

## 26º. Encontro Técnico AESABESP

### APRESENTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS APLICADAS NAS OBRAS DO EMPREENHIMENTO SISTEMA PRODUTOR SÃO LOURENÇO NA EXECUÇÃO DA LINHA DE ADUTORA

#### **José Carlos Lima**

Engenheiro, Especialização em Engenharia de Saneamento Básico com MBA em Gerenciamento de Projetos e atuando como Coordenador do Empreendimento Sistema Produtor São Lourenço

#### **Edilson Lima Alves**

Engenheiro Civil, membro da equipe de Coordenação do Sistema Produtor São Lourenço

**Endereço:** Rua Adib Auada, 35 – Jardim Lambreta - Cotia – São Paulo - CEP:06710 - 700 - Brasil Tel: +55 (11) 3388 -6069 - Fax: +55 (11) 3388-6069 - e-mail: joseclima@sabesp.com.br.

#### **RESUMO**

Este Trabalho apresenta as principais tecnologias e metodologias de engenharia empregadas nas obras do Sistema Produtor São Lourenço referentes à fabricação, testes e controles de qualidades no Dutos

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistema Produtor São Lourenço, adutora, técnicas de engenharia

#### **INTRODUÇÃO**

O Sistema Produtor São Lourenço (SPSL) objetiva aumentar a oferta de água tratada para reforço e regularização do abastecimento público de água das regiões oeste e sudoeste da grande São Paulo, bem como, ampliar a flexibilidade operacional e a garantia de disponibilidade hídrica do Sistema Integrado Metropolitano (SIM).

Serão beneficiados diretamente 1,5 milhão de moradores dos municípios de Barueri, Carapicuíba, Cotia, Itapevi, Jandira, Santana de Parnaíba e Vargem Grande Paulista.

O sistema vai captar água na represa Cachoeira do França, em Ibiúna, que é formada pelo rio Juquiá, e percorrerá uma distância de cerca de 83 Km passando pelos pontos de tratamento, reservação e distribuição, entre outros. Para sair da represa e chegar ao tratamento, será necessário o bombeamento da água para superar o desnível de mais de 300 metros da Serra de Paranapiacaba.

Serão construídos: uma estação de tratamento de água, estações elevatórias, 78,3 Km de adutora principal e mais 4,9 Km de adutoras auxiliares, além de reservatórios para armazenar um total de 110 milhões de litros de água.

O sistema terá capacidade nominal de produção de 6.400 litros por segundo, sendo que, num primeiro momento, para atendimento da outorga vigente, a produção será de 4.700 litros por segundo. Portanto trata-se de uma obra de grande envergadura e uma das maiores em andamento no Brasil atualmente na área de saneamento básico.

A obra apresenta característica predominantemente linear, onde a perfeita execução das adutoras e a qualidade dos materiais empregados são fatores primordiais para o sucesso do empreendimento, dando suporte à justificativa para apresentação desse Trabalho Técnico.

## OBJETIVO

Este Trabalho tem o objetivo de apresentar as principais tecnologias e metodologias empregadas nas obras do Sistema Produtor São Lourenço referentes à fabricação, testes e controles de qualidade dos tubos e execução da obraserem empregados nas Adutoras do Sistema.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A apresentação das tecnologias e processos empregados foram feitas baseadas em Instruções Técnicas e Instruções de Trabalho específicas vigentes atualmente no empreendimento, assim como em referências bibliográficas conceituais na qual estão embasadas as tecnologias aplicadas.

## APRESENTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS APLICADAS NAS OBRAS DO EMPREENDIMENTO SISTEMA PRODUTOR SÃO LOURENÇO NA EXECUÇÃO DA LINHA DE ADUTORA

Os tubos empregados no SPSL serão todos em aço carbono e serão fabricados em Sistema Helicoidal com pontas chanfradas para solda fabricados em conformidade com a AWWA C200 e AWWA M11 – “Steel Pipe – A Guide for Design and Installation”. Os tubos serão fornecidos com um comprimento de 7,0 metros, com diâmetros que variam de 800 a 2100 mm, nas quantidades e espessuras descritos na Tabela-1

QUADRO 1 - QUANTIDADES, DIÂMETROS E ESPESSURAS.

TIPO DE AÇO ASTM	DN [mm (pol.)]	ESPESSURA [mm (pol.)]	COMPRIMENTO [m]
API 5LX65	2.100 (84)	15,875 (5/8)	19.000
API 5LX60	2.100 (84)	12,70 (1/2)	2.922
A 1018 – Gr 36	2.100 (84)	11,11 (7/16)	28.423
	1.800 (72)	11,11 (7/16)	10.825
		14,28 (9/16)	11.715
	1.500 (60)	12,70 (1/2)	3.505
	1.200 (48)	12,70 (1/2)	2.360
800 (32)	6,35 (1/4)	4.900	

Tabela 1: Quantitativo de tubos a serem fabricados

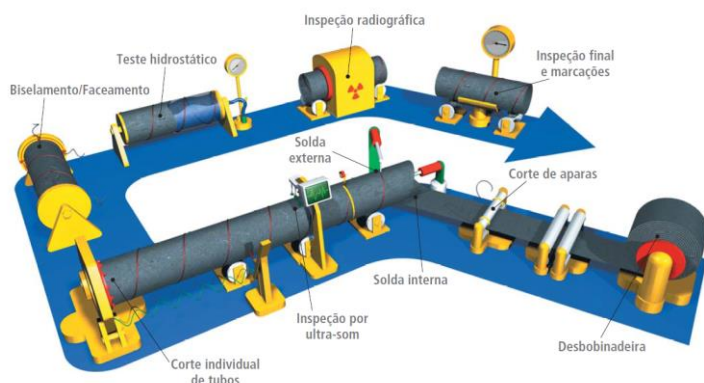
### Processo de Fabricação de Tubos Helicoidais

Originário da Suécia, o sistema helicoidal para fabricação de tubos é utilizado na Europa e Estados Unidos da América há mais de 30 anos. Os tubos com costura helicoidal são conhecidos por sua alta resistência mecânica e custo-benefício em sua aplicação. Fabricados a partir de bobinas de aço, são conformados por meio de uma operação contínua em máquina automática, tornando-os em forma de espiral. O sistema de solda utilizado é o de arco-submerso, aplicados simultaneamente na parte interna e externa do tubo.

Para o Sistema Produtor São Lourenço está sendo empregado o Processo de Fabricação SAW Espiral - Helicoidal Contínua, pela fábrica de Tubos Tenaris- Confab, conforme descrito na Figura 1.

A partir de bobinas laminadas, este processo inclui:

- Formação dos tubos por processo contínuo helicoidal
- Soldagem automática por arco submerso
- Testes hidrostáticos
- Ensaios não-destrutivos
- Ensaios dimensionais
- Ensaios de laboratório

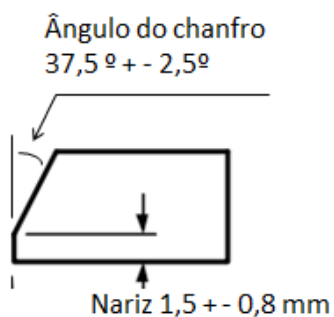


**Figura 1: Processo de fabricação de tubos helicoidais**

**Especificação Técnica dos Tubos**

Os tubos serão fabricados com aços carbono de baixa liga e alta resistência indicados a seguir:

