

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
RENE IVAN DE SOUZA

DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PARA SOLDAGEM DOS CILINDROS
EVAPORADORES UTILIZADOS EM MÁQUINAS DE SORVETE *SOFT* E *MILK*
SHAKE

CASCADEL
2018

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
RENE IVAN DE SOUZA**

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PARA SOLDAGEM DOS CILINDROS
EVAPORADORES UTILIZADOS EM MÁQUINAS DE SORVETE *SOFT* E *MILK*
*SHAKE***

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso I, do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

**Professor Orientador: Me. Eng. Mecânico
Carlos Alberto Breda**

**CASCADEL
2018**

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ

RENE IVAN DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PARA SOLDAGEM DOS
CILINDROS EVAPORADORES UTILIZADOS EM MÁQUINAS DE SORVETE
SOFT E MILK SHAKE**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica sob orientação do Professor Msc. Carlos Alberto Breda

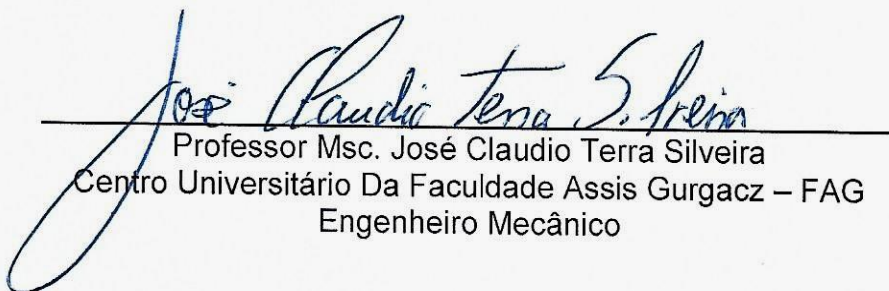
BANCA EXAMINADORA



Orientador Msc. Carlos Alberto Breda
Centro Universitário Da Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



Professor Msc. Roberson Roberto Parizotto
Centro Universitário Da Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



Professor Msc. José Claudio Terra Silveira
Centro Universitário Da Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico

EPÍGRAFE

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

Martin Luther King

AGRADECIMENTOS

A Deus que permitiu que tudo isso acontecesse ao longo da minha vida, mostrando sempre o melhor caminho a seguir e colocando pessoas maravilhosas em minha vida.

A minha esposa Mônica e minhas filhas Gabrielli e Giovanna, pelo incentivo nas horas difíceis de desânimo e cansaço, pela compreensão dos meus momentos de ausência pois sempre entenderam que era necessário, pela ajuda dispensada durante mais esta etapa vencida, tendo vivenciado de perto todos os momentos de angústia, aflição e alegria.

A meus pais Nelson e Leni Elena e amigos que mesmo distantes, sempre ofereceram palavras de incentivo, as quais me fortaleceram.

Ao meu orientador Prof. Me. Carlos Alberto Breda, pelo apoio incondicional, paciência, orientação precisa e amizade.

Aos grandes amigos Briam Porto, Everton José de Souza, Mateus Colla, Jonatas Vinicius Alves Silva por se fazerem presentes em todas as etapas da graduação.

RESUMO

Os cilindros evaporadores utilizados em máquinas de sorvete, são responsáveis pela troca térmica necessária para transformar a calda do estado líquido para o ponto de sorvete ou *milk shake*. O processo de soldagem durante a fabricação do cilindro evaporador é um fator que influencia diretamente no tempo de produção de uma máquina de sorvete e conseqüentemente no custo final da mesma, assim como também necessita de profissional extremamente qualificado na sua execução para que não aconteça problemas como vazamento de gás refrigerante. O objetivo da pesquisa é o desenvolvimento de um dispositivo para tornar o processo de soldagem mais rápido, com mais qualidade e dispensando a necessidade de um profissional com qualificação diferenciada. O processo utilizado para a soldagem é o TIG (*Tungsten Inert Gas*), a finalidade do dispositivo será servir de base para o cilindro transmitindo para o mesmo o movimento de rotação e por outro lado, também servir de base para a tocha de soldagem empregando na mesma um movimento linear, promovendo assim maior eficiência na operação do processo de soldagem, produzindo desta maneira cordões de solda homogêneos e com garantia de estanqueidade. A pesquisa do referencial teórico proporcionou acesso ao conhecimento necessário para o desenvolvimento do trabalho. Após a finalização da fabricação do dispositivo, o mesmo foi utilizado para realizar a operação de soldagem. Os cordões de solda executados pelo dispositivo foram ensaiados por métodos não-destrutivos e permitiram analisar a eficiência do dispositivo de soldagem.

Palavras chaves: Cordão de solda, ensaios não-destrutivos, mecanismo, operação de soldagem.

ABSTRACT

The evaporator cylinders used in ice cream machines are responsible for the thermal change, they are necessary to transform the syrup from the liquid state to the ice cream or milk shake state. The soldering process during the fabrication of the evaporator cylinder is a fact that influences directly on the production time of the ice cream machine and, consequently, it influences on the final cost of the same. It also needs an extremely well prepared professional to work on the execution of the process to avoid problems like the freezing gas leakage. The main objective of the research is the development of a device to make the soldering process quicker, with a better quality and dismissing the obligation of having a professional with a special qualification. The process used for the soldering is the TIG (Tungsten Inert Gas), the device purpose is to serve as a base for the cylinder, transmitting to it the same rotation movement and, by the other side, also serving as a base for the soldering torch, employing on it a linear movement, promoting more efficiency on the operation of the soldering process. This way, producing more reliable and homogeneous soldering strings. The research of the theoretical reference provides the access of the necessary knowledge for the coursework development. After the conclusion of the device fabrication, it was used to perform the soldering process. The solder strings performed by the soldering device were done by non-destructive testing methods and allowed the analysis of the soldering device efficiency.

Key words: Solder string, non-destructive testing, mechanism, soldering process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cilindro evaporador.....	18
Figura 2 - Divisões dos processos de soldagem.....	20
Figura 3 - Principais custos de soldagem.....	21
Figura 4 - Processo de Soldagem TIG.....	23
Figura 6 - Características conforme tipo de corrente e polaridade	25
Figura 7 - Usinagem dos tubos do cilindro evaporador.....	30
Figura 8 - Dimensões tubo externo	31
Figura 9 - Dimensões tubo interno	31
Figura 10 - Dimensões tubo conformado	32
Figura 11 - Conformação do tubo externo.....	32
Figura 12 - Ciclo de refrigeração	34
Figura 13 - Características de tipos de correias.....	36
Figura 14 - Representação correia/polia sincronizadora.....	36
Figura 15 - Representação de conjunto correia/polias.....	37
Figura 16 - Exemplar de redutor de engrenagem	39
Figura 17 - Exemplar de coroa e rosca sem fim.....	39
Figura 18 - Mecanismo biela-manivela.....	40
Figura 19 - Tipos de operação de soldagem.....	41
Figura 20 - Dispositivos para operação de soldagem	42
Figura 21 - Operação manual realizada pelo primeiro soldador	47
Figura 22 - Operação manual realizada pelo segundo soldador	48
Figura 23 - Cordão de solda realizado por soldador experiente	49
Figura 24 - Cordão de solda realizado por soldador menos experiente	49
Figura 25 - Vazamento detectado ainda no processo de fabricação	50
Figura 26 - Vazamento detectado em equipamento pronto	51
Figura 27 - Projeto 3D do conjunto suporte do cilindro evaporador.....	52
Figura 28 - Projeto 3D do conjunto suporte da tocha de soldagem.....	56
Figura 29 - Conjunto suporte do cilindro	58
Figura 30 - Conjunto suporte da tocha.....	58
Figura 31 - Tubos preparados para operação de soldagem.....	59
Figura 32 - Operação de soldagem utilizando o dispositivo.....	60
Figura 33 - Cilindros preparados para realização do ensaio.....	61

Figura 34 - Produtos utilizados no ensaio	61
Figura 35 - Cilindros com aplicação do líquido penetrante	62
Figura 36 - Cilindros com excesso de penetrante removido	62
Figura 37 - Cilindros após aplicação do revelador	63
Figura 38 - Teste de estanqueidade.....	63
Figura 39 - Cordões de solda após aplicação do revelador	67
Figura 40 - Ensaio de estanqueidade.....	68
Figura 41 - Uniformidade dos cordões de solda.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos gases de proteção	23
Tabela 2 – Características de soldagem pelo processo TIG	24
Tabela 3 - Valores recomendados para soldagem de aço inoxidável	26
Tabela 4 – Problemas no cordão de solda, causa e solução	27
Tabela 5 – Material utilizado na fabricação do suporte do cilindro	53
Tabela 6 - Material utilizado na fabricação do suporte da tocha	56
Tabela 7 – Soldador experiente (operação semiautomática x manual).....	65
Tabela 8 – Operação semiautomática x operação manual	66

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Custo da mão de obra (1)	21
Equação 2 - Custo do metal de adição (2)	22
Equação 3 - Custo do gás de proteção (3)	22
Equação 4 - Custo dos consumíveis (4)	22
Equação 5 - Relação de transmissão (5)	37
Equação 6 - Velocidade periférica (6)	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

AWS – *American Welding Society*

°C – grau Celsius

CC – Custo dos Consumíveis

CC - Corrente Contínua

CG – Custo do Gás de Proteção

cm – Centímetro

CMA – Custo do Metal de Adição

CMO – Custo da Mão de Obra

D – Diâmetro de Polia

f – Frequência

GTAW – *Gas Tungsten Arc Welding*

Hz - Hertz

i – Relação de Transmissão

l – Litro

m³ - Metro Cúbico

MAG – *Metal Active Gas*

MIG – *Metal Inert Gas*

min – Minuto

mm – Milímetro

n – Rotação de Polia

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

psi – *Pound Force per Square Inch*

Rad – Radiano

rpm – Rotação por Minuto

s – Segundos

T – Período

TIG – *Tungsten Inert Gas*

Vp – Velocidade Periférica

z – Número de Dentes de Polia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	15
1.2 JUSTIFICATIVA	16
1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	16
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 PROCESSO DE SOLDAGEM.....	18
2.1.1 Custo de soldagem	21
2.1.2 Processo de soldagem TIG	22
2.1.3 Problemas no cordão de solda em aço inox.....	26
2.2 CILINDRO EVAPORADOR	29
2.2.2 O cilindro evaporador no sistema de refrigeração	33
2.2.3 Sistema de refrigeração	33
2.3 MECANISMO PARA TRANSMISSÃO DE MOVIMENTOS	34
2.3.1 Transmissão de movimento por correias.....	35
2.3.2 Redutor de velocidade.....	38
2.3.3 Transformação de movimento de rotação em movimento linear	40
2.4 AUTOMAÇÃO NO PROCESSO DE SOLDAGEM	40
2.5 ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS	42
2.5.1 Ensaio não-destrutivo por líquidos penetrantes	44
3 METODOLOGIA	46
3.1 OPERAÇÃO MANUAL DE SOLDAGEM	46
3.2 DESENVOLVIMENTO E FABRICAÇÃO DO DISPOSITIVO	51
3.2.1 Mecanismo suporte para transmitir rotação ao cilindro evaporador	51
3.2.2 Mecanismo para movimentação da tocha	55
3.3 UTILIZAÇÃO DO DISPOSITIVO DE SOLDAGEM	58
3.4 ENSAIO NÃO-DESTRUTIVO DO CORDÃO DE SOLDA.....	60
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	64
4.1 OPERAÇÃO SEMIAUTOMÁTICA X OPERAÇÃO MANUAL DE SOLDAGEM ...	64
4.1.1 Resultado de ensaio não-destrutivo	67

4.1.2 Uniformidade dos cordões de solda	68
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
5.1 TRABALHOS FUTUROS	70
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho consiste no desenvolvimento de um dispositivo para operação de soldagem dos cilindros evaporadores que são utilizados nas máquinas de sorvete *soft* e *milk shake*. No decorrer deste, será exposta a operação de soldagem atualmente utilizada, juntamente com os resultados que tal sistema apresenta.

Emílio Weiner (1992), classifica os processos de soldagem pela natureza da união ou pelo tipo de fonte de energia. O processo de soldagem utilizado na fabricação dos cilindros evaporadores é o TIG (*Tungsten Inert Gas*), com metal de adição.

Segundo Brandi (1992), o processo TIG utiliza como fonte de calor um arco elétrico mantido entre um eletrodo não consumível de tungstênio e a peça a soldar, onde a proteção da região da soldagem é feita por um fluxo de gás inerte.

O dispositivo servirá para auxiliar na operação do processo de soldagem, afim de minimizar a dependência de um soldador altamente qualificado, permitindo que qualquer operador possa executar a tarefa de maneira rápida e eficiente sem que ocorram problemas posteriores com relação ao cordão de solda.

Segundo Rocha (1977), projetos de engenharia consistem na “criação de planos de máquinas, estruturas, sistemas ou idealização de processos para realizarem funções bem definidas”.

O projeto é composto das seguintes fases:

Reconhecimento e constatação da sua necessidade, isto define o problema;

Estudo de diferentes encaminhamentos do problema e seleção de um deles que será estudado em maiores detalhes, deste estágio fazem parte pesquisas especiais, se necessário;

Delineamento do anteprojeto da máquina, estrutura, sistema ou processo selecionado. Com isto estará estabelecido o aspecto geral e possibilitará a organização das especificações dos componentes mais importantes;

Dimensionamento de todos os componentes e preparação dos desenhos e especificações pormenorizados (ROCHA, 1977, p. 1).

A substituição do sistema de operação manual de soldagem por um sistema semiautomático ou mecanizado, visa diminuir ou eliminar os problemas ocasionados pelo sistema de operação de soldagem atual. Aumento da produtividade e diminuição de custos também podem ser alcançados com a implantação de um novo sistema de operação de soldagem.

Segundo Pazos (2002), pode se definir “a automação como a tecnologia que se ocupa da utilização de sistemas mecânicos, eletroeletrônicos e computacionais na operação e controle da produção”.

Após a utilização do dispositivo de soldagem executando cordões de solda, serão realizados ensaios não-destrutivos nos referidos cordões afim de verificar sua qualidade no que diz respeito a qualidade dos mesmos.

De acordo com Alves e Taniguti (2011) ensaios não-destrutivos não prejudicam os materiais a serem ensaiados e podem detectar problemas nos mesmos, em várias etapas dos processos de fabricação. Esses problemas como falhas e descontinuidades raramente seriam observados se o material fosse submetido à ensaios destrutivos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver o projeto de um dispositivo para semiautomatizar a operação de soldagem dos cilindros evaporadores das máquinas de sorvete *soft* e *milk shake*, visando uma padronização da soldagem, evitando problemas com relação a estanqueidade.

1.1.2 Objetivos específicos

- Inspecionar e supervisionar a operação de soldagem atualmente utilizada;
- Verificar a possibilidade de um sistema de operação alternativo que poderá ser implantado;
- Explorar mecanismos que podem ser utilizados no projeto do dispositivo de soldagem;
- Verificar a eficiência do sistema semiautomático para a operação de soldagem em relação ao sistema utilizado atualmente.

1.2 JUSTIFICATIVA

A operação de soldagem utilizada atualmente dentro da linha de produção é totalmente manual, dessa forma é muito dependente da qualificação do profissional. Portanto, quando não há disponibilidade de um soldador altamente qualificado é normal que ocorram problemas no processo, como falhas no cordão de solda realizado no cilindro evaporador, ocasionando posteriormente vazamento de gás refrigerante.

