

RÔMULO HIPÓLITO ABBIATI

**MECANIZAÇÃO DA CONFECÇÃO DE CANAIS
SUPERFICIAIS EM PEÇAS METÁLICAS POR
SOLDAGEM MIG/MAG**



Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Mecânica

2017

RÔMULO HIPÓLITO ABBIATI

**MECANIZAÇÃO DA CONFECÇÃO DE CANAIS SUPERFICIAIS EM
PEÇAS METÁLICAS POR SOLDAGEM MIG/MAG**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecatrônica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de ENGENHEIRO MECATRÔNICO.

Área de Concentração: Soldagem

Orientador: Prof. Dr. Volodymyr Ponomarov

UBERLÂNDIA – MG

2017

RÔMULO HIPÓLITO ABBIATI

**MECANIZAÇÃO DA CONFEÇÃO DE CANAIS SUPERFICIAIS EM PEÇAS METÁLICAS
POR SOLDAGEM MIG/MAG**

Monografia **APROVADA** pelo Curso de
Graduação em Engenharia Mecatrônica da
Universidade Federal de Uberlândia.

Área de Concentração: Soldagem

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Volodymyr Ponomarov – Orientador

Prof. Dr. Ruham Pablo Reis – Professor convidado

M.Sc. Andrii Mishchenko – Aluno convidado

Uberlândia, 04 de Agosto de 2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus por ter sido tão generoso comigo me dando uma ótima família e por ter me dado a oportunidade de ter estudado em uma ótima universidade.

Aos meus pais e irmão pelo apoio, amor e ensinamentos durante toda minha vida que auxiliaram na minha formação.

Ao professor orientador Prof. Dr. Volodymyr Ponomarov pela ajuda e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho.

A minha namorada, Isabela Goto e ao meu amigo, Mateus Martins Lemes, pela amizade, preocupação e cobrança para finalização deste trabalho.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que eu pudesse chegar até aqui.

ABBIATI, R. H., **MECANIZAÇÃO DA CONFECÇÃO DE CANAIS SUPERFICIAIS EM PEÇAS METÁLICAS POR SOLDAGEM MIG/MAG**. 2017. 60 p. Monografia de Conclusão de Curso, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.

Resumo

Na indústria, comumente encontra-se equipamentos que sofrem aquecimento e resfriamento excessivo em trabalho, o que pode acarretar falhas. Várias técnicas para controle de temperatura são empregadas a fim de sanar esse problema. A confecção de canais superficiais pode ser uma solução para esses equipamentos. Os Processos de soldagem, recentemente foram usados para esta finalidade. Testes preliminares realizados no LAPROSOLDA, mostram a viabilidade de tal abordagem, porém, esta operação exige do soldador um certo nível de destreza para utilizar esta técnica, justificando o uso de sistemas automatizados de soldagem, agregando confiabilidade, repetitividade e facilidade operacional. O objetivo deste trabalho é, a mecanização da confecção de canais superficiais em peças metálicas por soldagem MIG/MAG, visando dominar o controle seguro da formação destes, substituindo o soldador por uma mesa de coordenadas e utilizando o processo de soldagem MIG/MAG no modo de curto-circuito. Após o estudo da revisão bibliográfica e familiarização com os equipamentos da bancada experimental, foi avaliado o emprego de mesa de coordenadas para confecção dos canais superficiais. Os resultados obtidos mostram que é viável mecanizar esta operação.

Palavras-Chave: Soldagem MIG/MAG, canais superficiais, mesa de coordenadas, mecanização.

ABBIATI, R. H., **MECHANIZATION OF MANUFACTURING OF SURFACE CHANNELS ON METAL BODIES BY MIG/MAG WELDING**. 2017. 60 p. Course Conclusion Monograph, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.

Abstract

It is normal that some industry machinery suffers excessive heating and cooling when operating, which may cause the equipment to fail. There are many approaches used to control the equipment parts temperature. The manufacturing of heating/cooling surface channels can be one of the ways to resolve such a problem. Some manual and semiautomatic welding processes recently were used to this purpose. Preliminary tests performed in LAPROSOLDA show the feasibility of such approach. However, there is a need of high skilled welders to perform this task, thus justifying the use of automatized welding systems, offering reliability, repetitiveness and operational ease. Thus, the objective of this work is a mechanization of the surface channels manufacturing on metal bodies by MIG/MAG welding, replacing the welder by a coordinate table, aiming to control the channel formation robustness. The MIG/MAG welding process was used in the short-circuit mode. After the study of the bibliographical review and familiarization with the equipment of the experimental bench, the use of the coordinate table to make the surface channels was evaluated. The results show that it is feasible to mechanize the manufacturing of heating/cooling surface channels on metal bodies.

Keywords: MIGMAG Welding, surface channels, coordinate table, mechanization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Ilustração da confecção de canal superficial com a técnica de cordões-paredes pré-depositados e recobertos pelo processo MIG/MAG. a) esquema da técnica e b) canal confeccionado (TOKAR, 2015).	14
Figura 2.1 - Processo de soldagem MIG/MAG (ESAB 2005).	16
Figura 2.2 - Extensão do eletrodo ou distância entre bico de contato e a peça (ESAB, 2005).	19
Figura 2.3 - Efeito da DBCP na corrente de soldagem (ESAB, 2005).	20
Figura 2.4 - Influência do ângulo de ataque na penetração do cordão de solda (POSSEBON, 2009).	21
Figura 2.5 - Equipamentos de soldagem MIG/MAG (SCOTTI; PONOMAREV, 2008).	21
Figura 2.6 - Esquema dos tipos de tecimento transversais na execução de soldagem (adaptado de ZIBEROV, 2013, p. 25, também apresentado em POLUXIN et al., 1977, p.312 e MUSTAFIN et al., 2002, p.65).	23
Figura 2.7 - Ilustração da confecção de canal superficial com a técnica de cordões-paredes paralelos pré-depositados e recobertos pelo processo MIG/MAG; a) peça de trabalho, b) peça com cordões-paredes paralelos e c) peça com canais (TOKAR, 2015).	24
Figura 2.8 - Ilustração da confecção de canal superficial com a técnica de cordões-paredes paralelos pré-depositados e recobertos pelo processo MIG/MAG; a) esquema da técnica e b) canal confeccionado (TOKAR, 2015).	24
Figura 2.9 - Motor de passo desmontado (MOTOR DE PASSO, 2014, apud LEMES, 2015).	27
Figura 2.10 - Drivers para motor de passo (MIKROMAQ, 2015, apud LEMES, 2015).	28
Figura 2.11 - Sistema Embarcado utilizado no Equipamento de Controle da Tocha (JORGE, 2014).	29
Figura 3.1 - Mesa de Coordenadas XY-T (AUTOR, 2017).	31
Figura 3.2 - Equipamento de Controle de Deslocamento da Tocha com Arquitetura ARM (JORGE, 2014).	32
Figura 3.3 - Menu tecimento do equipamento de controle (AUTOR, 2017).	33
Figura 3.4 - Fonte de soldagem IMC Inversal 450 com alimentador de arame IMC STA - 20 (IMC, 2005).	33
Figura 3.5 - Esquema ilustrativo da bancada experimental (AUTOR, 2017).	35
Figura 5.1 - Avaliação da velocidade de alimentação do arame com 2,0 m/min (1), 2,5 m/min (2) e 3,0 m/min (AUTOR, 2017).	40

Figura 5.2 - Avaliação do orifício do canal superficial (AUTOR, 2017).....	42
Figura 5.3 - Comparação dos cordões-paredes com uma e duas camadas (AUTOR, 2017).....	43
Figura 5.4 - Cordões-paredes com duas camadas sobrepostas fechados com um único cordão de solda (AUTOR, 2017).....	44
Figura 5.5 - Dimensões dos canais superficiais (AUTOR, 2017).....	45
Figura 5.6 - Canais superficiais sem obstrução do canal interno (AUTOR, 2017).....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Componentes básicos de um sistema para soldagem robotizada (ROMANO, 2002, apud ALBA, 2013).	26
Tabela 3.1 - Características técnicas da IMC Inversal 450.	34
Tabela 5.1 - Parâmetros utilizados para verificar a influência da Velocidade de Alimentação no Arame.	39
Tabela 5.2 - Avaliação da distância entre centros dos cordões-paredes.....	40
Tabela 5.3 - Avaliação da deposição de uma segunda camada de cordões para fechamento do canal superficial.	41
Tabela 5.4 - Avaliação da técnica de tecimento para fechamento do canal superficial.	41
Tabela 5.5 - Avaliação da técnica de tecimento para fechamento do canal superficial com novos parâmetros.....	42
Tabela 5.6 - Avaliação dos cordões-paredes sobrepostos.....	43
Tabela 5.7 - Avaliação dos cordões-paredes duplos recobertos com tecimento.....	44
Tabela 5.8 - Avaliação dos cordões-paredes com outros parâmetros de tecimento.	45

LISTA DE SÍMBOLOS

FSC	<i>Friction Stir Channelling</i>
FSW	<i>Friction Stir Welding</i>
MIG	<i>Metal Inert Gas (welding)</i>
MAG	<i>Metal Active Gas (welding)</i>
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>
GMAW	<i>Gas Metal Arc Welding</i>
CC	Corrente Contínua
DBCP	Distância entre o Bico de Contato e a Peça em mm
AWS	<i>American Welding Society</i>
GTAW	<i>Gas Tungsten Arc Welding</i>
ARM	<i>Advanced RISC Machine</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
V_{al}	Velocidade de alimentação do arame em m/min
U	Tensão em Volt (V)
V_L	Velocidade linear em mm/s
d	Distância entre centros dos cordões-paredes em mm
$V_{L,tec}$	Velocidade linear de tecimento em mm/s
$V_{al,tec}$	Velocidade de alimentação de tecimento em m/min
$\Delta\theta$	Ângulo de oscilação da tocha no tecimento em Graus (°)
F	Frequência de oscilação da tocha no tecimento em Hertz (Hz)
I	Corrente de soldagem em Ampéres (A)

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivos	14
1.2 Justificativa	15
CAPÍTULO II	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Processo de Soldagem MIG/MAG.....	16
2.1.1 Vantagens e limitações.....	17
2.1.2 Parâmetros e técnicas de soldagem	18
2.1.3 Equipamentos	21
2.2 Tecimento	22
2.3 Confecção de Canais Superficiais em Peças Metálicas Usando Cordões-Paredes Paralelos Pré-Depositados e Recobertos Pelo Processo (MIG/MAG) Manual	23
2.4 Soldagem Robotizada ou Automatizada	24
2.4.1 Soldagem automática	25
2.4.2 Componentes de um sistema para soldagem a arco automatizada	25
2.5 Motores-de-Passo	26
2.6 Drivers para Motor-de-Passo.....	27
2.7 Sistemas Embarcados.....	28
CAPÍTULO III	30
3 MATERIAIS E QUIPAMENTOS.....	30
3.1 Componentes da Bancada Experimental	30
3.1.1 Mesa de coordenadas cartesianas XY-T (para manipulação da tocha de soldagem)	30
3.1.2 Equipamento de controle de deslocamento da tocha para realização de diferentes tipos de tecimento.....	32
3.1.3 Fonte de soldagem com alimentador de arame	33
3.1.4 Outros equipamentos e insumos	34
3.2 Montagem da Bancada Experimental	35
CAPÍTULO IV.....	36
4 METODOLOGIA.....	36

4.1	Metodologia Geral	36
CAPÍTULO V		39
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
CAPÍTULO VI.....		48
6	CONCLUSÃO	48
CAPÍTULO VII.....		50
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		51
ANEXO A – Manual do equipamento de deslocamento da tocha.....		53

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

É comum encontrar equipamentos que sofrem aquecimento e resfriamento excessivo em trabalho, o que pode acarretar falhas. Várias técnicas para controle de temperatura são aplicadas, com a finalidade de manterem suas capacidades operacionais. As abordagens mais usadas para esta finalidade são aletas externas, como trocadores de calor, ou camisas d'água, como motores de combustão (TOKAR, 2015). Um exemplo destas técnicas é a utilização de controle de temperatura em moldes de injeção. Estes sofrem aquecimento quando o plástico quente é injetado em seu interior. Ao entrar em contato com as paredes da cavidade do molde metálico, o plástico se solidifica em decorrência da transferência do calor. Para que o molde se mantenha na temperatura adequada, este é dotado de um sistema de canais de refrigeração por onde circula um líquido refrigerante, responsável por extrair calor do molde. Recentemente, um método alternativo para confecção de canais foi proposto, como o *Friction Stir Channelling* (FSC), que é uma técnica que utiliza o princípio do *Friction Stir Welding* (FSW). Porém, este procedimento exige um ferramental sofisticado e caro, além disso, o metal de base tem que ser dúctil, de baixa dureza, a superfície não pode ter mudanças acentuadas, entre outras desvantagens (QUINTINO; VILAÇA; MIRANDA, 2011, *apud* TOKAR, 2015).

