

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA**

**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

MAX BARANENKO RODRIGUES

**SENSORIAMENTO DO ARCO NA SOLDAGEM MIG/MAG ROBOTIZADA
VISANDO O CONTROLE DA DISTÂNCIA DO BICO DE CONTATO À PEÇA**

FLORIANÓPOLIS, DEZEMBRO DE 2017

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

MAX BARANENKO RODRIGUES

**SENSORIAMENTO DO ARCO NA SOLDAGEM MIG/MAG ROBOTIZADA
VISANDO O CONTROLE DA DISTÂNCIA DO BICO DE CONTATO À PEÇA**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Mecatrônica do Departamento de Metal Mecânica do Instituto Federal de Santa Catarina como requisito para obtenção do Título de Engenheiro Mecatrônico.

Orientador: Prof. Dr. Erwin Werner Teichmann

FLORIANÓPOLIS, DEZEMBRO DE 2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Rodrigues, Max Baranenko

**Sensoriamento do Arco na Soldagem MIG/MAG Robotizada
Visando o Controle da Distância de Bico de Contato à Peça
/ Max Baranenko Rodrigues ; orientação de Erwin Werner
Teichmann. - Florianópolis, SC, 2018.**

85 p.

**Monografia de Especialização - Instituto Federal de
Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Mecatrônica. Departamento Acadêmico
de Metal Mecânica.**

Inclui Referências.

**1. Protocolo RS232. 2. Soldagem Robotizada. 3. MIG/MAG
convencional. 4. Influências arco-elétrico. I. Teichmann,
Erwin Werner. II. Instituto Federal de Santa
Catarina. Departamento Acadêmico de Metal Mecânica.
III. Título.**

**SENSORIAMENTO DO ARCO NA SOLDAGEM MIG/MAG
ROBOTIZADA VISANDO O CONTROLE DA DISTÂNCIA DO BICO DE
CONTATO À PEÇA**

MAX BARANENKO RODRIGUES

Esse trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecatrônica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

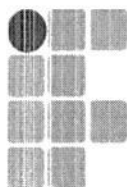
Florianópolis, 15 de dezembro, 2017.

Banca Examinadora:

Erwin Werner Teichmann, Doutor em Engenharia Mecânica

Cynthia Beatriz Schaeffer Dutra, Doutora em Automação e Sistemas

Nelso Gauze Bonacorso, Pós-Doutor em Engenharia Mecânica



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS

DECLARAÇÃO DE FINALIZAÇÃO DE TRABALHO DE CURSO

Declaro que o(a) estudante **Max Baranenko Rodrigues**, matrícula n° 1310045720, do Curso de Engenharia Mecatrônica, defendeu o trabalho intitulado **CONTROLE DA DISTÂNCIA BICO DE CONTATO À PEÇA VIA SENSORIAMENTO DO ARCO NA SOLDAGEM MIG/MAG ROBOTIZADA**, o qual está apto a fazer parte do banco de dados da Biblioteca Hercílio Luz do Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis.

Florianópolis, 15 de Dezembro de 2017.

Prof. Orientador do TCC: Erwin Werner Teichmann

AGRADECIMENTOS

À minha namorada, Marina, por sempre acreditar em mim e por todo apoio nos momentos mais difíceis.

À minha família, por todo amor e apoio nas minhas decisões e pelo incentivo que sempre recebi ao longo do meu curso.

Ao meu orientador Erwin, por toda atenção, ajuda e conhecimento passado ao longo do trabalho e curso.

Ao Prof. Nelso pelo modelo de dedicação e vocação ao trabalho científico demonstrado ao longo de minha graduação.

À empresa IMC soldagem, por meio do seu diretor Raul Gohr Junior, que se disponibilizou para ajudar em todas as etapas do trabalho.

Aos meus amigos Kisa, Marcos, Michel, Vinícius, Gabrielli, Kallin e Taciele, por toda parceria e risadas ao longo dos 5 anos.

RESUMO

A indústria metalmecânica brasileira está em seu limite de produção para atender as demandas atuais de peças. Métodos estão surgindo para automatizar diversos processos de fabricação e, dessa forma, aumentar a produtividade e reduzir custos para tornar o setor industrial brasileiro competitivo no mercado. A automatização dos processos de fabricações envolvidos na construção de embarcações, automóveis e demais estruturas mecânicas é primordial para manter os setores automobilístico e naval brasileiro em sua melhor capacidade produtiva. Uma das formas de otimizar o tempo de produção é viabilizar e analisar o processo de soldagem aplicado na fabricação de peças estruturais, sendo esse processo, o componente principal do tempo de processo para esses setores. Nesse contexto, este trabalho aborda o desenvolvimento e análise de uma técnica relacionada à automatização do processo MIG/MAG. Superfícies inclinadas e com geometrias complexas são de difícil soldagem, dessa forma, analisou-se o controle da distância entre o bico de contato à peça (DBCP) de maneira eficaz utilizando o arco elétrico como sensor, em diferentes superfícies de soldagem. Para tanto, foi necessário o estabelecimento de um algoritmo para determinar o comprimento de arco e correção desse, de acordo com a corrente média obtida pela fonte. Basicamente serão analisadas duas variáveis: DBCP e monitoramento de corrente média resultante. Além disso, este trabalho descreve a comunicação serial realizada entre a fonte e o controlador do robô FANUC que se mostrou de difícil operacionalidade devido haver uma escassez sobre o assunto. Os resultados evidenciaram a necessidade da modificação da aquisição da corrente média de referência para tempos maiores e a possibilidade do controle eficaz do processo MIG/MAG convencional.

Palavras-chave: Protocolo RS232, Soldagem Robotizada, MIG/MAG convencional, Influências arco-elétrico

ABSTRACT

The Brazilian metalworking industry is at its production limit to provide pieces for its demands. Many methods have been created to automate the manufacturing processes which increase productivity and reduce costs to improve the Brazilian industrial sector to a competitive place in the global market. The automation of the manufacturing process involving shipbuilding, cars industry and other mechanical structures keeps the Brazilian automotive and naval sectors in the best productivity. There are many ways to optimize the "in process" time, one of them, is to provide a fine analysis of the welding process applied on some structural production. This work addresses the development and analysis of an automation technique for MIG/MAG process. Uneven surfaces and complex geometries, increase the complexity for the welding process without automation. Therefore, this work proposes an automatic contact tip distance control using the arc-sensing in different surfaces. An algorithm was developed in order to determine that distance and the correction factor using the arc-sensing in different surfaces. Basically, two variants will be analyzed: stick out and the average current of the source. In addition, this work also describes the serial communication between the welding source and the FANUC robot's controller which was difficult to implement because of the lack of information about this subject. The results showed the need to modify the acquisition of average current in longer periods of time and the effectiveness of the process.

Key-words: RS232 protocol, Welding Automation, MIG/MAG, Influences on the arc

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Sistema de sensoriamento de trajetória via LASER.....	18
Figura 2- Gabinete COMARCIII e robô MOTOMANN UP6	19
Figura 3- Transferência metálica por spray	20
Figura 4- Corrente MIG/MAG pulsado.....	21
Figura 5- Comportamento da corrente média em uma soldagem de junta chanfrada em ensaio sincronizado com aquisições de dados elétricos.....	23
Figura 6- Resistência elétrica e comprimento energizado do arco.....	24
Figura 7- Configuração DB9 e DB25 RS232	27
Figura 8-Comportamento do controlador e integração com o computador	28
Figura 9- Bancada do laboratório de soldagem do IFSC/ Florianópolis	30
Figura 10- Módulos de entradas e saídas digitais	31
Figura 11- Entrada conector TLL da fonte IMC DIGIPLUS	32
Figura 12- Conectores DB9 e DB25 conexões RS232.....	34
Figura 13- Controlador R30iA e computador do laboratório de soldagem IFSC	34
Figura 14-Conexões do cabo da fonte IMC DIGIPLUS A7.....	35
Figura 15- Cabos confeccionados para comunicação via RS232	35
Figura 16- Programa Commander.....	37
Figura 17- Programa OLPROPC.....	38
Figura 18- Portas de Comunicação controlador R30iA	39
Figura 19- Registrador #KAREL_ENB do controlador R30iA.....	40
Figura 20- Aplicativo celular Android.....	43
Figura 21- Medição com esquadro com fio	44
Figura 22- Medição da DBCP utilizando o calibre fornecido pelo laboratório de soldagem	45
Figura 23-Ensaio dos parâmetros MIG/MAG pulsado.....	46
Figura 24- Ensaio dos parâmetros MIG/MAG convencional.....	47