Também se observa que durante o processo de soldagem pode ocorrer problemas que influenciam diretamente as etapas seguintes da fabricação do cilindro evaporador, aumentando assim o tempo de fabricação. E como o tempo é de extrema importância dentro de um processo de produção através dos custos gerados, questão econômica e de produtividade, a possibilidade de diminuição desse tempo no processo de soldagem acarretaria em uma diminuição do custo de produção.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Como desenvolver um sistema de operação semiautomático ou mecanizado de soldagem a ser aplicado na fabricação do cilindro evaporador utilizado na máquina produtora de sorvete *soft* e *milk shake*?

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Desenvolvimento de um dispositivo para a substituição do processo manual de soldagem da camisa do cilindro evaporador, não incluindo a soldagem dos flanges traseiro e dianteiro e das conexões de ligação do cilindro com a tubulação do sistema de refrigeração.

O cilindro evaporador a ser estudado é utilizado na máquina Modelo Flex, com capacidade de produção de 60 litros/hora de produto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na máquina de sorvete *soft* e *milk shake* o cilindro evaporador tem a função de realizar a troca de calor entre o gás refrigerante e a calda líquida, a qual após essa troca térmica, devido a diminuição da temperatura é transformada em sorvete ou *milk shake*. O cilindro é constituído por dois tubos com diâmetros diferentes, sobrepostos e unidos pelo processo de soldagem, então o gás refrigerante circula no espaço entre os dois tubos, enquanto o produto desce da cuba (reservatório) por gravidade e entra no interior do cilindro.

Por se tratar de um equipamento que processa produto alimentício, é recomendado que o cilindro seja fabricado em aço inoxidável.

O aço inoxidável é um aço de alta liga, normalmente contendo em sua composição química o cromo, níquel e molibdênio, onde o cromo é o elemento que confere ao aço inox uma excelente resistência aos processos corrosivos, a microestrutura do aço inoxidável classifica o mesmo em: austeníticos, ferríticos e martensíticos (Messias José de Carvalho, 1999).

Segundo a ANVISA (2017), “as embalagens e materiais que entram em contato com alimentos podem transferir substâncias que podem representar risco à saúde de quem consome estes alimentos”.

A higiene é um aspecto de suma importância na preparação ou processamento do alimento ou das bebidas. O aço inoxidável tem um registro comprovado de sucesso nestas áreas onde a higiene e a facilidade da limpeza são críticas. A habilidade de permitir fácil limpeza, faz do aço inoxidável a primeira escolha para condições higiênicas estritas, tais como restaurantes, hospitais, cozinhas públicas, etc.

As propriedades de aço inoxidável, dentre elas a resistência de corrosão, a resistência mecânica e a formabilidade são benefícios importantes para os fabricantes e usuários neste setor. A facilidade de limpeza do aço inoxidável é similar àquela do vidro e da porcelana, sendo bastante superior neste quesito aos plásticos, ao alumínio e aos artefatos de barro (ABINOX, 2018).

Devido a essas características o aço inoxidável é o material utilizado para a fabricação do cilindro evaporador, pois o mesmo tem contato direto com o produto, já que é no cilindro evaporador que se produz o sorvete. A figura 1 apresenta um par de cilindros evaporadores e como ele é disposto no equipamento.

Figura 1 - Cilindro evaporador



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1 PROCESSO DE SOLDAGEM

Segundo Brandi (1992), a soldagem é definida como um processo de união entre duas partes metálicas, utilizando-se de uma fonte geradora de calor, com ou sem aplicação de pressão tendo como resultado desse processo a solda.

De acordo com a AWS (*American Welding Society*) soldagem é “união de duas ou mais partes, mantendo-se a continuidade das propriedades físicas e químicas na região soldada”.

De acordo com Brandi (1992), ainda que o desenvolvimento do arco elétrico tenha ocorrido no século XIX, o processo de soldagem teve seu grande impulso no decorrer da Segunda Guerra Mundial, devido sua utilização na fabricação de navios e aviões. A seguir é apresentado um breve histórico da evolução da soldagem.

- 1801 Sir Humphey Davis descobre o fenômeno do arco elétrico;
- 1836 Edmund Davy descobre o Acetileno;
- 1885 N. Bernardos e S. Olsewski depositam patente do processo de soldagem por arco elétrico;
- 1889 N.G. Slavianoff e C. Coffin substituem o eletrodo de grafite por arame metálico;
- 1901 Fouché e Picard desenvolvem o primeiro maçarico industrial para soldagem oxiacetilênica;
- 1903 Goldschmidt descobre a solda aluminotérmica;
- 1907 O. Kjellberg deposita a patente do primeiro eletrodo revestido;

- 1919 C. J. Halsag introduz a corrente alternada nos processos de soldagem;
- 1926 H.M. Hobart e P.K. Denver utilizam gás inerte como proteção do arco elétrico;
- 1930 Primeiras normas para eletrodo revestido nos EUA;
- 1935 Desenvolvimento dos processos de soldagem TIG e Arco Submerso;
- 1948 H.F. Kennedy desenvolve o processo de soldagem MIG;
- 1950 França e Alemanha desenvolvem o processo de soldagem por feixe de elétrons;
- 1953 Surgimento do processo MAG;
- 1957 Desenvolvimento do processo de soldagem com arame tubular e proteção gasosa;
- 1958 Desenvolvimento do processo de soldagem por eletro-escória, na Rússia;
- 1960 Desenvolvimento de processo de soldagem a laser, nos EUA;
- 1970 Aplicados os primeiros robôs nos processos de soldagem.

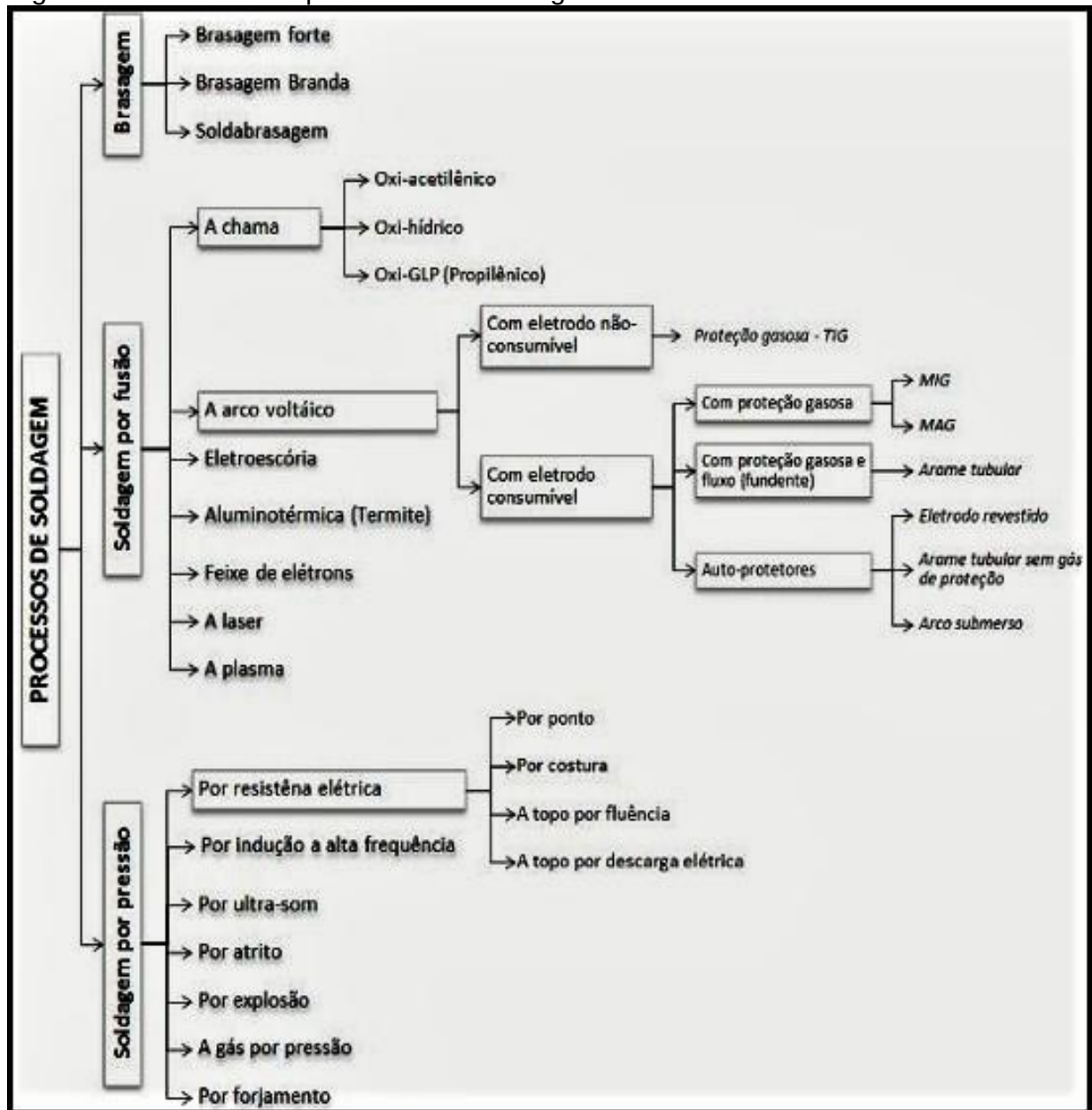
Okumura, Taniguchi (1982) afirmam que existe dificuldade em definir uma classificação universalmente aceita devido a diversidade de processos utilizados, porém, é comum classifica-los conforme a fonte de energia e processo físico envolvidos no processo de soldagem.

Portanto classificando a soldagem conforme o processo físico envolvido, a mesma é dividida em soldagem por fusão, soldagem por pressão e brasagem.

- Soldagem por fusão: processo no qual as partes são fundidas por meio de energia elétrica ou química, sem aplicação de pressão;
- Soldagem por pressão: processo na qual as partes são coalescidas e pressionadas uma contra a outra;
- Brasagem: processo no qual as partes são unidas por meio de uma liga metálica de baixo ponto de fusão, nesse método o metal base não é fundido.

A figura 2 apresenta as principais divisões dos processos de soldagem.

Figura 2 - Divisões dos processos de soldagem



Fonte: VVIndústria (2018).

O cilindro evaporador é fabricado em aço inoxidável e o processo de soldagem utilizado é o TIG.

A soldagem TIG produz uma solda livre de impurezas e de alta qualidade, pois não gera escória eliminando a possibilidade de inclusão da mesma no metal. Outra vantagem da soldagem TIG é que a solda não necessita de limpeza no final do processo. A soldagem TIG pode ser usada para quase todos os metais e o processo pode ser manual ou automático, o processo é amplamente utilizado para solda com alumínio e com ligas de aço inoxidável onde a integridade da solda é de extrema importância. É também utilizada para juntas de alta qualidade em indústrias nucleares, químicas, aeronáuticas e de alimentos (ESAB, 2018).

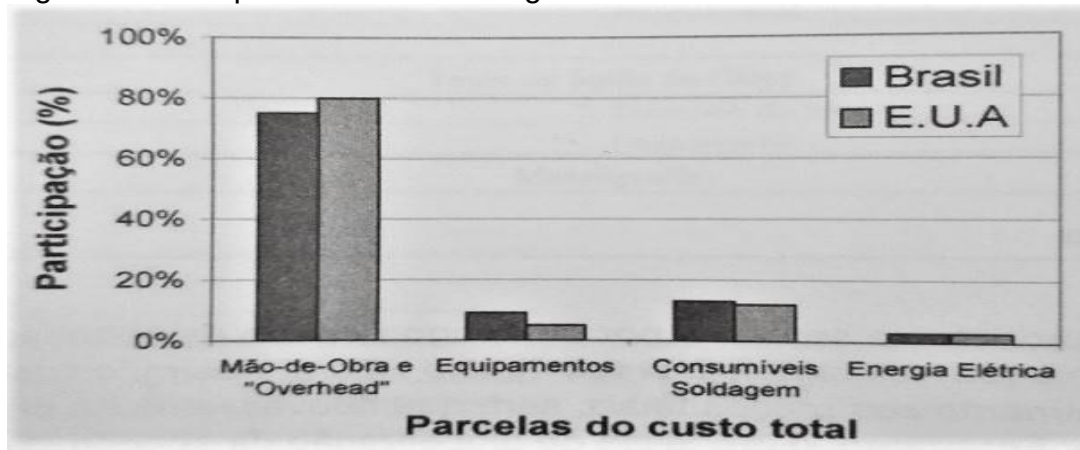
2.1.1 Custo de soldagem

De acordo com Brandi, Mello e Wainer (1992), a definição de custos em soldagem compreende um universo que se expande desde a escolha do processo até o treinamento do soldador, atravessando etapas como a definição da junta, dos equipamentos, até a simulação da fabricação.

Segundo Bracarense, Marques, Modenesi (2009), itens como: custo da mão de obra, custo dos consumíveis, custo da energia elétrica, custo de manutenção, custo de depreciação e custo de outros materiais de consumo podem ser considerados ao calcular os custos de soldagem, ou ainda, tão somente alguns deles se observando a precisão necessária.

A figura 3 apresenta parcelas do custo total de soldagem, onde é possível verificar que aproximadamente 93% do custo de operação é representado pelos custos da mão de obra e dos consumíveis, portanto, utilizando essas duas parcelas de cálculo pode-se alcançar uma boa aproximação dos custos de soldagem.

Figura 3 - Principais custos de soldagem



Fonte: Soldagem fundamentos e tecnologia (2009).

Sendo assim, o custo da mão de obra (CMO) pode ser determinado conforme a equação (1).

$$CMO (R\$) = \left(\text{custo do soldador} \left(\frac{R\$}{h} \right) \right) * (\text{tempo de soldagem} (h))$$

(1)

Por seguinte, para a determinação do custo dos consumíveis (CC) utilizados no processo de soldagem TIG, é necessário somar o custo do metal de adição (CMA) e o custo do gás de proteção (CG), os quais são obtidos através das equações 2 ,3 e 4.

$$CMA (R\$) = (massa\ de\ metal\ depositado\ (kg)) * (custo\ do\ metal\ depositado\ (\frac{R\$}{kg})) \quad (2)$$

$$CG (R\$) = \frac{(vazão\ de\ gás\ (\frac{l}{min})) * (tempo\ de\ arco\ aberto\ (s)) * (custo\ do\ gás\ (\frac{R\$}{m^3}))}{60000} \quad (3)$$

$$CC (R\$) = (CMA) + (CG) \quad (4)$$

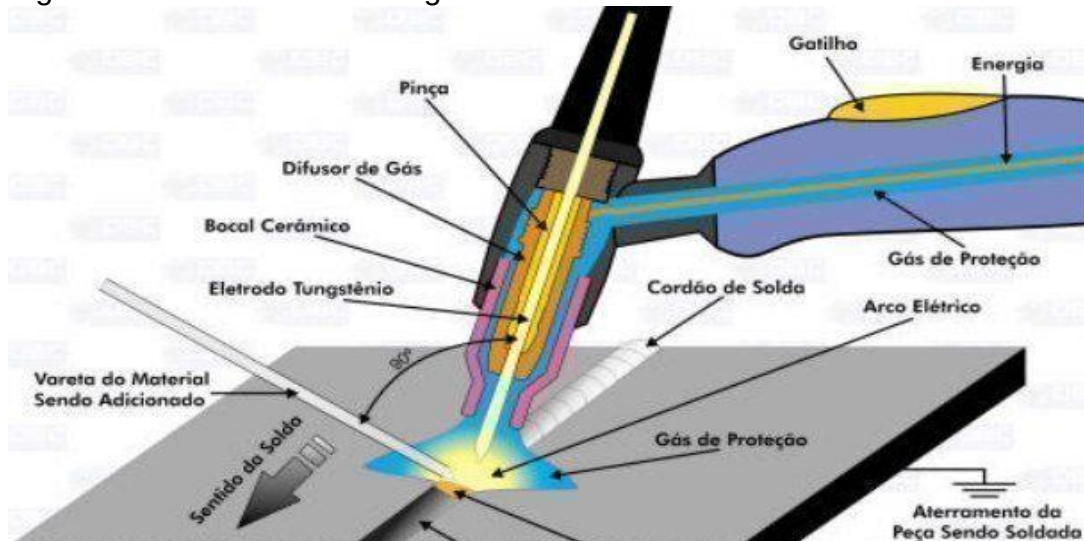
2.1.2 Processo de soldagem TIG

O processo de soldagem utilizado na fabricação do cilindro evaporador é o processo TIG (*Tungsten Inert Gas*), conhecido também como GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*), o qual é definido como soldagem a arco elétrico ajustado entre um eletrodo de tungstênio e as partes ou peças a serem unidas, onde a poça de fusão é preservada por um fluxo de gás inerte.