Devido às questões mencionadas acima, um novo método foi proposto. A confecção de canais superficiais pode ser uma solução para aquecimento ou resfriamento dos equipamentos. Testes preliminares realizados no Laprosolda mostraram a viabilidade deste processo. A Figura 1.1 ilustra a técnica proposta. O canal superficial é feito a partir de cordões-paredes paralelos pré-depositados com o processo de soldagem MIG/MAG automático no modo curto-circuito no metal de base, que são, em seguida, recobertos com um cordão de recobrimento feito com processo de soldagem MIG/MAG também no modo curto-circuito, até então semi-automático, deixando assim um canal superficial formado entre os dois cordões-

paredes paralelos e o cordão de recobrimento. O soldador deve possuir certo nível de destreza para utilizar esta técnica, justificando o uso de sistemas mecanizados de soldagem, agregando confiabilidade, repetitividade e facilidade operacional.

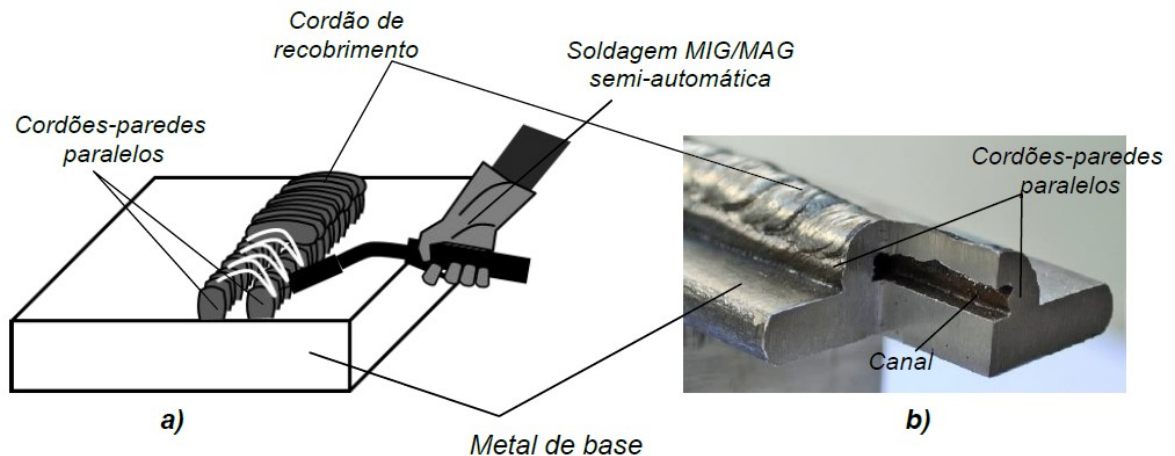


Figura 1.1 - Ilustração da confecção de canal superficial com a técnica de cordões-paredes pré-depositados e recobertos pelo processo MIG/MAG. a) esquema da técnica e b) canal confeccionado (TOKAR, 2015).

O desenvolvimento na mecanização de processos de soldagem facilitou a regulação dos parâmetros de soldagem, precisão no movimento da tocha, aumentando sua robustez e confiabilidade. São utilizados robôs e mesas de coordenadas dedicados à soldagem para cumprir funções de movimentação da tocha ou da peça de trabalho, oferecendo altíssima repetibilidade com precisão no posicionamento. Neste trabalho foi destacado o uso das mesas de coordenadas, utilizadas para executar processos de soldagem (por exemplo, TIG, MIG, Plasma), pois são opções interessantes por aliar características como repetibilidade com precisão no posicionamento, junto com maior confiabilidade e facilidade operacional, sendo de custo bem mais baixo comparado de um robô.

1.1 Objetivos

Mecanização da confecção de canais superficiais nas peças metálicas pela soldagem MIG/MAG utilizando uma mesa de coordenadas, de forma a eliminar a necessidade de um soldador qualificado.

1.2 Justificativa

Promover a mecanização do processo de soldagem desses canais, proporcionando maior repetibilidade e robustez do processo.

CAPÍTULO II

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Processo de Soldagem MIG/MAG

O processo de soldagem utilizado neste trabalho tem o nome popularmente conhecido como MIG/MAG, que significa, *Metal Inert Gas/Metal Active Gas* e, por ser uma soldagem ao arco elétrico com gás de proteção, é também conhecida por *Gas Metal Arc Welding* (GMAW). Nesta soldagem, o arco elétrico é estabelecido entre a peça de trabalho e um arame. Este arame tem a função de metal de adição, portanto, o arco funde este continuamente enquanto uma cortina de gás inerte ou ativo, ou mistura desses gases, protege a poça de fusão, evitando assim, a oxidação da solda entre outras coisas (ESAB, 2005). A Figura. 2.1 mostra um esquema deste processo.

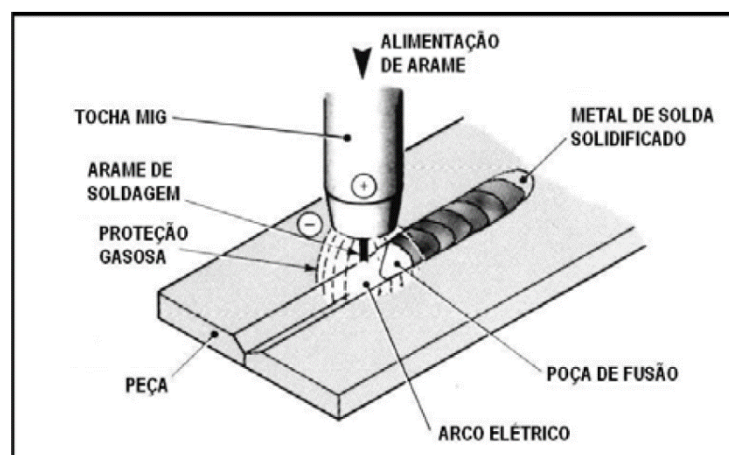


Figura 2.1 - Processo de soldagem MIG/MAG (ESAB, 2005).

A soldagem MIG utiliza um gás inerte ou uma mistura de gases inertes, ou seja, que não interagem com a poça de fusão e é aplicado à metais não ferrosos como o alumínio. Já

o processo de soldagem MAG utiliza um gás ativo, ou a mistura de gases ativos, ou uma mistura de gases ativos com um gás inerte e é aplicado à metais ferrosos, como o aço.

De acordo com ESAB (2005) a soldagem MIG/MAG funciona com corrente contínua (CC), comumente são empregadas correntes de soldagem de 50 A até mais de 600 A, tensões de 15 V até 32 V e a configuração empregada é a polaridade reversa, ou seja, com arame no polo positivo. A polaridade direta é pouco empregada nesta técnica, devido a transferência deficiente do metal fundido do arame para a poça de fusão.

Devido a evolução desta técnica de soldagem, ela é aplicável a todos os metais comercialmente importantes, sendo ferrosos ou não, como aços inoxidáveis, aço, cobre, alumínio, etc. Desde que o material tenha espessura maior do que 0,76 mm, a soldagem pode ser realizada em qualquer posição. É fácil escolher seus equipamentos, arame, gás de proteção e as condições de soldagem necessárias para produzir soldas de excelente qualidade com baixo custo (ESAB, 2005).

2.1.1 Vantagens e limitações

Segundo ESAB (2005), o processo de soldagem MIG/MAG possui diversas características ou vantagens que o diferencia quando comparado aos processos de soldagem TIG, Eletrodo Revestido, arco submerso, entre outros:

- Único processo que pode ser utilizado para todos os metais, ferrosos e não ferrosos, comercialmente importantes;
- Comparado ao eletrodo revestido, o tempo de execução da soldagem é praticamente metade;
- O processo pode ser executado em todas as posições;
- Em relação ao eletrodo revestido, não há perda das pontas;
- Um dos processos mais produtivos, já que é executado em altas velocidades;
- Menos distorção das peças;
- Limpeza mínima, pois não há necessidade de remoção de escória;
- Alta taxa de deposição de material.

De acordo com Villani *apud* Martins (2012), também deve-se levar em consideração algumas limitações na soldagem MIG/MAG:

- O processo é bastante sensível à variação dos parâmetros elétricos, devido à forte dependência entre estes;

- O arco deve estar protegido de correntes de ar que possam dispersar o gás de proteção. Isto limita a soldagem em campo;
- Alta velocidade de resfriamento, o que pode gerar trincas.

2.1.2 Parâmetros e técnicas de soldagem

Os parâmetros e técnicas de soldagem mais importantes para este trabalho foram descritos abaixo. Esses parâmetros afetam as características da solda de forma marcante:

a) Tensão de soldagem

Segundo Martins (2012) é a diferença de potencial estabelecida entre o arame e o metal de base durante a soldagem e está intimamente ligada ao comprimento do arco. Esta tensão não pode ser lida diretamente do voltímetro da fonte, devido às quedas de tensão encontradas no sistema de soldagem (ESAB, 2005).

Considerando todas as outras variáveis do processo constantes, um acréscimo na tensão do arco resulta em um aumento do comprimento do arco. Porém, para um mesmo comprimento de arco, poderá ser relacionado com diferentes tensões, dependendo do gás de proteção, corrente e da Distância entre o Bico de Contato e Peça (DBCP) (MARTINS, 2012).

b) Corrente de soldagem

É a amperagem de saída da fonte quando a soldagem está sendo realizada. É normalmente lida no indicador da fonte, podendo também ser lida através de um amperímetro separado.

No processo MIG/MAG a corrente de soldagem está diretamente relacionada à velocidade de alimentação do arame (desde que a extensão do eletrodo seja constante). Quando a velocidade de alimentação do arame é alterada, a corrente de soldagem varia no mesmo sentido. Em outras palavras, um aumento (ou diminuição) na velocidade de alimentação do arame causará um aumento (ou diminuição) da corrente de soldagem (ESAB, 2005).

c) Velocidade de soldagem

Segundo a ESAB (2005) é a relação entre o caminho percorrido pelo arco ao longo da peça e o tempo gasto para percorrê-lo. Esse parâmetro é normalmente expresso em cm/min ou mm/min. Três regras gerais podem ser enunciadas com respeito à velocidade de soldagem:

- Quando a espessura da peça aumenta, a velocidade de soldagem deve diminuir;
- Para uma dada espessura de peça e tipo de junta, quando a corrente de soldagem aumentar a velocidade de soldagem também deve aumentar e vice-versa;
- Maiores velocidades de soldagem são alcançadas empregando a técnica de soldagem empurrando.

d) Distância entre o bico de contato e a peça (DBCP)

A extensão do eletrodo (*stick-out*) é a distância entre o último ponto de contato elétrico, normalmente a extremidade do bico de contato, e a peça de trabalho. A Figura 2.2 representa a DBCP.

