



**FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS DE
SERGIPE – FANESSE
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

JOSÉ LUÍS NUNES SANTOS FERREIRA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO DE
PROCESSO DE SOLDAGEM MANUAL POR
SEMIAUTOMÁTICA: Estudo de caso em empresa de
manutenção sergipana**

FICHA CATALOGRÁFICA

Ferreira, José Luís Nunes Santos

Análise da viabilidade de substituição de processo de soldagem manual por semiautomática: estudo de caso em empresa de manutenção sergipana/ José Luis Nunes Santos Ferreira. – 2012.

60f.

Monografia (Graduação) – Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe, 2012.

Orientação: Prof.Dr. Fábio de Melo Rezende

1. Custos 2. Soldagem 3. Qualidade I. Título

CDU 658.562(813.7)

JOSÉ LUÍS NUNES SANTOS FERREIRA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO DE
PROCESSO DE SOLDAGEM MANUAL POR
SEMIAUTOMÁTICA: Estudo de caso em empresa de
manutenção sergipana**

**Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Engenharia de Produção da
Faculdade de Administração e Negócio de
Sergipe - FANESE, como Requisito para
obtenção da Graduação em Engenharia de
Produção, no período de 2012.2.**

Orientador: Prof. Dr. Fábio de Melo Resende

**Coordenador: Prof. Dr. Jefferson Arlen
Freitas**

**Aracaju – SE
2012.2**

JOSÉ LUÍS NUNES SANTOS FERREIRA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO DE
PROCESSO DE SOLDAGEM MANUAL POR
SEMIAUTOMÁTICA: Estudo de caso em empresa de
manutenção sergipana**

Monografia apresentada à coordenação da Faculdade de Administração e
Negócio de Sergipe - FANESE, como requisito parcial e elemento obrigatório
para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção no período de
2012.2.

**Prof. PhD. Fábio Resende
Orientador**

Examinador

Examinador

Aprovado (a) com média: _____

Aracaju (SE), ____ de _____ de 2012.

Dedico este trabalho a minha família.

AGRADECIMENTOS

**Agradeço a Deus e a todas as pessoas que já passaram em minha vida. MEU
MUITO OBRIGADO!!!**

**"É preciso amar como se não houvesse
amanhã."**

Renato Russo

RESUMO

O estudo da relação custo benefício é necessário para a otimização do processo produtivo de uma empresa. Nesta relação, se leva em consideração diversos fatores, entre os quais está os consumíveis do processo em questão, a produtividade e a qualidade do produto final do processo. A empresa em estudo é uma organização que atua no segmento de construção, manutenção e montagem industrial. Em 2011, a mencionada empresa identificou atrasos na produção que estavam refletindo negativamente sua imagem junto a clientela. Como opção apresentada para solucionar tal problema, foi apontada a substituição do processo manual de soldagem adotado por um semiautomático. Em razão disto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a relação custo/produtividade/qualidade na substituição de processo manual de eletrodo revestido pelo processo semiautomático por arame tubular em empresa sergipana. Para tanto, através de metodologia exploratória, foram realizados testes destrutivos e não destrutivos que refletiram a qualidade das chapas soldadas com ambos os processos estudados. Além disso, foram levantados dados que comporam os custos e a produtividade em ambos os processos, concluindo-se, ao final, pela inviabilidade da substituição avaliada.

Palavras-Chave: Soldagem, Custos, Qualidade

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelos geral de processo de produção	16
Figura 2 – Características das organizações de manufatura e serviços.....	18
Figura 3 – Modelo geral de soldagem	20
Figura 4 – Equipamento do processo TIG.....	21
Figura 5 – Esquema para solda TIG.....	21
Figura 6 – Esquema do processo MIG/MAG	22
Figura 7 – Esquema de equipamentos do processo MIG/MAG	23
Figura 8 – Esquema de equipamentos do processo com eletrodo revestido....	24
Figura 9 – Formas de carregamento externo.....	28
Figura 10 – Corpo de prova para ensaio de tração	30
Figura 11 – Corpo de prova para ensaio de dobramento	31
Figura 12 – Corpo de prova	37
Figura 13 – Geometria do chanfro	38
Figura 14 – Avaliação visual do corpo de prova CT-01	39
Figura 15 – Avaliação visual do corpo de prova CT-02	40
Figura 16 – Teste de líquidos penetrantes no corpo de prova C-01	41
Figura 17 – Remoção de corpos de prova segundo norma.....	42
Figura 18 – CT-01 e CT-02 preparadas para remoção de corpos.....	42
Figura 19 – Corpo de prova para o ensaio de tração da pesquisa	43
Figura 20 – Ensaio de tração feito em corpos CT-01 e CT-02	44
Figura 21 – Ensaio de dobramento realizado em laboratório.....	46
Figura 22 – Corpo de prova para ensaio de dobramento	47
Figura 23 – Geometria para cálculo de volume a ser depositado.....	49

LISTA DE TABELA

Tabela 01 – Parâmetros para testes de qualidade.....	38
Tabela 02 – Resultados do ensaio de tração realizado na CT-01.....	44
Tabela 03 – Resultados do ensaio tação realizado na CT-02.....	45
Tabela 04 – Resultados dos ensaios de dobramento nos corpos de prova de CT-01 e CT-02	47
Tabela 05 – Custos de consumíveis utilizados nas soldagens dos corpos de prova	50
Tabela 06 – Duração de soldagem.....	51
Tabela 07 – Custos com gás de proteção em soldagem por arame tubular	51
Tabela 08 – Salário + encargos sociais estudados	52
Tabela 09 – Custos com mão de obra nos processo em estudo	53
Tabela 10 – Custos com energia elétrica nos processos de soldagem em estudo.....	53
Tabela 11 – Taxa de deposição dos processos estudados.....	54

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Situação Problema	13
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 Justificativa.....	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 Processo de Transformação	16
2.2 Soldagem	18
2.3 Processo de Soldagem	20
2.3.1 Processo TIG	20
2.3.2 Processo MIG/MAG	22
2.3.3 Processo com eletrodo revestido	22
2.3.4 Processo com arame tubular	23
2.4 Custos de Soldagem	25
2.5 Propriedades Mecânicas dos Metais	28
2.6 Ensaios Destrutivos e Não Destrutivos.....	29
2.6.1. Ensaios de tração	30
2.6.2 Ensaios de dobramento.....	31
2.6.3 Líquidos penetrantes	31
3 METODOLOGIA	33
3.1 Método.....	33
3.2 Universo e Amostra	33
3.3 Coleta Tratamento e Análise de Dados	34
4 DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES	36
4.1 Análise Comparativa de Qualidade	36
4.1.1 Ensaios não destrutivos: visual e por líquidos penetrantes	39
4.1.2 Testes destrutivos.....	41
4.1.2.1 ensaios de tração	43
4.1.2.2 ensaios de dobramento	46
4.2 Custos e Produtividade do Processo de Soldagem Manual com Eletrodo Revestido e de Semiautomática por Arame Tubular	48
4.2.1 Consumíveis	48
4.2.2 Mão de obra e energia elétrica	52
4.2.3 Taxa de deposição	54

4.3 Análise Conclusiva da Relação Custo/Produtividade/Qualidade dos Processos Estudados.....	54
5 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

Com a Revolução Industrial diversas transformações surgiram no universo industrial. As empresas investiram maciçamente em equipamentos e otimização do processo produtivo com a finalidade de atender às novas demandas que surgiram. Em contrapartida, os consumidores passaram a consumir mais e exigir maior qualidade dos produtos e serviços que compravam, intensificando a concorrência dos diversos ramos de atuação.

Essa competição pela conquista de clientes ficou ainda mais acirrada com o advento da globalização. É evidente que, com a massificação dos mercados de consumo através da internet, barreiras foram quebradas, passando a ser possível o contato do cliente em qualquer parte do mundo.

Este fator foi determinante para certas mudanças no comportamento das empresas. Elas passaram a aplicar mais capital em estratégias e planejamento da produção, a fim de maximizar a produtividade e qualidade de seus produtos e serviços, assim como para reduzir custos dos processos produtivos.

Embora as demandas atuais sofram contínuas oscilações, a qualidade é um aspecto obrigatório para que uma empresa sobreviva no mundo globalizado. Além disso, a otimização contínua dos processos é uma exigência para a estabilidade da organização em relação à sua clientela. Isto porque, as evoluções tecnológicas impõe maior precisão aos produtos e serviços, trazendo maior qualidade para os mesmos.

Entretanto, ao se desenvolver novos procedimentos ou implantar novos processos, as empresas devem avaliar seus custos, estabelecendo os benefícios advindos deles e avaliando se a relação custo/produtividade/qualidade será positiva ou não para empresa.

Neste contexto, devem ser observados fatores como aumento da segurança operacional, da produtividade, do tempo utilizado para a realização das atividades, da redução de perdas e custos do processo avaliado, assim como do aumento da qualidade dos *outputs* das mesmas. Ressalta-se, assim, a necessidade da avaliação destes aspectos de forma global, pois, muitas vezes, embora a relação

custo/produtividade/qualidade seja positiva, as análises individuais destes aspectos não o são.

1.1 Situação Problema

A empresa em estudo atua no segmento da construção, manutenção e montagem industrial. No segundo semestre de 2011, esta empresa identificou atrasos na produção em razão da demora na realização de soldagem de alguns projetos de seus clientes. Estes atrasos reduziam sensivelmente a produtividade, diminuindo a cobertura de execução dos serviços, assim como os ganhos da empresa. Além disso, o processo de soldagem adotado por tal organização apresentava custos elevados, reduzindo-se, assim, as margens de lucros.

Diante deste cenário, a fim de que a demanda da mesma fosse atendida, a qualidade dos produtos fosse aperfeiçoada e os custos com processo fossem reduzidos, ficou evidente a necessidade de atualização do sistema produtivo de soldagem da empresa.

Como opção avaliada surgiu a ideia de implantar processo de soldagem semiautomático por arame tubular, que utilizam equipamentos com alimentação contínua e permitem a soldagem com melhor qualidade, reduzindo custos e maximizando o tempo de trabalho, bem como aumentando a produtividade. Além destes aspectos, este processo permite a soldagem com excelentes propriedades mecânicas, se realizados de acordo com um procedimento de soldagem qualificado conforme as regras específicas, em atendimento à normatização vigente.

Tendo em vista que os serviços prestados pela empresa sob análise trata de pequenos reparos em equipamentos de processo, surge a questão que vai nortear esta pesquisa: A adoção de processos de soldagem semiautomática de arame tubular apresenta relação custo/produtividade/qualidade positiva em relação ao processo já adotado pela empresa, viabilizando, assim, sua substituição?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a relação custo/produktividade/qualidade na substituição do processo manual de eletrodo revestido pelo processo semiautomático de arame-tubular em empresa de manutenção sergipana.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar a qualidade do produto final dos processos de soldagem em estudo, através de testes não destrutivos e destrutivos;

- Apontar custos e produtividade do processo de soldagem manual com eletrodo revestido;

-Levantar custos e produtividade do processo de soldagem semiautomática com arame tubular;

-Fazer a análise conclusiva a cerca da relação custo/produktividade/qualidade da aplicação de ambos processos de soldagem estudados.

1.3 Justificativa

Como mencionado anteriormente, o mercado competitivo globalizado impõe a necessidade de melhoramento contínuo dos processos produtivos das empresas.

Assim, a justificativa para a realização deste trabalho é a necessidade de aperfeiçoar o departamento de soldagem da empresa, a fim de que se aumente a produtividade e qualidade de serviços prestados, reduzindo-se os custos do processo.

Além disso, na prática, o balanço positivo ou não da relação custo/produktividade/qualidade nos processos semiautomáticos com arame tubular, neste trabalho, vai promover esclarecimentos a cerca da qualidade ds produtos

finais dos processos de soldagem estudados, assim como dos custos envolvidos nas mesmas.

Ademais, este estudo promove contribuição acadêmica, em razão dos esclarecimentos oferecidos em relação à metodologia empregada para o levantamento de custos da soldagem, assim como da realização de testes destrutivos e não destrutivos que colocam à prova a resistência dos materiais utilizados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo vai abordar termos e conceitos inerentes ao tema desta pesquisa.

2.1 Processos de Transformação

De acordo com Moreira (2008, p. 07), o processo de transformação é composto por um conjunto de elementos, que são os insumos (entradas), bens e produtos (saídas) e o processo de transformação em si, como mostra a figura 1. Este processo pode ser de produção, quando se refere a produtos (mais relacionado a manufatura) e de operações, quando se refere a serviços (empresas de serviços),

Figura 1 – Modelo geral de processo de produção



Fonte: Adaptado de Peinado e Graeml (2007)

Segundo Moreira (2008, p. 08), pode-se dizer que as entradas podem ser de recursos a serem transformados (que são modificados por um processo de produção) e de recursos transformadores (que são os colaboradores da empresa e as instalações da mesma, ou seja, que movimentam o sistema).

Os recursos a serem transformados são: matérias primas, consumidores

e informações, cujas propriedades são alteradas, conforme o gênero aplicado. Assim, quando se transforma matéria prima, são alteradas propriedades físicas (volume, forma, composição, etc); quando se trata de informações, pode se alterar a posse, a forma, as propriedades informativas ou a localização; e, finalmente, quando se trata de consumidores, pode se modificar a localização, propriedades físicas e psicológicas, como mostra a tabela 1 (PEINADO e GRAEML, 2007, p. 53).

