

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CENTRO DE CIENCIAS EXATAS E DA TECNOLOGIA**

GUSTAVO LUIS SCAPIN

**COMPARAÇÃO DOS PROCESSOS GMAW E GTAW NA SOLDAGEM DE
EQUIPAMENTOS FABRICADOS EM AÇO INOXIDÁVEL**

**Caxias Do Sul
2014**

GUSTAVO LUIS SCAPIN

**COMPARAÇÃO DOS PROCESSOS GMAW E GTAW NA SOLDAGEM DE
EQUIPAMENTOS FABRICADOS EM AÇO INOXIDÁVEL**

Trabalho de estágio II apresentado ao
Curso de Engenharia Mecânica da Universidade
de Caxias do Sul, como requisito para a conclusão
da disciplina de Estágio II, sob orientação do
Professor Ms Victor Hugo Velazquez Acosta.

**Caxias Do Sul
2014**


GUSTAVO LUIS SCAPIN

COMPARAÇÃO DOS PROCESSOS GMAW E GTAW NA SOLDAGEM DE EQUIPAMENTOS FABRICADOS EM AÇO INOXIDÁVEL

Trabalho de estágio II apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul, como requisito para a conclusão da disciplina de Estágio II, sob orientação do Professor Ms Victor Hugo Velazquez Acosta.

Aprovado em 10/12/2014

Banca Examinadora



Prof. Ms. Victor Hugo Velazquez Acosta
Universidade de Caxias do Sul - UCS



Prof. Dr. Alexandre Vieceli
Universidade de Caxias do Sul - UCS



Prof. Dr. Sandro Tomaz Martins
Universidade de Caxias do Sul - UCS

RESUMO

A automatização dos processos de soldagem visa aumentar a produtividade, melhorar a qualidade da solda devido a menores variações no processo de soldagem em relação ao processo manual, além de possibilitar a otimização da mão-de-obra. No Brasil, a fabricação de tanques reservatórios em aço inoxidável, produzidos por empresas de pequeno e médio porte, é, basicamente, artesanal. Existe um aumento na demanda por tanques reservatórios em aço inoxidável que é resultado da expansão do mercado nacional, principalmente, nas áreas de bebidas e alimentos. A exigência por prazos de entregas menores e maior qualidade no produto final são fatores relevantes na escolha da empresa em automatizar os processos de soldagem. Este trabalho foi concebido através da análise, e comparação dos dados, dos ensaios mecânicos destrutivos (tração, dobramento e metalografia) e da análise qualitativa dos cordões de solda, em corpos de prova preparados através dos métodos de soldagem GTAW automatizado, GTAW manual, GMAW automatizado e GMAW manual. Também foram analisados os tempos de diferentes etapas de fabricação de equipamentos produzidos pela empresa. Após os resultados dos ensaios e das análises, verificou-se que não é possível trabalhar-se com o processo de soldagem GMAW manual. O processo de soldagem GMAW automatizado mostrou-se o método mais rápido de soldagem e o processo de soldagem GTAW automatizado mostrou-se o método de soldagem mais adequado, alinhando velocidade de soldagem e qualidade visual.

Palavras chave: Aços Inoxidáveis, Aços Inoxidáveis Austeníticos, GMAW, GTAW, Automatização, Automação

ABSTRACT

The automation of welding processes aims to increase productivity, improve the weld quality due to minor variations in the welding process compared to the manual process, and enables optimization of manpower. In Brazil, the manufacture of stainless steel reservoirs tanks, produced by small and medium sized businesses, is basically handmade. There is an increase in demand for stainless steel reservoirs tanks that is the result of expansion of the domestic market, especially in the areas of food and beverage. The demand for smaller delivery times and higher quality in the final product are relevant factors in the company's choice to automate welding processes. This study was designed through the analysis and comparing data, the destructive mechanical tests (tensile, bending and metallography) and qualitative analysis of the weld beads in samples prepared by automated GTAW welding methods, automated manual GTAW and GMAW GMAW manual. Also were analyzed the time of the manufacturing stages, to the different equipment made by the company. After the results of tests and analysis, that it was not possible to work with the manual GMAW process. The automated GMAW process proved to be the quickest method for welding and automated GTAW welding process proved to be the most adequate welding method, combining a good welding speed and a good visual quality.

Palavras chave: Stainless Steel, Austenitic Stainless Steel, Automation, GMAW, GTAW.

LISTA DE SIGLAS

Ar	Argônio
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCEN	Corrente Contínua Com Eletrodo Negativo
CCEP	Corrente Contínua Com Eletrodo Positivo
GMAW	Gás Metal Arc Welding
GTAW	Gás Tungstênio Arc Welding
MP	Matéria Prima
ZAC	Zona Termicamente Afetada Pelo Calor

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição Aproximada de Calor.....	12
Figura 2 - Ângulo da Ponta do Eletrodo.....	14
Figura 3 - Diagrama de Schaeffler.....	15
Figura 4 - Trincas por sensitização.....	18
Figura 5 - Microestrutura de Junta Soldada com Baixa Temperatura.....	20
Figura 6 - Microestrutura de Junta Soldada com Alta Temperatura.....	20
Figura 7 - Organograma de Ensaios Destrutivos.....	22
Figura 8 - Geometria e dimensões das peças do corpo de prova.....	24
Figura 9 - Corpo de prova para processo de soldagem GTAW automatizado.....	25
Figura 10 - Corpo de prova para processo de soldagem GTAW manual.....	25
Figura 11 - Corpo de prova para processo de soldagem GMAW manual.....	26
Figura 12 - Corpo de prova para processo de soldagem GMAW automatizado.....	26
Figura 13 - Fonte Fronius TPSi 400.....	26
Figura 14 - Fonte Fronius TransTIG 4000.....	27
Figura 15 - Corpo de prova para ensaio de tração.....	29
Figura 16 - Corpo de prova para ensaio de dobramento.....	30
Figura 17 – Desenho de modelos de tanques reservatórios.....	32
Figura 18 – Modelo de Tanque Fabricado na Theodosio Randon.....	33
Figura 19 - Tensão de ruptura dos ensaios de tração.....	36
Figura 20 - Tensão de escoamento dos ensaios de tração.....	36
Figura 21 – Cordão de solda GMAW Automatizado.....	38
Figura 22 – Cordão de solda GMAW Manual.....	38
Figura 23 – Cordão de solda GTAW Automatizado.....	39
Figura 24 - Processos de Soldagem x Atividade.....	42
Figura 25 – Velocidade de Soldagem x Lixamento.....	42
Figura 26 - Metalografia do Metal Base.....	43
Figura 27 - Metalografia do Metal de Solda.....	43
Figura 28 - Metalografia do Metal de Solda.....	44
Figura 29 - Metalografia da Região ZTA nos CP.....	44
Figura 30 - Metalografia da ZTA.....	45
Figura 31 - Oxidação Devido a Temperatura.....	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	AMBIENTE DO ESTAGIO	6
1.2	CONTEXTUALIZAÇÃO	6
1.3	JUSTIFICATIVA	7
1.4	OBJETIVO	7
1.4.1	Objetivo Geral	7
1.4.2	Objetivos específicos	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1	ARCO ELÉTRICO	9
2.2	PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW	10
2.2.1	Características Principais	10
2.2.2	Características Elétricas	10
2.2.3	Transferência Metálica	11
2.3	PROCESSO DE SOLDAGEM GTAW	11
2.3.1	Características principais	11
2.3.2	Características elétricas	12
2.3.3	Eletrodos.....	13
2.3.4	Metal De Adição	14
2.3.5	Gás De Proteção.....	15
2.4	AÇOS INOXIDÁVEIS	16
2.4.1	Classificação	16
2.4.2	Aços Inoxidáveis Austeníticos	16
2.4.3	Efeitos Do Aquecimento Nas Propriedades Mecânicas.....	19
3	DESENVOLVIMENTO	21
3.1	AÇO INOXIDAVEL	22
3.2	CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	23
3.3	ENSAIOS DESTRUTIVOS	28
3.3.1	Ensaio De Tração.....	28
3.3.2	Ensaio De Dobramento Guiado.....	28
3.3.3	Ensaio Metalográfico	30
3.3.4	Medição De Tempos Dos Processos	30
3.3.5	Análise Qualitativa Dos Cordões De Solda.....	33

4	RESULTADOS	34
4.1	ENSAIO DE TRAÇÃO	34
4.2	ENSAIO DE DOBRAMENTO.....	36
4.3	ANÁLISE QUALITATIVA DOS CORDÕES DE SOLDA.....	37
4.4	TEMPO DOS PROCESSOS.....	38
4.5	ENSAIOS METALOGRAFICOS	42
4.6	ENERGIA DE SOLDAGEM.....	44
	CONCLUSÕES.....	46
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	47
	GLOSSÁRIO	48
	ANEXO A – Certificado De Qualidade Material Base	49
	ANEXO B – Certificado De Qualidade Material de Solda	50

1 INTRODUÇÃO

1.1 AMBIENTE DO ESTAGIO

A empresa Theodosio Randon, fundada em 1966, desenvolve e fabrica equipamentos em ligas de aço carbono, ligas de aço inoxidável e ligas de alumínio. Os equipamentos fabricados com maior destaque: silos para armazenamento de sólidos, tanques reservatórios atmosféricos, tanques reservatórios para um regime de trabalho sobre pressão e tanques misturadores. A Theodosio Randon atende diversos setores da indústria brasileira, entre eles os setores alimentícios, indústria de bebidas, indústria química e indústria de plásticos; os requisitos do processo de fabricação dependem da aplicação final do equipamento.

Para atender requisitos diferentes e, ainda sim, manter-se competitiva, a Theodosio Randon investiu em diversos processos de fabricação; destacando-se os processos de soldagem GTAW (*gas tungstênio arc welding*), GMAW (*gas metal arc welding*) e PLASMA. Algumas etapas relacionadas com o processo de fabricação foram automatizadas com objetivo de maior produtividade e maior qualidade dos equipamentos fabricados.

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO

A automatização dos processos de soldagem visa aumentar a produtividade, melhorar a qualidade dos cordões de solda devido a menores variações no processo em relação ao processo manual de soldagem, prover maior confiabilidade no processo além de possibilitar a otimização da mão-de-obra. No Brasil, a fabricação de tanques reservatórios em aço inoxidável, produzidos por empresas de pequeno e médio porte, é, basicamente, artesanal; para soldagem dos equipamentos, são utilizados os processos GTAW e GMAW. Os custos envolvidos na compra e implantação de máquinas para automatização dos processos de soldagem tornam-se uma barreira impossibilitando, muitas vezes, que empresas invistam na modernização de suas fábricas. Porém, nos últimos anos, a diminuição dos juros para financiamento de máquinas e equipamentos possibilitaram que empresas investissem na modernização de suas fábricas adquirindo equipamentos e máquinas.

A soldagem realizada através do processo GMAW, é caracterizada pela formação do arco elétrico a partir de um arame continuamente alimentado com proteção de um gás.

A soldagem realizada através do processo GTAW, é caracterizada pela formação do arco elétrico a partir de um eletrodo não-consumível e com proteção de um gás inerte. Este processo é utilizado na soldagem de peças com pequenas espessuras ou quando a qualidade da solda é uma condição fundamental do projeto. Neste caso, o processo de soldagem GTAW pode

ser utilizado também em peças mais espessas. A adição de material pode ser realizada manualmente ou automaticamente através de um alimentador.

1.3 JUSTIFICATIVA

A expansão do mercado nacional, principalmente nas áreas da indústria de bebida e da indústria de alimento, trouxeram como consequência um aumento na demanda por equipamentos fabricados em aço inoxidável. Entretanto aumentaram as exigências por prazos de entrega cada vez menores além de maior qualidade dos equipamentos.

A automatização dos processos de soldagem em tanques reservatórios é opção para as empresas que necessitam aumentar a sua produtividade, qualidade e confiabilidade dos equipamentos desenvolvidos. Porém, para que a implantação destes equipamentos seja possível, é necessário que a automatização do processo de soldagem garanta os requisitos mínimos estabelecidos em norma.

Este trabalho, através dos resultados dos ensaios a serem realizados, servirá como base comparativa entre os processos de soldagem manuais e automatizados, como forma de ratificar a viabilidade técnica e econômica na automatização dos processos de soldagem.

1.4 OBJETIVO

1.4.1 Objetivo Geral

O presente trabalho compara a soldagem realizada na posição horizontal circular, com o uso do processo GTAW e processo GMAW, através da soldagem manual e da soldagem automatizada, revelando as diferenças existentes entre os processos de soldagem envolvidos bem como apresentar os resultados dos testes realizados em corpos de prova.

1.4.2 Objetivos específicos

Fabricar quatro corpos de prova utilizando, como matéria prima, aço inoxidável austenítico AISI304L com espessura de 3,0 mm.

Soldar corpos de prova na posição horizontal.

Soldar um corpo de prova com processo GMAW automatizado.

Soldar um corpo de prova com processo GMAW manual.

Soldar um corpo de prova com processo GTAW automatizado.

Soldar um corpo de prova com processo GTAW manual.

Extrair de cada corpo de prova, três peças para os ensaios de tração, quatro peças para os ensaios de dobramento e uma peça para o ensaio metalográfico.

Submeter as peças, extraídas dos corpos de prova, aos ensaios destrutivos de tração, dobramento e metalografia.

Analisar os resultados dos ensaios destrutivos e comparar com as informações descritas pela norma ASME.

Analisar a energia de soldagem de cada corpo de prova.

Fazer análise qualitativa dos cordões de solda.

Medir e analisar os tempos médios das etapas de fabricação de equipamentos desenvolvidos pela empresa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ARCO ELÉTRICO

O arco elétrico é uma descarga elétrica mantida em um gás ionizado. No arco elétrico para soldagem, a tensão deve ser baixa e a corrente deve ser de alta intensidade; as temperaturas geradas no arco elétrico oscilam entre 5.000 K e 30.000 K, podendo chegar até 50.000 K dependendo do processo utilizado para a execução do cordão de solda, condições de soldagem e outros fatores. Devido às altas temperaturas na região do arco elétrico, o gás muda de estado, sendo composto por elétrons, íons e partículas neutras, cujas propriedades físicas são diferentes quando comparadas a suas substâncias de origem, passando a se chamar de plasma (o plasma tem potencial para conduzir eletricidade mesmo sob ação de uma pequena diferença de potencial). A formação do arco elétrico difere quanto ao processo de soldagem utilizado e é, basicamente, formado pela transição de elétrons do cátodo para o ânodo e mantido através de um gás ionizado. Para a abertura do arco elétrico, é necessário que o eletrodo seja bombardeado com elétrons e que a fonte de energia tenha uma diferença de potencial, para facilitar este processo. Quando o eletrodo tocar o metal-base (em alguns processos é necessário o toque do eletrodo), a tensão cairá rapidamente e uma grande quantidade de elétrons irá transitar do cátodo para o ânodo; o fluxo de elétrons é constante e a região rapidamente ficará incandescente. Este movimento dos elétrons, fornece mais energia térmica, gerando a ionização térmica do gás e do vapor metálico na região entre o metal-base e o eletrodo. Após a ionização térmica, o eletrodo pode ser afastado do metal-base sem que o arco elétrico seja extinto. O arco elétrico é responsável pelo aquecimento, e por consequência, da formação da poça de fusão, pela homogeneização da poça de fusão e pela transferência do metal. A homogeneização está relacionada a altas temperaturas na poça de fusão, velocidade do fluxo do plasma gerado e das forças eletromagnéticas formadas a partir da passagem da corrente elétrica pelo condutor (BRANDI, 1992, p.9).