Figura 25- Preparação corpos de prova para os ensaios MIG/MAG pulsado e MIG/MAG convencional.....	49
Figura 26-Correntes instantâneas obtidas pelo SAP 4.33s da IMC para a soldagem MIG/MAG convencional.....	50
Figura 27-Tensões instantâneas obtidas pelo SAP 4.33s da IMC para a soldagem MIG/MAG convencional.....	51
Figura 28- Cordões do ensaio MIG/MAG convencional para aquisição dos dados ..	52
Figura 29- Trajetória percorrida pelo robô em diferentes comprimentos energizados do arco.....	53
Figura 30- Tratamento de dados da corrente instantânea da soldagem MIG/MAG convencional.....	55
Figura 31- Gráfico da variação da distância de bico de contato à peça (DBCP) e tempo para a soldagem MIG/MAG convencional	57
Figura 32- Gráfico da variação da distância de bico de contato à peça por corrente média da soldagem MIG/MAG convencional.....	58
Figura 33- Fluxograma funcionamento do controle para soldagem MIG/MAG convencional.....	61
Figura 34- Dispersão dos dados de corrente média da fonte IMC DIGIPLUS	62
Figura 35- Erro de atraso apresentado na programação KAREL e "Teach Pendant"	65
Figura 36- Gravando o endereço de posição e incrementando programação KAREL	66
Figura 37- Ensaio MIG/MAG convencional com controle sem os limites de correção corretos.....	68
Figura 38-Resultado de corrente instantânea utilizando o algoritmo I da soldagem MIG/MAG convencional via SAP 4.33s.....	70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivos Gerais.....	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 SISTEMAS DE CONTROLE DA DBCP DA SOLDAGEM MIG/MAG	16
2.1.1 Sensores de contato	17
2.1.2 Sensores remotos	17
2.2 PROCESSOS DE SOLDAGEM	19
2.2.1 Processo MIG/MAG convencional.....	19
2.2.2 Processo MIG/MAG pulsado.....	20
2.3 SISTEMAS DE CONTROLE DA DBCP QUE UTILIZAM O PRÓPRIO ARCO VOLTAICO COMO SENSOR	22
2.3.1 Comparação entre movimento da tocha e comportamento elétrico de soldagem na interpretação da DBCP	22
2.3.2 Variação da corrente ou tensão média devido a mudanças na resistência elétrica do comprimento energizado do arame-eletrodo.	23
2.4 COMUNICAÇÃO ENTRE ROBÔ E FONTE DE SOLDAGEM	25
2.4.1 Tipos de informação	25
2.4.2 Modos de comunicação	25
2.4.2.1 Protocolo de comunicação RS232.....	26
2.5 PROGRAMAÇÃO DO ROBÔ FANUC	27
2.5.1 Integração do robô FANUC entre KAREL e PC	27
3 MÉTODOS E MATERIAIS	28
4 DESENVOLVIMENTO	30

4.1 IMPLEMENTAÇÃO DA COMUNICAÇÃO SERIAL ENTRE O ROBÔ FANUC E A FONTE DE SOLDAGEM IMC DIGIPLUS A7.	30
4.1.1 Aquisição do sinal da Fonte de Soldagem IMC DIGIPLUS A7.....	30
4.1.2 Comunicação Digital entre o Robô FANUC e a Fonte de Soldagem IMC DIGIPLUS A7	32
4.1.3 Confecção do cabo lógico para comunicação serial RS232-C.....	33
4.1.4 Transferência de arquivos do computador para o controlador R30iA	36
4.1.5 Programação KAREL implementada para o envio e recebimento de dados	37
4.1.6 Configuração do controlador R30iA para a comunicação serial via RS232-C	38
4.1.6.1 Porta para comunicação via RS232-C	39
4.1.6.2 Endereços de variáveis do controlador R30iA	39
4.2 PROGRAMAÇÃO DA FONTE DE SOLDAGEM IMC DIGIPLUS A7	40
4.3 ENSAIOS DO PROCESSO MIG/MAG CONVENCIONAL VIA SENSORIAMENTO DO ARCO ELÉTRICO	42
4.3.1 Ajuste dos parâmetros para controle da soldagem MIG/MAG convencional	43
4.3.2 Parâmetros elétricos da soldagem MIG/MAG pulsado para ensaios preliminares.....	45
4.3.3 Parâmetros elétricos da soldagem MIG/MAG convencional para ensaios preliminares.....	46
4.4 ENSAIOS REALIZADOS PARA AQUISIÇÃO DOS SINAIS DE CORRENTE PELO SAP 4.33s DA IMC SOLDAGEM	48
4.4.1 Preparação dos corpos de provas para o ensaio e aquisição de dados ...	48
4.4.2 Aquisição dos dados pelo SAP 4.33s da IMC Soldagem	49
4.4.3 Metodologia utilizada para o controle da DBCP na soldagem MIG/MAG convencional	52
4.5 TRATAMENTO DOS DADOS PARA SE OBTER A RELAÇÃO ENTRE A DBCP E A CORRENTE MÉDIA DA SOLDAGEM MIG/MAG CONVENCIONAL .	54
4.5.1 Relação entre corrente média e tempo de soldagem.....	54
4.5.2 Relação entre DBCP e corrente média	56

4.6 VALIDAÇÃO DO CONTROLE DA DBCP VIA SENSORIAMENTO DO ARCO MIG/MAG CONVENCIONAL.....	59
4.6.1 Influência da aquisição de dados sobre o automatismo do controle de comprimento de arco.....	59
4.6.2 Validação das Implementações do controle.....	60
4.6.3 Influência da configuração e dos componentes de soldagem sobre a aquisição da corrente média e o automatismo.....	62
4.6.4 Programação KAREL e a gravação e reprodução da trajetória por incrementos.....	63
4.7 RESULTADO DO CONTROLE DO PROCESSO MIG/MAG CONVENCIONAL E TESTES	67
4.7.1 Comprimento inicial de aquisição de dados.....	67
4.7.2 Limites de correção.....	67
4.7.3 Incrementos	68
4.7.4 Resultados e análise do Algoritmo I.....	68
4.7.5 Resultados e análise do Algoritmo II.....	72
5 CONCLUSÃO	76
6 BIBLIOGRAFIA	77
APÊNDICES	79
APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO KAREL ALGORITMO I PARA O CONTROLE DA SOLDAGEM MIG/MAG CONVENCIONAL.....	79
APÊNDICE B – PROGRAMAÇÃO KAREL ALGORITMO II PARA O CONTROLE DA SOLDAGEM MIG/MAG CONVENCIONAL.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Im	Corrente de soldagem
Vs	Velocidade de soldagem
Va	Velocidade do arame de soldagem
Ua	Tensão de soldagem
Ks	Impedância de subida da corrente de soldagem
Ki	Impedância de descida da corrente de soldagem
Im	Corrente de soldagem
DBCP	Distância de bico de contato à peça
KL	KAREL
ΔIm	Varição da corrente de soldagem
TP	Teach Pendant
MIG	Metal Inactive Gas
MAG	Metal Active Gas
TIG	Tungsten Inert Gas
TxD	Dado Transmitido
RxD	Dado Recebido
RTS	Requisição de Transmissão
CTS	Pronto para Transmissão
DSR	Dispositivo de Transmissão Pronto
FTP	File Transfer Protocol
Ar-O2	Mistura gasosa de 98% de argônio e 2% de oxigênio
FR:	FROM Disk
FRA:	Backup
RD:	RAM Disk
C1:	FTP

MC:	Mem Card
MD:	Mem Device
CONS:	Console
UD1:	USB Disk
UT1:	USB on TP
FTP	File Transfer Protocol
SAP	Sistema de Aquisição Portátil IMC
MOP	Laboratório de Máquinas Operatrizes
PI	Laboratório dos Projetos Integradores
DAMM	Departamento de Metal Mecânica

1 INTRODUÇÃO

A automatização dos processos de fabricação surgiu com o intuito de aumentar a produtividade e ganhar cada vez mais mercado. Assim a conquista de liderança está relacionada a velocidade com que esses processos são desenvolvidos e melhorados. Uma das grandes vantagens do processo automatizado é a repetitividade, facilitando o desenvolvimento de estruturas com dimensões semelhantes e baixos erros dimensionais, garantindo dessa forma, peças mais homogêneas e maior confiabilidade para a empresa. Em diversos setores industriais acontece este fenômeno. Um exemplo são países como Alemanha e Japão que investiram em sistemas automatizados e mecanizados para suas indústrias metalmeccânicas, tornando-se grandes representantes atuais desse setor.

A soldagem é um processo de fabricação utilizado para que ocorra a união de duas estruturas, assim, fornecendo características mecânicas importantes para a estrutura final. O processo de soldagem MIG/MAG têm sido o que mais apresenta crescimento em termos de utilização em escala mundial. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009). Dessa forma, possui grandes vantagens se comparado a outros processos devido a sua grande variedade, aplicação a diversos materiais, juntas totalmente estanques e capacidade de suportar esforços no próprio plano diferente da rebiteagem. Sob a ótica de soldagem, a implementação de sistemas automatizados e robotizados torna-se efetiva, principalmente devido a possibilidade de realização do processo de soldagem por um longo período de tempo sem a perda da qualidade.

Apesar de todas as vantagens, grande parte dos setores industriais brasileiros ainda utilizam o processo de soldagem manual devido ao baixo custo de sua implementação. Fica evidente a necessidade de investimento na automatização da soldagem para que esse setor brasileiro se torne atrativo com o aumento da qualidade do processo. Além disso, a disponibilidade de equipamentos de soldagem nacionais ainda é escassa, sendo necessária a importação desses equipamentos de outros países que possuam o setor metalmeccânico mais desenvolvido, porém com elevados custos de aquisição.

