

**UNESP**

**Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá**

**DIEGO DE ARAUJO MARANHO**

**AVALIAÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS EM TUBOS DE AÇO  
CARBONO SUBMETIDOS A ALTAS TEMPERATURAS E  
PRESSÕES**

**Guaratinguetá- SP**

**2013**

**DIEGO DE ARAUJO MARANHO**

**AVALIAÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS EM TUBOS DE AÇO  
CARBONO SUBMETIDOS A ALTAS TEMPERATURAS E  
PRESSÕES**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Kiyari

**Guaratinguetá- SP**

**2013**

M311a	<p>Maranho, Diego Araujo</p> <p>Avaliação de juntas soldadas em tubos de aço carbono submetidos a altas temperatura e pressões / Diego Araújo Maranhão. - Guaratinguetá: [s.n.], 2013</p> <p>69 f.: il.</p> <p>Bibliografia: f. 58</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Carlos Kiyan</p> <p>Co orientador: Marcelino Pereira</p> <p>1. Juntas soldadas 2. Aço 3. Carbono I. Título</p> <p>CDU 669.14</p>
-------	---

**AVALIAÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS EM TUBOS DE AÇO CARBONO  
SUBMETIDOS A ALTAS TEMPERATURAS E PRESSÕES**

**DIEGO DE ARAUJO MARANHO**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTEDO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO  
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. ANTÔNIO WAGNER FORTI  
Coordenador


**BANCA EXAMINADORA:**



Prof. Dr. CARLOS KIYAN  
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. MARCELINO PEREIRA DO NASCIMENTO  
UNESP-FEG



Eng.º DIEGO DE SOUZA ALMEIDA  
Membro Externo

Dezembro de 2013

## **DADOS CURRICULARES**

### **DIEGO DE ARAUJO MARANHO**

NASCIMENTO	06.08.1986 - PRESIDENTE PRUDENTE/SP
FILIAÇÃO	Célio Edmur Zacarias Maranhão Adma de Araujo Maranhão
2006/2013	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica UNESP/FEG – Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

À minha família que me apoiou nestes anos de graduação, me mostrando que, com força e dedicação o sucesso seria alcançado, contribuindo com uma grande parcela nesta conquista.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar aos meus pais, *Célio* e *Adma*; aos meus irmãos *André* e *Marcelo* que acreditaram em mim e foram meu alicerce e segurança para que essa conquista seja realizada.

Ao meu professor e orientador, *Prof. Carlos*, que me apoio na execução desta monografia.

Aos colegas de trabalho, *Marcelo*, *Wagner* por seu total apoio na execução dos corpos de prova e dados experimentais.

Aos meus grandes amigos residentes nas republicas *Iglu* e *WCKzona* que participaram intensamente dos anos de graduação e me propiciaram momentos bons de aprendizado e crescimento, com experiências inesquecíveis.

“Quando penso que cheguei ao meu limite, descubro que tenho forças para ir além.”

Ayrton Senna



MARANHO, D. A. **Avaliação de juntas soldadas em tubos de aço carbono submetidos a altas temperaturas e pressões**. 2013.69 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

## RESUMO

O processo de soldagem em tubulações industriais é ainda a forma mais eficaz de garantir a durabilidade e qualidade dos mais variados processos industriais, porém devido à alta demanda por energia e qualidade dos produtos produzidos, a tubulação vem sendo submetidas a testes constantes quanto à aplicação de pressões elevadas e temperaturas altas. O método de soldagem analisado é soldagem TIG (*Tungsten Inert Gas*) ou GTAW (*Gas-Shielded Tungsten Arc Welding*), e tem como característica principal a utilização de um eletrodo não consumível de tungstênio na extremidade da tocha, e uma atmosfera protetora de gás inerte. A vantagem da solda TIG é a obtenção de uma junta soldada limpa e com qualidade por não possuir escória após a soldagem. Este trabalho tem por finalidade mostrar a variabilidade nos parâmetros de soldagem em tubulações de aço carbono e, por intermédio de testes em quatro corpos de prova, mostrar a influência da variação dos métodos de soldagem em uma junta soldada. Os testes vão variar entre a preparação da peça a ser soldada, ensaios de líquido penetrante, macrografia da solda e ultrassom de solda. Apesar de ser uma solda de qualidade e limpa, é necessária uma inspeção final na junta soldada buscando as descontinuidades provenientes do processo de soldagem, que são quase inevitáveis. Os resultados obtidos visam indicar e minimizar os defeitos de forma a garantir a qualidade e durabilidade da junta soldada. Constatou-se que, após a análise dos resultados dos ensaios realizados, a amostra “2” apresentou uma junta soldada isenta de descontinuidades, visualmente dentro das especificações, se enquadrando perfeitamente ao processo a ela empregado, ou seja, em tubulações submetidas a altas pressões e temperaturas.

**PALAVRAS CHAVE:** eletrodo, consumível, parâmetros, tração, macrografia, gás inerte, TIG.

MARANHO, D. A. **Avaliação de juntas soldadas em tubos de aço carbono submetidos a altas temperaturas e pressões**. 2013. 69 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

### **ABSTRACT**

The welding process in industrial piping is still the most effective way to ensure the durability and quality of the wide range of industrial process, although because of the high demand for energy and quality of the produced products, the piping has been constantly tested for high pressure applications and still high temperature. The welding method analyzed is the TIG (Tungsten Inert Gas) welding or GTAW (Gas-Shielded Tungsten Arc Welding), which ones have as principal feature the utilization of a not consumable tungsten electrode in the torch extremity , in this process is necessary a protective atmosphere of inert gas. The welding TIG advantage is the obtaining of a welded seam clean and with quality for not has slag after the welding.

This work has as objective show the variability in the carbon steel piping welding parameters and by the tests in four proof bodies will be shown the influence of the variation of the welding methods in a welded seam. The tests will vary since the piece to be welded preparation, till penetrating liquid tests, welding macrography, welding x-ray and traction tests. Even been a clean and with quality welding is necessary a final inspection in the seam welded looking for defects almost inevitable resulted of the welded process, the obtained results have the objective of indicate and minimize the defects to ensure quality and durability of the welded seam.

**KEYWORDS:** electrode, consumable product, paramaters, traction, macrograph, inert gas.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Processo de laminação Manesmann .....	17
FIGURA 2 - Máquina desempenadora de tubos.....	17
FIGURA 3 – Processo de fabricação de tubos por extrusão.....	19
FIGURA 4 – Ligações rosqueadas de tubos.....	21
FIGURA 5 – Chanfros para solda de topo em tubos.....	22
FIGURA 6 – União de tubos por solda de encaixe.....	23
FIGURA 7 – Zona de fusão e zona termicamente afetada.....	27
FIGURA 8 – Representação esquemática da superfície metálica limpa.....	27
FIGURA 9 – Soldagem por pressão ou deformação.....	29
FIGURA 10- a)Representação esquemática da solda por fusão b) Macrografia de uma junta .....	29
FIGURA 11- Soldagem pelo processo gmaw.....	31
FIGURA 12- Equipamentos da solda gmaw.....	33
FIGURA 13- Processo de soldagem MIG.....	34
FIGURA 14 – Processo de soldagem TIG.....	35
FIGURA 15- Macrografia mostrando a presença de porosidade na forma esférica num cordão de solda em AlSi (a) e microporosidade entre os ramos dentrícios no mesmo cordão (b). (RODRIGUES BARRA, 1999).....	38
FIGURA 16 - Porosidade vermicular com direção e crescimento da raiz para o reforço (a) e porosidade agrupada (b). (RODRIGUES BARRA, 1999).....	38
FIGURA 17- Detalhe do cordão de solda do amostra 1.....	40
FIGURA 18 - Detalhe do passe de raiz na parede interna ao tubo.....	40
FIGURA 19 - Detalhe do cordão de solda do amostra “2” .....	41

FIGURA 20- Detalhe do passe de raiz na parede interna ao tubo.....	42
FIGURA 21 - Detalhe do cordão de solda da amostra “3”.....	43
FIGURA 22 - Detalhe do passe de raiz interna ao tubo.....	43
FIGURA 23 - Detalhe do cordão de solda “4” .....	44
FIGURA 24- Detalhe do passe de raiz interno ao tubo.....	45
FIGURA 25 – Aplicação do líquido penetrante nos passes de raiz.....	47
FIGURA 26 – Detalhe do poro na amostra “3”.....	47
FIGURA 27 – Amostra submetida ao ultrassom.....	48
FIGURA 28- Gráfico ultrassônico.....	49
FIGURA 29 – Gráfico com descontinuidade.....	49
FIGURA 30- Amostra após corte com a serra de fita.....	50
FIGURA 31 – Amostra após corte com a serra vertical.....	51
FIGURA 32 – Amostra após o lixamento.....	52
FIGURA 33- Amostra após a aplicação do nital 10%.....	52
FIGURA 34 – Detalhe do cordão de solda vista em microscópio da amostra 1.....	53
FIGURA 35 - Detalhe do cordão de solda vista em microscópio da amostra 2.....	53
FIGURA 36 - Detalhe do cordão de solda visto em microscópio da amostra 3.....	54
FIGURA 37 - Detalhe do cordão de solda visto em microscópio da amostra 4.....	55

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Especificação de graus em tubos de aço carbono.....	20
TABELA 2 – Métodos de união de tubulações.....	24
TABELA 3 - Designação das ligas fundidas por grupos.....	25
TABELA 4 - Processos de soldagem por fusão.....	30
TABELA 5 - Vantagens, limitações e aplicações do processo GMAW.....	32
TABELA 6 – Tipos de processo de soldagem TIG.....	35
TABELA 7- Comparação dos parâmetros de soldagem das amostras.....	45

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

EPS	Especificação de procedimento de soldagem
IEIS	Instruções de Execução e Inspeção de Soldagem
GMAW	Gas Metal Arc Welding
GTAW	(Gas-Shielded Tungsten Arc Welding
MIG	Metal Inert Gas
MAG	Metal Active Gas
IACS	International Annealed Copper Standard
ASME	American Society of Mechanical Engineers
AA	Aluminum Association
AWS	American Welding Society

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 OBJETIVO.....	15
1.2 JUSTIFICATIVA.....	16
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
2.1 O AÇO CARBONO DE TUBULAÇÕES.....	16
2.1.1 O PROCESSO DE FABRICAÇÃO POR LAMINAÇÃO.....	16
2.1.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO POR EXTRUSÃO.....	18
2.1.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO POR FUNDIÇÃO.....	19
2.1.4 TUBOS EM AÇO CARBONO.....	19
2.1.5 ESPECIFICAÇÃO PARA TUBOS EM AÇO CARBONO.....	19
2.1.6 MÉTODOS DE LIGAÇÕES DE TUBULAÇÃO.....	21
2.1.7 LIGAÇÕES ROSQUEADAS.....	21
2.1.8 UNIÕES SOLDADAS.....	22
2.1.9 SOLDA DE TOPO.....	23
2.1.10 SOLDA DE ENCAIXE.....	23
2.1.11 TUBULAÇÕES DE VAPOR.....	24
<b>3 METALURGIA E PROCESSO DE SOLDAGEM</b> .....	25
3.1 SOLDABILIDADE.....	26
3.1.1 SOLDAGEM.....	27
3.1.2 PROCESSO DE SOLDAGEM POR FUSÃO.....	30
3.1.3 PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW.....	31
3.1.4 PROCESSO DE SOLDAGEM MIG.....	33
3.1.5 PROCESSO DE SOLDAGEM TIG.....	34
<b>4. DESCONTINUIDADE DE SOLDA</b> .....	36
4.1 FALTA DE PENETRAÇÃO DE SOLDA.....	36
4.2 MORDEDURA.....	37
4.3 FALTA DE FUSÃO.....	37
4.4 POROSIDADE.....	37

<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	39
5.1 MATERIAS UTILIZADOS.....	39
5.2 MÉTODOS.....	39
5.3 AMOSTRA “1”.....	39
5.4 AMOSTRA “2”.....	41
5.5 AMOSTRA “3”.....	42
5.6 AMOSTRA “4”.....	44
5.7 ENSAIOS.....	46
5.7.1 ENSAIO DE LÍQUIDO PENETRANTE.....	46
5.7.2 ENSAIO POR ULTRASSOM DE SOLDA.....	48
5.7.3 ENSAIO DE MACROGRAFIA DO CORPO DE PROVA.....	50
<b>6. DISCUSSÕES</b> .....	56
<b>7. CONCLUSÕES</b> .....	57
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	58
<b>ANEXOS</b> .....	59
RELATÓRIO DE ENSAIO DE LIQUIDO PENETRANTE.....	59
RELATÓRIO DE ULTRASSOM DE SOLDA.....	63
CERTIFICADO DA VARETA DE SOLDA.....	64
CERTIFICADO DO TUBO UTILIZADO.....	65
QUALIFICAÇÃO DO SOLDADOR.....	66
ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM.....	67
CERTIFICADO DOS MATERIAIS DO ENSAIO DE LIQUIDO PENETRANTE.....	68



## 1. INTRODUÇÃO

No ramo industrial os processos de soldagem são amplamente empregados. As tubulações industriais têm o objetivo de transportar diferentes fluidos que vão desde óleos, vapor, gases e produtos finais como alimentos e fluidos. Por se tratar de diversos fluidos transportados nestas tubulações, garantir a qualidade e a segurança das juntas soldadas é fundamental; critérios normativos de avaliação de soldas são utilizados por meio de ensaios não destrutivos e inspeções técnicas são exigidas de forma a garantir a integridade das instalações.

Na execução do processo de soldagem TIG, com o objetivo de atender as normas vigentes, especificações de projetos de engenharia e ainda a qualidade das atividades, é importante que os materiais utilizados sejam submetidos a testes e certificações. Neste estudo o foco é a variabilidade nos parâmetros de soldagem, definidos como velocidade de soldagem, tipo de metal de adição, tipo de vareta de solda, corrente elétrica aplicada e ainda tratamentos anteriores nas peças a serem soldadas.

Para exemplificar a influência desses parâmetros de soldagem na qualidade da solda, este estudo visa submeter quatro corpos de provas nos mais diferentes métodos de soldagem TIG. Os ensaios posteriores a esses métodos variantes vão justificar as discontinuidades encontradas nas juntas soldadas.

### 1.1 OBJETIVO

O principal objetivo desta monografia é mostrar os mais diversos parâmetros de soldagem em tubulações industriais com altas pressões e temperaturas do aço tipo carbono no processo industrial GTAW (TIG) e a influência destes parâmetros no surgimento de discontinuidades e defeitos de solda; promover de forma clara e concisa procedimentos técnicos em conformidade com as normas vigentes que minimizam as avarias encontradas neste processo de soldagem; analisar ainda o método mais eficaz de soldagem que garanta qualidade e confiabilidade na atividade.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Muitos problemas encontrados nos mais diversos setores industriais são oriundos de defeitos de soldagem em tubulações. A importância de testes nas juntas soldadas e ainda a eliminação dos defeitos provenientes diminuem os riscos de contaminações e aumenta a segurança e riscos ao meio ambiente.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O AÇO CARBONO DE TUBULAÇÕES

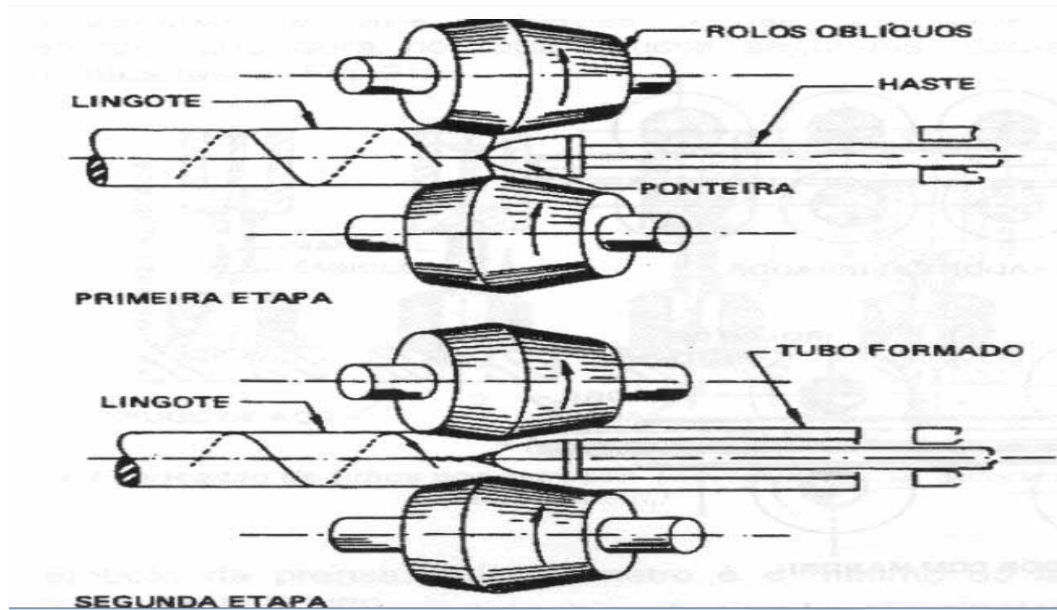
No ramo industrial são empregados vários tipos de materiais em tubulações industriais. O foco deste trabalho são as tubulações em aço carbono, largamente utilizado em indústrias, a norma vigente para as tubulações industriais é a norma ANSI (American Society for Testing and Materials).

O processo de fabricação é um fator importantíssimo na aplicação industrial, vamos destacar alguns métodos de obtenção deste tubo de forma a enquadrar na norma vigente e ainda atender os requisitos mínimos de segurança e qualidade.