A diferença entre os processos GTAW e GMAW se dá, basicamente, no eletrodo; o processo GMAW trabalha com eletrodo consumível e o processo GTAW opera com eletrodo não consumível. No caso do processo GMAW a abertura do arco está relacionada com o toque do eletrodo no metal-base para fechar curto circuito, e no processo GTAW, o eletrodo não precisa encostar do metal-base para que ocorra a abertura do arco elétrico. Neste último caso, é necessária uma corrente alternada de alta frequência, para romper o dielétrico e ionizar o gás envolto do eletrodo e o metal base. Quando o equipamento não possui fonte de alta frequência, a abertura do arco no processo GTAW é igual ao do processo GMAW (BRANDI, 1992, pp.

60-99; MACHADO, 1996, pp. 172-194).

2.2 PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW

Processo de soldagem que ocorre através de um eletrodo nu, consumível, alimentado continuamente, com a formação de um arco elétrico e proteção através de um gás inerte (GMAW), formando assim, a poça de fusão (BRANDI, 1992; MACHADO, 1996).

2.2.1 Características Principais

São características do processo GMAW a adição de material através do eletrodo nu alimentado de forma contínua, possibilitando elevada velocidade de soldagem, possibilidade de longos cordões de solda sem paradas, e de elevada taxa de deposição do material. É um processo com baixo teor de hidrogênio, não há formação de escória pois a soldagem ocorre com proteção gasosa, o processo permite a visibilidade total da poça de fusão e há possibilidade de controlar a penetração e a diluição da poça de fusão, bem como tem menores problemas com distorção e tensões residuais. Outros fatores destacáveis são a facilidade de execução da soldagem e a versatilidade do processo; a soldagem pode ser realizada em todas as posições além do processo ser facilmente automatizado ou semiautomatizado. Comparado ao processo de soldagem por eletrodo revestido, o processo GMAW fornece uma penetração de raiz mais uniforme (BRANDI, 1992; MACHADO, 1996).

Algumas limitações são destacadas no processo GMAW, como o aumento da velocidade de resfriamento devido ao processo não formar a escória na solda. Com isso há um aumento na formação de trincas principalmente na soldagem de metais base de aços temperáveis. Para garantir o processo de soldagem a região deve estar protegida das correntes de ar do ambiente, o que limitam os processos de soldagem aos ambientes fechados ou protegidos. As correntes de ar espalham o gás inerte permitindo que a região soldada esteja exposta ao ar ambiente; como consequência a poça de fusão está exposta a contaminações pelo oxigênio e/ou hidrogênio. Também há formação e projeções de gotas de metal líquido durante o processo de soldagem (respingos) (BRANDI, 1992; MACHADO, 1996).

2.2.2 Características Elétricas

No processo GMAW, a soldagem ocorre tanto em CCEP (corrente contínua com o eletrodo positivo) quanto com CCEN (corrente contínua com eletrodo negativo); o uso do CCEP é empregado na maioria dos casos, pois mantém o arco elétrico mais estável quando comparado ao CCEN. Devido a necessidade de manter-se o comprimento do arco constante, a

fonte deve prover uma tensão constante.

2.2.3 Transferência Metálica

Basicamente existem 4 tipos de transferência metálica no processo GMAW: globular, por curto-circuito, por pulverização axial e rotacional, e por arco pulsado. Será abordado apenas por curto-circuito, pois é o tipo de transferência utilizada neste trabalho (BRANDI, 1992; MACHADO, 1996).

A transferência por curto-circuito é recomendada no uso em chapas finas devido ao menor aquecimento do metal base. É um processo com menor penetração e com instabilidade do arco. A transferência metálica ocorre somente quando o eletrodo está em contato com a poça de fusão, em baixas correntes e baixas tensões, variando entre 30A a 200A e 15V a 22V (MACHADO, 1996, p. 197).

2.3 PROCESSO DE SOLDAGEM GTAW

Processo de soldagem que ocorre através de um eletrodo não consumível, de tungstênio puro ou composto por outros metais e óxidos, com a formação de um arco elétrico e proteção de um gás inerte, formando assim, a poça de fusão no metal base. A soldagem pode ser realizada sem material de adição, através da fusão dos metais base, ou com adição de material (BRANDI, 1992; MACHADO, 1996).

2.3.1 Características principais

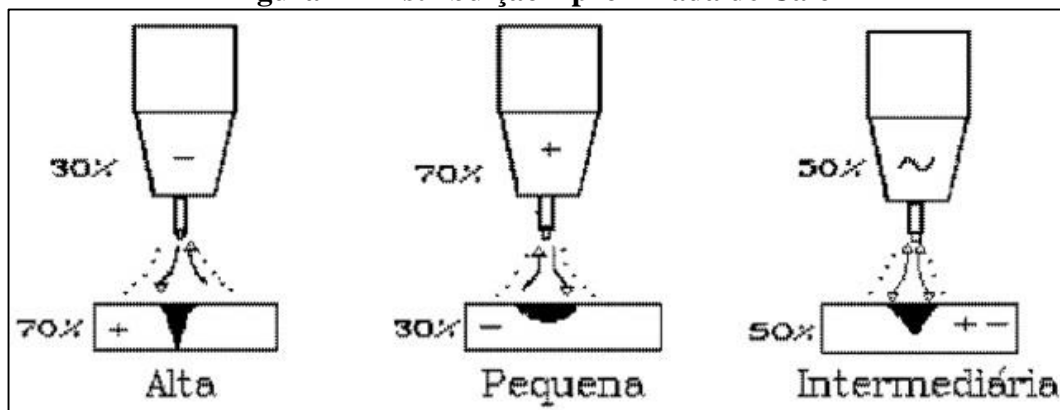
A escolha deste processo de soldagem está relacionada, principalmente, com a alta qualidade do cordão de solda. Outros fatores como a concentração do calor, minimizando assim a ZAC (zona afetada pelo calor) e distorções, poça de fusão calma e por soldar a maioria dos metais e suas ligas, também são destacados. O processo de soldagem GTAW, assim como o processo GMAW, pode ser automatizado ou semiautomatizado; neste caso a adição de material deve ser realizada através de um alimentador com controle de velocidade. Das dificuldades do processo, é destacada a baixa taxa de deposição de material, que pode inviabilizar cordões de soldas de metais-base com espessuras maiores que 12,7 milímetros, locais com corrente de ar devido a necessidade do gás de proteção, e a emissão intensa de radiação ultravioleta; existe a possibilidade de inclusões de tungstênio a partir do toque do eletrodo no metal base. O uso do processo GTAW para a soldagem de juntas com espessuras maiores que 12,7 milímetros estão relacionados com a necessidade de alta qualidade, baixa inclusão de hidrogênio e estanqueidade (BRANDI, 1992; MACHADO, 1996).

2.3.2 Características elétricas

No processo GTAW, a fonte pode operar em CA (corrente alternada) ou CC (corrente contínua), e a curva características da fonte deve ser corrente constante, também chamada de tombante. No uso da corrente contínua, define-se a polaridade do eletrodo e, por consequência, do metal-base, como positivo e o metal-base negativo ou o eletrodo negativo e o metal-base positivo, conforme representado na figura 1; há implicações diretas com o calor gerado em cada processo e também com a penetração da solda no metal-base (BRANDI, 1992; MACHADO, 1996).

Com o uso da corrente contínua e com o eletrodo de polaridade negativa, os elétrons passam do eletrodo para o metal-base, aquecendo-o. “Do calor total gerado, cerca de 30% é produzido no eletrodo e 70% na peça, ocorrendo a maior penetração entre as três polaridades. A poça é estreita e profunda”. Com o uso do eletrodo de polaridade positiva há uma inversão térmica no processo pois os elétrons passam do metal-base e incidem no eletrodo, aquecendo-o, conforme a Figura 1. Em torno de 70% do calor total é gerado no eletrodo e 30% na peça, resultando na menor penetração entre todos os casos, com a poça de fusão rasa e larga” (ASM, 1994; MACHADO, 1996).

Figura 1 - Distribuição Aproximada de Calor



Fonte: MACHADO, Ivan Guerra, 2007

O fluxo de elétrons, quando passam do metal-base para o eletrodo, provoca a ação de limpeza dos óxidos superficiais formados durante a formação da poça de fusão. Os metais, apesar de serem bons condutores de eletricidade, também possuem alguma resistência a passagem da corrente elétrica (que é o desprendimento dos elétrons da última camada do átomo); as resistências elétricas das ligas diferem conforme a sua composição. Devido a sua composição, as resistências elétricas dos eletrodos são menores que a resistência elétrica dos

metais bases; a escolha do tungstênio como metal básico para o eletrodo é devido a sua melhor relação custo benefício.

Num metal, a energia necessária para retirar elétrons da última camada do átomo (função trabalho) é proporcional à facilidade de se iniciar e manter um arco elétrico com o mesmo. [...] se elementos com menor função trabalho forem adicionados ao tungstênio, estas propriedades operacionais podem ser melhoradas [...](MACHADO, 1996).

Com o uso da corrente alternada, a distribuição do total de calor gerado é, aproximadamente, igual para o eletrodo e para o metal-base. Comparando a penetração da solda quando uso da corrente que passa pelo eletrodo é positiva e quando o uso da corrente é negativo, a penetração da solda em corrente alternada é intermediária (figura 1).

Como diferença do processo, quando uso da corrente alternada, a tensão varia entre valores positivos e negativos; o arco é extinto toda vez que o ponto nulo, onde a tensão inverte a polaridade, é cruzado. Para que seja possível a abertura do arco em atmosfera preenchida por gás inerte, é necessária uma tensão de alta frequência. Diferente do processo de soldagem de corrente contínua onde a tensão de alta frequência é requerida somente na abertura do arco, no processo de corrente alternada é usado a tensão de alta frequência durante todo o processo de soldagem (ASM, 199; MACHADO, 1996).

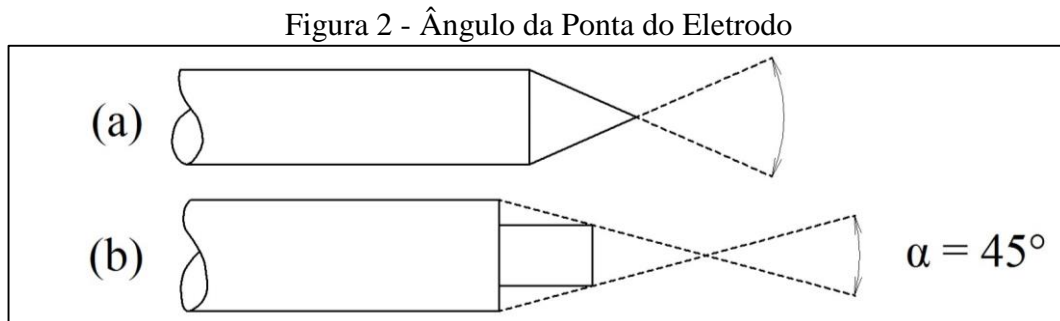
Outra variação no processo de soldagem é o uso da corrente pulsada. O uso da corrente pulsada permite qualidades superiores no processo de soldagem pois utiliza menos energia de soldagem; permite maior controle sobre a geometria do cordão, promove autolimpeza do eletrodo, reduz o tempo de pré-aquecimento, reduz a distorção, reduz a ZAC e melhora as propriedades mecânicas da junta soldada. Também é possível aumentar a espessura do metal base a ser soldado (MACHADO, 1996).

2.3.3 Eletrodos

Conforme a composição química do eletrodo, o tipo de corrente empregada e o acabamento superficial do eletrodo, algumas características destacam-se.

Outra característica destacada é a influência do ângulo do eletrodo sobre a poça de fusão. Quando a soldagem for realizada em CC, “[...] quanto mais agudo o mesmo for resulta em aumento da penetração e redução da largura” (MACHADO, 1996, p. 175). Em soldas em CA, a ponta do eletrodo arredonda-se durante o processo de soldagem, conforme exemplificado na figura 2, item b; o diâmetro da ponta do eletrodo deve ser igual a metade do diâmetro do eletrodo. Essa característica não é encontrada em eletrodos cuja composição apresentam óxidos de tório, de lantânio ou de cério. A Figura 2 exemplifica a geometria das pontas dos eletrodos

em corrente alternada (conforme item b) em corrente contínua (conforme item a) (MACHADO, 1996).



Fonte: Machado, 1996.

A tabela 1, relaciona composições químicas de alguns eletrodos e características encontradas durante o processo de soldagem.

