

CONFERÊNCIA IBERO-AMERICANA SOBRE APROVEITAMENTOS HIDRÁULICOS

LISBOA-PORTUGAL

JUNHO 1987

A UTILIZAÇÃO DE EMENDAS NAS ARMADURAS
NAS GRANDES HIDROELÉTRICAS NO BRASIL

FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLO - ENGENHEIRO CONSULTOR - BRASIL
JOSÉ AUGUSTO BRAGA - ITAIPU BINACIONAL - BRASIL / PARAGUAI
BENTO CARLOS SGARBOZA - CIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO
GUSTAVO REIS LOBO DE VASCONCELOS - ELETRONORTE S/A

CONFERÊNCIA IBERO-AMERICANA SOBRE APROVEITAMENTOS HIDRÁULICOS

LISBOA-PORTUGAL

JUNHO 1987

A UTILIZAÇÃO DE EMENDAS NAS ARMADURAS
NAS GRANDES HIDROELÉTRICAS NO BRASIL

FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLO - ENGENHEIRO CONSULTOR - BRASIL

JOSÉ AUGUSTO BRAGA - ITAIPU BINACIONAL - BRASIL / PARAGUAI

BENTO CARLOS SGARBOZA - CIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO

GUSTAVO REIS LOBO DE VASCONCELOS - ELETRONORTE S/A

A Utilização de Emendas nas Armaduras nas Grandes Hidroelétricas no Brasil

The Utilization of Connections for Reinforcing Bars in Big Hydraulics in Brazil

F.R. Andriolo, Engenheiro Consultor - Brasil

J.A. Braga, Itaipu Binacional - Brasil / Paraguai

B.C. Sgarboza, Cia.Energética de São Paulo - Brasil

G.R.L. Vasconcelos, Centrais Elétricas do Norte do Brasil

SUMÁRIO: O trabalho apresenta informações técnicas de estudos de laboratórios e de pré-qualificação, bem como de controle de qualidade durante a utilização de vários tipos de emendas metálicas para armaduras, utilizadas na construção de algumas grandes obras hidroelétricas no Brasil, no período entre 1969 e 1986. Evidencia-se o controle de qualidade de emendas, de vários tipos, nas obras de Ilha Solteira, Água Vermelha, Rosana, Porto Primavera, Tucuruí e Itaipu, onde foram utilizadas aproximadamente 700.000 t de barras de aço.

ABSTRACT: The work presents technical informations of laboratory studies and of first qualification, so as quality control, due to the utilization of many types of metallic connections for reinforcing bars, used in some big hydraulics buildings in Brazil due to 1969 and 1986. It's evident the quality control of connections, of some types, in buildings of Ilha Solteira, Água Vermelha, Rosana, Porto Primavera, Tucuruí and Itaipu, where they were used approximately 700.000 t of steel bars.

1. INTRODUÇÃO

No planejamento das instalações para a construção das obras dos aproveitamentos hidráulicos, uma merecida atenção é dada ao pateo para beneficiamento das armaduras.

No beneficiamento das armaduras, o planejamento para a execução das emendas requer detalhamento especial tendo em vista as quantidades envolvidas, a qualidade exigida e os custos envolvidos.

No Brasil, as barras laminadas normalmente são fornecidas com comprimento ao redor de 11 m. Um comprimento maior das barras, estaria condicionado a um sistema de transporte para a obra, e dentro da obra, mais especializado.

Observa-se, então, que a utilização das emendas permite manter os esquemas normais de laminação, na siderúrgica e de transporte à obra. Possibilita, ainda, o aproveitamento das pontas decorrentes do corte das barras, reduzindo as perdas. O aproveitamento das pontas permite a união de pequenos segmentos, sendo aproveitados para escoramentos de fôrmas, suportes de armaduras. As pontas, de comprimento adequado, podem ser usadas, após emendadas e dentro das limitações adotadas, como armadura comum.

As emendas têm por finalidade dar continuidade, à barra, na transmissão dos esforços, permitindo, dessa forma, considerar a estrutura como monolítica.

Vários são os processos para emendar as barras, sendo que este trabalho dá mais detalhes de um processo muito usado em obras pesadas no Brasil, que é o de

topo a topo por caldeamento com centelhamento.

