantes no aspecto do cordão com os dois tipos de proteção. No entanto a mistura 80% Ar - 20%  $CO_2$  apresentou melhor controle operacional durante a soldagem e menor quantidade de respingos.

## 7- BIBLIOGRAFIA

- 1 - Azambuja, S.; Barcelos E. J. - Soldagem de Chapas Zincadas Convencionais pelo Processo a Ponto por Resistência Elétrica. Anais do XII Encontro Nacional de Tecnologia de Soldagem, 1986.
- 2 - Natal, Y. D.; Barcelos E. J. - Otimização dos Gráficos de Soldabilidade de Soldas a Ponto por Resistência Elétrica - Especial Referência à Soldagem de Chapas Zincadas. Anais do XVII Encontro Nacional de Tecnologia de Soldagem 1991.
- 3 - Perdigão, S.C. - Soldagem "MAG" de Chapas Finas Galvanizadas - Anais do XIII Encontro Nacional de Tecnologia de Soldagem - 1987.
- 4 - Informe técnico da "British Steel Corporation" (BSC) sobre Chapas Zincadas.
- 5 - Norma BS-1140 - 1980 - Specification of Resistance Spot Welding of Uncoated and Coated Low Carbon Steel.
- 6 - AWS C1-3 - 1970 - Recommended Practices for Resistance Welding Coated Low Carbon Steel.
- 7 - ANSI/AWS D1.3 - 1981 - Structural Welding Code /sheet Steel.

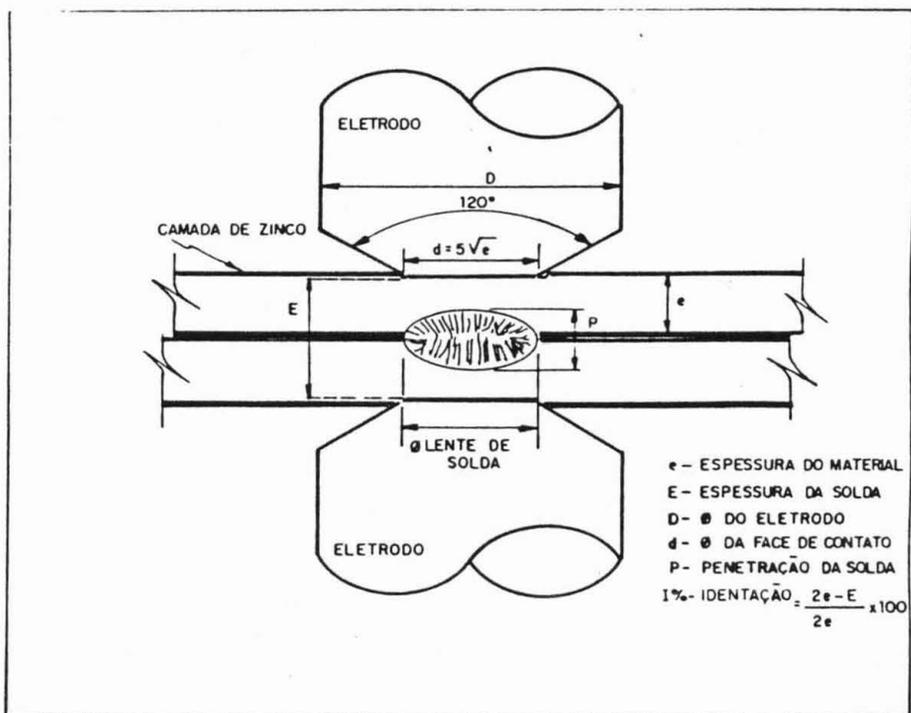


Figura 1 - Representação esquemática de uma solda por resistência  
 (vista transversal)

Tabela 1: Condições típicas de soldas a ponto para duas chapas zincadas por imersão a quente.

ZC - zincada comum - 275g Zn/m<sup>2</sup> de chapa

GA - revestimento ferro-zinco ("Galvannealed").

ESPESSURA DE UMA CHAPA		DIÂMETRO DO	CONDIÇÕES DE SOLDAGEM					
ACIMA DE	ATÉ E INCLUINDO	CONTACTO DO ELETRODO	FORÇA		TEMPO DE SOLDA	CORRENTE		
			ZC	GA		ZC	GA	
0.4mm	0.6mm	4mm	1.8KN	1.1KN	8 ciclos	0.16s	9KA	8KA
0.6mm	0.8mm	4mm	1.8KN	1.1KN	10 ciclos	0.20s	10KA	9KA
0.8mm	1.0mm	5mm	2.8KN	1.8KN	12 ciclos	0.24s	11KA	10KA
1.0mm	1.2mm	5mm	2.8KN	1.8KN	15 ciclos	0.30s	12KA	11KA
1.2mm	1.6mm	6mm	4.0KN	2.5KN	20 ciclos	0.40s	15KA	12KA
1.6mm	2.0mm	7mm	5.4KN	3.5KN	24 ciclos	0.48s	20KA	14KA
2.0mm	2.5mm	8mm	7.0KN	4.5KN	28 ciclos	0.56s	27KA	20KA
2.5mm	3.25mm	9mm	9.0KN	5.7KN	35 ciclos	0.70s	34KA	23KA