#### 2.1.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO POR LAMINAÇÃO

O processo de fabricação por laminação é empregado em tubulações em aço carbono, e a variação de diâmetros é de 8 a 65 cm, ele é conhecido como “Mannesmann”, as etapas de preparação segue uma sequência: o ponto inicial é o aquecimento de um lingote de aço a uma temperatura de 1200°C; passa para um laminador oblíquo, responsável por determinar a bitola do diâmetro externo da tubulação com o auxílio de robôs; o lingote então é pressionado em uma ponteira fixa que determina as dimensões do diâmetro interno do tubo conforme Fig. 1 , por fim o tubo passa por um último laminador que elimina as irregularidades da parede externa do tubo conforme Fig. 2. ( TELLES, 10<sup>a</sup> ED )

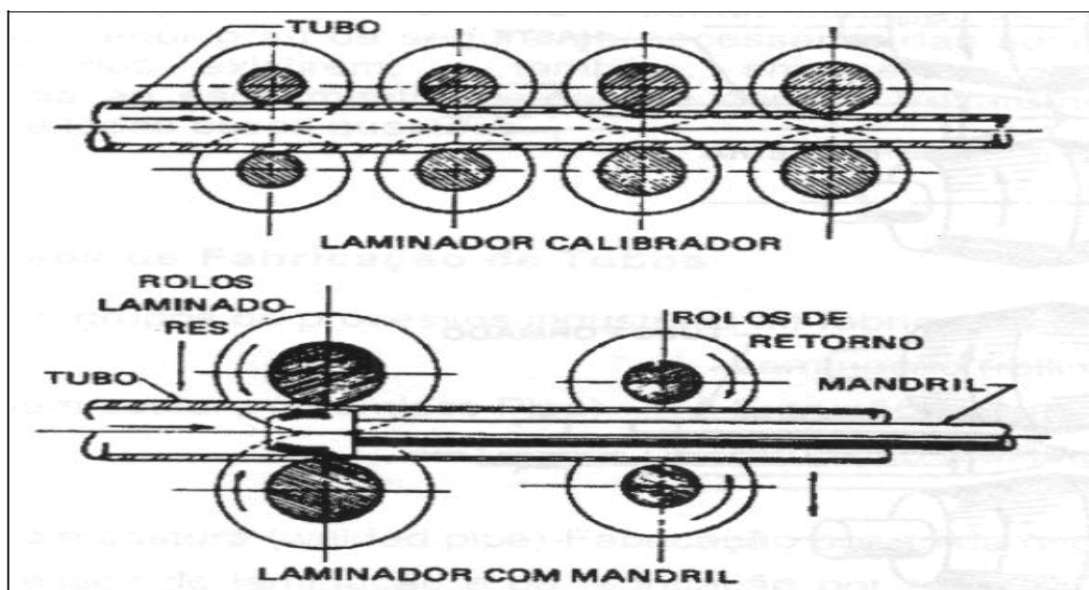
Figura 1- Processo de laminação Mannesmann



Fonte. (TELLES, 10ª ED)

Neste processo o tubo ainda não está diametralmente perfeito em função do empenamento residual do primeiro processo, portanto o tubo ainda passa por máquinas desempenadoras que acabam por dar o acabamento e forma adequada.

Figura 2 – Máquina desempenadora de tubos



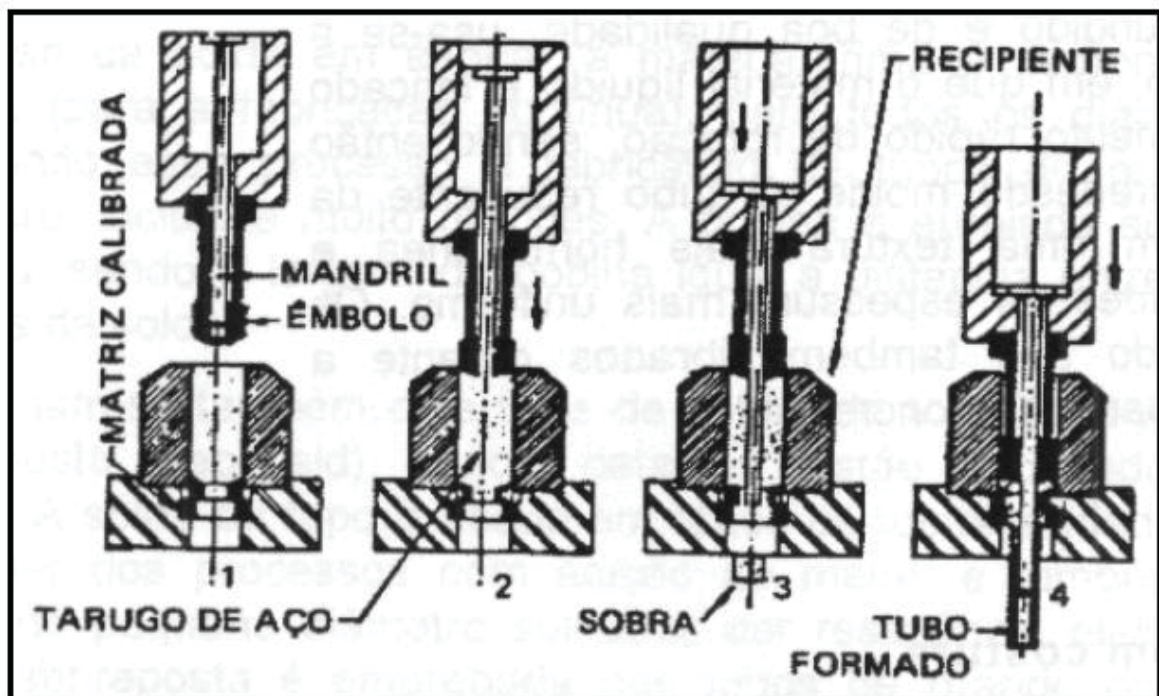
Fonte. (TELLES, 10ª ED)

### 2.1.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO POR EXTRUSÃO

Neste processo o tarugo de aço se encontra na forma pastosa, deposita-se em um molde abaixo de uma prensa, este processo é relativamente rápido. As etapas deste método são:

O embolo da prensa com o mesmo diâmetro do tarugo encosta no tarugo, com o auxílio, a prensa o tarugo é pressionado em uma matriz com calibração perfeita responsável por dar a forma ao tubo.

Figura 3- Processo de fabricação de tubos por extrusão



Fonte. (TELLES, 10ª ED)

Após o processo de fabricação, os tubos ainda se encontram com paredes externas com irregularidades, o tubo passa por laminadores que dão forma final ao tubos, neste caso as tubulações fabricadas possuem diâmetros menores, tubos de até 8 cm.

### 2.1.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO POR FUNDIÇÃO

Neste processo por fundição, o material se encontra em estado líquido, o líquido é depositado em um molde específico, dando a forma final ao material, (TELLES, 10ª ED).

### 2.1.4 TUBOS EM AÇO CARBONO

O tubo de aço carbono é largamente utilizado nos mais variados setores industriais; ele tem por característica fundamental o baixo custo, e capacidade de transportar vários fluidos industriais, desde água doce a vapores (destaque desta monografia), (TELLES, 10ª ED).

A temperatura de trabalho em uma tubulação de aço carbono pode ser limitada a 450°C e em condições permanentes de fluxo.

### 2.1.5 ESPECIFICAÇÃO PARA TUBOS EM AÇO CARBONO

A especificação de tubos de aço carbono consiste na nomenclatura vigente COPANT, para tubos com característica com ou sem costura.

As especificações de uma tubulação de aço carbono devem atender as obrigatoriedades da norma ASTM (American Society for Testing and Materials), esta norma é subdividida em itens que serão descritos a seguir:

ASTM A53: Especifica tubos em aço carbono com ou sem costura levando em consideração teor de carbono e resistência mecânica.

ASTM A106: Abrange tubos com de diâmetros de 1/8” a 24”, especifica tubos submetidos a alta temperaturas e com isso é necessário utilizar na fabricação um revestimento, geralmente de silício para garantir que a tubulação não oxida, fator inerente a altas temperatura.

Tabela 1 – Graus de especificação de aços carbono

	C% (máx.)	Mn. %	Si % (min.)	Ruptura Kg/mm <sup>2</sup>	Escoamento (Kg/mm <sup>2</sup> )
Grau A (baixo carbono)	0,25	0,27---0,93	0,10	34	20
Grau A (médio carbono)	0,30	0,29---1,06	0,10	41	24
Grau A (médio Carbono)	0,35	0,29---1,06	0,10	48	27

Fonte. (TELLES, 10ª ED)

ASTM B31.3: Esta norma especifica o uso da tubulação em aço carbono na categoria D ou seja para materiais não inflamáveis, não tóxicos e perigosos, com temperaturas de até 185°C e pressões de 1Mpa, este tipo de tubulação é bastante empregada em linhas de condensado e ar comprimido.

ASTM A134: Esta norma especifica as ligas de aço carbono com diâmetros superiores a 16” e que se enquadram na categoria D.

ASTM A135: Esta norma especifica o tipo de solda sendo a solda por resistência elétrica em tubos de 2” até 30”.

ASTM A333: Esta norma especifica tubos que vão trabalhar em baixas temperaturas, porém ela subdivide em determinados graus a separação, ou seja, graus de 1 a 6 são tubos de aço carbono acalmados com silício, os outros graus se referem aos aços-liga níquel.

ASTM A671: Esta norma especifica tubos em aço carbono submetidos a temperatura ambiente e baixas temperaturas, porém ela exige testes na tubulação como radiografia de solda, tratamentos térmicos e testes de pressão.

ASTM A672: Esta norma especifica tubulações em aço carbono submetidas a altas pressões e temperaturas moderadas.

A especificação do tipo de tubulação de aço carbono e ainda a qual atmosfera ela estará submetida não fica apenas vinculada a norma ASTM, mas também deve levar em consideração a norma API (American Petroleum Institute), que visa estabelecer as especificações da tubulação em aço carbono para o caso de transporte em oleodutos ou gasodutos.

### 2.1.6 MÉTODOS DE LIGAÇÕES DE TUBULAÇÃO

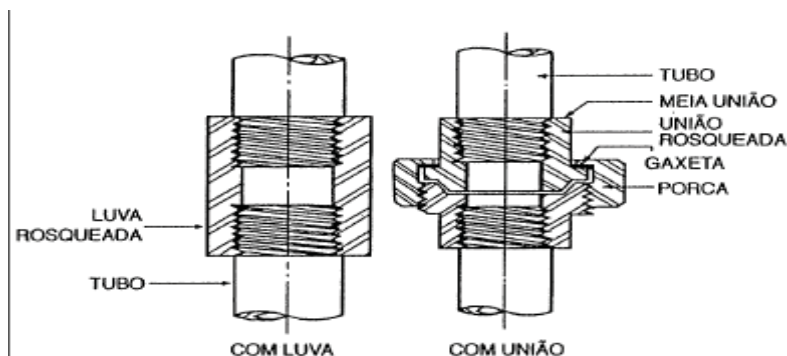
Para a obtenção de tubulações em indústrias e ou outros setores existem diversos métodos de uniões de tubos. As tubulações podem ser rosqueadas (*screwed joints*), soldadas (*welded joints*) ou flangeadas (*flanged joints*).

A escolha do tipo de união que deve ser empregada na tubulação vai depender das exigências mínimas a qual a tubulação será submetida. É levado em consideração o tipo de material, a pressão e temperatura de trabalho, o fluido a ser transportado, o custo e o grau de dificuldade de instalação.

### 2.1.7 LIGAÇÕES ROSQUEADAS

Este tipo de ligação em tubos ainda é largamente utilizada. Principalmente em tubulações de pequenos diâmetros, ela é bastante usada em tubos de até 2", já que o processo é bastante simples e de fácil manuseio, porém é necessário o uso de conexões. As mais utilizadas são luvas e uniões, (TELLES, 10ª ED).

Figura 4- ligação rosqueada de tubos



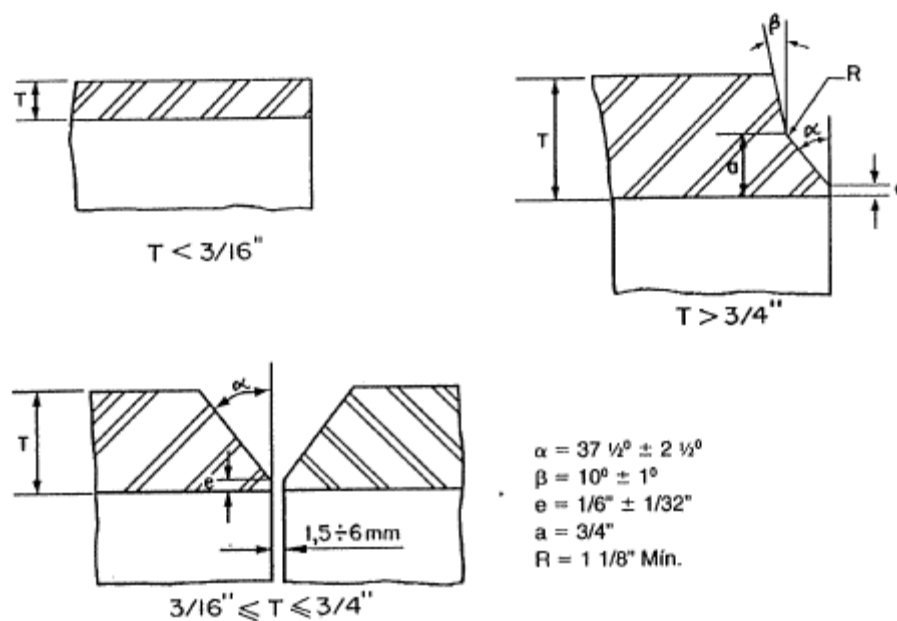
Fonte. (TELLES, 10ª ED)

O uso das tubulações rosqueadas é restritivo a materiais galvanizados ou ferro fundido, já que o método de abrir rosca em uma tubulação enfraquece a parede do tubo e ainda ligas galvanizadas não permitem solda em função do surgimento de descontinuidades na solda. A norma ASMEB 31.3 prevê que, em tubulações rosqueadas, o material transportado precisa de enquadrar na categoria D anteriormente citada, (TELLES, 10ª ED).

### 2.1.8 UNIÕES SOLDADAS

As tubulações industriais quase que na sua totalidade são soldadas e podem ser divididas em solda de topo e solda de encaixe. Tais ligações têm como características principais a boa resistência mecânica, uma estanqueidade permanente, boa aparência, facilidade de tratamentos e pintura e ainda baixa manutenção. A desvantagem em se aplicar tal método de união é a dificuldade de desmontar uma tubulação já soldada. Neste caso a mão de obra é especializada e cara e ainda precisa levar em consideração os fatores externos ao processo de soldagem e ou desmontagem, como fatores ambientais e segurança do trabalho, já que tais trabalhos necessitam de ferramentas manuais de corte que geram fuligens e fumaça.

Figura 5- Chanfros para solda de topo em tubos, (TELLES, 10ª ED)



Fonte. (TELLES, 10ª ED)



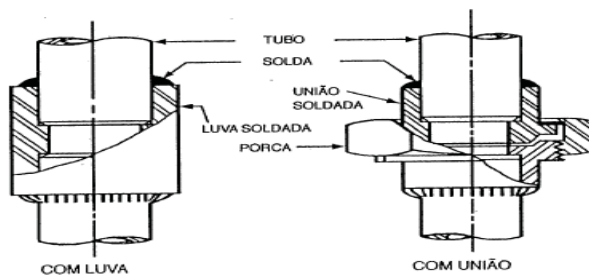
### 2.1.9 SOLDA DE TOPO

A solda de topo é geralmente utilizada em tubulações de 2" ou mais, para tubulações submetidas a intempéries mais pesadas como a pressões altas e temperaturas elevadas. Para que seja possível a utilização de solda de topo, o tubo necessariamente precisa ser chanfrado como mostrado na figura 5, de acordo com o diâmetro do tubo. O chanfro deve seguir uma determinada recomendação, ou seja, para tubos menores de 3/16" o chanfro deve ser feito no formato de "T", para tubos entre 3/16" e 3/4" o chanfro deve ser de forma "V" seguindo as especificações da figura 5, tubo maiores de 3/4" devem seguir o formato T com raios e ângulos determinados.

### 2.1.10 SOLDA DE ENCAIXE

Este tipo de soldagem, diferentemente da solda de topo, está limitada em tubulações que variam até 1 1/2" considerando pressões e temperaturas variáveis. Neste caso não há necessidade de chanfros como mostrado anteriormente, porém requer uniões e luvas para a ligação de um tubo em outro. A solda é facilitada por ser necessário apenas um cordão de solda entre o tubo e a união ou luva, e na solda de topo é necessário o passe da raiz mais o acabamento que pode variar de um a quatro passes de acordo com a bitola do tubo. Uma particularidade neste método de soldagem é que não devemos utilizar tal método em tubulações que transportam hidrogênio já que, em altas temperaturas e pressões, o hidrogênio fragiliza o aço e forma metano, diminuindo a resistência mecânica dos aços.