Tabela 1 - Eletrodos, composição e características

Código	Composição	Características
EWP	100% W	Menor densidade de corrente Poça estreita quando operado em CCEN
EWCe-2	97,3% W + 1,8% a 2,2% CeO ₂	Maior facilidade de ignição Maior estabilidade do arco Menor contaminação da poça
EWLa-1	98,3% W + 0,9% a 1,2% La ₂ O ₃	Maior facilidade de ignição Menor desgaste do eletrodo Menor contaminação da poça
EWTh-1	98,3% W + 0,8% a 1,2% ThO ₂	Maior emissividade elétrica Maior facilidade em abrir arco Maior estabilidade do arco Maior densidade de corrente
EWTh-2	97,3% W + 1,7% a 2,2% ThO ₂	Maior emissividade elétrica Maior facilidade em abrir o arco Maior estabilidade do arco Maior densidade de corrente

Fonte: Soldagem & Técnicas Conexas: Processos

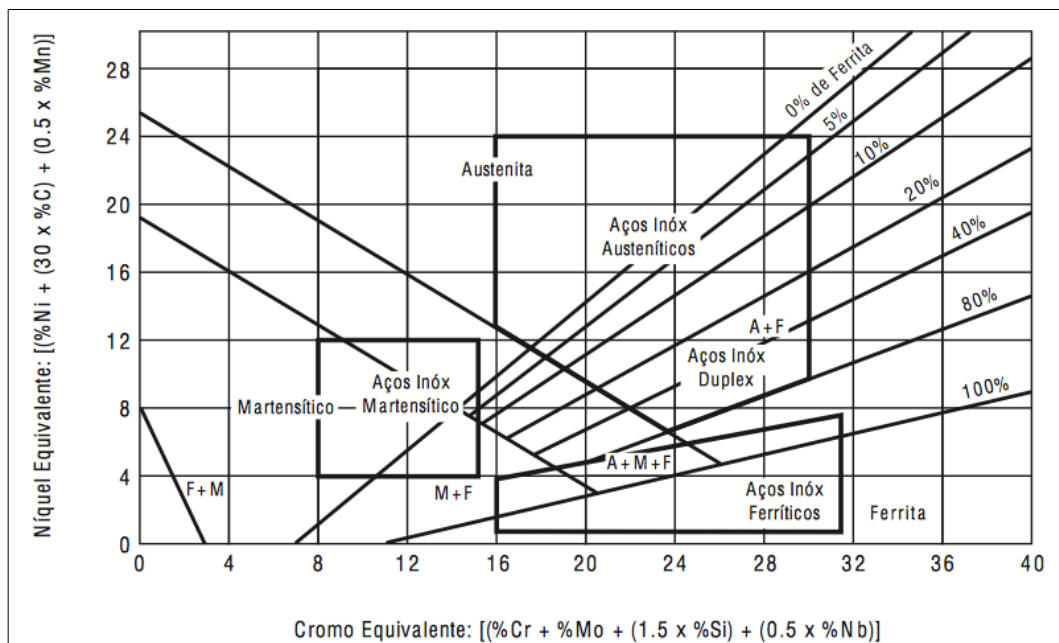
Nota: Demais óxidos não podem ultrapassar 0,5% da composição final.

2.3.4 Metal De Adição

Os aços inoxidáveis são classificados conforme sua microestrutura. Basicamente, os aços inoxidáveis podem ser classificados como austeníticos, martensíticos e ferríticos. A diversidade das microestruturas dos aços inoxidáveis é função da quantidade de elementos de

liga presente nesta microestrutura. Os elementos de liga podem ser classificados, basicamente, como estabilizadores da ferrita (Cr, Si, Mo, Ti e Nb) ou estabilizadores da austenita (Ni, C, N e Mn). O diagrama de Shaeffler, conforme Figura 3, relaciona a microestrutura de uma liga e sua composição química com características semelhantes, agrupando o elemento cromo e o elemento níquel em diferentes grades.

Figura 3 – Diagrama de Shaeffler



Fonte: ASM Metals and Handbook Vol 6

O diagrama de Schaeffler pode ser usado como orientação para prever possíveis problemas de soldabilidade do material de adição na liga. A sua utilização consiste em calcular a quantidade de cromo e níquel dos materiais (materiais base e materiais de adição) envolvidos no processo de soldagem, e posterior colocação dos pontos correspondentes no diagrama de Schaeffler. Utilizar um ponto médio de uma reta que unam os pontos correspondentes aos materiais base, para ligar pontos correspondentes aos materiais de adição que serão analisados. A partir destes, é possível prever a diluição dos materiais de adição com base na escolha do processo de soldagem e verificar, através do diagrama de Schaeffler, possíveis problemas de soldabilidade.

2.3.5 Gás De Proteção

A principal finalidade é a de proteção do eletrodo para evitar a oxidação, além de proteger a poça de fusão. A escolha do gás de proteção afeta diretamente a qualidade da solda

bem como o custo da soldagem e deve ser escolhido conforme o material base a ser soldado (MACHADO, 1996).

No processo de soldagem GTAW, os gases de proteção comumente usados são o argônio e o hélio ou até mesmo uma mistura destes gases. O argônio apresenta densidade de 1,3, ou seja, é 1,3 vezes mais denso do que o ar. Durante a execução da solda em equipamentos fechados, o argônio, por ser mais denso do que o ar, ficará parado no fundo destes equipamentos. Já o gás hélio possui densidade de 1/7, sendo assim, mais leve que o ar. Em soldagem em espaços confinados, o gás hélio tenderá a posicionar-se na parte superior do ambiente.

A soldagem com gás hélio tende a ter uma penetração maior devido a uma poça de fusão muito mais aquecida, além de obter-se maiores velocidades no processo de soldagem em comparação ao gás argônio; a utilização do gás argônio para soldagem propicia uma maior estabilidade do arco. O gás argônio possui um maior consumo em relação ao gás hélio devido, principalmente, ao seu menor custo no mercado (MACHADO, 1996).

O controle da vazão de gás é extrema importância; vazões excessivas ou muito baixas implicarão em descontinuidades. A determinação da correta vazão de gás depende, no mínimo, dos seguintes fatores: (a) tipo do gás de proteção; (b) distância do bocal à peça; (c) tipo de junta; (d) geometria do bocal; (e) intensidade da corrente; (f) existência de deslocamento de ar; (g) inclinação da tocha; (h) comprimento do arco; (i) velocidade de soldagem; (j) posição de soldagem; (l) Tipo de metal base (MACHADO, 1996).

2.4 AÇOS INOXIDÁVEIS

2.4.1 Classificação

Os aços inoxidáveis são ligas resistentes a corrosão e ao calor, contendo um mínimo de 10,5% de cromo; são classificados, segundo sua estrutura, como ferríticos, martensíticos, austeníticos e duplex, que possuem estrutura mista de austenita e ferrita (ZEEMANN, 2003).

2.4.2 Aços Inoxidáveis Austeníticos

Os aços austeníticos são classificados, principalmente, em aços resistentes a corrosão, resistentes ao calor, aços criogênicos e aços resistentes ao desgaste entre metais.

Os aços inoxidáveis de estrutura austenítica CFC (cúbica de face centrada), são resistentes à corrosão, cuja liga é composta, basicamente, Fe-Cr-Ni. Os teores mínimos de Cr são na ordem de 16%, para garantir a resistência a corrosão através de uma película de óxido de cromo. O nível de Ni constitui teores mínimos na ordem de 6% e servem para estabilizar a

estrutura austenítica. O percentual de carbono presente na liga varia de 0,03% e 0,08%; a presença de carbono reduz a resistência a corrosão pois o carbono liga-se ao cromo, formando carbonetos de cromo (ZEEMANN, 2003)

As propriedades de soldabilidade das ligas de aço inoxidável austeníticos são, geralmente consideradas, melhores quando comparadas às propriedades de soldabilidade das demais ligas de aço inoxidável ferríticos, martensíticos e duplex. Uma das propriedades, a condutividade térmica, nas ligas austeníticos típicas é aproximadamente metade da condutividade térmica das ligas de aço inoxidável ferríticos; devido a esse fator, a quantidade de calor necessária para realizar uma solda com a mesma penetração é consideravelmente reduzida quando comparado às demais ligas de aços inoxidáveis. O coeficiente de dilatação térmica do aço inoxidável austenítico é entre 30% a 40% maior do que o coeficiente térmico dos aços inoxidáveis ferríticos, martensíticos e aços inoxidáveis duplex; essa característica pode resultar em aumentos em distorções e em tensões residuais na soldagem. A poça de fusão formada durante a soldagem nos aços inoxidáveis austeníticos é mais viscosa do que a poça formada nos aços inoxidáveis ferríticos e martensíticos; isso impede um fluxo do metal líquido, o que pode promover defeitos na solda por falta de fusão. A penetração dos aços inoxidáveis austeníticos, em comparação aos aços inoxidáveis martensíticos e ferríticos, é menor devido à baixa condutividade térmica do material (ZEEMANN, 2003; ASM, 1994).

O comportamento dúctil da liga e a elevada taxa de encruamento são algumas propriedades mecânicas destacadas no aço inoxidável austenítico. A excelente ductilidade do aço austenítico é consequência de sua estrutura cristalina cúbica de face centrada (CFC), que permite 48 sistemas diferentes de deslizamento possíveis em comparação com os 12 sistemas de uma estrutura cúbica de corpo centrado (CCC). Frequentemente são encontradas pequenas quantidades de ferrita de estrutura cúbica de corpo centrado, chamadas de ferrita Delta pois sua formação ocorre em altas temperaturas; a estrutura da ferrita Delta é CCC, permitindo que em seus interstícios acumulem impurezas. A ductilidade, inverso de fragilidade, é uma propriedade que mede o grau de deformação plástica do aço até o rompimento (fratura). Já o encruamento é o endurecimento, que por consequência aumenta a resistência mecânica, que acontece durante a deformação plástica do metal enquanto abaixo da temperatura de recristalização. A grande estabilidade estrutural dessa liga permite o uso do aço em ampla faixa de temperaturas, como em tanques para congelamento desde o nível criogênico quanto em fornos para tratamento térmico. Os aços austeníticos, de estrutura estável, não sofrem o endurecimento por têmpera pois, para qualquer taxa de resfriamento, a austenita não se transformará em martensita (ZEEMANN, 2003; ASM, 1994; PORTO, 2012).

Quando usado como metal base em um processo de soldagem, é destacado o nível baixo de tensões residuais devido a ductilidade do material e também o baixo risco de trincas na região soldada. O material soldado, após receber tensões externas, deforma-se aliviando as tensões internas oriundas do processo de soldagem. Deste modo a maioria das aplicações não necessitam de tratamento térmico para alívio de tensões (ZEEMANN, 2003).

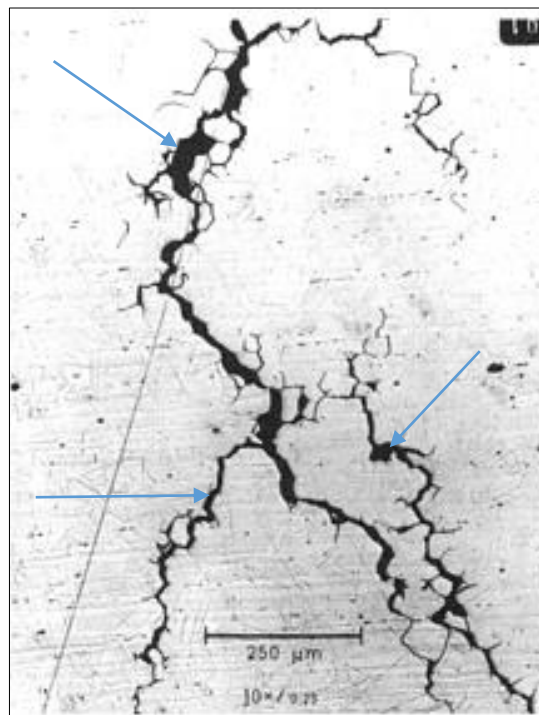
Os aços inoxidáveis austeníticos estão suscetíveis a ataques corrosivos. O histórico térmico de soldagem, temperatura do ambiente bem como a temperatura de operação ou serviço e o nível de stress em que essa liga é submetida, são fatores determinantes para a corrosão em aços inoxidáveis austeníticos. Corrosão intergranular, corrosão sob tensão, corrosão microbiológica, corrosão por pites e corrosão intersticial são os tipos gerais de corrosão encontradas na liga de aço inoxidável (ZEEMANN, 2003; ASM, 1994; PORTO, 2012).

Devido ao aquecimento oriundo, neste caso, do processo de soldagem, pode ocorrer o fenômeno da sensitização ou corrosão intergranular; o fenômeno acontecerá em qualquer temperatura, e dependerá exclusivamente do tempo de exposição. A corrosão intergranular ocorre, preferencialmente, na região de contorno dos grãos, e consiste na precipitação de carbonetos nestas regiões; como consequência há uma diminuição de cromo na região vizinha favorecendo um ataque corrosivo, ocorrendo trincas como mostrado na Figura 4.

A intensidade do fenômeno da sensitização está ligada a quantidade de carbono presente no aço e no tempo de exposição do material a temperatura crítica; um meio de diminuir o fenômeno da sensitização é usar ligas de aço inoxidável com menor quantidade de carbono. Ligas de aço inoxidável classificadas com “L”, são ligas com percentual de carbono na ordem de 0,03% (ASM, 1994; PORTO, 2012).

Existem outros métodos para diminuir o problema da sensitização e da corrosão em aços inoxidáveis. Uma técnica empregada para diminuir a corrosão devido a formação de carbonetos (gerado pelo aquecimento do aço) é a adição de elementos estabilizadores na liga. Os elementos Titânio (Ti) e Nióbio (Nb), são elementos estabilizadores, possuem uma maior afinidade com o Carbono em relação ao Cromo, formando mais facilmente carbonetos de titânio e carbonetos de nióbio ao invés de carbonetos de cromo, diminuindo o fenômeno da sensitização. As operações de trabalho que deformam plasticamente o material realizadas a frio, aceleram a precipitação de carbonetos. O recozimento do material, antes da soldagem, remove qualquer trabalho a frio realizado previamente. Outra técnica empregada é o tratamento térmico após soldagem, mas o tamanho das estruturas pode tornar impraticável este método (ASM, 1994; PORTO, 2012).

Figura 4 – Trincas por sensitização



Fonte: ASM Metals and Handbook Vol 6

Nota: As trincas estão destacadas através de setas.

As trincas em aços inoxidáveis austeníticos podem surgir a partir do stress, tração, o qual a liga é submetida quando em um meio corrosivo específico. Variáveis como a temperatura, ambiente, composição do material, nível de stress submetido e microestrutura são importantes e, suas interações, influenciam na propagação de trinca de forma transgranular ou intergranular (ASM, 1994; PORTO, 2012).

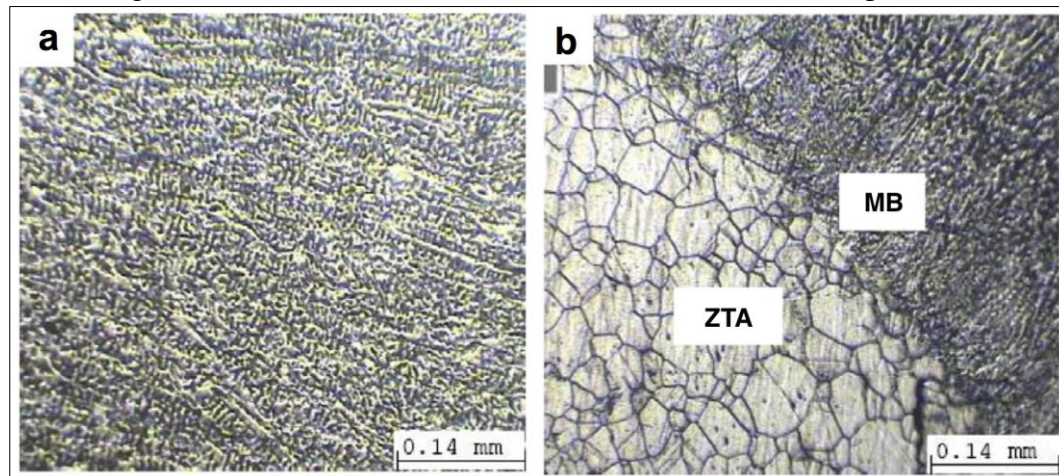
As trincas oriundas do processo de soldagem podem ser resultado da solidificação de austenita primária, devido ao rápido resfriamento da solda (ASM, 1994; PORTO, 2012).