De maneira geral, o desenvolvimento de equipamentos e técnicas de automatização do processo de soldagem representa um grande desafio para o setor industrial brasileiro. A automatização do processo para diferentes superfícies é fundamental para que se possa isentar o operador dessa função além de aumentar a produtividade do processo. Com a demanda brasileira crescendo cada vez mais e o desenvolvimento de tecnologias na área do processo de soldagem, faz-se necessário estudar soluções para problemas do setor metalmeccânico brasileiro, tornando-o mais competitivo em termos de preço e qualidade.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O sensoriamento do arco para correção da trajetória de soldagem, é um assunto já difundido na área, porém grande parte dos trabalhos científicos utilizam juntas chanfradas para realizar o controle da DBCP (distância de bico de contato à peça) e da posição da tocha em relação ao eixo do cordão. Um exemplo seria o controle realizado por Kalil et al. (2013) em sua dissertação : Evolução da técnica de seguimento de junta via sensoriamento do arco para operações de soldagem em posições forçadas. Porém, o controle apenas é realizado em juntas chanfradas, pois há necessidade do tecimento, ou costura como técnica para que haja a possibilidade do controle. A variação da corrente nas extremidades da junta durante o movimento oscilatório indica ao robô a posição relativa da tocha em relação à junta. Além disso, o sensoriamento de trajetória via LASER como opção de correção de posicionamento possui elevado custo de equipamento se comparado ao sensoriamento do arco, tornando-se inviável sua implementação em diversos processo industriais. (COSTA, 2003).

Visando suprir esses problemas, o seguinte trabalho possui uma proposta de implementar o sensoriamento do arco via o protocolo de comunicação RS232 para realizar a correção da DBCP, evitando dessa forma, a necessidade de juntas chanfradas assim como módulos adicionais para seu funcionamento.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos Gerais

Implementar um sistema de controle da DBCP do processo de soldagem MIG/MAG convencional para superfícies irregulares por meio do sensoriamento do arco.

1.2.2 Objetivos específicos

- Utilização do software off-line disponibilizado pela FANUC (OlpcPRO) para realização da programação KAREL do robô;
- Construção do hardware de integração entre a fonte para soldagem e o robô permitindo a troca de informações entre os equipamentos para o controle do processo;
- Análise dos sinais com o objetivo de determinar uma relação matemática entre a DBCP e a corrente média;
- Elaborar algoritmo de correção por meio de ensaios;
- Análise da efetividade do método para sensoriamento do arco, verificando dessa forma, a confiabilidade do método na soldagem MIG/MAG convencional.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Pensando na escassa tecnologia nacional na área de soldagem, o seguinte trabalho possui como propósito contribuir com a automatização do processo de soldagem MIG/MAG. A soldagem MIG/MAG tem sido usada na fabricação e manutenção de equipamentos e peças metálicas, na recuperação de peças desgastadas e no recobrimento de superfícies metálicas com materiais especiais. A

sua principal vantagem, é possuir um eletrodo consumível, assim garantindo, altas taxas de deposição, alto fator de ocupação do soldador e grande versatilidade quanto ao tipo de material e espessuras aplicáveis. Além disso, a implementação do controle desse processo robotizado é fundamental para a otimização da produtividade e da repetitividade da soldagem. Isto poderia garantir, além de uma melhora na competitividade no setor industrial, a realocação do operador de um ambiente insalubre, para uma atividade mais nobre como a análise dos dados da solda robotizada. As falhas são inerentes ao processo, porém sua frequência pode ser reduzida com a implantação do sistema de controle durante a soldagem. Para que sejam reduzidas as falhas é necessário que exista a implantação de sistemas de controle que testam o posicionamento da tocha, informando e compensando os parâmetros no momento da soldagem, para que o resultado seja assegurado. (SANTOS,2006, p.60-61).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SISTEMAS DE CONTROLE DA DBCP DA SOLDAGEM MIG/MAG

O aumento da produtividade é uma consequência da utilização de manipuladores robóticos para o processo de soldagem. Entretanto, para que ocorra esse tipo de emprego, há necessidade de corrigir regularmente a DBCP do robô em relação à peça a ser soldada. Uma forma de propor essa automação é utilizando sistemas capazes de adquirir por meio de sensores a posição da tocha e corrigir a DBCP conforme a variação das variáveis a serem interpretadas. Existem diversos tipos de sensores capazes de realizar essa função, assim como módulos prontos da própria FANUC para adquirir dados como tensão e corrente média da fonte de soldagem. Estes podem ser divididos em duas categorias básicas: sensores de contato e sensores remotos (LINDÉN,2008).

2.1.1 Sensores de contato

Este sensoriamento é o mais antigo, abrangendo sistemas mecânicos simples a sistemas eletromecânicos complexos. Um caso de sensoriamento eletromecânico é a utilização da sonda de contato. Nestes casos, uma sonda metálica entra em contato com a superfície da peça, gerando sinais elétricos para um sistema de controle.

As principais desvantagens dos sensores de contato são:

- O sensoriamento é distante da tocha de soldagem. Afetando a forma com que o sistema responderá;
- O sensor é suscetível a desgastes por estar em contato com a peça a ser soldada;
- Diminuição da acessibilidade da tocha devido a dispositivos adicionais.

2.1.2 Sensores remotos

Os sensores remotos tornaram-se mais populares nos últimos anos devido a diversos fatores agregados a seu funcionamento. Ao implementar esse tipo de sensoriamento, não há necessidade da adaptação da própria tocha para comportar esse tipo de sensor. Outro fator positivo é que os sensores remotos conseguem alcançar excelente precisão de acordo com a necessidade do operador, sendo empregados nos mais diversos processos de soldagem.

Os sensores com tecnologia laser são utilizados com um feixe de luz para varrer a junta transversalmente em conjunto com uma unidade de controle que identifica a geometria, ajustando dessa forma a trajetória, assim como realizado por Viviani et al. (2015).

Figura 1- Sistema de sensoriamento de trajetória via LASER



Fonte: Viviani et al. (2015), adaptado

A indutância ou corrente parasita induzida no metal de base é um dos princípios elétricos que possibilitam o sensoriamento de posição. Neste caso, o sensor induz um campo eletromagnético de alta frequência a partir de uma bobina ressonante, instalada na face sensora. As mudanças surgidas no campo durante a aproximação de um metal afetam o sinal de corrente ou tensão induzido pelo próprio sensor (MENDONÇA, 2013). É possível utilizá-lo para definir seguimentos de junta, em soldagem automatizada. Sendo assim possível realizar o controle, tanto da DBCP, quanto da trajetória de soldagem no processo.

Outro tipo de sensores existentes são os elétricos, conhecidos comercialmente por estarem disponíveis em um grande número de robôs utilizados para soldagem. Os sensores elétricos utilizam a própria variação da tensão ou corrente de soldagem como dados para obter informações importantes de posicionamento da tocha em relação às juntas de soldagem. Os sensores elétricos são também denominados de sensores á arco e possuem inúmeras vantagens em relação aos outros sensores como:

- Não são suscetíveis a respingos, fumos e ao arco gerado pela soldagem;
- Como o seu funcionamento baseia-se em características elétricas, não há custo adicionais com hardware;
- Não existe offset de medição (distância entre tocha e sensor);
- Facilidade de implementação em diversos processos de soldagem;
- Vida útil maior, pois não há hardware para aquisição dos dados.

O sensoriamento á arco foi utilizado por Mendonça et al. (2013) para realização do controle da trajetória para soldagem vertical.

Figura 2- Gabinete COMARCIII e robô MOTOMANN UP6



Fonte: Mendonça et al. (2013), adaptado

2.2 PROCESSOS DE SOLDAGEM

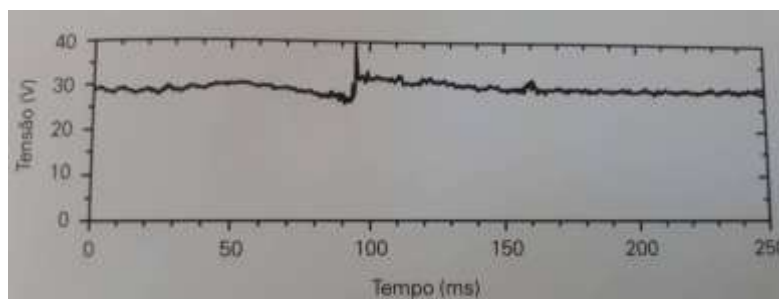
2.2.1 Processo MIG/MAG convencional

A soldagem a arco com proteção gasosa é um processo no qual a união das peças é realizada pela fusão de um eletrodo metálico nu, consumível na própria peça de trabalho. A Soldagem MIG/MAG é um processo normalmente semiautomático, em que a alimentação de arame eletrodo é feita mecanicamente, através de um alimentador motorizado. Além disso, a soldagem MIG/MAG convencional é geralmente realizada com uma fonte com característica estática de saída tipo tensão constante. Neste tipo de sistema, a tensão (e conseqüentemente o comprimento do arco) e a velocidade do arame permanecem aproximadamente constantes durante a operação de soldagem, enquanto os valores de corrente e comprimento energizado do eletrodo dependem daquelas grandezas ajustadas e da distância da tocha à peça. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

As configurações de transferência metálica do MIG/MAG convencional são baseadas na ocorrência ou não do curto-circuito. A transferência por curto-circuito ocorre quando há baixos valores de corrente e tensão, possuindo uma alta frequência de curtos-circuitos durante a soldagem. Porém, esse modo de transferência gera uma grande quantidade de respingos, sendo necessário estabelecer novos parâmetros de soldagem para estabilizar o arco e melhorar a qualidade do cordão de solda. A transferência metálica pode ser estabelecida de acordo com os parâmetros da soldagem MIG/MAG, sendo fundamental para o processo pois afeta em características como: estabilidade do arco, quantidade de fases, aplicabilidade do processo em posições forçadas e o nível de respingo.