Tabela 2 - Parâmetros de soldagem - ZC 8

	DIÂMETRO DA LENTE DE SOLDA (mm)/CORRENTE DE SOLDAGEM (KA):				
	04 CICLOS	08 CICLOS	12 CICLOS	16 CICLOS	20 CICLOS
Ø = 3.6mm L	3,6/10,1	3,6/7,5	3,6/7,5	3,7/7,1	3,5/7,2
G.S.O.		3,4/7,5	3,3/7,5	3,4/7,1	
G.S.O.		5,0/11,4	4,3/10,0	4,5/9,8	
EXPULSÃO	5,5/14,7	5,8/12,1	5,4/10,4	5,3/10,1	5,6/9,6

Tabela 3 - Parâmetros de soldagem - ZAR 345 B

	DIÂMETRO DA LENTE DE SOLDA (mm)/CORRENTE DE SOLDAGEM (KA):				
	04 CICLOS	08 CICLOS	12 CICLOS	16 CICLOS	20 CICLOS
Ø = 3.6mm L	3,7/10,1	3,5/7,4	3,6/6,6	3,7/6,6	3,7/6,6
G.S.O.		3,9/7,7	3,6/7,2	4,2/7,2	
G.S.O.		5,1/9,8	5,3/9,4	5,5/8,9	
EXPULSÃO	5,6/15,9	5,2/10,7	5,6/10,1	5,1/9,4	5,7/9,2

Tabela 4: Condições de soldagem por costura de chapas zincadas

ESPESSURA (mm)	FORÇA ENTRE ELETRODOS (KN)	CORRENTE DE SOLDAGEM (KA)	
		2 com/2 sem*	1 com/1 sem**
0,4 - 0,6	2,2 - 3,0	11,1	14,1
0,6 - 0,8	3,0 - 3,4	12,0	14,8
0,8 - 1,0	3,2 - 4,0	12,8	15,4
1,0 - 1,2	4,0 - 4,5	13,6	16,2

\* velocidade de soldagem igual a 2m/min.

\*\* velocidade de soldagem igual a 4m/min.

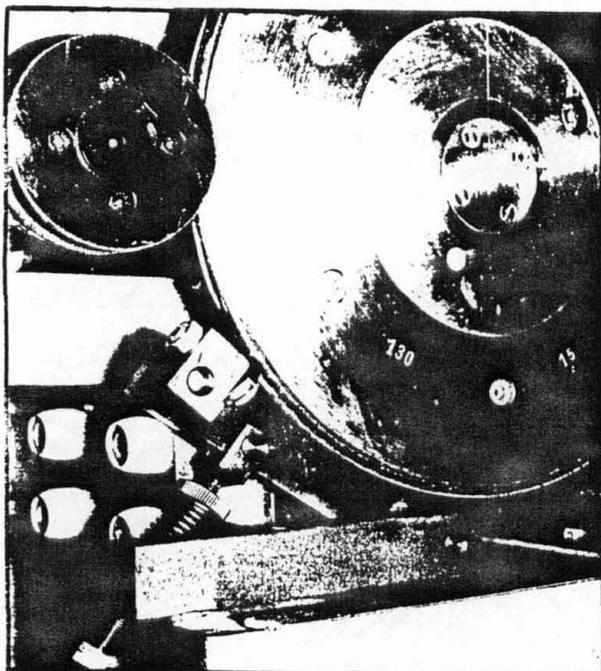


Figura 4 - Detalhe do disco de solda, mostrando o raspador e a re-  
cartilha de acionamento

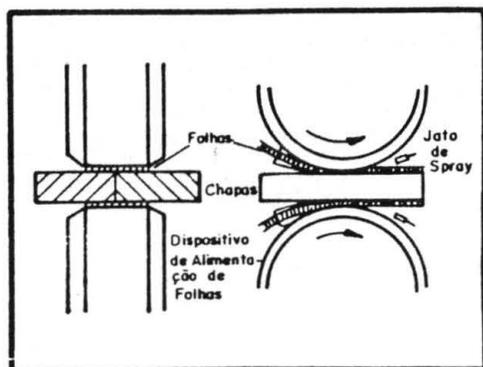


Figura 5 - Soldagem com utilização de fitas

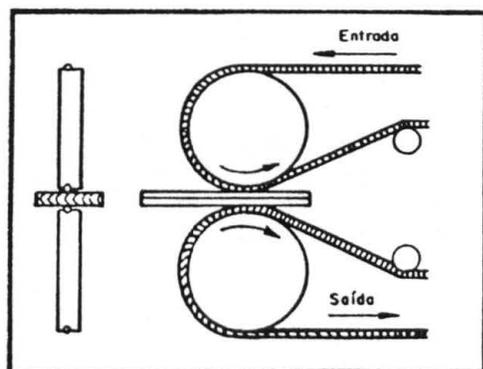


Figura 6 - Princípio do processo Soudronic.