A soldagem a arco com eletrodo de tungstênio e proteção gasosa (Gas Tungsten Arc Welding – GTAW) é um processo no qual a união de peças metálicas é produzida pelo aquecimento e fusão destas através de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de tungstênio, não consumível e as peças a unir. A proteção da poça de fusão e do arco contra a contaminação pela atmosfera é feita por uma nuvem de gás inerte ou mistura de gases inertes. A soldagem pode ou não ser feita com adição de metal de adição e quando usada é feita diretamente na poça de fusão (BRACARENSE, MARQUES, MODENESI, 2009, p. 205).

A figura 4 ilustra o processo denominado como TIG (*Tungsten Inert Gas*).

Figura 4 - Processo de Soldagem TIG



Fonte: DBC Guias e Tutoriais, (2014).

Segundo Brandi (2010), os gases usualmente utilizados no processo TIG são o argônio, o hélio ou suas misturas. A utilização dos mesmos depende do material a ser soldado e também das características da soldagem. A tabela 1 apresenta algumas características desses gases utilizados no processo TIG.

Tabela 1 – Características dos gases de proteção

Argônio	Hélio
Baixa tensão de arco	Elevada tensão de arco
Menor penetração	Maior penetração
Adequado à soldagem de chapas finas	Adequado à soldagem de grandes espessuras e materiais de condutibilidade térmica elevada
Soldagem manual devido ao pequeno gradiente de tensão na coluna do arco (6 V/cm)	Soldagem automática
Maior ação de limpeza	Menor ação de limpeza
Arco mais estável	Arco menos estável
Fácil abertura do arco	Dificuldade na abertura do arco
Utilizado em CC e CA	Geralmente CCPD com eletrodo de tungstênio toriado
Custo reduzido	Custo elevado
Vazão para proteção pequena	Vazão para proteção de 2 a 3 vezes maior que a de argônio
Maior resistência à corrente de ar lateral	Menor resistência à corrente de vento

Fonte: Processos e Metalurgia (1992).

As principais características do processo de soldagem TIG são especificados na tabela 2.

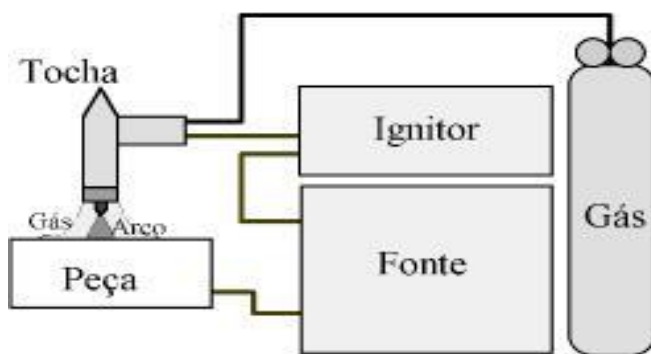
Tabela 2 – Características de soldagem pelo processo TIG

Tipo de operação: Manual ou automática	Custo do equipamento: 1,5 a 10 vezes o custo do equipamento de soldagem com eletrodo revestido
Características: Taxa de deposição: 0,2 a 1,5 kg/h Espessuras soldáveis: 0,1 a 12 mm Posições de soldagem: todas Tipo de juntas: todas Faixa de corrente: 10 a 300 A	Consumíveis: Gás de proteção Metal de adição Bocal de cerâmica (Eletrodo de tungstênio)
Vantagens: Soldas de excelente qualidade Acabamento do cordão de solda Menor aquecimento da peça soldada Ausência de respingos Pode ser automatizado	Limitações: Dificuldade de utilização na presença de corrente de ar Processo dependente da habilidade do soldador, quando não automatizado
Equipamentos: Retificador, gerador ou transformador Fonte de energia Cilindro de gás Tocha Fluxômetro para medir vazão do gás	Segurança: Proteção ocular Emissão intensa de radiação ultravioleta Risco de choque elétrico

Fonte: Soldagem: Processos e Metalurgia (1992).

Segundo Bracarense, Marques e Modenesi (2009), os equipamentos fundamentais utilizados no processo de soldagem TIG consistem em uma fonte de energia elétrica, uma tocha de soldagem apropriada, uma fonte de gás protetor, um dispositivo para abertura do arco, cabos e mangueiras. A figura 5 apresenta a configuração básica dos equipamentos para soldagem TIG.

Figura 5 - Configuração básica de equipamentos para soldagem TIG



Fonte: Soldagem: fundamentos e tecnologia (2009).

A operação de soldagem deve ser iniciada após a limpeza do material a ser soldado, o mesmo deve estar isento de qualquer tipo de contaminação. Então se inicia o processo com abertura da vazão do gás inerte antes da abertura do arco

elétrico utilizando-se do ignitor de alta frequência, a próxima etapa é a formação da poça de fusão e quando a mesma atinge o volume e tamanho adequado pode-se iniciar o movimento da tocha. O material de adição é então depositado na poça de fusão, após se finalizar o cordão de solda desejado pode-se interromper o arco elétrico mantendo o fluxo de gás a fim de não ocorrer uma contaminação da poça de fusão (BRACARENSE, MARQUES, MODENESI, 2009).

As principais variáveis operatórias da soldagem TIG são o comprimento do arco, a corrente, a velocidade de soldagem e a vazão de gás de proteção. O comprimento do arco é a distância entre a ponta do eletrodo e a peça de trabalho. Para uma dada corrente de soldagem e gás de proteção, a tensão do arco aumenta com o aumento deste. Em geral, quanto maior o comprimento do arco, mais raso e largo é o cordão de solda. No caso de soldagem com adição, também o reforço do cordão tende a diminuir com o aumento do comprimento do arco. Arcos muito curtos ou muito longos tendem a ser instáveis, o que favorece a formação de discontinuidades como porosidade, falta de fusão e mordedura (BRACARENSE, MARQUES, MODENESI, 2009, p. 215).

Para realização do processo de soldagem a corrente é definida diretamente na fonte de energia, algumas características da soldagem realizada com diferentes tipos de corrente e polaridade são apresentadas na figura 6.

Figura 6 - Características conforme tipo de corrente e polaridade

Tipo de Corrente:	CC-	CC+	CA
Polaridade do eletrodo	Negativa ou direta	Positiva ou inversa	Alternada
Fluxo de elétrons e íons			
Perfil do cordão			
Limpeza de óxido:	Não	Sim	Sim (meio ciclo)
Balanco de calor (aproximado):	70% na peça 30% no eletrodo	30% na peça 70% no eletrodo	50% na peça 50% no eletrodo
Penetração	Estreita e profunda	Rasa e superficial	Intermediária
Aplicações	Aço, Cu, Ag, Aços Inoxidáveis e ligas resistentes ao calor	Al, Mg (somente para baixas correntes e espessuras)	Al, Mg e suas ligas com maiores correntes e espessuras

Fonte: Soldagem fundamentos e tecnologia (2009).

A operação de soldagem realizada no cilindro evaporador é realizada em corrente contínua, com polaridade negativa no eletrodo de tungstênio.

Quando o eletrodo está ligado ao polo negativo, CC⁻, os elétrons fluem do eletrodo em altas velocidades, bombardeando o metal de base e provocando um aquecimento considerável nesse metal, a concentração de calor, portanto, é de aproximadamente 70% na peça e 30% no eletrodo.

O cordão de solda obtido com CC⁻ é estreito e com grande penetração. Esse tipo de corrente é aplicado na soldagem de aço, cobre, aços austeníticos ao cromo níquel e ligas resistentes ao calor (TATINI, ZIEDAS, 1997, p. 170).

Se tratando do processo de soldagem TIG, alguns parâmetros para a soldagem de aço inoxidável são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Valores recomendados para soldagem de aço inoxidável

Espessura (mm)	Tipo de junta	Diâmetro do eletrodo (mm)	Diâmetro do metal de adição (mm)	Corrente (A)	Vazão de argônio (l/min)	Número de passes	Velocidade da soldagem (cm/min)
0,6	sem chanfro	1	-	15 – 25	3	1	30 – 40
0,8	sem abertura	1	-	15 – 30	3	1	30 – 40
1,0	sem chanfro com abertura	1	1	25 – 60	4	1	25 – 30
1,5		1,5	1,5	50 – 80	4	1	25 – 30
2		1,5	1,5 – 2,0	80 – 110	4	1	25 – 30
3		2,0	2 – 3	100 – 150	4	1	25 – 30
4		2,0	3	120 – 200	5	1	25
5	chanfro em V	3	3 – 4	200 – 250	5	1	25
6		3	4	200 - 250	6	2	25

Fonte: Processos e metalurgia (2010).

2.1.3 Problemas no cordão de solda em aço inox

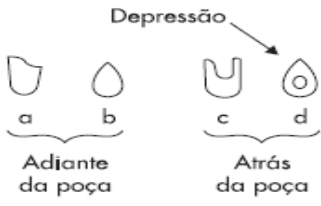
Segundo Carvalho (1999), “na grande maioria das vezes estes problemas estão ligados a técnicas, processos, procedimentos e consumíveis errados,

máquinas em mau estado e cabos e acessórios em condições precárias”. A tabela 4 apresenta alguns problemas e suas possíveis causas, assim como praticáveis procedimentos a serem realizados afim de solucionar os mesmos.

Tabela 4 – Problemas no cordão de solda, causa e solução

PROBLEMA	CAUSA POSSÍVEL	SOLUÇÃO POSSÍVEL
Consumo excessivo do eletrodo	1. Soldagem na polaridade errada. 2. Mau contato entre o eletrodo e a pinça porta-eletrodo. 3. Eletrodo contaminado por contato com a poça de fusão. 4. Amperagem inadequada para o diâmetro de eletrodo usado. 5. Gás de proteção insuficiente. 6. Tipo de eletrodo inadequado.	1. Inverta a posição dos cabos. 2. Verifique e aperte. 3. Limpe o eletrodo com um leve esmerilhamento. Se estiver muito contaminado ou corroído deve ser substituído. 4. Verifique se há uma bola na ponta do eletrodo cerca de mais de 1,5 vezes o diâmetro do eletrodo. Neste caso a amperagem está alta, diminua. 5. Verifique o circuito de alimentação do gás e a regulação da vazão. 6. Troque por eletrodo adequado ao serviço.
Arco flutuante.	1. Óxidos ou agentes contaminadores na superfície do metal-base. 2. Ângulo do chanfro da junta estreito demais. 3. Eletrodo contaminado. 4. Arco comprido demais. 5. Diâmetro do eletrodo grande demais para amperagem usada. 6. Ligações elétricas defeituosas.	1. Limpe a peça de impurezas tais como óleo, graxa, umidade, etc. 2. Aumente o chanfro. 3. Limpe o eletrodo com um leve esmerilhamento ou substitua-o. 4. Diminua o comprimento do arco. 5. Troque por eletrodo de menor diâmetro. 6. Cheque os fios que ligam a máquina na rede e conserte-os, se necessário.
Porosidade	1. Cilindros de gás contaminados: umidade excessiva. 2. Superfícies do metal-base contaminadas devido a uma limpeza inadequada. 3. Formação de óxidos na vareta	1. Substitua o cilindro. 2. Verifique e limpe-o novamente. 3. Verifique e corte o pedaço

	de metal de adição, cuja ponta em fusão saiu da cortina do gás de proteção. 4. Falta de fusão entre passes ou limpeza incompleta entre os mesmos. 5. Correntes de ar (ventos) na área de soldagem. 6. Vazão baixa do gás de proteção. 7. Umidade na vareta metal de adição. 8. Bocal refratário de diâmetro inadequado. 9. Conexão do cabo-terra solta. 10. Solidificação da poça de fusão ocorrendo muito rapidamente. 11. Contaminação das varetas de adição por armazenamento impróprio. 12. Vazamento no circuito de gás de proteção. 13. Excesso de gás de proteção.	oxidado da vareta. 4. Verifique problemas à falta de fusão adiante. Melhore limpeza entre passes. 5. Proteja a área de soldagem dos ventos. 6. Aumente a vazão. 7. Vareta estava armazenada incorretamente. Verifique, seque ou substitua a vareta. 8. Substitua o bocal. 9. Verifique e aperte. 10. Mantenha o arco aberto mais tempo. 11. Verifique as condições de armazenagem. 12. Cheque todo o circuito (mangueiras, conexões, etc.). 13. Diminua a vazão do gás.
Falta de fusão.	1. Preparação da junta errada. 2. Metal de adição depositado antes que a poça de fusão tenha se formado, no metal-base. 3. Amperagem de soldagem baixa demais. 4. Regime de deposição ocorrendo rápido demais. 5. Má interpretação da forma da poça de fusão.	1. Cheque aberturas, ângulo de chanfros, profundidade, limpeza, etc. 2. Cuide para que a vareta não entre no arco, e sim na borda dianteira da poça de fusão. 3. Aumente a amperagem. 4. Faça uma deposição da vareta mais lenta. 5. Utilize técnica de soldagem de acordo com a poça de fusão. a = plana b = em gota c = cavada d = em bico

	6. Manuseio inadequado da tocha. 7. Pontos de soldagem, durante a montagem, grandes demais. 8. Má fixação das peças a soldar.	 6. Mude a técnica de soldagem. 7. Esmerilhe os pontos de solda. 8. Antes de soldar, verifique as condições de fixação das peças.
Queda excessiva do metal de adição.	1. Má interpretação da forma da poça de fusão. 2. Velocidade de soldagem muito baixa. 3. Ângulo inadequado da tocha. 4. Amperagem de soldagem alta demais.	1. Mude a técnica de soldagem de acordo com a poça de fusão. 2. Aumente a velocidade de avanço. 3. Altere a posição da tocha. 4. Diminua a amperagem.

Fonte: Orientações práticas de soldagem em aço inox (1999).

2.2 CILINDRO EVAPORADOR

A estrutura do cilindro evaporador utilizado é fabricada em aço inoxidável austenítico ASTM 304, são utilizados dois tubos de diâmetro e espessura de parede diferentes:

- Tubo interno: 3" schedule 10s (88,9mm x 3,05mm de parede);
- Tubo externo: 3.1/2" schedule 5s (101,6mm x 2,11mm de parede).