Tabela 1 – Exemplos de processos de transformação

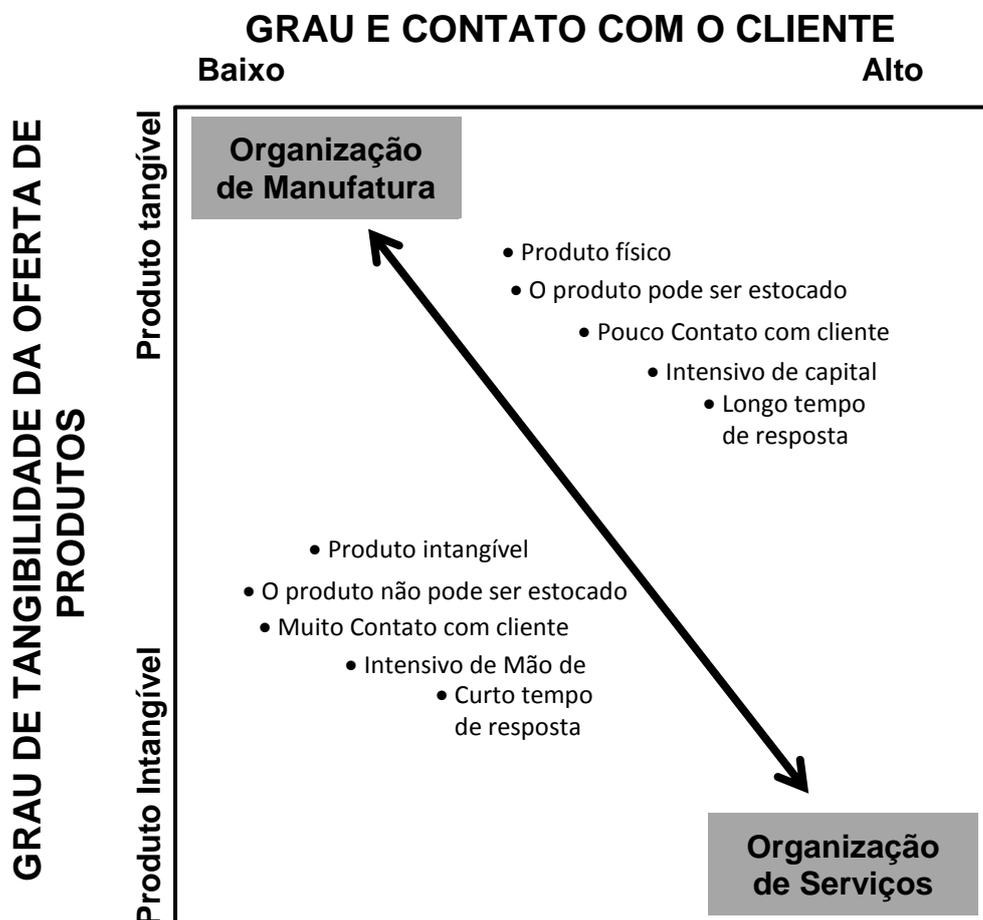
Operação	Entrada	Transformação	Saídas
Linhas aéreas	Aeronave, pilotos e comissários, equipem de terra, passageiros.	Movimentação de passageiros e cargas (transformação de local de tração)	Passageiros e cargas transportados
Loja	Bens à venda, vendedores, caixas registradoras, consumidores	Exibição de bens, orientação de vendedores, venda de bens (transformação de mudança de propriedade).	Bens ajustados às necessidades dos consumidores
Dentista	Dentista, equipamento, enfermeiras, pacientes	Exame e tratamento dentário, orientação preventiva (transformação fisiológica do paciente).	Pacientes com dentes e gengivas saudáveis
Zoológico	Funcionários, animais, jaulas, visitantes	Exibição de animais, educação de visitantes, procriação de animais (transformação dos visitantes e animais)	Visitantes e entretidos, visitantes informados, espécies não extintas
Gráfica	Gráficos e designers, impressoras, papel, tinta, etc.	Edição, impressão, encadernação (transformação das propriedades físicas)	Materiais impressos

Fonte: Peinado e Graeml (2007)

O terceiro elemento formador do processo de produção são as saídas, que podem ser bens ou serviços. As principais diferenças destas são: a natureza de seu resultado e o grau de contato com cliente. De acordo com Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009, p. 05), quando os resultados podem ser armazenados e transportados, dar-se o nome de bens, caso não possam, são serviços. Quanto ao contato com a cliente, quando a saída são serviços, o grau de contato é alto, nos

produtos não, verificando-se a incidência de forma inversamente proporcional, como mostra a figura 2.

Figura 2 – Características das organizações de manufatura e as de serviços



Fonte: Adaptado de Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009),

Ressalta-se, ainda, que os sistemas de transformação guardam relação direta com o termo produtividade, vez que estabelecem ligação entre as entradas e os bens e serviços produzidos pelos mesmos. De acordo com Silva (2006, p. 01), a função da produtividade é

Minimizar cientificamente o uso de recursos materiais, mão-de-obra, máquinas, equipamentos etc., para reduzir custos de produção, expandir mercados, aumentar o número de empregados, lutar por aumentos reais de salários e pela melhoria do padrão de vida, no interesse comum do capital, do trabalho e dos consumidores.

Assim, o aumento da produtividade, na verdade, pode ser representado pelo acúmulo de valor para atendimento das necessidades e exigências do cliente

(SILVA, 2006, p. 02).

Desta forma, o fator produtividade deve ser observado para mudanças no processo produtivo de uma empresa. Isto porque, o objetivo final das empresas sempre é o aumento da produção. Entre os processos de transformação se pode apontar os processos de soldagem, objeto desta pesquisa.

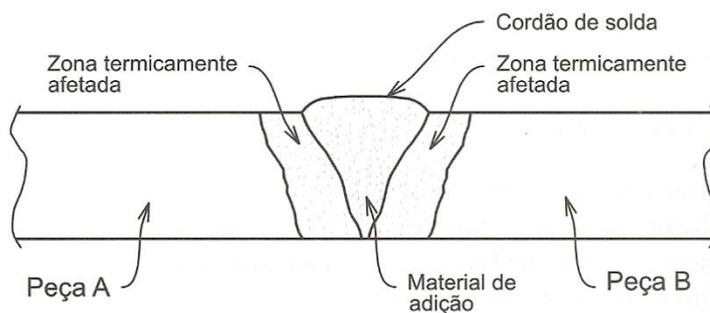
2.2 Soldagem

De acordo com Marques, Modenesi e Braquensi (2011, p. 25), a soldagem era utilizada na antiguidade e na Idade Média para a fabricação de armas e instrumentos cortantes, passando a ser utilizado para a produção de ferramentas. No início do século XII a XV, sua importância começou a diminuir, em razão de novas tecnologias como as rodas de água e os alto fornos, fazendo com que a soldagem fosse relegada a atividade secundária até o século XIX, com a criação da soldagem com arco elétrico. Atualmente, existem mais de 50 tipos de processos de soldagem nos parques industriais do mundo.

Segundo Nunes e Kreisler (2010, p. 88), na soldagem duas peças são unidas continuamente como se fosse única. Estes mesmos autores conceituam a soldagem como: “operação que visa obter a união de duas ou mais peças assegurando, na junta soldada, a continuidade de propriedades físicas, químicas e metalúrgicas”.

Geralmente, a soldagem de duas peças requer a adição de material, utilizando um cordão de solda. Assim, para sua realização, é necessário fundir os metais para unir as peças em questão, sem que as zonas fundidas sejam afetadas termicamente (figura 3), caso contrário haverá mudanças nas propriedades do material, o que representa um aspecto negativo para soldagem (NUNES e KREISLER, 2010, p. 89).

Figura 3 – Modelo geral de soldagem



Fonte: Nunes e Khreischer (2010, p. 89)

É importante ressaltar que a soldagem tem sido um dos métodos de fabricação em metal mais utilizados nos dias de hoje, cabendo, assim, o estudo um pouco mais detalhado de alguns processos envolvidos.

2.3 Processo de Soldagem

Como mencionado antes, existem diversos processos nesta área de atuação. Na soldagem com arco elétrico, por exemplo, os mais utilizados: eletrodo revestido, TIG, MIG/MAG e Arame Tubular, todos estudados adiante.

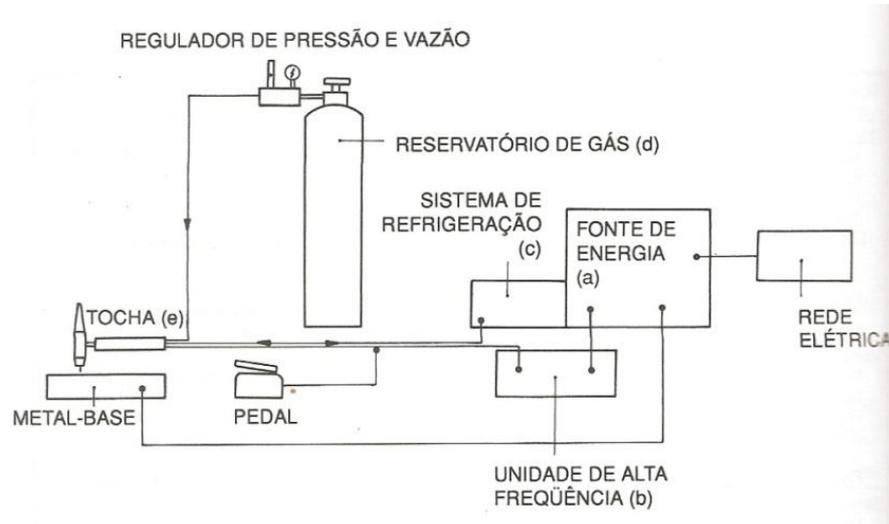
2.3.1 Processo TIG

De acordo com Fernandes (2011, p. 70), o processo TIG corresponde às iniciais *Tungsten Inert Gas*, sendo um processo de soldagem a arco elétrico (fonte de calor) em atmosfera gasosa inerte, geralmente utilizado em montagem de tubulações, aplicações aeroespaciais e soldagem de metais não ferrosos.

Segundo Wainer, Brandi e Melo (2010, p. 60), os principais equipamentos utilizados para fazer essa soldagem do tipo manual são: a fonte de energia (gerador, retificador ou transformador, conforme metal a ser soldado); unidades de alta frequência (para soldagem em corrente alternada, devendo ter sua intensidade controlada); reservatório de gás, geralmente cilíndrico; tocha TIG (dispositivo que

fixa o eletrodo de tungstênio que vai conduzir a corrente elétrica, podendo ser resfriado por ar ou água), como mostra a figura 4.

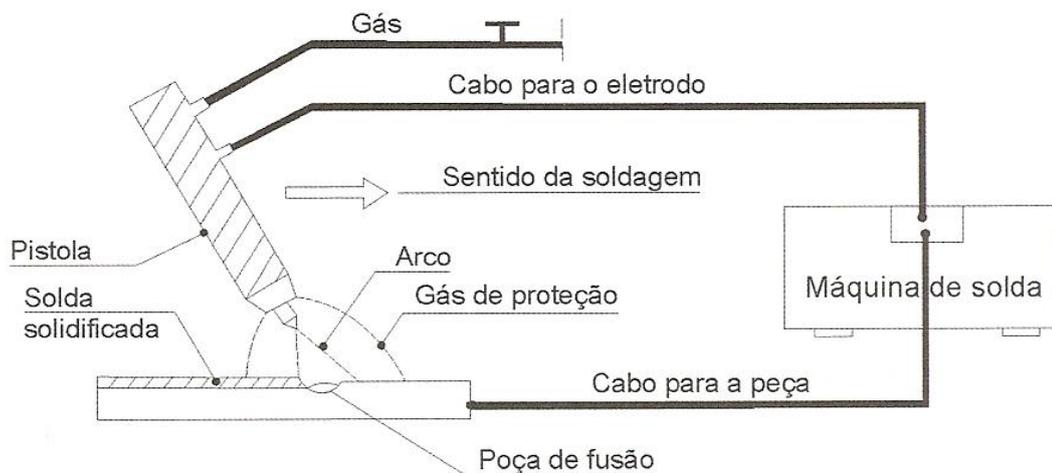
Figura 4 – Equipamento do processo TIG



Fonte: Wainer, Brandi e Melo (2010, p. 62)

De acordo com Fernandes (2011, p. 70), a solda TIG pode ser realizada em todos os tipos de metais, sendo indicado para chapas finas e tubulações de aço carbono, aço inoxidável, aços ligas e não ferrosos. Ressalta-se que sua utilização pode ser realizada em todas as posições, como mostra a figura 5.

Figura 5 – Esquema para solda TIG



Fonte: Fernandes (2011, p. 71)

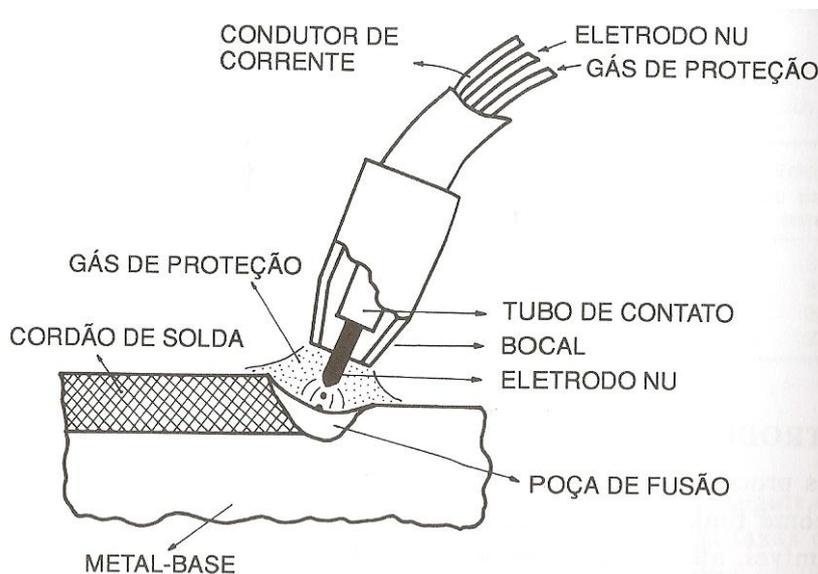
As maiores vantagens deste processo são: soldas de excelente

qualidade; acabamento do cordão de solda mais precisa; menor aquecimento da peça soldada; ausência de respingos, além da possibilidade de automação. As limitações mais importantes, no entanto, são: a dificuldade de utilização quando houver corrente de ar; não é adequada para chapas com mais de 6 mm de espessuras; produtividade é baixa; alto custo do equipamento; entre outros (FERNANDES, 2011, p. 92).