2. ESPECIFICAÇÕES USUAIS

2.1. Aços

A aceitação das barras de aço é feita com base nas especificações da A.B.N.T.-NBR-7480 (Norma Brasileira), que estabelece critérios para inspeção visual, dimensional e para os ensaios mecânicos. Dentre os critérios adotados é dada gran de atenção aos característicos mecânicos que são observados na figura 1.

Cate- goria	Valores Mínimos Estabelecidos				Valores Obtidos entre 1969 e 1986 para as Barras de Categorias CA-25 e 50A - mais usadas nas Obras de Hidroelétricas							
	Resistência Característica de Escoamento fyk (kgf/mm ²)	Resistência à Ruptura fst(kgf/mm ²)	Alongamento (em base 10 diâmetros)%		fyk kgf/mm ²	C.V. %	fst kgf/mm ²	C.V. %	fst/fyk	Alongamento %	C.V. %	
			Aços Tipo A	Aços Tipo B								
CA-25	25,0	1,20 x fyk	18	-	33,4	5,6	49,9	6,3	1,49	25,5	12,1	
CA-32	32,0	1,20 x fyk	14	-	-	-	-	-	-	-	-	
CA-40	40,0	1,10 x fyk	10	8	-	-	-	-	-	-	-	
CA-50	50,0	1,10 x fyk	8	6	55,0	5,7	82,1	5,7	1,49	15,2	15,8	
CA-60	60,0	1,05 x fyk	-	5	-	-	-	-	-	-	-	

CV = Coeficiente de Variação
 Aços Tipo A - Aços obtidos por processo a quente, e de composição química relativamente alta, apresentando como caracte-
 rística marcante o patamar de escoamento, no diagrama tensão-deformação
 Aços Tipo B - Aços obtidos por deformação a frio, e normalmente de baixa composição química, não apresentando o patamar
 de escoamento definido, no diagrama tensão deformação

Figura 1: Requisitos Mecânicos, Especificados e Obtidos

A figura 1 apresenta, também, valores de ensaios de controle de qualidade efetuado nas barras de aço para algumas das grandes obras de hidroelétricas construídas entre 1969 a 1986.

2.2. Emendas das barras (tensão - compressão)

A avaliação das emendas de barras de aço é feita sobre amostras, corresponden-
 tes a grupos de no máximo 50 emendas, e que devem satisfazer as seguintes condi-
 ções, de acordo com a A.B.N.T.-MB-857 (Norma Brasileira):

- Barras Tipo A -

A tensão de ruptura \bar{f}_{st} , da barra emendada, deve ser pelo menos igual a 1,20
 fyk, do aço, ou seja 20% sobre a resistência característica de escoamento (ver
 figura 1).

Satisfazendo a barra emendada a condição acima, esta pode romper-se em qual-
 quer secção.

- Barras Tipo B -

A tensão de ruptura \bar{f}_{st} , da barra emendada, deve ser pelo menos igual a 1,10
 fyk do aço; a barra emendada não pode romper dentro do intervalo de $3 \times \phi$ (3 x
 diâmetro), considerando o centro da emenda.

As barras emendadas com luvas não deverão ter deformabilidade maior que a bar-
 ra original, sem emenda, à carga correspondente a 80% de fyk.

Os valores obtidos, nos controles das diversas emendas de vários tipos são mos-
 trados na figura 2.

3.1. Emendas por traspasse (Justaposição)

Com esse tipo de emendas os esforços nas barras são transmitidos por aderência. Prevê-se, então, um determinado comprimento de barra de modo que a mesma fique ancorada no concreto. Esse tipo de emenda é regulamentado pelas normas de cálculo e execução de obras de concreto (betão) armado, usual para estruturas esbeltas, e várias vezes utilizado para estruturas pesadas, como as hidroelétricas. Esse procedimento leva a comprimentos de traspasse, calculados pelas normas aceitas nos diversos países, e que quando comparadas, sob mesmas condições mostram-se diferentes. Dessa forma não se detalha, aqui, esse tipo de emenda.

3.2. Emendas por sobreposição com deposição de eletrodos

É executada através da soldagem das barras, com deposição de material de eletrodo (figura 3).