Figura 6- união de tubos por solda de encaixe



Fonte. (TELLES, 10ª ED)

Para atender algumas particularidades no ramo industriais as uniões de tubulações em aço devem seguir o que se mostra na tabela 2:

Tabela 2 – Método de união de tubulação

Ligações correntes ao longo da tubulação	Serviços de baixa responsabilidade, ou não-severos	Diâmetros até 4'':	Ligações rosqueadas com luvas
		Diâmetros de 6'' ou maiores:	Solda de topo
	Serviços severos	Diâmetros até 1½'':	Ligações de solda de encaixe com luvas*
		Diâmetros de 2'' ou maiores:	Solda de topo
Ligações nos extremos da tubulação, ou onde for exigida facilidade de desmontagem	Serviços de baixa responsabilidade, ou não-severos	Diâmetros até 4'':	Ligações rosqueadas com uniões
		Diâmetros de 6'' ou maiores:	Ligações flangeadas (flanges rosqueados ou sobrepostos)
	Serviços severos	Diâmetros até 1½'':	Ligações de solda de encaixe com uniões
		Diâmetros de 2'' ou maiores:	Ligações flangeadas (flanges de pescoço ou de tipo anel)

Fonte. (TELLES, 10ª ED)

### 2.1.11 TUBULAÇÕES DE VAPOR

As tubulações de vapor no ramo industrial são de suma importância para a obtenção de energia e ainda para reações de processos. Porém para a determinação do material adequado em uma tubulação de vapor devemos levar em consideração a temperatura limite para a fluência e deformação do material. A temperatura limite para determinados materiais estão ilustradas na tabela 3:

Tabela 3 – Materiais de tubulações de vapor, (TELLES, 10ª ED)

Temperatura máxima de vapor (°C)	TUBOS				VÁLVULAS			Flanges	Juntas para flanges		
	Diâmetro nominal (pol)	Material Especificações ASTM ou API	Tipo de ligações	Margem para corrosão (mm)	Diâmetro nominal (pol)	Material				Tipo de extremidades	
						Carcaça	Mec. interno				
120 (inclusive vapor exausto e condensado)	todos	Aço-carbono A120 ou A53	solda	1,2	até 1 1/2"	Bronze	Bronze	Rosca	Aço-carbono, face plana	Junta plana de papelão hidráulico conforme EB-212	
	até 4"	Aço-carbono galvanizado	rosca	—	2" ou maior	Ferro fundido	Bronze	Flanges (face plana)			
200	todos	Aço-carbono A53 ou APISL	solda	1,2	todos	Aço-carbono	Bronze	até 1 1/2": Solda de encaixe 2" ou maior: Flanges (face com ressalto) rosca	Aço-carbono, face de ressalto		
	até 2"	Latão, cobre, alumínio	rosca ou solda	—	até 2"	Bronze	Bronze				
380	todos	Aço-carbono A53 APISL ou A672 Gr A55	solda	1,2	todos	Aço-carbono	Aço-inoxidável tipo 410 (sedes de "Stellite")	até 1 1/2": Solda de encaixe 2" ou maior: Flanges (face com ressalto)	Aço-liga 1/2 Mo, face de ressalto.		Junta semimetálica em espiral, de aço inoxidável, com recheio de amianto
420	todos	Aço-carbono acalmado (SI)-A106 ou A672 Gr B60, 70 ou Gr C60, 70	solda	1,2	todos	Aço-liga 1/2 Mo					
450	todos	Aço-liga 1/2 Mo A335 Gr. P1 ou A672 Gr CM65, 70	solda	1,2	todos	Aço-liga 1/4 Cr-1/2 Mo					
470	todos	Aço-liga 1/4 Cr-1/2 Mo A335 Gr-P1 1 ou A691 Gr 1 1/4 Cr	solda	1,2	todos	Aço-liga 1/4 Cr-1/2 Mo					
480	todos					Aço inoxidável tipo 440 (sedes de "Stellite")	até 1 1/2": Solda de encaixe 2" ou maior: Flanges (face para junta de anel) ou solda de topo	Aço-liga 1/4 Cr-1/2 Mo, face para junta de anel	Junta de anel metálico de aço inoxidável (Flanges de classe 600 #, ou acima)		
550	todos	Aço inoxidável tipo 304	solda	—	todos	Aço inoxidável tipo 304	solda de topo	Evitar o uso de flanges	—		

Fonte. (TELLES, 10ª ED)

As tubulações de vapor devem seguir a recomendação de solda de encaixe em tubulações até 2", em diâmetros maiores deve ser feita a solda de topo. As coordenadas termodinâmicas pressão e temperatura são interdependentes e no casos de pressões elevadas, por medidas de segurança, a temperatura adotada de trabalho deve ser menor do que a temperatura mostrada na tabela.

### 3. METALURGIA E PROCESSOS DE SOLDAGEM

A soldagem se destaca como um processo importante nas indústrias, porém para que a solda resultante esteja dentro das especificações alguns fatores importantes devem ser levados em conta. Apesar do processo de soldagem ser simples a estrutura do material sofre bastante em função da alta energia associada em uma porção de material bem pequeno, (MODENESE, 2000).

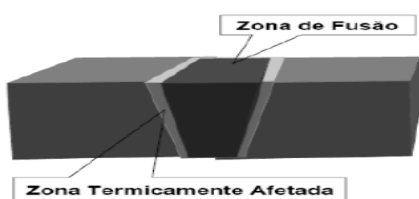
#### 3.1 SOLDABILIDADE

A definição de soldabilidade de acordo com a *American Welding Society* é a capacidade de um material ser soldado nas condições de fabricação impostas por uma estrutura projetada de forma adequada e de se comportar adequadamente em serviço. (MODENESE, 2000).

A solda em um material envolve uma diferenciação das características metalúrgicas do metal base a ser soldado, em função da deformação plástica do material e o emprego de uma energia alta; neste caso os parâmetros de soldagem devem estar bem definidos em função das características do material a ser soldado.

A solda pode apresentar alguns defeitos chamados de descontinuidades e alguns fatores devem ser levados em conta: problemas na zona de fusão ou zona termicamente afetada (ZTA), que ocorrem logo após o processo de soldagem e podem gerar porosidades, trincas de solidificação e perda de resistência.

Figura 7- Zona de fusão e zona termicamente afetada



Fonte. (TELLES, 10ª ED)

O aço carbono possui em sua estrutura uma liga de ferro e carbono. A quantidade de carbono associada interfere diretamente na resistência e dureza dos materiais, e os subdivide em quatro grupos:

- 1-Aços de baixo carbono: até 0,14 % de carbono
- 2-Aços doces: de 0,15% até 0,29% de carbono
- 3-Aço de médio carbono: de 0,30 % até 0,59% de carbono
- 4-Aços de alto carbono: de 0,60% até 2,00% de carbono

Os mais utilizados no Brasil são os aços de baixo carbono e doces por apresentarem alta resistência mecânica, boa soldabilidade, pequena quantidade de elementos de liga responsáveis por melhorar a tenacidade e resistência mecânica do material, e retardam o processo de corrosão, acabando por possuir um maior limite de escoamento (MODENESE, 2000).

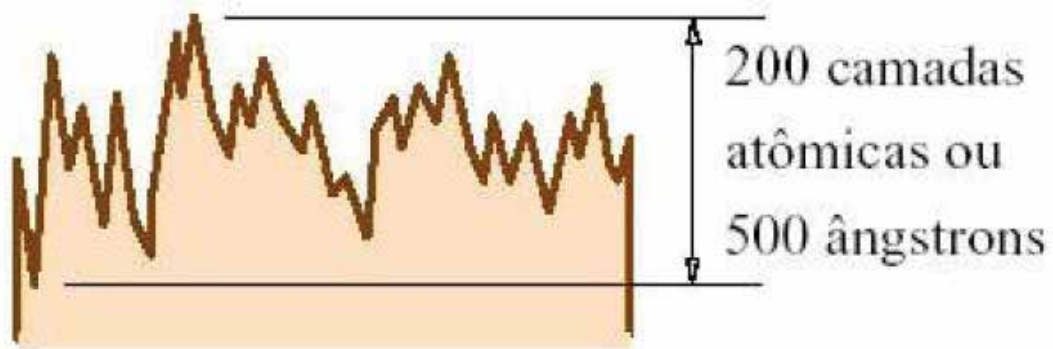
### 3.1.1 SOLDAGEM

Soldagem pode ser considerado uma fusão de materiais, normalmente metálicos, que mantenham as características do material constante na união de duas peças, porém nem sempre conseguimos manter as características do material in natura em função da temperatura e avarias inerentes ao processo (MODENESE, 2000).

*“Operação que visa obter a coalescência localizada produzida pelo aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem aplicação de pressão e de metal de adição”  
(Definição adotada pela AWS – American Welding Society)*

Os metais por sua vez apresentam uma estrutura de difícil fusão, quando no estado natural, por apresentarem uma rugosidade superficial grande nas escalas macro e microscópica como mostrado na figura 8:

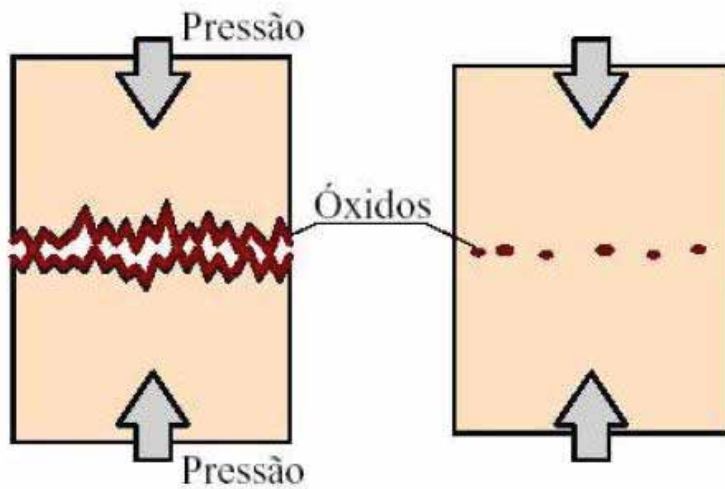
Figura 8 - Representação esquemática da superfície metálica limpa



Fonte, (MODENESE, 2000)

Na superfície externa do metal por apresentarem as rugosidades e ligações químicas incompletas há o surgimento de camadas de óxidos, poeiras e umidade dificultando a união das peças. Para eliminar estas camadas externas de óxidos e poeiras aplicamos uma pressão externa nas superfícies possibilitando a aproximação dos átomos.

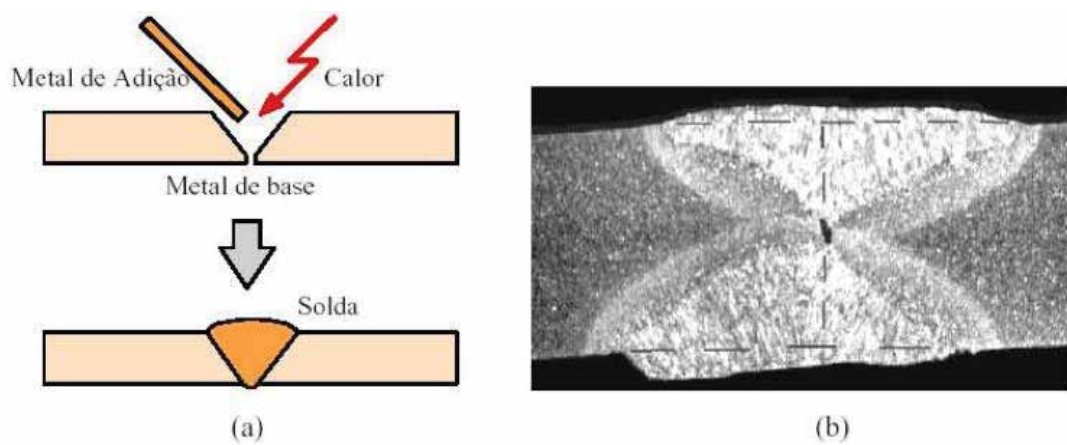
Figura 9 - Soldagem por pressão ou deformação



Fonte. (MODENESE, 2000)

O método que será a base desta monografia consiste em elevar a temperatura da superfície, numa aplicação localizada, causando uma deformação plástica na superfície de contato, e formando-se a junta soldada pela solidificação do metal de adição.

Figura 10: a) Representação esquemática da solda por fusão. b) Macrografia de uma junta



Fonte. (MODENESE, 2000)

### 3.1.2 PROCESSO DE SOLDAGEM POR FUSÃO

Existe uma gama de processos de soldagem por fusão e existe, dentre esses processos, os mais utilizados na indústria. Subgrupos de processos são criados nas mais diversas divisões, um exemplo de divisão é o processo de soldagem por energia utilizada, destaca-se como processo mais utilizado o método por arco elétrico. A seguir mostraremos na tabela 5 que subdivide os principais métodos de soldagem por arco elétrico (MODENESE, 2000)

Tabela 4 – Processos de soldagem por fusão

PROCESSO	FONTES DE CALOR	TIPO DE CORRENTE E POLARIDADE	AGENTE PROTETOR	OUTRAS CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÕES
Soldagem por eletro-escória	Aquecimento por resistência da escória líquida	Continua ou Alternada	Escória	Automática / Mecanizada. Junta na vertical. Arame alimentado mecanicamente na poça de fusão. Não existe arco.	Soldagem de aço carbono, baixa e alta liga, espessuras $\geq$ 50 mm. Soldagem de peças de grande espessura
Soldagem a arco submerso	Arco Elétrico	Continua ou Alternada. Eletrodo +	Escória e gases gerados	Automática / Mecanizada ou semi-automática. O arco arde sob uma camada de fluxo granular	Soldagem de aço carbono, baixa e alta liga. Espessura $\geq$ 10 mm. Posição plana ou horizontal de peças estruturais, tanques, vasos de pressão, etc
Soldagem com eletrodos revestidos	Arco Elétrico	Continua ou Alternada. Eletrodo + ou -	Escória e gases gerados	Manual. Vareta recoberta por uma camada de fluxo	Soldagem de quase todos os metais, exceto cobre puro, metais preciosos, reativos e de baixo ponto de fusão. Usado na soldagem em geral.
Soldagem com arame tubular	Arco Elétrico	Continua. Eletrodo +	Escória e gases gerados ou fornecidos por fonte externa. Em geral o CO <sub>2</sub>	O fluxo está contido dentro de um arame tubular de pequeno diâmetro. Automático ou semi-automático	Soldagem de aço carbono com espessuras $\geq$ 1 mm. Soldagem de chapas
Soldagem MIG/MAG	Arco Elétrico	Continua. Eletrodo +	Argônio ou Hélio. Argônio + O <sub>2</sub> , Argônio + CO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>	Automática / Mecanizada ou semi-automática. O arame é sólido	Soldagem de aço carbono, baixa e alta liga, não ferrosos, com espessuras $\geq$ 1 mm. Soldagem de tubos, chapas, etc. Qualquer posição
Soldagem TIG	Arco Elétrico	Continua ou Alternada. Eletrodo -	Argônio, Hélio ou mistura destes	Manual ou Automática. Eletrodo não consumível de tungstênio. O arame é adicionado separadamente	Soldagem de todos os metais, exceto Zn, Be e suas ligas, espessuras de 1 a 6 mm. Soldagem de não ferrosos e aço inox. Passes de raiz de soldas em tubulações
Soldagem a gás	Chama oxiacetilênica		Gás (CO, H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> )	Manual. Arame adicionado separadamente	Soldagem manual de aço carbono, Cu, Al, Zn, Pb e bronze. Soldagem de chapas finas e tubos de pequeno diâmetro

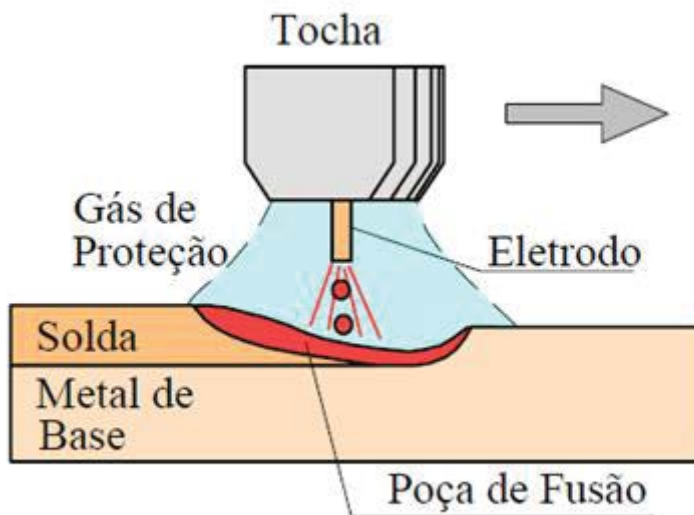
Fonte. (MODENESE, 2000)



### 3.1.3 PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW

Este processo de soldagem tem como característica principal a utilização de um arco de soldagem que produz a união das peças a serem soldadas pelo aquecimento com um arco elétrico entre o metal adicional chamado de consumível e a peça. A figura a seguir mostra esquematicamente o processo de soldagem GMAW:

Figura 11 – Soldagem pelo processo Gmaw



Fonte. (MODENESE, 2000)

Neste processo de soldagem podemos utilizar como gás de proteção o hélio e o argônio, porém em processos de solda em aço carbono encontramos uma mistura dos gases argônio, oxigênio e gás carbônico. O argônio e o hélio são considerados gases inertes e por isso o processo de soldagem com a utilização destes gases é chamado de MIG (*metal inert gas*), o processo de mistura de gases é chamado de (*metal active gás*).

Este processo de soldagem possui uma particularidade; ele trabalha com arame contínuo e por isso é utilizado em indústrias mecanizadas. Sendo um processo mecanizado, a solda obtida tem elevada deposição de material. Este processo vem substituindo o processo de

soldagem por eletrodo revestido. Segue em anexo tabela 5 com as características fundamentais deste processo de soldagem, evidenciando as vantagens e aplicações deste processo.