2.3.2 Processo MIG/MAG

De acordo com Wainer, Brandi e Mello (2010, p. 99), os processos MIG (Metal Inert Gás) e MAG (Metal Active Gás) utilizam como fonte de calor um arco elétrico mantido entre um eletrodo nú consumível e a peça que vai ser soldada, através da alimentação intermitente, podendo a proteção ser realizada por gás inerte (MIG) ou ativo (MAG), como mostra a figura 6.

Figura 6 – Esquema do processo MIG/MAG

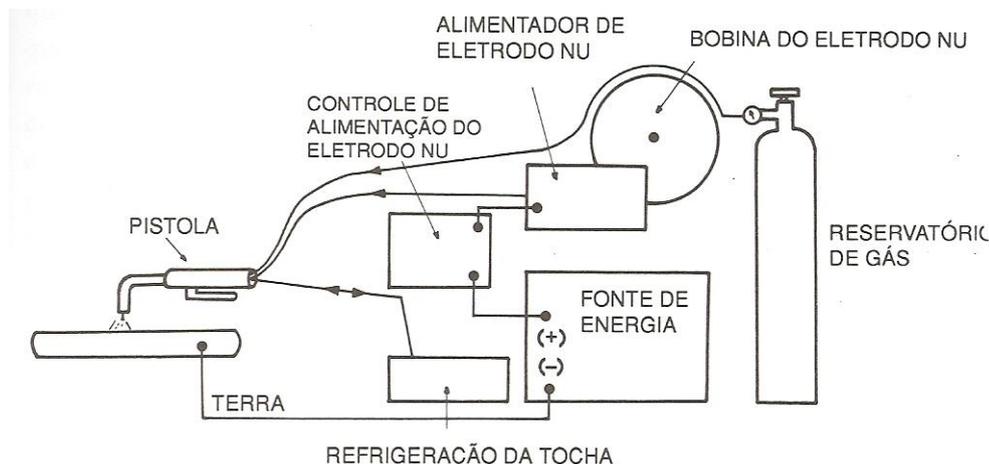


Fonte: Wainer, Brandi e Mello (2010, p. 100)

Ambos os processos são muito usados para fabricar tubulações e estruturas metálicas, principalmente em aços carbono (baixa e alta liga), materiais não ferrosos (com espessuras >1mm) em posições diferentes da horizontal (FERNANDES, 2011, p. 72; NUNES E KREISCHER, 2010, p. 92).

De acordo com Wainer, Brandi e Melo(2010, p. 101), os equipamento básicos para a soldagem MIG/MAG são: fonte de energia, reservatório de gás, controlador, alimentador e bobina de eletrodo nú, assim como a pistola, como mostra a figura 7.

Figura 7 – Esquema de equipamentos do processo MIG/MAG



Fonte: Wainer, Brandi e Mello (2010, p. 101)

Para Nunes e Kreischer (2010, p. 92), as maiores vantagens deste processo são: a facilidade de operação; alta produtividade; processo automatizável; cordão de solda com bom acabamento; e, solda de excelente qualidade. Suas limitações, no entanto, são: a regulagem do processo que é muito complexa; as posições de soldagem são limitadas; tem produção de respingo, entre outros.

2.3.3 Processo com eletrodo revestido

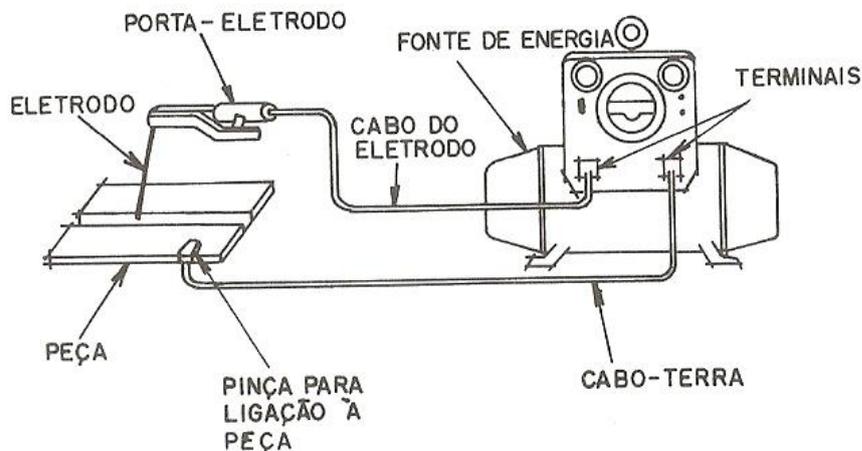
O chamado processo de soldagem a arco com eletrodo revestido vem do calor de fusão do arco voltaico entre o eletrodo e a peça a ser soldada.

De acordo com Fernandes (2011, p. 66), o processo de soldagem com eletrodo revestido é aquele em que esta proteção é realizada pelo revestimento do eletrodo composto por substâncias que, quando aquecidas, se misturam com o metal, recobrando e reduzindo o contato com o ar.

Segundo Weiner, Brandi e Mello (2010, p. 32), o equipamento para a realização deste processo é formado por: fonte de energia; alicate para fixação dos

eletrodos; cabos de interligação; pinças para ligação à peça; e, equipamentos de limpeza, como pode ser visualizado na figura 8.

Figura 8 – Esquema de equipamentos do processo com eletrodo revestido



Fonte: Weiner, Brandi e Mello (2010, p. 32)

Suas principais aplicações são a produção, manutenção e montagem no campo, utilizado principalmente na soldagem de aços-carbono, ferro fundido, alumínio, níquel e suas ligas. Ressalta-se, ainda, que as principais vantagens são: o baixo custo dos equipamentos e sua versatilidade, podendo ser realizada em locais de difícil acesso. As limitações, no entanto, são: a baixa produtividade; a necessidade de remoção de escória; e, produção de fumos e respingos. (NUNES e KREISCHER, 2010, p. 91).

2.3.4 Processo com arame tubular

A soldagem com arame tubular produz a coalescência de metais através do aquecimento destes com o arco elétrico colocado entre o eletrodo tubular e a peça de trabalho. Embora existam variações básicas do processo, normalmente é caracterizado por ser semiautomático e muito semelhante ao processo MIG/MAG, acumulando suas principais vantagens (alto trabalho do soldador, alta taxa de deposição e rendimento), assim como as vantagens de soldagem por eletrodos revestidos (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2011, p. 255).

Ainda conforme estes autores, o equipamento básico para esta soldagem é semelhante ao usado na soldagem MIG/MAG, tendo como principais aplicações

na indústria naval e nuclear, na construção de plataformas marítimas e na fabricação de componentes e estruturas de aços carbono.

2.4 Custos de Soldagem

De acordo com Marques, Modenesi e Brancarense (2011, p. 151), os custos da soldagem envolvem diversos fatores como: mão de obra, energia elétrica, depreciação, manutenção e consumíveis.

Weiner, Brandi e Mello (2010, p. 432) mencionam que os custos com mão de obra é dado pela equação:

$$C_{mo} = (\text{custo da mão de obra} + \text{encargos sociais}) \times \text{tempo de soldagem} \quad (1)$$

Neste cálculo deve-se levar em consideração somente a mão de obra relacionada diretamente com a soldagem, incluindo montadores e soldadores (MARQUES, MODENESI e BRANCARENSE, 2011, p. 153).

Já no que se refere aos custo com energia elétrica, Weiner, Brandi e Mello (2010, p. 451) dizem que é dado pela fórmula:

$$C_{ee} = \frac{\text{potência da saída} \times \text{tempo real de soldagem} \times \text{preço do kWh}}{1000 \times \text{eficiência do equipamento}} \quad (2)$$

Segundo Marques, Modenesi e Brancarense (2011, p. 155), a eficiência elétrica média dos equipamentos de soldagem é dada pelos fabricantes. Ressalta-se que, em relação a depreciação, os equipamentos sofrem desgaste ao longo de sua vida útil, sendo este índice dado pela equação abaixo:

$$Cd = \frac{\text{Valor do investimento inicial (R\$)} - \text{Valor residual (R\$)}}{\text{vida útil do equipamento}} (3)$$

O custo com material de adição (consumíveis) é dado pelo produto da quantidade de solda na junta pelo preço do metal de adição, multiplicado pela eficiência do metal de adição (WEINER, BRANDI e MELLO, 2010, p. 451). Como mostra a equação abaixo

$$C_c = (\text{Quantidade de solda na junta} \times \text{preço do metal} \times \text{eficiência do metal de adição}) (4)$$

Segundo Marques, Modenesi e Brancarense (2011, p. 156), os custos médios com a manutenção pode ser avaliada com base nos custos de manutenção do equipamento dividido pelo tempo de operação do mesmo.

É importante ressaltar que uma das maiores preocupações dos profissionais de soldagem deve ser a redução de custos, observando-se o volume de metal depositado, a taxa horária de deposição e a escolha do metal de adição (WISNER, BRANDI E MELLO, 2010, P. 457).

Embora os custos do processo sejam aspectos de suma importância para as empresas, outro elemento a ser observado pelas mesmas é a qualificação do processo de soldagem, em razão de exigências legais neste sentido

Como mostra a tabela 2, são muitas as normas determinadas pela ABNT que são utilizadas para a soldagem.

Tabela 2 – Normas da ABNT relacionadas com a soldagem

Norma	Código	Data
Chanfro de solda manual para construção naval - Tipo	NBR7239	03/1982
Consumíveis em soldagem	NBR10516	10/1988
Critérios para a qualificação e certificação de inspetores de soldagem	NBR14842	07/2003
Eletrodos de aço carbono e fluxos para a soldagem a arco submerso	NBR10617	01/1989
Eletrodos de aço carbono e fluxos para a soldagem a arco submerso	NBR10618	01/1989
Eletrodos de aço carbono e fluxos para a soldagem a arco submerso - Ensaios	NBR10619	01/1989
Eletrodos revestidos de aço carbono para a soldagem a arco elétrico	NBR10614	01/1989
Eletrodos revestidos de aço carbono para a soldagem a arco elétrico	NBR10615	01/1989
Eletrodos revestidos de aço carbono para a soldagem a arco elétrico - Ensaios	NBR10616	01/1989
Ensaio visual em soldas, fundidos, forjados e laminados	NBR10777	10/1989
Equipamento elétrico para soldagem a arco - Fontes de energia de corrente constante e fontes de energia de tensão constante	NBR9378	06/1986
Inspeção de solda por ensaio de ultrassom em partes estruturais do casco de embarcações	NBR10686	06/1989
Inspeção radiográfica em soldas na estrutura do casco de embarcações	NBR9360	05/1986
Junta soldada em componentes metálicos de uso aeroespacial	NBR12275	06/1991
Mangueiras para solda a gás	NBR5900	1974
Manômetros para gases comprimidos utilizados em solda, corte e processos afins	NBR13196	08/1994
Máquina elétrica para soldagem a arco	NBR7859	04/1983
Qualificação de procedimentos de soldagem pelo processo eletrodo revestido para oleodutos e gasodutos	NBR10663	04/1989
Qualificação de soldadores e operadores de soldagem em nível aeroespacial	NBR10680	05/1989
Qualificação em soldagem	NBR10474	09/1988
Radiografia - Inspeção de soldas de topo em vasos de pressão e tanques em armazenamento - Critérios de aceitação	NBR10150	11/1987
Reguladores de pressão para cilindros de gases usados em solda, corte e processos afins - Requisitos e métodos de ensaio	NBR14250	12/1998
Requisitos gerais para um programa de qualificação de soldadores e operadores de soldagem em nível aeroespacial	NBR9540	09/1986
Requisitos para a execução de ensaios radiográficos em juntas soldadas de materiais metálicos	NBR10558	12/1988
Símbolos gráficos de solda para construção naval e ferroviário	NBR7165	02/1982
Solda branda	NBR5883	10/1982
Solda branda em fio com núcleo de resina	NBR6634	05/1987
Solda manual e semiautomática para estrutura de embarcações - Qualificação de soldadores	NBR8878	05/1985
Solda para construção naval - Identificação de descontinuidades radiográficas	NBR8420	11/1989
Soldagem - Números e nomes de processos	NBR13043	09/1993
Soldas em partes estruturais do casco de embarcações - Ensaio por ultrassom	NBR10685	06/1989
Terminologia de soldagem elétrica	NBR5874	1972
Varetas e arames de ligas de alumínio para soldagem e brasagem, de aplicação aeronáutica	NBR9111	11/1985

Fonte: Marques, Modenesi e Bracarense (2011, p. 140 e 141)

A qualificação de procedimentos de soldagem deve ser realizada para que a execução da mesma seja preparada e qualificada. Isto ocorre, para que se tenha o controle do processo, uniformizando o mesmo e determinando eventuais causas de falhas. A concretização desta qualificação pode ser observada pelo EPS

(Especificação de Procedimentos de Soldagem), como ensina Marques, Modenesi e Bracarense (2011, p. 141).