- Aço carbono laminado a quente de Alta Resistência conforme a última edição da norma API 5L X65 - Espessura de 15,875 mm (5/8”), análises e testes indicados nesta norma;
- Aço carbono laminado a quente de Alta Resistência conforme a última edição da norma API 5L X60 - Espessura de 12,700 mm (1/2”), análises e testes indicados nesta norma;
- Aço carbono laminado a quente Estrutural (SS) conforme a edição de outubro de 2.006 da ASTM A1018 – Grau 36 - limites B - Classe 2. Espessuras de 14,29 mm (9/16”), 12,70 mm (1/2”), 11,11 mm (7/16”) e 6,35 mm (1/4”), tolerâncias conforme Specification A 635/A 635 M análises e testes indicados nestas normas.
- A fabricação obedece rigorosamente a NTS 285– Parâmetros dimensionais.
- A ovalização máxima permitida é de 1,0% após a aplicação do revestimento. Sendo que para tubos com diâmetro maior do que 120 vezes a espessura, a medição será realizada após a colocação de cruzetas de madeira. A ovalização é verificada a uma distância de até 100 mm da extremidade.
- O chanfro de todas as extremidades para solda de topo deve obedecer às seguintes dimensões ilustrados na Figura 2:
- Ângulo: ..... 37,5° +/- 2,5°;
- Nariz: ..... 1,5 +/- 0,8mm;



**Figura 2: Dimensões do chanfro das extremidades dos tubos**

## **Acessórios**

Os acessórios estão sendo construídos em fábrica conforme necessidade, a partir dos tubos conforme AWWA C200 e com dimensões conforme AWWA C208. Nos acessórios construídos a partir de tubos retos já aprovados em testes hidrostáticos, somente serão feitos testes para aprovação das soldas. A verificação das soldas é feita por partículas magnéticas e executada conforme ASTM E 709. Os critérios de aceitação são conforme ASME B&PV Code, Section VIII, Division 1, Appendix 6.

## **Normas aplicadas à fabricação dos tubos**

- API – 5LX 65 – Line Pipe;
- API – 5L– X 60 – Line Pipe;
- AWWA C 200 – última revisão – “Steel pipe 6 inchorLarger”;
- AWWA C 208 – ultima revisão – “Standard for Dimensions for Fabricated Steel Water Piping Fittings”;
- AWWA C-210 – “Liquid-Epoxi Coating for the Interior and Exterior of Steel Pipelines”;
- AWWA C-213 – “Fusion-Bonded Epoxi Coating for the Interior and Exterior of Steel Water Pipelines”;
- AWWA C-215 – “Extruded Polyolefin Coating for the Exterior of Steel Water Pipelines”;
- AWWA C-222 - Polyurethane Coatings for the Interior and Exterior of Steel Water Pipe and Fittings
- Norma Técnica Sabesp NTS 285

## **Manuseio, transporte e embarque.**

No transporte e armazenamento dos tubos, eles são apoiados de forma a manter uma variação da circunferência entre + - 1%. Os tubos são embarcados em montagem sobreposta, amarrados com cintas de nylon.

O manuseio é feito com dispositivos que não danifiquem o revestimento. De qualquer forma cabos de aço sem proteção não são autorizados.

Antes do embarque os tubos são inspecionados para verificação do revestimento. Qualquer dano no revestimento é reparado de acordo com a norma adotada para aplicação, antes do embarque.

Todos os tubos estão sendo fornecidos com cruzetas em ambas as extremidades, de modo a minimizar a ovalização no transporte.

## **Inspeção**

Por ser tratar de material classe A, o fornecimento de todos segue a Diretriz Normativa de Qualificação de Materiais e Equipamentos da Sabesp, que determina o acompanhamento em Fábrica. Estão locados atualmente inspetores qualificados, durante todos os turnos de fabricação.

Antes do embarque os tubos são inspecionados para verificação da limpeza, desvio circunferencial, espessura e adesão dos revestimentos comparando os resultados com os especificados nos planos e esquemas aprovados. Qualquer produto com defeito/s é reparado ou substituído conforme diretiva específica.

## **Testes**

### **Aço carbono**

Serão apresentados os Atestados das Corridas, conforme indicado no manual AWWA M-11, capítulo 2, como “Laddle Analysis”, para aço carbono Grau 65 a ser empregado em trechos de maior pressão deverá ser feita análises de verificação, conforme definido no capítulo 2 do manual AWWA M-11 como “Check Analysis”.

São efetuados testes das propriedades físicas em conformidade com a norma ASTM A-370 – “Test Methods and Definitions for mechanical Testing of Steel Products”.

Os resultados obtidos são fornecidos em Atestados de Testes.

## **Tubos e acessórios**

Os tubos são testados de acordo com a Norma Técnica Sabesp NTS 285. Após confeccionados e durante o processo de fabricação, os testes serão os descritos a seguir.

Na linha de produção, em todos os tubos, a matéria prima será submetida a testes de Ultra-Som com registro contínuo. Os tubos formados são submetidos a teste hidrostático na pressão definida pela Equação 1.

Os tubos que forem aprovados nos testes terão as soldas submetidos a teste de Raio-X, Fluoroscópico ou Ultra-Som, cobrindo uma distância de 200 mm a contar das extremidades e ao longo do cordão de solda de emenda de bobinas. Os reparos são manuais e executados por soldadores qualificados. Nos tubos aprovados são extraídos corpos de prova para testes mecânicos.

$$Ph = \frac{1,3 * T * e}{d}$$

### **Equação 1: Determinação da pressão do teste hidrostático**

Sendo:

Ph = pressão hidrostática mínima;

T = tensão de escoamento do aço empregado;

e = espessura da chapa;

d = Diâmetro externo do tubo;

## **Garantia da qualidade**

O Fornecedor possui documentado e implantado um sistema de garantia da Qualidade. Como mínimo terá padrões escritos para garantir um adequado controle da matéria prima, fabricação, testes de modo a garantir o atendimento das especificações. Este sistema inclui, mas não se limitará a controle de materiais, partes e componentes, plano de inspeção das operações de fabricação, esquemas de pintura, controle de documentos, controle de processos especiais e procedimentos para testes finais e inspeções.

## **REVESTIMENTOS**

Todos os tubos estão sendo revestidos em Fábrica com pintura em Poliuretano com 700 µm de espessura na superfície externa e 500 µm na parte interna. O poliuretano empregado no revestimento foi previamente aprovado pela SABESP. As pontas chanfradas para solda são protegidas contra ferrugem. O recobrimento destas extremidades é feito no campo após a solda e antes do lançamento na vala, sendo seguido o esquema de pintura aprovado. De acordo com AWWA C222.

### **Normas de referência para revestimentos**

Estão sendo obedecidas as versões mais atuais das seguintes normas:

- ABNT NBR 10443 – última revisão – “Tintas e vernizes - Determinação da espessura da película seca sobre superfícies rugosas - Método de ensaio”;
- ABNT NBR 15877 – última revisão – “Pintura industrial — Ensaio de aderência por tração”;
- ASTM D4417 – última revisão – “Standard Test Methods for Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel”;
- AWWA C222 – última revisão – “Polyurethane Coatings for the Interior and Exterior of Steel Water Pipe and Fittings”;
- DIN 30671 – última revisão – “Thermoset plastic coatings for buried steel pipes”
- NACE SP 0188 – última revisão – “Discontinuity (Holiday) Testing of New Protective Coatings on Conductive Substrates”;
- NTS 036 – última revisão – “Qualificação de produtos e materiais para revestimento”;
- SIS 05590 – última revisão – “Surface Preparation”;

### **Especificações Técnicas do revestimento**

O revestimento empregado tanto na extensão dos tubos quanto nas juntas soldadas em campo é o poliuretano, com espessuras de no mínimo 700 µm na superfície externa e mínimo 500 µm na superfície interna do tubo, possuindo as seguintes características:

- cura química, bi-componente, isento de solventes, ou seja, 100% composta de sólidos, cor bege claro - podendo eventualmente escurecer após aplicação;
- isento de produção de gases tóxicos durante a aplicação ou cura;
- isento de materiais pesados, alcatrão ou amianto;
- tempo de liberação após aplicação de no máximo 4 horas;
- atende a Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde;
- aprovado pela SABESP de acordo com a NTS 036;