Essa emenda tem função análoga àquela feita por traspasse, sendo que a transmissão dos esforços é feita pelo material depositado na soldagem, e não por aderência concreto-aço. Esse tipo de emenda, não é muito usado, ficando limitado a barras com diâmetro até 20 mm.

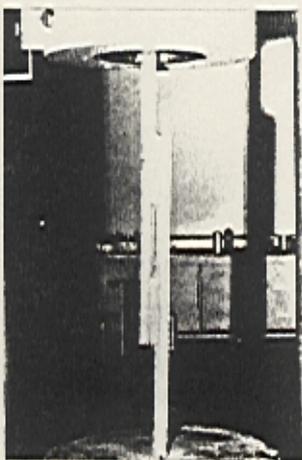


Figura 3: Emenda por Sobreposição com Deposição de Eletrodo, Submetida a Ensaio de Tração

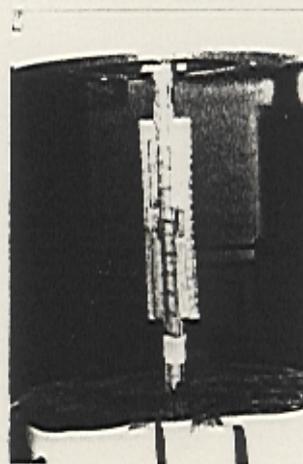


Figura 4: Emenda por Dupla Sobreposição, com Deposição de Eletrodo, Submetida a Ensaio de Tração

3.3. Emendas por dupla sobreposição

É executada, também, por deposição de eletrodos (figura 4). Nas construções esse tipo de emenda é empregado nas barras que ficam na espera de outro lance de concretagem.

Com base nos ensaios [1], onde se determinou o comprimento mínimo da costura de solda que resultava na ruptura da emenda por tração, e usando durante a aplicação na obra, um comprimento 1,5 a 2,0 vezes com intuito de cobrir eventuais variações, tem-se utilizado os valores apresentados na figura 5.

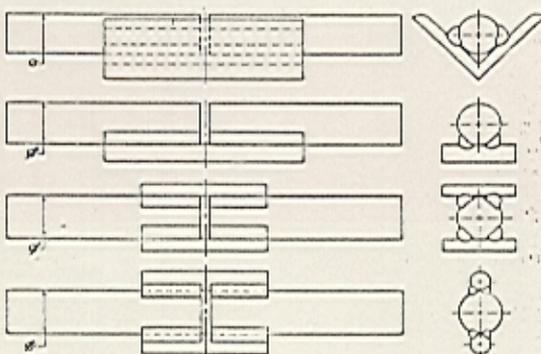


Figura 5:

Derivações da Emenda com Cobremantas e Características Usuais

Categoria	Diâmetro (mm)		Quantidade de Eletrodos*	Tempo (min) Médio para Execução
	Barra	Cobremanta		
CA-24	12,5	12,5	1	-
	16	12,5	2	-
	20	16	2	-
	25	20	4	30
	32	25	4	30
CA-50	12,5	12,5	2	-
	16	12,5	2	-
	20	16	2	-
	25	20	4	30
	32	25	4	35
	40	37	6	55

* Eletrodos de aço com [2] - A.V.S.

A execução de emendas com deposição de eletrodos, normalmente exige cuidados especiais, que podem ser orientados com base no "Carbono Equivalente" = C.E. a partir da composição química do aço. As recomendações [2] incluem procedimentos para pré e pós aquecimento.

Na obra de Ilha Solteira [1], aços com CE \approx 0,55% foram soldados com deposição de metal de eletrodos, empregando um pré-aquecimento ao redor de 200°C.

Outro procedimento que melhora a qualidade da emenda, é o de alívio de tensões, para evitar os repuxos da solda. Esse alívio é feito por um pós aquecimento, ao redor de 650°C, evitando o resfriamento brusco.

As emendas com cobrejunta demandam tempo para sua execução, tendo sido obtidos os tempos médios citados na figura 5.

3.4. Emendas topo a topo com deposição de eletrodo

Com esse tipo de emenda os esforços são transferidos direta e concentricamente (figura 6), através da solda, constituindo uma emenda que é compacta e eficiente. O detalhamento dos chanfros nas barras depende do diâmetro, como mostra a figura 6.