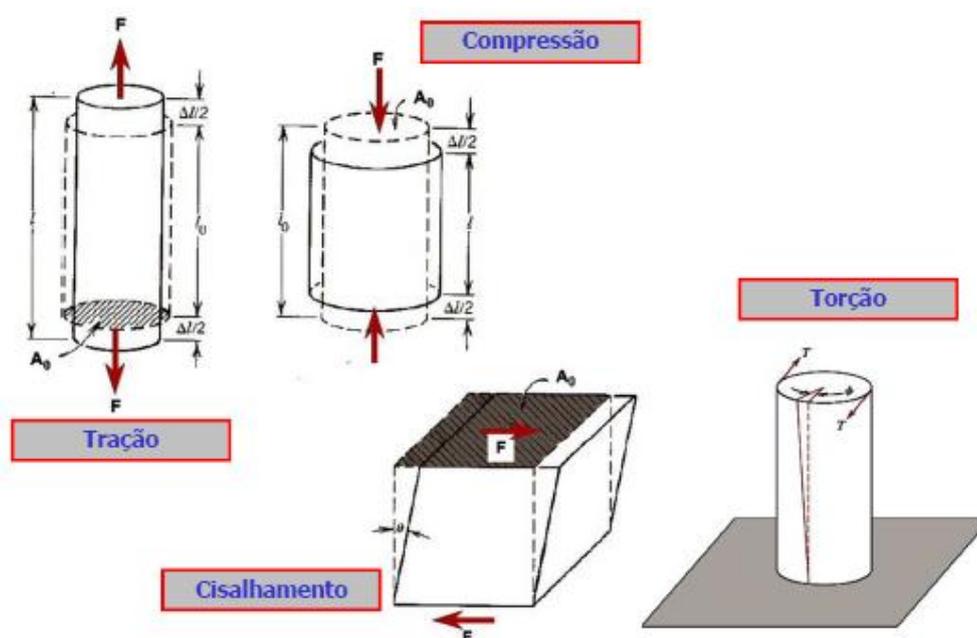
Estes procedimentos existem para assegurar as propriedades mecânicas, sanidade e garantir a repetitividade da soldagem. Para isso devem ser realizados testes ou ensaios previstos nas normas de qualificação. A título de pesquisa, a este trabalho interessa o estudo mais aprofundado das propriedades mecânicas dos metais, mais especificamente a resistência mecânica dos mesmos e sua ductilidade.

2.5 Propriedades Mecânicas dos Metais

De acordo com Nunes e Kreischer (2010, p. 141), as principais propriedades mecânicas dos metais são a resistência mecânica, ductilidade, resiliência, tenacidade, sendo importante seu estudo nos projetos mecânico de vasos, tanques, permutadores de calor, tubulações, estruturas, entre outros.

A resistência mecânica tem relação com elementos de tensão e deformação, observando-se sua incidência quando da aplicação de tensão sobre um material e se analisando sua deformação elástica. Essa resistência pode ser medida através da tração, compressão, torção e cisalhamento, representadas na Figura 9 (NUNES e KREISCHER, 2010, p. 139).

Figura 9 – Formas de carregamento externo



Fonte: Nunes e Kreischer (2010)

Assim, na tração impõem-se forças opostas no metal, para se identificar pontos de tensão no metal. A compressão é justamente o contrario, promovem-se forças na direção para se apontar deformações. Na torção, o metal é torcido, também para se identificar tensões e deformações, assim como no cisalhamento, só que neste caso as forças são impostas em direções contrárias.

Ressalta-se que, nestes casos, os elementos formadores da resistência mecânica destas formas de carregamento externos são a tensão e deformação. A primeira é definida como a resistência interna de um corpo em reação a aplicação de uma força externa e, a deformação, é a variação de uma dimensão, quando o metal é submetido a uma força (SOUZA, 1974, p. 04).

A ductilidade representa o grau de deformação antes da ruptura, sendo caracterizado pelo percentual de alongamento sofrido durante a deformação. A resiliência é a propriedade de absorção de energia na deformação elástica, sendo possível sua recuperação. Observa-se que a resiliência pode sofrer influência da temperatura. Por fim, a tenacidade é a propriedade de absorver energia até a ruptura.

Apresentadas em linhas gerais as propriedades mecânicas dos metais, a pesquisa passa ao breve estudo a cerca dos testes destrutivos e não destrutivos relacionados com a caracterização dos metais a serem avaliados.

2.6 Ensaio Destrutivos e Não destrutivos

De acordo com Souza (1974, p 01), os ensaios destrutivos são aqueles em que há a ruptura ou inutilização do material testado, enquanto os não destrutivos não provocam esta reação. Entre os ensaios ou testes destrutivos pode-se mencionar, os ensaios de: tração, dobramento, torção, fadiga, entre outros, e, entre os ensaios não destrutivos: raio x, ultrassom, líquido penetrantes, etc.

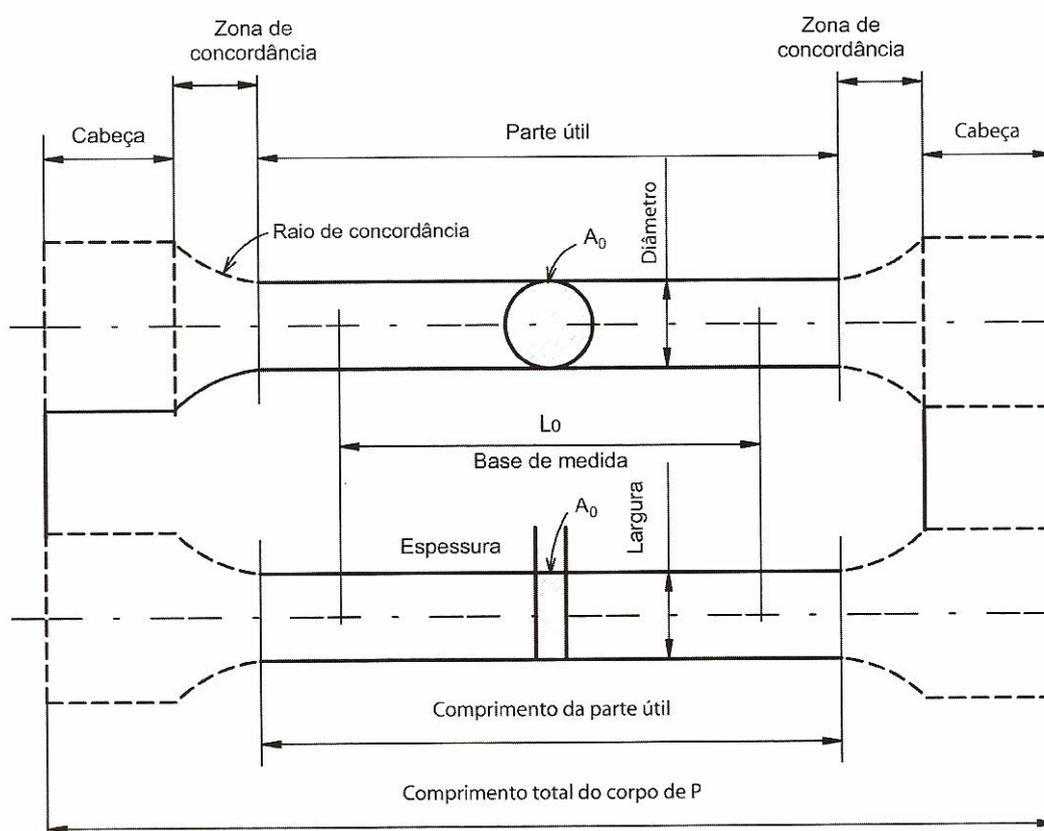
A esta pesquisa interessa somente o estudo dos ensaios destrutivos de tração e dobramento e os ensaios não destrutivos por líquidos penetrantes.

2.6.1 Ensaio de tração

De acordo com Hibbeler (2008, p. 63), os dados dos ensaios de tração são utilizados para calcular os diversos valores de tensão e de deformação no corpo de prova, auxiliando na construção do diagrama de tensão-deformação, onde se estabelece a relação entre ambos, para, a partir dele, determinar diversos parâmetros.

Os ensaios de tração são realizados em máquinas, onde se aplica a tensão e avalia o comportamento do material (corpo de prova) que está sendo testado. O formato deste corpo de prova pode ser obtido a partir de chapas, como mostra a figura 10.

Figura 10 – Corpo de prova para ensaio de tração



Fonte: Nunes e Kreischer (2010)

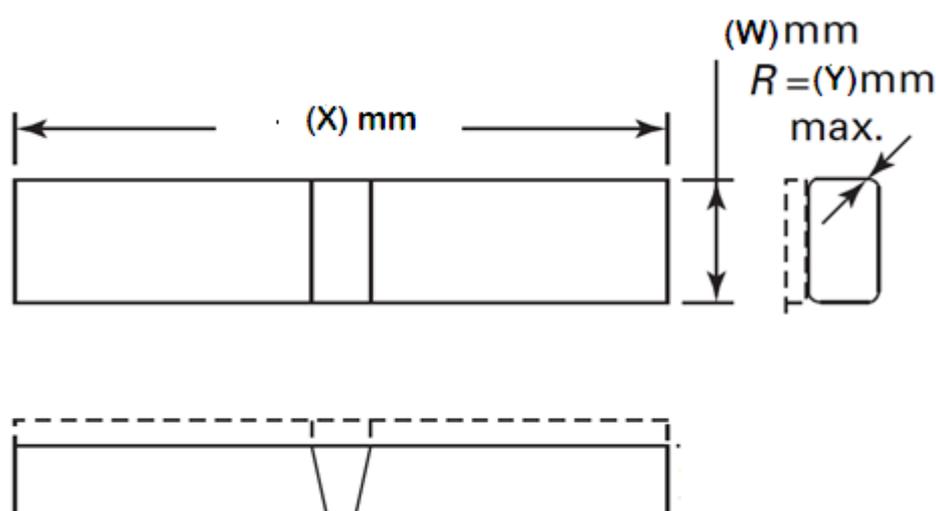
De acordo com Souza (1974, p. 09), a parte útil do corpo de prova é a região onde são feitas as medições das propriedades mecânicas a serem estudadas, sendo sua cabeça destinada apenas a fixação na máquina de ensaio.

2.6.2 Ensaio de dobramento

A ductilidade, de acordo com Nunes e Kreischer (2010, p. 143), é caracterizada pela possibilidade de alongamento sofrido na deformação em relação as dimensões iniciais.

Segundo Souza (1974, p. 88), os ensaios de dobramento é uma indicação qualitativa da ductilidade do metal, sendo seu ensaio realizado com simplicidade, consistindo, de modo geral, no dobramento de um corpo de prova de eixo retilíneo e secção retangular, como mostra a figura 11.

Figura 11 – Corpo de prova de ensaio de dobramento



Fonte: Adaptado de Souza (1974)

Os ensaios de dobramento em corpos soldados geralmente são usados para a qualificação de soldadores e de processos de solda, sendo utilizado o método de dobramento guiado, como o mostrado acima (SOUZA, 1974, p. 95).

2.6.3 Líquidos penetrantes

O teste de líquidos penetrantes é utilizado para detectar as descontinuidades superficiais de materiais que não tem de porosidade, como no caso de metais. O líquido penetrante pode ser aplicado com pincel, pistola ou

aerossol. Depois é realizada a remoção de tal líquido, através de lavagem. O revelador, então, vai identificar os locais de discontinuidades (ABENDI, 2012, p. 01).

De acordo com a Contec (2003, p. 04), primeiro é realizada a preparação da superfície através de jato e areais, por exemplo. Depois é feita uma limpeza prévia, a aplicação do líquido penetrante, aguardando o tempo e penetração. Para a faixa de 10° C a 52° C, tempo deve estar entre 10 minutos e 1 hora. Somente depois é aplicado o revelador.

Feitas as considerações teóricas necessárias para esclarecimento do tema abordado na pesquisa, iniciou-se a elaboração da metodologia.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da Pesquisa

De acordo com Batista (2012, p. 42), as pesquisas podem ser caracterizadas quanto os meios empregados para sua realização (bibliográfica, documental, estudo de caso e de campo), quanto aos objetivos que querem alcançar (descritiva, explicativa e exploratória) e quanto à abordagem realizada (qualitativa e quantitativa).

Diante disto, é possível se determinar que esta pesquisa é, quanto aos objetivos ou fins: explicativa e exploratória. No primeiro caso, porque tem a função de tornar mais clara os custos relacionados com a aplicação de ambos os processos estudados; No segundo, porque identifica fatores relevantes para avaliação de implantação do processo semiautomático, como qualidade, custos e produtividade, aprofundando o conhecimento a cerca de tais aspectos.

Quanto aos meios empregados, esta pesquisa é: bibliográfica e experimental. No primeiro caso, porque foi desenvolvida a partir de diversos autores e suas publicações, embasando teoricamente os resultados alcançados; No segundo, porque foram realizados testes destrutivos e não destrutivos que possibilitou observar qualitativamente e quantitativamente a qualidade dos produtos finais das soldagens em estudo.

Quanto a abordagem, é pode ser considerada qualitativa e quantitativa. No primeiro caso, pois parte da pesquisa apresenta resultados subjetivos, concebidos através da análise de interpretação do fenômeno, como no caso dos testes laboratoriais realizados nos corpos de prova. No segundo, porque dados mensuráveis permitiram observar que um processo tem custos e produtividade do que o outro.