### **Inspeção dos revestimentos**

Tanto para o revestimento aplicado na extensão dos tubos em fábrica, quanto para o aplicado nas juntas soldadas em campo, a verificação da qualidade é feita por:

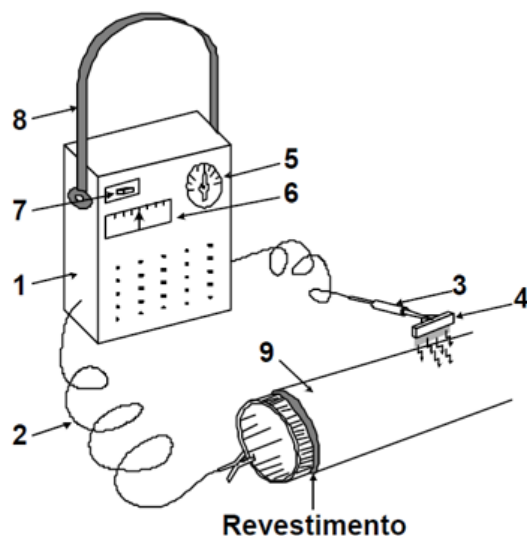
- Aparência - após aplicação a aparência da superfície revestida será lisa, brilhante, monolítica, sem bolhas ou sinais de escorrimentos;
- Medição de espessura, de acordo com versão mais atual da norma ABNT NBR 10443;
- Teste eletrônico de alta voltagem (Holiday), de acordo com a versão mais atual da norma NACE SP 0188;
- Teste de aderência, de acordo com a versão mais atual da norma ABNT NBR 15877.
- Teste de impacto de acordo com a norma DIN 30671 com resultado mínimo de 15 J e frequência de 1 tubo por turno no revestimento externo.

Qualquer defeito detectado nas verificações acima serão reparados conforme instruções descritas pelo fabricante da resina e de acordo com a AWWA C-222.

### **Inspeção do Revestimento por Holiday Detector**

O Holiday Detector é basicamente um aparelho gerador de alta tensão, regulável em função do tipo e espessura do revestimento, capaz de detectar falhas do mesmo, conforme ilustrado na Figura 3.

A inspeção é feita percorrendo-se vagarosamente toda a superfície revestida com o apalpador (aproximadamente 5m/min). Os defeitos serão detectados pela formação de arco voltaico na ponta do apalpador, associado a um sinal sonoro emitido pelo aparelho. O ponto ou área defeituosa deve ser imediatamente delimitada por meio de lápis de cera ou outro método que não danifique o revestimento e o reparo deve ser executado imediatamente. Em revestimento com coal tal enamel de juntas de tubo executados no campo, salvo em caso de total impossibilidade, inspecionar a primeira camada externa de coal tar, antes da aplicação de lã de vidro e linter de celulose. Após a execução do reparo dos defeitos encontrados é obrigatória uma nova inspeção com Holiday Detector, sob as mesmas condições de calibração inicial, que comprove a qualidade dos serviços executados e possibilite a liberação das demais etapas da obra.



- 1 – Gerador de alta tensão / baixa corrente.
- 2 – Cabo terra conectado ao metal.
- 3 – Ponta de prova.
- 4 – Apalpador.
- 5 – Chave seletora de tensão.
- 6 – Indicador de carga da bateria.
- 7 – Chave liga / desliga.
- 8 – Alça para carregar a tira-colo.
- 9 – Tubo sob teste.

**Figura 3: Holiday Detector – Esquemático**

### Inspeção de revestimento pelo método “pull-off”.

Os revestimentos de poliuretano aplicados em campo também estão sendo inspecionados por teste de aderência “pull-off”.

O método pull-off é um dos possíveis testes, e um dos mais utilizados, para medir a aderência de revestimentos orgânicos. O método consiste em colar um pino metálico à superfície do revestimento e aplicar uma força trativa para arrancá-lo. Para que seja aprovado, o revestimento deverá resistir a uma força de tração mínima de 1500 psi. O resultado do teste se dá em função da força aplicada e do tipo de falha que se observa, podendo ser de dois tipos: falha coesiva e falha adesiva, conforme ilustrado na figura 4-B. Uma das normas que descreve procedimentos para realização do teste é a Norma ASTM D 4541 [1], existindo textos equivalentes publicados por outros órgãos normativos, por exemplo, ABNT e BS. A Figura 4, ilustra o equipamento utilizado neste ensaio.



**Figura 4: Dispositivos utilizados no método pull-off para teste de aderência de revestimentos**

O método pull-off é menos subjetivo do que os métodos da fita adesiva que envolvem riscar o revestimento (Norma ASTM D 3359 [2]). Sua utilização vem sendo ampliada inclusive em medidas de campo. Alguns fatores que não estão contemplados em norma podem ser melhor observados, tais como: preparação da superfície e limpeza dos pinos; força adesiva da cola utilizada e preparação da superfície do revestimento na região onde será colado o pino. O primeiro aspecto, tratamento superficial do pino, deve considerar que se a superfície do pino tiver uma rugosidade pequena, sua aderência à cola também ficará prejudicada e com forças trativas muito baixas já ocorre o arrancamento do pino com falha na interface pino/cola. O segundo aspecto está relacionado com a força adesiva da cola utilizada para prender o pino no revestimento. Se essa força for inferior à força de aderência do revestimento no metal, as falhas ocorrerão na interface pino/cola ou cola/revestimento e a aderência do revestimento ao metal não será quantificada. O terceiro aspecto é o tratamento superficial do revestimento na área de fixação do pino. Existem revestimentos com superfície

irregular e revestimentos com superfície quase vitrificada. No primeiro caso, superfície irregular, não existe garantia de distribuição homogênea da carga de tração aplicada ao pino. No segundo caso, superfície vitrificada, a fixação do pino é muito fraca porque a cola não adere bem ao revestimento liso. Portanto são fatores importantes que devem ser observados quando o teste for realizado.

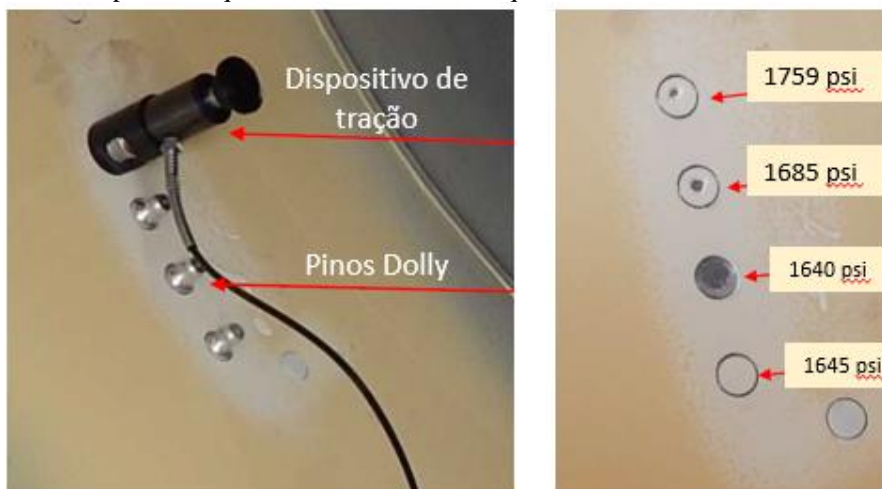


Figura 4-b: Dispositivos instalados e superfície do revestimento após o teste

#### Cuidados especiais na aplicação de revestimentos

- A superfície do aço preparada para aplicação do revestimento não deverá estar molhada ou mesmo úmida nem apresentar “flash rust”.
- A área de trabalho deverá ter iluminação adequada, sem apresentar pontos “mortos”.
- Os aplicadores deverão receber instruções sobre o trabalho a ser executado. Os EPI requeridos serão aqueles indicados nas Fichas Técnicas do Produto aplicado e no manual do sistema Airless Spray, sempre lembrando que a pressão de aplicação é alta.