Para esse tipo de emenda são válidas as recomendações citadas em 3.3.

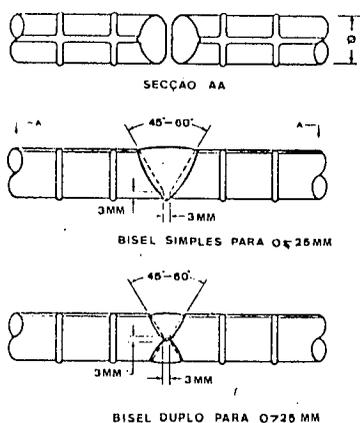


Figura 6:

Características dos Chanfros, para a Preparação das Barras para Emendas de Topo a Topo por Deposição de Eletrodos

3.5. Emendas topo a topo por fusão

Esse tipo de emenda não tem sido usado no Brasil, mas era um processo [3] de emenda, no qual as extremidades eram alinhadas por um sistema de presilhas e na junção das barras se posicionava um molde refratário, vedado, sendo que através de cavidades era colocado pó exotérmico, que por meio de ignição se fundia, proporcionando a emenda.

3.6. Emendas topo a topo com luvas

Esse tipo de emenda tem tido um grande crescimento nos últimos anos [4], tanto em quantidade como na diversificação. Assim é que essas emendas podem ser reclassificadas quanto ao tipo de luva, como pelo material de enchimento.

3.6.1. Luvas prensadas

A emenda é executada pela compressão de um tubo luva, por prensa hidráulica, que se deforma contra as nervuras das barras a serem emendadas, formando dentes.



Figura 7: Execução, na Obra, de Emenda com Luva Prensada

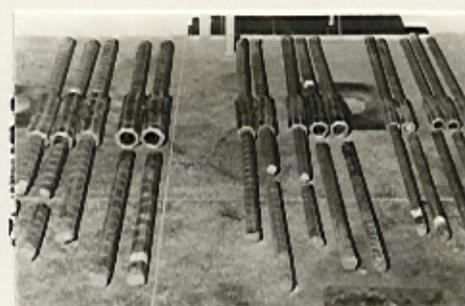


Figura 8: Barras Emendadas com Luvas Prensadas, após Ensaçadas

Esse tipo de emenda permite variações, possibilitando transições rosqueadas (figura 9).

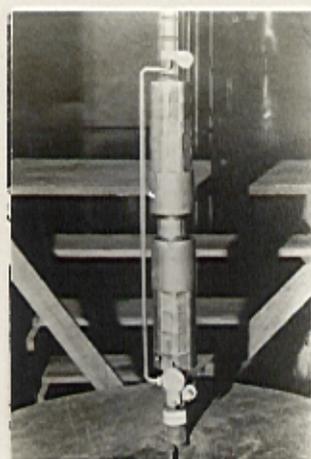


Figura 9:

Instante de Ensaio de Tração com Medida dos Alongamentos, para Obtenção da Curva Tensão-Deformação, de Barra Emendada com Luva Prensada e Transição Rosqueada

3.6.2. Luva preenchida com metal

É um processo mecânico que utiliza a rugosidade das barras a serem emendadas. Para a execução dessa emenda as barras são colocadas topo a topo dentro de uma luva com ranhuras internas. Com um cadinho refratário, funde-se uma mistura metálica, que preenche o vazio entre as nervuras das barras e da luva. Normalmente são utilizadas para barras de grande diâmetro.

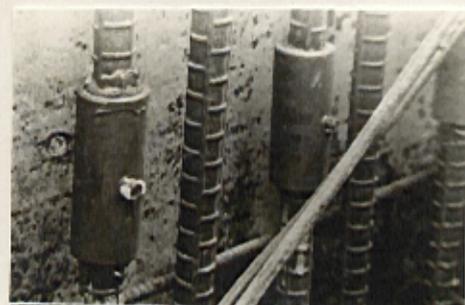


Figura 10:

Emendas com Luvas Preenchidas com Metal, Executadas na Obra

Essas luvas, também possibilitam derivações para aplicações específicas [5].