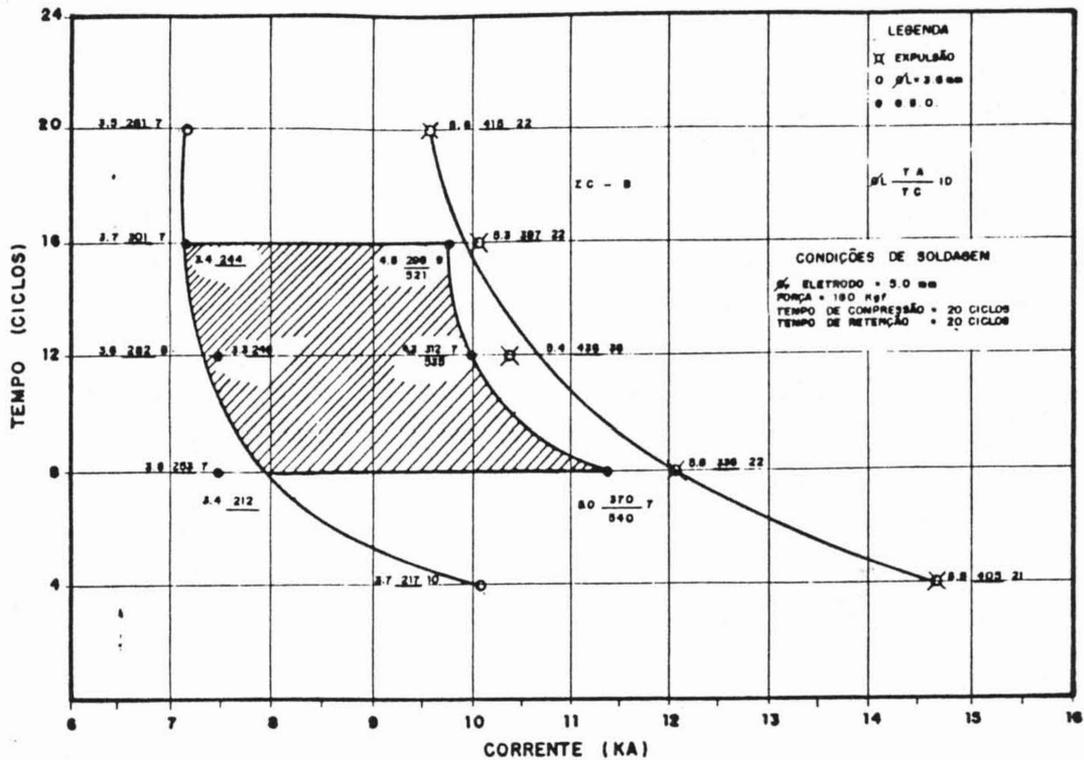


Figura 2 - Gráfico de soldabilidade - ZC B (GSC) (GSO)



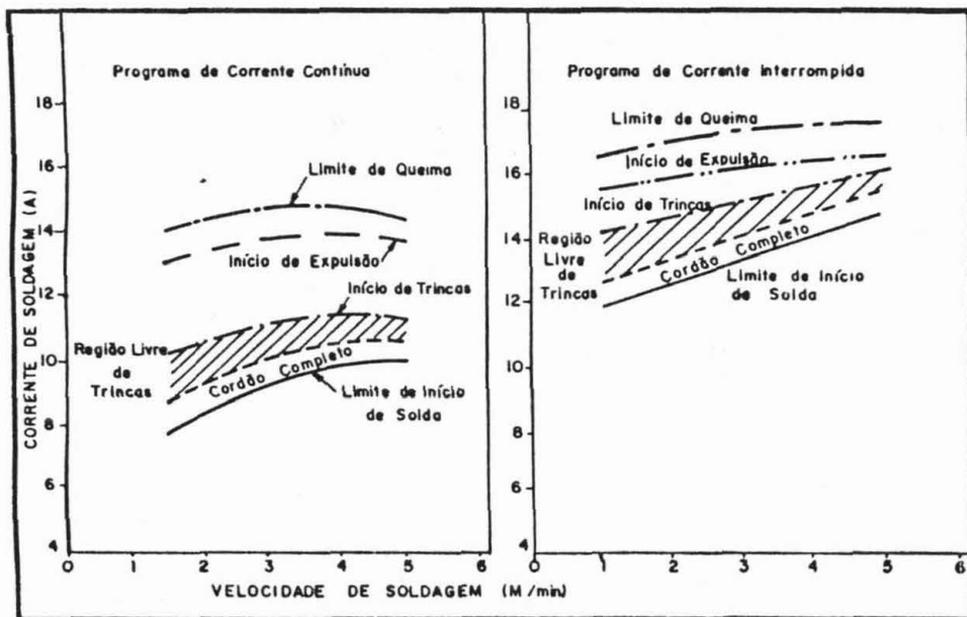


Figura 7 - Limites de soldagem por costura de chapas zincadas de 1mm de espessura e revestimento B, utilizando uma força entre eletrodos de 2,4 KN.