2.4.3 Efeitos Do Aquecimento Nas Propriedades Mecânicas

Segundo KUMAR (2011), revela a influência da temperatura durante o processo de soldagem na região da ZTA, no tamanho das dendritas e na tensão de tração da região soldada.

A análise microestrutural da junta soldada mostrou o impacto do aquecimento na ZTA. Quanto menor a energia de soldagem, menor a temperatura, menor será a ZTA. Perto da região de fusão o tamanho de grão também se mostrou menor em temperaturas de soldagem mais baixas e maiores em temperaturas de soldagem mais altas, conforme Figura 5 “microestrutura de junta soldada com baixa temperatura” e Figura 6 “microestrutura de junta soldada com alta temperatura” (KUMAR, 2011).

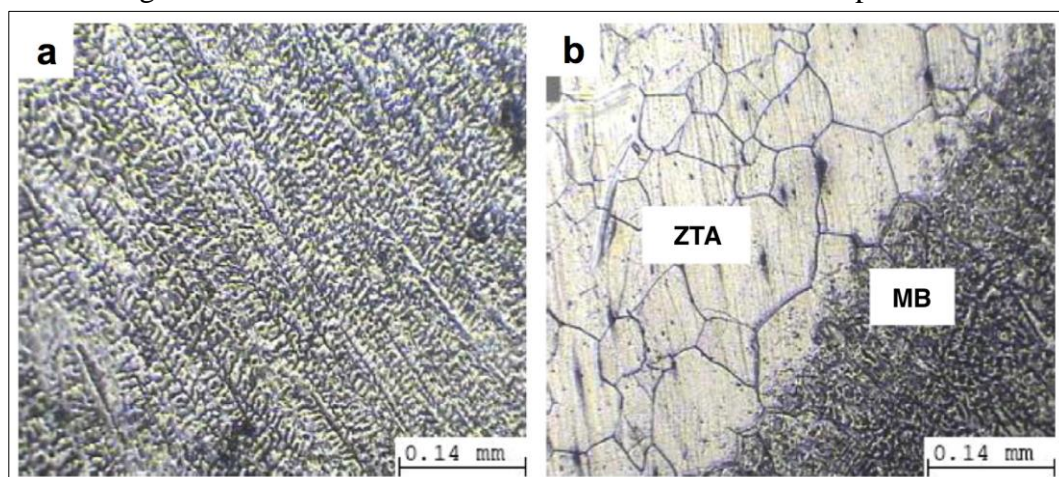
Figura 5 - Microestrutura de Junta Soldada com Baixa Temperatura



Nota: (a) metal de solda / (b) região de fusão e ZTA

Fonte: Effect Of Heat Input On The Microstructure And Mechanical Properties Of Gas Tungsten Arc Welded Aisi 304 Stainless Steel Joints

Figura 6 - Microestrutura de Junta Soldada com Alta Temperatura



Nota: (a) metal de solda / (b) região de fusão e ZTA

Fonte: Effect Of Heat Input On The Microstructure And Mechanical Properties Of Gas Tungsten Arc Welded Aisi 304 Stainless Steel Joints

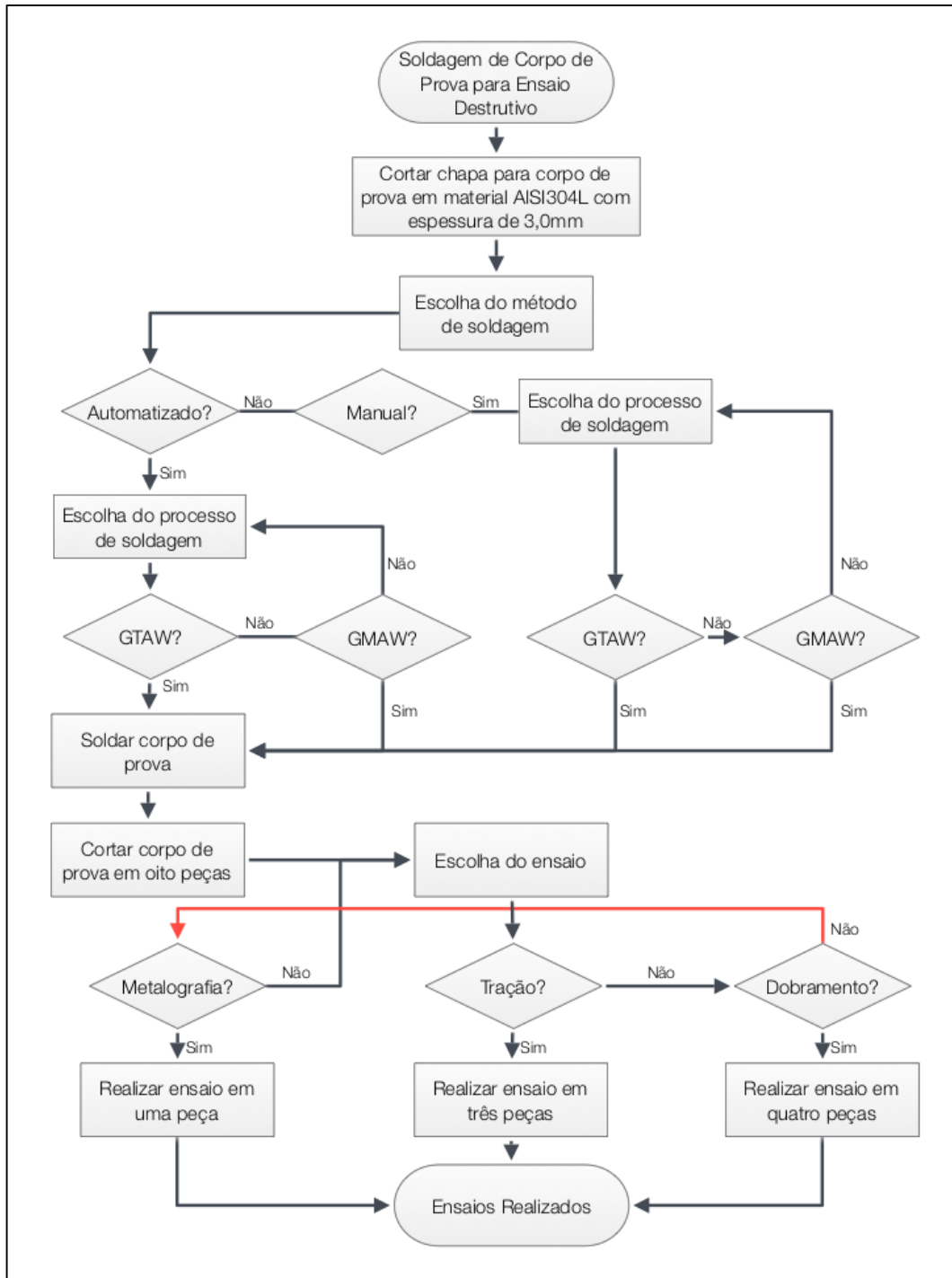
Os testes de tração realizados nos corpos de prova mostraram que a junta soldada com menor energia, ou seja, menor aquecimento, possui maior resistência a tração e ductilidade em relação as demais juntas soldadas com energia de soldagem mais elevada (maiores temperaturas).

Através da análise de microestrutura, KUMAR (2011) explica que a alta resistência a tração e ductilidade estão relacionadas aos menores tamanhos das dendritas e aos menores espaçamentos das dendritas na zona de fusão. Nos corpos de prova de juntas soldadas com maior energia de soldagem, encontrou-se maiores tamanhos de dendritas e, como consequência, menor resistência a tração e ductilidade.

3 DESENVOLVIMENTO

A Figura 7 mostra o organograma para a fabricação dos corpos de prova, escolha dos processos de soldagem, métodos de soldagem, ensaios destrutivos e a quantidade de corpos de prova necessários para cada ensaio.

Figura 7 - Organograma de Ensaio Destrutivos



Fonte: Próprio autor

Esta pesquisa teve como objetivo principal confirmar que os requisitos mínimos estabelecidos em norma são atendidos nos processos de soldagem automatizados. Como objetivos secundários, foram realizadas análises qualitativas dos cordões de solda e de desempenho do processo automatizado.

Como forma de estabelecer dados comparativos, os métodos de soldagem foram realizados de forma automatizada e de forma manual. Os processos de soldagem utilizados para realizar os cordões de soldas nos corpos de prova foram GMAW e GTAW.

3.1 AÇO INOXIDAVEL

Os corpos de prova foram fabricados utilizando partes de bobina laminada com espessura de 3,0 mm em ligas de aço inoxidável AISI304L. Os dados relacionados ao ensaio estão descritos na Tabela 2.

A matéria-prima recebeu tratamento térmico de solubilização com temperatura mínima de 1.040°C, cujo objetivo é dissolver a maior parte dos precipitados formados durante o processo de solidificação da liga.

A composição química de ligas de aço inoxidável AISI304L devem estar de acordo com a norma ASTM A240 e ASTM A240M 14.

A Tabela 3 apresenta um comparativo entre a composição química estabelecida pela norma ASTM e a composição química da matéria prima utilizada para fabricação dos corpos de prova.

A Tabela 4 apresenta um comparativo entre a composição química estabelecida pela norma ASTM e a composição química do material de adição, ER 347 Si, utilizada durante o processo de soldagem dos corpos de prova.

Tabela 2 – Informações, do fabricante, sobre a matéria prima

Especificação do Ensaio	Resultado do Ensaio
Lim Resistência à Tração	674,0 MPa
Lim. Escoamento 0,2%	327,0 MPa
Alongamento	52,0 %
Tamanho de Grão	07/08
Dureza RB	83,9 HRB

Fonte: APERAM, Anexo A

Tabela 3 - Comparativo da composição química da liga AISI304L

Elementos	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	N (ppm)
Norma	0,030 Máx.	2,00 Máx.	0,75 Máx.	0,045 Máx.	0,0300 Máx.	18 a 20	8 a 12	0,1%
MP	0,025	1,28	0,44	0,036	0,0041	18,18	8,0	547

Fonte: APERAM, Anexo A

Tabela 4 - Comparativo da composição química da liga ER 347 Si

Elementos	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb+Ta
MP	0,040	1,70	0,72	0,011	0,025	19,19	9,25	0,05	0,08	0,52
Norma	0,080 Máx.	2,00 Máx.	0,75 Máx.	0,030 Máx.	0,045 Máx.	17 a 19	9 a 13	0	-	10 x C _{mín}

Fonte: Raajratna, Anexo B Electrodes Pvt. Ltd.

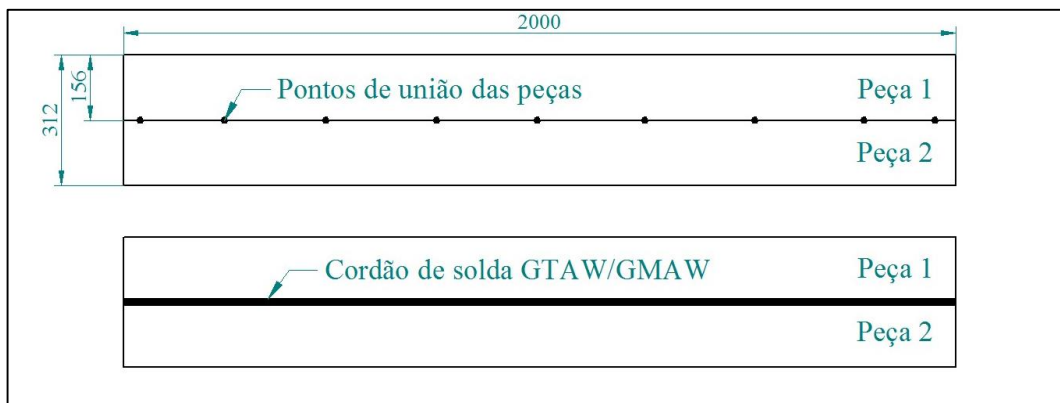
3.2 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Foram retiradas oito partes de chapa conforme as características abaixo. Denominamos cada parte de chapa retirada da bobina como peça.

- Peças de bobina de aço inoxidável, AISI304L, laminada a frio;
- Espessura da chapa de 3,0mm;
- Largura das peças para corpo de prova: 156mm;
- Comprimento das peças para corpo de prova: 2.000mm.

A Figura 8 mostra a geometria e dimensões das peças que foram soldadas utilizando os processos GTAW e GMAW.

Figura 8 - Geometria e dimensões das peças do corpo de prova



Fonte: Próprio autor

As peças foram cortadas em máquina guilhotina com intuito de garantir a qualidade geométrica das bordas, não necessitando de posterior tratamento ou aparamento de bordas. Também não foram realizados chanfros nas bordas das peças que receberam os cordões de solda. As peças dos corpos de prova soldados através do processo GTAW foram montadas de topo, na posição de soldagem horizontal, sem distância entre as juntas soldadas. A Figura 9 e a Figura 10 mostram os corpos de prova antes dos processos de soldagem.

Figura 9 - Corpo de prova para processo de soldagem GTAW automatizado



Fonte: Próprio autor

Figura 10 - Corpo de prova para processo de soldagem GTAW manual



Fonte: Próprio autor

As peças dos corpos de prova soldados através do processo GMAW foram montados de topo, na posição de soldagem horizontal, com distância de 1,0mm entre as faces da junta para soldagem. A Figura 11 mostra o corpo de prova antes do processo de soldagem; a Figura 12 mostra o corpo de prova após o processo de soldagem.

Todos os pontos de união das peças foram gerados através do processo GTAW e as juntas, para soldagem das peças, foram limpas com álcool.

Figura 11 - Corpo de prova para processo de soldagem GMAW manual



Fonte: Próprio autor

Figura 12 - Corpo de prova para processo de soldagem GMAW automatizado



Fonte: Próprio autor

O processo de soldagem GMAW foi realizado utilizando, como fonte de soldagem, fonte Fronius modelo TPSi 400, conforme Figura 13. A Tabela 5 descreve os parâmetros utilizados para a soldagem dos corpos de prova.