#### Quantidades

O revestimento de poliuretano está sendo fornecido nas quantidades aproximadas descritas na Tabela 2

Características das Tubulações				Quantidades de Revestimento	
TIPO DE AÇO	Ø E [mm (pol.)]	ESPESSURA [mm (pol.)]	COMPRIMENTO [m]	Revestimento interno [m²]	Revestimento externo [m²]
API 5L PSL1 X65	2.133,6 (84)	15,875 (5/8)	19.000	127.355	129.250
API 5L PSL1 X60	2.133,6 (84)	12,70 (1/2)	2.922	19.586	19.819
ASTM A 1018 – Gr 36	2.133,6 (84)	11,11 (7/16)	28.423	190.517	192.501
	1.828,8(72)	11,11 (7/16)	10.825	62.193	62.949
		14,28 (9/16)	11.715	67.307	68.358
	1.524 (60)	12,70 (1/2)	3.505	16.781	17.061
	1.219,2 (48)	12,70 (1/2)	2.360	9.039	9.228
812,3 (32)	6,35 (1/4)	4.900	12.309	12.504	
<b>Total [m²]</b>				<b>505.087</b>	<b>511.670</b>
<b>Espessura [µm]</b>				<b>500</b>	<b>700</b>

Tabela 2: Quantidade de revestimentos a serem empregados nos tubos

#### NORMAS E QUALIFICAÇÃO EM SOLDAGEM

Todos os Procedimentos de soldagem, bem como os consumíveis de soldagem utilizados no empreendimento, são qualificados através de NTS específica. Os soldadores são previamente aprovados nos processos de qualificação, no quais recebem o Certificado de Qualificação de Soldador, emitidos pelo Departamento de Qualificação e Inspeção de Materiais da Sabesp – CSQ.



## Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS)

É um documento no qual os valores permitidos de diversas variáveis do processo de soldagem estão registrados para serem adotados, pelo soldador ou operador de soldagem, durante a fabricação de uma dada junta soldada, Figura 5.

Foram aprovadas e estão sendo aplicadas no empreendimento atualmente um total de 5 EPS, para os seguintes processos de soldagem:

Semi-automáticos: FCAW, GMAW

Manual: GTAW e SMAW

CCSL		PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (EPS)		N.º
				CCSL 01
				Data:
				10/09/14
Executante: Consórcio Construtor São Lourenço				
Obra: Projeto São Lourenço				
N.º Registro:	CCSL-01	Data:	10/09/2014	Obs.:
<b>CONDIÇÕES GERAIS</b>				
Processo:	GMAW / FCAW-S			
Tipo:	SEMI-AUTOMÁTICO			
Metal Base:	API SL. G. B - P. NUMBER 1 GRUPO 1			
Ø Tubo:	TODOS			
N.º Passes:	6 a 6 passas			
Espessura:	5,0 a 20,0 mm			
Posição de Soldagem:	TODAS			
<b>CONSUMÍVEL</b>				
Classificação:	AWS A5.18 / AWS A5.29		AWS: E 70C-8M14 / E 71T8 - NI 1JH8	
Nome Comercial:	HOBART - FABCOR EDGE / FASHIELD 61N1		Qualificação N.º 01 e 02	
Ø Arame:	1,2 mm / 2,0 mm		Marca do Fluxo: NA	
Gás de Proteção:	RAZ: ARGÔNIO + CO <sub>2</sub> / ENCH e ACAB: NA		Composição: 75% + 25%	
Pré-Aquecimento:	NA		Velocidade de Soldagem: >= 12,3 cm/min	
Corrente:	( ) CA ( X ) CC	Tensão: 16 a 25 V	Polaridade: ( X ) Direta ( ) Inversa	FCAW GMAW
Carreta	Tipo Eletrodo	Ø Tipo Eletrodo ( mm )	Corrente ( A )	
1	E 70C-8M	1,2	90 a 130	
2	E 71T8 - NI1JH8	2,0	150 a 190	
3	E 71T8 - NI1JH8	2,0	150 a 190	
4	E 71T8 - NI1JH8	2,0	150 a 190	
5 e 6	E 71T8 - NI1JH8	2,0	115 a 170	
<b>CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS</b>				
N.º de Soldador por Junta:	1 ou 2 Soldadores			
Progressão de Solda:	Descendente			
Tipo de alinhamento:	Espaçador			
Equipamento de Solda:	Fonte Inversora cc / cv			
Método de Limpeza:	Escova Relativa			
<b>OBSERVAÇÕES / DISPOSIÇÃO</b>				
PROCESSO GMAW - CURTO-CIRCUITO / FCAW - SPRAY/LOBULAR				
TIPO DE PROCESSO: SEMI - AUTOMÁTICO				
POLARIDADE: RAZ CC+ / ENCHIMENTO E ACABAMENTO CC-				
ESPESURA DE METAL DEPOSITADO POR PROCESSO: GMAW: <= 7,37 mm / FCAW: <= 12,0 mm				
NORMAS DE QUALIFICAÇÃO: SABESP NTS 034 ED. 1999 / ASME IX ED. 2013				
Inspeção de Soldagem N.º	Controle da Qualidade CCSL	Fiscalização Soldagem		
Aidecir Mastroianni	Fernando E. Da Ros	RUBSON MENEGATELLI CAMPOS		
Inspeção de Soldagem	Controle da Qualidade	DEP. QUAL. INSP.		
EV - 113-5912	Cons. Const. São Lourenço	11/01/14		

Figura 5: Especificação de procedimento de soldagem-EPS

Durante a fabricação e nas soldas de campo, os valores indicados nas EPS deverão ser seguidos. Inspeções periódicas são realizadas para verificar que o mesmo está ocorrendo.

## Qualificação de consumíveis

Todos os consumíveis empregados nos processos de soldagem também foram submetidos a processos de qualificação e estão em conformidade com os padrões de qualidade exigíveis pelo empreendimento.

## Qualificação de Soldadores do Empreendimento

Todos os profissionais soldadores que atuam na obra foram aprovados no Processo de Qualificação, descritos abaixo:

### Procedimento

A soldagem é realizada obedecendo-se aos procedimentos da NTS 34, e os corpos de prova são submetidos à inspeções visuais, radiografia e a ensaios mecânicos de dobramento.

Os corpos de prova são preparados em dois segmentos de tubos do mesmo material previsto no procedimento de soldagem com diâmetro mínimo de 150 mm e espessura de 11,1mm com 150 mm de comprimento cada,

executando chanfro em uma das bordas de cada segmento nas dimensões previstas no procedimento de soldagem EPS 01. Em seguida são posicionados para a soldagem, mantendo o espaçamento previsto no procedimento da EPS 01, não sendo permitido o ponteamento da junta.

Os segmentos de tubos são montados de forma a manter o tubo distante, no mínimo, 1,0m do solo. Foi adotada para os testes a posição 6G, conforme ilustrado na Figura 6.



**Figura 6:** Segmentos de tubos preparados conforme EPS e montados na posição 6G

### **Execução das Soldagens dos corpos de prova**

As soldas são executadas dentro das condições indicadas no procedimento de soldagem (posição, eletrodo, tensão e corrente) conforme EPS.

Na realização do procedimento, não é permitida a execução do passe de selagem.

Após executada a soldagem, são feitas inspeções visuais na região das juntas. Os Corpos de prova aprovados nessa primeira inspeção são encaminhados para ensaios de radiografia.

Os corpos de prova aprovados no Ensaio Radiográfico são submetidos aos Ensaios Mecânicos de Dobramento.

### **CrITÉRIOS de Aceitação das Soldagens**

Foram adotados os critérios da NTS 34 descritos abaixo:

#### a) Aspecto

O cordão de solda deve ter aspecto e dimensões uniformes em toda sua extensão e não pode apresentar salpicos excessivos, trincas ou crateras.