Dessa forma, a transferência metálica em que há maior quantidade de energia em comparação a transferência por curto-circuito, é a goticular axial “spray”. Sendo caracterizada por possuir elevados níveis de energia e ser uma transferência metálica com menor nível de respingos se comparada a por curto-circuito.

Figura 3- Transferência metálica por spray



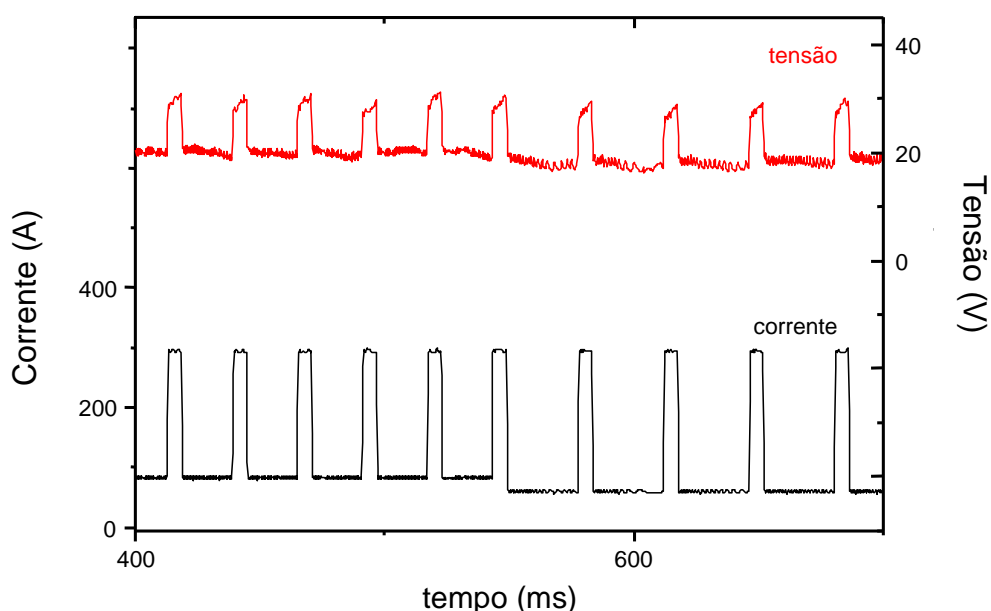
Fonte: MODENESI (2009), adaptado

2.2.2 Processo MIG/MAG pulsado

As fontes de energia controladas eletronicamente permitiram uma revolução em diversos métodos de controle de soldagem. Sem essa evolução não seria possível a aplicabilidade de diversos processos de soldagem hoje. Dessa forma, esse avanço foi importante para o processo MIG/MAG pulsado, pois garantiu uma estabilidade maior na operação ligada ao controle da transferência metálica através do uso de pulsos de corrente.

Uma das técnicas, é o controle sinérgico, desenvolvida pelo The Welding Institute na Inglaterra em 1960. O termo engloba um grupo de técnicas de controle, nas quais o valor e o sinal da corrente são determinados pela velocidade desejada de alimentação do arame, ou a velocidade do arame e o sinal de corrente são escolhidos em função da corrente média selecionada. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009). Diferentemente do que ocorre no MIG/MAG convencional, em que a corrente é uma variável dependente, aqui ela é de primeira instância, pois o processo só atinge os objetivos de transferência sem o contato físico. Sendo assim, as fontes de energia devem ser do tipo corrente constante, apesar de que as primeiras fontes de energia para esse tipo de processo terem surgido com a tensão constante. Observa-se a corrente e tensão do processo MIG/MAG pulsado a seguir.

Figura 4 - Corrente MIG/MAG pulsado



Fonte: MODENESI (2009), adaptado

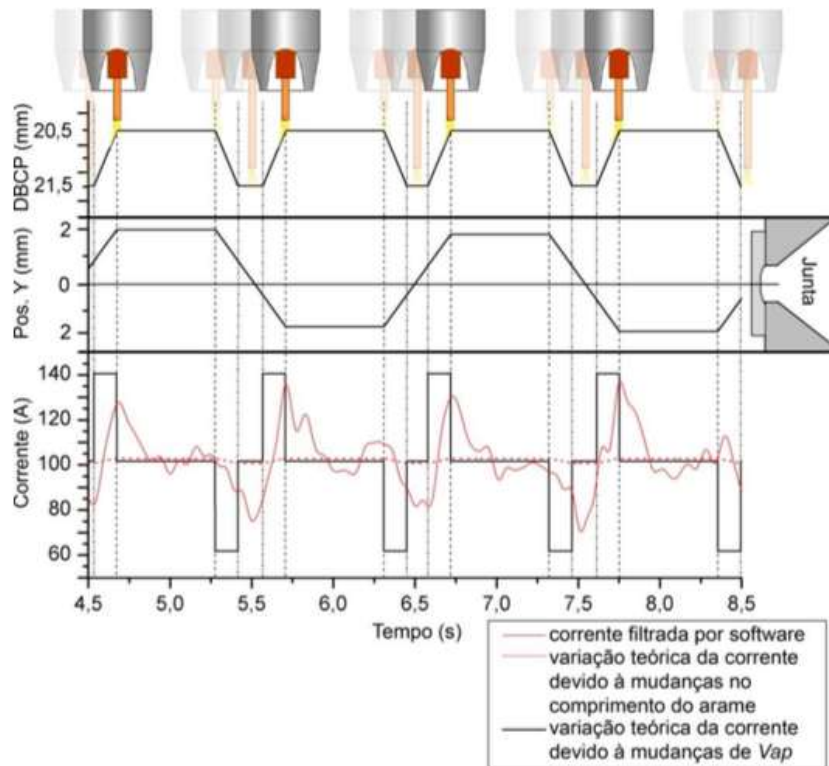
2.3 SISTEMAS DE CONTROLE DA DBCP QUE UTILIZAM O PRÓPRIO ARCO VOLTAICO COMO SENSOR

2.3.1 Comparação entre movimento da tocha e comportamento elétrico de soldagem na interpretação da DBCP

Os sistemas que possuem o arco voltaico como sensor, fundamentam-se na variação da corrente ou tensão de soldagem dependendo do processo utilizado. O processo de soldagem MIG/MAG convencional varia a corrente de soldagem em função do “stick out”, ou extensão de arame sólido para fora do bico de contato. Sendo assim, o sinal obtido de corrente do processo pode identificar os valores da DBCP durante a trajetória de soldagem.

As mudanças da DBCP influenciam os valores elétricos da soldagem do processo MIG/MAG devido, principalmente, a dois fenômenos principais: a variação da resistência elétrica do comprimento energizado do arame-eletrodo e a variação da velocidade de aproximação do arame à poça de fusão. Segundo Kalil et al. (2013) as variações de cunho estático são mínimas e as variações de cunho dinâmico, geradas durante os transientes da DBCP, causam fortes perturbações as características elétricas de soldagem. O mesmo autor, conclui que a principal causa da diferença dessas características elétricas ao alterar-se a DBCP é durante este transiente como na figura 5.

Figura 5- Comportamento da corrente média em uma soldagem de junta chanfrada em ensaio sincronizado com aquisições de dados elétricos



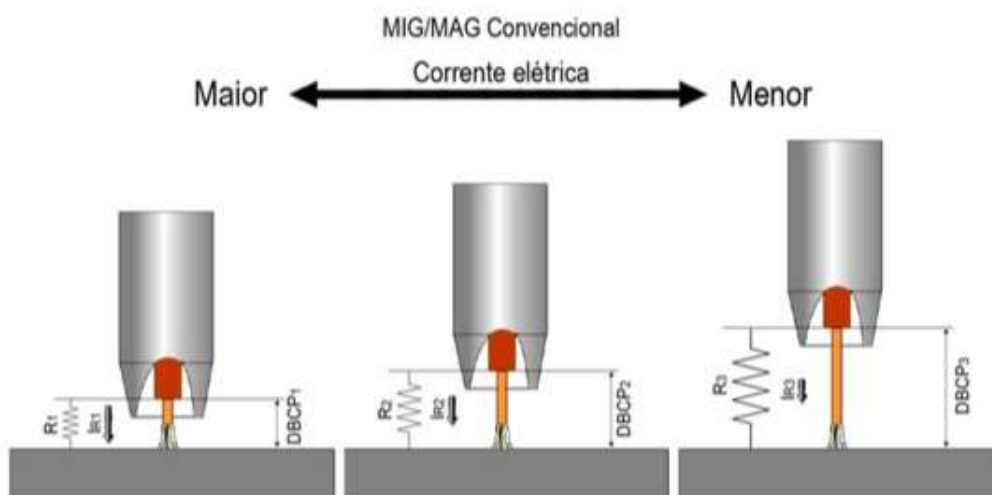
Fonte: Mendonça et al. 2013

Pode-se considerar, que é possível que o aumento ou diminuição dessas características elétricas se devam pelos mesmos motivos do processo TIG, isto é, por causa da melhora nas condições emissivas do catodo. (MACHADO, 2007)

2.3.2 Variação da corrente ou tensão média devido a mudanças na resistência elétrica do comprimento energizado do arame-eletrodo.