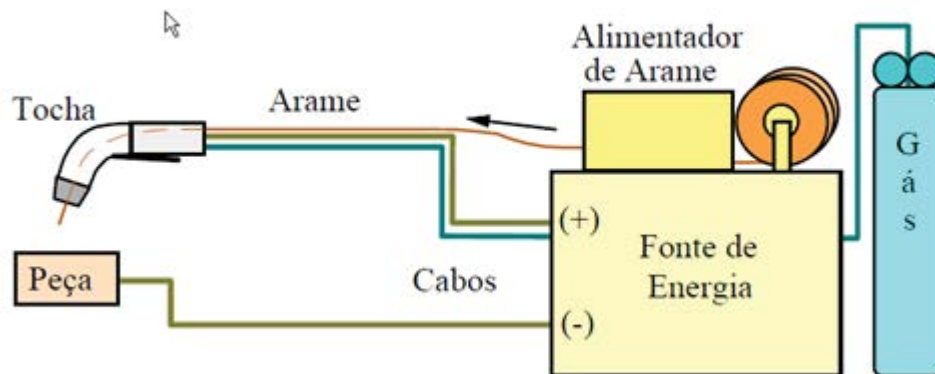
Tabela 5 - Vantagens, limitações e aplicações do processo GMAW

<b>Vantagens e limitações</b>	<b>Aplicações</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Processo com eletrodo contínuo.</li> <li>• Permite soldagem em qualquer posição.</li> <li>• Elevada taxa de deposição de metal.</li> <li>• Elevada penetração.</li> <li>• Pode soldar diferentes ligas metálicas.</li> <li>• Exige pouca limpeza após soldagem.</li> <li>• Equipamento relativamente caro e complexo.</li> <li>• Pode apresentar dificuldade para soldar juntas de acesso restrito.</li> <li>• Proteção do arco é sensível a correntes de ar.</li> <li>• Pode gerar elevada quantidade de respingos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soldagem de ligas ferrosas e não ferrosas.</li> <li>• Soldagem de carrocerias e estruturas de veículos.</li> <li>• Soldagem de tubulações, etc.</li> </ul>

Fonte. (MODENESE, 2000)

Para este processo de soldagem o equipamento utilizado é composto por um alimentador de consumível, uma fonte direta de energia, tocha e a fonte de gás. Os valores de tensão aplicados na fonte de energia podem variar de 10 a 50V, e a característica principal deste processo é que a velocidade do alimentador de consumível varia de 1 a 18m/min. A função principal da tocha é fornecer a corrente elétrica ao arame de solda, e permite a passagem do gás por orifícios.

Figura 12- Equipamentos da solda GMAW



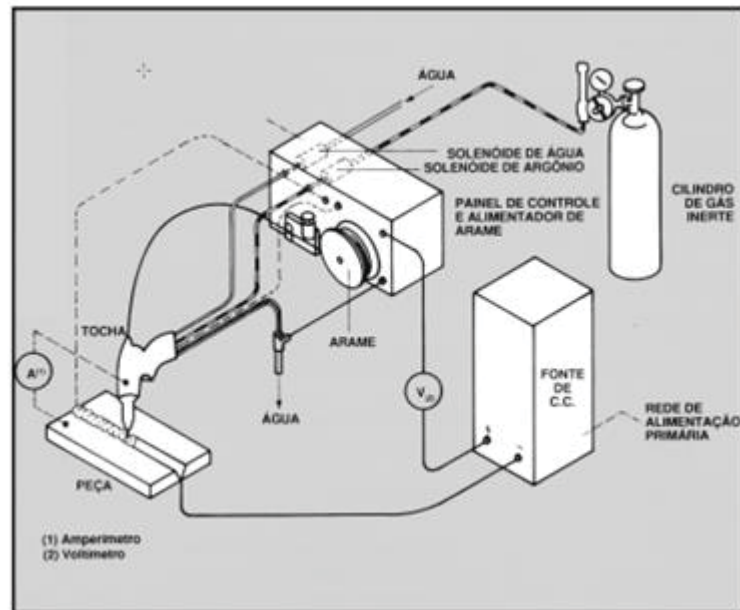
Fonte. (MODENESE, 2000)

Neste processo de soldagem, o que determina as características finais da junta soldada é a forma que o metal de adição junto ao gás de proteção se transfere na poça de fusão. Apesar do processo de soldagem GMAW possuir uma proteção rica em argônio, exige-se uma elevada corrente para o seu funcionamento e com isso mostra sua limitação para soldas em ambientes não planos, por gerar uma poça de fusão grande e com elevada penetração.

### 3.1.4 PROCESSO DE SOLDAGEM MIG

Reforçando o que já foi passado anteriormente o processo de solda MIG necessita de uma atmosfera de gás inerte para a proteção da junta soldada. Neste processo é necessário que a corrente seja contínua com polaridade inversa. Uma característica importante para este processo de soldagem é a alta aplicação que varia de ligas de alumínio, cobre e aços inoxidáveis. A vantagem em relação ao processo GMAW é que permite a soldagem em diversas posições com espessuras de chapas de até 0.8mm aproximadamente.

Figura 13 Processo de soldagem MIG



Fonte. (MODENESE, 2000)

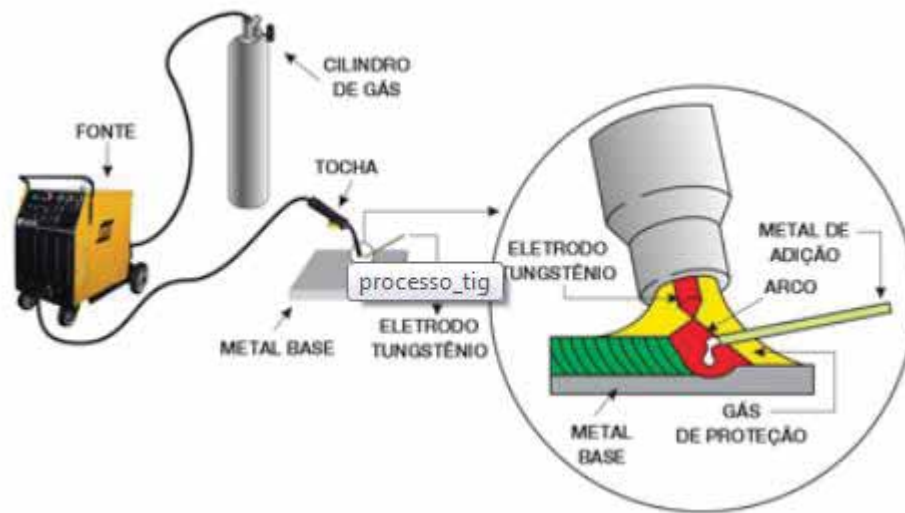
Os equipamentos necessários para o processo de soldagem MIG são: uma pistola, um sistema alimentador, uma fonte de potência de corrente contínua, cilindro de gás protetor com medidores de pressão e controle de vazão, água para refrigeração e um eletrodo, como mostrado na figura 13.

### 3.1.5 PROCESSO DE SOLDAGEM TIG

Indo ao encontro do escopo deste trabalho, o processo de soldagem TIG como o processo de soldagem mais empregado em tubulações industriais em aços carbono. É um processo que utiliza um eletrodo de tungstênio não consumível, e semelhante ao processo MIG, no ato de soldagem existe uma camada protetora de gás inerte, (ESAB).

A soldagem TIG produz uma solda limpa e de alta qualidade. Como não é gerada escória a chance de inclusão da mesma no metal de solda é eliminada, e a solda não necessita de limpeza no final do processo (ESAB,2013).

Figura 14 Processo de soldagem TIG



Fonte. (ESAB,2000)

A soldagem TIG tem inúmeras aplicações em soldagem de chapas, ligas de aços e alumínio, em geral é utilizada em tubos de aço carbono baixa liga e passes de raiz de solda. Segue em anexo exemplos de processos de soldagem TIG.

Tabela 6 – Tipos de processo de soldagem TIG

TIPOS DE PROCESSO			
TIPO DE CORRENTE	CONTÍNUA		ALTERNADA
Características	Direta CC-	Inversa CC+	CA
Objetivo	Penetração profunda e preservação do tungstênio	Penetração "rasa" e efeito limpeza de óxido superficial	Preservação do W e efeito limpeza a cada meio ciclo
Aplicação	Aços carbono, baixa/alta liga, inoxidáveis, prata e cobre e ligas, revestimentos	Viável para soldagem de pequenas espessuras	Alumínio, magnésio e suas ligas
Eletrodo de W: capacidade de suportar corrente sem fundir	Ótima, pode-se usar altos valores de corrente	Pobre, somente para baixos valores de corrente	Boa, pode-se usar valores intermediários de corrente
Ação de limpeza do óxido na soldagem de Al e Mg e suas ligas	Não	Sim	Sim, a cada meio ciclo
Balanco de calor no arco (aprox.)	70% na peça, 30% no eletrodo	30% na peça, 70% no eletrodo	50% na peça, 50% no eletrodo
Fluxo de elétrons - Penetração			

Fonte. (ESAB,2000)

O processo de soldagem TIG tem como vantagem, além de obter uma solda limpa e sem escórias, um acabamento muito bom garantindo ótimas propriedades mecânicas para o material soldado, permite ao soldador um elevado controle da poça de fusão, este controle é de fato permitido em função da baixa deposição do consumível gerando a limitação de ser um processo lento, (ESAB, 2013)

#### **4. DESCONTINUIDADE DE SOLDA**

O termo descontinuidade de solda surge quando ocorre um desgaste ou interferência nas condições estruturais na região soldada, destacando a falta de uma homogeneidade das propriedades mecânicas, físicas e metalúrgicas. As descontinuidades podem ser consideradas defeitos de soldagem, e estes defeitos surgem de acordo com as especificações recomendadas.

Deste modo, o conhecimento dos tipos de descontinuidade, relacionadas à operação de soldagem e seus mecanismos de formação e controle, representará a diferença entre a operação esperada do componente ou a sua indesejada falha. A presença de descontinuidades exige a aplicação de medidas corretivas que acarretam uma elevação no tempo e no final valor do equipamento fabricado além, logicamente, da insatisfação do cliente (RODRIGUES BARRA, 1999).

Os defeitos encontrados nas soldas em aço carbono são variáveis, e os principais são: trincas, porosidade, falta de penetração de solda, excesso de solda e variações no tamanho e aspecto da solda.

##### **4.1 FALTA DE PENETRAÇÃO DE SOLDA**

Este defeito é muito importante de ser estudado em função de tornar a área soldada um ponto concentrador de tensão, aspecto este que pode gerar uma falha muito maior com o decorrer do tempo.

Esta falha se caracteriza na falta de penetração da raiz de solda no metal base, em casos de solda em chanfros esta descontinuidade ocorre quando a corrente utilizada é baixa, a preparação da peça é inadequada ou quando a velocidade de soldagem é alta em relação a corrente empregada.

#### 4.2 MORDEDURA

Este defeito tem como característica fundamental a formação de sulcos em todo o contorno do metal base, neste caso uma área maior do que a área do cordão de solda é fundida e com isso semelhante a falta de penetração causa um ponto forte concentrador de tensão.

Esta descontinuidade é causada com o mal uso da tocha, uso de corrente muito alta ou muito baixa em relação a espessura do metal.

#### 4.3 FALTA DE FUSÃO

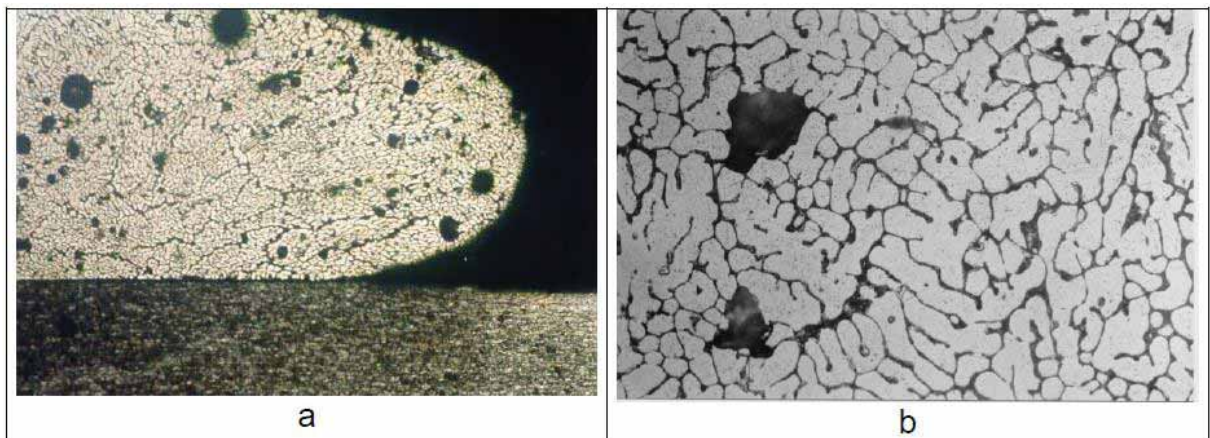
A falta de fusão ocorre quando o metal base não consegue fundir com o metal de solda, este processo ocorre quando a corrente é insuficiente e principalmente quando a superfície a ser soldada não é preparada corretamente, ou seja, é necessário remover toda a camada de óxido existente na superfície a ser soldada, e quando isso não é feito corretamente o metal base não funde junto ao metal da solda.

#### 4.4 POROSIDADE

A porosidade nada mais é do que o aparecimento de bolhas de hidrogênio, ou lacunas no cordão de solda, em pequenas quantidades este fator não influencia negativamente a junta soldada, porém em grandes quantidades, a resistência e a ductilidade da junta são fortemente prejudicadas. Uma forma de diminuir a incidência de poros na solda é a utilização de uma corrente alta de soldagem, o surgimento do poro se dá quando a velocidade de solidificação da solda é inferior à velocidade de separação dos gases e vapores intrínsecos à poça de soldagem, este processo pode ser facilmente evitado quando a soldagem for de forma lenta e gradual.

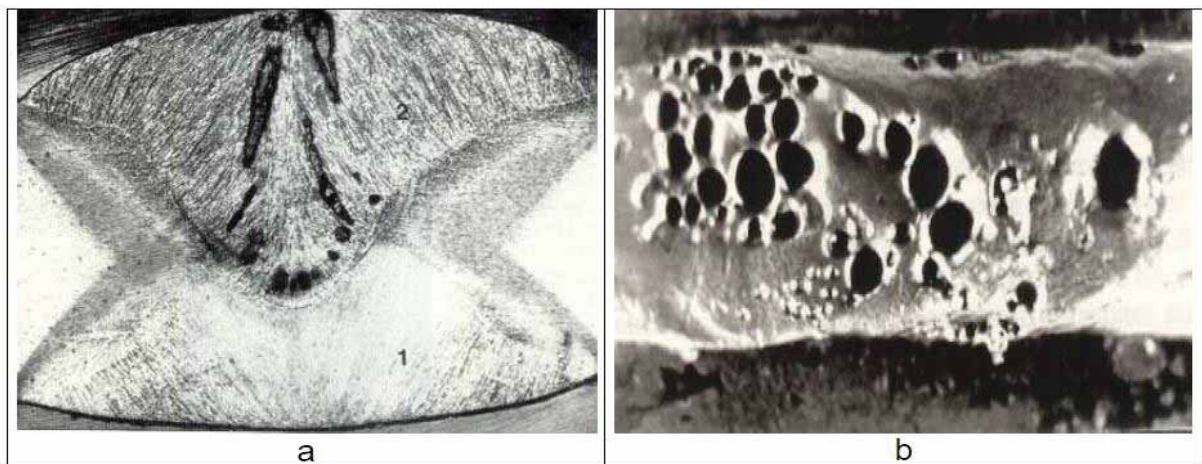
Os gases que causam porosidade são o hidrogênio, nitrogênio e dióxido de carbono. O hidrogênio tem origem na umidade presente no consumível ou no metal de base. Para o nitrogênio a origem vem da captação do ar vizinho ao arco voltaico. No caso do dióxido de carbono a origem está na combinação de  $O_2$  e metal de base em aço não acalmado (RODRIGUES BARRA, 1999).

Figura 15 – Macrografia mostrando a presença de porosidade na forma esférica num cordão de solda em AlSi (a) e microporosidade entre os ramos dendríticos no mesmo cordão (b).



Fonte. (RODRIGUES BARRA, 1999)

Figura 16 – Porosidade vermicular com direção e crescimento da raiz para o reforço (a) e porosidade agrupada (b). (RODRIGUES BARRA, 1999).



Fonte. (RODRIGUES BARRA, 1999)



## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para este trabalho utilizamos uma barra de aço carbono – aço ABNT 1020 com 46% Mn, 0.9% de P, 0.2% de S, 2.1% Si, 1% Ni, 4% Cr, 2% Mo, 0,21% Al, 1% Cu, 2% V.

A vareta de solda utilizada foi a Vareta ER70S3 AWS 3,25 mm de espessura, com a mesma especificação do material do tubo.

### 5.2 MÉTODOS

Para a análise da estrutura da solda e ainda do metal base, e avaliar levando em consideração os parâmetros de soldagem, foram confeccionados quatro corpos de prova sob o processo de soldagem TIG, variando a velocidade de soldagem, a amperagem e submetendo um dos escopos ao pré-aquecimento. Foi utilizado como referência a EPS (especificação de procedimento de soldagem) da empresa Montevale, e materiais com certificação que serão mostrados nos anexos.

Os corpos de prova foram confeccionados na união de dois tubos em aço carbono seguindo parâmetros de soldagem distintos, porem seguindo a mesma EPS (Anexo I).

As características do material utilizado (tubo e vareta de solda) foram a mesma para todos os corpos de prova conforme Anexos 3 e 4.