Um evaporador é qualquer superfície de transmissão de calor na qual o líquido volátil é vaporizado com objetivo de remover calor de um espaço ou produto refrigerado. Por causa das muitas e diversas aplicações de refrigeração mecânica, os evaporadores são fabricados em uma grande variedade de tipos, formas, tamanhos e projetos, e podem ser classificados em um número de diferentes modos, tais como tipo de construção, método de alimentação dos líquidos, condição de operação, método de circulação de ar (ou líquido), tipo de controle de refrigerante, e aplicação (DOSSAT, 1980, p.321).

A primeira etapa da fabricação se utiliza de processos de usinagem, como o corte do tubo realizado em uma serra fita, após a operação de serrar os tubos os mesmos passam por uma operação de torneamento (facear), para deixar os mesmos com as faces alinhadas e também nas dimensões definidas no projeto. A figura 7 ilustra os tubos cortados, a operação realizada no torno e os tubos já faceados.

Figura 7 - Usinagem dos tubos do cilindro evaporador

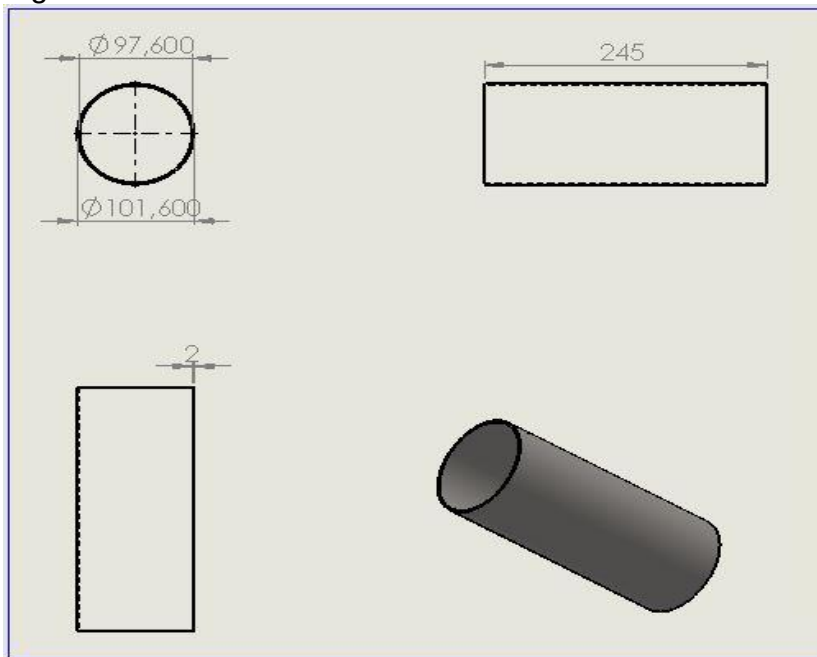


Fonte: Elaborado pelo autor.

Ferraresi (1970) define o torneamento como um processo mecânico de usinagem que objetiva superfícies de revolução através de ferramentas de corte, para isso uma peça gira em torno do eixo principal da máquina operatriz e a ferramenta é deslocada simultaneamente seguindo uma trajetória coplanar com o referido eixo.

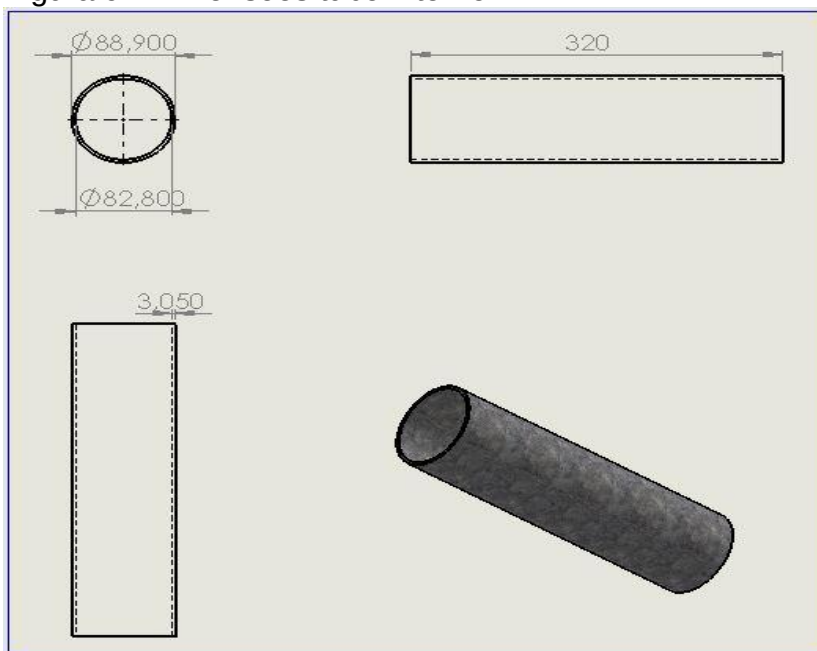
As dimensões dos tubos componentes do cilindro evaporador são apresentadas na figura 8, do tubo externo e figura 9 do tubo interno.

Figura 8 - Dimensões tubo externo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9 - Dimensões tubo interno



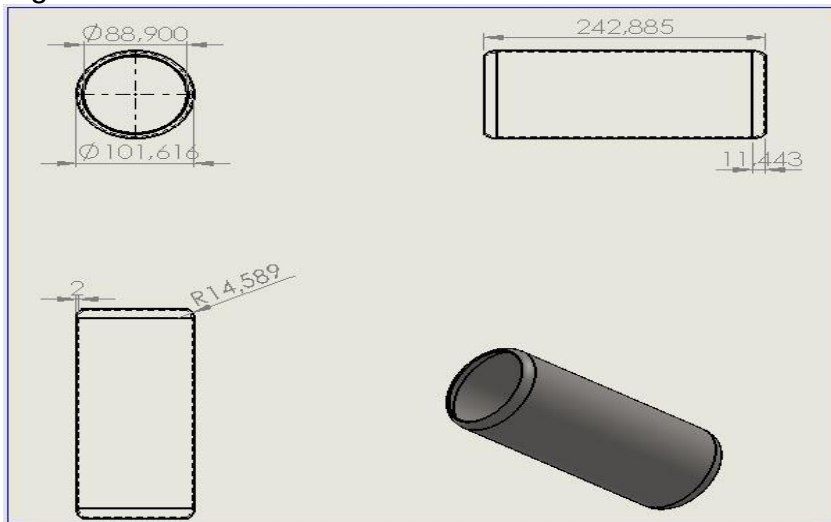
Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a etapa realizada no setor de usinagem o tubo externo com dimensão de 3.1/2" de diâmetro passa por um processo de conformação a frio onde suas extremidades são prensadas para que as mesmas diminuam de diâmetro, assim o tubo externo é montado sobre o tubo interno de 3" com ajuste por interferência.

Processos denominados conformação a frio destinam-se a combinar a extrusão do material objetivando produzir componentes próximos às dimensões finais esperadas, alcançadas através da aplicação de altas pressões e forças (SWIFT, BOOKER, 2014).

A figura 10, apresenta as dimensões do tubo externo do cilindro após passar pelo processo de conformação.

Figura 10 - Dimensões tubo conformado



Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 11 apresenta o processo de conformação realizado na prensa hidráulica, o tubo conformado e a montagem dos dois tubos já sobrepostos.

Figura 11 - Conformação do tubo externo



Fonte: Elaborado pelo autor.

O próximo passo, pós sobreposição dos tubos é o procedimento de realizar pontos de solda fixando um ao outro, com objetivo de que os mesmos não se desloquem durante a operação de soldagem acarretando mudança das dimensões especificadas no projeto. A etapa seguinte é a realização do cordão de solda finalizando a união dos dois tubos.

2.2.2 O cilindro evaporador no sistema de refrigeração

Como já descrito anteriormente o cilindro evaporador tem a função de transformar a calda líquida em sorvete por meio da troca térmica entre produto e gás refrigerante. Após o produto entrar no cilindro começa o processo de troca térmica com o gás refrigerante, já que o mesmo ao passar pela válvula de expansão é rebaixado para uma pressão aproximada de 20 psi, equivalendo no sistema internacional aproximadamente 137,9 kpa, e temperatura de -45°C , dentro do cilindro ficam instaladas as espátulas que funcionam como uma espécie de rosca transportadora, as quais tem a função de raspar as paredes do cilindro, causar uma espécie de turbulência no produto a fim de melhorar a troca térmica e também empurrar a massa de sorvete para frente do cilindro onde fica o sistema extrator.

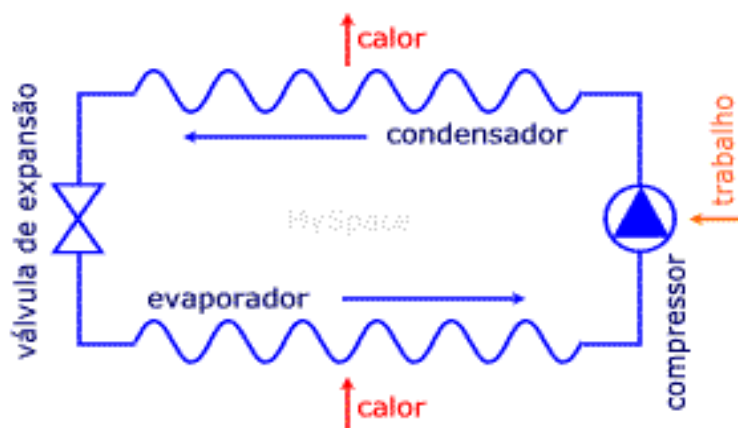
2.2.3 Sistema de refrigeração

No referido equipamento o sistema de refrigeração tem o funcionamento tal como, o compressor comprime o gás aumentando a pressão, então ao passar pelo condensador o fluido muda de fase se tornando líquido, devido a troca de calor com o ar que é forçado através do micro ventilador a passar pela superfície aletada. Ao chegar à válvula de expansão, o fluido que está na fase líquida passa pelo orifício da mesma, o que acarreta numa perda de carga devido ao estrangulamento onde se reduz a pressão, também ocorre a redução da temperatura do fluido já dentro do evaporador, é quando acontece a troca térmica com o produto retirando calor do mesmo e reiniciando o ciclo ao retornar para o compressor.

Geralmente, define-se a refrigeração como qualquer processo de remoção de calor. Mas especificamente, a refrigeração é definida como o ramo da ciência que trata dos processos de redução e conservação da temperatura de um espaço ou material, abaixo da temperatura do ambiente circundante. Para se conseguir isto, o calor deve ser removido do corpo que está sendo refrigerado e transferido para outro corpo, cuja temperatura esteja abaixo da do corpo refrigerado. Uma vez que o calor removido do corpo refrigerado é transferido para outro corpo, é evidente que refrigeração e aquecimento, são na verdade, extremidades opostas do mesmo processo. Muitas vezes somente o resultado desejado distingue um do outro (DOSSAT, 1980, p.159).

A figura 12 representa de forma simplificada o ciclo de refrigeração.

Figura 12 - Ciclo de refrigeração



Fonte: MSPC informações técnicas (2017).

De acordo com Dossat (1980), um fluido refrigerante é “qualquer corpo ou substância que age como um agente refrigerante (térmico), pela absorção de calor de outro corpo ou substância”. O refrigerante utilizado no sistema do referido equipamento é o R-404A.

Segundo a fabricante Chemours o R-404A, é um fluido refrigerante a base de hidrofluorcarboneto (HFC), fluido que não degrada a camada de ozônio. É indicado para equipamentos que possuem baixa temperatura de evaporação.

2.3 MECANISMO PARA TRANSMISSÃO DE MOVIMENTOS

Segundo Norton (2010), uma explicação conveniente para mecanismo é de que se trata de um conjunto de elementos unidos e dispostos a transmitir movimentos de maneira preestabelecida. Mecanismos quando exigidos por baixas

cargas e velocidades podem ser tratados como dispositivos cinemáticos, ou seja, as forças podem ser desprezadas.

No estudo de mecanismos é necessário investigar o método pelo qual o movimento pode ser transmitido de um membro para outro. Pode-se transmitir movimento de três maneiras: (a) contato direto entre dois corpos tal como entre um excêntrico e um seguidor ou entre duas engrenagens, (b) através de um elemento intermediário ou uma biela e (c) por uma ligação flexível, como uma correia ou uma corrente (MABIE, OCVIRK, 1980, p.10).

2.3.1 Transmissão de movimento por correias

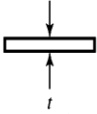
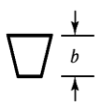
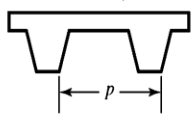
Segundo Cunha (2005), as transmissões por polias e correias estabelecem meios amplamente utilizados, devido a sua multifuncionalidade e baixo custo.

Correias, cordas, correntes e outros similares elásticos ou elementos de máquinas flexíveis são utilizados em sistemas de transporte e na transmissão de potência sobre distâncias comparativamente grandes. Frequentemente se empregam esses elementos como substitutos de engrenagens, eixos, mancais ou outros dispositivos relativamente rígidos de transmissão de potência. Em muitos casos, seu uso simplifica o desenho de uma máquina e reduz o custo substancialmente.

Além disso, uma vez que esses elementos são elásticos e usualmente bastante compridos, desempenham um papel bastante importante em absorver cargas de choque e em amortecer e isolar os efeitos de vibração. Essa é uma vantagem importante no que concerne à vida de máquinas (BUDYNAS e NISBETT, 2011, p.886).

Segundo Budynas e Nisbett (2011), existem quatro tipos principais de correias sendo as mesmas, correia plana, redonda, perfil (V) e a correia sincronizadora. A figura 13 exemplifica algumas características dos quatro tipos de correias citadas.

Figura 13 - Características de tipos de correias

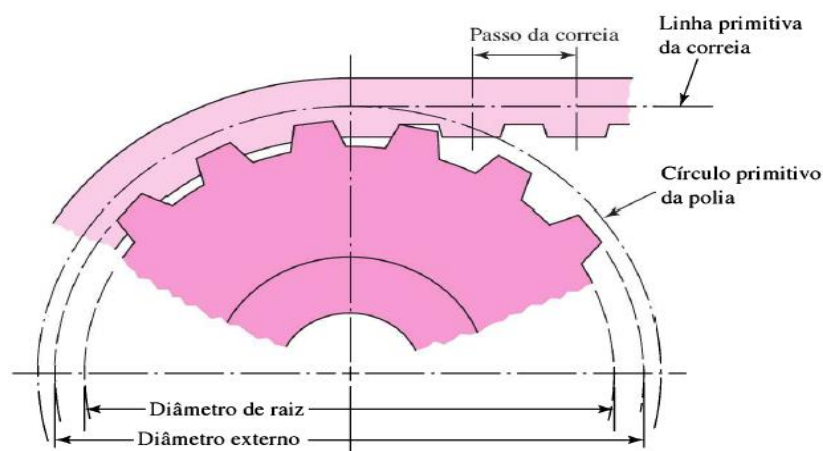
Tipo de correia	Figura	Junta	Intervalo de tamanho	Distância entre centros
Plana		Sim	$t = 0,75 \text{ mm a } 5 \text{ mm}$	Sem limite superior
Redonda		Sim	$d = 10 \text{ mm a } 20 \text{ mm}$	Sem limite superior
V		Nenhuma	$b = 8 \text{ mm a } 9 \text{ mm}$	Limitada
Sincronizadora		Nenhuma	$p = 2 \text{ mm}$	Limitada

Fonte: Elementos de máquinas de Shigley (2011).