3.6.3. Luvas preenchidas com argamassa

Consiste na utilização de uma luva [4], com ranhuras internas, na junção das barras, e que é preenchida com argamassa injetável, não retrátil e de alta resistência.

3.6.4. Luvas rosqueadas

Consiste na utilização de luva com roscas internas, em forma cônica, que une barras preparadas em uma máquina, como se mostra na figura 11.

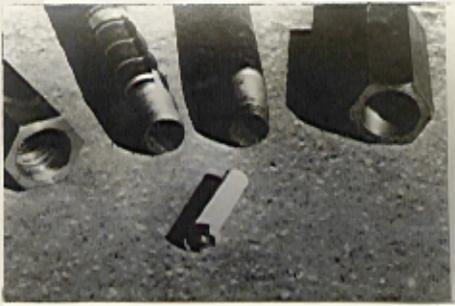


Figura 11:

Barras e Luvas Preparadas para Execução de Emenda com Luvas Rosqueadas.

3.7. Emendas topo a topo por caldeamento por centelhamento

É o processo de emendas de barras de aço para concreto, mais utilizado nas obras hidroelétricas brasileiras, a partir de 1970. Pelo número de amostras ensaiadas (figura 2), nota-se que mais de 70% das emendas é desse tipo.

Nesse processo de emenda, as barras são colocadas topo a topo em cabeçotes móveis de uma máquina. Através da passagem de corrente elétrica forma-se um arco-elétrico que aquece o material, e por um sistema de alavanca (máquina manual) ou de acionamento hidráulico, movem-se os cabeçotes deformando o material (dando origem ao "Bolêto"). Dessa forma é executada a emenda topo a topo por caldeamento por centelhamento. A temperatura atingida, na formação do boletto, por esse processo é de aproximadamente 900°C.

As figuras 12 a 15 ilustram a sequência de execução desse tipo de emenda, pela máquina automática [6].



Figura 12:

Posicionamento de uma Barra no Cabeçote da Máquina (automática)



Figura 13:

Posicionamento da Outra Barra no Cabeçote da Máquina, e Fixação das Duas Extremidades

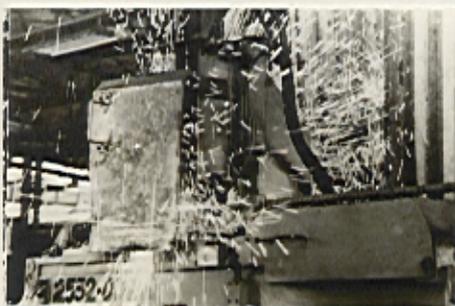


Figura 14:

Execução da Emenda por Caldeamento por Centelhamento

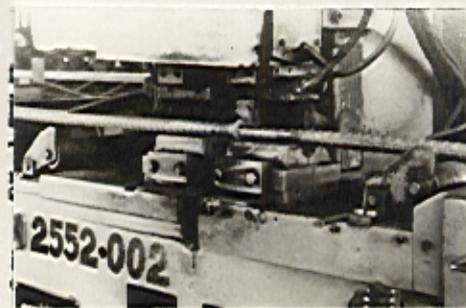


Figura 15: Emenda Executada

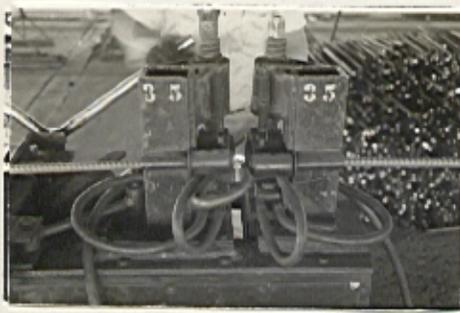


Figura 16: Execução de Emenda por Caldeamento, com Máquina Manual [7]

O intenso uso desse tipo de emenda se justifica pelo fato de não haver necessidade de introduzir um outro material na emenda, utilizando apenas a energia elétrica, a máquina e a mão de obra.

A demanda de energia para a execução dessa emenda é proporcional à área da seção transversal da barra como ilustra a figura 18.