3.2 Universo e Amostra

O universo da pesquisa são os processos produtivos da empresa e a

amostra é o processo de soldagem manual empregados e o processo de soldagem semiautomática que se pretende implementar na produção da empresa em estudo.

3.3 Coleta, Tratamento e Análise de Dados

Os dados foram coletados da seguinte forma:

1º) Foram fabricadas chapas (CT-01 e CT-02) para a realização de testes não destrutivos e destrutivos, bem como para o levantamento de dados relacionados a custos e produtividade. Estas chapas atendiam a parâmetros estabelecidos pela norma AWS D1.1, sendo feitas em aço carbono.

2ª) Foram, então realizados testes não destrutivos em tais chapas. Primeiro, de inspeção visual, depois de líquidos penetrantes. Destes testes, foram observados aspectos superficiais relacionadas à qualidade da solda realizada, facilitando a avaliação qualitativa da qualidade dos processos empregados.

3º) Foi realizada a remoção, nas duas chapas, de 06 corpos de prova cada, necessários para a realização dos testes destrutivos de tração e dobramento. Destes testes destrutivos, foi possível levantar dados quantitativos e qualitativos a cerca da qualidade das peças. Estes dados foram expostos em tabelas que viabilizaram a observação dos pontos limites de resistência (tração) e de ductilidade (dobramento), dos corpos de prova removidos das chapas CT-01 e CT-02, determinando que processo apresentavam peças com maior resistência e ductilidade.

4º) Durante a soldagem das chapas de teste (CT-01 e outro CT-02) para a realização de levantamento de custos e de produtividade. Primeiro foi levantados dados, através de cálculos, do volume de material a ser depositado no local de solda. Depois foram levantados dados relacionados aos custos deste material. Tais dados foram lançados em tabela, que auxiliou na visualização dos custos com metais consumíveis de cada processo.

5º) Foi levantado dados relacionados com o tempo de duração de cada processo de soldagem nos corpos de prova, assim como dados relacionados com a quantidade de gás utilizada para realização da atividade do processo de soldagem semiautomática (arame tubular). Tais dados foram lançadas em tabela que determinou os gastos com gás de proteção. Estas informações e as da tabela de

metais consumíveis foram transformados em gráficos que demonstraram os custos gerais com consumíveis de ambos processo.

6º) Foram levantados dados relacionados com os salários e encargos sociais da mão de obra, assim como os custos com energia elétrica para cada processo. No primeiro caso, com auxílio do tempo cronometrado, foi possível se identificar os custos gerais com mão de obra de cada processo, sendo estes lançados em tabelas. No segundo caso, os dados também foram lançados em tabela que possuía todos os dados necessários para calcular os custos com energia elétrica de cada processo estudado.

7º) Foram realizados, então, os cálculos relacionados com taxa de deposição, avaliando-se assim a produtividade dos processos de soldagem em estudo. Tais dados foram expostos em tabela.

8º) Todas as informações foram reunidas, de forma a permitir a avaliação conclusiva a cerca da relação custos/produtividade/ qualidade de ambos processos.

4. ANALISE DE RESULTADOS

Em meados de 2011, a empresa em estudo registrou custos elevados com a aplicação de soldagem manual via processo com eletrodo revestido. Foi observado, também, que o tempo demandado para realização das atividades desta técnica de soldagem, além de outros elementos intrínsecos como retrabalho e qualidade das peças fabricadas, estavam afetando a produção da organização, que não estava conseguindo cobrir adequadamente sua demanda.

Surgiu, então, a necessidade de se realizar estudos que promovessem o aumento da produtividade da empresa, reduzindo-se os custos dos serviços prestados e aumentando a competitividade ante as concorrentes do setor de atuação em estudo.

Para o alcance de tais metas, esta pesquisa vai apresentar como opção a implantação e processo semiautomático (arame tubular), que vai permitir a prestação de serviços de maior qualidade e custo e tempo mais reduzidos. Entretanto, faz-se necessário a avaliação da relação custo/produtividade/qualidade de ambos processos (semi automático e manual) para se determinar qual das duas técnicas é mais vantajosa para a empresa sob análise.

Com efeito, a realização do estudo vai se dar em três etapas. Na primeira realizada a análise de qualidade, através de testes destrutivos e não destrutivos; na segunda, levantamento de custos e produtividade dos processos estudados; e, na terceira, a avaliação comparativa custo/produtividade e qualidade dos mesmos.

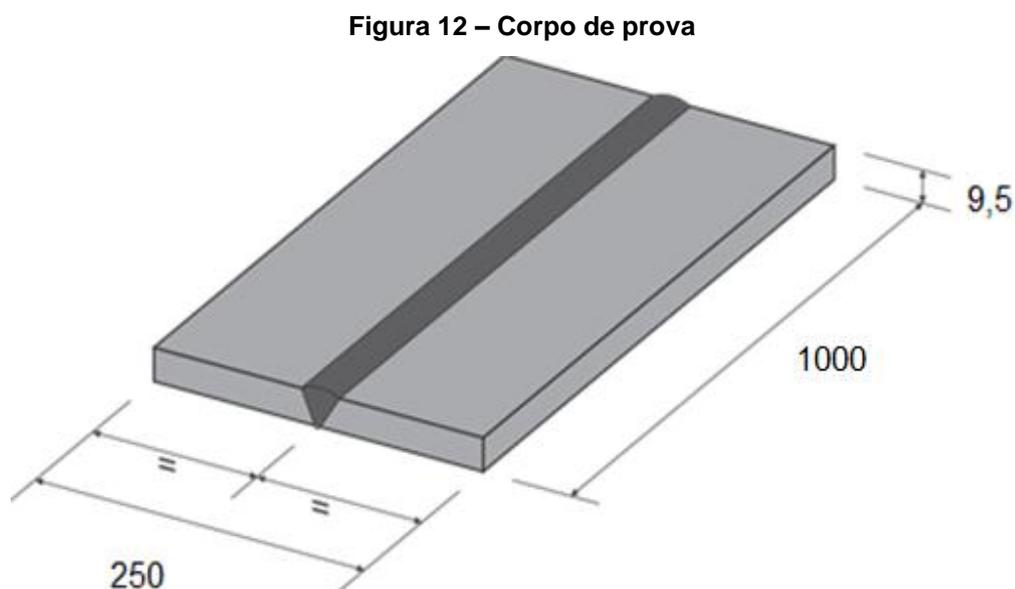
4.1 Análise Comparativa de Qualidade

A análise comparativa da qualidade será fundamentada no atendimento de requisitos de propriedade mecânica, sanidade¹ do metal depositado e aspectos visuais. Para avaliação das propriedades mecânicas foi utilizado os ensaios de tração e dobramento, em conformidade coma norma AWS D1.1. Para avaliação da

¹ Ausência de descontinuidades internas e externas...

sanidade e aspecto visual foi realizada ensaio visual e por líquido penetrantes, segundo os mesmos critérios para avaliação determinadas pela AWS D1.1.

Para a realização destes testes destrutivos e não destrutivos que comprovarão a qualidade dos processos, deve-se dimensionar e estabelecer o corpo de prova, que servirá para realizar os testes que serão aplicados, obtendo-se parâmetros adequados para a pesquisa. Para isso, foram preparadas duas peças de teste, com espessura e 9,5 mm e dimensões de 1000 mm por 250 mm, como mostra a Figura 12.



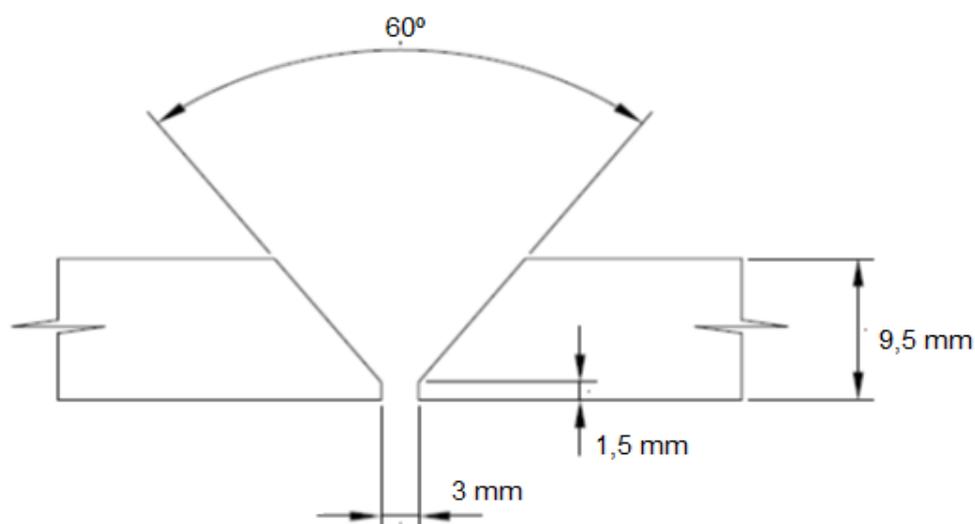
Fonte: Autor da pesquisa

Estas chapas serão feitas com metal de base especificado como ASTM A-36, por ser um largamente utilizado na soldagem de estruturas metálicas de pequeno e grande porte, por processos eletrodo revestido e arame tubular com proteção gasosa semiautomático.

Na soldagem por processo de eletrodo revestido (manual), será utilizado o consumível classificado como E7018, sendo as peças utilizadas para seus testes nomeadas como CT-01. Na soldagem por processo e arame tubular, será utilizado o consumível classificado como E71T-1 com proteção do gás dióxido de carbono e as peças de seus testes serão denominadas, nesta pesquisa, como CT-02.

Ressalta-se, ainda, que este corpo de apresentará a geometria de chanfros tipo “V”, com 60° de inclinação, como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Geometria do chanfro



Fonte: Autor da pesquisa

Preparadas duas peças para os testes destrutivos e não destrutivos, foram estabelecidos parâmetros para a realização de soldagem manual (eletrodo revestido) e por soldagem semiautomática (arame tubular), visualizados na Tabela 01.

Tabela 01 – Parâmetros para testes de qualidade

Processo	Passes	Metal de adição		Corrente		Tensão (V)	Modo de transferência	Stick-Out
		Classif.	Diâmetro	Tipo/Pol.	Intensidade			
Eletrodo Revestido	Raiz	E7018	2,4	CC(+)	65 a 105	20-30	Não aplicável	Não aplicável
	Raiz	E7018	3,2	CC(+)	110 a 150	20-30	Não aplicável	Não aplicável
Arame Tubular	Raiz	E71T-1	1,0	CC (+)	80-190	8-16	Curto-circuito	15 a 25 mm
	Demais	E71T-1	1,0	CC (+)	80-190	8-16	Curto-circuito	15 a 25 mm

Fonte: Autor da pesquisa

Estes parâmetros de soldagem especificam como devem ser realizadas a soldagens das peças de teste (CT-01 e CT-02). Seu registro e adoção também permite garantir a repetitividade das propriedades que serão demonstradas nestas peças, tanto nos ensaios destrutivos de tração e dobramento quanto nos ensaios não destrutivos, garantindo, assim, que essas propriedades podem ser esperadas na soldagem de produção.

Adotados os parâmetros estabelecidos, os dois corpos de prova (CT-01 e CT-02) foram testados, primeiro por ensaio visual, seguido pelo ensaio de líquido

não penetrante (não destrutivo) e depois por tração e por dobramento, como se verá adiante.

4.1.1 Ensaio não destrutivo visual e por líquido penetrante

Os ensaios não destrutivos (visual e por líquidos penetrantes) foram realizados diretamente sobre as peças CT-01 e CT-02, permitindo a análise da capacidade dos processos avaliados produzir soldas isentas de porosidade, trincas e outras descontinuidades superficiais.

Primeiro foi realizada a avaliação visual, tanto na chapa CT-01 quanto na capa CT-02. Nesta avaliação, como mostra a Figura 14, foi observado que a chapa CT-01 apresentou um excelente aspecto visual, com passes uniformes e isentos de descontinuidade, embora haja a necessidade de limpeza final, através de escovas mecanizadas, já que a escória resultante da soldagem é de difícil remoção.

Figura 14 – Avaliação visual do corpo de prova CT-01



Fonte: Autor da pesquisa

O resultado da avaliação visual a chapa CT-02, como mostra a Figura 15, apresentou aspecto visual considerado bom, com passes irregulares e, também, isento de descontinuidades. Sua limpeza final, no entanto, é mais fácil do que a CT-01, pois a escória gerada na soldagem é auto destacável, requerendo um simples escovamento manual.

Figura 15 – Avaliação visual do corpo de prova CT-02



Fonte: Autor da pesquisa

Finalizada a avaliação visual, deu-se início ao teste por líquidos penetrantes em ambos os corpos de prova. Como mostra a Figura 16, a chapa CT-01, o ensaio realizado utilizou líquido penetrante visível de cor vermelha, da marca Metalcheck VP-30 e revelador de base não aquosa metalchek D-70.