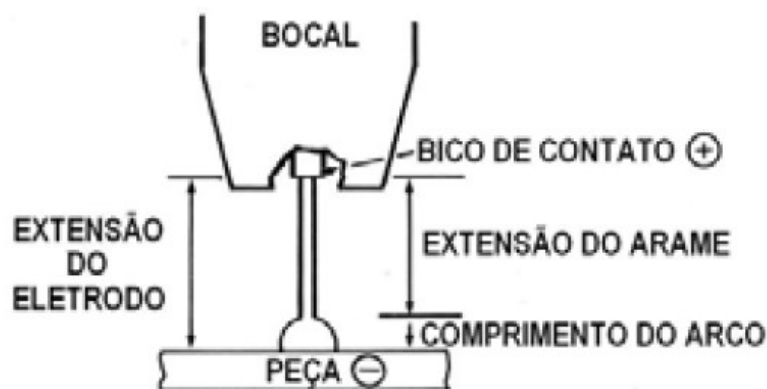


Figura 2.2 - Extensão do eletrodo ou distância entre bico de contato e a peça (ESAB, 2005).

A distância entre o bico de contato e a peça (extensão do eletrodo) afeta a corrente de soldagem necessária para fundir o arame a uma dada velocidade de alimentação de arame. A Figura 2.3 ilustra a dimensão da variação da corrente de soldagem com a distância do bico de contato à peça. Basicamente, quando essa distância é aumentada, o aquecimento devido

ao efeito Joule aumenta e a corrente de soldagem necessária para fundir o arame é diminuída e vice-versa.

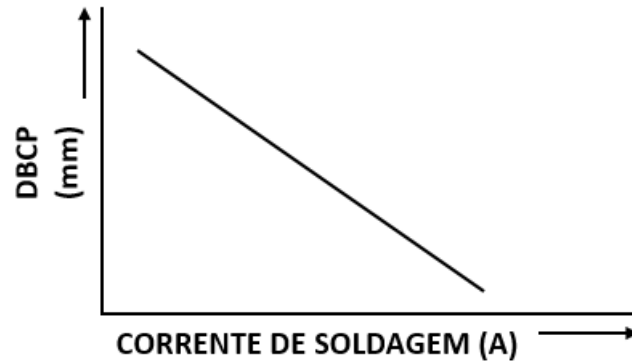


Figura 2.3 - Efeito da DBCP na corrente de soldagem (AUTOR, 2017).

É importante controlar a distância entre o bico de contato e a peça. Grandes extensões de eletrodo resultam em excesso de metal sendo depositado com baixo calor do arco. Isso pode causar geometria desfavorável do cordão e baixa penetração. Adicionalmente, quando a distância do bico de contato à peça aumenta, o arco torna-se menos estável.

e) Ângulo de Ataque

Representa o ângulo que o arame-eletrodo faz com o cordão de solda num plano perpendicular à superfície da peça. Ele também interfere na penetração. A Figura 2.4, mostra que a soldagem em ângulo positivo (empurrando a tocha) empurra a poça de fusão para frente, causando um preaquecimento a sua frente, aumentando a molhabilidade e levando a um cordão com maior largura e menor penetração. Por outro lado, a soldagem em ângulo negativo (puxando a tocha) tende a maiores penetrações, já que o jato de plasma empurra a poça para trás facilitando o acoplamento do arco e uma poça de fusão com menor volume de metal fundido (POSSEBON, 2009).

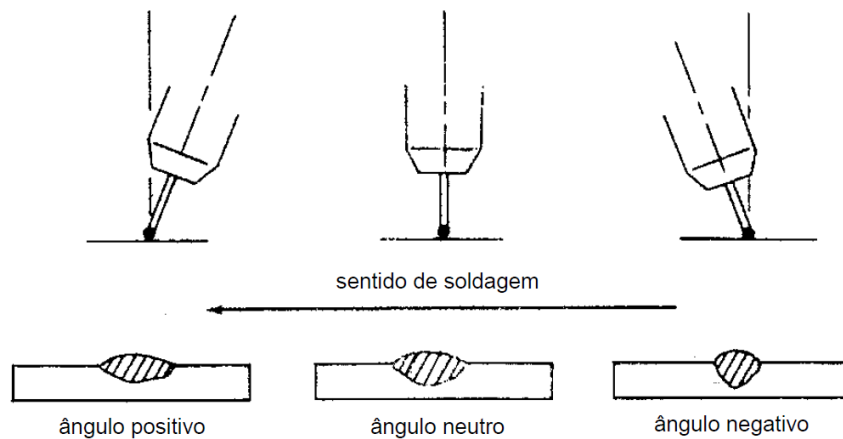


Figura 2.4 - Influência do ângulo de ataque na penetração do cordão de solda (POSSEBON, 2009).

2.1.3 Equipamentos

A diferença entre os equipamentos para soldagem MIG/MAG depende da maneira que ela será feita, ou seja, da forma manual, que exige a presença de um soldador qualificado para manusear a tocha de soldagem e controle dos equipamentos, ou da forma automática, onde é empregado mesas de coordenadas cartesianas ou robôs que controlam todas as variáveis.

Os equipamentos básicos deste tipo de soldagem é o sistema de alimentação de arame, fonte de energia, suprimento de gás de proteção e tocha de soldagem, como pode ser visto na Figura 2.5.

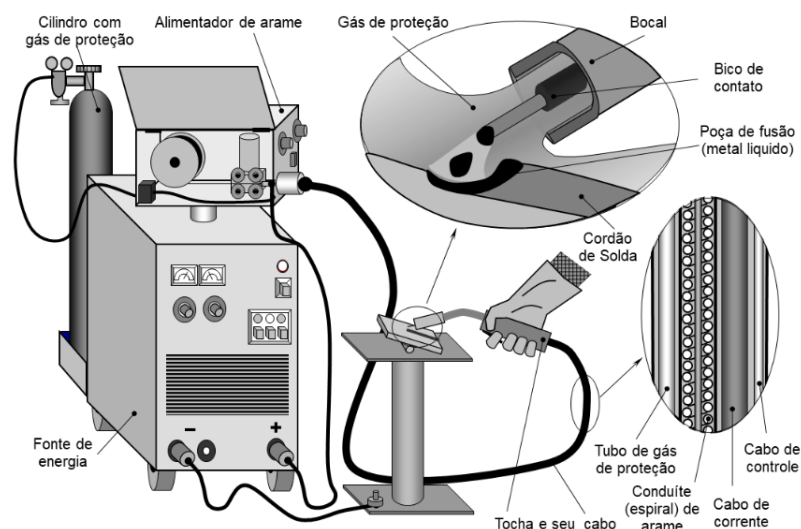


Figura 2.5 - Equipamentos de soldagem MIG/MAG (SCOTTI; PONOMAREV, 2008).

O sistema de alimentação de arame é responsável por puxar continuamente o arame do carretel até a tocha de soldagem, por onde este sai e é alimentado ao arco. Este sistema possui controle de velocidade de alimentação que desempenha um papel importante no procedimento de soldagem e que influencia na qualidade da solda.

A fonte de soldagem possui alguns controles como tensão e corrente do arco, etc. Além disso é responsável pelo tipo de polaridade que, geralmente na soldagem MIG/MAG é utilizado a polaridade reversa, ou seja, aquela que o polo positivo é conectado a tocha e o negativo é conectado na peça a ser soldada.

O sistema de suprimento de gás de proteção, além de armazenar o gás que é utilizado no processo, é responsável por regular a quantidade de gás através do fluxímetro e redutor de pressão.

A tocha de soldagem é responsável por conduzir o arame, o gás de proteção e, também, levar energia de soldagem até o arame.

2.2 Tecimento

De acordo com Perez (2007) a movimentação trançada ou oscilação lateral do arame de soldagem, tecimento, durante a soldagem é usado quando é necessário um cordão espalhado ou trançado, ou segundo Ziberov (2013), quando é necessário distribuir o calor nas chapas adequadamente. Cordões trançados são normalmente usados quando são feitas soldas de topo e de ângulo.

O tecimento pode ser feito em vários padrões dependendo do tipo de solda, da preparação da junta e da habilidade do soldador. A Figura 2.6, mostra diferentes padrões de tecimento que são usados pelos soldadores para produzir boas soldas (PEREZ, 2007).

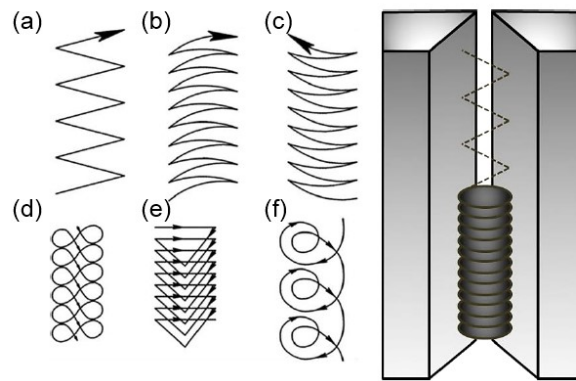


Figura 2.6 - Esquema dos tipos de tecimento transversais na execução de soldagem (adaptado de ZIBEROV, 2013, p. 25, também apresentado em POLUXIN et al., 1977, p.312 e MUSTAFIN et al., 2002, p.65).

Os padrões de (a) à (d) são usados onde mais calor é necessário ser aplicado em ambos os lados da junta; enquanto os padrões (e) e (f) são úteis quando o calor deve ser aplicado no meio da solda (PEREZ, 2007).

2.3 Confeção de Canais Superficiais em Peças Metálicas Usando Cordões-Paredes Paralelos Pré-Depositados e Recobertos Pelo Processo (MIG/MAG) Manual

Nesta técnica, como ilustrado nas Figs. 2.7, 2.8, o canal superficial é feito a partir de cordões-paredes paralelos pré-depositados com o processo de soldagem MIG/MAG automático no metal de base que são em seguida recobertos com um cordão de recobrimento feito com o processo de soldagem MIG/MAG semi-automático, deixando assim um canal superficial formado entre os dois cordões-paredes paralelos e o cordão de recobrimento. Para evitar que o metal fundido do cordão de recobrimento escorra entre os cordões-paredes paralelos, entupindo assim o canal superficial, o cordão de recobrimento deve ser feito com um arco curto e uma poça de fusão pequena (baixo calor imposto). O soldador deve possuir certo nível de destreza para utilizar esta técnica. Nesta técnica, o cordão de recobrimento também pode ser confeccionado com o processo de soldagem MIG/MAG automático, objeto de estudo deste trabalho (TOKAR, 2015).

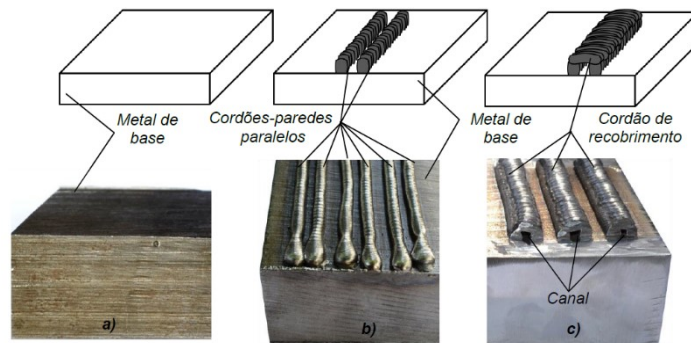


Figura 2.7 - Ilustração da confecção de canal superficial com a técnica de cordões-paredes paralelos pré-depositados e recobertos pelo processo MIG/MAG; a) peça de trabalho, b) peça com cordões-paredes paralelos e c) peça com canais (TOKAR, 2015).