Um dos fenômenos responsáveis pela variação dos parâmetros de soldagem é a mudança da resistência elétrica do comprimento energizado do arame eletrodo. No processo MIG/MAG convencional, o afastamento da tocha em relação à peça, e conseqüentemente aumento do comprimento energizado do arame-eletrodo, gera um aumento na resistência elétrica do circuito de soldagem. Conseqüentemente, diminuindo a corrente média durante o aumento da DBCP no processo. (MENDONÇA, 2013)

Figura 6- Resistência elétrica e comprimento energizado do arco



Fonte: Kalil at al. 2013

Em contrapartida ainda no processo MIG/MAG convencional, a aproximação da tocha em relação à peça, e conseqüentemente diminuição do comprimento energizado do arame-eletrodo (*stick out*), gera uma diminuição da resistência elétrica do circuito de soldagem. Por sua vez, esta diminuição na resistência elétrica acaba por influenciar a condução elétrica no circuito que, acarreta em uma corrente elétrica de maior intensidade. Ou seja, como exposto na figura 6, a corrente elétrica no processo MIG/MAG convencional é inversamente proporcional à DBCP.

Já no processo MIG/MAG pulsado por ser controlado por corrente (corrente constante), a tensão é o parâmetro em que ocorre a variação de acordo com a aproximação da tocha em relação à peça. Conseqüentemente, o aumento de resistência elétrica do circuito de soldagem faz com que a tensão aumente proporcionalmente. Assim, no processo MIG/MAG pulsado a tensão é diretamente proporcional à DBCP.

2.4 COMUNICAÇÃO ENTRE ROBÔ E FONTE DE SOLDAGEM

2.4.1 Tipos de informação

Na interligação dos robôs industriais com outros componentes do sistema de automação, certas informações devem ser transferidas:

- Informações provenientes de sensores e transdutores;
- Sinais de controle a serem enviados aos atuadores;
- Programas de controle devem ser recebidos pelo robô dos dispositivos;

Pode-se classificar os diferentes tipos de sinais presentes nos sistemas robotizados como analógicos, digitais e binários. Sinais que variam no tempo são denominados de analógico, sendo predominante nos processos físicos controlados. Já os sinais digitais apresentam uma discretização em seus valores de amplitude sendo caracterizados pela presença de pulsos de amplitude fixa. (PEREIRA CARLOS;FETTE, 2015). Por fim, os sinais binários são encontrados em transdutores que possuem dispositivos de processamento digital como microcontroladores, codificados em cadeias de binários.

2.4.2 Modos de comunicação

Os diferentes modos de comunicação podem ser classificados de acordo com suas características. Quanto ao número de dispositivos interconectados pelo meio físico de transmissão, pode-se diferenciar comunicação ponto a ponto e comunicação multi-ponto. (PEREIRA CARLOS;FETTE, 2015). Na comunicação ponto a ponto, o dispositivo comunica-se diretamente com outro por um meio físico, normalmente de uso dedicado para esta atividade, conectando o transmissor ou receptor. Já na comunicação multi-ponto um dispositivo comunica-se simultaneamente com diversos outros dispositivos.

Referente à forma como os sinais são transmitidos, pode-se diferenciar entre comunicação serial, onde os sinais são transmitidos serialmente por uma linha transmissão única e, comunicação paralela, na qual vários sinais são transmitidos em conjunto.

2.4.2.1 Protocolo de comunicação RS232

Está é uma das interfaces mais utilizados, em especial em conexão ponto-a-ponto, na ligação entre robôs industriais e computadores pessoais rodando softwares de programação. Sendo também utilizada na soldagem robotizada para comunicação entre a fonte de soldagem e o robô. Este protocolo limita-se em definir a camada física, incluindo:

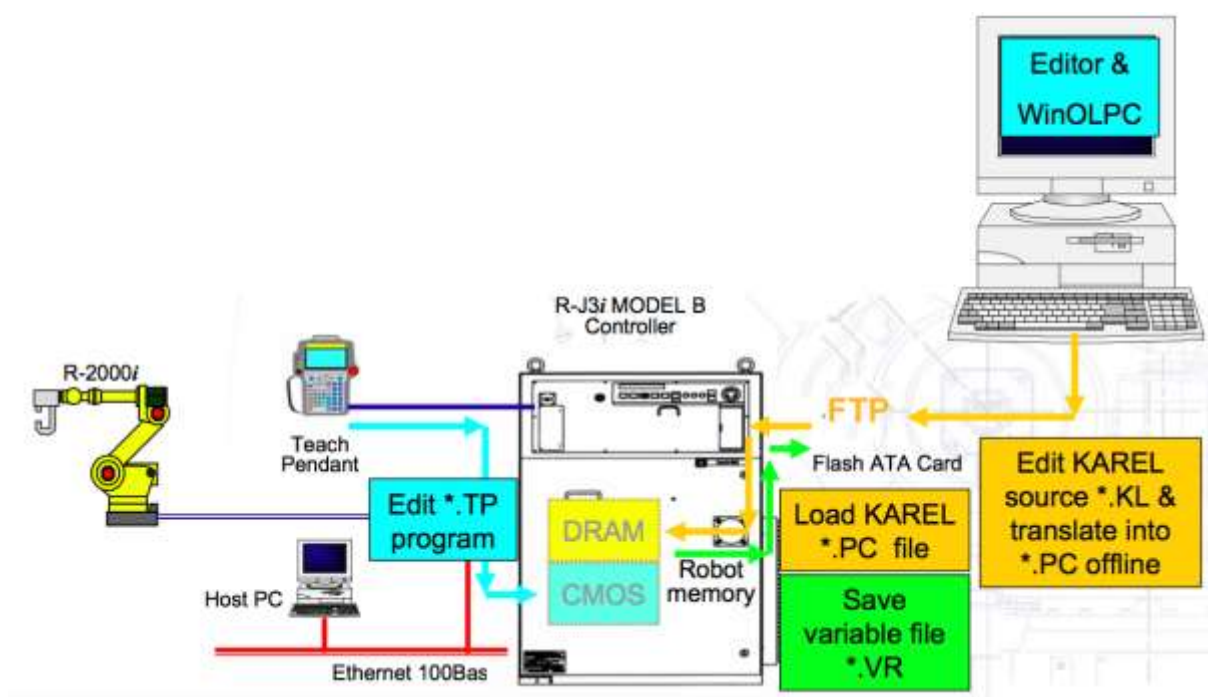
- Tipos de conectores: Os conectores são definidos com nove pinos denominados DB-9 e outro de 25 pinos, ou DB-25 como na figura 7;
- Níveis de tensão: define diferentes níveis de tensão referenciados ao pino Terra, quando o nível for maior que +3V é considerado valor lógico 0 e nível de tensão menor que -3V corresponde ao nível lógico 1. Podendo usualmente estar entre +12V e -12V.

Os dados dessa comunicação são transmitidos pelo pino “Dado transmitido” (TxD) e recebidos pelo pino “Dados recebidos” (RxD). A comunicação pode ser realizada de forma assíncrona ou síncrona de acordo com a necessidade da comunicação. Sendo os pinos “Requisição de Transmissão” (RTS), “Pronto para transmissão”(CTS), “Terminal de Dados Pronto”(DTR) e “Dispositivo de Transmissão Pronto”(DSR) utilizados para garantir a sincronização no início da transmissão. (PEREIRA CARLOS;FETTE, 2015).

arquivos com extensão *.KL são arquivos de texto denominados KAREL que utilizam funções mais complexas de integração do robô e comunicação.

A tradução dos arquivos *.LS e *.KL são realizadas em softwares subjacentes diferentes, ambos provenientes do RoboGuide. O primeiro arquivo pode ser lido por diferentes softwares disponíveis de manipulação industrial e soldagem como WeldPRO, porém o segundo só será traduzido por um software específico para programação Karel denominado OlpcPRO. Os arquivos que eram anteriormente *.LS e *.KL quando traduzidos pelo programa passam a ser respectivamente, *.TP e *.PC e a única maneira de se alterar a lógica de programação é modificando-os antes da tradução.

Figura 8-Comportamento do controlador e integração com o computador



Fonte: FANUC Robotics Perpetual Motion, Adaptado

3 MÉTODOS E MATERIAIS

O estudo foi realizado no Instituto Federal de Santa Catarina de Florianópolis com a utilização de três laboratórios principais, o laboratório de

soldagem, MOP (Laboratório de Máquinas Operatrizes) e PI (Laboratório dos Projetos Integradores).