### 5.3 AMOSTRA 1

Soldado conforme EPS MONT.001

Processo: GTAW-TIG

Amperagem (A) 50-70

Voltagem (V) 20-25

Velocidade 14 cm/min

### Sem Pré-Aquecimento

Primeiramente foi cortado um trecho do tubo em aço carbono com auxílio da lixadeira e utilizado um disco de corte para o processo de corte, em seguida com a utilização do disco de desbaste na mesma lixadeira foi preparada a superfície a ser soldada, o que vulgarmente chamamos de bixel, posteriormente com o auxílio da retífica, a superfície foi polida e todo e qualquer óxido que possa restou na superfície de soldagem foi retirado.

Figura 17-Detalhe do cordão de solda da amostra 1



Fonte. (AUTOR, 2013)

Figura 18- Detalhe do passe de raiz na parede interna ao tubo



Fonte. (AUTOR, 2013)

#### 5.4 AMOSTRA 2

Soldado conforme EPS MONT.001

Processo: GTAW-TIG

Amperagem (A) 50-70

Voltagem (V) 20-25

Velocidade 14 cm/min

Pré-aquecimento a uma temperatura de 41°C

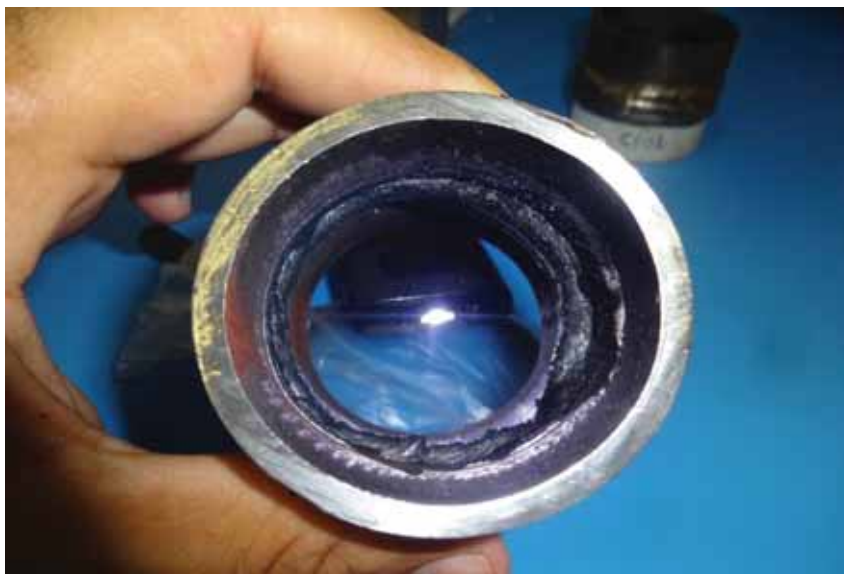
Foi realizado o pré-aquecimento da superfície a ser soldada a 41°C com temperatura determinada pelo pirômetro. Os parâmetros de soldagem foram mantidos e seguidos conforme a EPS.

Figura 19- Detalhe do cordão de solda da amostra “2”



Fonte. (AUTOR, 2013)

Figura 20- Detalhe do passe de raiz na parede interna ao tubo



Fonte. (AUTOR, 2013)

Nota-se que a zona termicamente afetada neste caso é maior em comparado ao corpo de prova 1, em função do pré-aquecimento a estrutura do material sofre perda de têmpera , causando uma ZTA menos evidente e uma maior penetração do passe de raiz na parede interna ao tubo.

### 5.5 AMOSTRA 3

Soldado conforme EPS MONT.001

Processo: GTAW-TIG

Amperagem (A) 40

Voltagem (V) 20-25

Velocidade 14 cm/min

Neste corpo de prova a máquina de solda foi regulada com uma amperagem de 40 A, menor do que a especificada na EPS.

Figura 21- Detalhe do cordão de solda da amostra 3



Fonte. (AUTOR, 2013)

Figura 22- Detalhe do passe de raiz interna ao tubo



Fonte. (AUTOR, 2013)

Neste processo de soldagem, com amperagem baixa percebemos uma área sem penetração de solda, causando no passe de raiz uma porosidade evidente, tendo como característica principal um forte ponto concentrador de tensão, fragilizando a peça.

## 5.6 AMOSTRA 4

Soldado conforme EPS MONT.001

Processo: GTAW-TIG

Amperagem (A) 140

Voltagem (V) 20-25

Velocidade 14 cm/min

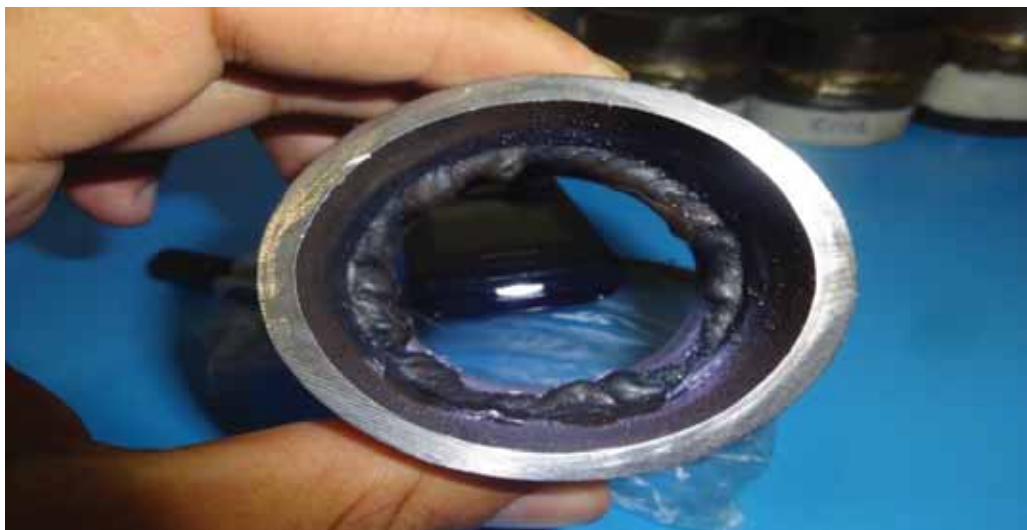
Neste corpo de prova a máquina de solda foi regulada com uma amperagem de 140 A, maior do que a especificada na EPS.

Figura 23- Detalhe do cordão de solda 4



Fonte. (AUTOR, 2013)

Figura 24- Detalhe do passe de raiz interno ao tubo



Fonte. (AUTOR, 2013)

Uma particularidade deste processo de soldagem é a dificuldade do soldador em controlar a tocha, causando uma solda com alta penetração e excesso de consumo do metal de adição, ele atinge uma ZTA maior que os processos e causou, como mostrado na figura 22, um defeito de soldagem Mordedura, um ponto forte concentrador de tensão, causando também fragilidade na peça.

Tabela 7. Comparação dos parâmetros de soldagem das amostras

AMOSTRA	PROCEDIMENTO	PROCESSO	AMPERAGEM(A)	VOLTAGEM (V)	VELOCIDADE(v)	PRÉ-AQUECIMENTO ( °C)
1	EPS MONT001	TIG	60	23	14	-
2	EPS MONT001	TIG	60	23	14	À 41 °C
3	-	TIG	40	23	14	-
4	-	TIG	140	23	14	-

Fonte. (AUTOR, 2013)

## 5.7 ENSAIOS

Seguindo o conceito de determinação do corpo de prova que mais se adequa as condições de altas pressões e temperaturas. Foram realizados alguns ensaios nos corpos de prova, de forma a obter descontinuidades nas soldas.

### 5.7.1 ENSAIO DE LÍQUIDO PENETRANTE

O ensaio de líquido penetrante visa à obtenção de poros no passe de raiz. A obtenção desta descontinuidade favorece para desqualificar a solda num processo de qualificação da junta soldada.

Primeiramente a junta soldada foi limpa com água potável, e foi aplicado o solvente para remoção de graxas, tintas e impurezas em geral. Após a secagem do produto foi aplicado o *spray* de penetração da superfície, e após dez minutos, o *Metal check* para a visualização da descontinuidade.

Foram detectados poros na superfície da solda do corpo de prova 3, indicando que este corpo de prova não passou no teste de qualidade da junta. Os poros são fortes concentradores de tensão e acabam por fragilizar a peça soldada.



Figura 25- Aplicação de líquido penetrante nos passes de raiz



Fonte. (AUTOR, 2013)

Figura 26- Detalhe do poro na amostra “3”



Fonte. (AUTOR, 2013)

Os resultados estão evidenciados no relatório de líquido penetrante (Anexo 2).

### 5.7.2 ENSAIO POR ULTRASSOM DE SOLDA

Este ensaio visa à obtenção de descontinuidades por meio de ultrassom da junta soldada, analisando tanto o interior da junta soldada quanto a ZTA e a superfície externa do cordão de solda.

Inicialmente é feita uma limpeza no corpo de prova com água potável, secando logo em seguida para não ocorrer oxidação do metal. Em seguida aplica-se o acoplante, uma solução de metil-celulose cuja função é acoplar o cabeçote revelador à junta soldada. Os materiais e resultados serão mostrados no relatório de ensaio por ultrassom no anexo 4.

Após a aplicação do acoplante, manualmente, o técnico lança mão do cabeçote revelador e em movimentos retilíneo desliza o cabeçote revelador em toda a região soldada e nas superfícies externas da solda, variando desde o cordão até a ZTA.

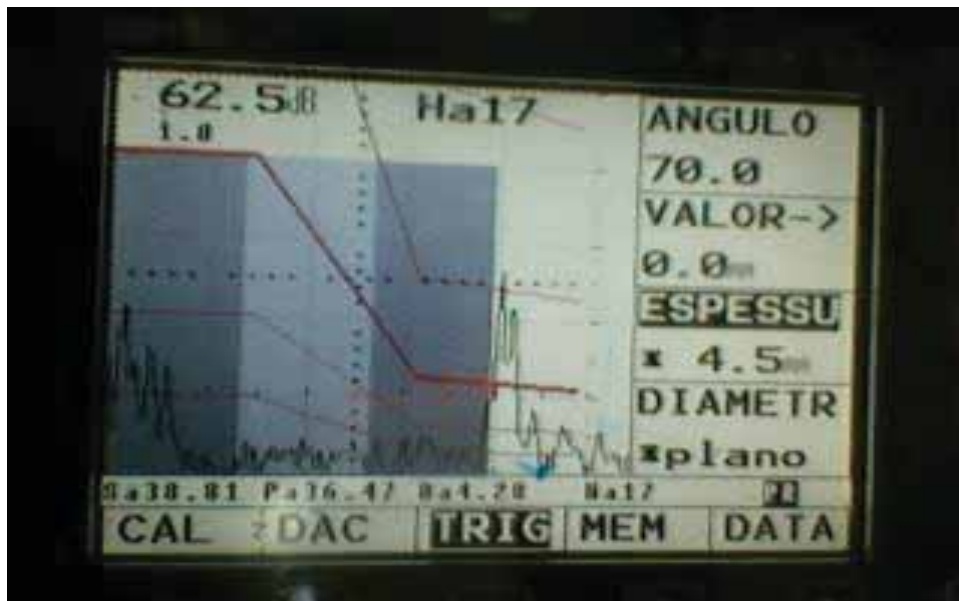
O cabeçote revelador é acoplado por meios de cabos a um painel que transmite por meio de um gráfico a vibração ou onda ultrassônica que reflete em uma descontinuidade ou falha de solda.

O ensaio por ultrassom é caracterizado por uma ferramenta muito útil na obtenção da qualidade do material e equipamento submetido a soldas.

Figura 27- Amostra submetida ao ultrassom

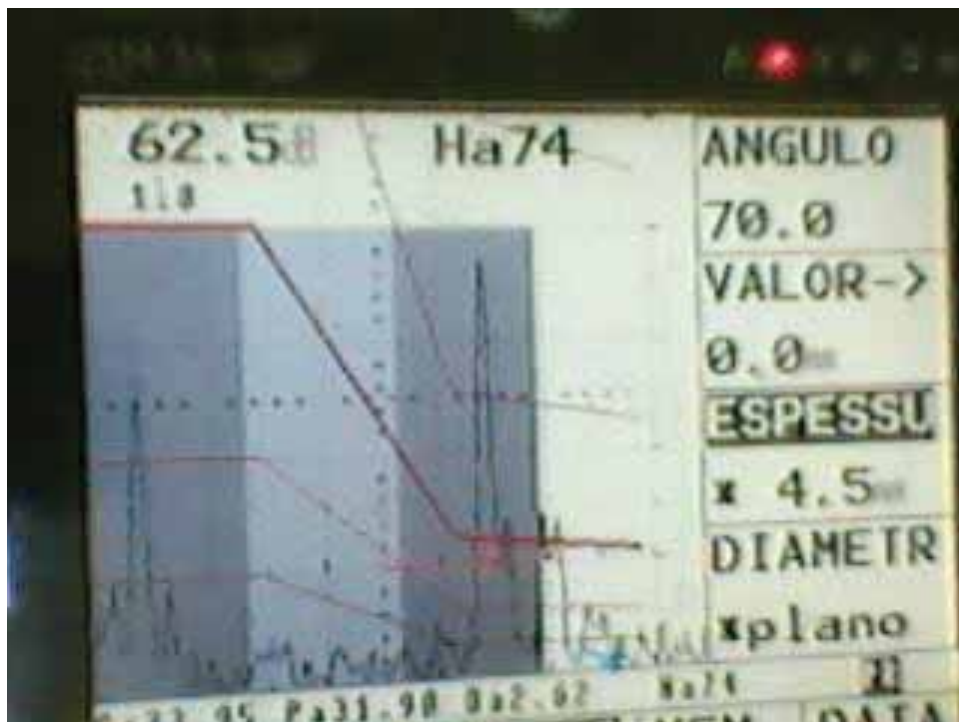


Figura 28- Gráfico ultrassônico



Fonte. (AUTOR, 2013)

Figura 29 - Gráfico com descontinuidade



Fonte. (AUTOR, 2013)

Nota-se que estes gráficos mostram o ângulo de penetração do raio, o cálculo da espessura do material e ainda as faixas adequadas de soldagem, a particularidade do gráfico mostrado na Figura 27 é a extrapolação do limite aceitável de solda, ou seja, neste ponto foi revelado uma descontinuidade da solda, que por sua vez reflete na onda ultrassônica e transmite a extrapolação do ponto normal da solda. Esta descontinuidade foi detectada no ensaio do corpo de prova 3, comprovando o surgimento de poros em função da amperagem baixa.

### 5.7.3 ENSAIO DE MACROGRAFIA DO CORPO DE PROVA

Este ensaio visa à obtenção de uma imagem ampliada da estrutura do material, podemos visualizar com muita precisão os detalhes do cordão de solda, o metal base, contornos de grão do material e a zona termicamente afetada.

Para a obtenção de uma imagem satisfatória primeiramente precisamos obter um corpo de prova com dimensões adequadas, com o auxílio da serra de fita da oficina mecânica da universidade cortamos os quatro corpos de prova em tamanhos menores de forma a adequar às próximas etapas do ensaio, em seguida com o auxílio da serra vertical cortamos um feixe longitudinal do corpo de prova para possibilitar a análise da superfície soldada, as figuras 30 e 31 vão mostrar os resultados dos cortes propriamente ditos:

Figura 30- Corpo de prova após corte com a serra de fita



Fonte. (AUTOR, 2013)

Figura 31- Corpo de prova após corte com serra vertical



Fonte. (AUTOR, 2013)

Após o processo de corte das amostras foi feito o procedimento de lixamento na superfície da solda. Este processo é necessário para a melhor visualização da estrutura do material no estereoscópio. Foi utilizado lixa de 100 até a 1500, utilizando os equipamentos do laboratório de macrografia da universidade. Os movimentos de lixamento eram sempre perpendiculares da primeira lixa em relação à próxima, de forma a eliminar riscos na superfície do material do passe anterior.

Obtendo-se uma superfície com um bom acabamento utilizamos o ácido Nital 10% para demarcar a superfície a ser analisada, foi aplicado o reagente, e a peça lavada com água potável e álcool etílico e, por fim, seca com o secador para evitar a corrosão da superfície. A olho nu já foi possível a visualização da estrutura da solda do material.

Para finalizar o teste foi utilizado o microscópio com aumento de 65 vezes

Figura 32- Amostras após o lixamento.



Fonte. (AUTOR, 2013)

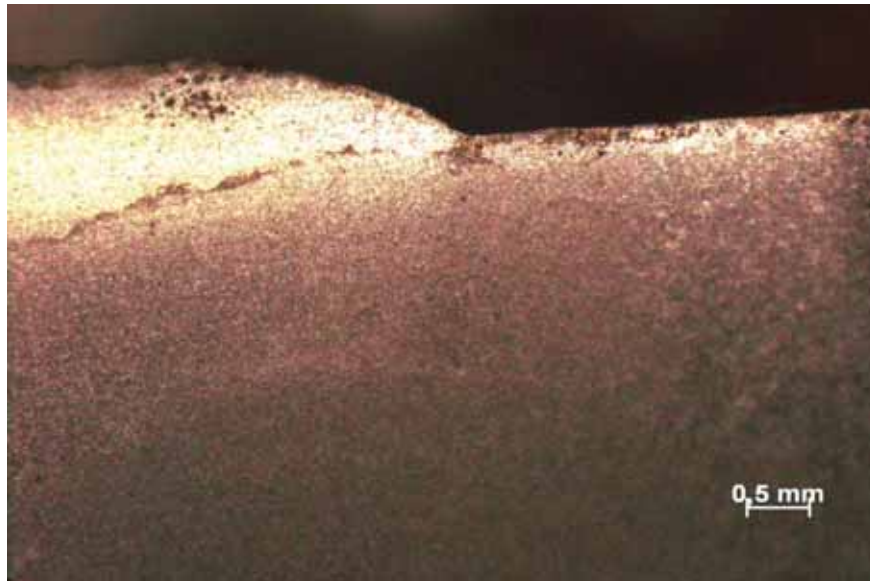
Figura 33 – Amostras após aplicação do nital 10%



Fonte. (AUTOR, 2013)

Nota-se a visualização do cordão de solda de acabamento mesmo com o olho nu.