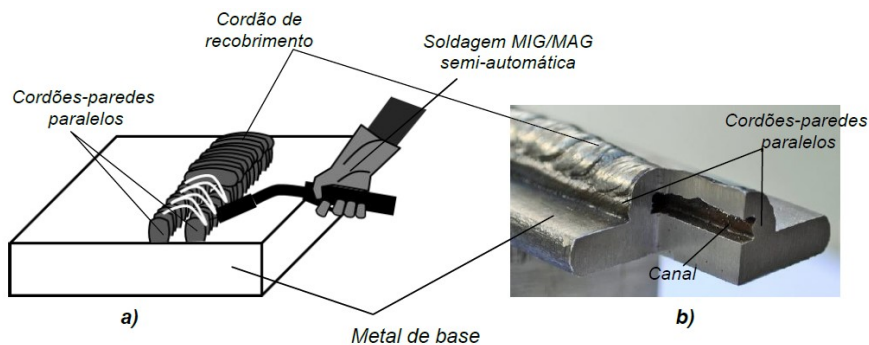


Figura 2.8 - Ilustração da confecção de canal superficial com a técnica de cordões-paredes paralelos pré-depositados e recobertos pelo processo MIG/MAG; a) esquema da técnica e b) canal confeccionado (TOKAR, 2015).

2.4 Soldagem Robotizada ou Automatizada

De acordo Schnee *apud* Alba (2013), a soldagem robotizada oferece a oportunidade de ganho em competitividade. Sistemas robotizados de soldagem aumentam a flexibilidade de resposta frente a mudanças na necessidade de produção e reduzem o retrabalho em fabricação, desta forma o tempo de entrega é diminuído.

Portanto o emprego da robótica tem o poder de incrementar a produtividade e melhorar a qualidade de uma indústria, desde que se façam ajustes a fim de que o investimento alcance de fato o resultado esperado.

2.4.1 Soldagem automática

Soldagem automática é definida como a utilização de componentes mecanizados/eletrônicos para executar as funções básicas e necessárias de um procedimento de soldagem. Para que a soldagem seja considerada automática, é necessário que as 3 etapas descritas a seguir sejam satisfeitas (ALBA, 2013):

- Iniciar o arco elétrico;
- Criar movimento relativo entre a tocha e a peça;
- Regular as variáveis de soldagem como tensão, corrente, taxa de alimentação do arame, etc., para assim controlar o arco elétrico.

Segundo Romano *apud* Alba (2013) a soldagem robotizada é uma forma específica de soldagem automática e é definida pela *American Welding Society* (AWS) como soldagem feita com o equipamento (robô, manipulador, etc) o qual executa operações de soldagem, após programação, sem ajuste ou controle por parte do operador de soldagem.

Primeiramente foram introduzidos robôs na indústria automobilística para soldagem ponto. Em Alves *apud* Alba (2013) é dito que tais robôs continuam sendo amplamente utilizados, mas foi no campo da soldagem GMAW e GTAW que a soldagem robotizada ganhou destaque. Muitos fatores contribuíram para a robotização sendo possível citar:

- Maior controle do processo;
- Diminuir necessidade de mão-de-obra qualificada;
- Saúde e segurança;
- Padrões de qualidade inaceitáveis em processos não robotizados;
- Incremento de produção;
- Diminuição dos custos de produção.

2.4.2 Componentes de um sistema para soldagem a arco automatizada

Em Romano *apud* Alba (2013), é dito que um robô industrial consiste em elos conectados possuindo uma tocha de soldagem numa extremidade controlado pelo programa inserido no robô. Vale salientar as diversas possibilidades de orientação que um robô de soldagem pode utilizar e neste trabalho foi utilizada a configuração cartesiana a qual possui duas direções (eixo x, eixo y).

Os robôs de soldagem são constituídos por quatro principais elementos: robô, controle computacional, fonte de soldagem, equipamentos e acessórios para soldagem.

Tabela 2.1 - Componentes básicos de um sistema para soldagem robotizada (ROMANO, 2002, apud ALBA, 2013).

Componentes básicos	Considerações
Robô, mesa de coordenadas	Graus de liberdade, faixa de trabalho, fonte de energia, repetibilidade, velocidade, capacidade de carga, tipo de acionadores.
Controle Computacional	Técnica de programação, tamanho da memória e do arquivo de backup, armazenamento do programa, interfaces, softwares especiais de soldagem
Fonte de energia para soldagem	Ciclo de trabalho (usualmente 100% é desejável), interface com o controle do robô, precisão (corrige pequenas flutuações da tensão do arco) e capacidade de constantemente iniciar o arco elétrico.
Equipamentos e acessórios para soldagem a arco	Tipo de alimentador, tipo de controle, interface com o controle do robô, tocha de soldagem, cabos, ferramentas para alinhamento, sensores, sistemas de segurança

2.5 Motores-de-Passo

Motores de passo são equipamentos eletromecânicos que convertem sinais elétricos em movimento mecânico discreto. É um componente fundamental para o funcionamento da mesa de coordenadas, pois eles fazem a movimentação dos eixos cartesianos desta e que por sua vez deslocam a tocha. Eles são compostos basicamente de duas partes, que são o rotor e o estator. O rotor é o conjunto eixo-imã que gira juntamente com a parte móvel do motor, e o estator é a peça na qual as bobinas se enrolam. A Figura 2.9 ilustra um motor de passo desmontado detalhando sua construção.

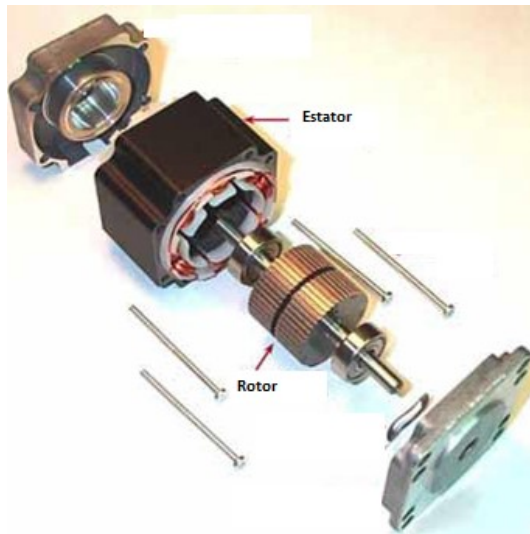


Figura 2.9 - Motor de passo desmontado (MOTOR DE PASSO, 2014, apud LEMES, 2015).

Segundo Acarnley *apud* LEMES (2015), os motores de passo possuem número fixo de polos magnéticos no seu rotor, e possuem também bobinas que são acionadas pelo controlador. Ao acionar uma bobina, é gerado um campo eletromagnético que moverá o rotor, pois seu polo é atraído pelo campo da bobina. O controle do deslocamento do eixo do motor de passo está relacionado à sequência de excitação das bobinas. O número de passos depende do número de polos do motor e a sequência de passos é determinada pela sequência de excitação através de pulsos do sistema de controle.

2.6 Drivers para Motor-de-Passo

Segundo Boylestad *apud* LEMES (2015), o *driver* de motor de passo tem como função controlar o acionamento das bobinas do motor. Os *drivers* usualmente recebem sinais para habilitar ou desabilitar rotação, sentido de rotação e velocidade. Outros parâmetros como tipo de passo simples ou duplo passo podem ser ajustados diretamente na placa dos *drivers*, dependendo do modelo do mesmo. Como esses *drivers* necessitam de poucos sinais, eles podem ser facilmente controlados por computador, circuitos micro-controlados e placas de aquisição. A Figura 2.10 mostra alguns *drivers* disponíveis no mercado.



Figura 2.10 - Drivers para motor de passo (MIKROMAQ, 2015, apud LEMES, 2015).

2.7 Sistemas Embarcados

Segundo Saint-Jean et al *apud* Cruz Júnior (2012), um sistema embarcado pode ser definido como um sistema computacional para uso específico ou dedicado e também é popularmente conhecido como sistemas embutidos. Estes possuem os mesmos componentes de um computador, porém a especificidade de suas tarefas faz com que, muitas vezes, não sejam nem usados e nem percebidos como tal (SRIVASTAVA et al, 1998, *apud* CRUZ JÚNIOR, 2012). Alguns exemplos desses sistemas são: câmeras digitais, roteadores de rede IP, hodômetros, pilotos automáticos, sistemas de controle em geral e, também, o equipamento de controle de deslocamento da tocha utilizado neste trabalho.

A implementação de um sistema embarcado pode apresentar grande flexibilidade, não somente do ponto de vista de *software*, mas também de *hardware*, pois um mesmo tipo de sistema pode ser empregado em aplicações diferentes, já que, eles são reconfiguráveis.

Estes sistemas são interessantes e vem ganhando mais mercado a cada dia por oferecer economia de energia, portabilidade, complexidade de processamento, baixo custo, flexibilidade e, no âmbito deste trabalho, a principal vantagem de um sistema embarcado foi a facilidade operacional que o mesmo proporcionou para o deslocamento da tocha.

A Figura 2.11 abaixo mostra o sistema embarcado utilizado neste trabalho.

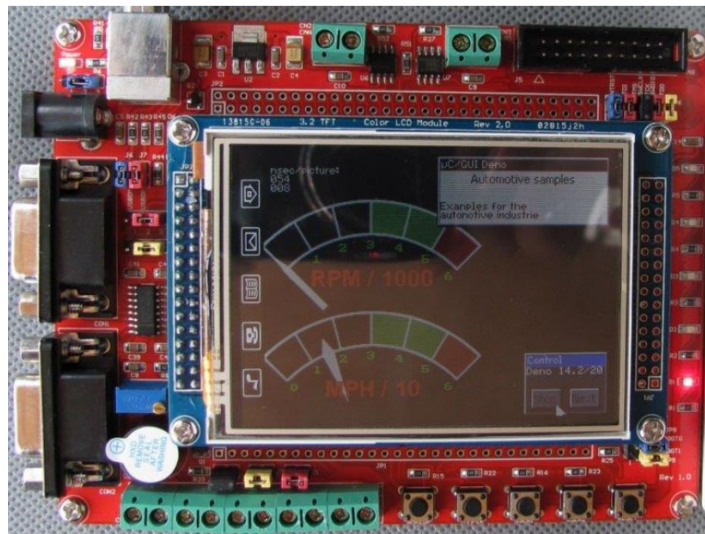


Figura 2.11 - Sistema Embarcado utilizado no Equipamento de Controle da Tocha (JORGE, 2014).

CAPÍTULO III

3 MATERIAIS E QUIPAMENTOS

3.1 Componentes da Bancada Experimental

Para a confecção dos canais superficiais, os componentes utilizados foram:

- Mesa de coordenadas cartesianas XY-T (para manipulação da tocha de soldagem MIG/MAG em relação aos movimentos de translação, eixos X e Y, e movimento pendular para o tecimento);
- Equipamento de soldagem (fonte e alimentador de arame);
- Equipamento de controle do deslocamento da tocha;
- Outros equipamentos e insumos.