Para a transmissão de potência e movimento de uma árvore à outra, as correias e polias são alguns dos elementos mais utilizados, pois apresentam diversas vantagens como, possuir baixo custo inicial, elevado coeficiente de atrito, alta resistência ao desgaste e funcionamento silencioso, são flexíveis, elásticas e adequadas para grandes distâncias entre centros (SILVA, 1996).

A correia sincronizadora acoplada à polia transmite potência e movimento sem deslizamento, a figura 14 exemplifica o conjunto correia/polia.

Figura 14 - Representação correia/polia sincronizadora

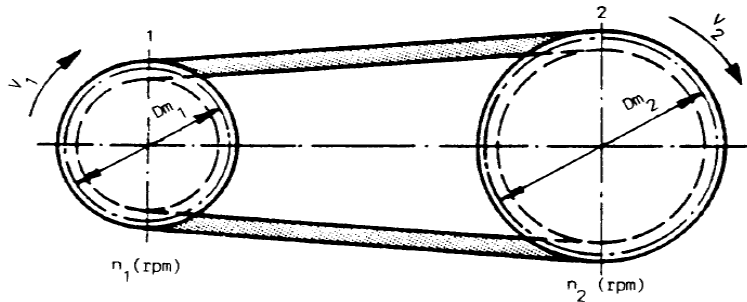


Fonte: elementos de maquinas de Shigley (2011).

Para se alcançar as velocidades desejadas no sistema, já que a velocidade da correia é constante, a relação de transmissão está em função dos diâmetros das

polias ou em função do número de dentes das mesmas no caso de polias sincronizadoras. A figura 15 ilustra um conjunto correia/polias.

Figura 15 - Representação de conjunto correia/polias



Fonte: Noções básicas de elementos de máquinas (1996).

A relação de transmissão pode ser obtida conforme a equação 5.

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

(5)

Onde:

D1 = Diâmetro da polia 1

D2 = Diâmetro da polia 2

i = Relação de transmissão

n1 = Rotação da polia 1

n2 = Rotação da polia 2

Z1 = Número de dentes da polia 1

Z2 = Número de dentes da polia 2

Ainda sobre transmissão de movimentos por correias e polias, pode – se fazer as seguintes relações:

$$V_{p1} = V_{p2}$$

$$\omega_1 \cdot R_1 = \omega_2 \cdot R_2$$

$$2\pi \cdot f_1 \cdot R_1 = 2\pi \cdot f_2 \cdot R_2$$

$$(2\pi * R_1) / T_1 = (2\pi * R_2) / T_2$$

Onde:

V_p = velocidade periférica ou escalar (m/s);

ω = velocidade angular (rad/s);

R = raio (m);

T = período, medida em unidade de tempo (s, min, h, dia, ...);

f = frequência, medida em Hz (ciclos/s, rpm);

π = constante trigonométrica.

Através dessas relações é possível formular a equação (6), a qual permitirá determinar a velocidade periférica de uma circunferência em função de seu raio em determinado período de tempo.

$$V_p = \frac{2\pi * R}{T} \quad (6)$$

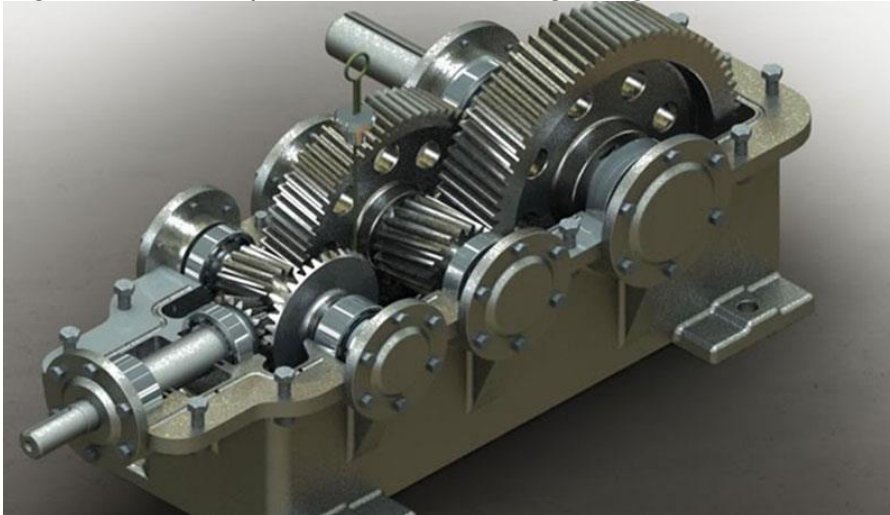
2.3.2 Redutor de velocidade

Segundo a fabricante de redutores Telmac (2018), um redutor de velocidade é “um conjunto de engrenagens que trabalham dentro de uma caixa metálica (carcaça) com objetivo de transmitir potência e mudar a velocidade de rotação em equipamentos industriais”. Basicamente os redutores de velocidade são divididos em redutor de coroa e rosca sem fim, e o redutor de engrenagem.

De acordo com Collins (2006) um sistema de engrenagens satisfaz critérios como, elevada eficiência e projeto compacto. Pois um sistema de engrenagens permite movimento uniforme, suave, livre de deslizamento a altas rotações, com peso reduzido e sincronismo perfeito. A figura 16 apresenta um exemplo de redutor de engrenagem.

Já engrenamentos de coroa sem fim, caracteriza-se por um sem-fim de dentes semelhantes aos filetes de um parafuso de transmissão de potência, engrenados a uma engrenagem helicoidal (coroa) com dentes delineados para envolver os filetes de rosca do parafuso sem fim. A figura 17 ilustra um conjunto de coroa e rosca sem fim.

Figura 16 - Exemplar de redutor de engrenagem



Fonte: Engrenagens Pozelli (2018).

Figura 17 - Exemplar de coroa e rosca sem fim



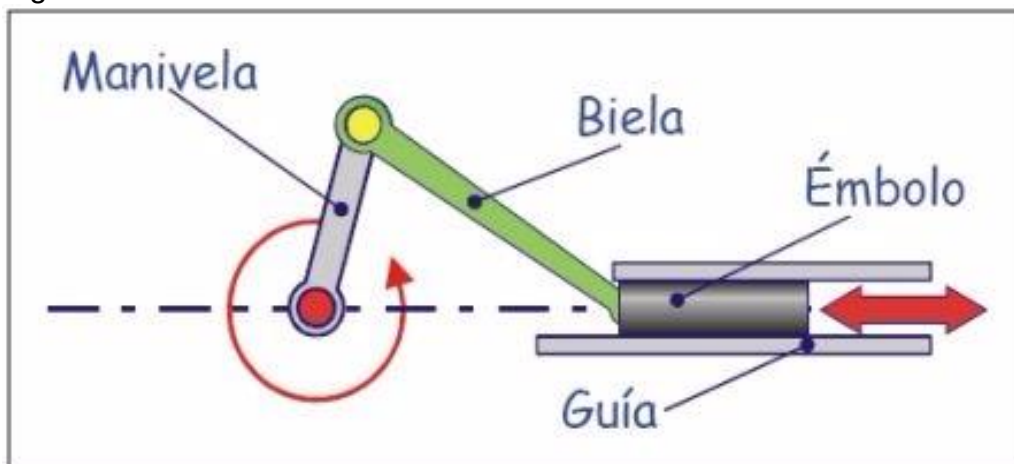
Fonte: Engrenagens Pozelli (2018).

2.3.3 Transformação de movimento de rotação em movimento linear

Para o desenvolvimento do mecanismo que servirá de base e transmitirá movimento para a tocha de solda, será utilizado um sistema biela-manivela, o qual permite a transformação do movimento de rotação em movimento linear.

Segundo Collins (2006), quando o objetivo principal do projeto é “o de conceber um mecanismo que transforme movimento rotativo em movimento linear, ou o inverso, o mecanismo biela-manivela com deslizador é uma escolha frequente”. A figura 18 ilustra o mecanismo, onde a biela faz a ligação entre o embolo e a manivela. Por conseguinte quando a manivela realiza o movimento rotativo, através da biela é empregado o movimento linear no embolo.

Figura 18 - Mecanismo biela-manivela



Fonte: Pinterest (2018).

2.4 AUTOMAÇÃO NO PROCESSO DE SOLDAGEM

Segundo Bracarense, Marques, Modenesi (2009), sistemas automáticos são definidos como, algum sistema ou conjunto mecânico e/ou eletrônico que coordena o próprio funcionamento, minorando a interferência de uma pessoa no processo. Nos processos de soldagem a classificação do tipo de operação empregada é fundamentada nas atividades básicas para realização de uma solda, as quais pode citar-se:

- Abertura e manutenção do arco;
- Alimentação do material de adição;

- Controle do calor cedido e da penetração;
- Deslocamento da tocha ao longo da junta com uma velocidade controlada;
- Procura e seguimento da junta;
- Direcionamento da tocha e do arco;
- Mudanças e compensações para variações na preparação ao longo da junta.

Para a classificação da operação do processo de soldagem ser determinada como manual ou automatizada as funções acima citadas devem ser totalmente realizadas pelo soldador ou executadas e controladas por uma máquina, a figura 19 apresenta, a classificação dos tipos de operação de soldagem revisada segundo a AWS (*American Welding Society*).

Figura 19 - Tipos de operação de soldagem

Atividades	Tipo de operação			
	Manual	Semimecanizado	Mecanizado	Automático
Abertura e manutenção do arco	Soldador	Máquina	Máquina	Máquina
Alimentação de material	Soldador	Máquina	Máquina	Máquina
Controle do calor e penetração	Soldador	Soldador	Máquina	Máquina
Deslocamento da tocha	Soldador	Soldador	Máquina	Máquina
Procura e seguimento da junta	Soldador	Soldador	Soldador	Máquina
Direcionamento da tocha e do arco	Soldador	Soldador	Soldador	Máquina
Correções e compensações	Soldador	Soldador	Soldador	Máquina (podendo ou não ocorrer)

Fonte: Soldagem fundamentos e tecnologia (2011).

O termo automático indica que todas as funções ou passos de uma operação são executados, em sequência, por meios mecânicos e/ou eletrônicos, sem qualquer ajuste feito pelo soldador, exceto uma eventual programação do equipamento. A automação também pode ser parcial, com certas funções ou passos executados pelo soldador. Dizer que um processo é semiautomatizado é dizer que algo está faltando para que o mesmo se torne automatizado. Assim, embora muito usado, o termo semiautomático não é muito adequado, sendo mais adequado o termo semimecanizado (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009, p. 128).

De acordo com Brandi (1992) a automação expressa que as operações de um processo de soldagem devam ser automatizadas por sistemas mecânicos, eletromecânicos ou eletrônicos, com o nível de automação dependendo das variáveis e condições do processo de soldagem. Ainda sobre a possibilidade da inserção de sistemas de automação, é apropriado explorar características de cada processo.

Os dispositivos e manipuladores mais comuns usados na indústria são voltados para os processos TIG, MIG/MAG, arame tubular e principalmente arco submerso; o processo com eletrodo revestido é utilizado raramente. Sempre que possível, aconselha-se a executar soldagens na posição plana, pois é a mais favorável no que diz respeito as melhores taxas de posição por kg/h, significando tempos menores de execução.

Os dispositivos têm como funções fixar a peça e promover movimentos que proporcionem ao soldador ou operador a execução do cordão de solda da maneira mais rápida e eficiente possível (TATINI, ZIEDAS, 1997, p. 393).

A figura 20 ilustra uma mesa posicionadora de soldagem e um manipulador para soldagem, dispositivos utilizados na indústria.

Figura 20 - Dispositivos para operação de soldagem



Fonte: Oxipira (2018).

2.5 ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS

Segundo Leite (1977), os ensaios não destrutivos quando realizados em peças semiacabadas e acabadas, não danificam e nem afetam o funcionamento, ou aplicação das mesmas no futuro. Os ensaios não destrutivos compreendem

métodos para a medição e identificação de propriedades, capacidade de performance, de peças e equipamentos de materiais metálicos, através de energias físicas que não prejudicam os mesmos.

Praticamente todas as formas de energia que conhecemos estão sendo aplicadas como “meio de inspeção” dando origem aos diversos métodos. As energias podem ser usadas sob formas diferentes, dando origem a diversas técnicas para cada método de ensaio. As diversas propriedades e descontinuidades dos metais a serem determinadas, motivaram a aplicação de diferentes formas de energia, gerando novos métodos e técnicas. Os ensaios não destrutivos constituem hoje uma especialidade muito importante no ramo dos materiais de engenharia (LEITE, 1977, p. 2.19).

Entre os métodos de ensaios não destrutivos mais utilizados destacam-se:

- Visual;
- Pressão e vazamento;
- Líquidos penetrantes;
- Ultrassons;
- Magnéticos;
- Elétricos;
- Eletromagnéticos;
- Térmicos.

Lembrando que os métodos de ensaios não destrutivos, possuem para cada um deles uma finalidade específica, ou seja, uma área de aplicação.

De acordo com Leite (1977) o teste de estanqueidade, ou ensaio mais simples para se detectar vazamentos é a “técnica da bolha”, onde a peça (recipiente, tubulação, válvula...), é preparada introduzindo-se ar sob pressão no interior da mesma. Então a peça é imersa em um recipiente com água limpa em ambiente com boa iluminação, para que possa observar-se a formação e progressão das bolhas de ar que venham a escapar através das descontinuidades nas partes ou soldas da peça.

Segundo a Norma da Petrobrás N-1593 de outubro de 1996, o ensaio de estanqueidade tem a função única de detectar possíveis vazamentos, não visando a análise de resistência mecânica, deformação e recalques estruturais.

2.5.1 Ensaio não-destrutivo por líquidos penetrantes

Segundo Andreucci (2005), o ensaio não destrutivo por líquidos penetrantes tem como finalidade identificar descontinuidades superficiais, como trincas, poros e dobras. Pode ser utilizado em materiais sólidos e não porosos, ou com superfícies muito grosseiras. Este método de ensaio é muito utilizado em aços inoxidáveis austeníticos.

O ensaio por líquidos penetrantes é um método desenvolvido especialmente para a detecção de descontinuidades essencialmente superficiais, e ainda que estejam abertas na superfície do material. Este método, se iniciou antes da primeira guerra mundial, principalmente pela indústria ferroviária na inspeção de eixos, porém tomou impulso quando em 1942, nos EUA, foi desenvolvido o método de penetrantes fluorescentes. Nesta época, o ensaio foi adotado pelas indústrias aeronáuticas, que trabalhando com ligas não ferrosas, necessitavam um método de detecção de defeitos superficiais diferentes do ensaio por partículas magnéticas (não aplicável a materiais não magnéticos). A partir da segunda guerra mundial, o método foi se desenvolvendo, através da pesquisa e o aprimoramento de novos produtos utilizados no ensaio, até seu estágio atual (ANDREUCCI, 2005, p. 4).