Figura 13 - Fonte Fronius TPSi 400



Fonte: Próprio autor

Tabela 5 - Parâmetros de Soldagem GMAW

Parâmetros de Soldagem	Soldagem Manual	Soldagem Automatizada
Tensão de Operação	21,8 V	22,5 V
Corrente de Operação (CO)	165 A	185 A
Corrente de Início	135% da CO	135% da CO
Corrente Final	50% da CO	50% da CO
Vazão de Gás	15,0 l/min	15,0 l/min
Velocidade de Soldagem	35,0 cm/min	55,0 cm/min
Velocidade de Arame	7,7 m/min	9,2 m/min
Correção do Comprimento do Arco	-2,0	-2,0
Estabilidade da Penetração da Solda	10,0	10,0
Pré Fluxo de Gás	0,6s	0,6s
Pós Fluxo de Gás	3,0s	3,0s
Frequência	2,0Hz	2,0Hz
Rampa de Subida	1,0s	1,0s
Rampa de Descida	1,0s	1,0s

Fonte: Próprio autor

O processo de soldagem GTAW foi realizado utilizando, como fonte de soldagem, fonte Fronius modelo TransTIG 4000, conforme Figura 14. A Tabela 6 descreve os parâmetros utilizados para a soldagem dos corpos de prova.

Figura 14 - Fonte Fronius TransTIG 4000



Fonte: Próprio autor

Os cordões de soldas realizados através do processo GTAW foram executados utilizando a corrente pulsada, ou seja, com variação dos valores entre corrente de pico e corrente base; para este processo de soldagem, foi estabelecido que a corrente base era 60% do valor da corrente de pico. O material de adição (arame), normatizado ER 347 Si, utilizado no processo de soldagem GMAW, possuía diâmetro de 1,0 mm; no processo de soldagem GTAW foi utilizado arame com diâmetro de 1,2 mm.

Tabela 6 - Parâmetros de Soldagem GTAW

Parâmetros de Soldagem	Soldagem Manual	Soldagem Automatizada
Tensão de Operação	19,08 V	20,46 V
Corrente de Operação (CO)	200A	215A
Corrente de Início	69% da CO	69% da CO
Corrente Final	40% da CO	40% da CO
Vazão de Gás	12,0 l/min	12,0 l/min
Velocidade de Soldagem	18,7 cm/min	25,0 cm/min
Velocidade de Arame	Manual	85,0 cm/min
Frequência	1,5Hz	1,5Hz
Rampa de Subida	3,0s	3,0s
Rampa de Descida	1,0s	1,0s

Fonte: Próprio autor

Todos os corpos de prova foram soldados na posição horizontal, em passe único. No processo de soldagem GTAW, o gás de proteção utilizado foi Ar (argônio). No processo de soldagem GMAW, foi utilizado uma mistura, para gás de proteção, composto por 97% Ar (argônio) e 3% de CO₂ (gás carbônico). No processo de soldagem GTAW, foi utilizado um *backing*, (ferramenta que permite um fluxo de gás de proteção em uma região localizada, permitindo proteção do cordão da solda na região contrária a abertura do arco) interno para a proteção da poça de fusão.

Após a soldagem das peças, foram realizados os cortes dos corpos de prova conforme geometria estabelecida na norma ASME IX seções QW462.1(a), QW161.1, QW161.2 e QW161.3.

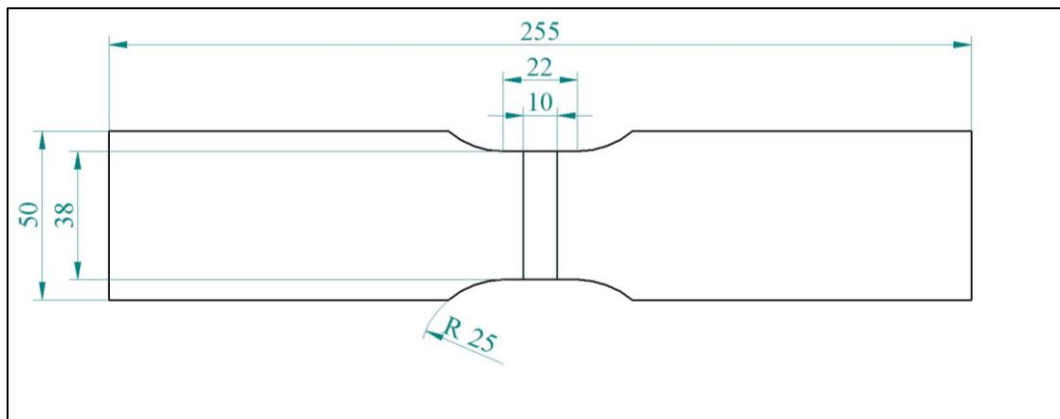
3.3 ENSAIOS DESTRUTIVOS

3.3.1 Ensaio De Tração

Os testes de tração foram realizados conforme estabelecido na norma ASME IX, em corpo de prova de seção reduzida de chapa, conforme descrito na seção QW151.1(a). Os testes foram validados a partir dos critérios descritos através da seção QW153.1(c).

Os ensaios respeitaram os procedimentos descritos na seção QW152. As geometrias dos corpos de prova seguiram conforme descrito na seção QW462.1(a). A Figura 15 representa o modelo dos corpos de prova que foram utilizados para os ensaios de tração.

Figura 15 - Corpo de prova para ensaio de tração



Fonte: Próprio autor

A Tabela 6 exemplifica a quantidade de corpos de prova retirados para a realização dos ensaios de tração.

Tabela 6 - Relação dos Corpos de Prova para Ensaio de Tração

Método de Soldagem	Processo de Soldagem	Número do Corpo de Prova	Corpos de Prova
Automatizado	GMAW	1	1.1 / 1.2 / 1.3
Manual	GTAW	2	2.1 / 2.2 / 2.3
Manual	GMAW	3	3.1 / 3.2 / 3.3
Automatizado	GTAW	4	4.1 / 4.2 / 4.3

Fonte: Próprio autor

3.3.2 Ensaio De Dobramento Guiado

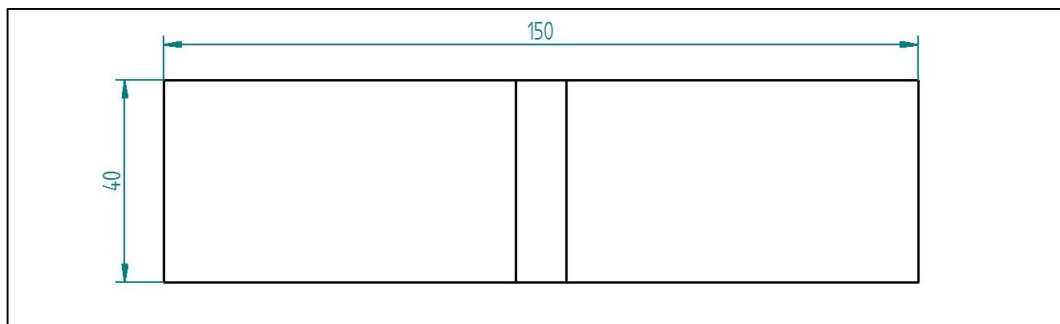
Os testes de dobramento foram realizados conforme estabelecidos na norma ASME

IX, em corpo de prova de seção retangular, conforme descrito na seção QW161.1 (para ensaio de dobramento transversal lateral), QW161.2 (para ensaio de dobramento transversal de face) e QW161.3 (para ensaio de dobramento transversal de raiz). Os ensaios respeitaram os procedimentos descritos na seção QW162.1. Os testes foram validados a partir dos critérios descritos na seção QW163.

As geometrias dos corpos de prova seguiram conforme descrito na seção QW161.1 (dobramento transversal lateral), QW161.2 (dobramento transversal de face) e QW161.3 (dobramento transversal de raiz). A Figura 16 representa o modelo dos corpos de prova que foram utilizados para os ensaios de dobramento.

Foram realizados ensaios de dobramento guiado utilizando um cutelo com diâmetro de 38,0mm, conforme especificado na norma ASME IX. Os corpos de prova foram submetidos ao dobramento com ângulo de 180°.

Figura 16 - Corpo de prova para ensaio de dobramento



Fonte: Próprio autor

A Tabela 7 exemplifica a quantidade de corpos de prova retirados para a realização dos ensaios de dobramento.

Tabela 7 - Relação dos Corpos de Prova para Ensaio de Dobramento

Método de Soldagem	Processo de Soldagem	Número do Corpo de Prova	Corpos de Prova
Automatizado	GMAW	1	1.1 / 1.2 / 1.3 / 1.4
Manual	GTAW	2	2.1 / 2.2 / 2.3 / 2.4
Manual	GMAW	3	3.1 / 3.2 / 3.3 / 3.4
Automatizado	GTAW	4	4.1 / 4.2 / 4.3 / 4.4

Fonte: Próprio autor

3.3.3 Ensaio Metalográfico

Os ensaios metalográficos foram realizados utilizando o procedimento, primeiro, de embutimento das peças, devido ao seu pequeno tamanho. O embutimento consistiu na colocação dos corpos de prova em um molde de resinas sintéticas de polimerização, que facilitou o manuseio para análise.

A segunda etapa realizada foi dar acabamento e polimento nas amostras nos corpos de prova. Os corpos de prova foram submetidos ao lixamento manual, mudando-se de direção do lixamento (0° - 90° - 180° - 270°) e submetendo a amostra a sucessivas lixas de granulometria cada vez menores, com o intuito de remover riscos e marcas da superfície das peças. Após, os corpos de prova foram polidos.

Na terceira etapa realizado foi realizado o polimento eletrolítico com o uso do reagente ácido oxálico.

Foram geradas imagens, com o auxílio de um microscópio, dos corpos de prova conforme descrito na Tabela 8.

Tabela 8: Imagens do Ensaio Metalográfico

Região	Ampliação	Escala
Metal base	100x	100 μm
Metal base	200x	50 μm
Metal base	500x	20 μm
Metal de Solda e Metal base	100x	100 μm
Metal de Solda	100x	100 μm
Metal de Solda	200x	50 μm
Metal de Solda	500x	20 μm
ZTA	200x	50 μm
ZTA	500x	20 μm

Fonte: Próprio autor

3.3.4 Medição De Tempos Dos Processos

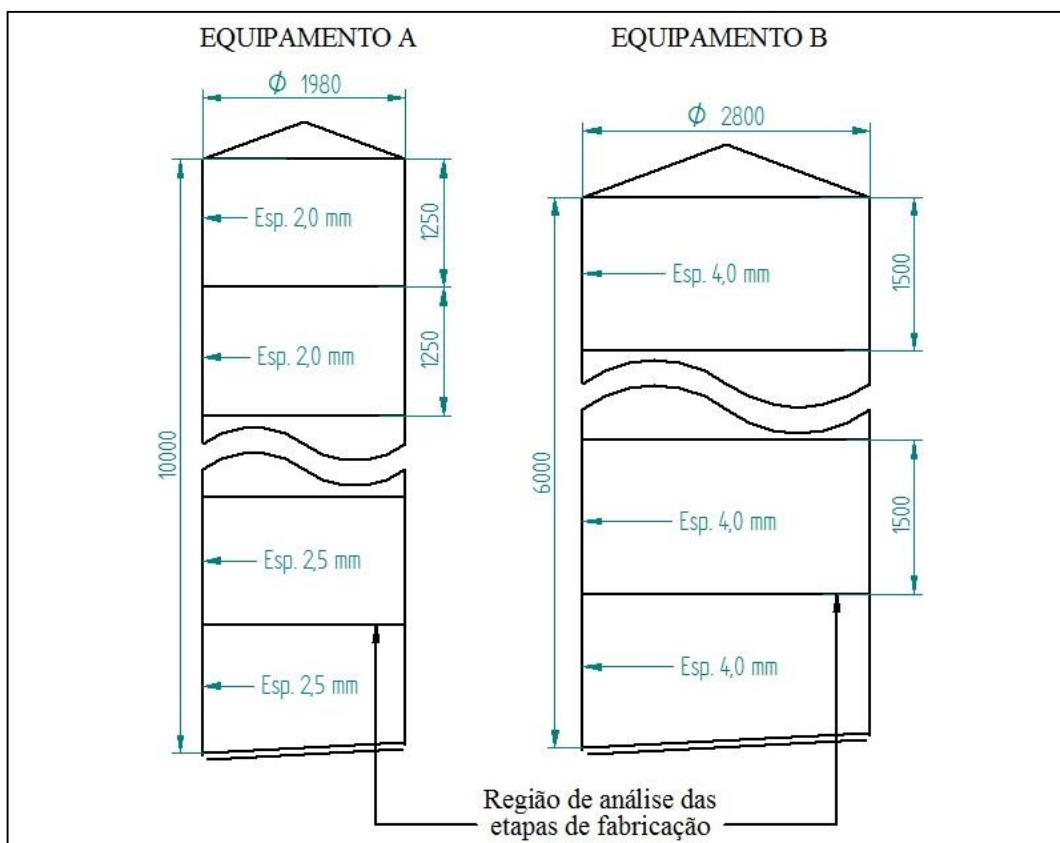
A análise de tempo foi realizada a partir das medições das etapas de produção de equipamentos (tanques reservatórios) fabricados pela empresa. Conforme exemplificado na Figura 17, dois modelos diferentes de tanques reservatórios foram utilizados para a medição

dos tempos das etapas de fabricação. O equipamento A é composto por 5 anéis de 2,0 mm, 3 anéis de 2,5 mm e fundo de 2,5 mm. O equipamento B é composto por 4 anéis de 4,0 mm e fundo de 4,0 mm.

Para comparação das durações dos tempos de processos, as seguintes etapas foram analisadas.

- Tempo decorrido para medição dos anéis e marcação dos quadrantes;
- Tempo decorrido para pré-montagem das peças através da união com pontos;
- Tempo decorrido do processo de gerar pontos de soldas, a uma distância média de 25mm entre pontos, na circunferência das peças;
- Tempo decorrido para o processo de alinhamento dos anéis através de rolos compressores;
- Tempo decorrido para realizar a soldagem em anéis;
- Tempo decorrido do processo de *peening*, que é o esmagamento do cordão de solda, através de rolos compressores, com objetivo de escoar o cordão, evitando deformações indesejáveis. O processo consiste em adicionar tensão trativas em uma região de tensões compressivas oriundas do processo de soldagem.
- Tempo decorrido no processo de lixamento interno do cordão de solda (com o uso de abrasivos).

Figura 17 – Desenho de modelos de tanques reservatórios



Fonte: Próprio autor

Nos processos de soldagem automatizados, as operações de gerar pontos de solda, a uma distância média de 25 mm entre pontos, e o alinhamento dos anéis através de rolos compressores, ocorrem ao mesmo tempo, diminuindo assim o tempo necessário para conclusão das operações envolvidas.

No processo de soldagem manual, a operação de alinhamento dos anéis ocorre com o uso de um martelo (usado na parte externa dos anéis cilíndricos) e um bloco de metal (usado na parte interna dos anéis cilíndricos) para apoio.