#### b) Mordeduras

O comprimento não pode exceder o menor valor entre 0,8mm e 12,5% de t em 4t de solda, com entalhe máximo de 0,8mm (t= espessura da chapa).

#### c) Concavidade

A concavidade da raiz ou da face não pode provocar na junta uma redução de espessura abaixo da do menor dos componentes soldados.

#### d) Reforço excessivo ou excesso de penetração

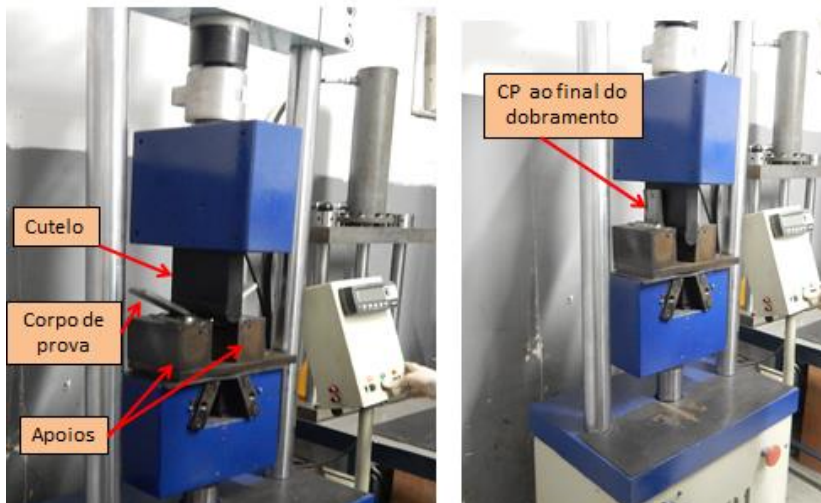
O reforço externo e a saliência interna da solda devem ser bem fundidos, com boa concordância com a chapa do metal base e não podem exceder os valores descritos na tabela 3.

Espessura do material (mm)	Reforço ou saliência (máximo) (mm)
1,6 à 2,4	0,8
2,4 à 4,8	1,6
4,8 à 25,0	2,4
25,0 à 57,0	3,2

**Tabela 3: Limites máximo para reforços ou saliência**

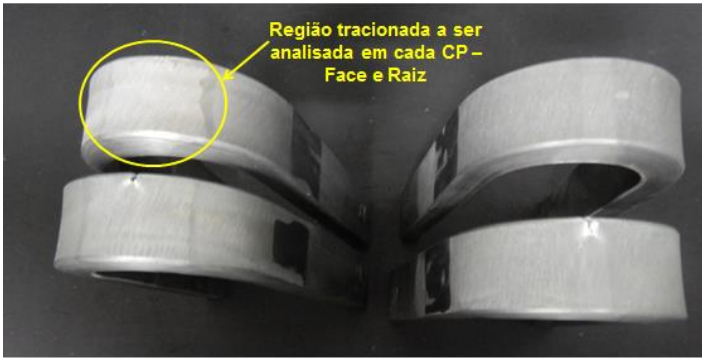
### Ensaio Mecânico de Dobramento

O Ensaio Mecânico de Dobramento consiste em submeter um corpo de prova a uma deformação plástica por flexão. O corpo de prova, assentado sobre dois apoios afastados a uma distância especificada, é dobrado por intermédio de um cutelo, que aplica um esforço de flexão no centro do corpo, até que seja atingido o ângulo de dobramento especificado, conforme a Figura 7:



**Figura 7: Corpo de prova montado na prensa, sendo submetido ao dobramento**

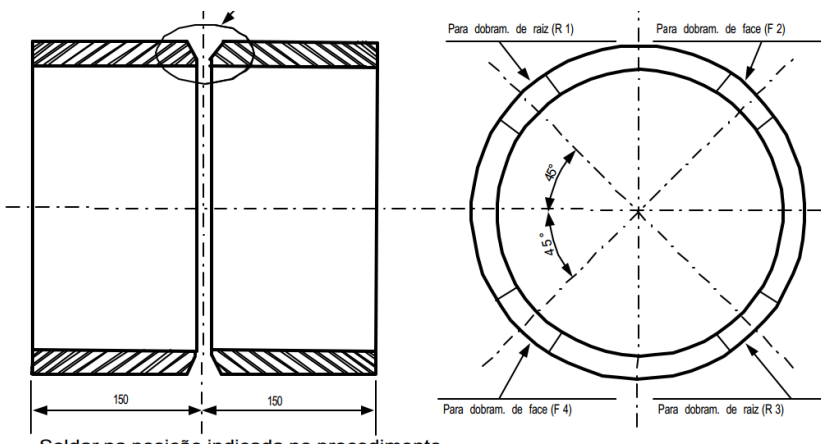
Após executado o dobramento do corpo de prova, é feita análise visual na região tracionada, Figura 8. Foram ensaiados corpos de prova para teste de dobramento de face e dobramento de raiz das soldas. Os parâmetros do ensaio, tais como dimensões do corpo de prova, distância dos apoios, diâmetro do cutelo, ângulo de dobramento e os critérios de aceitação são baseados na NTS 34 e no Código ASME Seção IX.



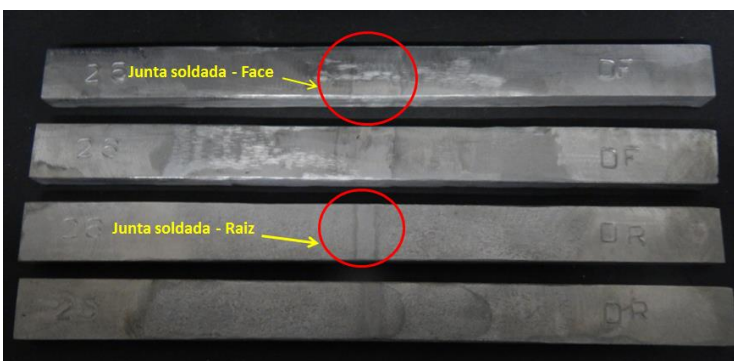
**Figura 8: Corpos de prova , após execução do dobramento.**

### Corpos de prova para o Ensaio de Dobramento

Os corpos de prova foram aprovados previamente em inspeção visual e nos testes radiográficos, sendo então preparados de acordo com a NTS 34, e retirados das seções conforme indicado na figura 9 e na figura 10.



**Figura 9: Seções de onde são retirados os corpos de prova , NTS 34.**



**Figura 10: Corpos de prova usinados e identificados conforme NTS 34.**

### **Critérios de aceitação para ensaio de dobramento**

Para analisar o resultado do ensaio, examina-se a olho nu a zona tracionada do corpo de prova, Figura 11.

Para ser considerado aprovado, o corpo de prova não deverá conter trincas ou discontinuidades acima do valor especificado na NTS 34. Para satisfazer o ensaio de dobramento não deve ser observadas, em nenhuma seção, trincas ou falhas medindo mais que 3 mm em qualquer direção na superfície convexa.



**Figura 11 – Corpos de prova prontos para análise visual**

Não são, contudo, consideradas as trincas que eventualmente ocorram junto às bordas, desde que não ultrapassem 6mm e existe evidência de que foram provocadas por inclusão de escória ou por outros defeitos internos do material. Para as seções que apresentam falhas com dimensões acima do permitido, o soldador é considerado reprovado, Figura 12.



**Figura 12 – Exemplo de Corpos de prova reprovados após inspeção visual.**

Os resultados da avaliação de cada soldador são preenchidos em uma ficha específica denominada “Registro de Acompanhamento de Teste de Soldador”.

## **PROCESSOS DE SOLDAGEM**

Todas as soldas das tubulações afim de se garantir maior qualidade e produtividade na execução serão realizadas por processos de soldagem semi automáticos.