A Norma N-1593 da Petrobrás de novembro de 2003 contem requisitos técnicos e práticas recomendadas para a realização de ensaio não-destrutivo por líquidos penetrantes e através do item 4.1 apresenta o procedimento de inspeção:

4.1 Procedimento de Inspeção

4.1.1. Devem constar no procedimento, no mínimo, as seguintes informações:

- a) objetivo;
- b) normas de referência;
- c) tipo, forma e processo de fabricação do material a ser ensaiado (exemplo: alumínio fundido, aço-carbono forjado, solda de aço-carbono, flange);
- d) materiais penetrantes: o fabricante, a marca, a referência comercial de cada produto, bem como o tipo de acondicionamento de cada um e a família dos materiais penetrantes;
- e) método de preparação da superfície;
- f) modo e tempo de secagem na limpeza prévia da superfície;
- g) modo de aplicação do líquido penetrante e tempo de penetração;

- h) a faixa de temperatura permissível para a superfície em ensaio e para o líquido penetrante;
- i) modo de remoção do excesso de líquido penetrante;
- j) modo e tempo de secagem, antes da aplicação do revelador;
- k) modo e tempo máximo para aplicação do revelador;
- l) requisitos adicionais;
- m) aplicação da limpeza final;
- n) sistemática de registro de resultados (identificação da superfície ensaiada e localização das indicações);
- o) requisitos de segurança e ambientais conforme esta Norma;
- p) relatório de registro de resultados.

Pode-se descrever o ensaio em etapas que são a preparação e limpeza da superfície, aplicação do penetrante, tempo de penetração, remoção do excesso de penetrante, revelação, tempo de revelação, inspeção, avaliação dos resultados e limpeza final pós-ensaio (TATINI, ZIEDAS, 1997, p. 479).

Quando da limpeza da superfície a ser ensaiada é necessário observar o tempo para a secagem da mesma conforme o método utilizado, a aplicação do penetrante consiste em depositar o líquido na parte a ser ensaiada de forma que o filme penetre nas discontinuidades respeitando o tempo para que a penetração ocorra. A forma e tempo de remoção do excesso depende do tipo de penetrante.

A revelação consiste na aplicação de um filme de revelador sobre a peça, o mesmo age absorvendo o líquido penetrante revelando as discontinuidades, também é necessário se observar o tempo recomendado para o êxito do ensaio. Manchas criadas no revelador indicam discontinuidades na superfície ensaiada, as indicações de discontinuidades podem ser classificadas como, falsas, não relevantes, verdadeiras e de fabricação.

Após o registro dos resultados observados, a peça passa por um processo de limpeza para que resíduos de produtos não influenciem etapas posteriores de trabalho na peça (ANDREUCCI, 2005).

3 METODOLOGIA

A metodologia empregada no desenvolvimento deste trabalho baseou-se primeiramente na realização de um levantamento de referenciais teóricos publicados. Após essa etapa que permitiu adquirir o conhecimento para o assunto pesquisado, as próximas etapas serão assim divididas:

- Acompanhamento da operação de soldagem utilizada;
- Desenvolvimento e fabricação do dispositivo de soldagem;
- Operação de soldagem utilizando o dispositivo em questão;
- Execução de ensaio não-destrutivo, para avaliar o emprego do dispositivo na operação de soldagem.

3.1 OPERAÇÃO MANUAL DE SOLDAGEM

O problema constatado no cilindro evaporador é a existência de vazamento de fluido refrigerante devido a ocorrência de falhas no cordão de solda durante o processo de fabricação, o que se resume em despesas para empresa, quando a falha é identificada durante a produção é necessário um reprocesso aumentando o custo de fabricação. Por outro lado, existe também a possibilidade de o problema ser identificado somente após o produto final estar pronto, ou até mesmo quando o equipamento já foi entregue e está sendo utilizado pelo cliente.

A operação de soldagem realizada atualmente na fabricação do cilindro evaporador utiliza o processo TIG e é totalmente manual, cabendo ao soldador toda a responsabilidade sobre a produtividade e qualidade do cordão de solda.

Durante o desenvolvimento deste trabalho foi possível acompanhar dois profissionais que realizam a operação manual de soldagem de maneiras distintas. No caso do primeiro soldador, observou-se que o mesmo realiza a operação de soldagem com o cilindro posicionado na posição horizontal, foram tomadas informações como parâmetros de soldagem, consumíveis e equipamentos utilizados, como segue:

- Máquina de solda Sumig WSE-200;

- Corrente elétrica utilizada, 90 Amperes;
- Gás de proteção utilizado, Argônio vazão de 9 (l/min);
- Eletrodo de Tungstênio, EWTh-2 de 2,4mm;
- Material de adição, vareta ER-304 de 2mm.

Durante o período em que foi acompanhado o processo e operação de soldagem atual, foi realizado um levantamento junto ao departamento financeiro da empresa buscando informações sobre custos, tais como, custo/hora do soldador, custo/m³ de argônio, custo/kg do material de adição. Lembra-se, que os valores informados são referentes aos meses de abril e maio de 2018.

O tempo total de realização da operação de soldagem foi de 5,12 minutos por cordão de solda, ressaltando que na fabricação do cilindro evaporador são realizados dois cordões de solda. O processo de operação de soldagem realizado pelo primeiro soldador, é ilustrado pela figura 21.

Figura 21 - Operação manual realizada pelo primeiro soldador



Fonte: Elaborado pelo autor.

O fato da operação de soldagem ser totalmente manual faz com que na expectativa de se realizar um cordão de solda que não apresente falhas e posterior problema, o operador ou soldador realize dois passes no cordão de solda, sendo o primeiro com deposição de material de adição e um segundo passe somente fundindo o material já deposto, uma vez que o soldador necessita parar durante a

execução do cordão para girar o cilindro, no caso acompanhado realizou-se cinco paradas, esse procedimento faz com que o processo de soldagem seja muito demorado aumentando o custo de produção.

No caso de um segundo soldador foi possível verificar que o mesmo utiliza uma prática diferente, onde a operação de soldagem é realizada com o cilindro na posição vertical. A figura 22 apresenta a realização do cordão de solda pelo segundo soldador.

Figura 22 - Operação manual realizada pelo segundo soldador



Fonte: Elaborado pelo autor

As informações como, parâmetros de soldagem, equipamentos e materiais utilizados são os mesmos utilizados pelo primeiro soldador e foram descritos anteriormente.

Como a forma de realizar a operação de soldagem do segundo soldador é com o cilindro na posição vertical, observou-se que o cordão de solda é executado de maneira mais rápida, pois é necessário somente uma parada durante a execução do cordão soldado. Portanto, o tempo da operação de soldagem foi de 3,47 minutos, consideravelmente menor que no caso do primeiro soldador.

A figura 23 ilustra cordões de solda realizados com operação manual do processo de soldagem, realizados por profissionais qualificados e com vários anos de experiência.

Figura 23 - Cordão de solda realizado por soldador experiente



Fonte: Elaborado pelo autor.

Normalmente empresas de médio e pequeno porte não possuem profissionais ou técnicos específicos para a área de soldagem, ficando assim toda a responsabilidade do processo de soldagem confiada a seus soldadores, essas empresas também não fazem nenhum plano de soldagem e nem têm procedimentos de fabricação (CARVALHO, 1999).

Quando não há disponibilidade de um profissional mais qualificado o resultado final do cordão de solda normalmente é de qualidade inferior como ilustra a figura 24.

Figura 24 - Cordão de solda realizado por soldador menos experiente



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda durante o processo de fabricação é realizado um teste de estanqueidade no cilindro, onde nitrogênio sob pressão é acondicionado no mesmo para possível visualização da existência de vazamentos na extensão do cordão de solda, o cilindro é imerso em um reservatório com água para verificar se acontece a formação de bolhas de nitrogênio caso a solda apresente falhas.

A figura 25 ilustra a ocorrência de vazamento no cordão de solda quando o cilindro foi submetido ao teste de estanqueidade sendo imerso em um reservatório com água.

Figura 25 - Vazamento detectado ainda no processo de fabricação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando o vazamento é detectado ainda durante o processo de fabricação, é possível a correção do problema de forma rápida e sem muita elevação do custo de produção, porém ocorrem casos mais críticos.

A figura 26 ilustra a identificação de vazamento no cilindro evaporador de um equipamento que já estava com o cliente e teve que retornar para fábrica afim de solucionar o problema, sendo submetido novamente ao processo de soldagem. O que ocasiona transtorno e custos para a empresa.

Figura 26 - Vazamento detectado em equipamento pronto



Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, afim de minimizar ou até eliminar a ocorrência desses problemas, observou-se a possibilidade de implantação de outra forma de operação de soldagem, através da utilização de um dispositivo para executar o cordão de solda de forma semiautomatizada.

3.2 DESENVOLVIMENTO E FABRICAÇÃO DO DISPOSITIVO

O dispositivo para operação de soldagem é composto por dois conjuntos principais, o primeiro é configurado como uma base que serve de suporte para o cilindro evaporador, já o segundo tem a função de suporte para a tocha do processo de soldagem TIG.

3.2.1 Mecanismo suporte para transmitir rotação ao cilindro evaporador

O conjunto suporte para o cilindro executará a função de transmitir movimento de rotação ao mesmo, permitindo assim a operação de soldagem por toda circunferência dos tubos, ou seja, a execução do cordão de solda. O movimento de rotação será realizado por meio de um motor de corrente contínua,

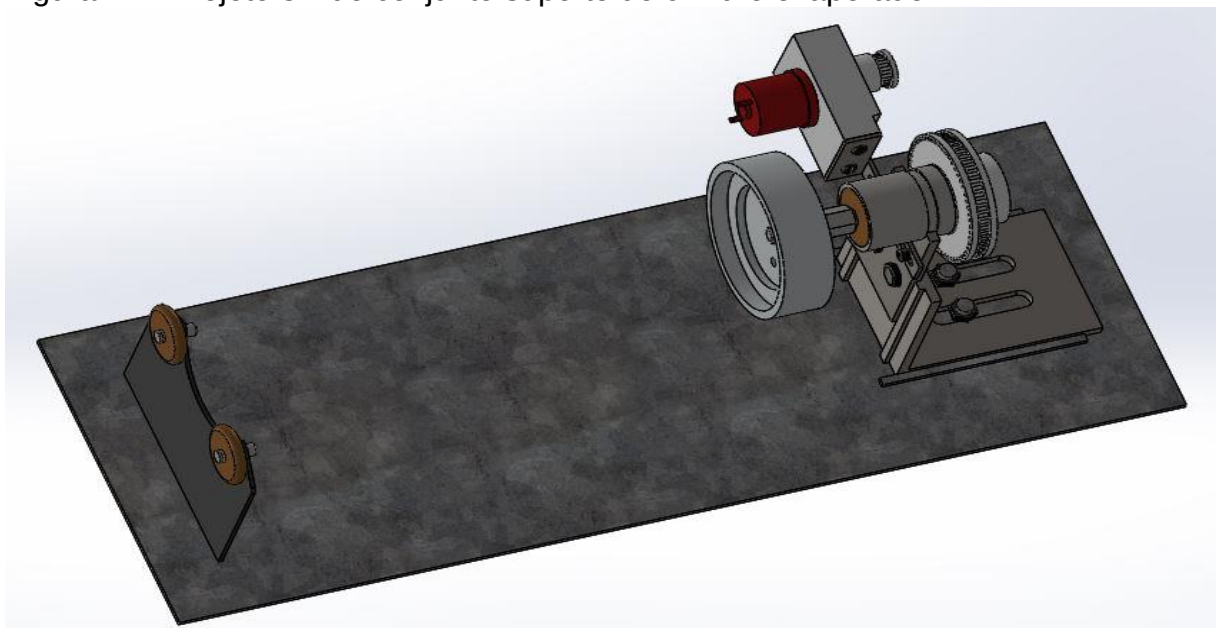
onde através de um sistema de polias e correia sincronizadora transmitirá o movimento ao cilindro. Esse sistema eliminará as paradas no momento de execução do cordão de solda, permitindo assim um cordão mais uniforme, onde o mesmo será realizado em velocidade constante.

Com base nas recomendações da tabela 3, onde são apresentados alguns parâmetros de soldagem de aço inoxidável pelo processo TIG, foi possível desenvolver o conjunto de transmissão de movimento. Conforme parâmetros recomendados para as características da operação como, espessura do material a ser soldado e eletrodo de tungstênio utilizado, observou-se a velocidade indicada entre 25 e 30 cm/min. Outra variável do sistema é o raio do tubo no qual o cilindro evaporador é fabricado, o qual tem a dimensão de 4,445 cm, assim arbitrando o tempo de 1 minuto para a revolução total do tubo e utilizando a equação (6), pode – se verificar a velocidade periférica durante a execução do cordão de solda.

A velocidade verificada foi de aproximadamente 27,93 cm/min, a qual está dentro do intervalo recomendado.

Como o motor utilizado tem uma frequência de 4 rpm, foi necessário desenvolver o conjunto de polias sincronizadoras (motora e movida) utilizando – se de uma relação de transmissão igual a 4 conforme equação (1), onde a polia motora foi confeccionada com 14 dentes e a polia movida com 56 dentes. A figura 27 apresenta o modelamento 3D do conjunto suporte.

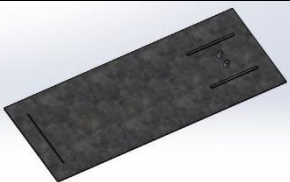
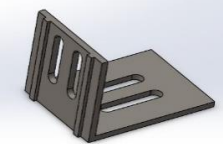
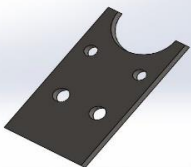
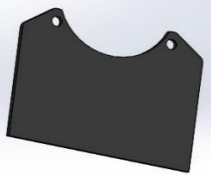
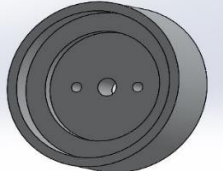
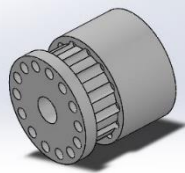
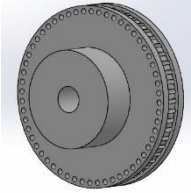
Figura 27 - Projeto 3D do conjunto suporte do cilindro evaporador

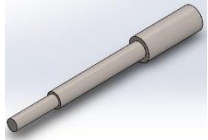
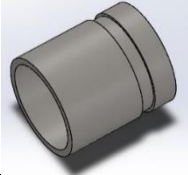
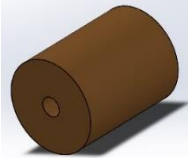
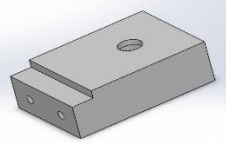
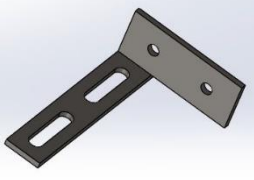
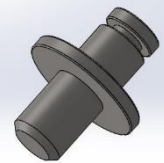
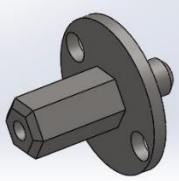
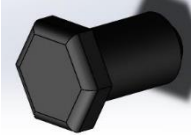
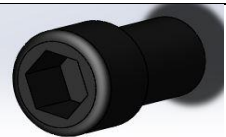


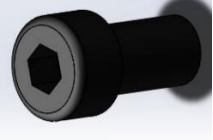
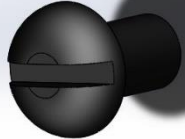
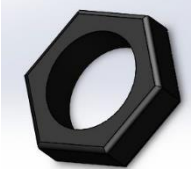
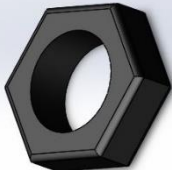
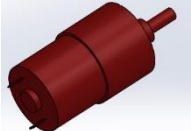
Fonte: Elaborado pelo autor.