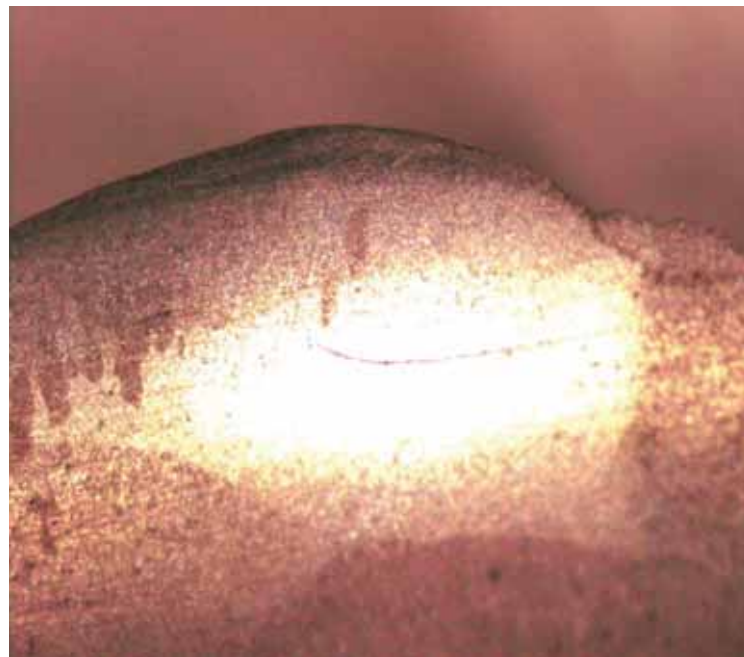
Figura 34- Detalhe do cordão de solda vista em microscópio da amostra 1



Fonte. (AUTOR, 2013)

Nesta imagem é importante salientar a falta de fusão do metal base com o passe de solda de acabamento. Neste caso evidenciando uma falha de soldagem e uma futura ruptura por fragilidade da solda.

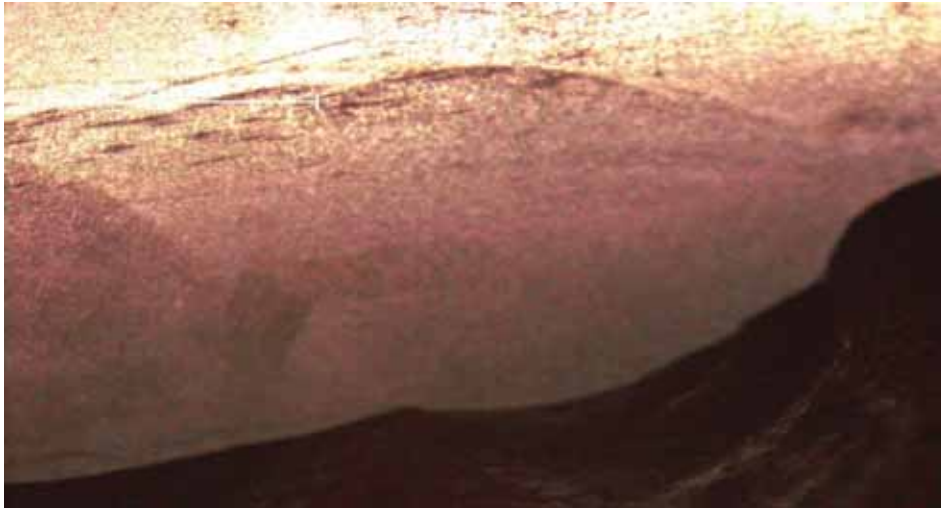
Figura 35- Detalhe do cordão de solda vista em microscópio da amostra 2



Fonte. (AUTOR, 2013)

Neste caso é evidente a total fusão do metal base com os passes de solda de enchimento e raiz, mostrando uma solda dentro dos padrões de qualidade.

Figura 36- Detalhe do cordão de solda visto em microscópio da amostra 3

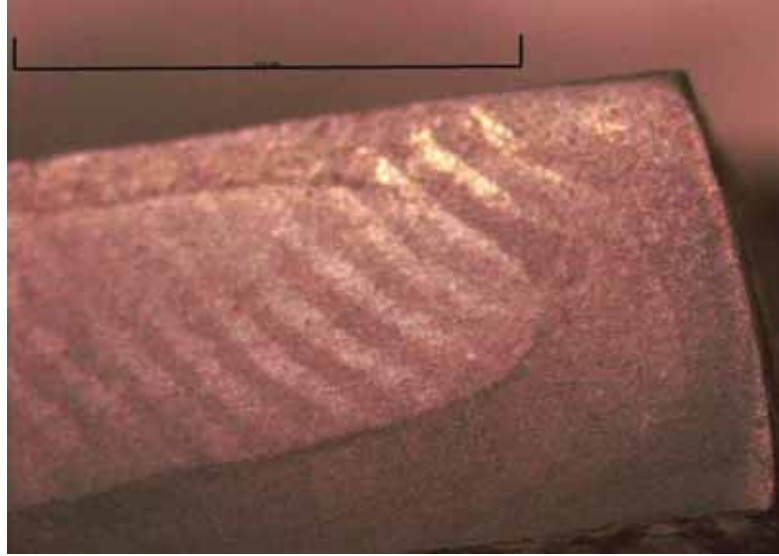


Fonte. (AUTOR, 2013)

Esta Amostra apresentou diversas trincas longitudinais na região do passe de enchimento de solda junto ao metal base, evidenciando uma descontinuidade, o que implicaria um forte ponto concentrador de tensão.



Figura 37- Detalhe do cordão de solda visto em microscópio da amostra 4



Fonte. (AUTOR, 2013)

Nesta amostra é evidente a região termicamente afetada. Esta imagem mostra desde a região da solda até a extremidade da amostra, dando ênfase à extremidade, em função da alta amperagem utilizada na soldagem afetou uma área maior da estrutura do material, ou seja, devido ao alto aporte de calor na solda a ZTA foi mais evidente em comparação com as demais amostras.

## 6. DISCUSSÕES

Após a análise dos ensaios realizados nas quatro amostras e dos resultados propriamente dito, alguns fatores importantes foram detectados. Estes fatores serão listados a seguir, visando à obtenção do melhor cenário para a aplicação em tubulações de vapor com altas temperaturas e pressões.

A amostra 1, que foi realizado seguindo as recomendações da EPS, não apresentou nenhuma irregularidade no ensaio de líquido penetrante, porém no ensaio de macrografia verificamos a falta de fusão no passe se raiz com o passe de acabamento.

A amostra 2, em que foi aplicado o pré-aquecimento, não apresentou nenhum poro no ensaio de líquido penetrante e apresentou uma grande facilidade no processo de corte com a serra vertical o que comprova a perda de dureza do material em função do pré-aquecimento. O ensaio de ultrassom não apresentou nenhuma irregularidade na solda e nem na superfície próxima a solda, e apresentou a melhor fusão de solda entre o metal base e o passe de raiz e o passe de raiz com o passe de acabamento no ensaio de macrografia.

A amostra 3, realizado com amperagem de soldagem reduzida, como mencionado anteriormente, apresentou surgimento de poros na região da solda, detectados tanto no ensaio de líquido penetrante quanto no ensaio de ultrassom. No ensaio de macrografia detectamos trincas longitudinais no passe de solda de raiz e no aspecto visual foi detectada falta de fusão de solda, o que configura esta amostra como reprovada nos quesitos de qualidade.

A amostra 4, em que foi elevada a amperagem dá máquina de solda, apresentou uma descontinuidade visual – mordedura – e excesso de solda no passe de raiz. No ensaio de líquido penetrante e ultrassom não foram detectados poros nem descontinuidades, porém no ensaio de macrografia foi verificado uma grande ZTA, que implica em fragilidade estrutural do material, ou seja, o excesso de calor alto causou esta grande área termicamente afetada.

## 7. CONCLUSÕES

Após a realização das análises em quatro amostras visando à obtenção da melhor configuração de solda para atender a demanda energética de uma linha de vapor com alta pressão e temperatura. Podemos concluir que a configuração mais adequada para esta demanda foi a soldagem com os parâmetros definidos no corpo de prova 2, ou seja, com pré aquecimento seguindo as recomendações da EPS.

Nos ensaios efetuados na amostra 2 não foram encontrados poros, nem descontinuidades tanto na região soldada quanto na zona termicamente afetada. No ensaio de macrografia visualizamos uma total fusão dos passes de solda de raiz com o metal base e com os passes de acabamento.

Vale ainda ressaltar que, ao seguir as recomendações da EPS, o processo de soldagem foi bem facilitado, a área de soldagem após o aquecimento facilitou a fusão da vareta de solda com o metal base.

Os resultados obtidos nas demais amostras não foram satisfatórios, já que em todos os outros surgiram descontinuidades que reprovam a qualidade da solda efetuada. O surgimento de poros, trincas, falta de fusão e excesso de solda, configuram uma solda fora dos padrões aceitáveis.

Por fim, verificamos que podemos aprimorar os parâmetros de soldagem de forma a obter uma solda resistente, com aspectos visuais e macros satisfatórios. Uma simples ação de pré-aquecimento e eliminação de óxidos da superfície podem levar a resultados excelentes nos testes de qualidade. É importante também salientar que uma solda com qualidade garante a longevidade de uma tubulação e a segurança do processo a ela empregado, todos os equipamentos instalados em uma tubulação soldada dependem desta qualidade para o seu perfeito funcionamento. Em função da alta necessidade de automatizar as tubulações com medidores e outros instrumentos, a solda deve a cada dia se aprimorar, já que, qualquer saliência no passe de raiz ocasiona a medição errada de vazão e temperatura, por exemplo.

## REFERÊNCIAS

MODENESE, Paulo J.; MARQUES Villani. **Introdução aos processos de soldagem**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2000. 52p. Disponível em: [http://www.infosolda.com.br/new\\_site](http://www.infosolda.com.br/new_site). Acesso em 29-nov-2013.

BARRA, Sérgio R.; PEREIRA, Aldo S. **Descontinuidades em soldagem**. Universidade Federal de Santa Catarina, 1999. 33p.

TELLES, Pedro C; Silva. **Tubulações industriais**. 10ª Ed, Editora LTC, 2006.




ESAB. **Soldagem e cortes Brasil**. Disponível em : <http://www.esab.com.br/>. Acesso em 08 set. 2013.





THE JAMES F. LINCOLN. **The procedure handbook of arc welding**. 14ª Ed, James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 2000.




KOU, Saído. **Welding Metallurgy**. Editora John Wiley & Sons, 2ª Ed., 2003.




## ANEXOS

## RELATÓRIO DE ENSAIO DE LÍQUIDO PENETRANTE

RELATÓRIO DE ENSAIO POR LÍQUIDOS PENETRANTES (DYE PENETRANT TEST REPORT)				Relatório N.º: (Report No.) LP-001/13		
				Folha N.º: (Sheet No.) 01 de 01		
CLIENTE (CUSTOMER) TRABALHO DE GRADUAÇÃO	COD. ITEM (Part Number) —		O.C. / PROJETO (Purchase Order / Project) —			
MATERIAL (MATERIAL) AÇO CARBONO	DESENHO/ REV. (DRAWING REV.) —		PROCEDIMENTO DE ENSAIO/ REV. (TEST PROCEDURE/REV.) 2-M-014			
CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO (ACCEPTANCE CRITERIA) ASME Sec. VIII, Div. 1, Ap. 8	ESTADO DA SUPERFÍCIE (SURFACE CONDITION) ESCOVADA		ENSAIO REALIZADO (PERFORMED TEST) <input type="checkbox"/> Antes Alívio (BEFORE) <input type="checkbox"/> Após Alívio (AFTER) <input checked="" type="checkbox"/> N. A. (N.A.)			
TEMP. DA PEÇA (PART TEMPERATURE) (°C) 24°C	PROCED. DE SOLDAGEM/ REV. (WELDING PROCEDURE/REV.) MONT-001		SUPERFÍCIE DA SOLDA (WELD SURFACE) <input checked="" type="checkbox"/> NORMAL (NORMAL) <input type="checkbox"/> REBAIXADA (MACHINED) <input type="checkbox"/> N. A. (N.A.)			
OBJETO DE ENSAIO (Description / Dimensions) / (TEST OBJECT) (Description/Dimensions) CORPO DE PROVA N°1						
MATERIAIS PENETRANTES (PENETRATING MATERIALS)			TÉCNICA (TECHNIQUE) <input checked="" type="checkbox"/> Colorida (Colored) <input type="checkbox"/> Fluorescente (Fluorescent)			
REMOVEDOR (REMOVER) ÁGUA	LOTE N.º (LOT No.) —		TEMPO DE PENETRAÇÃO (min.) 10 min.			
PENETRANTE (PENETRANT AGENT) METAL-CHEK VP30	LOTE N.º (LOT No.) 14798		TEMPO DE REVELAÇÃO (min.) 20 min.			
REVELADOR (DEVELOPER) METAL-CHEK D70	LOTE N.º (LOT No.) 15832		LIMPEZA FINAL (FINAL CLEANING) <input checked="" type="checkbox"/> SIM (YES) <input type="checkbox"/> NÃO (NO)			
TAG / DESCONTINUIDADES (TAG / DISCONTINUITIES)						
ITEM (ITEM)	IDENTIFICAÇÃO / JUNTA (IDENTIFICATION / TOGETHER)	DESCONTINUIDADE (DISCONTINUITIES)			LAUDO (FINDING)	OBSERVAÇÕES (OBSERVATION)
		Nº	TIPO	COMP.		
1	CP 01	—	—	—	A	1
CROQUIS / OBSERVAÇÃO (SKETCHES / OBSERVATION)						
						
FOTO 01: ENSAIO REALIZADO NA RAIZ DA SOLDA		FOTO 02: DETALHE DA RAIZ DA SOLDA		FOTO 03: ENSAIO REALIZADO NO ACABAMENTO DA SOLDA		
RESULTADO (RESULT) <input checked="" type="checkbox"/> APROVADO (APPROVED) <input type="checkbox"/> REPROVADO (REJECTED) <input type="checkbox"/> REC (Recommendation for Additional Test)			OBSERVAÇÕES (NOTES) 1. Ensaio realizado na raiz e acabamento da solda			
DATA (DATE): INSPECIONADO POR: Marcelo Vinícius de Carvalho LP-Nº-G SND-CEND.20014		DATA (DATE): CONTROLE QUALIDADE		DATA (DATE): CLIENTE		
Inspected by:		Quality Control		Customer		

RELATÓRIO DE ENSAIO POR LÍQUIDOS PENETRANTES ( DYE PENETRANT TEST REPORT )				Relatório N.º: (Report No.): LP-002/13		
				Folha N.º: (Sheet No.): 01 de 01		
CLIENTE (CUSTOMER) <b>TRABALHO DE GRADUAÇÃO</b>	COD. ITEM (Part Number) —		O.C. / PROJETO (Purchase Order / Project) —			
MATERIAL (MATERIAL) <b>AÇO CARBONO</b>	DESENHO REV. (DRAWING REV.) —		PROCEDIMENTO DE ENSAIO/ REV. (TEST PROCEDURE/REV.) <b>2-M-014</b>			
CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO (ACCEPTANCE CRITERIA) <b>ASME Sec. VIII, Div. 1, Ap. 8</b>	ESTADO DA SUPERFÍCIE (SURFACE CONDITION) <b>ESCOVADA</b>		ENSAIO REALIZADO (PERFORMED TEST) <input type="checkbox"/> Antes Alívio (BEFORE) <input type="checkbox"/> Após Alívio (AFTER) <input checked="" type="checkbox"/> N. A. (N.A.)			
TEMP. DA PEÇA (PART TEMPERATURE) (°C) <b>24°C</b>	PROCED. DE SOLDAGEM/ REV. (WELDING PROCEDURE/REV.) <b>MONT-001</b>		SUPERFÍCIE DA SOLDA (WELD SURFACE) <input checked="" type="checkbox"/> NORMAL (NORMAL) <input type="checkbox"/> REBAIXADA (MACHINED) <input type="checkbox"/> N. A. (N.A.)			
OBJETO DE ENSAIO (Description/Dimensions) / (TEST OBJECT) (Description/Dimensions) <b>CORPO DE PROVA N°2</b>						
MATERIAIS PENETRANTES (PENETRATING MATERIALS)			TÉCNICA (TECHNIQUE) <input checked="" type="checkbox"/> Colorida (Colored) <input type="checkbox"/> Fluorescente (Fluorescent)			
REMOVEDOR (REMOVER) <b>ÁGUA</b>	LOTE N.º (LOT No.) —		TEMPO DE PENETRAÇÃO (min.) <b>10 min.</b>			
PENETRANTE (PENETRANT AGENT) <b>METAL-CHEK VP30</b>	LOTE N.º (LOT No.) <b>14798</b>		TEMPO DE REVELAÇÃO (min.) <b>20 min.</b>			
REVELADOR (DEVELOPER) <b>METAL-CHEK D70</b>	LOTE N.º (LOT No.) <b>15832</b>		LIMPEZA FINAL (FINAL CLEANING) <input checked="" type="checkbox"/> SIM (YES) <input type="checkbox"/> NÃO (NO)			
TAG / DESCONTINUIDADES (TAG / DISCONTINUITIES)						
ITEM (ITEM)	IDENTIFICAÇÃO / JUNTA (IDENTIFICATION / JOINT)	DESCONTINUIDADE (DISCONTINUITIES)			LAUDO (FINDING)	OBSERVAÇÕES (OBSERVATION)
		Nº	TIPO	COMP.		
1	CP 02	—	—	—	A	1
CROQUIS / OBSERVAÇÃO (SKETCHES/ OBSERVATION)						
						