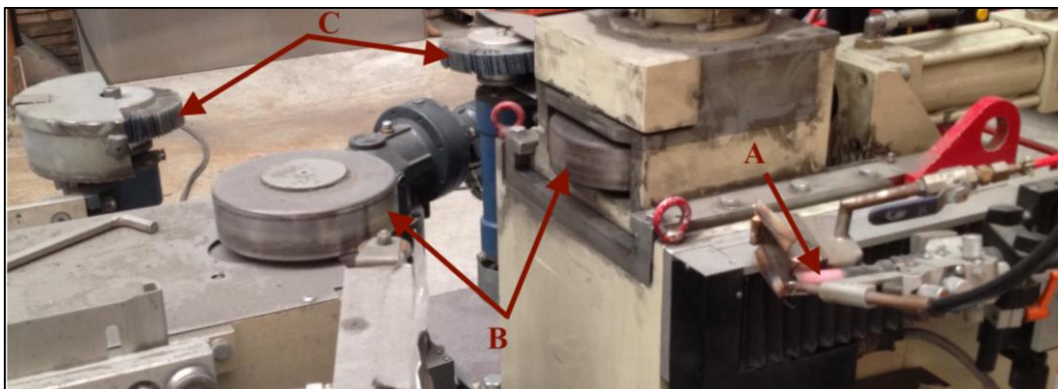
Figura 18 – Modelo de Tanque Fabricado na Theodosio Randon



Fonte: Próprio autor

A Figura 19 mostra uma máquina de automação dos processos de soldagem (A), prensagem (B) e lixamento (C).

Figura 18 – Automação de Processos



Fonte: Próprio autor

3.3.5 Análise Qualitativa Dos Cordões De Solda

- Quanto a largura do cordão de solda:

Os cordões de solda, realizados através de processos de soldagem automatizados, são aprovados quando apresentarem largura constantes e inferior a 10 mm.

Os cordões de solda, realizados através do processo de soldagem manual, são aprovados quando a largura do cordão de solda apresentar variação inferior a x mm e largura máxima inferior a 10 mm.

- Quanto à altura do cordão de solda:

Os cordões de solda, realizados através de processos de soldagem GTAW automatizados, são aprovados quando a altura do cordão de solda apresentar-se constante e inferior a 1,5 mm.

Os cordões de solda, realizados através do processo de soldagem GMAW automatizados, são aprovados quando a altura do cordão de solda apresentar-se constante e inferior a 2,5 mm.

Os cordões de solda, realizados através do processo de soldagem GTAW manual, são aprovados quando a altura do cordão de solda apresentar variação inferior a 0,5 mm e altura máxima inferior a 1,5 mm.

4 RESULTADOS

4.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

A Tabela 9 descreve os resultados do ensaio de tração realizados no laboratório de ensaios mecânicos, LAMEC, da Universidade de Caxias do Sul. Nos ensaios de tração, todos os corpos de prova romperam na região da solda.

Tabela 9: Relatório de ensaio de tração

Corpo Prova	Ident.	Esp. (mm)	Larg. (mm)	Tensão de Escoamento (MPa)	Tensão de Ruptura (MPa)
CP1	1,1	2,96	36,32	370,98	643,31
CP2	1,2	3,01	36,79	367,94	658,91
CP3	1,3	2,93	36,77	364,90	636,35
CP4	2,1	2,77	37,55	360,10	610,95
CP5	2,2	2,53	37,49	357,45	593,20
CP6	2,3	2,94	37,49	369,61	636,55
CP7	3,1	3,00	37,63	372,16	674,69
CP8	3,2	2,83	37,24	357,35	491,02
CP9	3,3	3,24	37,48	371,87	717,65
CP10	4,1	2,76	37,57	370,59	706,17
CP11	4,2	2,75	37,57	374,32	696,27
CP12	4,3	2,76	37,61	372,65	702,94

Fonte: LAMEC - Universidade de Caxias do Sul

A Tabela 10 descreve os limites mínimos da tensão de ruptura e da tensão de escoamento do metal de solda e do metal base; segundo as normas ASME SA240 e ASTM A240.

Tabela 10: Limite de escoamento e tração

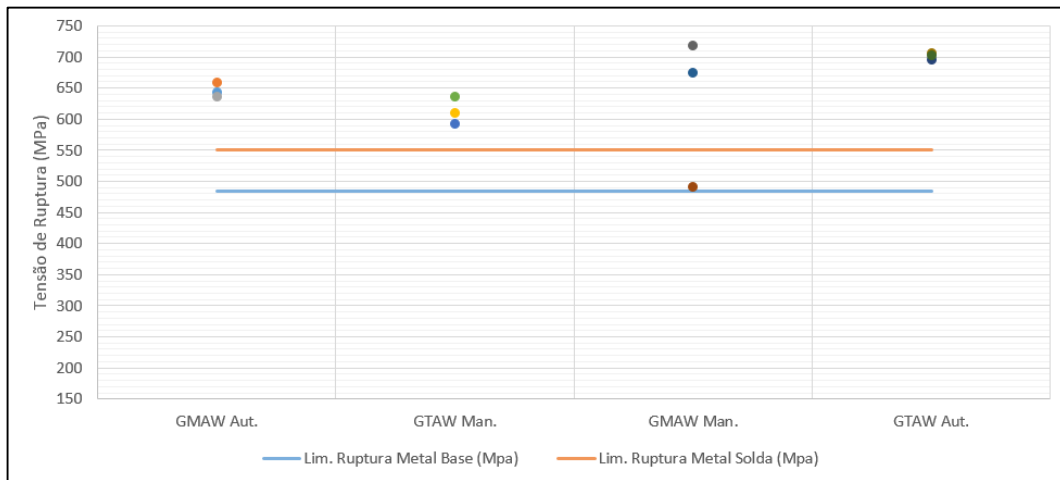
	Metal de Solda	Metal Base
Limite ao Escoamento	350 MPa	170 MPa
Limite de Resistência à Tração	550 MPa	485 MPa

Fonte: Próprio autor

A Figura 19 mostra um gráfico com valores de tensão de ruptura, agrupados por processo de soldagem e método de soldagem, encontrados nos ensaios de tração. O valor de tensão de ruptura, mínimo, aceito para que um corpo de prova seja aprovação no ensaio de tração é o valor correspondente ao valor mínimo da tensão de ruptura do metal base.

O processo de soldagem GTAW automatizado alcançou a maior média de tensão de ruptura dos ensaios.

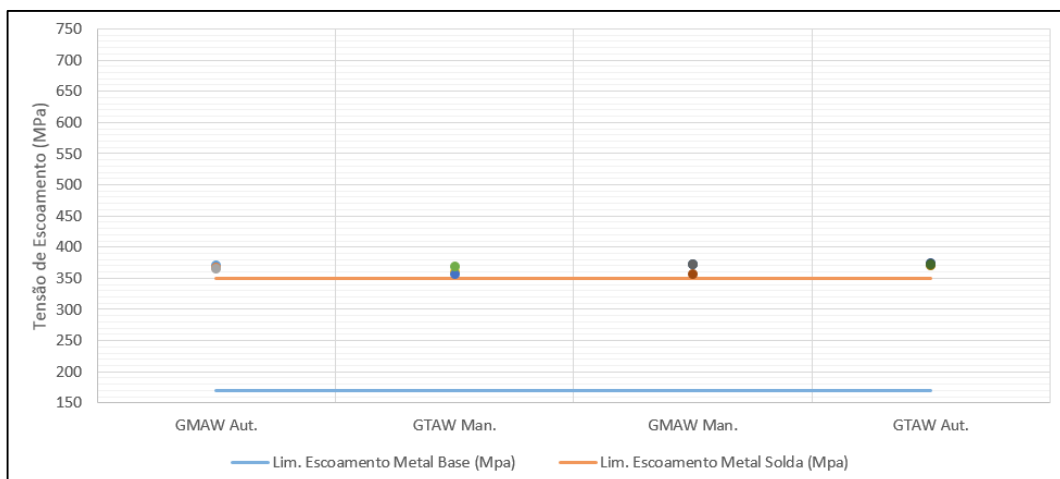
Figura 19 - Tensão de ruptura dos ensaios de tração



Fonte: Próprio autor

A Figura 20 mostra um gráfico com valores de tensão de escoamento, agrupados por processo de soldagem e método de soldagem, encontrados nos ensaios de tração. O valor de tensão de escoamento mínimo aceito para que um corpo de prova seja aprovação no ensaio de tração é o valor correspondente ao valor mínimo da tensão de escoamento do metal base.

Figura 20 - Tensão de escoamento dos ensaios de tração



Fonte: Próprio autor

Todos os corpos de prova apresentaram valores de tensão de ruptura e de tensão de escoamento acima do valor mínimo das tensões de ruptura e de escoamento do metal base.

O valor da tensão de ruptura do corpo de prova número 8, cujo processo de soldagem foi o GMAW manual, apresentou um valor de tensão abaixo da média das tensões encontradas nos outros corpos de prova do mesmo processo de soldagem; este pode estar relacionado com o defeito no cordão de solda de falta de penetração.

4.2 ENSAIO DE DOBRAMENTO

A Tabela 11 mostra o relatório referente ao ensaio de dobramento. Os corpos de prova foram submetidos a análise qualitativa para o surgimento de trincas e descontinuidades, conforme estabelecido pela norma ASME IX.

No ensaio de dobramento, não surgiram trincas ou descontinuidades que reprovassem os corpos de prova.

Tabela 11: Relatório de ensaio de dobramento

Corpo de Prova	Esp. (mm)	Trincas	Descontinuidades	Análise	Situação
CP1	2,95	Não	Não	Face	Aprovado
CP2	2,94	Não	Não	Face	Aprovado
CP3	3,01	Não	Não	Raiz	Aprovado
CP4	2,95	Não	Não	Raiz	Aprovado
CP5	3,08	Não	Não	Face	Aprovado
CP6	3,00	Não	Não	Face	Aprovado
CP7	2,96	Não	Não	Raiz	Aprovado
CP8	3,04	Não	Não	Raiz	Aprovado
CP9	3,02	Não	Não	Face	Aprovado
CP10	3,00	Não	Não	Face	Aprovado
CP11	3,05	Não	Não	Raiz	Aprovado
CP12	3,03	Não	Não	Raiz	Aprovado
CP13	2,72	Não	Não	Face	Aprovado
CP14	2,87	Não	Não	Face	Aprovado
CP15	2,85	Não	Não	Raiz	Aprovado
CP16	2,92	Não	Não	Raiz	Aprovado

Notas: Análise realizada conforme norma ASME IX, item QW-163.

Fonte: Próprio autor

4.3 ANÁLISE QUALITATIVA DOS CORDÕES DE SOLDA

O corpo de prova produzido pelo processo de soldagem GMAW automatizado, apresentou um cordão de solda constante, conforme mostra a Figura 21, com largura igual a 7,8 mm, altura da face de 2,6 mm, 151,9 g/m de material de adição e total penetração da junta.

Figura 21 – Cordão de solda GMAW Automatizado



Fonte: Próprio autor

O corpo de prova produzido pelo processo de soldagem GTAW manual, apresentou um cordão de solda com largura média de 8,55 mm, altura média da face de 1,2 mm e penetração total da junta.

O corpo de prova, cujo processo de soldagem realizado foi o GMAW manual, apresentou um cordão de solda inconstante, conforme mostra a Figura 22, com muitas variações na largura do cordão, com largura média de 7,2 mm, altura da face de 1,45 mm, 199,8 g/m de material de adição e penetração parcial da solda na junta do corpo de prova.

Figura 22 – Cordão de solda GMAW Manual

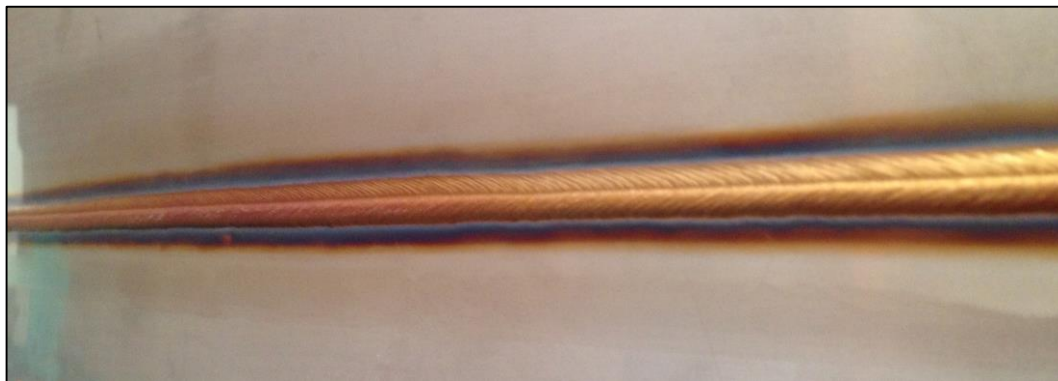


Fonte: Próprio autor

O corpo de prova produzido pelo processo de soldagem GTAW automatizado,

apresentou um cordão de solda constante, conforme mostra a Figura 23, com largura de 8,10 mm, altura da face de 1,0 mm, 30,9 g/m de material de adição e penetração total da junta.

Figura 23 – Cordão de solda GTAW Automatizado



Fonte: Próprio autor

O processo de soldagem GMAW manual foi reprovado devido a devidas inconstâncias e falhas no cordão de solda.

Os processos de soldagem GMAW automatizado e GTAW automatizado foram aprovados. Ambos os processos apresentaram um padrão geométrico constante com largura inferior a 10 mm.

O processo de soldagem GTAW manual foi aprovado nos requisitos mínimos para a largura do cordão de solda e altura do cordão de solda.

Devido ao aspecto visual dos cordões de solda, e sempre que os requisitos mínimos necessários para a fabricação de equipamentos (diâmetro superior a 1,6 m e inferior a 4,2 m), nas máquinas de automação, forem atendidos, deve ser utilizado como o método de soldagem padrão o processo de soldagem automatizado.

4.4 TEMPO DOS PROCESSOS

Foram medidos os tempos de cada processo de fabricação de sete equipamentos, fabricados pela Theodosio Randon, conforme descrito na metodologia.

Na Tabela 12 e na Tabela 13, estão descritos os tempos médios de cada etapa de produção, coletados durante a fabricação de três equipamentos. A Tabela 12 refere-se a montagem dos anéis (cilindro) e a Tabela 13 refere-se a montagem dos anéis com o fundo do equipamento, conforme citado anteriormente na Figura 17 (equipamento A), cujo métodos de soldagem utilizados foram o GTAW automatizado e GTAW manual, respectivamente.