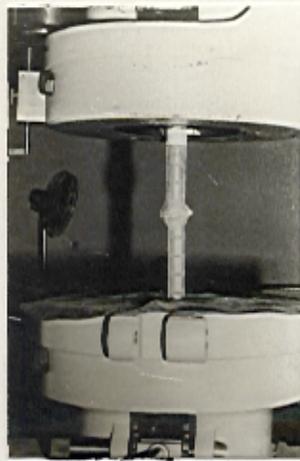


Figura 17:
Execução do Ensaio de Tração Sobre Espécime de Barras Emendadas Topo a Topo por Caldeamento

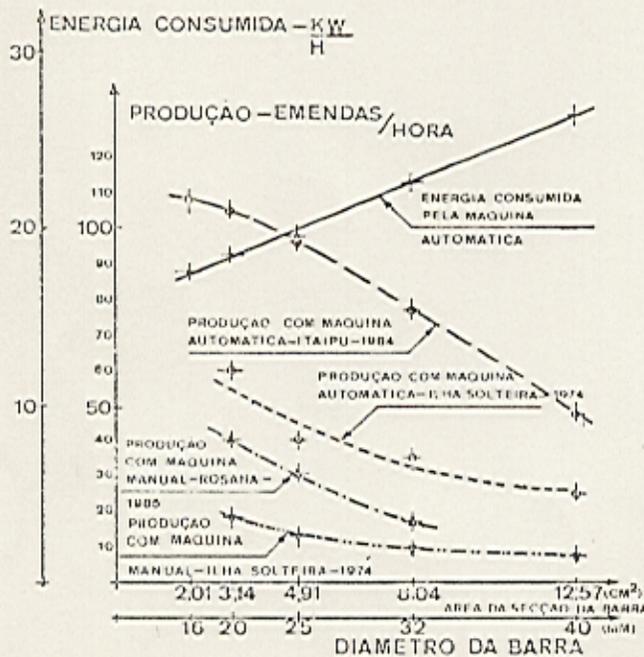


Figura 18:

Energia Consumida e Produção Horária na Execução de Emendas Topo a Topo por Caldeamento

Observa-se pelos valores da figura 18, que houve uma sensível melhoria na produtividade de execução das emendas, quando se compara os dados obtidos:

- Em Itaipu (Dados até 1984) e Ilha Solteira (até 1974), com máquina automática, e
- Em Rosana (Dados até 1985) e Ilha Solteira (até 1974), com máquina manual

Evidencia-se, ainda, a diferença de capacidade de produção das máquinas automáticas para com as máquinas manuais.

Salienta-se que esse tipo de emenda só tem sido executado em bancadas de trabalho, o que permite a redução sensível de perdas e o aproveitamento de pontas.

4. COMENTÁRIOS

Pelas citações do item 3 pode ser observado que as emendas podem ser executadas, basicamente, em duas situações:

- Sobre bancada, no pateo de beneficiamento, quando se utiliza, preponderantemente, a emenda topo a topo por caldeamento
- Na estrutura, quando são utilizados os demais processos.

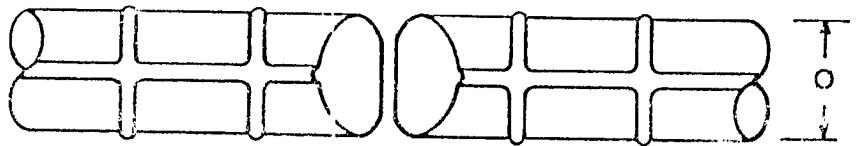
É de se salientar, entretanto, que todos os tipos de emendas ensaiados, representados por mais de 25.000 amostras, proporcionam boa qualidade (resistência mecânica acima do mínimo exigido) e grande uniformidade (baixo coeficiente de variação), sendo que as dispersões diminuíram das obras pioneiras no uso (como referência Ilha Solteira), para as obras mais recentes (Itaipu - Rosana e Porto Primavera).