FOTO 01: ENSAIO REALIZADO NA RAZ DA SOLDA		FOTO 02: DETALHE DA RAZ DA SOLDA		FOTO 03: : DETALHE DA RAZ NO LADO OPOSTO DA SOLDA		
RESULTADO (RESULT) <input checked="" type="checkbox"/> APROVADO (APPROVED) <input type="checkbox"/> REPROVADO (REJECTED) <input type="checkbox"/> REC (Recommendation for Additional Test)			OBSERVAÇÕES (NOTES) 1. Ensaio realizado na raiz e acabamento da solda			
DATA (DATE): INSPECIONADO POR: Inspected by:		 Marcelo Vinicius de Carvalho LP-N2-G SNGQ/END:20014		DATA (DATE): CONTROLE QUALIDADE Quality Control		DATA (DATE): CLIENTE Customer

RELATÓRIO DE ENSAIO POR LÍQUIDOS PENETRANTES ( DYE PENETRANT TEST REPORT )				Relatório N.º: (Report No.): LP-004/13		
				Folha N.º: (Sheet No.): 01 de 01		
CLIENTE (CUSTOMER) TRABALHO DE GRADUAÇÃO	COD. ITEM (Part Number) —		O.C. / PROJETO (Purchase Order / Project) —			
MATERIAL (MATERIAL) AÇO CARBONO	DESENHO/ REV. (DRAWING REV.) —		PROCEDIMENTO DE ENSAIO/ REV. (TEST PROCEDURE/REV.) 2-M-014			
CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO (ACCEPTANCE CRITERIA) ASME Sec. VIII, Div. 1, Ap. 8	ESTADO DA SUPERFÍCIE (SURFACE CONDITION) ESCOVADA		ENSAIO REALIZADO (PERFORMED TEST) <input type="checkbox"/> Antes Alívio (BEFORE) <input type="checkbox"/> Após Alívio (AFTER) <input checked="" type="checkbox"/> N. A. (N.A.)			
TEMP. DA PEÇA (PART TEMPERATURE) (°C) 24°C	PROCED. DE SOLDAGEM/ REV. (WELDING PROCEDURE/REV.) MONT-001		SUPERFÍCIE DA SOLDA (WELD SURFACE) <input checked="" type="checkbox"/> NORMAL (NORMAL) <input type="checkbox"/> REBAIXADA (MACHINED) <input type="checkbox"/> N. A. (N.A.)			
OBJETO DE ENSAIO (Description/Dimensions) / (TEST OBJECT) (Description/Dimensions) CORPO DE PROVA N°4						
MATERIAIS PENETRANTES (PENETRATING MATERIALS)			TÉCNICA (TECHNIQUE) <input checked="" type="checkbox"/> Colorida (Colored) <input type="checkbox"/> Fluorescente (Fluorescent)			
REMOVEDOR (REMOVER) ÁGUA	LOTE N.º (LOT No.) —		TEMPO DE PENETRAÇÃO (min.) 10 min.			
PENETRANTE (PENETRANT AGENT) METAL-CHEK VP30	LOTE N.º (LOT No.) 14798		TEMPO DE REVELAÇÃO (min.) 20 min.			
REVELADOR (DEVELOPER) METAL-CHEK D70	LOTE N.º (LOT No.) 15832		LIMPEZA FINAL (FINAL CLEANING) <input checked="" type="checkbox"/> SIM (YES) <input type="checkbox"/> NÃO (NO)			
TAG / DESCONTINUIDADES (TAG / DISCONTINUITIES)						
ITEM (ITEM)	IDENTIFICAÇÃO / JUNTA (IDENTIFICATION / JOINT)	DESCONTINUIDADE (DISCONTINUITIES)			LAUDO (FINDING)	OBSERVAÇÕES (OBSERVATION)
		Nº	TIPO	COMP. (mm)		
1	CP 04	1	PO	3	A	1
CROQUIS / OBSERVAÇÃO (SKETCHES/ OBSERVATION)						
						
FOTO 01: ENSAIO REALIZADO NA RAZ DA SOLDA		FOTO 02: DETALHE DA RAZ DA SOLDA		FOTO 03: : DETALHE DA DESCONTINUIDADE NO ACABAMENTO DA SOLDA		
RESULTADO (RESULT) <input checked="" type="checkbox"/> APROVADO (APPROVED) <input type="checkbox"/> REPROVADO (REJECTED) <input type="checkbox"/> REC (Recommendation for Additional Test)			OBSERVAÇÕES (NOTES) 1. Ensaio realizado na raiz e acabamento da solda			
DATA (DATE): INSPECIONADO POR: Inspected by:	Marcelo Vinícius de Carvalho LP-N2-G SNOC/END/20014		DATA (DATE): CONTROLE QUALIDADE Quality Control	DATA (DATE): CLIENTE Customer		

RELATÓRIO DE ENSAIO POR LÍQUIDOS PENETRANTES ( DYE PENETRANT TEST REPORT )				Relatório N.º (Report No.): LP-003/13		
				Folha N.º (Sheet No.): 01 de 01		
CLIENTE (CUSTOMER): <b>TRABALHO DE GRADUAÇÃO</b>	COD. ITEM (Part Number): —		O.C. / PROJETO (Purchase Order / Project): —			
MATERIAL (MATERIAL): <b>AÇO CARBONO</b>	DESENHO REV. (DRAWING REV.): —		PROCEDIMENTO DE ENSAIO/ REV. (TEST PROCEDURE/REV.): <b>2-M-014</b>			
CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO (ACCEPTANCE CRITERIA): <b>ASME Sec. VIII, Div. 1, Ap. 8</b>	ESTADO DA SUPERFÍCIE (SURFACE CONDITION): <b>ESCOVADA</b>		ENSAIO REALIZADO (PERFORMED TEST): <input type="checkbox"/> Antes Alívio (BEFORE) <input type="checkbox"/> Após Alívio (AFTER) <input checked="" type="checkbox"/> N. A. (N.A.)			
TEMP. DA PEÇA (PART TEMPERATURE) (°C): <b>24°C</b>	PROCED. DE SOLDAGEM/ REV. (WELDING PROCEDURE/REV.): <b>MONT-001</b>		SUPERFÍCIE DA SOLDA (WELD SURFACE): <input checked="" type="checkbox"/> NORMAL (NORMAL) <input type="checkbox"/> REBAIXADA (MACHINED) <input type="checkbox"/> N. A. (N.A.)			
OBJETO DE ENSAIO (Description/ Dimensions) / (TEST OBJECT) (Description/Dimensions): <b>CORPO DE PROVA N°3</b>						
MATERIAIS PENETRANTES (PENETRATING MATERIALS):			TÉCNICA (TECHNIQUE): <input checked="" type="checkbox"/> Colorida (Colored) <input type="checkbox"/> Fluorescente (Fluorescent)			
REMOVEDOR (REMOVER): <b>ÁGUA</b>	LOTE N.º (LOT No.): —		TEMPO DE PENETRAÇÃO (min.): <b>10 min.</b>			
PENETRANTE (PENETRANT AGENT): <b>METAL-CHEK VP30</b>	LOTE N.º (LOT No.): <b>14798</b>		TEMPO DE REVELAÇÃO (min.): <b>20 min.</b>			
REVELADOR (DEVELOPER): <b>METAL-CHEK D70</b>	LOTE N.º (LOT No.): <b>15832</b>		LIMPEZA FINAL (FINAL CLEANING): <input checked="" type="checkbox"/> SIM (YES) <input type="checkbox"/> NÃO (NO)			
TAG / DESCONTINUIDADES (TAG / DISCONTINUITIES)						
ITEM (ITEM)	IDENTIFICAÇÃO / JUNTA (IDENTIFICATION / TOGETHER)	DESCONTINUIDADE (DISCONTINUITIES)			LAUDO (FINDING)	OBSERVAÇÕES (OBSERVATION)
		Nº	TIPO	COMP. (mm)		
1	CP 03	1	PO	5,1	R	1, 2
CROQUIS / OBSERVAÇÃO (CROQUIS/ OBSERVATION)						
						
FOTO 01: ENSAIO REALIZADO NA RAIZ DA SOLDA		FOTO 02: DETALHE DA RAIZ DA SOLDA		FOTO 03: DETALHE DA DESCONTINUIDADE NO ACABAMENTO		
RESULTADO (RESULT): <input type="checkbox"/> APROVADO (APPROVED) <input checked="" type="checkbox"/> REPROVADO (REJECTED) <input type="checkbox"/> REC (Recommendation for Additional Test)			OBSERVAÇÕES (NOTES): 1. Ensaio realizado na raiz e acabamento da solda 2. Poro encontrado no acabamento da solda			
DATA (DATE): INSPECIONADO POR: <i>Marcelo Vinicius de Carvalho</i> LP-NZ-G SNQC/END.20014		DATA (DATE): CONTROLE QUALIDADE Quality Control		DATA (DATE): CLIENTE Customer		



## RELATÓRIO DE ULTRASSOM DE SOLDA

		<b>RELATÓRIO DE ENSAIO POR ULTRASSOM</b>			RELATÓRIO Nº 001
					DATA: 05/09/2013
					FOLHA: 01 DE 01
CLIENTE: —	MONTADORA: —	OBRA/CONTRATO: —	DESENHO: —	NÚMERO DA LINHA: —	
MATERIAL: AÇO CARBONO	CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE: ESCOVADA	TIPO DE JUNTA: TOPO	ESPESSURA NOMINAL (mm): 3,9	ACOPLANTE METIL-CELULOSE	
EQUIPAMENTO UTILIZADO: KRAUTKRAMER USM35 DAC BNC / Serie 3160a	TÉCNICA APLICADA: PULSO ECO	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO: ASME Sec VIII, Div. 1 Ap 12 Ed. 2010	PROCEDIMENTO: —		

OBJETO DE ENSAIO  
TUBULAÇÃO DE 2"

## CABEÇOTES UTILIZADOS


NÚMERO DE SÉRIE	MODELO	TIPO	FABRICANTE	DIMENSÕES (mm)	FREQUÊNCIA (MHz)	PERDA POR TRANSF. (Db)
5746 13399	MSEB4	DUPLO CRISTAL	KRAUTKRAMER	3,5 x 10	4	—
56928 32785	MWB60/4	ANGULAR	KRAUTKRAMER	8 x 9	4	—
56929 31709	MWB70/4	ANGULAR	KRAUTKRAMER	8 x 9	4	—

## REGISTRO DOS RESULTADOS

ITEM	IDENTIFICAÇÃO / JUNTA	SINETE	DESCONTINUIDADES		LAUDO	SUPERFÍCIE DE INSPEÇÃO	OBS.:
			NUM.	TIPO			
01	CP 01	—	—	—	A	1	
02	CP 02	—	—	—	A	1	
03	CP 03	—	2	PO	R	1	
04	CP 04	—	—	—	A	1	


## CROQUI/OBSERVAÇÕES

CP 03 APRESENTOU POROS.

<b>RESULTADO</b> APROVADO <input checked="" type="checkbox"/> REPROVADO <input type="checkbox"/> REFAZER <input type="checkbox"/>		OBSERVAÇÕES/NOTAS
DATA: 05/09/2013	DATA:	
INSPETOR:  Luiz Carlos da Rocha CRA 016990 US - N 2 - S 2 - 1 US - N 2 - S 2 - 1	CONTROLE DE QUALIDADE:	CLIENTE:

CERTIFICADO DA VARETA DE SOLDA

**Belgo Bekaert Arames**



**Arcelemilho**

**BEKAERT**  
Soldar together

Belgo Bekaert Arames - Arames de Aço e Titânio e de Bekaert  
Avenida General David Seneff, 603-A  
Cidade Industrial - Campinas - MG  
Cep.: 13710-110

**CERTIFICADO DA QUALIDADE** **CERTIFICADO Nº** 0000000192672 **Pag. 1 / 1**

**Cliente:** 41034133 L.M.A.DOS SANTOS & CIA LTDA **Ordem:** 4995637 - 10 **Data de Impressão:** 11/12/2012

**Fornecimento:** 0300879941 **Pedido do Cliente:** 0064559

**Material:** 40400328 AR COB TIG 3,25 HD BME-C3

**Produto do Cliente:**

**Norma:** ASME SFAS.18 ED07 ERT70S3 AWS A5.18-05 ERT70S-3 ASME SFAS.18

**Análises Químicas**

Corrida Nº	Um	Ni	C	Cr	Co	Mn	Mo	Nb	P	S	Si	V
	Um	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
8979402		0,0023	0,0610	0,0219	0,0298	1,1470	0,0000	0,0142	0,0150	0,0117	0,5220	0,0004

NOTIÇA AVIS À V.T. / A.CLASSE DO LOTE S-1 B-NVEL TESTE H. VALORES MÍNIMOS DE NORMA LIM ESC 400 W/9 mm / LIM RES. 480 M/9 mm ALONG 50mm 20% mm / CH44P/ 480-57 2 mm / SANIDADE FUNDORFICA, OK

A Belgo Bekaert não se responsabiliza por cópias reproduzidas para fornecimento a terceiros.  
Belgo Bekaert does not accept responsibility for copies that may be reproduced to supply third parties.  
Belgo Bekaert no se responsabiliza por cópias reproduzidas para terceiros.

**Diâmetro:** 3,250 mm

**Quantidade:** 360,000

**Peso Líquido NF:** 360,000

**Nota Fiscal:** 000525655 **Emitida em:** 11/12/2012

**Data de Criação:** 11/12/2012

**CERTIFICADO SO 9001**

*Marlon*  
Marlon Antonio Ferreira Borges  
Responsável pelo Laboratório Físico

CERTIFICADO DO TUBO UTILIZADO

**CERTIFICADO DE INSPEÇÃO** N.º: **Folha:**  
 (De acordo com DIN EN 10204 3.1) 0050545381 1 / 2



**V&M** VALLOUREC & WANNESMANN TUBES  
 V & M do BRASIL S.A.  
 USINA BARREIRO - Belo Horizonte - MG - Brasil  
 CEP: 30161-970 - Caixa Postal: 1453

País: Brasil  
 Pedido Usina: 320377 / 000050  
 Cod. Material: 386503

Cliente: TUBOS IPIRANGA INDUSTRIA E COMERCIO LTDA  
 Pedido Cliente: P07-9.951  
 Inspeção: V & M do BRASIL S.A.  
 Número NEO:

Pedido Cotação Material:  
 Autorização Fornecimento Material:

**DIMENSÕES:** 60,30mm X 3,90mm GRAU DO AÇO : GR B / GR B /  
**NORMA METALÚRGICA:** API SPEC SL 01.10.2007 # PSL 1 # NORMA DIMENSIONAL: API SPEC 5L 01.10.2007  
**ATENDE TAMBÉM AS NORMAS:** A 106 / 2011, # ABNT NBR 6321 / 2011 #  
**PRODUTO:** TUBOS DE AÇO SEM COSTURA LAMINADO À QUENTE, PONTA CHANFRADA 37,5 GR # LAMINADO # PROTECAO SUPERFICIAL: SEM PROTECAO #  
**TOLERÂNCIAS:** DIÂMETRO EXTERNO(CORPO TUBO): - 0,452mm / + 0,452mm / + 0,452mm DIÂMETRO EXTERNO(PONTAS): - 0,400mm / + 0,800mm  
**PAREDE:** - 0,500mm / + 0,600mm  
**COMPRIMENTO:** FAIXA: 8000,00mm - 12000,00mm # COMP.ACEITAÇÃO L: 20 - 01 - 4000,00 - 8000,00 #  
**MARCAÇÃO DE NORMA:** VMB SPEC SL-0150.4 MONOGRAMA API "MM/AA" 60,30 X 3,90 B PSL1 SMLS ...M ASTM A 106 B 17000 KPA SCH 040 ABNT NBR 6321 B HEAT "HEAT"

Corrida	Lote Controle	Amarado	Peças	Comprimento(m)	Peso(Kgf)
118357	030002124248	0012176334	70	718,80	3968

O PRODUTO FOI APROVADO NOS SEGUINTES TESTES/INSPEÇÕES: DIMENSIONAL # VISUAL # TESTE DF DOBRAMENTO # TESTE HIDROSTÁTICO: 17.000,0 KPA. 5 s #

Análise Química (%)	Cteq conforme:		Df conforme:		Unidade:		Pcm:								
	C	Min	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Al	Cu	V	Nb	B	Ti	Co
Exigência:	Min	0,29			0,10										
	Max	0,27	1,06	0,030	0,030	0,40	0,40	0,15	0,400	0,060	0,0010	0,040			
Corrida/Lote Controle		0,19	0,46	0,009	0,002	0,21	0,01	0,04	0,02	0,022	0,010	0,002	0,000	0,001	0,0031
118357 030002124248	Check1	0,20	0,49	0,011	0,002	0,21	0,01	0,05	0,02	0,021	0,007	0,006	0,000	0,001	0,0031
	Check2	0,20	0,49	0,010	0,001	0,22	0,01	0,05	0,02	0,022	0,007	0,007	0,000	0,001	0,0030