Tabela 12: Tempos médios coletados na estação de soldagem GTAW automatizado

Etapa	Tempo Médio
Medição das peças	16 min – 14,29%
Pré-montagem através da união com pontos	25 min – 22,32%
Processo de gerar pontos na circunferência das peças	16 min – 14,29%
Processo de soldagem	34 min – 30,36%
Processo de <i>peening</i>, do cordão de solda	3 min – 2,68%
Lixamento interno	18 min – 16,07%
Tempo Total Médio	112 min – 100%

Fonte: Próprio autor

Tabela 13: Tempos médios coletados na estação de soldagem GTAW manual

Etapa	Tempo Médio
Medição das peças	19 min – 6,38%
Pré-montagem através da união com pontos	36 min – 12,08%
Processo de gerar pontos na circunferência das peças	29 min – 9,73%
Alinhamento das peças	44 min - 14,77%
Processo de soldagem	60 min – 20,13%
Processo de <i>peening</i>, do cordão de solda	23 min – 7,73%
Lixamento interno	87 min – 29,19%
Tempo Total Médio	298 min – 100%

Fonte: Próprio autor

Na Tabela 14, estão descritos os tempos médios de cada etapa de produção coletados durante a fabricação de dois equipamentos, conforme citado anteriormente na Figura 17 (equipamento B), cujo método de soldagem utilizado foi o GMAW manual.

O tempo médio gasto para realizar as medições e marcações das peças, de todos os processos de soldagem analisados, foi aproximadamente 18,9 min. As medições e marcações das peças foram realizadas de forma manual independentes dos processos de soldagem.

O tempo médio gasto, na pré-montagem das peças, de todos os processos de soldagem analisados, foi aproximadamente 31,1 min. As pré-montagens das peças foram realizadas de forma manual independentes dos processos de soldagem.

Tabela 14: Tempos médios coletados na estação de soldagem GMAW automatizado

Etapa	Tempo Médio
Medição das peças	23 min - 16,91%
Pré-montagem através da união com pontos	35 min – 25,74%
Processo de gerar pontos na circunferência das peças	22 min – 16,18%
Processo de soldagem	25 min – 18,38%
Processo de <i>peening</i>, do cordão de solda	4 min – 2,94%
Lixamento interno	27 min – 19,85%
Tempo Total Médio	136 min – 100%

Fonte: Próprio autor

O tempo médio gasto, nas atividades de gerar pontos e alinhamento das peças, foi aproximadamente 24,21 min. O processo de soldagem GTAW automatizado apresentou tempo médio de 33,90% inferior ao tempo médio; e o processo de soldagem GTAW manual apresentou tempo médio de 19,70% superior ao tempo médio para medições e marcações das peças.

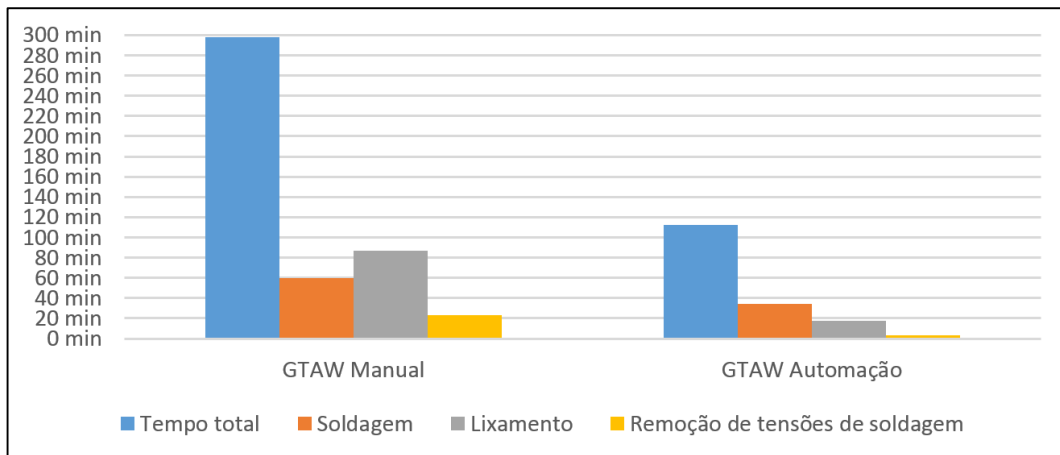
O tempo médio gasto, na atividade de *peening* dos cordões de solda das peças, com a utilização da automação, foi aproximadamente 3,4 min. Este processo se mostrou extremamente vantajoso quando comparado ao processo manual, que possui tempo médio gasto de 23 min.

O tempo médio gasto, no lixamento das peças, com a utilização da automação, foi de 21,6 min. Este processo se mostrou extremamente vantajoso quando comparado ao processo manual, que possui tempo médio gasto de 87 min.

O tempo médio gasto, na soldagem das peças com a utilização da automação, foi de 28,8 min. Este processo se mostrou extremamente vantajoso quando comparado ao processo manual, que possui tempo médio gasto de 60 min.

A Figura 24 relaciona os tempos totais gastos na fabricação de um anel (em um equipamento de automação de soldagem GTAW e em processo de fabricação de soldagem manual GTAW), com as 3 etapas de fabricação (soldagem, lixamento e *peening*) que detém a maior influência do tempo total necessário para a fabricação de cada processo. Nesta figura, quanto menor o tempo de fabricação melhor.

Figura 24 - Processos de Soldagem x Atividade

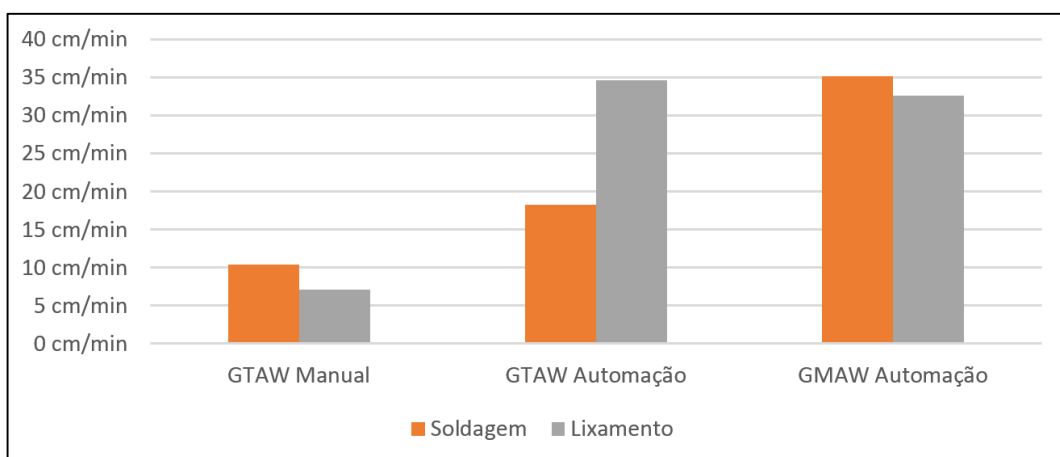


Fonte: Próprio autor

O tempo total gasto na fabricação dos equipamentos, utilizando procedimentos automatizados, é 62,42% menor quando comparado ao tempo total gasto na fabricação dos equipamentos utilizando procedimentos manuais.

A Figura 25 relacionou as velocidades de soldagem e de lixamento com os processos de soldagem GTAW manual, GTAW automatizado e GMAW automatizado. Nesta imagem, quanto maior a velocidade de soldagem, melhor.

Figura 25 – Velocidade de Soldagem x Lixamento



Fonte: Próprio autor

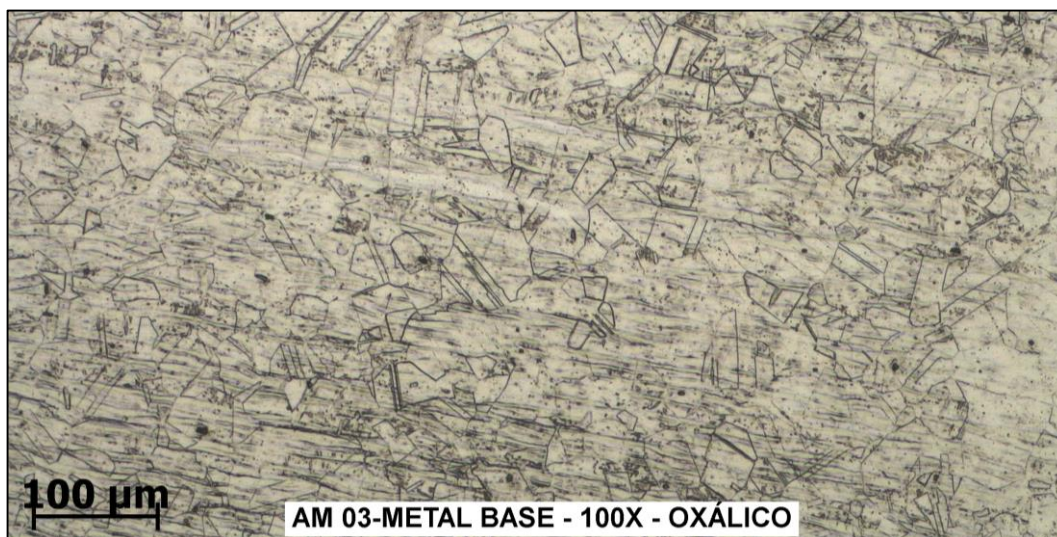
A maior velocidade de soldagem foi encontrada no processo GMAW automatizado, cuja velocidade média foi de 35 cm/min. A menor velocidade de soldagem encontrada foi no processo de GTAW manual, cuja velocidade média foi de 10 cm/min.

A velocidade de soldagem do processo GTAW automatizado foi de 18 cm/min.

4.5 ENSAIOS METALOGRÁFICOS

A Figura 26, do metal base utilizado para a confecção de todos os corpos de prova, a metalografia mostra um aço austenítico típico.

Figura 26 - Metalografia do Metal Base



LAMEC - Universidade de Caxias do Sul

A Figura 27 corresponde a região de solda no corpo de prova. Esta microestrutura foi revelada no metal base dos CP soldados nos processos GMAW automatizado, GMAW manual e GTAW automatizado.

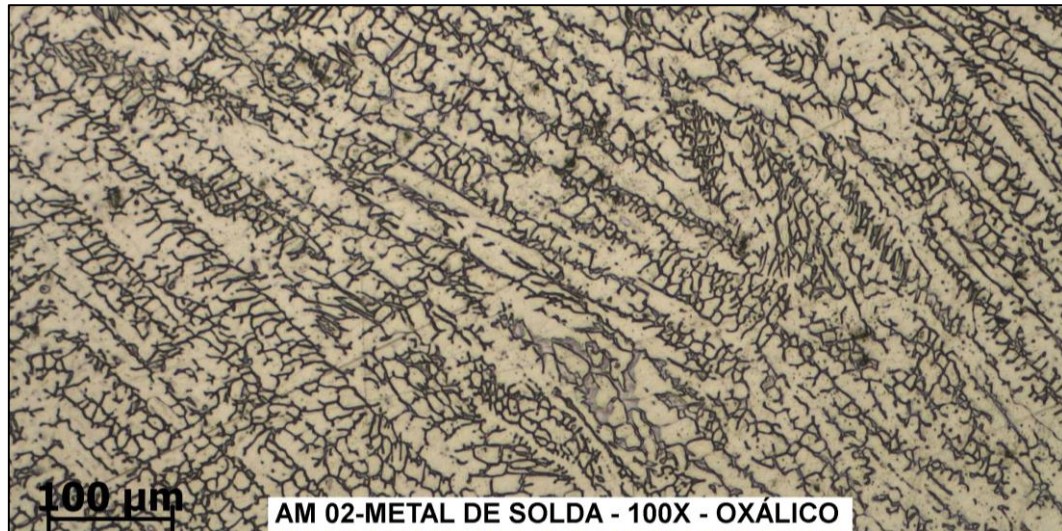
Figura 27 - Metalografia do Metal de Solda



LAMEC - Universidade de Caxias do Sul

A Figura 28 corresponde a região de solda do CP. Esta microestrutura foi revelada no metal base do CP soldado no processo GTAW manual. Esta, mostra a ferrita delta vermicular em uma quantidade menor do que a ferrita delta vermicular apresentada na Figura 27, configurando uma diferença no tamanho de grãos entre as duas microestruturas.

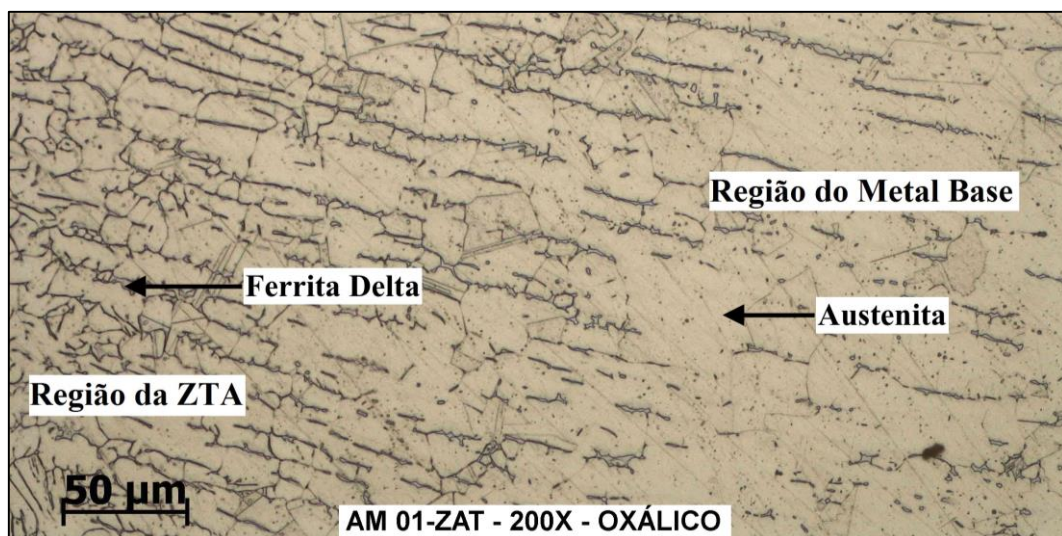
Figura 28 - Metalografia do Metal de Solda



LAMEC - Universidade de Caxias do Sul

A Figura 29 corresponde a região da ZTA nos CP. Esta microestrutura foi revelada nas ZTA dos CP soldados nos processos GMAW automatizado, GMAW manual e GTAW automatizado.