Foram adotados e aprovados através de EPS específicas os seguintes processos de Soldagens para as obras do Sistema Produtor São Lourenço: Processo GMAW; FCAW; GTAW.

Sendo que GMAW / FCAW são processos semi-automáticos utilizados para executar o enchimento e a raiz das juntas, enquanto GTAW / SMAW são processos manuais, utilizados principalmente nos reparos das juntas soldadas.

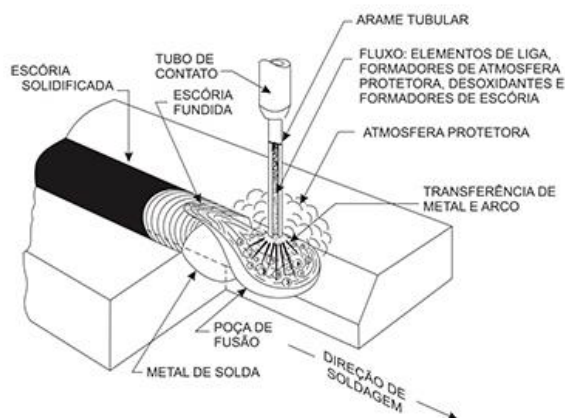
### **Descrição dos processos de soldagem**

#### **Processo FCAW - processo de soldagem com arame tubular**

A soldagem a arco elétrico com arames tubulares FCAW (Flux-cored arc welding), é um processo que promove a união de metais pelo aquecimento destes através de um arco elétrico estabelecido entre a ponta do

arame e a peça de trabalho. A proteção da poça de fusão e do arco elétrico pode ser feita pelo fluxo contido no interior do arame (no caso de arames tubulares autoprottegidos) ou por uma fonte gasosa externa. Esta proteção gasosa é realizada na maioria das vezes utilizando 100% CO<sub>2</sub> como gás de proteção.

Arares tubulares autoprottegidos não necessitam de proteção gasosa externa, uma vez que o próprio fluxo contido no interior do arame possui elementos capazes de gerar os gases para proteção da poça de fusão e do arco elétrico. Figura 13



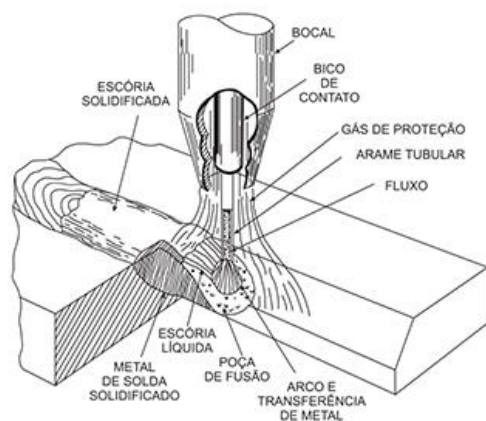
**Figura 13: Processo de soldagem com arame auto protegido – FCAW**

### Processo GMAW (MIG / MAG)

Consiste de um processo de alimentação constante de um arame consumível (polaridade +), que é direcionado a uma peça metálica (polaridade -), sob uma atmosfera de proteção gasosa.

Quando o arame consumível entra em contato com o metal de base, temos o fechamento do circuito e a circulação de corrente elétrica entre o pólo positivo e o negativo, os metais são aquecidos até a temperatura de fusão e o resultado é a chamada “poça de fusão” que efetua a coalescência dos metais ali presentes. Parte desta poça de fusão é composta pelo arame consumível ou metal de adição, e parte é composta pelo resultado da fusão entre o arame e o metal de base, o que é chamado de diluição. Após o resfriamento desta poça de fusão temos a união entre estes metais, Figura 14.

Trata-se de um processo muito flexível que proporciona soldagens de qualidade com grande produtividade, principalmente quando comparado com processos manuais como eletrodos revestidos. O processo ficou caracterizado no mercado como MIG/MAG, ou seja, MIG (metal inert gas), quando o gás de proteção utilizado para proteção da poça de fusão é inerte, ou MAG (metal active gas), quando o gás de proteção da poça de fusão é ativo.



**Figura 14 – Processo de soldagem GMAW (MIG/MAG)**

### Processo de soldagem GTAW – (TIG)

O processo de soldagem TIG ou Gas Tungsten Arc Welding ( GTAW ), como é mais conhecido atualmente, é um processo de soldagem a arco elétrico que utiliza um arco entre um eletrodo não consumível de tungstênio e a poça de soldagem. Conforme pode-se notar pela Figura 15 , a poça de soldagem, o eletrodo e parte do cordão são protegidos através do gás de proteção que é soprado pelo bocal da tocha.

O GTAW funciona através do eletrodo de tungstênio ( ou liga de tungstênio ) preso a uma tocha. Por essa mesma tocha é alimentado o gás que irá proteger a soldagem contra a contaminação da atmosfera. O arco elétrico é criado pela passagem de corrente elétrica pelo gás de proteção ionizado, estabelecendo-se o arco entre a ponta do eletrodo e a peça. Em termos básicos, os componentes do GTAW são : Tocha; eletrodo; fonte de potência e gás de proteção.

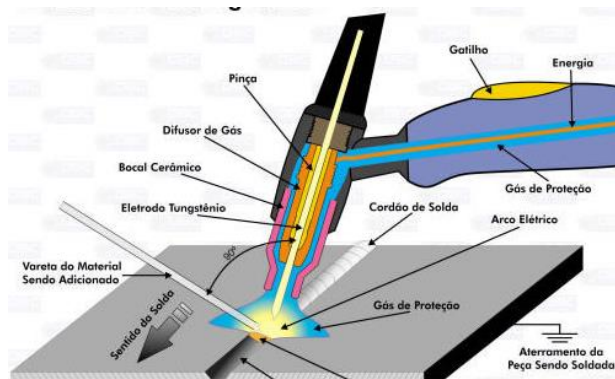


Figura 15 – Processo de Soldagem GTAW ( TIG)  
Processo de soldagem SMAW

A soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido (Shielded Metal Arc Welding – SMAW), também é conhecida como soldagem manual a arco elétrico (Manual Metal Arc – MMA). É realizada com o calor de um arco elétrico mantido entre duas partes metálicas, a extremidade de um eletrodo metálico revestido e a peça de trabalho/metal base. O calor produzido pelo arco elétrico é suficiente para fundir o metal de base, a alma do eletrodo e o revestimento. Quando as gotas de metal fundido são transferidas através do arco para a poça de fusão, são protegidas da atmosfera pelos gases produzidos durante a decomposição do revestimento. A escória líquida flutua em direção à superfície da poça de fusão, onde protege o metal de solda da atmosfera durante a solidificação, Figura 16.

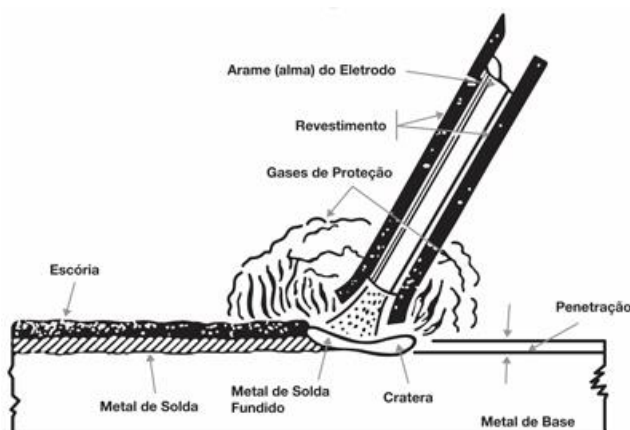


Figura 16: Processo de soldagem SMAW – Eletrodo revestido

### INSPEÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS

Todas as juntas soldadas das tubulações serão inspecionadas através de Ultrassom automático , ou Ultrassom convencional, quando este primeiro não for possível. As juntas só são liberadas para o revestimento, após

emissão do laudo específico de aprovação do ensaio. Para as demais soldas das instalações, como por exemplo nas soldagens de flanges, serão utilizados também Inspeção por Líquido Penetrante.