Figura 16 – Teste de líquidos penetrantes no corpo de prova CT-01



Fonte: Autor da pesquisa

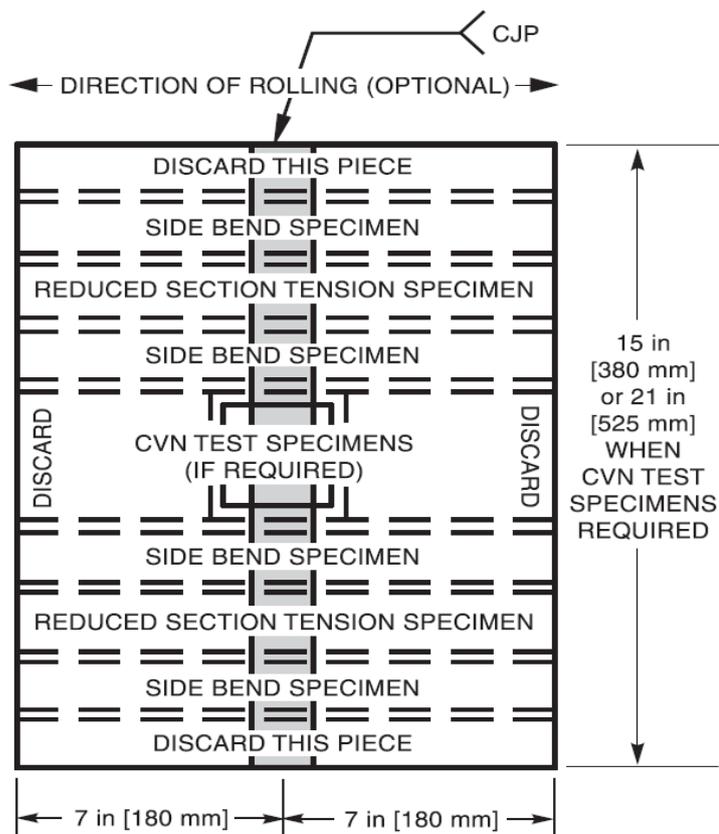
Estes ensaios mostraram que as chapas não apresentaram indicação relevante de penetração, sendo ambas aprovadas de acordo com os critérios estabelecidos pela norma AWS D1.1.

4.1.2 Testes destrutivos

Os ensaios destrutivos apresentados nesta pesquisa foram realizados de acordo com a norma AWS D1.1, da AWS (American Welding Society) na edição 2010. Os ensaios escolhidos para avaliar a qualidade das peças soldadas pelos processos estudados foram: tração e dobramento. O primeiro tem como objetivo a verificação da resistência mecânica dos corpos de prova, e, o segundo, a verificação da ductilidade dos corpos de prova.

Segundo a norma mencionada, a remoção de corpo de prova deve ser realizada na forma representada na Figura 17,

Figura 17 – Remoção de corpos de prova segundo norma



Fonte: Adaptado da norma AWS D1.1

As chapas utilizadas nestes estudo (CT-01 e CT-02) foram preparadas, como mostra a Figura 18, para a realização da remoção dos corpos necessários para a realização dos testes destrutivos.

Figura 18 – CT-01 e CT -02 preparadas para remoção de corpos



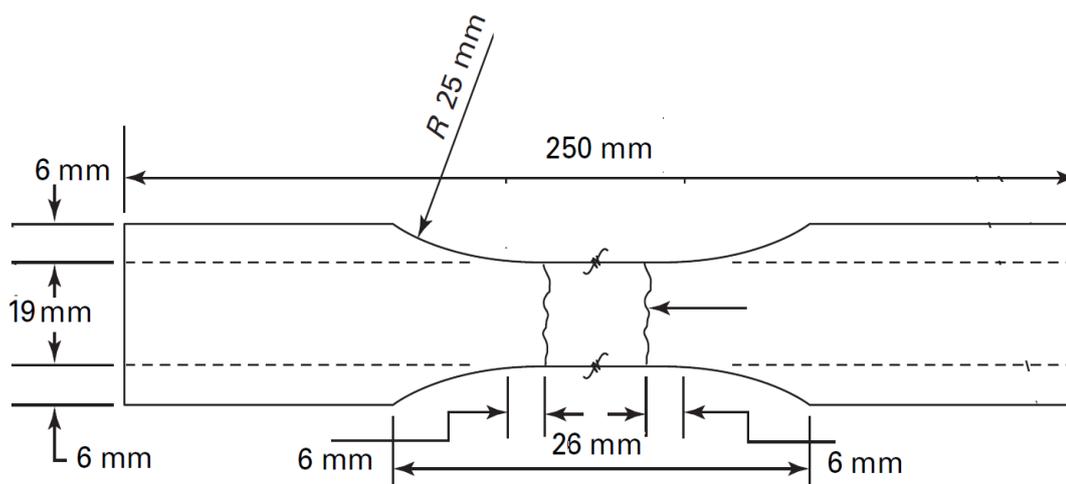
Fonte: Autor da pesquisa

Esta remoção dos corpos foi feita por serramento e o acabamento por meio de usinagem com fresadora, dividindo cada chapa em seis corpos de prova, duas para os ensaios de tração e quatro para os ensaios de dobramento. Separadas as peças da chapa CT-01 e CT-02 iniciaram-se os ensaios de tração.

4.1.2.1 ensaios de tração

O ensaio de tração é realizado pela remoção de corpos de prova, conforme padronização estabelecida pela norma AWS D1.1. Estes corpos de prova têm suas dimensões verificadas e registradas para determinação da sua seção transversal, como mostra a Figura 19.

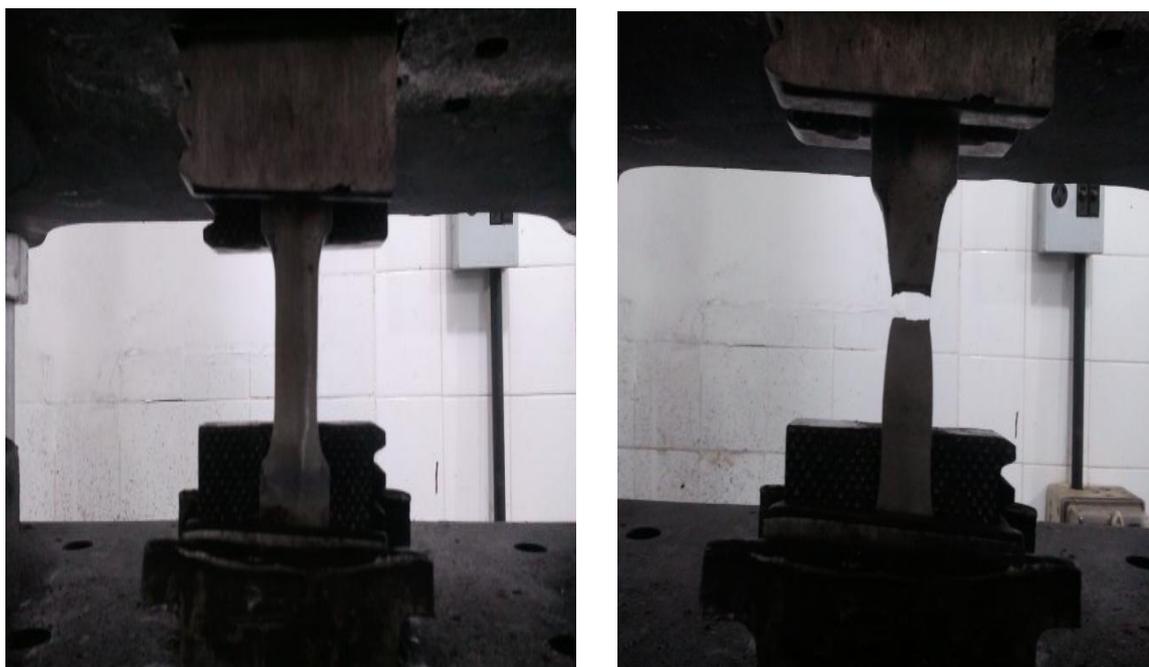
Figura 19 - Corpo de prova para o ensaio de tração da pesquisa



Fonte: Adaptado da norma AWS D1.1

Ressalta-se que o ensaio de tração deste estudo, visualizado na Figura 20, foi realizado no laboratório de ensaio mecânico, com uso da máquina de ensaio universal e através da aplicação de uma carga axial ao corpo de prova até seu rompimento para determinação da tensão de ruptura. O corpo de prova é considerado aprovado quando a tensão de ruptura for maior ou igual ao limite de resistência especificada para o material (ASTM A36 – Especificado Min. 400Mpa).

Figura 20 – Ensaio de tração feito em corpos CT-01 e CT-02



Fonte: Autor da pesquisa

Realizados o teste de tração, os corpos da chapa CT-01 apresentaram os resultados expostos na Tabela 02.

Tabela 02 – Resultados do ensaio de tração realizado na CT-01

Corpo de Prova	Espessura (mm)	Largura (mm)	Área (mm ²)	Carga Máxima	Limite de Resistência (Kgf/mm ²)	Limite de resistência MPA	Local de Ruptura
1	9,50	20,00	190,00	8750	46,05	451,50	1,3 mm Fora de solda
2	9,40	20,00	190,00	8725	46,41	455,00	1,5 mm Fora de Solda

Fonte: Autor da pesquisa

Assim, embora ambos apresentem limites de resistência acima de 400 MPA sendo aprovados no teste, percebe-se pequena variação entre o corpo de prova 01 e 02 da chapa CT-01.

Os testes realizados nos corpos de prova da chapa CT-02 apresentaram os resultados visualizados na Tabela 03.

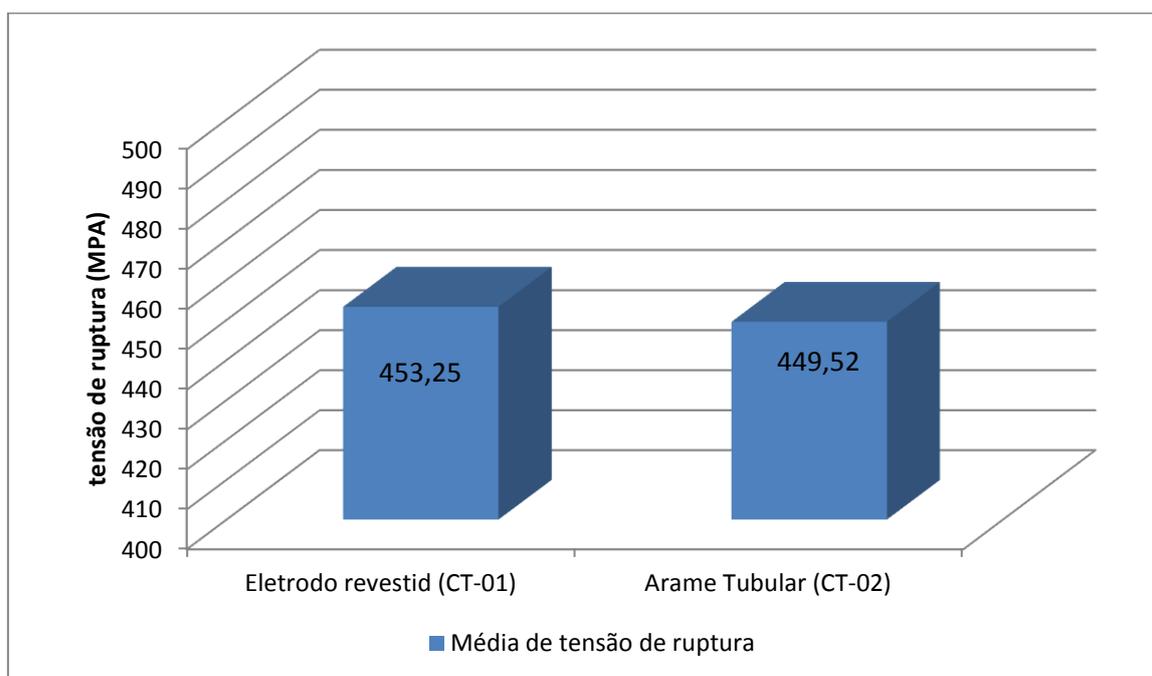
Tabela 03 – Resultados do ensaio de tração realizado na CT-02

Corpo de Prova	Espessura (mm)	Largura (mm)	Área (mm ²)	Carga Máxima	Limite de Resistência (Kgf/mm ²)	Limite de resistência MPA	Local de Ruptura
1	9,00	19,40	174,60	8000	45,82	449,21	3,0 mm Fora de solda
2	9,00	19,10	173,81	7975	45,88	449,84	2,5 mm Fora de Solda

Fonte: Autor da pesquisa

Ambos os corpos de prova da CT-02 (arame tubular), também foram considerados aprovados, apresentando ínfima variação entre os limites de resistência MPA. Como mostra o Gráfico 01, a variação de resistência (MPA) entre os corpos de prova de CT-01 e CT-02 é muito pequena.

Gráfico 01 – Comparação de resistência mecânica entre corpos de prova da CT-01 e CT-02



Fonte: Autor da pesquisa

Assim, calculadas as médias de tensão de ruptura dos ensaios realizados, os resultados dos ensaios de tração demonstram que ambos processos de soldagem atendem às especificações para resistência à tração, não se identificando variações significativas entre os corpos de prova soldados pelos processos de soldagem estudados. Finalizado, os ensaios de tração, deu-se início aos ensaios de dobramento.

4.1.2.2 ensaios de dobramento

O ensaio de dobramento se inicia com a remoção de corpos de prova padronizados pela norma (AWS D1.1). O ensaio visualizado na Figura 21, foi realizado no laboratório de ensaio mecânico, com uso da máquina de ensaio universal e aplicação de acessórios para dobramento.