Ensaio Mecânicos Direção CF: Longitudinal Temperatura: Ambiente Medida LD= 2"

Exigência:	Min	Max
Área(MM2)	245	415
LE(MPA)	415	23



Corrida/Lote Controle	Min	Max
118357 030002124248	82,6	362
	503	35

LE-Limite de Escoramento ; RT-Resistência à Tração ; AL-Alongamento


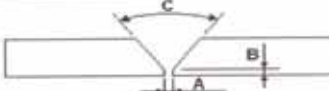

Observações:

NOTA FISCAL: 000259737

## QUALIFICAÇÃO DO SOLDADOR

	<b>REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DE SOLDADORES E OPERADORES DE SOLDAGEM</b> <i>(Welder and Welding Operator Performance Qualifications)</i>		<b>RQSOS: 019A</b> <i>(WOPQ)</i>
			<b>Folha (Sheet): 01 / 01</b>
			<b>Data (Date): 03/12/2012</b>
<b>SOLDADOR: WAGNER RUFINO</b> <i>(Welder)</i>		<b>CPF: 231 700 288-20</b>	<b>SINETE: 02</b> <i>(Stamp)</i>
<b>EPS (WPS): MONT-001</b>		<b>NORMA DE REFERÊNCIA (Reference Specification): ASME IX Ed. 2010</b>	
<b>Espec. Metal de Base (Specification of Base Metal): ASTM A106 Gr. B</b>		<b>Espessura (Thickness): 6,0 mm</b>	
<b>CONDIÇÕES DE TESTE E LIMITES DE QUALIFICAÇÃO (Testing Conditions and Qualification Limits):</b>			
<b>Variáveis de Soldagem (Welding Variables)</b>		<b>Valores Atuais (Actual Values)</b>	<b>Faixa Qualificada (Range Qualified)</b>
<b>PROCESSO (Process)</b>	<b>Proc. de Soldagem (Welding Process)</b>	GTAW (TIG)	GTAW (TIG)
	<b>Tipo (Type)</b>	MANUAL (Manual)	MANUAL (Manual)
<b>JUNTA (Joint)</b>	<b>Tipo de Junta / Chanfro (Type of Joint / Groove)</b>	TOPO / CHANFRO EM "V" <i>(Top / U Groove)</i>	TODOS (All)
	<b>Cobrejunta (Backing)</b>	SEM (Without)	COM/SEM (With/Without)
<b>METAL DE BASE (Base Metal)</b>	<b>Diâmetro do Tubo (Pipe Diameter)</b>	4"	Ø ≥ 73 mm
	<b>P N°</b>	1	P N° 1-15F, 34, 41-49
<b>METAL DE ADIÇÃO (Filler Metals)</b>	<b>Classificação AWS (AWS Classification)</b>	ER70S-3	---
	<b>Especificação SFA (SFA Specification)</b>	5.18	---
	<b>F N°</b>	6	6
	<b>Espessura do Metal Depositado (Weld Deposit Thickness)</b>	3,0 mm	≤ 6,0 mm
<b>POSIÇÃO (Positions)</b>	<b>Posição (Position)</b>	6G	TODAS (All)
	<b>Progressão de Soldagem (Welding Progression)</b>	ASCENDENTE (Up Hill)	ASCENDENTE (Up Hill)
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS (Electrical Characteristics)</b>	<b>Corrente (Current)</b>	CONTÍNUA (Direct)	CONTÍNUA (Direct)
	<b>Polaridade (Polarity)</b>	DIRETA (Direct)	DIRETA (Direct)
	<b>Modo de Transferência (Transfer Mode)</b>	---	---
<b>GÁS (Gas)</b>	<b>Gás de Purga (Inert Backing)</b>	SEM (Without)	COM/SEM (With/Without)
<b>ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E MECÂNICOS (No Destructive and Mechanical Tests):</b>			
<b>Modalidade (Modality)</b>	<b>Resultado (Result)</b>	<b>Certificado (Certified)</b>	<b>Observação (Remarks)</b>
<b>Visual (Visual):</b>	Aprovado (Approved)	RAQ-019/12	
<b>Radiografia (Radiographic Examination):</b>	---	---	
<b>Dobramento (Bend):</b>	Aprovado (Approved)	11434/12	Labmetal
<b>Nick Break (Nick Break):</b>	---	---	
<b>Macrografia (Macrograph):</b>	---	---	
<b>OBSERVAÇÕES (Remarks):</b>			
<b>Certificamos que o descrito neste registro está correto, e que todos os corpos de prova foram preparados, soldados e testados de acordo com os requisitos das normas ASME IX Edição 2010.</b> <i>(We certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of ASME IX Edition 2010)</i>			
<b>Inspetor de Soldagem Nível 2 (Welding Inspector Level 2)</b>		<b>Controle da Qualidade (Quality Control)</b>	<b>Cliente (Client)</b>
 Alexandre Arruda de Campos Inspetor de Soldagem - Nível II BRN° 15061574			

## ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (EPS)

		<b>ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM</b> <i>(Welding Procedure Specification)</i>			<b>EPS: MONT-001</b> <i>(WPS)</i>																		
					<b>Folha (Sheet):</b> 01 / 01	<b>Rev.:</b> 0																	
<b>NORMAS APLICÁVEIS: ASME IX Ed.2010</b> <i>(Specification Applicable)</i>				<b>RQPS: MONT-001</b> <i>(PQR)</i>																			
<b>PROCESSO DE SOLDAGEM (Welding Process): GTAW (TIG) / SMAW (ER)</b>				<b>TIPO (Type): MANUAL</b>																			
<b>DETALHE DA JUNTA (Detail of Joint):</b>				<b>MATERIAL DE BASE (Base Metal):</b>																			
				<b>ESPECIFICAÇÃO (Specification):</b>																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Dimensão (Dimension)</th> <th colspan="2">Tolerâncias (Variations)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>5,0 mm</td> <td>+ 1,0</td> <td>- 1,0</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>1,5 mm</td> <td>+ 0,5</td> <td>- 0,5</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>75°</td> <td>+ 5</td> <td>- 5</td> </tr> </tbody> </table>					Dimensão (Dimension)	Tolerâncias (Variations)		A	5,0 mm	+ 1,0	- 1,0	B	1,5 mm	+ 0,5	- 0,5	C	75°	+ 5	- 5	<b>ASTM A106 Gr. B</b>			
	Dimensão (Dimension)	Tolerâncias (Variations)																					
A	5,0 mm	+ 1,0	- 1,0																				
B	1,5 mm	+ 0,5	- 0,5																				
C	75°	+ 5	- 5																				
				<b>P N° / GRUPO (Group) N°:</b> 1 / 1																			
				<b>DIÂMETRO NOMINAL (Nominal Diameter):</b> 4"																			
				<b>DIÂMETROS QUALIFICADOS (Diameters Range):</b> Todos (All)																			
				<b>ESP. NOMINAL / QUALIF. (Nominal/Range Thickness):</b> 6,0 mm / 1,5 - 12,0 mm																			
				<b>ESP. METAL DEPOSITADO QUALIFICADO: (Thickness of Deposited Weld Metal Range):</b> TIG ≤ 6,0 mm ER ≤ 6,0 mm																			
<b>METAIS DE ADIÇÃO (Filler Metals):</b>																							
<b>Passe (Pass)</b>	<b>Classe AWS (AWS Class)</b>	<b>Especificação SFA (SFA Specification)</b>	<b>F N°</b>	<b>A N°</b>	<b>Diâmetro (Diameter)</b>	<b>Fabricante (Manufacturer)</b>	<b>Marca Comercial (Trade Name)</b>	<b>Observ. (Remarks)</b>															
Raiz (Root)	ER70S-3	SFA 5.18	6	1	2,38 mm	Gerdau	ER70S-3																
Enchimento (Filling Up)	E7018	SFA 5.1	4	1	2,5 mm	Esab	OK 48.04																
Acabamento (Finish)	E7018	SFA 5.1	4	1	2,5 mm	Esab	OK 48.04																
<b>Fluxo (Flux):</b> ---				<b>Classificação Fluxo-Arame (Wire-Flux Classification):</b> ---																			
<b>Fabricante (Manufacturer):</b> ---				<b>Marca Comercial do Fluxo (Flux Trade Name):</b> ---																			
<b>POSIÇÃO (Position):</b>				<b>GÁS DE PROTEÇÃO (Shielding Gas):</b>																			
<b>Posição de Soldagem (Welding Position):</b> Todas (All)				<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Gas</th> <th>Mistura (Mixture)</th> <th>Vazão (Flow Rate)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>Proteção do Arco (Shielding)</b></td> <td>Argônio</td> <td>99,9%</td> <td>10 - 15 l/min</td> </tr> <tr> <td><b>Proteção da raiz (Backing)</b></td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>					Gas	Mistura (Mixture)	Vazão (Flow Rate)	<b>Proteção do Arco (Shielding)</b>	Argônio	99,9%	10 - 15 l/min	<b>Proteção da raiz (Backing)</b>	---	---	---				
	Gas	Mistura (Mixture)	Vazão (Flow Rate)																				
<b>Proteção do Arco (Shielding)</b>	Argônio	99,9%	10 - 15 l/min																				
<b>Proteção da raiz (Backing)</b>	---	---	---																				
<b>Progressão de Soldagem (Welding Progression):</b> Ascendente (Up Hill)																							
<b>PRÉ-AQUECIMENTO (Preheat):</b>				<b>TRATAMENTO TÉRMICO PÓS SOLDAGEM: (Postweld Heat Treatment)</b>																			
<b>Temperatura de Pré-Aquecimento (Preheat Temp.):</b> ≥ 15 °C				<b>Faixa de Temperatura (Temp. Range):</b> ---																			
<b>Temperatura de Interpassos (Interpass Temp.):</b> ≤ 250 °C				<b>Patamar (Holding):</b> ---																			
<b>Temperatura de Pós-Aquecimento (Postheat Temp.):</b> ---				<b>Taxa de Aquecimento (Heating Rate):</b> ---																			
<b>Técnica Utilizada (Technical Used):</b> ---				<b>Taxa de Resfriamento (Cooling Rate):</b> ---																			
				<b>Controle de Temperatura (Temp. Control):</b> ---																			
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS (Electrical Characteristics):</b>																							
<b>Passe (Pass)</b>	<b>Corrente / Polaridade (Cur. / Polar)</b>	<b>Faixa de Amperagem (Current Range)</b>	<b>Faixa de Tensão (Voltage Range)</b>	<b>Faixa de Velocidade (Speed Travel Range)</b>	<b>Oscilação (Oscillation)</b>	<b>Calor Fornecido (Heat Input)</b>	<b>Observ. (Remarks)</b>																
Raiz (Root)	CC *	50 - 100 (A)	10 - 15 (V)	7,0 - 12,0 (cm/min)	---	---																	
Enchimento (Welding)	CC *	70 - 130 (A)	20 - 26 (V)	10,0 - 16,0 (cm/min)	≤ 3 x Ø	---																	
Acabamento (Finish)	CC *	70 - 130 (A)	20 - 26 (V)	10,0 - 16,0 (cm/min)	≤ 3 x Ø	---																	
<b>TÉCNICA (Technique):</b>																							
<b>Método de Golivagem (Gouging Method):</b> ---				<b>Téc. de Acoplamento (Acoppling Technique):</b> Cachorro <i>(Assembly Device Auxiliary)</i>																			
<b>Limpeza Inicial / Interpassos: Escovamento / Esmerilhamento (Cleaning Initial / Interpass):</b> Brushing / Grinding				<b>Martelamento (Peening):</b> ---																			
				<b>Cobrejunta (Backing):</b> ---																			
<b>OBSERVAÇÕES (Remarks):</b>																							
<b>Inspetor de Soldagem Nível 2 (Welding Inspector Level 2)</b>			<b>Controle da Qualidade (Quality Control)</b>			<b>Cliente (Client)</b>																	
 Alexandre Arruda de Campos Inspetor de Soldagem - Nível II CNR - IR0615N2																							

## CERTIFICADO DOS MATERIAIS DO ENSAIO DE LIQUIDO PENETRANTE

**METAL-CHEK**

CERTIFICADO DE CONFORMIDADE NÚMERO: 201302313

Produto: Metal-Chek VP 30 (Hi) LP visível lavável a água

Tipo/Forma:	II	Lote:	14798
Método:	A	Data de Fabricação:	18/01/2013
Nível de Sensibilidade:	2	Data de Validade:	31/01/2015

## Normas de Referência:

PETROBRAS N 2370; PETROBRAS N 1596; AMS 2644; ASME Seção V - Art. 6; JIS Z 2343; ASTM E 1417; ISO 3452-2.

Cliente:

Nota Fiscal No:

Data da Nota Fiscal:

Teste	Requerimento	Resultado
Ponto de fulgor	> 93°C (método ASTM D93)	119 °C
Tolerância à água	> 5%	18 %
Pressão interna	5,0 ± 1,0 kgf/cm <sup>2</sup>	5,2 kgf/cm <sup>2</sup>
Viscosidade	7,40 ± 0,74 cSt a 38 ± 3 °C (método ASTM D 445)	7,36 cSt
Conjunto de contaminantes (Cl + F)	Cloro + fluor < 1% do resíduo	0,0056 %
Conjunto de contaminantes (S)	Enxofre < 1% do resíduo	0,0083 %
Conjunto de contaminantes (Cl- + F-)	Cloro + fluoreto < 200 ppm	56 ppm
Conjunto de contaminantes (S)	Enxofre < 200 ppm	83 ppm
Odor	Glicólico	Aprovado
Unidade de compra	Aerossol + ficha de emergência	Aprovado
Estanqueidade de válvula	Após 24 h, não deve liberar mais do que 2,5 mL de gás	Aprovado
Estabilidade de estocagem	Dois anos, temperatura de 5 a 40°C	Aprovado
Fornecimento/condicionamento	Embalagem adequada ao manuseio e transporte	Aprovado
Molhabilidade	Homogêneo, sem retrações ou formação de gotas descobrindo a área aplicada	Aprovado
Aparência	Líquido vermelho	Aprovado
Integridade da embalagem	Não deve apresentar amassamento / vazamento	Aprovado
Corrosividade	Não deve apresentar sinais de deterioração	Aprovado
Removibilidade	Não deve haver resíduo	Aprovado
Sensibilidade LP	Padrão 20µm (JIS Z 2343)	Aprovado
Cor do penetrante	Vermelho / violeta	Aprovado
Toxicidade	Vide rótulo / dados de segurança	Aprovado
Rótulo	Vide Tabela 01 - N 2370	Aprovado

Bragança Paulista, 4 de fevereiro de 2013

METALCHEK

Milton Ribeiro da Silva  
Laboratório/Controle da Qualidade  
CRQ IV 04467733

Este documento é gerado eletronicamente  
não necessitando ser assinado.

Metal-Chek do Brasil Ind e Com Ltda  
CNPJ 50.892.934/0001-53  
qualidade@metalchek.com.br

# METAL-CHEK

CERTIFICADO DE CONFORMIDADE NÚMERO: 201303368

Produto: Metal-Chek D 70 (Hi) Revelador nao aquoso

Tipo/Forma:	d, e	Lote:	15832
Método:	N.A	Data de Fabricação:	24/06/2013
Nível de Sensibilidade:	N.A	Data de Validade:	30/06/2015

**Normas de Referência:**

PETROBRAS N 2370; PETROBRAS N 1596; AMS 2644; ASME Seção V - Art. 6; JIS Z 2343; ASTM E 1417; ISO 3452-2.

Ciente:

Nota Fiscal No:

Data da Nota Fiscal:

Teste	Requerimento	Resultado
Aparência	Líquido branco, homogêneo quando disperso	Aprovado
Aspersão e recobrimento	Deve apresentar cobertura uniforme, sem grumos ou respingos	Aprovado
Conjunto de contaminantes (Cl + F)	Cloro + fluor < 1% do residuo	0,0056 %
Conjunto de contaminantes (Cl- + F-)	Cloreto + fluoreto < 200 ppm	56 ppm
Conjunto de contaminantes (S)	Enxofre < 1% do residuo	0,0070 %
Conjunto de contaminantes (S)	Enxofre < 200 ppm	70 ppm
Contraste do revelador	Contraste de fundo igual ou superior ao revelador de referência	Aprovado
Cor do revelador	Branco, quando agitado	Aprovado
Corrosividade	Não deve apresentar sinais de deterioração	Aprovado
Estabilidade de estocagem	Dois anos, temperatura de 5 a 40°C	Aprovado
Estanqueidade de válvula	Após 24 h, não deve liberar mais do que 2,5 mL de gás	Aprovado
Fornecimento/condicionamento	Embalagem adequada ao manuseio e transporte	Aprovado
Integridade da embalagem	Não deve apresentar amassamento / vazamento	Aprovado
Odor	Alcoólico	Aprovado
Pressão interna	5,0 ± 0,5 kgf/cm <sup>2</sup>	5,2 kgf/cm <sup>2</sup>
Redispersabilidade	Deve suspender prontamente quando agitado	Aprovado
Removabilidade	Não deve haver residuo	Aprovado
Rótulo	Vide Tabela 01 - N 2370	Aprovado
Toxidez	Vide rótulo / dados de segurança	Aprovado
Unidade de compra	Aerossol + ficha de emergência	Aprovado

Bragança Paulista, 26 de junho de 2013

METALCHEK

Milton Ribeiro da Silva  
Laboratório/Controle da Qualidade  
CRQ IV 04467733

Este documento é gerado eletronicamente  
não necessitando ser assinado.