Figura 29 - Metalografia da Região ZTA nos CP



LAMEC - Universidade de Caxias do Sul

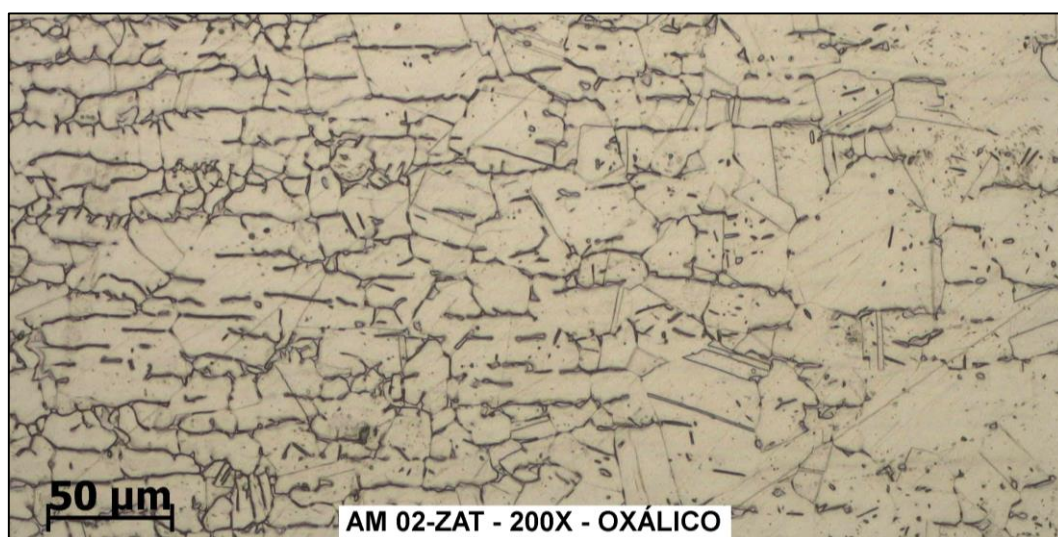
A região do metal base mostra austenita monofásica com grãos, praticamente, equiaxiais.

A região da ZTA mostra uma diminuição do tamanho do grão. Esta diminuição é corroborada pois a ferrita delta encontra-se em maior quantidade na região da ZTA do que na região metal base.

A Figura 30 corresponde a microestrutura revelada na ZTA do CP soldado no processo GTAW manual.

A Figura 30, ainda, mostra um tamanho de grão maior quando comparada ao tamanho de grão dos CP representado pela Figura 29.

Figura 30 - Metalografia da ZTA



LAMEC - Universidade de Caxias do Sul

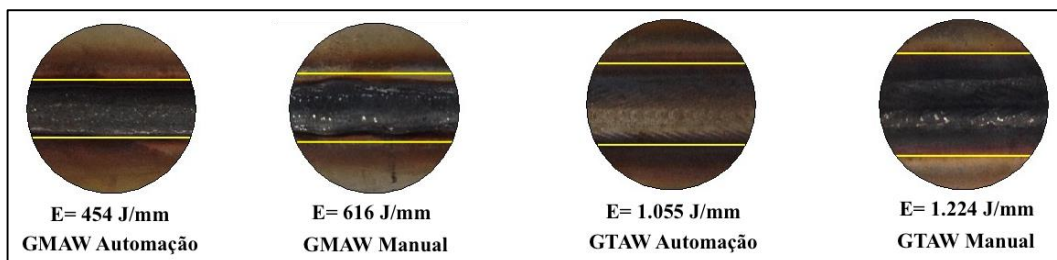
Não foi possível detectar, através dos ensaios metalográficos, qualquer mudança significativa nos corpos de prova soldados.

4.6 ENERGIA DE SOLDAGEM

A Figura 31 apresenta amostras dos diferentes corpos de prova. As linhas amarelas estão posicionadas nas extremidades das regiões de oxidação devido a ação da temperatura, resultado dos processos de soldagem.

O processo de soldagem GMAW manual apresentou a menor oxidação devido a menor temperatura do processo de soldagem, que é consequência da menor energia de soldagem despendida durante o processo de soldagem.

Figura 31 - Oxidação Devido a Temperatura



Fonte: Próprio autor

O processo de soldagem GTAW automatizado apresentou a maior oxidação devido a maior temperatura do processo de soldagem, que é consequência da maior energia de soldagem despendida durante o processo de soldagem.

O processo de soldagem GMAW manual apresentou o menor nível energia de soldagem.

Os processos de soldagem GTAW manual e GTAW automatizado tiveram valores de energia de soldagem próximos, assim como tiveram valores de energia de soldagem próximos os processos de soldagem GMAW manual e GMAW automatizados.

CONCLUSÕES

Todas as juntas dos CP submetidas aos ensaios de tração, alcançaram resistência mecânica superior ao valor mínimo exigido para o material base.

Através das análises metalográficas, não foi possível detectar mudanças significativas nos corpos de prova soldados.

Todos os CP submetidos aos ensaios de dobramentos foram aprovados, não apresentando trincas e descontinuidades.

O processo de soldagem GTAW automatizado alcançou os maiores valores de tensão de ruptura além de não apresentar trincas e descontinuidades. Apesar deste método de soldagem não ser o mais rápido dentre os processos analisados, a automação do processo de soldagem GTAW permite gerar cordões de solda a uma velocidade média acima de 20 cm/min.

Os cordões de solda originados pelo processo automatizado de soldagem GTAW possuem os melhores aspectos visuais dentre os processos analisados. Além de manter o cordão de solda com largura constante, os cordões de solda gerados pela automação do processo de soldagem GTAW possui a menor altura do cordão de solda, contribuindo para um aspecto visual mais limpo.

O processo de soldagem, automatizado, GMAW, foi o processo com maior velocidade de soldagem dentre os processos de soldagem analisados.

Os cordões de solda originados pelo processo automatizado de soldagem GMAW apresentaram cordões de solda com largura constante, mas, com altura superior a 1,5 mm, o qual contribuiu para um aspecto negativo no visual do cordão de solda.

O processo de soldagem manual GTAW, apesar de preencher os requisitos mínimos para a aprovação visual do cordão de solda, deve ser evitado, pois os cordões de solda gerados pelo processo manual possuem aspecto visual inferior quando comparado ao aspecto visual dos cordões de soldas gerados pelo processo automatizado, a menos que não sejam atendidos os requisitos mínimos necessários para que seja possível a utilização dos processos de soldagem automatizados.

O processo de soldagem GMAW automatizado obteve cordão de solda, com massa de 151,9 g/m. O processo de soldagem GTAW automatizado obteve cordão de solda com massa de 30,9 g/m, 79,6% menos massa do que o processo GMAW automatizado.

Dentre os processos de soldagem e os métodos de soldagem testados, o processo GTAW automatizado é o mais indicado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

APERAM, Inox América do Sul S/A.

ASM (Eua) (Org.). **ASM Handbook: Welding, Brazing and Soldering**. 6. ed. Eua: Asm International, 1994. 2873 p.

AWS (Eua) (Org.). **Welding Handbook: Welding Processes**. 8. ed. Miami: American Welding Society, 1991. 955 p.

BRANDI, Sérgio Duarte; WAINER, Emílio; MELLO, Fábio Décourt Homem de. **SOLDAGEM: Processos e Metalurgia**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1992. 494 p.

CUNAT, Pierre-jean; JOINVILLE-LE-PONT. **The Welding of Stainless Steels: Materials and Applications Series**. 2. ed. Luxembourg: Euro Inox, 2007. 39 p. 3 v.

KUMAR, A.s. Shahi Subodh. **Effect Of Heat Input On The Microstructure And Mechanical Properties Of Gas Tungsten Arc Welded Aisi 304 Stainless Steel Joints**. Sangrur, Punjab, India: Elsevier, 2011. 7 p. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306911000951>>. Acesso em: 30 jun. 2014.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem & Técnicas Conexas: Processos**. Porto Alegre: Editado Pelo Autor, 1996. 477 p.

PORTO, João Paulo Sarmento. **Aços Inoxidáveis Planos**. São Leopoldo: Unisinos, 2012. 167 p.

RAJAKOVIC-OGNJANOVIC, Vladana N.; GRGUR, Branimir N.. **Jornal of the Serbian Chemical Society: Corrosion of an austenite and ferrite stainless steel weld**. 2011. Disponível em: <<http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0352-5139/2011/0352-51391100090R.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2014.

SAMMONS, Mike. **Welding austenitic stainless steel: Tips for optimal GTAW performance**. 2007. Disponível em: <<http://www.thefabricator.com/article/arcwelding/welding-austenitic-stainless-steel>>. Acesso em: 22 jun. 2014.

ZEEMANN, Annelise. **Soldagem dos Aços Austeníticos**. Rio de Janeiro: Infosolda, 2003. 4 p. Disponível em: <<http://www.baruke.com.br/img/catalogo/1340244862.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2014.

GLOSSÁRIO

BACKING

Ferramenta que permite um fluxo de gás de proteção em uma região localizada, permitindo proteção do cordão da solda na região contrária a abertura do arco.

DENDRITAS

Grãos com formato de colunas com ramificações secundárias e até terciárias, formadas durante o processo de solidificação dos metais. A palavra dendrita origina no grego *dendron* que significa árvore, cuja aparência assemelha-se.

DIELÉTRICO

É um isolante elétrico que, ao ser submetido a um campo elétrico externo maior que sua rigidez dielétrica, permite fluxo de corrente elétrica, passando a ser um condutor e não mais um isolante.

ESCÓRIA

Resíduo deixado pela fusão de metais.

IONIZAÇÃO

Ocorre quando um elétron, localizado em uma órbita, recebe uma grande quantidade de energia, sendo forçado para a órbita de maior energia.

IONIZAÇÃO TÉRMICA

É a ionização por colisão entre partículas bem aquecidas, formando assim, um condutor de eletricidade a partir de um elétron livre e um íon positivo.

PEENING

Processo de esmagamento do cordão de solda, através de rolos compressores, com objetivo de escoar o cordão de solda, evitando deformações indesejáveis. O processo consiste em adicionar tensão trativas em uma região de tensões compressivas oriundas do processo de soldagem.

PIRÔMETRO

Aparelho de medição de temperatura. Existem duas classes de pirômetros: de radiação e ópticos. O pirômetro de radiação realiza a medição da radiação térmica emitida na superfície de um objeto.

SENSITIZAÇÃO

Carbonetos de cromo, resultante da ligação do cromo com o carbono livre existentes nos aços. A precipitação ocorre quando o aço fica exposto a temperaturas entre 400°C e 800°C por um longo período ou quando expostos a altas temperaturas, superiores a 1.000°C e resfriados lentamente a temperatura ambiente.

ANEXO A – Certificado De Qualidade Material Base

Pág. 1/1

Aperam Inox América do Sul S.A.



Sede: Av. Carandai, nº 1115, 23º Andar - Centro - Belo Horizonte - MG - 30130-915 - Brasil
 Usina: Praça 1º de Maio, nº 9 - Centro - Timóteo - MG - 35180-018 - Brasil
 Filiais: Av. Mercedes Benz, nº 1.420 - Distrito Industrial - Campinas - SP - 13054-750 - Brasil
 Rodovia RSC 453, Km 2,2 - S/N - Distrito Industrial - Caxias do Sul - RS - 95110-690 - Brasil

CERTIFICADO DE QUALIDADE

Número: 1666310
 Pedido APERAM: 75146503
 Data: 14/07/2014
 Nota Fiscal: **423642**

Ciente:
 INDUSTRIA MECANICA THEODOSIO RANDON
 RUA JOCOB LUCHESI 5039
 95032000 - CAXIAS DO SUL - RS
 BRASIL
 Ordem: 5607

Aço: AISI 304L **Acabamento:** 2B **Produto:** BOBINA
Dimensões: 3,00 mm x 1250 mm
Marcação:

Composição Química

Número Corrida	C %	Mn %	Si %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %	N PPM	Ti %	Cu %	Co %				
461596I	0,025	1,28	0,440	0,036	0,0041	18,18	8,00	0,107	547	0,0021	0,1270	0,188				

Resultados

Ensaio/Variável	Unid. Med	461596I2002B		461596I2003B									
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Lim Resistência	MPA		674,00		674,00								
Lim. Escoamento 0,2%	MPA		327,00		327,00								
Alongamento	%		52,00		52,00								
Tamanho de Grão			07/08		07/08								
Dureza RB	HRB	83,90	83,90	83,90	83,90								
Dobramento 180-Trans			S		S								
Oxálico			APROV		APROV								
Peso Líquido	Kg		5.874		6.226								
Peso Bruto	Kg		5.924		6.231								

Identificação de unidade metálica (U.M.):

Ok

Qualidade superficial / dimensional:

Ok

Tratamento Térmico: Temp.minima de solubilizacao 1040 C

Normas:


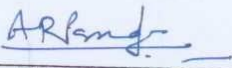
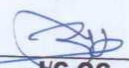
ASTM A240/A240M 14

ASTM A480/A480M 14A

Observações:

- Material sem contaminação por Mercúrio.
- Material sem contaminação por radioatividade. (Garantia enquanto estocado sob responsabilidade da Aperam Inox América do Sul S.A.).
- Certificamos que os resultados descritos acima estão corretos e de acordo com a especificação ou concessão autorizada.
- Sistema de Gestão da Qualidade certificado conforme norma ISO 9001 - Certificado ABS QE N° 30071.
- Sistema de Gestão da Qualidade certificado conforme norma ISO/TS 16949 - Certificado ABS QE N° 38324.
- Sistema de Gestão Ambiental certificado conforme norma ISO 14001 - Certificado ABS QE N° 65989.
- Corrida(s) produzida(s) no Brasil.

ANEXO B – Certificado De Qualidade Material de Solda

		Raajratna Electrodes Pvt. Ltd.						
		Manufacturer & Exporter of Welding Consumables An ISO 9001:2008 Company and Government Recognized Export House						
Regd. Off. : 11, Sona Roopa, Opp. Lal Bunglow, C. G. Road, Navrangpura, Ahmedabad-380 006. Gujarat (INDIA) Phone : +91-79-2644 5258, 2643 1543 Fax : +91-79-2656 8085 E-mail : raajratna@raajratnaelectrodes.com Website : www.raajratnaelectrodes.com								
<h2><u>TEST CERTIFICATE</u></h2>								
TYPE	ER 347 Si	DATE OF ISSUE	26-Nov-12					
SIZE (mm)	2.40 X 1000	MFG. DATE	14-Oct-12					
BATCH NO.	F-1817							
CHEMICAL ANALYSIS %								
ELEMENTS	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo
Bare Wire	0.040	1.70	0.72	0.011	0.025	19.19	9.25	0.05
	Cu	Cb+Ta	Ti	V	Fe	Al	Zr	RADIOGRAPHY
	0.08	0.52	--	--	--	--	--	--
MECHANICAL PROPERTIES (WELD METAL)								
UTS N/mm²	YS N/mm²	ELONGATION%	CVN IMPACT (J) AT °C	HARDNESS				
--	--	--	--	--				
Test Conducted as per ASME Section II Part C 2010 (2011a addenda) : A 5.9 ER 347 Si The above values are statistical data, obtained from our continuous quality control system.								
SPECIAL PROPERTY IF ANY:								
--								
ISSUED TO:								
T.M. IMPORTACAO, EXPORTACAO E COMERCIO DE SOLDAS LTD. RUA ANGELO DE CARLI, 706, BAIRRO SANTA ETIENE, CAXIAS DO SUL/RS BRAZIL-CEP 95055090								
 PREPARED BY			 I/C QC					
DOC NO : QR-824-20 REV NO. 06								