O departamento Acadêmico de Metal-Mecânica (DAMM) do IFSC, dispõe de uma célula de soldagem robotizada a qual possui um robô FANUC M10iA, controlador R30iA, fonte IMC DIGIPLUS A7 e um sistema de aquisição de dados IMC SAP 4. O Fanuc M10iA é um robô de manipulação de alto desempenho com 6 eixos (FANUC, 2010). Apresenta também um alcance máximo de 1,42m e a capacidade de carga de 10kg. A alta rigidez do braço e a tecnologia avançada de servo-motores, permite alcançar velocidades de deslocamento de até 2m/s. O mesmo está equipado de um controlador R30iA e é programado com o auxílio de um TP.

Já a fonte IMC DIGIPLUS A7 de 800A é uma fonte de soldagem multiprocesso, transistorizada chaveada no secundário do transformador, o que permite controle otimizado dos parâmetros de soldagem (IMC,2009). O equipamento permite a utilização dos processos de soldagem: MIG/MAG utilizada na pesquisa, pulsado e curto-circuito controlado, eletrodo revestido, arco submerso e TIG/plasma com corrente alternada ou contínua, pulsada ou não. Além disso a fonte é microprocessada e utiliza um processador de arquitetura Arm 7 da Philips com uma programação em linguagem "C".

O sistema de aquisição é baseado no sistema operacional Windows. Composto de um conjunto de sensores, capazes de medir corrente de soldagem, tensão, velocidade do arame e vazão do gás de proteção. Esses sinais serão tratados e utilizados pelo robô para se realizar o controle da DBCP de acordo com a superfície irregular submetida a soldagem. Todas as aquisições de dados contidas neste trabalho serão realizadas utilizando o Sistema de Aquisição Portátil IMC (SAP) com software versão 4.33s. A figura da bancada completa pode ser visualizada a seguir.

Figura 9- Bancada do laboratório de soldagem do IFSC/ Florianópolis



Fonte: Elaboração Própria

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 IMPLEMENTAÇÃO DA COMUNICAÇÃO SERIAL ENTRE O ROBÔ FANUC E A FONTE DE SOLDAGEM IMC DIGIPLUS A7.

4.1.1 Aquisição do sinal da Fonte de Soldagem IMC DIGIPLUS A7

A fonte de Soldagem IMC DIGIPLUS A7 possui em sua construção a disponibilidade de se obter os sinais de corrente e tensão para utilização em outros processos. A aquisição dos sinais da fonte de soldagem é fundamental para o controle da tocha baseado nos parâmetros elétricos. Sabendo dessa disponibilidade da fonte em fornecer os sinais para o controle, passou-se a analisar de que forma o controlador R30iA poderia adquirir dados analógicos e possibilitar a aquisição da corrente média da fonte.

O controlador R30iA possui dois módulos de entradas e saídas digitais para fornecer informações sobre a abertura do arco, gás de proteção e outras

informações de dados discretos da fonte. Apesar de possuir quatro módulos, faltava um módulo analógico que pudesse adquirir os sinais da fonte de soldagem.

Figura 10- Módulos de entradas e saídas digitais



Fonte: Elaboração Própria

A FANUC não possui módulos híbridos onde estariam possibilitados de utilizar entradas e saídas analógicas no mesmo módulo. Dessa forma, o alto valor embutido e a baixa disponibilidade de fábrica fez com que outras alternativas fossem encontradas. Uma das alternativas era a utilização da rede industrial MODBUS, já implementada em um estudo anterior realizado na mesma fonte. Apesar da facilidade de utilização de um protocolo já implementado, há a necessidade de se utilizar um KIT pois a fonte não possui comunicação padrão para o protocolo MODBUS (TEICHMANN; OSVANIR; SCHIMITT, 2011). Portanto a opção encontrada foi a utilização da porta RS232-C do controlador R30iA para receber os dados da fonte. A comunicação serial possui a vantagem de não necessitar de nenhum hardware adicional além dos cabos para comunicação, assim diminuindo o preço da implementação do controle para o robô industrial de soldagem.

4.1.2 Comunicação Digital entre o Robô FANUC e a Fonte de Soldagem IMC DIGIPLUS A7

Os ensaios iniciais de soldagem MIG/MAG convencional mostraram a necessidade de modificar os parâmetros para se obter o tempo exato em que o robô iniciava seu movimento. Para tanto, como a fonte de soldagem IMC DIGIPLUS A7 não possui uma interface de comunicação padrão para o Robô FANUC M10iA, foi necessário utilizar as entradas digitais com dois bits disponíveis no equipamento para este fim (pinos 1 e 3 como na figura a seguir).

Figura 11- Entrada conector TLL da fonte IMC DIGIPLUS



Fonte: Erwin et al. (2013), adaptado

Os bits de comunicação restantes estavam ocupados por outras funções. Sendo assim, a composição dos bits não utilizados permitiam a configuração de no máximo 4 programas de soldagem. Portanto, determinou-se as saídas digitais 1 e 3 do robô para a seleção dos programas de soldagem como na tabela a seguir, que mostra a relação dos comandos no programa do robô selecionados:

Tabela 2- Programas

IO robô	Comando programa	Pino (fonte)	Programa de soldagem
1	DO{1}=OFF	1	MIG/MAG pulsado
3	DO{3}=OFF	2	
1	DO{1}=ON	1	MIG/MAG convencional
3	DO{3}=OFF	2	
1	DO{1}=OFF	1	Programa 3
3	DO{3}=ON	2	
1	DO{1}=ON	1	Programa 4
3	DO{3}=ON	2	

Fonte: Elaboração própria

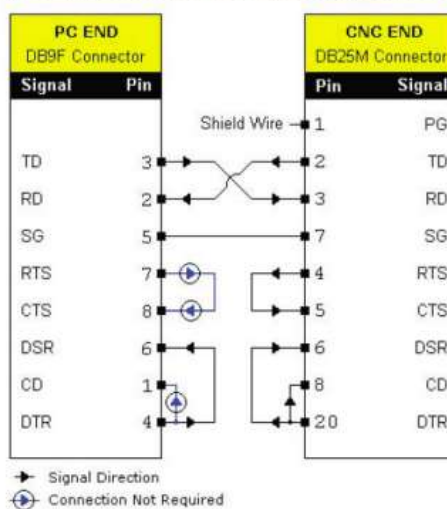
4.1.3 Confeção do cabo lógico para comunicação serial RS232-C

Como foi abordado anteriormente no capítulo 2.4.2.1, a confecção de um cabo lógico é exigida para a comunicação serial. O manual de funções da FANUC (2010) aborda a utilização da comunicação, porém não faz menção sobre a confecção do hardware adequado. Assim, como o padrão utilizado pela FANUC é o conector DB25 fêmea (conector 25 pinos tipo D), determinou-se o cabo lógico de acordo com as características de comunicação CPU-controlador.

As aplicações existentes na interconexão entre equipamentos industriais através da interface digital vão exigir determinado número de sinais desta, sendo o resultado obtido com a interconexão entre um conector DB25 macho (controlador R30iA) e DB9 fêmea (CPU) exemplificado pela figura a seguir.

Figura 12- Conectores DB9 e DB25 conexões RS232

Two connectors with one shielded gray jacket cable



Fonte: FANUC, adaptado

A FANUC não recomenda a utilização de conversores de porta USB para SERIAL devido a grande gama de erros de comunicação e pareamento, dessa forma, para esse fim se utilizou um computador com porta serial para a comunicação.

Figura 13- Controlador R30iA e computador do laboratório de soldagem IFSC



Fonte : Elaboração Própria

Para validar a comunicação serial entre a fonte de soldagem e o controlador foi necessária a confecção de um novo cabo lógico invertendo os sinais de transmissão (TX) e recepção (RX). O cabo lógico para fazer essa conexão precisa ser invertido pois o conector serial da fonte é composto por quatro pinos, onde o segundo e o terceiro estão na mesma disposição que no cabo CPU-controlador confeccionado.

Esse novo cabo (2) será acoplado ao cabo lógico (1) anterior para inverter os sinais lógicos e assim garantir o funcionamento da comunicação controlador-fonte. Conectando-se também ao cabo (3) que possui uma entrada diferente das convencionais para comunicação serial, sendo realizada pelo conector TLL de 3,3V a 5V da fonte de soldagem. As conexões do cabo (3) da fonte podem ser visualizadas a seguir.