Figura 21 – Ensaio de dobramento realizado em laboratório

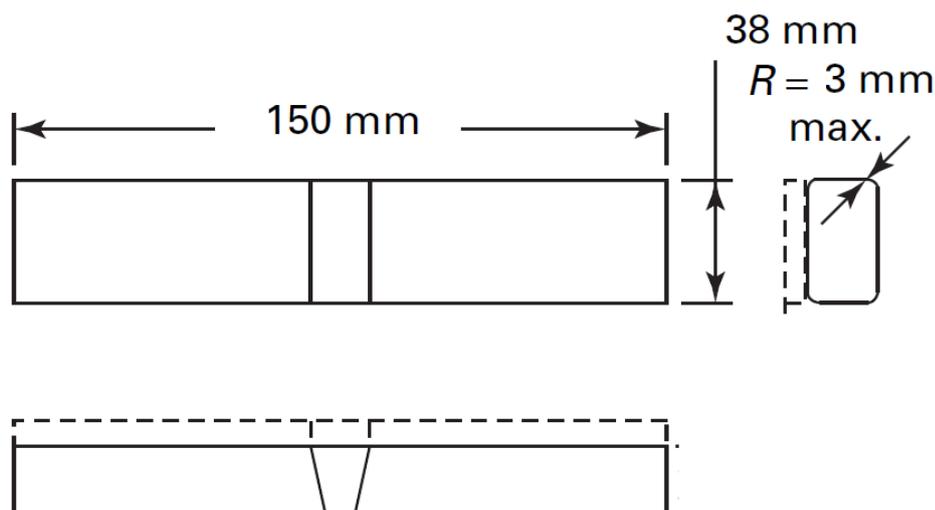


Fonte: Autor da pesquisa

Estes corpos de prova foram submetidos a um esforço de flexão até curva-se a 180°. Depois, a superfície convexa foi examinada visualmente para verificação de descontinuidades na superfície. Caso tais descontinuidades, em qualquer direção, sejam maiores que 3,2 mm, representa falha do corpo de prova e ele estará reprovado no teste.

Como mencionado anteriormente, para o ensaio de dobramento foi removido 04 corpos de prova, com as dimensões e formas visualizadas na Figura 22.

Figura 22 - Corpo de prova para ensaio de dobramento



Fonte: Adaptado de norma AWS D1.1

Realizados os ensaios nos quatro corpos de prova de CT-01 e CT -02, foi possível se chegar aos resultados apresentados na Tabela 04.

Tabela 04 – Resultados dos ensaios de dobramento nos corpos de prova de CT-01 e CT-02

Processo	Corpo de prova (nº)	Espessura (mm)	Largura (mm)	Posição	Resultados	Laudo
Eletrodo Revestido (CT-01)	01	10.1	24.6	Lateral	Sem descontinuidade	Aprovado
	02	10.1	24.5	Lateral	Sem descontinuidade	Aprovado
	03	10.2	24.5	Lateral	Descontinuidade inferior à 3,2 mm	Aprovado
	04	10.2	24.7	Lateral	Sem descontinuidade	Aprovado
Arame Tubular (CT-02)	01	10.0	24.6	Lateral	Sem descontinuidade	Aprovado
	02	10.2	24.5	Lateral	Sem descontinuidade	Aprovado
	03	10.1	24.7	Lateral	Sem descontinuidade	Aprovado
	04	10.0	24.7	Lateral	Sem descontinuidade	Aprovado

Fonte: Autor da pesquisa

Assim, todos os corpos de prova de ambas as chapas foram aprovadas no teste de dobramento, apresentando ductilidade satisfatória. Embora o corpo de prova 03, por eletrodo revestido, tenha apresentado descontinuidade, esta foi inferior a 3,2 mm, ou seja, está dentro dos parâmetros estabelecidos como satisfatórios para a norma AWS D1.1. Observa-se que esta análise é puramente qualitativa.

Pelos ensaios destrutivos e não destrutivos apresentados nesta pesquisa, pode-se concluir que os corpos de prova de ambos processos estudados

apresentam variação pouco significativa tanto em relação às propriedades mecânicas de tração quanto à ductilidade dos metais soldados. Assim, não se verifica impactos consideráveis nas propriedades desejadas para o produto ou serviço que a empresa sob análise oferece.

Finalizados os testes e a análise da qualidade, a pesquisa passou a realizar o levantamento de custos e produtividade para ambos processos, utilizando corpos de provas com as mesmas especificações e parâmetros adotados para os testes, observando-se, também, a mesma nomenclatura, ou seja, CT-01 para chapa soldada por eletrodo revestido e CT-02 para a chapa soldada por arame tubular.

4.2 Custos e Produtividade do Processo de Soldagem Manual com Eletrodo Revestido e de Semiautomática por Arame Tubular

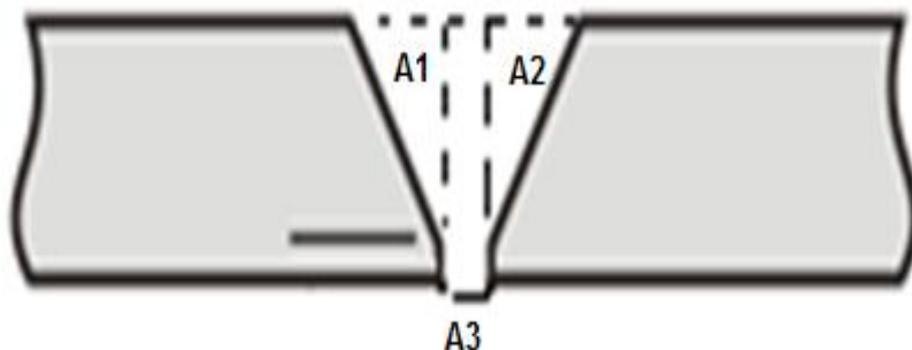
Para efeito de cálculo de custos esta pesquisa vai avaliar os valores gastos com consumíveis, mão de obra e energia elétrica. Posteriormente serão avaliados os valores de taxa de deposição que é o indicador de produtividade adotado por este estudo.

4.2.1 Consumíveis

Baseado nas dimensões do chanfro, espessura e comprimento da junta é possível determinar o volume de metal que será depositado, facilitando o cálculo de taxa de deposição, que é uma medida de produtividade em função do tempo e quantidade de metal a ser adicionado na junta.

De posse do comprimento (1000 mm), resta apenas a área da seção transversal da junta, que pode ser calculada, segmentando a figura em formas geométricas regulares, como mostra a Figura 23, e somando as áreas de tais formas geométricas, denominadas, nesta pesquisa, como A1 e A2 (triângulos retângulos - cuja a área é dada por $A = (B \times H)/2$), e A3 (retângulo cuja a área é dada por $B \times H$).

Figura 23 – Geometria para cálculo de volume a ser depositado



Fonte: Autor da pesquisa

Onde:

$$A1 = \frac{\left[\operatorname{tg} \left(\frac{60}{2} \right) * 6,5 \right] * 6,5}{2} = 12,2 \text{ mm}^2$$

$$A2 = \frac{\left[\operatorname{tg} \left(\frac{60}{2} \right) * 6,5 \right] * 6,5}{2} = 12,2 \text{ mm}^2$$

$$A3 = 3 * 9,5 = 28,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área total (At)} = A1 + A2 + A3 = 52,9 \text{ mm}^2$$

$$\text{Volume total} = \text{At} * \text{Comprimento} = \\ 52900 \text{ mm}^3 \text{ (52,9 Cm}^3\text{)}$$

A densidade do metal depositado é de 7,895 g/Cm³ , conforme parâmetros estabelecidos. De posse dos valores de volume e de densidade, deve-se calcular a massa ou peso do metal de adição, como pode ser visualizado abaixo:

$$densidade = \frac{Massa}{Volume}$$

Assim, a massa de metal depositado é de aproximadamente 417,6g (0,42Kg). Para cálculo do custos relacionados com consumíveis, utiliza-se a equação apresentada durante a revisão teórica:

$$C_c = (Quantidade\ de\ solda\ na\ junta \times\ preço\ do\ metal \\ \times\ eficiência\ do\ metal\ de\ adição)$$

Desta forma, os custos levam em consideração o valor médio por Kg do metal de adição e do utilizado nos ensaios desta pesquisa, como pode ser observado na Tabela 05

Tabela 05 – Custos de consumíveis utilizados nas soldagens dos corpos de prova

Processo de soldagem	Tipo	Classificação	Metal de Adição médio (R\$/Kg)	Qtd (Kg)	Total
<i>Eletrodo Revestido</i>	<i>Manual</i>	<i>E7018</i>	14,40	0,42	R\$ 6,00
<i>Arame Tubular</i>	<i>Semi automático</i>	<i>E71T-1</i>	16,00	0,42	R\$ 6,72

Fonte: Autor da pesquisa

Desta forma, enquanto se gasta R\$ 6,00 (seis reais) com consumíveis metálicos para realizar a soldagem por eletrodo revestido, com o processo utilizando arame tubular os custos serão de R\$ 6,72 (seis reais e setenta e dois centavos). Observa-se, no entanto, que no que se refere ao processo de soldagem com arame tubular, além do metal utilizado deve levar em consideração os custos com o gás de proteção (dióxido de carbono – CO₂).

O consumo deste gás é medido através da vazão volumétrica em função do tempo de soldagem. Para realizar tais cálculos, assim como a taxa de deposição, a soldagem das chapas de teste foi cronometrada, levando-se em

consideração desde a limpeza inicial por escovamento até a limpeza final, pelo mesmo método.

O resultado desta cronometragem foi que a soldagem por eletrodo revestido (manual) foi de 52 minutos e por arame tubular foi de aproximadamente 37 minutos, com mostra a Tabela 06.

Tabela 06 – Duração de soldagens

Processo de soldagem	Tipo	Tempo
<i>Eletrodo Revestido</i>	<i>Manual</i>	<i>52 min.(0,86 h)</i>
<i>Arame Tubular</i>	<i>Semiautomático</i>	<i>37 min.(0,64 h)</i>

Fonte: Autor de pesquisa

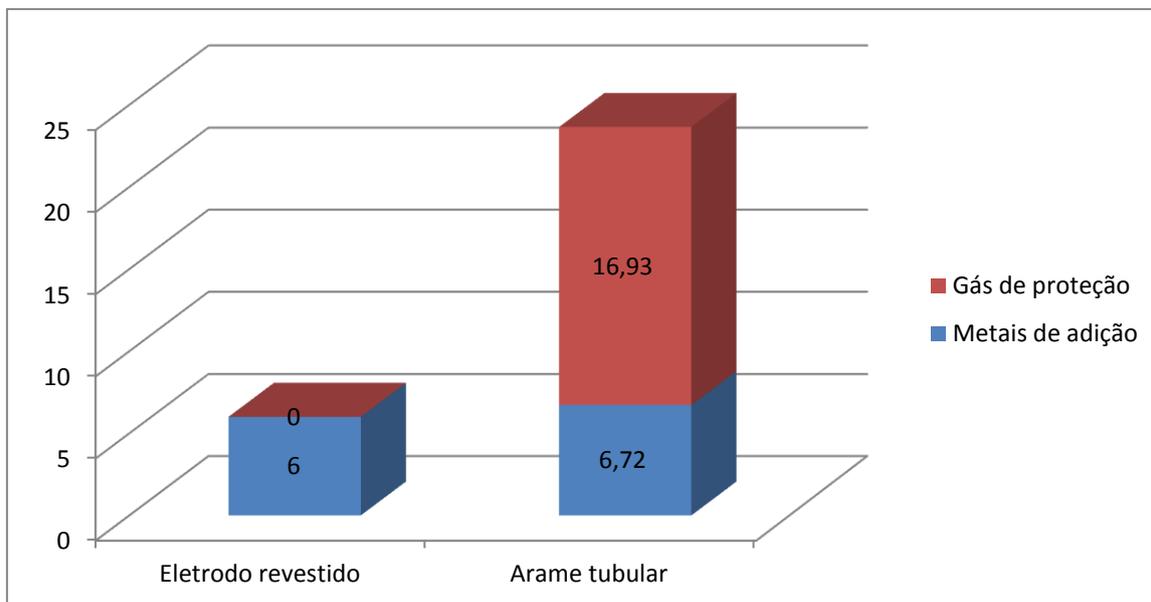
Assim, os custos do gás carbônico são de aproximadamente R\$ 16, 93 (Dezesseis reais e noventa e três centavos) durante 37 minutos de soldagem com aram tubular, como mostra Tabela 07.

Tabela 07 – Custos com gás de proteção em soldagem por arame tubular

Processo de soldagem	Vazão	Tempo de uso	Qtd utilizada (m³)	Preço médio/m3	Total
<i>Arame Tubular</i>	<i>0,016 m³/min</i>	<i>37 min.</i>	<i>0,59</i>	<i>R\$ 28,60</i>	<i>R\$ 16,93</i>

Fonte: Autor de pesquisa

Assim, custo com consumíveis no processo semiautomático deve ser a soma dos custos com metais de adição e com gás carbônico, o que torna os custos gerais deste processo mais alto do que com por eletrodo revestido, como mostra o Gráfico 02.

Gráfico 02 – Custos gerais com consumíveis dos processos estudados

Fonte: Autor da pesquisa

Desta forma, enquanto no processo manual foi gasto R\$ 6,00 (seis reais) com consumíveis para se soldar o corpo de prova, no processo semiautomático foi gasto R\$ 23,65 (Vinte e três reais e sessenta e cinco centavos), representando valor muito superior ao primeiro processo.

4.2.2 Mão de obra e energia elétrica

Para se chegar aos custos com a mão de obra, foi levado em consideração o valor médio de custos com salários e encargos de um soldador treinado para múltiplos processos de soldagem. Como mostra a Tabela 08, o soldador do processo de soldagem por eletrodo revestido custa em média R\$ 14,18 (quatorze reais e dezoito centavos), enquanto o soldador por arame tubular custa R\$ 17,63 por hora trabalhada.