5. BIBLIOGRAFIA

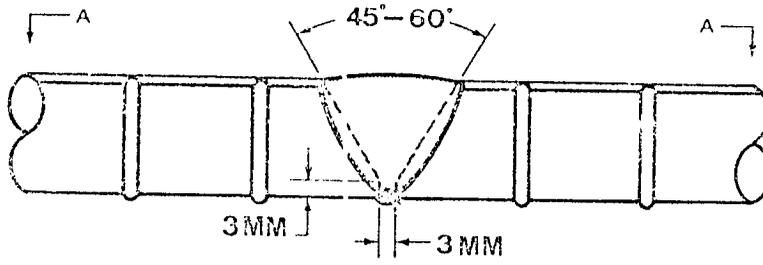
- [1] Andriolo, F.R. - "Emendas de Barras de Aço para Concreto Armado" - CESP - X S.N.G.B. - 1975.
- [2] Structural Welding Code - Reinforcing Steel - A.W.S.
- [3] Thermit Welding Process - Thermex Metallurgical, Inc. Lakehurst - N.J.
- [4] Mechanical Connections of Reinforcing Bars - A.C.I. Committee 439 - Concrete International - January - 1985.
- [5] Emenda Rebar Cadweld para Barras de Aço em Concreto Armado - Erico do Brasil.
- [6] Schlatter - Máquinas de Soldar a Tope por Chisporroteo - Aa - 9/120.
- [7] Ultrasolda - Simoneck - TT-120-MN.

Categoria	Diâmetros (mm)		Quantidade de Eletrodos*	Tempo (min) Médio para Execução
	Barra	Cobrejunta		
CA-24	12,5	12,5	1	-
	16	12,5	2	-
	20	16	2	-
	25	20	4	20
	32	25	4	30
	40	32	6	35
CA-50	12,5	12,5	2	-
	16	12,5	2	-
	20	16	2	-
	25	20	4	20
	32	25	6	35
	40	32	8	40

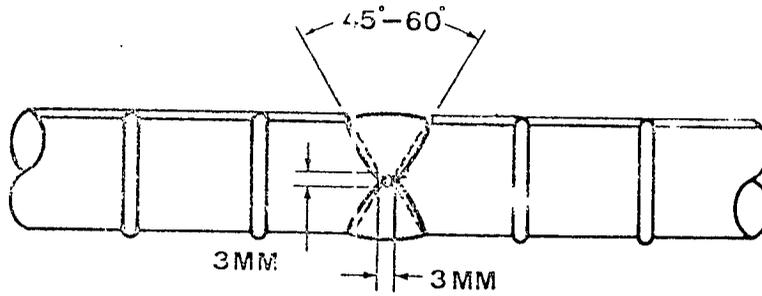
* Eletrodos de acordo com [2] - A.W.S.