Figura 14-Conexões do cabo da fonte IMC DIGIPLUS A7

DB9 PC	Circular Fonte	Chave
2	1	
3	2	
	3	NA
5	4	NC

Fonte: GOHR (2012)

Figura 15- Cabos confeccionados para comunicação via RS232



Fonte: Elaboração própria

4.1.4 Transferência de arquivos do computador para o controlador R30iA

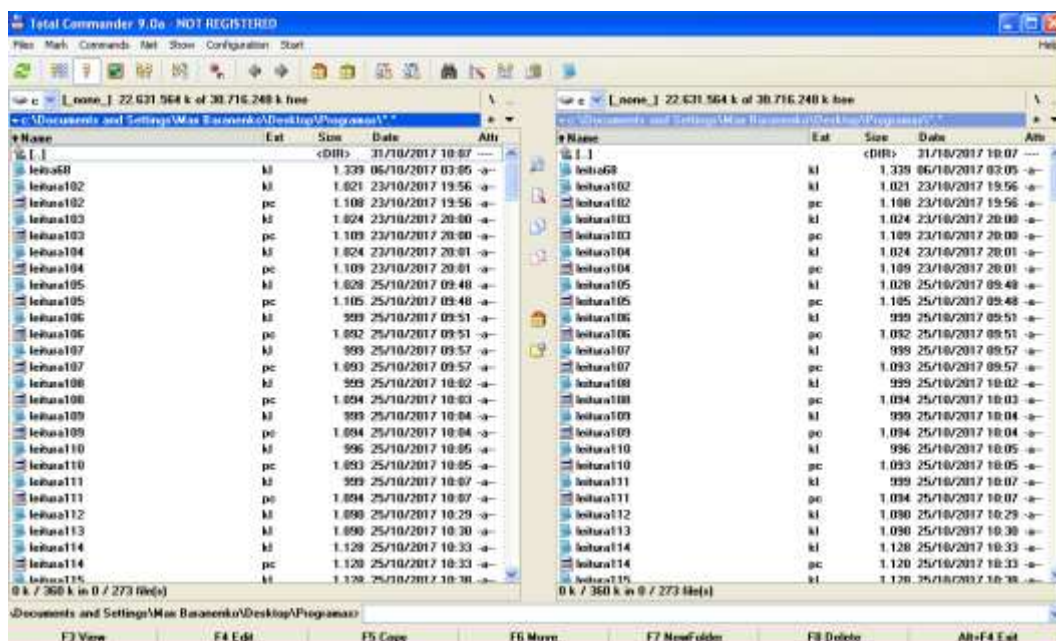
A transferência dos arquivos para o controlador do robô FANUC é realizada pelo próprio TP onde se define a forma com que essa transferência ocorre. Entre as formas de transferências disponíveis para o robô FANUC M10iA estão FROM Disk (FR:), Backup (FRA:), RAM Disk (RD:), FTP (C1:), Mem Card (MC:), Mem Device (MD:), Console (CONS:), USB Disk (UD1:) e USB on TP (UT1:).

Para realizar a transferência definiu-se duas formas principais pela facilidade, a transferência via USB realizada por um pen drive e via FTP (File Transfer Protocol). O pen drive deixou de ser utilizado devido a praticidade da transferência via Protocolo FTP. Além disso, a transferência só era realizada com pen drives com características como: 2GB ou menos e formato FAT32.

Para realizar a transferência de arquivos via FTP do computador para o controlador R30iA basta que o computador com o programa para transferência de arquivo esteja na mesma conexão de rede que o controlador. É necessário que os dois estejam na mesma conexão devido o protocolo FTP ser baseado no TCP/IP, com isso, utilizando o IP do controlador R30iA.

Para isso o programa *Commander* foi utilizado de forma que não seja necessário utilizar o *PROMPT* de comando do computador:

Figura 16- Programa Commander



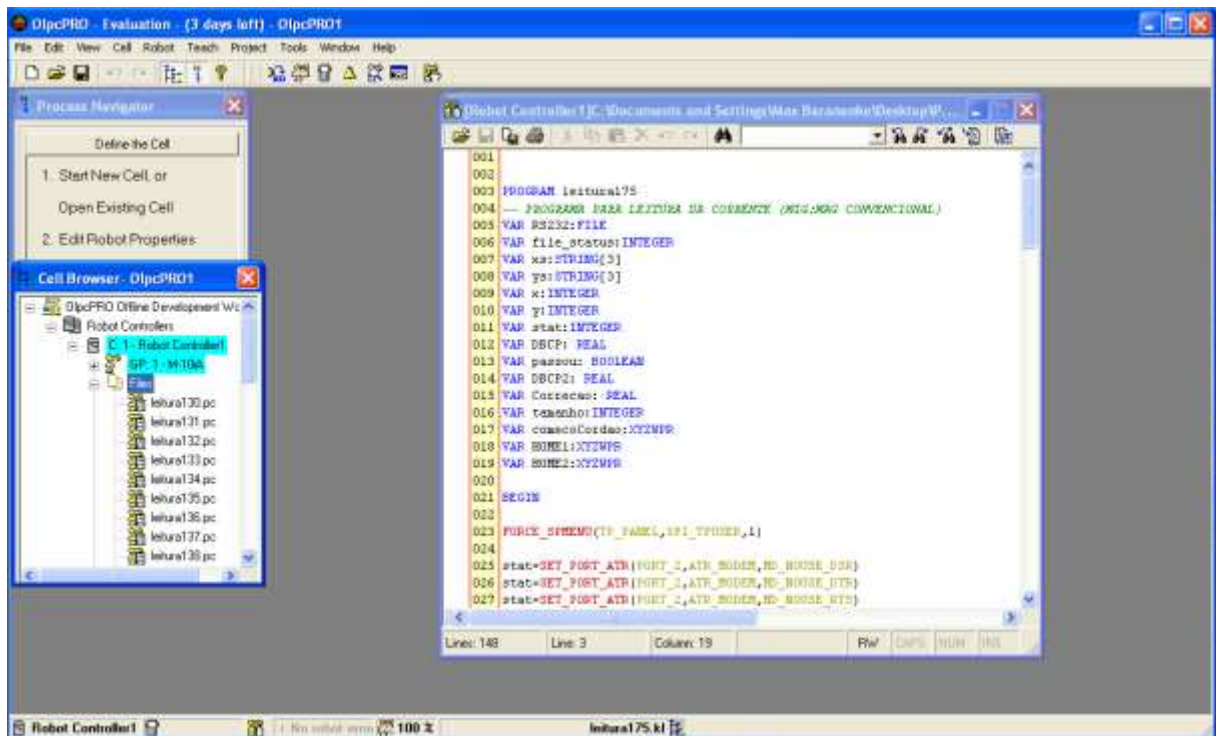
Fonte: Elaboração Própria

4.1.5 Programação KAREL implementada para o envio e recebimento de dados

A linguagem de programação do TP não comporta todas as funções que podem ser realizadas pelo controlador. Sua utilização está vinculada à movimentação e abertura do arco para facilitar o processo de soldagem para um operador industrial.

Já a programação KAREL é feita de declarações e funções executáveis que podem ser utilizadas e armazenadas no próprio código. (KAREL, Reference Manual VER 6.31). Esta é mais robusta exatamente pela necessidade de comportar outros tipos de funções as quais o TP não possui, como abertura e leitura de arquivo e comunicação serial. Sendo assim, para realizar a programação da leitura e escrita para serial do controlador R30iA foi necessária a utilização e compilação do programa no software disponibilizado pela KAREL (OlpcPRO) e a definição de um arquivo de escrita e leitura denominado RS232:

Figura 17- Programa OLPROPC



Fonte: Elaboração própria

4.1.6 Configuração do controlador R30iA para a comunicação serial via RS232-C

A comunicação serial via RS232-C em robôs FANUC são comuns para envio de dados, abertura de arquivos e acionamento de sensores e sinais necessários para o controle industrial do robô. Portanto, para o correto funcionamento da comunicação serial via RS232-C é necessária a implementação das funcionalidades do KAREL no TP. Essas funcionalidades que devem ser alteradas são importantes, pois a própria comunicação e seu desempenho dependem desses fatores como:

- Porta para comunicação
- Endereço de variáveis

4.1.6.1 Porta para comunicação via RS232-C

A porta para comunicação via RS232-C do controlador precisava ser especificada para o recebimento de dados da fonte de soldagem. A porta escolhida para a utilização da leitura e escrita de dados via serial foi a JD17, podendo-se escolher entre duas portas do próprio controlador: JRD16 e JD17. As duas portas podem ser configuradas de acordo com as especificações da comunicação, portanto para que se pudesse utilizar a programação KAREL para leitura de dados determinou-se o tipo de porta, *baud rate*, a paridade, *stop bit* e *time out*. A única porta que funciona para leitura serial via RS232-C é a HOST COMM, sendo assim suas características foram determinadas de acordo com o manual de comunicação da própria KAREL.