3.1.1 Mesa de coordenadas cartesianas XY-T (para manipulação da tocha de soldagem)

O equipamento utilizado para movimentação da tocha MIG/MAG foi uma mesa de coordenadas desenvolvida pelo Laboratório para Pesquisa e Desenvolvimento de Processos de Soldagem (LAPROSOLDA), denominada Mesa de Coordenadas Soldamatic XY-T. Veja Fig. 3.1.



Figura 3.1 - Mesa de Coordenadas XY-T (AUTOR, 2017).

As principais características de funcionamento da mesa estão apresentadas abaixo:

- Comprimento do eixo X – 570 mm;
- Comprimento do eixo Y – 1000 mm;
- Velocidade de soldagem: 0,5 – 80 mm/s, resolução 0,01 mm/s;
- Frequência de tecimento: 0,1 Hz a 5 Hz, resolução 0,0001 Hz;
- Ângulo máximo de amplitude: 10°, resolução 0,09°;
- Tempo de parada lateral: 40 – 2000 ms, resolução 0,0001 s;
- Tempo de parada central: 40 – 2000 ms, resolução 0,0001 s.

A mesa possui estrutura metálica onde estão inseridas guias que permitem a movimentação de uma ferramenta (por exemplo, uma tocha de soldagem) em dois eixos perpendiculares entre si (eixos X e Y) e também em um terceiro eixo (eixo T), para permitir que ocorra o movimento pendular, ou seja, o tecimento.

Para a movimentação da tocha pela mesa, três motores de passo são utilizados, cada um responsável pelo deslocamento de seu respectivo eixo. Cada motor é acionado por uma fonte de potência controlada chamada de drive, que são alimentadas por fontes de alimentação/potência (denominadas apenas fonte) e operadas todas por um mesmo microcomputador através de uma porta paralela, sendo que, todos os drivers são operados pelo mesmo sistema, mas cada um possui um motor e uma fonte próprios.

O microcomputador que permite controlar e programar os movimentos da tocha foi descrito no próximo tópico.

3.1.2 Equipamento de controle de deslocamento da tocha para realização de diferentes tipos de tecimento

A equipe do LAPROSOLDA desenvolveu um novo microcomputador, que é um sistema embarcado que utiliza a arquitetura *Advanced RISC Machine*¹, visando o controle da mesa de coordenadas. São sistemas nos quais o circuito que processa os dados é dedicado ao dispositivo que ele controla (neste trabalho, a mesa de coordenadas) realizando um conjunto de tarefas predefinidas, delimitando-se a requisitos específicos e reduzindo a dimensão e o preço do sistema de controle em geral (JORGE, 2014).

É este novo equipamento que entrou no lugar de um antigo microcomputador (PC) e que irá operar os *drives* e as fontes da mesa de coordenadas através da porta paralela. O equipamento de controle é ilustrado na Fig. 3.2 abaixo.



Figura 3.2 - Equipamento de Controle de Deslocamento da Tocha com Arquitetura ARM (JORGE, 2014).

No Anexo A, encontram-se informações técnicas e o manual de funcionamento deste equipamento. Somente a função de tecimento não está descrita no manual presente neste Anexo, portanto, abaixo foi descrita esta função.

a) Tecimento

A Figura 3.3 mostra o *display* da função “Tecimento” após o usuário selecionar esta opção no Menu Inicial. Esta opção permite que o usuário execute diversos tipos de tecimento que foram discutidos na revisão bibliográfica no tópico “2.2 Tecimento” após o soldador selecionar alguns parâmetros.

¹ *Advanced RISC Machine* é um tipo de arquitetura de chip de 32 bits usada principalmente em sistemas embarcados.

Ao pressionar o Botão “Parâmetros Lineares”, uma nova janela irá aparecer sobrepondo a atual. Nesta é possível definir os valores lineares do tecimento que são deslocamento linear e velocidade linear e então, depois de definidos, deve-se pressionar o botão “Ok”. O próximo passo é definir os valores que permitem executar o movimento de pêndulo pressionando o botão “Parâmetros Tecimento”. Nesta opção deve-se selecionar a amplitude, que é o ângulo de oscilação do movimento de pêndulo da tocha, e frequência desta oscilação. Após definição dos valores, o operador pode apertar o botão “Soldar” para começar o tecimento.



Figura 3.3 - Menu Tecimento do Equipamento de Controle (AUTOR, 2017).

3.1.3 Fonte de soldagem com alimentador de arame

A fonte de soldagem utilizada é uma fonte multiprocesso transistorizada de marca e modelo IMC Inversal 450 com alimentador de arame IMC STA – 20 já acoplado (Fig. 3.4). Essa fonte possui capacidade de corrente de até 450 A.



Figura 3.4 - Fonte de soldagem IMC Inversal 450 com alimentador de arame IMC STA – 20 (IMC, 2005).

As principais características técnicas desta fonte estão apresentadas na Tab. 3.1.

Tabela 3.1 - Características técnicas da IMC Inversal 450.

Corrente Nominal	280 A 100% Fator de Trabalho (FT)
Corrente Máxima	450 A
Tensão em vazio	68 V
Faixa de pulsação de corrente, Hz	0 – 50
Formato do sinal de corrente	Retangular

O alimentador de arame utilizado neste trabalho foi da marca IMC do modelo STA – 20. Este equipamento faz alimentação de arame e permite a utilização de arame-eletrodo bobinado de diversos diâmetros e, além disso, possibilita que o soldador regule a velocidade de alimentação dentro de uma faixa de 1,00 a 20,00 m/min. Também oferece controle para rampas de aceleração e desaceleração do arame, o que melhora as condições de início e término dos cordões de solda (IMC, 2005, *apud* ZIBEROV 2013).

3.1.4 Outros equipamentos e insumos

Outros itens que fizeram parte deste trabalho, não são menos importantes do ponto de vista da soldagem MIG/MAG, porém, para este trabalho, possui menos importância para o entendimento da avaliação da mesa de coordenadas para confecção dos canais superficiais, portanto, somente foram citados. Os demais itens que foram utilizados são:

- Tocha de soldagem MIG/MAG;
- Gabarito para medir a DBCP (16 mm);
- Câmera fotográfica para registrar os cordões de solda pós-confecção;
- Esmerilhadeira para corte e acabamento superficial das amostras;
- Arame-eletrodo pertencente à classe AWS ER70S-6 (diâmetro de 0,8 mm);
- Gás de proteção com mistura de Argônio (Ar) com CO₂ (85% Ar+15%CO₂);
- Placas de testes de aço carbono com diferentes dimensões.

3.2 Montagem da Bancada Experimental

As instruções para deixar a bancada experimental utilizada neste projeto em funcionamento, foram:

- Conectar o cilindro de gás de proteção na fonte de soldagem;
- Ligar a fonte de soldagem na rede industrial e verificar o cabo terra;
- Realizar o ajuste de Tensão;
- Realizar teste de gás e verificar se o rotâmetro aponta vazão de 10 L/min;
- Ajustar tocha em uma inclinação de 15°;
- Realizar a verificação da DBCP pelo gabarito de 16 mm;
- Ligar fonte de energia do equipamento de controle na rede elétrica (110 V/ 220 V);
- Ligar cabo de conexão para porta paralela no quadro de comando;
- Energizar quadro de comando por meio do botão verde;
- Após estas ações é só programar o tipo de solda pelo equipamento de controle de deslocamento da tocha e pressionar o botão de acionamento da função de solda na opção escolhida (ver Anexo A).

Um esquema de montagem simplificado e de funcionamento pode ser visualizado pela Fig. 3.5 abaixo.

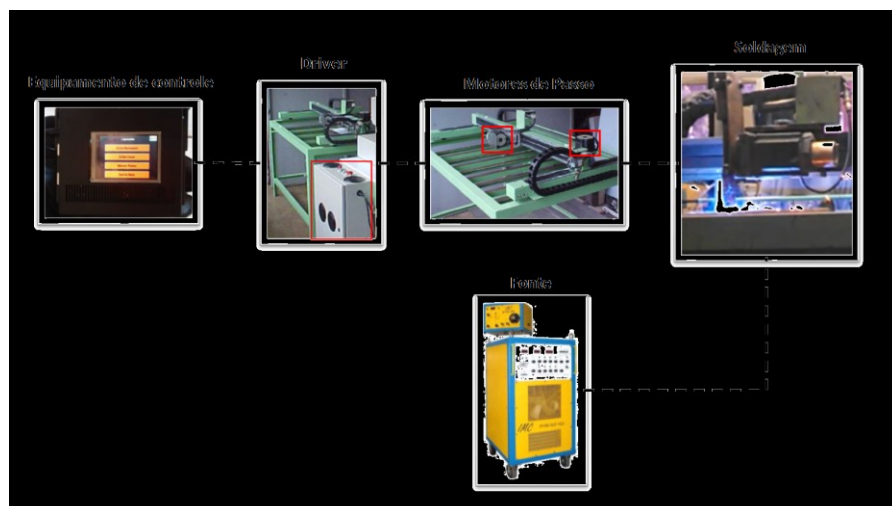


Figura 3.5 - Esquema ilustrativo da bancada experimental (AUTOR, 2017).

CAPÍTULO IV

4 METODOLOGIA

4.1 Metodologia Geral

A necessidade de encontrar novas formas, mais baratas e menos complexas, para contornar o problema de aquecimento e resfriamento de peças em trabalho levou o LAPROSOLDA a realizar uma série de testes preliminares utilizando novas abordagens. Inicialmente a proposta foi a utilização dos defeitos chamados na literatura de cavidades ou *tunneling* (PONOMAREV; TOKAR, 2015) para confeccionar canais subsuperficiais, ou seja, canais que estão na raiz do cordão de solda. Os resultados encontrados são promissores, porém o método envolve diversos parâmetros complexos e que necessitam de um estudo ainda mais aprofundado. Visando facilitar a confecção desses canais, Tokar e Ponomarev (2015) tentaram uma nova abordagem que é a técnica de confecção de canais superficiais em peças metálicas usando cordões-paredes paralelos pré-depositados e recobertos pelo processo MIG/MAG manual. Os resultados encontrados foram muito satisfatórios, porém exige-se uma qualificação profissional muito elevada do soldador, além disso é uma técnica de difícil repetibilidade, pois o soldador cansa e, de tempos em tempos, tem que descansar. Outro fator que representa mais um motivo para testar uma nova abordagem é o fato de que a produtividade é baixa quando o trabalho é manual. Portanto, utilizando-se dos resultados dos testes descritos acima e com as sugestões de parâmetros do orientador Vladimir Ponomarev, uma nova proposta foi testada que é a mesma técnica anterior, porém avaliando o emprego de uma mesa de coordenadas cartesianas XY-T com um equipamento de controle de deslocamento da tocha para substituir o soldador.

Do ponto de vista metodológico, inicialmente foi feita a familiarização e treinamento com a bancada experimental e, depois, testes preliminares utilizando partes dos resultados e sugestões do orientador em relação a parâmetros de soldagem.

Os principais parâmetros que foram variados ou monitorados durante este trabalho foram:

- $U \rightarrow$ Tensão de soldagem em Volts (V);
- $I \rightarrow$ Corrente de soldagem em Amperes (A);
- $V_{al} \rightarrow$ Velocidade de alimentação do arame em m/min;
- $V_L \rightarrow$ Velocidade linear de soldagem em mm/s;
- $d \rightarrow$ Distância entre centros dos canais;
- $V_{L,tec} \rightarrow$ Velocidade linear de soldagem no tecimento em mm/s;
- $V_{al,tec} \rightarrow$ Velocidade de alimentação do arame no tecimento em m/min;
- $\Delta\theta \rightarrow$ Oscilação do movimento de pêndulo do tecimento em Graus ($^{\circ}$);
- $f \rightarrow$ frequência de oscilação do movimento de pêndulo do tecimento em Hertz (Hz).