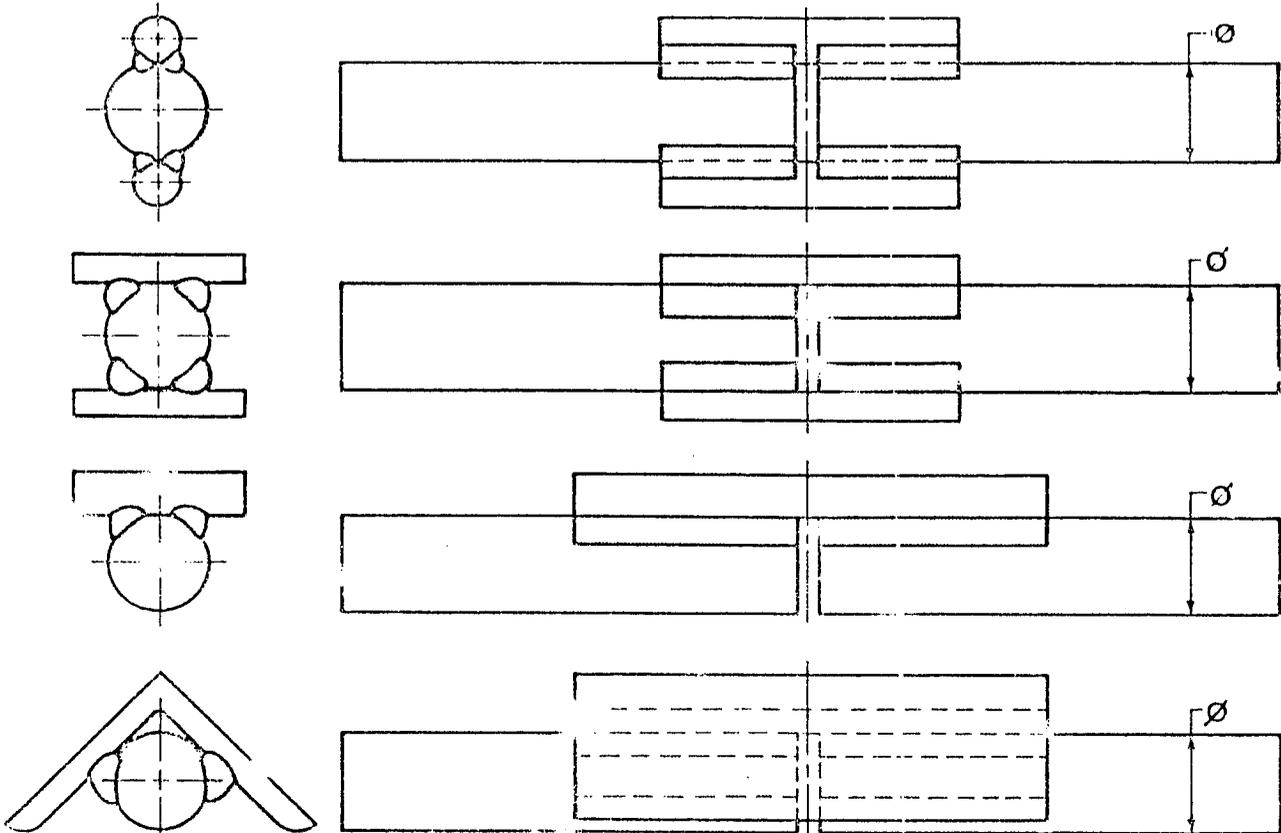
SECCÃO AA



BISEL SIMPLES PARA $O \leq 25\text{MM}$



BISEL DUPLO PARA $O > 25\text{MM}$



Legenda

- SDE = Sobreposição com deposição de eletrodo (ver item 3.2)
 COB = Dupla sobreposição (cobrejunta) (ver item 3.3)
 COC = Dupla sobreposição (com cantoneira) (ver item 3.3)
 TTE = Topo a Topo com deposição de eletrodo (ver item 3.4)
 LUP = Emenda com luva prensada (ver item 3.6.1)
 LUM = Emenda com luva preenchida com metal (ver item 3.6.2)
 LUR = Emenda com luva rosqueada (ver item 3.6.4)
 TTM = Emenda topo a topo por caldeamento - com máquina manual (ver item 3.7)
 TTA = Emenda topo a topo por caldeamento - com máquina automática (ver item 3.7)

- N = Número de espécimes ensaiados
 X = Valor médio obtido (kgf/mm²)
 CV = Coeficiente de variação obtido (%)

Cate- goria	Valores Mínimos Estabelecidos					Valores Obtidos entre 1969 e 1986 para as Barras de Categorias CA-25 e 50A - mais usadas nas Obras de Hidroelétricas					
	Resistência Característica de Escoamento fyk (kgf/mm ²)	Resistência à Ruptura fst(kgf/mm ²)	Alongamento (em base 10 diâmetros)%		fyk kgf/mm ²	C.V. %	fst kgf/mm ²	C.V. %	fst/fyk	Alongamento %	C.V. %
			Aços Tipo A	Aços Tipo B							
CA-25	25,0	1,20 x fyk	18	-	33,4	5,6	49,9	6,3	1,49	25,5	12,1
CA-32	32,0	1,20 x fyk	14	-	-	-	-	-	-	-	-
CA-40	40,0	1,10 x fyk	10	8	-	-	-	-	-	-	-
CA-50	50,0	1,10 x fyk	8	6	55,0	5,7	82,1	5,7	1,49	15,2	15,8
CA-60	60,0	1,05 x fyk	-	5	-	-	-	-	-	-	-

CV = Coeficiente de Variação
 Aços Tipo A - Aços obtidos por processo a quente, e de composição química relativamente alta, apresentando como característica marcante o patamar de escoamento, no diagrama tensão-deformação
 Aços Tipo B - Aços obtidos por deformação a frio, e normalmente de baixa composição química, não apresentando o patamar de escoamento definido, no diagrama tensão deformação