## **Descrição das tecnologias de inspeção por ultrassom aplicadas no Empreendimento.**

### **Ultrassom automático Phased Array**

A tecnologia de Ultrassom Phased Array vem sendo utilizada desde muitos anos na área médica. A técnica de Phased Array tem a capacidade de modificar as características acústicas de uma sonda ultrassônica e isso é feito controlando eletronicamente a emissão e recepção dos sinais em cada elemento transdutor de uma sonda com múltiplos transdutores. Os transdutores de ultrassom convencional apresentam apenas um cristal piezoelétrico enquanto que os transdutores Phased Array apresentam um arranjo de cristais que podem ser excitados individualmente, Figura 17. Da possibilidade de excitação individual dos cristais em tempos diferentes e controlados surge a característica de permitir a inspeção com uma grande variedade de ângulos de inspeção (sweeping).

As vantagens da tecnologia de Phased Array em relação ao UT convencional são provenientes da sua capacidade de usar vários elementos para direcionar, focar e analisar feixes com um único conjunto de transdutor. A direção do feixe, comumente referida como análise setorial, pode ser utilizada para mapeamento de componentes com ângulos apropriados. Isto pode simplificar muito a inspeção de componentes com geometrias complexas. A pequena superfície do transdutor e o recurso de varrer o feixe sem a necessidade de se mover a sonda também auxilia na inspeção de tais componentes em situações onde o acesso para verificação mecânica é limitado. O rastreamento setorial também é usado para inspecionar solda. O recurso de testar soldas em vários ângulos com apenas uma sonda aumenta muito a probabilidade de detecção de anomalias. O foco eletrônico permite otimizar o tamanho e a forma do feixe no local esperado do defeito, assim como um aumento na probabilidade de detecção. A capacidade de focar várias profundidades também melhora a capacidade de dimensionamento de defeitos críticos em inspeções volumétricas



**Figura 17 – Ultrassom Convencional e Ultrassom Phased Array**

O Ultrassom Automático Phased Array utiliza-se da técnica “princípio do pulso eco”, transdutores de múltiplos cristais que “pulsados” de forma convenientemente ordenada produz varredura de toda a solda de tubulações a partir de diâmetros de 2” e espessuras a partir de 4,8 mm. As principais vantagens deste processo são:

- Inspecciona o perfil da solda sem que haja o convencional processo de aproximação e afastamento do transdutor da solda.

Permite focalizar o feixe ultra-sônico, executar escaneamento com múltiplos ângulos simultaneamente.

- Aumento da confiabilidade da inspeção, reduzindo a subjetividade da inspeção de ultrassom manual.
- Melhor constatação de defeitos, uma vez que a inspeção não está limitada aos ângulos convencionais (45, 60 e 70 graus).
- Redução dos tempos de inspeção em relação ao ultrassom manual, uma vez que a inspeção pode ser feita com todos os ângulos programados simultaneamente e o escaneamento perpendicular à solda é feito de modo eletrônico ao invés de manual.
- Laudos mais precisos, melhorando o controle da qualidade das soldas, permitindo dimensionar a altura, a profundidade e a extensão das discontinuidades.
- Esta tecnologia pode ser utilizada tanto para soldas de tubulações quanto para as soldas de topo de equipamentos, por exemplo



## Técnica de Ultrassom ToFD

A técnica de intervalo de tempo empregando onda difratada (ToFD – Time of Flight Diffraction) se baseia nas difrações de ultra-som causadas pelas extremidades (superior e inferior) da trinca presente no interior do cordão de solda, figura 18

Quando se introduz, num cordão de solda, um feixe de ondas ultra-sônicas provenientes de um transdutor angular emissor que tem suas reflexões e difrações captadas por outro transdutor angular que atuando apenas como receptor de ondas sônicas. Na figura 4b, podemos ver como é representado o sinal sônico convertido em elétrico na tela do aparelho de ultra-som, representação esta conhecida como Ascân: o sinal azul é de uma onda que percorre a superfície da chapa (onda lateral), os sinais vermelhos são difrações das pontas superior e inferior do defeito, respectivamente, e o sinal verde é a reflexão do fundo da chapa.

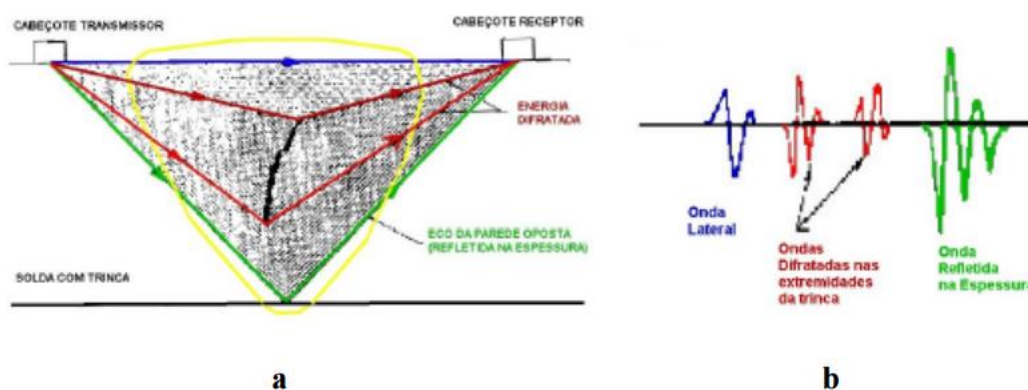


Figura 18 – Princípios da técnica TOFD na inspeção de solda, formação dos sinais.

### Inspeção através de Ensaio por Líquidos Penetrantes

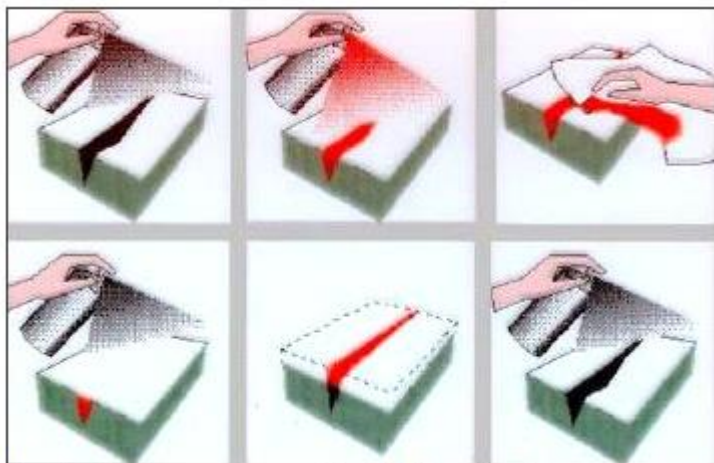
Além das inspeções por ultrassom que serão feitas em 100% das juntas soldadas das Adutoras, serão executados sempre que necessários, ensaios por Líquidos Penetrantes em soldas específicas das instalações do Empreendimento, como no caso de flanges para conexões de válvulas em geral.

### Descrição do Ensaio por Líquidos Penetrantes

O ensaio por líquidos penetrantes consiste em fazer penetrar na abertura da descontinuidade um líquido, após a remoção do excesso de líquido da superfície, faz-se o líquido retido sair da descontinuidade por meio de um revelador. A imagem da descontinuidade fica então desenhada sobre a superfície, Figura 19.

O ensaio por Líquidos Penetrantes presta-se a detectar descontinuidades superficiais e que sejam abertas na superfície, tais como trincas, poros, dobras, etc.; pode ser aplicado em todos os materiais sólidos que não sejam porosos ou com superfície muito grosseira. É usado em materiais não magnéticos como alumínio, magnésio, aços inoxidáveis austeníticos, ligas de titânio, zircônio, bem como em materiais magnéticos. É também aplicado em cerâmica vitrificada, vidro e plásticos.