Para se determinar a qualidade da solda obtida, seja de um cordão de solda, cordões-paredes, ou canais, foram avaliados os seguintes pontos:

- Em um cordão de solda singular foram avaliados, a altura, robustez e regularidade da solda (menos ondulados);
- Para os cordões-paredes, foi avaliado a largura dos canais formados entre os cordões de solda, de modo que um canal não se “encostasse” um no outro, porque isso pode impedir a formação de um orifício obstruído;
- Nos canais superficiais, ou seja, cordões-paredes já recobertos, foram avaliados, a altura e largura do orifício do canal, se os canais não foram obstruídos em toda a sua extensão.

A saber, os principais dados que foram utilizados para se fazer a familiarização dos equipamentos juntamente com os testes preliminares para confecção destes canais, são:

- Tipo de processo de soldagem MIG/MAG no modo curto-circuito;
- Equipamentos a serem utilizados:
 - Fonte de soldagem IMC Inversal 450
 - Alimentador de arame IMC STA – 20
 - Arame-eletrodo ER70S-6
 - Mesa de Coordenadas SOLDAMATIC XY-T

- Equipamento de controle de deslocamento da tocha
- Parâmetros de soldagem:
 - Gás de proteção: mistura de Argônio (Ar) com CO₂ (85%Ar+15%CO₂);
 - $V_{al} = 3 \text{ m/min}$;
 - $U = 16,5 \text{ volts}$;
 - Ângulo de inclinação da tocha = 15° ;
 - DBCP = 16 mm;
 - $V_L = 4 \text{ mm/s}$;
 - d (distância entre centro dos cordões-paredes) = 4 mm;
 - Tecimento: $V_{L,tec} = 4 \text{ mm/s}$, $V_{al,tec} = 2 \text{ m/min}$, $\Delta\theta \sim 5^\circ - 10^\circ$, $f = 1,5 \text{ Hz}$.

Em seguida, com base em planejamentos experimentais, foi estudado o efeito dos parâmetros variando-se estes em torno dos valores supracitados, buscando os valores mais promissores para formação dos canais superficiais. No próximo capítulo são apresentados os resultados obtidos.

CAPÍTULO V

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro teste foi verificar a influência da variação da velocidade de alimentação do arame, V_{al} , deixando os demais parâmetros, informados no capítulo anterior, constantes. A finalidade desse teste, foi verificar qual seria o melhor cordão linear para confecção dos cordões-paredes. Na Tabela 5.1, estão os valores dos parâmetros que foram usados e medidos durante a soldagem.

Tabela 5.1 - Parâmetros utilizados para verificar a influência da Velocidade de Alimentação no Arame.

Amostras	Parâmetros Regulados			Parâmetros monitorados	
	V _{al} (m/min)	V _L (mm/s)	DBCP (mm)	U (V)	I (A)
1	2,0	4,0	16	17,9	42
2	2,5			18,1	62
3	3,0			18,4	74
V _{al} = velocidade de alimentação do arame, V _L = velocidade linear de soldagem, U = tensão de soldagem, I = corrente de soldagem					

A Figura 5.1 mostra o aspecto dos cordões de solda para os valores informados acima.

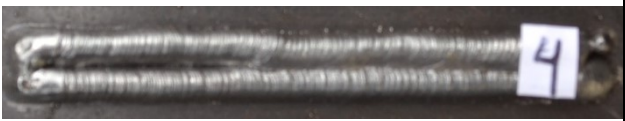
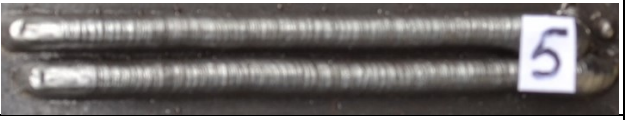


Figura 5.1 - Avaliação da velocidade de alimentação do arame com 2,0 m/min (1), 2,5 m/min (2) e 3,0 m/min (AUTOR, 2017).

Pelos resultados da figura anterior, percebe-se que o cordão-parede número 3 com $V_{al} = 3,0$ m/min parece ser mais promissor para a confecção dos canais, porque ele é mais alto menos irregular e mais robusto, portanto, este valor foi definido para fazer os cordões-paredes deste trabalho.

A segunda parte do trabalho, avaliou a distância entre centros dos cordões-paredes. Foram confeccionados cordões com distância de 3 mm e 4 mm entre eles. A Tabela 5.2 apresenta os resultados.

Tabela 5.2 - Avaliação da distância entre centros dos cordões-paredes.

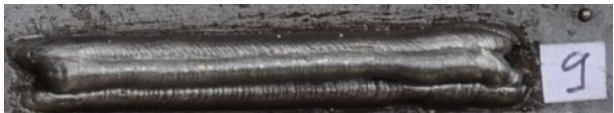
Amostras	d (mm)	Cordões-paredes
4	3	
5	3	
6	4	
7	4	
d = distância entre centros dos cordões-paredes		

Nas amostras 4 e 5 foi utilizado a distância entre centro dos canais de 3 mm e nas amostras 6 e 7, o valor de 4 mm. Percebe-se pelas imagens que a distância de 4 mm

apresentou um canal melhor, ou seja, mais largo. Embora o canal da amostra 5 esteja bom, há alguns casos que devido à proximidade, o segundo cordão a ser depositado acabava encostando no outro como pode ser visto na amostra 4. Portanto, para os próximos testes foi usado o valor de 4 mm entre os canais.

O próximo passo, foi avaliar se já era possível formar o canal com somente uma camada de cordões-paredes. Então a abordagem realizada foi depositar uma segunda camada, porém diminuindo a distância entre os centros dos cordões para que eles se juntassem fechando o canal (Tab. 5.3).

Tabela 5.3 - Avaliação da deposição de uma segunda camada de cordões para fechamento do canal superficial.

Amostras	d (mm)	Cordões-paredes
8	3	
9	3	

Essa abordagem não se mostrou muito viável com somente uma camada de cordões, pois em ambos os casos houve a obstrução do canal. Mesmo que alguma dessas amostras tivessem obtido êxito, deve-se lembrar que buscamos repetibilidade e neste caso a probabilidade de o canal fechar é muita alta, portanto, esta técnica não foi adequada.

O próximo teste foi tentar fechar o canal somente com uma camada, porém, utilizando a técnica de tecimento (Tab. 5.4).

Tabela 5.4 - Avaliação da técnica de tecimento para fechamento do canal superficial.

Amostra	Parâmetros Tecimento				Cordão-parede
	$V_{al,tec}$ (m/min)	$V_{L,tec}$ (mm/s)	f (Hz)	$\Delta\theta$ (°)	
10	3,0	4,0	2,0	5,0	
$V_{al,tec}$ = velocidade de alimentação do arame no tecimento, $V_{L,tec}$ = velocidade linear de soldagem no tecimento, f = frequência, $\Delta\theta$ = oscilação do tecimento					

A técnica de tecimento se mostrou promissora mas nota-se pela avaliação da figura na tabela acima que, houve falta de deposição de material e as prováveis causas é a velocidade de soldagem linear, que estava elevada, ou a frequência de oscilação, que se

estiver muito alta pode acelerar o movimento da tocha, e/ou o ângulo de oscilação do movimento de pêndulo que, por ter que espalhar a mesma quantidade de material por uma área maior, também pode ter contribuído para a falta de material na solda, portanto, outros testes foram realizados mas diminuindo estes valores citados.

Foram feitos outros canais superficiais com cordões-paredes de uma só camada variando os parâmetros do tecimento conforme Tab. 5.5 abaixo.

Tabela 5.5 - Avaliação da técnica de tecimento para fechamento do canal superficial com novos parâmetros.

Amostras	Parâmetros Tecimento				Cordões-paredes
	V_{al} (m/min)	$V_{L,tec}$ (mm/s)	F (Hz)	$\Delta\theta$ (°)	
11	2,0	2,0	1,0	3,0	
12	2,0	2,5	1,0	3,0	
13	2,0	1,0	1,0	3,0	

Todas as três amostras mostradas na tabela acima tiveram bom acabamento superficial. Porém nota-se que a amostra 13 teve deposição de material em demasia, logo percebe-se que a velocidade linear no tecimento ($V_{L,tec}$) foi baixa, portanto, para as próximas amostras, foram usados valores entre 1,5 e 2,5 para esta velocidade. Ao introduzir um fio de cobre no canal das três amostras, foi possível comprovar que somente a amostra 13 teve o canal sem obstrução, como pode ser observado na Fig. 5.2.

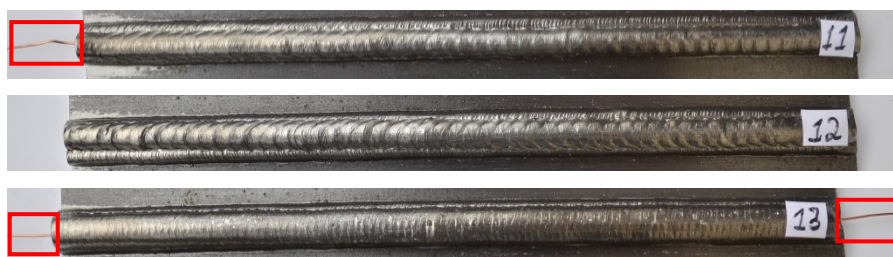
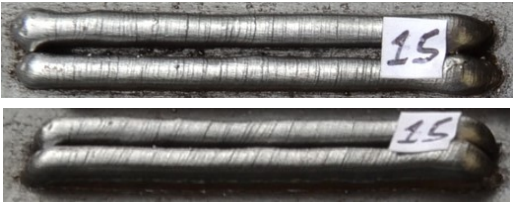


Figura 5.2 - Avaliação do orifício do canal superficial (AUTOR, 2017).

Como ainda é comum o canal com uma camada de cordões-paredes se obstruir em algum momento de sua confecção, foi necessário usar a técnicas de manufatura aditiva para fazer cordões-paredes com duas camadas sobrepostas, portanto, as próximas amostras utilizaram esta técnica. Na Tabela 5.6 pode ser visto os parâmetros de soldagem que foram utilizados e o aspecto visual dos canais superficiais.

Tabela 5.6 - Avaliação dos cordões-paredes sobrepostos.

Amostra	Parâmetros da Segunda Camada			Cordão-parede
	V_{al} (m/min)	VL (mm/s)	d (mm)	
14	2,5	4,0	4,0	
15	2,5	4,0	4,0	

A velocidade de alimentação do arame (V_{al}) para confecção da segunda camada sofreu redução de 3,0 m/min para 2,5 m/min. A ideia por trás dessa redução era evitar que muito material fosse depositado e pudesse fechar o canal, pois a intenção é formar um orifício mais bem definido para ser fechado através do tecimento ou um único cordão de solda depositado no centro do canal. Pela avaliação das imagens da tabela acima, percebe-se que os cordões-paredes estão mais altos e bem definidos, principalmente quando comparamos com um caso que possui somente uma camada, como pode ser visto na Fig. 5.3.

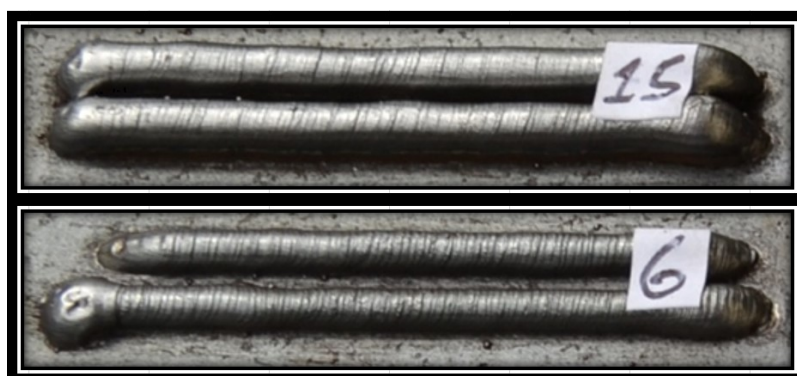


Figura 5.3 - Figure 5.3 - Comparação dos cordões-paredes com uma e duas camadas (AUTOR, 2017).