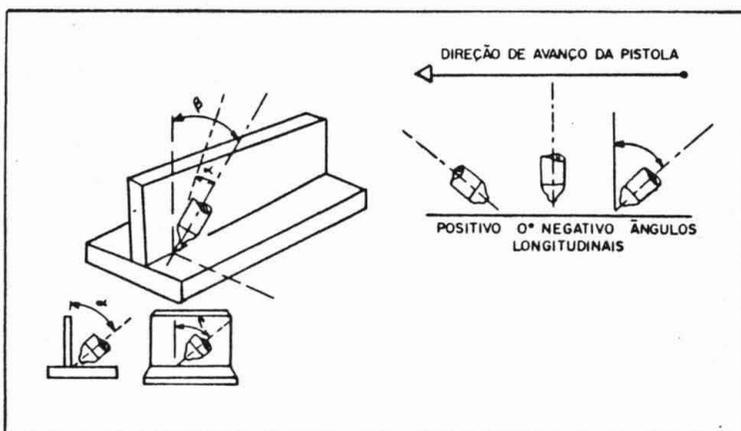


Figura 8 - Ângulos de soldagem. Transversal ( $\alpha$ ) e longitudinal ( $\beta$ ). Positivo (puxando) negativo empurrando.

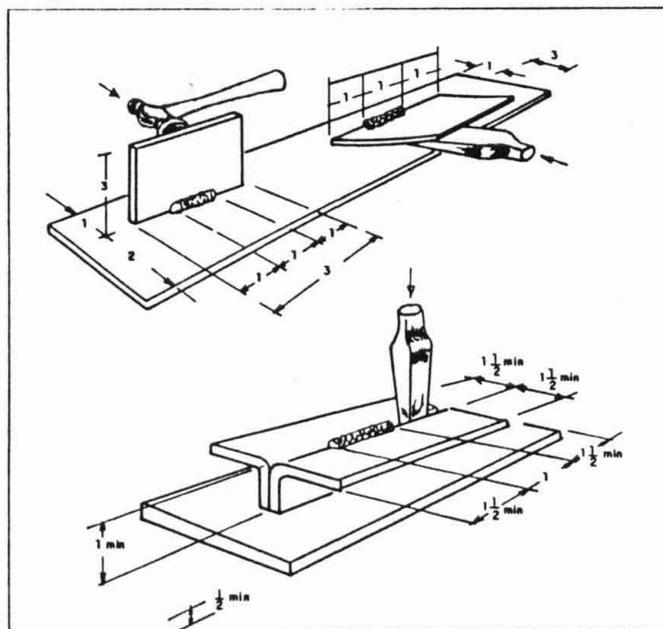


Figura 9 - Dimensões e quebra de filete das juntas seleccionadas, segundo a Norma AWS D1.3/B1. Dimensões em polegadas.

Tabela 5 - Parâmetros para soldagem a arco com gás de proteção

		POSIÇÕES DE SOLDAGEM								
		VERTICAL DESCENDENTE				HORIZONTAL OU PLANA PUXANDO				
ESP. mm	TIPO DE JUNTA	I <sub>A</sub>	V <sub>V</sub>	v <sub>solda</sub> cm/min	v <sub>arame</sub> cm/min	I <sub>A</sub>	V <sub>V</sub>	v <sub>solda</sub> cm/min	v <sub>arame</sub> cm/min	
M I S T U		1,25	65	17	22	290	65	17	26	290
		0,95	55	16	23	290	45	16	25	260
		0,80	45	16,5	23	270	45	15,5	21	270
R A		1,25	85	16,5	25	430	85	16,5	27	430
		0,95	55	16	22	290	55	16	23	290
		0,80	40	15,5	18	250	40	16	20	250
CO <sub>2</sub>		1,25	85	17,5	25	400	80	17,5	27	400
		0,95	65	17	30	290	60	17	30	290
		0,80	55	16,5	26	290	55	16,5	31	290
CO <sub>2</sub>		1,25	70	17	20	290	65	17	21	290
		0,95	60	16,5	20	260	60	16,5	25	260
		0,80	60	16	21	260	55	16,5	22	260