Tabela 08- Salários + encargos dos processos estudados

Qualificação profissional	Salário+Encargos (R\$/hora)
<i>Soldador ER</i>	R\$ 14,18
<i>Soldador AT</i>	R\$ 17,63

Fonte: Autor de pesquisa

Foram realizados cálculos e custos com mão de obra, conforme equação abaixo:

$$C_{mo} = (\text{custo da mão de obra} + \text{encargos sociais}) \times \text{tempo de soldagem}$$

Assim, aplicando-se tal fórmula, observou-se que os custos com mão de obra no processo por eletrodo revestido é de R\$ 12,29 (doze reais e vinte e nove centavos) e no processo por arame tubular é de R\$ 10,87 (Dez reais e oitenta e sete centavos), como mostra a Tabela 09.

Tabela 09 – Custos com mão de obra nos processos em estudo

<i>Chapa de teste</i>	<i>Processo de soldagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Duração</i>	<i>Salário+Encargos (R\$/hora)</i>	<i>Custo</i>
CT-1	<i>Eletrodo Revestido</i>	<i>Manual</i>	<i>52 min</i>	<i>R\$ 14,18</i>	<i>R\$ 12,29</i>
CT-2	<i>Arame Tubular</i>	<i>Semiautomático</i>	<i>37 min.</i>	<i>R\$ 17,63</i>	<i>R\$ 10,87</i>

Fonte: Autor da pesquisa

O custo com energia elétrica é calculado em função da potencia do equipamento e o tempo da soldagem, sendo dado pela equação abaixo:

$$C_{ee} = \frac{\text{potência da saída} \times \text{tempo real de soldagem} \times \text{preço do kWh}}{1000 \times \text{eficiência do equipamento}}$$

Os resultados dos cálculos realizados em relação aos custos com energia elétrica foram lançados na Tabela 10.

Tabela 10 – Custos com energia elétrica nos processos de soldagem em estudo

<i>Chapa de teste</i>	<i>Processo de soldagem</i>	<i>Potencia equipamentos</i>	<i>Tempo</i>	<i>Consumo KWh</i>	<i>R\$/KWh</i>	<i>Custo</i>
CT-1	<i>Eletrodo Revestido</i>	<i>14,6 KW</i>	<i>0,86 h</i>	<i>12,56</i>	<i>R\$ 0,37</i>	<i>R\$ 4,65</i>
CT-2	<i>Arame Tubular</i>	<i>17,3 KW</i>	<i>0,62 h</i>	<i>10,73</i>	<i>R\$ 0,37</i>	<i>R\$ 3,97</i>

Fonte: Autor a pesquisa

Desta forma, enquanto com o processo por eletrodo revestido os custos com energia giram em torno de R\$ 4,65 (Quatro reais e sessenta e cinco centavos), com o processo por arame tubular os custos são de R\$ 3,97 (três reais e noventa e sete centavos).

Estes cálculos revelam que os gastos com mão de obra e energia elétrica com o processo semiautomático (arame tubular) são mais baixos do que com o processo manual (eletrodo revestido).

4.2.3 Taxa de deposição

A taxa de deposição é um indicador de produtividade, sendo ela medida em função do tempo e do material adicionado na soldagem. Nas condições avaliadas e, diante dos dados já levantados, pode-se dizer que a taxa de deposição (Kg/h) do processo de soldagem por eletrodo revestido é de 0,48 Kg/h, enquanto no processo por arame tubular é de 0,68 kg/h, como mostra a Tabela 11.

Tabela 11 – Taxa de deposição dos processos estudados

<i>Processo de soldagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Metal adicionado (Kg)</i>	<i>Tempo(h)</i>	<i>Taxa de deposição (Kg/h)</i>
<i>Eletrodo Revestido</i>	<i>Manual</i>	<i>0,42</i>	<i>0,86</i>	<i>0,48</i>
<i>Arame Tubular</i>	<i>Semiautomático</i>	<i>0,42</i>	<i>0,62</i>	<i>0,68</i>

Fonte: Autor de pesquisa

Desta forma, fica evidente que a produtividade do processo por arame tubular (semiautomático) é maior do que na soldagem por eletrodo revestido.

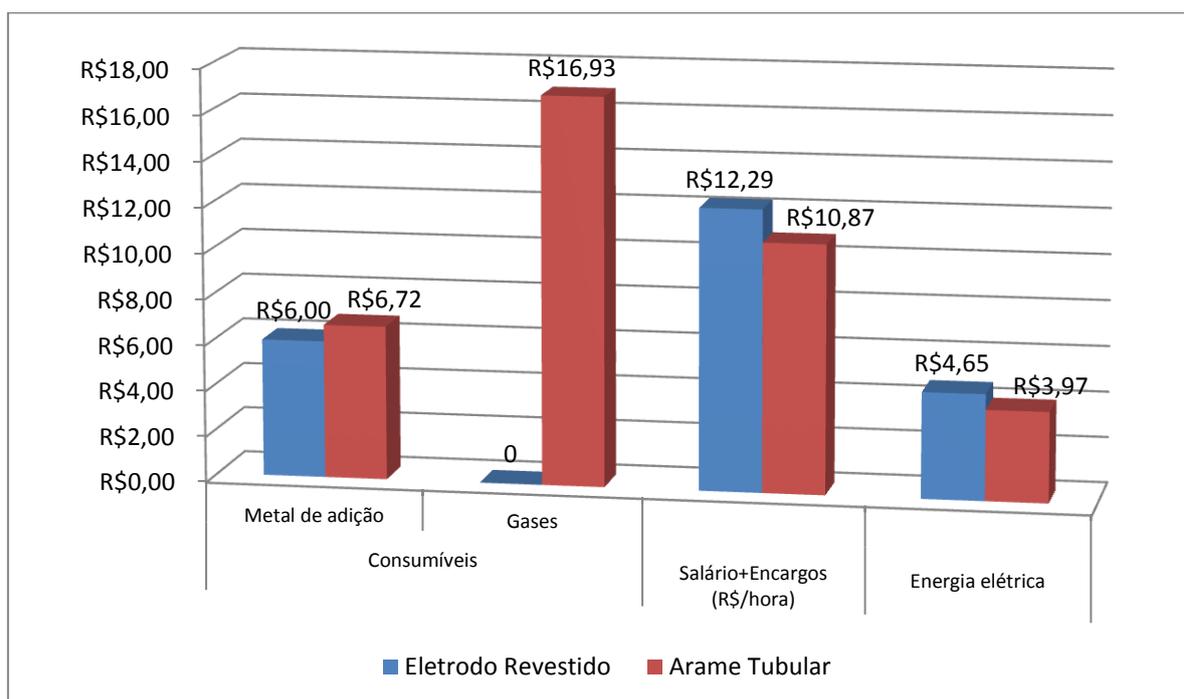
4.3 Análise conclusiva da relação custo/produtividade/qualidade dos processos estudados.

No que se refere à qualidade do produto final das soldagens feitas com os processos estudados, foi demonstrado, através dos testes destrutivos e não destrutivos aplicados na pesquisa, que não existem diferenças significativas entre as chapas testadas.

Em ambos os processos, os resultados foram similares e as pequenas diferenças observadas não criam impacto para a produção da empresa sob análise, Isto significa dizer que a qualidade não deve ser o fator diferenciador do processo a ser aplicado. Passa-se, assim, a realizar a comparação dos custos.

A composição dos custos, tanto do processo semiautomático quanto do manual, podem ser observados no Gráfico 03.

Gráfico 03 – Composição dos custos totais dos processos estudados



Fonte: Autor da pesquisa

Assim, o total de custos envolvidos no processo manual com eletrodo revestido é de R\$ 22,94 (Vinte e dois reais e noventa e quatro centavos) por chapa testado. Já com o processo semiautomático por arame tubular os custos totais para soldagem da chapa de teste foi de R\$ 38,49 (Trinta e oito reais e quarenta e nove centavos).

Assim, no que se refere aos custos, as projeções são bem diferenciadas. O processo por eletrodo revestido tem custo menor em todos os componentes, exceto aqueles que podem ser rateados em função do tempo de soldagem, que tiveram um custo relativo maior, como no caso da energia elétrica e mão de obra utilizada durante a soldagem da chapa (CT-01).

Ocorre que, embora os elementos avaliados mão de obra e energia

elétrica tenham valores inferiores no processo por arame tubular, o valor com consumíveis, neste processo, supera e muito os gasto com o processo manual estudado. Desta forma, a análise dos custos, nas condições avaliadas, mostraram que o processos eletrodo revestido é mais vantajoso em pequenas espessuras e pequenos volumes de produção que é o caso em soldagem de manutenção.

No que se refere à produtividade, foi possível se perceber que a produtividade no processo de arame tubular é maior do que no processo de eletrodo revestido, em razão do tempo estabelecido para a realização de ambas as soldagens estudadas.

Diante do que foi exposto, é possível se concluir que a soldagem com arame tubular parece somente ser promissor em grandes volumes, já que devido sua maior produtividade é possível diluir parte dos custos. É necessário um estudo em maiores volumes de produção, e analisar a possibilidade de utilizar uma variante no processo que permita a soldagem sem gás de proteção ou com múltiplos arcos, já que o uso do gás impactou significativamente no custo final da solda.

Desta forma, a aplicação da soldagem semiautomática por arame tubular não é viável, nas condições estudadas, para a realização das atividades desempenhadas pela empresa, devendo a mesma continuar a aplicar o processo manual por eletrodo revestido.

5 CONCLUSÃO

Como mencionado na introdução desta pesquisa, as empresas em geral precisam atualizar constantemente seus processos produtivos, a fim de manter-se no mercado competitivo, realizando suas atividades de forma eficiente e oferecendo serviços e produtos que atendam à demanda e à expectativa do cliente em relação à qualidade.

Em razão disso, há a necessidade de realização de estudos aprofundados a cerca da utilização de métodos novos a serem empregados nos processos adotados pelas empresas. No estudo de caso apresentado nesta pesquisa, esboços preliminares, realizados em sede de estágio supervisionado, levaram a crer que a implantação de novo procedimento para soldagem, em áreas de manutenção, poderia ser realizado no sentido de otimizar o processo produtivo da empresa sob análise.

Contudo, ao longo dos resultados apresentados, foi possível se identificar que o processo de soldagem manual por eletrodo revestido adotado pela empresa apresenta mais vantagens em termos de custos gerais do que o processo semiautomático (arame tubular) que se pretendia implementar.

Embora a produtividade do processo por arame tubular seja comprovadamente maior, segundo taxa de deposição apontada no estudo, as vantagens neste sentido são suprimidas pelas diferenças de recursos financeiros empregados em ambas as técnicas de soldagens analisadas.

Ressalta-se, ainda, que somente o fator qualidade poderia justificar a implementação de processo mais dispendioso. Entretanto, os testes destrutivos e não destrutivos aplicados no estudo revelaram a existência de diferenças insignificativas na qualidade do produto final de ambos os processos.

Diante do que foi apresentado, é possível se perceber o efetivo alcance de todos os objetivos propostos pela pesquisa, pois foi realizada a análise da qualidade do produto final das soldagens, através de testes destrutivos e não destrutivos, assim como foram apontados custos e produtividade com ambos os processos em estudos e, ao final, foi realizada uma análise conclusiva da relação

custo/produktividade/qualidade dos processos semiautomático e manual, atingindo-se, assim, o objetivo geral que é a avaliação desta relação.

Não bastasse o alcance de tais metas, a pesquisa efetivamente respondeu à questão norteadora que a guiou, observando que a adoção de processos de soldagem semiautomática de arame tubular não apresenta relação custo/produktividade/qualidade positiva em relação ao processo manual adotado pela empresa, devendo esta continuar a empregar a mesma em seu processo produtivo.

Faz-se, no entanto, a ressalva de que para peças de dimensões maiores ou usando-se variações do processo de soldagem semiautomático pode haver a possibilidade de reflexos positivos neste sentido, cabendo à empresa realizar estudo mais aprofundado a cerca destes fatores.

REFERÊNCIAS

ABENDI. **Líquidos penetrantes**. Artigo publicado em 01/11/2012. Associação Brasileira de ensaios não destrutivos e Inspeção. Disponível em <www.abende.org.br>, acesso em 02/11/2012.

BATISTA, E. U. R. **Guia de orientação para trabalhos de conclusão de curso: relatórios, artigos e monografias**. Aracaju: FANESE, 2012.

CONTEC (Comissão de Normas Técnicas). **Ensaio não destrutivo: líquidos não penetrantes**. Publicado em Nov/2003. São Paulo: Petrobras 20.

FERNANDES, Paulo S. Tiago. **Montagens Industriais: planejamento, execução e controle**. São Paulo: Artliber Editora, 2011.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 5^a edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

KRAJESWSKI, Lee; RITZMAN, Larry; MALHOTRA, Manoj. **Administração de produção e operações**. São Paulo: Person Prantece Hall, 2009.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da Produção (Operações Industriais e de Serviços)**. Curitiba: Unicamp, 2007

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRANCARENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem: Fundamentos e tecnologia**. Bolo Horizonte: Editora UFMG, 2009.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

NUNES, Laerce de Paula Nunes. **Introdução à metalurgia aos materiais metálicos**. Rio Janeiro: Interciência, 2010.

SILVA, Paulo. **O que é produtividade?** Publicado em Novembro de 2006. Disponível em < www.produtividade.net>, acesso em 16 de abril de 2010.

SOUZA, Sérgio Augusto de. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos**. São Paulo: Edgard Blucher, 1974.

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décout Homem de.
Soldagem: processos e metalurgia. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.