O dispositivo suporte para o cilindro evaporador foi construído utilizando-se de processos de fabricação de usinagem, conformação e processo de soldagem, a tabela 5 apresenta os materiais utilizados para fabricação e o modelamento 3D das respectivas peças.

Tabela 5 – Material utilizado na fabricação do suporte do cilindro

UNIDADES	PEÇA	MATERIAL	MODELO 3D
01	Base Cilindro	Chapa Aço Carbono: 3mm x 600mm x 210mm	
01	Base Móvel Horizontal	Chapa Aço Carbono: 6mm x 210mm x 88mm	
01	Base Móvel Vertical	Chapa Aço Carbono: 6mm x 102mm x 55mm	
01	Base Roldana de Bronze	Chapa Aço Carbono: 2,5mm x 140mm x 107mm	
01	Mancal Fixação do Cilindro	Barra Redonda de Alumínio: 101mm x 30mm	
01	Polia Motora	Barra Redonda de PEAD: 25mm x 25mm	
01	Polia Movida	Barra Redonda de PEAD: 80mm x 32mm	
01	Correia Sincronizadora	Correia Modelo 150 XL	

01	Eixo Polia Movid	Barra Redonda Aço Inox: 12,7mm x 110mm	
01	Mancal Polia Movid	Barra Redonda Aço Carbono: 44mm x 50mm	
01	Mancal Deslizamento	Barra Redonda Bronze: 38mm x 50 mm	
01	Base do Motor	Barra Quadrada PEAD: 27mm x 77mm x 51mm	
01	Suporte Base do Motor	Chapa Aço Carbono: 2,5 mm x 51mm x 100mm	
02	Roldanas de Bronze	Barra Redonda Bronze: 25mm x 7mm	
02	Pino Roldana de Bronze	Barra Redonda Aço Inox: 12,7mm x 20mm	
01	Suporte Mancal de Alumínio	Barra Redonda Aço Inox: 47mm x 51mm	
02	Parafuso M10	Aço Carbono	
02	Parafuso M8	Aço Carbono	

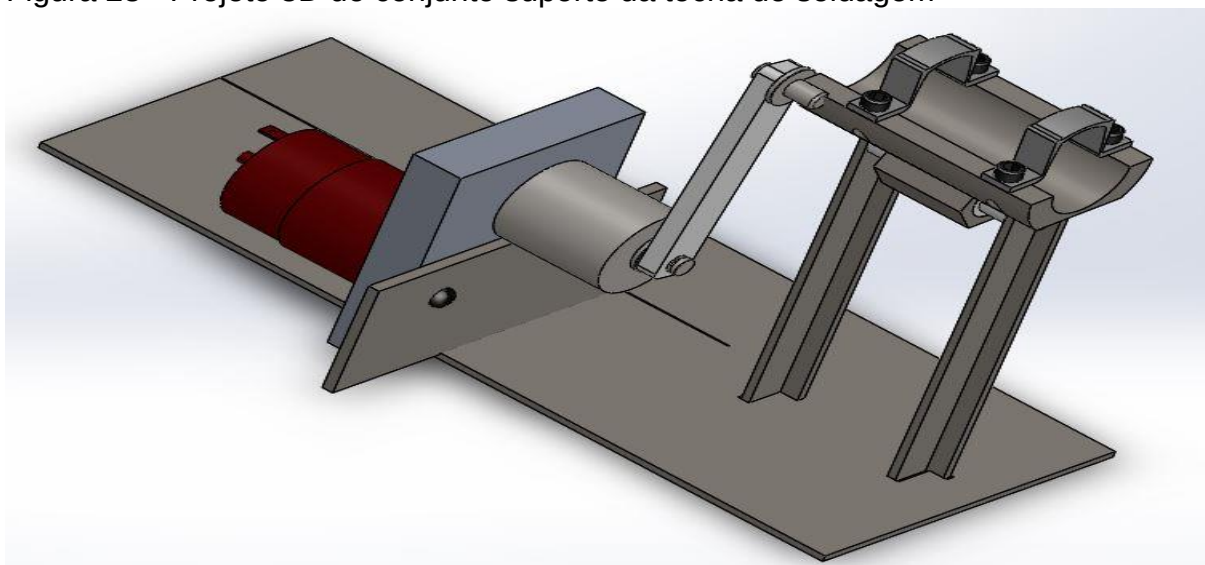
02	Parafuso M6	Aço Carbono	
02	Parafuso M4	Aço Carbono	
02	Porca M10	Aço Carbono	
02	Porca M8	Aço Carbono	
01	Micromotor Corrente Contínua	Modelo: TKF37 JPG3429 4 RPM	

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2 Mecanismo para movimentação da tocha

O conjunto para suporte da tocha utilizado no processo de soldagem TIG trata-se de um mecanismo que terá a função de transmitir à mesma, um movimento linear, o qual permitirá a movimentação do arco elétrico ampliando a dimensão e mantendo a uniformidade do cordão de solda, o movimento de rotação realizado por um microredutor será transformado em movimento linear por meio de um sistema biela-manivela, o qual permitirá a ampliação de alcance do arco elétrico e uniformidade do cordão de solda. A figura 28 ilustra o projeto 3D do conjunto.

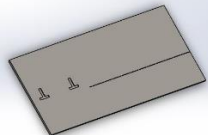
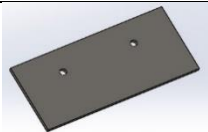
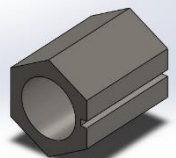
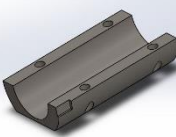
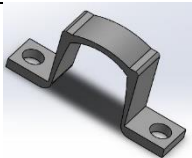
Figura 28 - Projeto 3D do conjunto suporte da tocha de soldagem

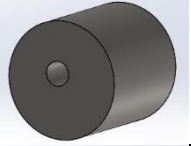
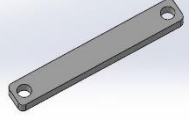
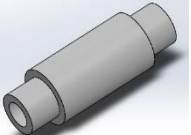
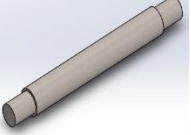
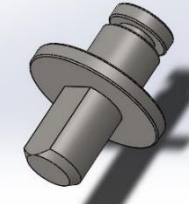
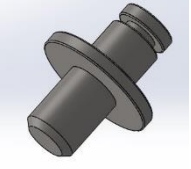
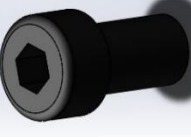
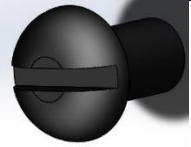
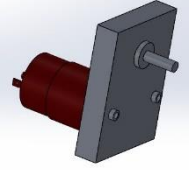


Fonte: Elaborado pelo autor.

O suporte para movimentação da tocha utilizada na operação de soldagem também foi construído utilizando processos de fabricação já citados neste trabalho, a tabela 6 apresenta os componentes e os respectivos materiais utilizados na fabricação.

Tabela 6 - Material utilizado na fabricação do suporte da tocha

UNIDADES	PEÇA	MATERIAL	MODELO 3D
01	Base Principal Suporte da Tocha	Chapa Aço Carbono: 3mm x 300mm x 121mm	
01	Suporte Microredutor	Chapa Aço Carbono: 4mm x 120mm x 55mm	
01	Base Mancal de Deslizamento	Barra Sextavada Aço Carbono: 25,4mm x 33mm	
01	Base Suporte da Tocha	Barra Chata Aço Carbono: 19mm x 89mm x 50mm	
02	Braçadeira Fixação da Tocha	Barra Chata Aço Carbono: 11mm x 50mm x 22mm	

02	Suporte em T	Perfil T Aço Carbono: 16mm x 3mm x 150mm	
01	Rotor Excêntrico	Barra Redonda Aço Inox: 38mm x 40mm	
01	Braço Movimentador	Barra Chata PEAD: 5mm x 104mm x 15mm	
01	Mancal de Deslizamento	Barra Redonda PEAD: 19mm x 53mm	
01	Eixo Base de Movimento	Barra Redonda Aço Inox: 8mm x 70mm	
01	Pino Movimentador	Barra Redonda Aço Inox: 12,7mm x 20mm	
01	Pino Rotor Excêntrico	Barra Redonda Aço Inox: 12,7mm x 20mm	
02	Parafuso M6	Aço Carbono	
02	Parafuso M4	Aço Carbono	
01	Microreductor	Modelo R-VDC 107-KR2 24v - 55RPM	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após o projeto desenvolvido e as peças fabricadas foi possível a montagem do dispositivo composto por dois conjuntos, o conjunto suporte do cilindro e o conjunto suporte da tocha. As figuras 29 e 30 apresentam respectivamente os dois conjuntos.

Figura 29 - Conjunto suporte do cilindro



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 30 - Conjunto suporte da tocha



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 UTILIZAÇÃO DO DISPOSITIVO DE SOLDAGEM

Após os conjuntos montados foi possível a realização de testes utilizando-os na operação de soldagem, foram utilizados nos testes 4 cilindros já preparados para

o procedimento. A figura 31 ilustra os tubos sobrepostos prontos para receber o cordão de solda.

Figura 31 - Tubos preparados para operação de soldagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

A próxima etapa foi posicionar o cilindro no suporte responsável por realizar o movimento de rotação no mesmo e também posicionar a tocha de soldagem de modo que fosse ajustado a distância correta do eletrodo de tungstênio em relação ao material a ser soldado. Após os devidos ajustes e posicionamentos foi realizado o cordão de solda, onde os conjuntos suportes foram responsáveis pelos movimentos executados, ficando sob a responsabilidade do soldador somente a deposição do material de adição. A figura 32 apresenta os devidos posicionamentos e a operação de soldagem sendo realizada.

Figura 32 - Operação de soldagem utilizando o dispositivo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para realização da operação de soldagem com o auxílio do dispositivo foram utilizados equipamentos e materiais já descritos anteriormente na realização da operação manual de soldagem.

Os testes foram realizados aplicando-se os parâmetros recomendados conforme tabela 3, e como já apresentado neste trabalho, com o projeto do conjunto de transmissão permitindo a velocidade de soldagem recomendada, o cordão de solda por toda a circunferência do tubo foi realizado em aproximadamente 1 minuto.

3.4 ENSAIO NÃO-DESTRUTIVO DO CORDÃO DE SOLDA

O ensaio realizado nos cilindros soldados com o dispositivo, desenvolvido pelo presente trabalho, se trata do ensaio por líquido penetrante o qual tem como princípio básico fazer penetrar um líquido na abertura da descontinuidade, caso a mesma ocorra, após um tempo determinado remove-se o excesso de líquido e aplica-se o revelador, o qual apresenta a imagem da descontinuidade se a mesma estiver presente no cordão de solda.

O primeiro passo para realização do ensaio é a preparação das peças, onde a principal questão a ser observada é a perfeita limpeza das mesmas para garantir a efetividade do processo. A figura 33 apresenta os cilindros preparados para realização do ensaio.

Figura 33 - Cilindros preparados para realização do ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os líquidos utilizados na realização dos testes foram:

- Penetrante PCG 53, Carbografite;
- Revelador DCG S2, Carbografite.

Os produtos atendem as normas da Petrobrás, N-1596 / N-2370, a figura 34 apresenta os produtos utilizados.

Figura 34 - Produtos utilizados no ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 35 ilustra os cilindros já com a aplicação do líquido penetrante.

Figura 35 - Cilindros com aplicação do líquido penetrante



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após o tempo determinado pelo fabricante foi realizada a remoção do excesso de penetrante, a figura 36 apresenta os cilindros com excesso do penetrante removido.

Figura 36 - Cilindros com excesso de penetrante removido



Fonte: Elaborado pelo autor.

Também observando as orientações do fabricante foi aplicado o revelador, conforme ilustra a figura 37.

Figura 37 - Cilindros após aplicação do revelador



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a verificação dos resultados os cilindros passaram por uma limpeza para remoção total dos produtos e finalização do ensaio. Finalizado o ensaio por líquido penetrante os cilindros passaram pelas últimas etapas do processo de fabricação, as quais não são objetivos desse trabalho.

Depois de finalizada a fabricação dos cilindros, os mesmos também foram submetidos a um teste de estanqueidade, onde foram pressurizados com nitrogênio a uma determinada pressão e submersos em um reservatório com água, afim de observar possíveis vazamentos. A figura 38 ilustra o procedimento.

Figura 38 - Teste de estanqueidade



Fonte: Elaborado pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após levantamento do referencial teórico e o desenvolvimento da metodologia, foi possível o levantamento de dados, os quais permitem a análise de resultados com relação à utilização do dispositivo de soldagem.

4.1 OPERAÇÃO SEMIAUTOMÁTICA X OPERAÇÃO MANUAL DE SOLDAGEM

Durante acompanhamento da operação manual de soldagem foi possível observar a prática utilizada por dois soldadores qualificados, e assim levantar os tempos necessários para realização do cordão de solda. Para efeito de comparação entre a operação semiautomática e a operação manual de soldagem será utilizado o tempo de 3,47 minutos por cordão de solda, sendo este o menor entre os dois tempos levantados.

Durante o desenvolvimento da metodologia, os principais custos envolvidos no processo de soldagem foram levantados junto ao departamento financeiro da empresa, como segue:

- Custo/hora de soldador experiente:21,80 R\$/h;
- Custo/hora de soldador iniciante:10,18 R\$/h;
- Custo/m³ de Argônio:26,31 R\$/m³;
- Custo/metalo de adição:30,00 R\$/kg.

Observou-se que para realização do cordão de solda foi consumido 8,33 gramas de metal de adição e a vazão do gás de proteção (Argônio), de 9 l/min.

Com base nos dados de custos de soldagem e consumíveis utilizados para execução dos cordões de solda, utilizando as equações já descritas durante o desenvolvimento deste trabalho foi possível a comparação entre a operação manual e operação semiautomática de soldagem.

Alimentando uma planilha eletrônica com os dados levantados, permite-se uma comparação detalhada dos custos do processo de soldagem. A tabela 7 apresenta os resultados alcançados, fazendo-se a comparação entre as duas formas de operação de soldagem, quando realizadas por um profissional experiente.

Tabela 7 – Soldador experiente (operação semiautomática x manual)

CUSTO OPERAÇÃO DE SOLDAGEM			
VALORES APROXIMADOS		VALORES APROXIMADOS	
SOLDADOR/HORA	R\$ 21,80	SOLDADOR/HORA	R\$ 21,80
METAL DE ADIÇÃO/kg	R\$ 30,00	METAL DE ADIÇÃO/kg	R\$ 30,00
GÁS DE PROTEÇÃO/m³	R\$ 26,30	GÁS DE PROTEÇÃO/m³	R\$ 26,30
SOLDADOR EXPERIENTE X SOLDADOR EXPERIENTE			
OPERAÇÃO MECANIZADA		OPERAÇÃO MANUAL	
TEMPO (min)	1	TEMPO (min)	3,47
SOLDADOR	R\$ 0,36	SOLDADOR	R\$ 1,26
METAL DE ADIÇÃO	R\$ 0,25	METAL DE ADIÇÃO	R\$ 0,25
GÁS DE PROTEÇÃO	R\$ 0,004	GÁS DE PROTEÇÃO	R\$ 0,01
CUSTO/UNIDADE	R\$ 1,234	CUSTO/UNIDADE	R\$ 3,05
CUSTO/LOTE 54 UNIDADES	R\$ 66,66	CUSTO/LOTE 54 UNIDADES	R\$ 164,63
DIFERENÇA PERCENTUAL - (OPERAÇÃO MECANIZADA X OPERAÇÃO MANUAL)			
59,5%			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme apresentado, quando da realização da operação de soldagem por um soldador experiente, a diferença percentual aproximada do custo de soldagem, comparando-se a operação manual e a operação semiautomática chega a aproximadamente 59,5%.