Como pôde ser observado, utilizando a técnica de manufatura aditiva com camadas duplas, é mais interessante para fazer os cordões-paredes pré-depositados. Na Figura 5.4 pode ser observado o resultado do fechamento dos canais ao depositar somente um cordão no centro com velocidade de alimentação (V_{al}) de 2,5 m/min.

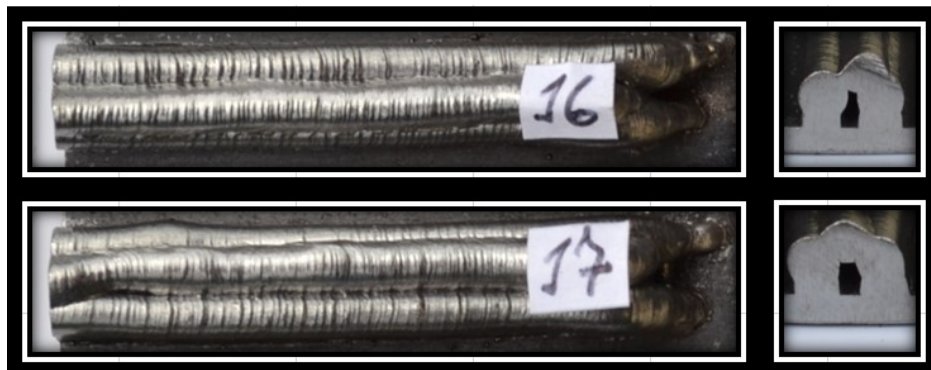


Figura 5.4 - Cordões-paredes com duas camadas sobrepostas fechados com um único cordão de solda (AUTOR, 2017).

A utilização de camadas sobrepostas foi melhor do que a utilização de somente uma, pois mesmo usando somente um cordão de solda no centro foi possível fechar os canais (16) e (17) com sucesso. A Tabela. 5.7 mostra os resultados para o fechamento de cordões-paredes duplos e os parâmetros utilizados com tecimento.

Tabela 5.7 - Avaliação dos cordões-paredes duplos recobertos com tecimento.

Amostra	Parâmetros do tecimento				Cordão-parede
	V_{al} (m/min)	VL,tec (mm/s)	F (Hz)	$\Delta\theta$ (°)	
18	2,5	3,0	1,0	3,0	
19	2,5	3,0	1,0	3,0	
20	2,0	3,0	1,0	3,0	
21	2,5	3,0	1,0	3,0	

Na Figura 5.5, pode ser visto as dimensões dos canais superficiais.

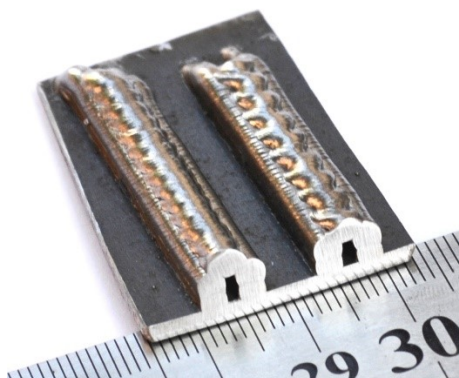


Figura 5.5 - Dimensões dos canais superficiais (AUTOR, 2017)

Em todos os casos acima não houve obstrução do canal. Quanto ao tecimento, novos parâmetros foram testados com a finalidade de melhorar o acabamento superficial, deixando menos irregular por fora e o que pode deixar o canal menos irregular também internamente, portanto, na maioria das próximas amostras foram reduzidos o valor da velocidade linear no tecimento (VL,tec). Outro parâmetro alterado foi o da velocidade de alimentação do arame (V_{al}) como pode ser visto na Tab. 5.8.

Tabela 5.8 - Avaliação dos cordões-paredes com outros parâmetros de tecimento.

Amostras	Parâmetros do tecimento				Cordão-parede
	V_{al} (m/min)	VL,tec (mm/s)	F (Hz)	$\Delta\theta$ (°)	
22	2,0	2,0	1,0	3,0	
23	2,5	3,0	1,0	3,0	
24	2,0	2,0	1,0	3,0	
25	2,0	2,0	1,0	3,0	
26	2,0	2,0	1,0	3,0	

Através dos resultados da tabela acima, o melhor resultado foi apresentado pelo canal superficial (24) que além de ter um aspecto superficial muito bom, também não houve obstrução do canal interno. As amostras 25 e 26 também não tiveram obstrução do canal como pode ser visto na Fig. 5.5. Percebe-se que na amostra (25) houve um deslocamento durante o tecimento, porém, especificamente neste caso, a segunda camada foi feita com uma velocidade de alimentação menor de 2,0 m/min, em vez de 2,5 m/min como nos outros casos, o que diminuiu a quantidade de material na parte superior dos cordões-paredes. Portanto, o tecimento com esses mesmos parâmetros das amostras (24) e (26) se mostrou inadequado para fechar os cordões-paredes da amostra (25).

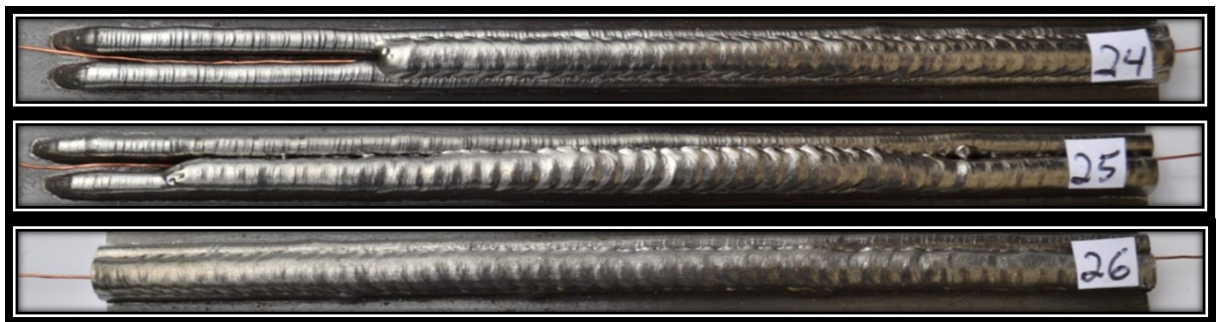


Figura 5.6 - Canais superficiais sem obstrução do canal interno (AUTOR, 2017).

Ao final deste trabalho, os parâmetros de soldagem que apresentaram os melhores resultados foram:

- Gás de proteção: mistura de Argônio (Ar) com CO₂ (85%Ar+15%CO₂);
- $V_{al} = 3 \text{ m/min}$;
- $U = 18,4 \text{ volts}$;
- Ângulo de inclinação da tocha = 15°;
- DBCP = 16 mm;
- Parâmetros da primeira camada de cordões-paredes:
 - $V_{al} = 3 \text{ m/min}$
 - $V_L = 4 \text{ mm/s}$
 - d (distância entre centros dos cordões-paredes) = 4 mm
- Parâmetros da segunda camada de cordões-paredes:
 - $V_{al} = 2,5 \text{ m/min}$
 - $V_L = 4 \text{ mm/s}$
 - d (distância entre centros dos cordões-paredes) = 4 mm

- Tecimento:
 - $V_{L,tec} = 2,0 \text{ mm/s};$
 - $V_{al,tec} = 2,0 \text{ m/min};$
 - $\Delta\theta = 3,0^\circ;$
 - $f = 1,0 \text{ Hz}.$

CAPÍTULO VI

6 CONCLUSÃO

Considerando que, o objetivo principal deste trabalho foi mecanizar a fabricação de canais superficiais, substituindo o soldador por uma mesa de coordenadas, pode-se concluir que:

- ✓ Mesmo uma pessoa que tenha pouco conhecimento na área de soldagem ou pouco preparo para utilização dos equipamentos, é possível utilizar a mesa de coordenadas XY-T com o Equipamento de Controle desenvolvido pela equipe do LAPROSOLDA para automatização desta técnica em questão, uma vez que se faça um treinamento e planejamento para usar os parâmetros certos de soldagem.
- ✓ Os canais apresentaram melhor desempenho quando se utilizaram dois cordões-paredes sobrepostos, ou seja, utilizando a técnica de manufatura aditiva;
- ✓ A velocidade alimentação (V_{al}) de 3,0 m/min apresentou o melhor resultado para confecção dos cordões-paredes da primeira camada;
- ✓ Para segunda camada de cordões-paredes, a velocidade de alimentação (V_{al}) de 2,5 m/min apresentou o melhor resultado;
- ✓ O melhor valor para distância entre centros dos canais (d) foi de 4 mm;
- ✓ Dentre as técnicas utilizadas para se fazer o recobrimento dos cordões-paredes, o tecimento e a adição de um único cordão de solda no centro dos canais, foram as melhores opções;

✓ Em relação ao tecimento para recobrir os canais, os melhores valores para os parâmetros de velocidade linear no tecimento ($V_{L,tec}$), velocidade de alimentação no tecimento ($V_{al,tec}$), ângulo de oscilação do tecimento ($\Delta\theta$) e frequência, foram respectivamente, 2,0 mm/s, 2 m/min, 3,0° e 1,0 Hz.

CAPÍTULO VII

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para dar continuidade a esse trabalho e buscar o melhor método para automatização da fabricação de canais superficiais, são feitas as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- ✓ Com a mesa de coordenadas, avaliar outros padrões de tecimento para fazer o recobrimento dos canais visando um melhor desempenho;
- ✓ Utilizar a mesma bancada experimental para confecção de canais não retilíneos;
- ✓ Avaliar a utilização de um robô para confecção de canais retilíneos e não retilíneos;
- ✓ Aprimorar o equipamento de controle de deslocamento da tocha para salvar parâmetros de soldagem para evitar necessidade de reconfiguração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBA, D. R. **Influência dos parâmetros sobre a geometria dos cordões produzidos por soldagem MAG robotizada**. 28 f. Monografia de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2013. Disponível em:

<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/66442/000870998.pdf?sequence=1>>.

Acesso em: 24/07/2017.

CRUZ JÚNIOR, S. C. **Desenvolvimento de uma plataforma elaborada para projetos de sistemas embarcados reconfiguráveis (ARM7 e FPGA)**. 234 f. Dissertação (mestrado) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/12026>>. Acesso em: 28/07/2017.

FORTES, C; VAZ, C. T. **Apostila de Soldagem MIG/MAG**. ESAB BR. São Paulo, 2005.

Disponível em:

<http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901104rev0_apostilasoldagemmigmag_low.pdf>. Acesso em: 24/07/2017.

JORGE, V. L. **Equipamento de controle do deslocamento da tocha para realização de diferentes tipos de tecimentos incluindo a soldagem MIG switch back**. 59 f. Monografia de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2014.

LEMES, M. M. **Montagem, instrumentação e validação de um equipamento de ensaio de desgaste abrasivo do tipo roda-de-borracha**. 111 f. Monografia de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2015.