O ensaio por líquidos penetrantes pode revelar descontinuidades (trincas) extremamente finas, da ordem de 0,001 mm de abertura. A principal vantagem do método é a sua simplicidade; é de fácil aplicação e interpretação dos resultados. O aprendizado é simples, requer pouco tempo de treinamento do inspetor. Como a indicação se assemelha a uma fotografia do defeito, é muito fácil avaliar os resultados. Não há limitação para o tamanho e forma das peças a ensaiar, nem para o tipo de material



**Figura 19: Ilustração do Ensaio por líquido penetrante.**

## **PROTEÇÃO CATÓDICA CONTRA A CORROSÃO**

Além da proteção dos tubos através dos revestimentos internos e externos utilizado o poliuretano, toda a adutora também receberá proteção catódica para neutralizar os efeitos da corrosão

### **Princípio da proteção catódica**

Proteção catódica é um processo de controle contra a corrosão de metais (tubulações e estruturas). O princípio básico é tornar o elemento metálico a ser protegido - um aqueduto, por exemplo - em um cátodo de uma célula de corrosão, o que pressupõe a presença de um ânodo. Assim, o processo natural de perda de elétrons da estrutura para o meio, fenômeno que causa a corrosão, é compensado pela ligação da estrutura metálica a um ânodo de sacrifício, em geral, um eletrodo de cobre/sulfato. O direcionamento da corrente elétrica preserva a estrutura metálica, ocorrendo corrosão controlada no ânodo. A proteção catódica é um processo anticorrosivo ativo - em que é possível ajustar a eficiência às necessidades operacionais - que complementa a proteção proporcionada pelo revestimento externo/interno das tubulações. É o único processo capaz de eliminar a corrosão eletroquímica eletrolítica mesmo em estruturas não-revestidas.

Os mecanismos de proteção catódica para estruturas metálicas são dois: galvânica (PCG) e por corrente impressa (PCCI), conforme ilustrado na Figura 20. Para a PCG, é feita a instalação de um ânodo galvânico paralelo à tubulação, e para a PCCI, a estrutura metálica é ligada a um retificador de corrente elétrica. No decorrer da vida da estrutura, como o revestimento externo perde eficiência por causa da interação com o eletrólito, torna-se necessário aumentar a intensidade da corrente de proteção produzida pelo retificador. Os períodos de revisão/manutenção da estrutura e do sistema de proteção são estimados em 20 anos para corrente impressa e cinco anos para proteção galvânica.

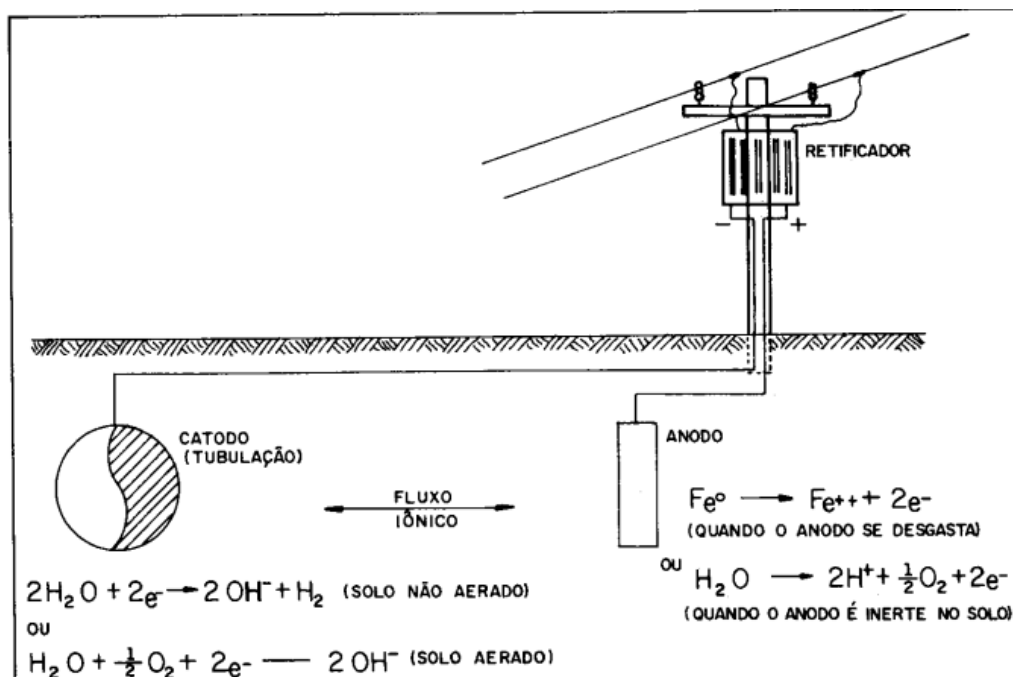


Figura 20 – Esquema de proteção catódica por corrente impressa

### Instalação da proteção catódica

Os sistemas de proteção catódica podem ser instalados tanto antes quanto depois da execução da estrutura ou do assentamento da tubulação. Em áreas densamente congestionadas por estruturas metálicas enterradas, como é o caso da cidade de São Paulo, é imperativo que o sistema seja instalado juntamente com a tubulação, para evitar surpresas como a corrosão eletrolítica da tubulação por correntes de interferência de sistemas de tração elétrica ou até mesmo de outro sistema de proteção catódica.

A proteção catódica de tubulações deve ser precedida de um levantamento de campo na fase de projeto para garantir que a corrente de proteção não se transforme na corrente de corrosão de tubulações de terceiros. Esse fenômeno é agravado porque, em geral, existem correntes elétricas de interferência em regiões urbanizadas, em virtude dos sistemas de tração das ferrovias e do metrô.

### CONCLUSÃO

O Sistema Produtor São Lourenço é um empreendimento de grande porte onde estão sendo empregadas as melhores tecnologias e os procedimentos mais rigorosos para o controle de qualidade tanto dos materiais como dos métodos construtivos utilizados. Procurou-se nesse trabalho, apresentar uma síntese das tecnologias e processos que estão sendo empregados atualmente, para assegurar a garantia da qualidade de um dos itens de grande relevância para o sucesso do empreendimento como um todo, que são os tubos utilizados nas Adutoras, desde à fabricação até a montagem final em campo.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Relatório Síntese Estudo de Concepção do Sistema Produtor São Lourenço
2. Ficha Técnica Completa - PPP Sistema Produtor São Lourenço
3. <http://www.centerval.com.br/tubos-helicoidais.html>
4. [http://www.tenaris.com/tenarisconfab/pt/files/proc\\_saw\\_espiral.pdf](http://www.tenaris.com/tenarisconfab/pt/files/proc_saw_espiral.pdf)
5. Instrução de Trabalho do Consórcio CCSL
6. <http://www.olympus-ims.com/pt/ndt-tutorials/intro/ut/>
7. [http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo\\_soldagem\\_arames\\_tubulares.cfm](http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_arames_tubulares.cfm)

8. Norma Técnica Sabesp - NTS 34
9. Norma Técnica Sabesp -NTS 042
10. <http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/protecao-catodica-contra-a-corrosao-80088-1.aspx>
11. Artigo: Uso das Técnicas de END: Ultra-som (TOFD e Phased Array), Radiografia, Partículas Magnéticas e ACFM na Avaliação de Juntas Soldadas com Trincas de Fadiga - Ricardo de O Carneval, Agildo B Moreira e Celso de Souza
12. <http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/li>
13. Artigo: Medidas de Aderência pelo Método Pull-Off Aspectos Práticos Não Abordados em Norma Rodolpho C. D.Pereira, Jeferson Leite Oliveira, Walter Andrade de Souza, Bruno Pacheco Silva, Isabel Cristina P. Margarit Mattos