Também através de planilha eletrônica, foi realizado a comparação da operação de soldagem semiautomática realizada por um soldador iniciante, com a operação manual realizada por soldador experiente, como apresentado na tabela 8.

Tabela 8 – Operação semiautomática x operação manual

CUSTO OPERAÇÃO DE SOLDAGEM			
VALORES APROXIMADOS		VALORES APROXIMADOS	
SOLDADOR/HORA	R\$ 10,18	SOLDADOR/HORA	R\$ 21,80
METAL DE ADIÇÃO/kg	R\$ 30,00	METAL DE ADIÇÃO/kg	R\$ 30,00
GÁS DE PROTEÇÃO/m³	R\$ 26,30	GÁS DE PROTEÇÃO/m³	R\$ 26,30
SOLDADOR INICIANTE X SOLDADOR EXPERIENTE			
OPERAÇÃO MECANIZADA		OPERAÇÃO MANUAL	
TEMPO (min)	1	TEMPO (min)	3,47
SOLDADOR	R\$ 0,17	SOLDADOR	R\$ 1,26
METAL DE ADIÇÃO	R\$ 0,25	METAL DE ADIÇÃO	R\$ 0,25
GÁS DE PROTEÇÃO	R\$ 0,004	GÁS DE PROTEÇÃO	R\$ 0,01
CUSTO/UNIDADE	R\$ 0,847	CUSTO/UNIDADE	R\$ 3,05
CUSTO/LOTE 54 UNIDADES	R\$ 45,74	CUSTO/LOTE 54 UNIDADES	R\$ 164,63
DIFERENÇA PERCENTUAL - (OPERAÇÃO MECANIZADA X OPERAÇÃO MANUAL)			
72,2%			

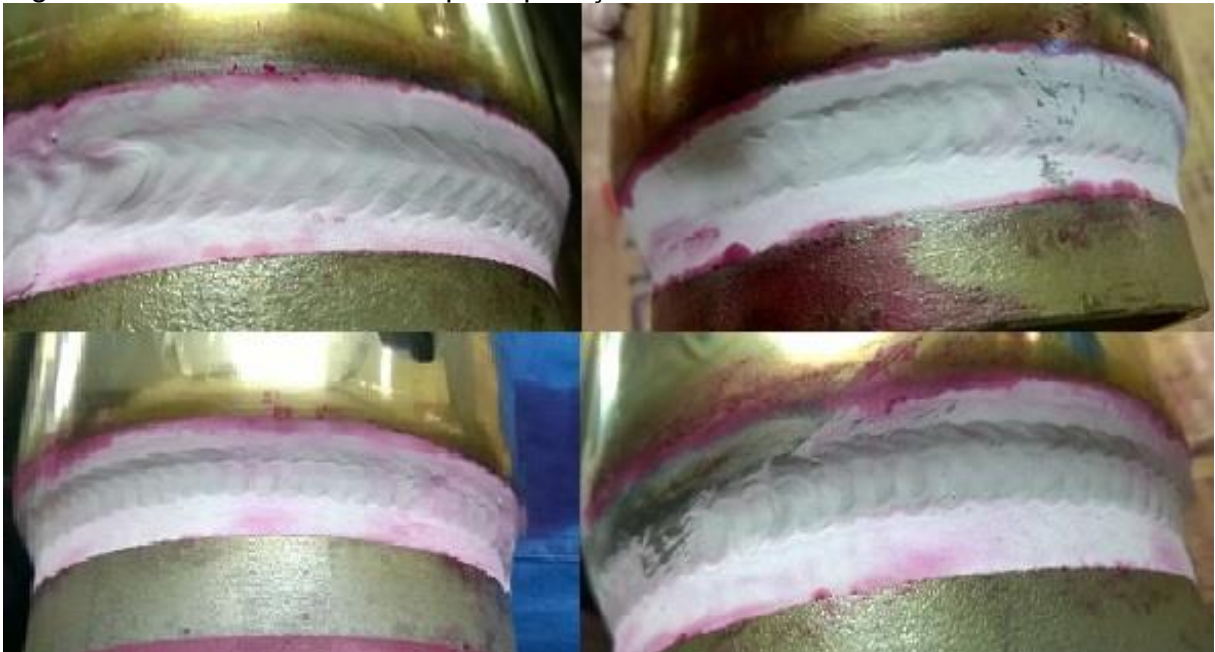
Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme apresentado, os resultados alcançados com relação ao custo de soldagem, a diferença entre realizar a operação de forma manual por soldador experiente e forma semiautomática por soldador iniciante, alcança aproximadamente 72,2%.

4.1.1 Resultado de ensaio não-destrutivo

O ensaio não-destrutivo realizado por líquido penetrante permitiu observar a qualidade final do cordão de solda, onde não se observou a presença de descontinuidades por toda a extensão dos cordões de solda realizados nos quatro cilindros, os quais foram ensaiados. A figura 39 apresenta de forma detalhada os cordões de solda ainda com o penetrador aplicado em suas superfícies.

Figura 39 - Cordões de solda após aplicação do revelador



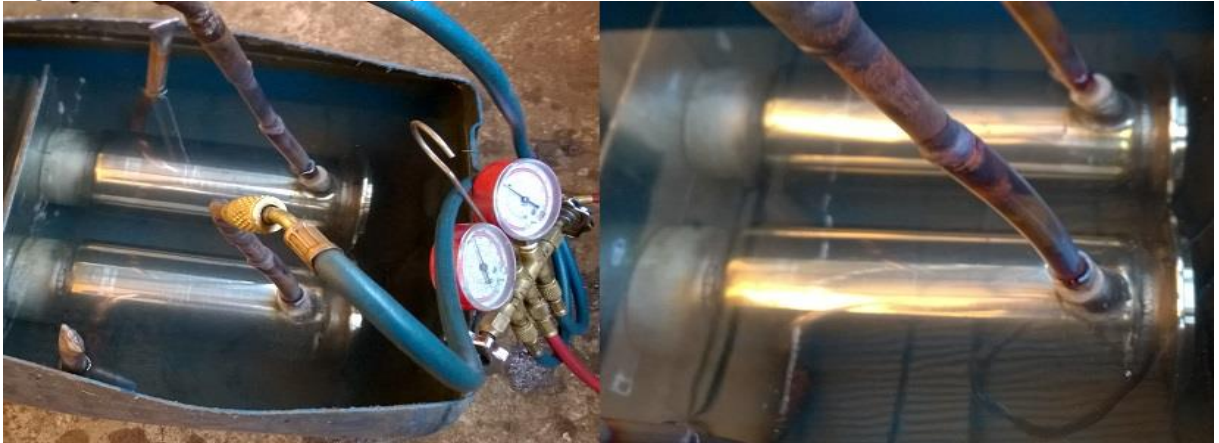
Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme apresentado, os cordões de solda não apresentaram imagens de descontinuidades em suas superfícies.

Após a finalização do processo de fabricação do cilindro, o mesmo foi submetido ao teste de estanqueidade onde passou pelo método da bolha, descrito no desenvolvimento deste trabalho. Os cilindros foram pressurizados com nitrogênio e submersos em um reservatório com água, com objetivo de observar a possível ocorrência de formação de bolhas de nitrogênio, no caso da existência de falhas no cordão de solda.

A figura 40 ilustra a realização do teste, onde conforme a mesma, é possível observar que não ocorreu a formação de bolhas comprovando a não existência de descontinuidades ou falhas nos cordões de solda.

Figura 40 - Ensaio de estanqueidade



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2 Uniformidade dos cordões de solda

A operação de soldagem realizada pelo dispositivo permitiu uma uniformidade do cordão de solda, devido a velocidade e movimento linear constante da tocha de solda. Assim como a rotação do cilindro também em velocidade constante e a possibilidade de não necessitar paradas durante a execução do cordão, fazendo com que apenas uma emenda aconteça em toda extensão do cordão soldado.

A figura 41 apresenta algumas imagens dos cordões realizados com o dispositivo de soldagem.

Figura 41 - Uniformidade dos cordões de solda



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um dispositivo para semiautomatizar a operação de soldagem do cilindro evaporador utilizado em máquinas de sorvete *soft* e *milk shake*. As conclusões apresentadas na avaliação deste trabalho estão condicionadas ao desenvolvimento do mesmo, sendo um reflexo dos resultados dele obtidos.

A pesquisa de referenciais teóricos permitiu acesso ao conhecimento necessário para o desenvolvimento do trabalho.

Com o acompanhamento do processo de fabricação do cilindro evaporador, principalmente quando do processo de soldagem do mesmo, foi possível compreender a dinâmica da operação de soldagem o que permitiu a idealização do projeto e forma de funcionamento do dispositivo. A fabricação do dispositivo propiciou contato com alguns processos de fabricação o que foi de grande valia para aliar o conhecimento teórico com a prática.

Os cordões de solda realizados com o dispositivo após passarem por avaliações visuais e por ensaios não-destrutivos, não apresentaram indícios de falhas ou descontinuidades. Também se observou uma uniformidade dos cordões de solda, com qualidade superior ao processo de execução da soldagem por operação manual.

Com relação a produtividade, a soldagem com o dispositivo se mostrou consideravelmente mais rápida, onde, se levando em consideração o custo em função do tempo e experiência do soldador a diferença entre a operação manual e operação por meio do dispositivo chegou à aproximadamente 72%.

A utilização do dispositivo para realizar a operação de soldagem, permite que a operação possa ser realizada por um soldador sem grande habilidade ou experiência, já que, após os devidos posicionamentos da tocha de solda com a superfície a ser soldada a função do soldador será somente a de depositar o metal de adição. Pois, o direcionamento da tocha e do arco com velocidade determinada ao longo da superfície a ser soldada, é de responsabilidade do dispositivo.

Portanto, conclui-se a maior eficiência da operação de soldagem quando realizada com o dispositivo desenvolvido no presente trabalho, tanto na qualidade final do cordão de solda, como na maior produtividade e consequente redução de custos na fabricação do cilindro evaporador.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

O dispositivo desenvolvido tem a função de promover a rotação do cilindro e movimento da tocha de soldagem, porém, ainda fica sob responsabilidade do soldador fazer a deposição do metal de adição quando da execução do cordão de solda.

Portanto, existe ainda a possibilidade de se otimizar o funcionamento do dispositivo com o desenvolvimento de um sistema para executar a deposição do material de adição, afim de retirar do soldador a referida função.

Outra maneira de atribuir ao dispositivo a função de deposição do metal de adição, é adaptar ao mesmo um sistema já existente que realize tal função.

Esses sistemas já são utilizados em outros processos de soldagem como MIG/MAG e arco submerso.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABINOX, **Alimentos e Bebidas.** Disponível em: <<http://www.abinox.org.br/site/aco-inox-alimentos-e-bebidas.php>> Acesso em: 14 mai. 2018.

ALVES, C. C.; TANIGUTI, J. **Mecânica Projetos e Ensaaios Mecânicos.** São Paulo, SP: Fundação Padre Anchieta, 2011.

AMERICAN WELDING SOCIETY - AWS. **Código de Soldagem Estrutural – Aço.** Tradução de: Structural Welding Code – Steel. 22ªed. 2010.

ANDREUCCI, Ricardo. **Líquidos Penetrantes.** São Paulo, SP: Editora Abendi, 2014.

ANVISA, **Materiais em Contato com Alimentos.** Gerência Geral de Alimentos. 2ª ed. Brasília, DF: Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2017.

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de Máquinas de Shigley.** São Paulo, SP: Editora AMGH, 2011.

CARVALHO, Messias José de. **Orientações Práticas de Soldagem em Aço Inox.** Rio de Janeiro, RJ: Acesita, 1999.

CHEMOURS, **Fluidos Refrigerantes Brasil.** Disponível em: < https://www.chemours.com/Refrigerants/pt_BR/products/suva/suva404a_br.html> Acesso em 11 mai. 2018.

COLLINS, Jack A. **Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas.** Rio de Janeiro, RJ: Editora LTC, 2006.

COMISSÃO DE NORMAS TÉCNICAS PETROBRÁS, **N-1593: Ensaio Não-Destrutivo – Estanqueidade.** 1996.

COMISSÃO DE NORMAS TÉCNICAS PETROBRÁS, **N-1596: Ensaio Não-Destrutivo - Líquido Penetrante.** 2003.

COMISSÃO DE NORMAS TÉCNICAS PETROBRÁS, **N- 2370: Líquido Penetrante.** 2003.

CUNHA, Lamartine Bezerra da. **Elementos de Máquinas.** Rio de Janeiro, RJ: Editora LTC, 2005.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais.** São Paulo, SP: Editora MM, 1999.

ESAB, **Centro de Conhecimento Esab.** Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_tig_gtaw.cfm> Acesso em: 15 mai. 2018.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo, SP: Editora Edgar Blucher, 1970.

LEITE, Paulo Gomes de Paula. **Ensaio Não Destrutivo**. 8º ed. São Paulo, SP: Editora ABM, 1977.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem e Técnicas Conexas: Processos**. Porto Alegre, RS: editado pelo autor, 1996.

Bracarense, A. Q.; MARQUES, P. V.; MONDENESI, P. J. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**. 3º ed. Atualizada. Belo Horizonte, MG: Editora UFMG, 2011.

NORTON, Robert L. **Cinemática e Dinâmica dos Mecanismos**. Porto Alegre, RS: Editora AMGH, 2010.

OKUMURA, Toshie. **Engenharia de Soldagem e Aplicações**. Rio de Janeiro, RJ: Editora LTC, 1982.

PAZOS, Fernando. **Automação de Sistemas e Robótica**. Rio de Janeiro, RJ: Editora Axcel Books, 2002.

ROCHA, P. M. A. **Elementos Orgânicos de Máquinas**. 2º ed. Revisada. São Paulo, SP: Editora MCGRAW-HILL, 1977.

SILVA, Ricardo José da. **Noções Básicas de Elementos de Máquinas**. Vitória, ES: SENAI, 1996.

SILVA, Ricardo José da. **Noções Básicas de Processos de Soldagem e Corte**. Vitória, ES: SENAI, 1996.

SWIFT, K. G.; BOOKER, P. D. **Seleção de Processos de Manufatura**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

Tatini, I.; Ziedas, S. **Coleção Tecnológica Senai: Soldagem**. São Paulo, SP: SENAI, 1997.

TELMAC, **Redutores de Velocidade**. Disponível em: < <http://www.telmac.com.br/redutores-de-velocidade.html> > Acesso em: 16 mai.2018.

WAINER, Emilio. **Soldagem**. 18º ed. Ampliada. São Paulo, SP: Editora ABM, 1982.

WAINER, E.; BRANDI, S.D.; MELLO, F.D.H. **Soldagem: Processos e Metalurgia**. São Paulo, SP: Editora Edgar Blucher, 1992.