MARTINS FILHO, E. G. **Estudo da influência relativa das variáveis do processo de soldagem MIG-MAG (GMAW) no passe de raiz**. 86 f. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2012. Disponível em: <http://www.posmat.cefetmg.br/galerias/arquivos_download/Mestrado/Dissertacoes/Euclides_Pinto_11.2012-Celeste.pdf>. Acesso em: 25/07/2017.

PEREZ, F. R. da C. **A influência da temperatura de pré-aquecimento e tecimento na microestrutura e propriedades mecânicas na soldagem MIG/MAG robotizada de aços**

SAE 8620 com ABNT LN28. 113 f. Dissertação (mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Bauru, SP, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/136682/000545547.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 27/07/2017.

POSSEBON, S. **Utilização de MIG/MAG com curto-circuito controlado na soldagem em operação.** 132 f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/21397/000737211.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 27/07/2017.

SCOTTI, Américo; PONOMAREV, Vladimir. **Soldagem MIG/MAG.** São Paulo, Editora. Artliber Ltda: 2008.

TOKAR, A. **Confecção de canais subsuperficiais de resfriamento/aquecimento em peças metálicas pela ação de um arco de soldagem.** 150 f. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14778/1/ConfeccaoCanaisSubsuperficiais.pdf>>. Acesso em: 24/07/2017.

ZIBEROV, M. **Avaliação da pulsação térmica para controle da poça de fusão em soldagem de raiz com MIG/MAG automatizado.** 93 f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14992/1/AvaliacaoPulsacaoTermica.pdf>>. Acesso em: 26/07/2017.

ANEXO A – Manual do equipamento de deslocamento da tocha

47

Capítulo V – Manual do Equipamento

CAPÍTULO V

5 Manual do Equipamento

5.1 – Funcionamento e Conexões

O equipamento de controle para a mesa de coordenadas possui alimentação 5V. Para isso o sistema utiliza uma fonte externa que pode ser ligada nas tensões 220V ou 110V, convertendo-as para a nominal de operação do equipamento. Ele não possui chave para I/O, podendo ser a qualquer momento energizado ou desenergizado pela conectividade da fonte, assim que é alimentado, seu programa é inicializado e de forma imediata pode ser operado pelo display sensível ao toque. O equipamento possui apenas um botão externo que pode ser acionado pelo operador com a função Reset, ou seja, caso seja necessário limpar as variáveis de armazenamento de pontos, vetores utilizados para guardar coordenadas, ou caso o equipamento ofereça alguma falha ou travamento, assim que o botão Reset for pressionado (Figura 23) o software é reinicializado e todas as configurações de estágio inicial são carregadas.

Capítulo V – Manual do Equipamento



Figura 23 - Botão Reset do equipamento de controle

É necessário certificar que o cabo de conexão para porta paralela esteja conectado ao quadro de comando, conforme a **figura 24**.



Figura 24 - Vista lateral do quadro de comando

Para iniciar a movimentação da mesa é necessário que após ligar o equipamento de controle, o quadro de comando seja energizado, por meio do botão verde ilustrado na **figura 25**.

5.2 – Livre Movimento da Mesa

Esta opção permite o livre deslocamento da tocha, de forma a posicioná-la para a execução da solda por meio de outras funções (Solda Linear, Marcação de Pontos e Tecimento). Primeiramente é importante definir uma posição inicial, ou seja, escolher uma posição de referência em que as coordenadas dos eixos X e Y são respectivamente 0 e 0 (Origem). Desta forma o posicionamento ocupado pela tocha, informado no canto superior esquerdo (Figura 27) é informado em relação ao ponto de origem definido. Após a movimentação, basta que o botão *P-Inicial* seja pressionado para definição da origem do sistema de coordenadas da mesa.



Figura 27 - Menu para livre movimento da mesa do equipamento de controle

Para movimentar a tocha, são dispostos no display quatro botões: X+, X-, Y+ e Y-. A cada vez que o sistema operacional do equipamento reconhece o pressionamento destes botões, a tocha é deslocada de acordo com o passo que

Capítulo V – Manual do Equipamento

pode ser escolhido pelos quatro botões azuis no canto superior direito, **figura 27**. São quatro possibilidades para escolha do passo:

- Botão 50: Determina um passo de 50 mm a 40 mm/s de velocidade, a cada vez que os botões de deslocamento são pressionados.
- Botão 10: Determina um passo de 10 mm a 20 mm/s de velocidade, a cada vez que os botões de deslocamento são pressionados.
- Botão 1: Determina um passo de 1 mm a 1mm/s de velocidade, a cada vez que os botões de deslocamento são pressionados.
- Botão Min: Determina um passo de 0.0625 mm a 1mm/s de velocidade, a cada vez que os botões de deslocamento são pressionados.

Caso o operador queira escolher um passo e uma velocidade de deslocamento específica para movimentação, o recurso parâmetros pode ser acessado pressionando o botão *Parâmetros*.

O botão *Origem* permite que a posição inicial (anteriormente definida) seja rapidamente ocupada pela tocha. Caso o usuário queira voltar ao menu inicial onde estão dispostas demais funções, o botão *Menu* deverá ser pressionado.

5.3 – Solda Linear

Esta opção pode ser escolhida em casos de cordões de solda lineares sem desvios na direção, ou seja, quando apenas um eixo é utilizado. A trajetória percorrida pode ser realizada em qualquer eixo respectivo sentido de deslocamento.

Primeiramente devem ser determinados parâmetros (tamanho do cordão, velocidade de deslocamento, e sentido de movimento) pressionando o botão *Parâmetros*, como mostrado na **Figura 28**.

Capítulo V – Manual do Equipamento



Figura 28 - Menu para solda linear do equipamento de controle

Quando este botão for pressionado, automaticamente uma janela de seletividade de valores é aberta, figura 29.

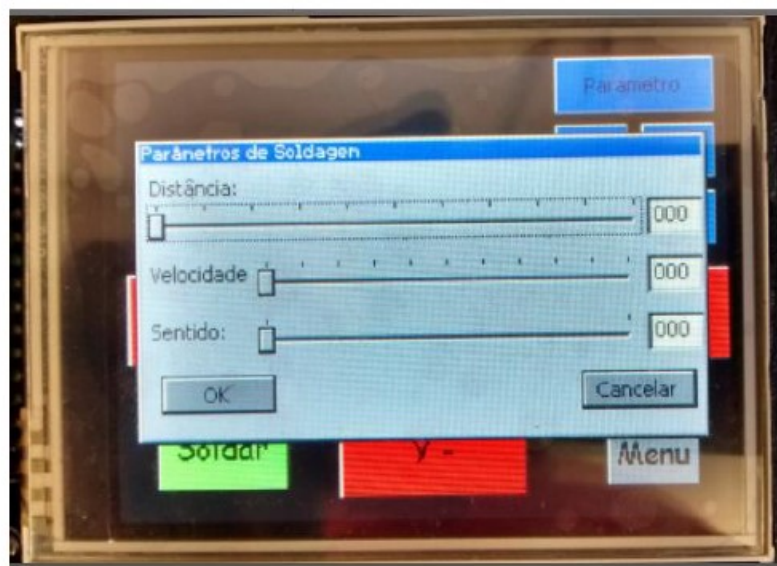


Figura 29 - Menu para seletividade dos parâmetros de soldagem

Capítulo V – Manual do Equipamento

O tamanho do cordão pode ser escolhido no campo deslocamento, podendo variar de 1 mm até 250 mm. Este valor pode ser alterado de acordo com o posicionamento da barra de deslocamento (Slider) pelo display, **figura 29**. Da mesma forma acontece com a velocidade de soldagem, devendo ser alterada no respectivo campo, assumindo valores entre 1 mm/s a 75 mm/s. No campo sentido são possíveis as escolhas 1 e 2 (1 para deslocamento nos sentidos de X-, Y-, e 2 para X+, Y+).

Quando os parâmetros forem ajustados, o botão *Ok* deverá ser pressionado para armazená-los no programa. Para iniciar a solda, basta que o operador escolha o eixo que desempenhará o movimento, pressionando os botões *Executar em Y* ou *Executar em X*. Ainda nesta tela do programa, o botão *Origem* permite que a tocha seja retomada para posição inicial e caso o usuário queira voltar ao menu inicial onde estão dispostas demais funções, o botão *Menu* deverá ser pressionado.

5.4 – Marcação de Pontos

A marcação de pontos possibilita que uma trajetória formada por pontos seja percorrida pela tocha, permitindo a distinção da velocidade de deslocamento entre trechos da trajetória compreendidos entre dois pontos, por exemplo, caso o operador necessite marcar 3 pontos sucessivos, a velocidade da trajetória correspondente entre o primeiro e segundo pontos poderá ser diferente da trajetória referente ao segundo e terceiro pontos. A tela referente a esta função é mostrada na **figura []**.

Capítulo V – Manual do Equipamento



Figura 30 - Menu marcação de ponto do equipamento de controle

Os botões X+, X-, Y+, Y- permitem o deslocamento da tocha para seleção dos pontos para serem marcados. O funcionamento deles e seus respectivos passos de deslocamento funcionam de forma análoga aos pertencentes à tela Livre Movimento da Mesa, exposto no item 5.2. Desta forma, quando a coordenada ocupada pela tocha corresponde ao ponto escolhido, basta salvá-lo pressionando o botão salvar. Entretanto é importante destacar que, pelo botão *Parâmetro* é necessário determinar a velocidade de deslocamento entre o ponto a ser salvo e o ponto anteriormente marcado, a janela parâmetro é mostrada na [Figura 31](#).

Capítulo V – Manual do Equipamento

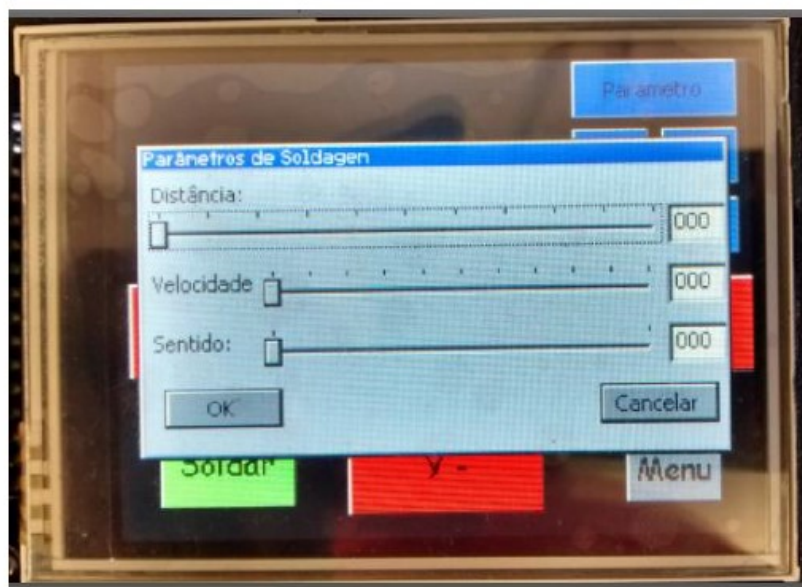


Figura 31 - Menu para seletividade dos parâmetros de soldagem

Utilizando a função marcação de pontos, esta janela dispensa que os campos deslocamento e sentido sejam alterados, bastando somente a modificação do campo velocidade para escolha da velocidade da trajetória. O número de pontos salvos é mostrado logo abaixo das coordenadas ocupadas pela tocha, como pode ser visualizado na [Figura 30](#).

Quando todos os pontos forem marcados, início da trajetória pode ser retomada pelo botão *Origem*. Assim que a tocha ocupar sua posição inicial, a solda poderá ser iniciada pelo botão *Soldar*. Caso o usuário queira voltar ao menu inicial onde estão dispostas demais funções, o botão *Menu* deverá ser pressionado.