Figura 18- Portas de Comunicação controlador R30iA

Device	Speed (baud)	Parity Bit	Stop Bit	Timeout Value (sec)
Handy file*	9600	None	2 bit	0
FANUC floppy*	9600	None	2 bit	0
PS-100/200 floppy disk	9600	None	1 bit	0
Printer**	4800	None	1 bit	0
Sensor*	4800	Odd	1 bit	0
Host Comm.*	4800	Odd	1 bit	0
KCL/CRT	9600	None	1 bit	0
Debug console	9600	None	1 bit	0
TP Demo Device	9600	None	1 bit	0
No Use	9600	None	1 bit	0
Current Position	For FANUC Robotics Use Only			
Development	For FANUC Robotics Use Only			
CIMPLICITY	For FANUC Robotics Use Only			

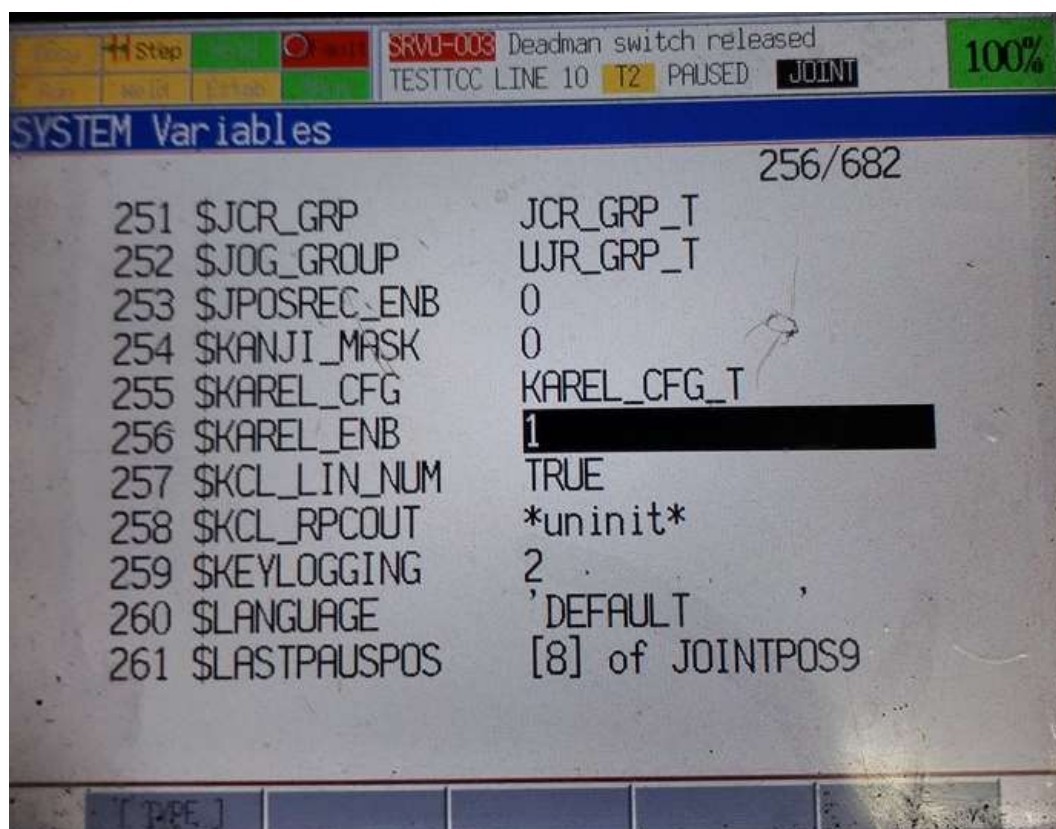
Fonte: Manual KAREL

4.1.6.2 Endereços de variáveis do controlador R30iA

O endereço da variável deveria ser modificado para que se pudesse visualizar as programações realizadas em KAREL. Um dos aspectos negativos dessa programação é que a única forma de se modificar a sua lógica é realizando uma nova programação e compilando novamente no computador. O TP não é capaz de realizar a modificação da programação em KAREL no seu próprio dispositivo. Sendo assim, o

endereço da variável \$KAREL_ENB foi modificado para o valor “1” e assim permitir a utilização desse tipo de programação via TP como a seguir.

Figura 19- Registrador #KAREL_ENB do controlador R30iA



Fonte: Elaboração própria

4.2 PROGRAMAÇÃO DA FONTE DE SOLDAGEM IMC DIGIPLUS A7

A fonte de soldagem DIGIPLUS é programável em linguagem “C”, em vista disso, para que se pudesse obter o envio de dados foi necessário programar a fonte para o envio. O teste do envio de corrente média deveria ser feito com a soldagem MIG/MAG convencional, dessa forma, para que se pudesse obter os dados da fonte o controlador precisava requisitar esses dados via programação. Assim sendo, para obter o valor de corrente média haveria necessidade de se enviar uma *string* a fonte cada vez que houvesse qualquer tipo de leitura.

A “*string*” de 3 bits foi definida de acordo com as características necessárias para o controle da DBCP e configuração da fonte de soldagem:

- Identificador da programação da fonte DIGIPLUS A7;
- Comando para requisitar os dados;
- Filtro Digital.

O identificador é necessário para que se possa requisitar os dados direto da fonte de soldagem, portanto sempre que houver qualquer leitura o primeiro bit enviado precisa ser o identificador “Y”.

O comando para requisitar os dados foi implementado no segundo bit com o intuito de se obter uma maior flexibilidade dos dados da fonte e facilidade de programação. Com isso, o operador pode identificar o tipo de dados que está se requisitando, podendo ser tensão e corrente média de acordo com a soldagem a ser realizada pelo operador, sendo esse bit respectivamente, “I” ou “U”.

Por fim, o filtro digital é um filtro passa baixa. Dessa forma, o filtro deixa passar frequências baixas sem dificuldade e atenua a amplitude das frequências maiores que a frequência de corte. Com isso, a escolha da frequência de corte do filtro foi implementada no terceiro bit com o objetivo de atenuar picos de corrente durante o processo de soldagem. O operador pode definir o peso do filtro (0 a 9) de acordo com sua necessidade e a tabela 3. O filtro digital é baseado em um filtro de primeira ordem e depende da taxa de amostragem interna da fonte (10kHz) e da frequência de corte do com um valor de 0 a 9 como na tabela a seguir:

Tabela 3- Frequência de Corte fonte IMC

Frequência de Corte(KHz)	Bit
4,5	9
4	8
3,5	7
3	6
2,5	5
2	4
1,5	3
1	2
0,5	1

Fonte: Elaboração própria

4.3 ENSAIOS DO PROCESSO MIG/MAG CONVENCIONAL VIA SENSORIAMENTO DO ARCO ELÉTRICO

O ensaio realizado com o robô FANUC e o controlador R30iA mostrou que o sistema não possuía os parâmetros estáveis para a soldagem MIG/MAG convencional, gerando grande quantidade de respingos durante a aquisição de sinais. Desta maneira, foi estudada a realização destas soldagens por meio de ajuste de parâmetros para o controle do processo.

A partir do resultado da soldagem com os parâmetros corretos, diferentes possibilidades poderiam vir a serem tomadas como conclusão do trabalho. Se a solução do controle proporcional e integral não fosse capaz de estabilizar o sistema e fazer com que a tocha alterasse sua posição de acordo com o parâmetro definido, poderia ser um sinal de que a soldagem MIG/MAG convencional inviabiliza esse tipo de controle. Neste caso, o estudo haveria de ser direcionado, basicamente, à constatação e comprovação da dificuldade dessas operações. No entanto, se o resultado fosse positivo, implicaria em melhorias na funcionalidade desse sensoriamento do arco de acordo com sua automatização.

4.3.1 Ajuste dos parâmetros para controle da soldagem MIG/MAG convencional

Na literatura não foram encontrados exemplos de aplicação MIG/MAG convencional com os parâmetros estabelecidos para facilitar o controle via sensoriamento do arco. À vista disso, foram realizados testes para que se pudesse viabilizar os parâmetros utilizando como gás de proteção ativo uma mistura de argônio com 2% de oxigênio.

Como o gás de proteção escolhido para realização dos ensaios será continuamente citado, optou-se por criar uma denominação para facilitar:

- Ar-O2: Mistura gasosa de 98% de argônio e 2% de oxigênio.

Para o ajuste da vazão do gás e velocidade de soldagem, foram utilizados os mesmos ensaios, definindo um parâmetro como fixo e analisando a qualidade do cordão de solda obtido. Já o arame utilizado foi o AWS ER10S-6 de 1,2mm de diâmetro pela facilidade da obtenção da transferência metálica por “spray” requerida para o projeto.

O ângulo de soldagem foi medido com dois instrumentos, dependendo dos ângulos a serem medidos. Ângulos medidos com relação à horizontal (ângulo de inclinação da tocha) foram medidos por um aplicativo para celular que usa um acelerômetro para tanto:

Figura 20- Aplicativo celular Android



Fonte: Erwin at al. 2010, adaptado

Já os ângulos com relação á direção de soldagem (ângulo de ataque), foram medidos utilizando um esquadro com fio.

Figura 21- Medição com esquadro com fio



Fonte: Elaboração própria

As características metrológicas destes instrumentos são mostradas na tabela 4 e 5:

Tabela 4- Características metrológicas aplicativo

Marca	SAMSUNG A7	Sensor	Bosch BMC 150
Faixa de medição	0 a 360°	Incerteza	± 1°
		Resolução	0,1

Fonte: Elaboração própria

Tabela 5- Características metrológicas esquadro com fio

Marca	Starrett	Exatidão	0,005mm a cada 150mm
--------------	----------	-----------------	-------------------------

Fonte: Elaboração própria

O ângulo estabelecido nos ensaios e aquisição de dados deveria ser utilizado a posteriori quando se fosse validar o controle do processo para garantir a repetitividade do processo. Sendo assim, os ângulos estabelecidos para direção da tocha e ataque foram de 0°, para uma posição plana de soldagem.

A medição da DBCP foi realizada utilizando um calibre fabricado para este fim. O calibre foi fabricado com uma incerteza de $\pm 0,1\text{mm}$ por um processo de usinagem de ajustagem fina (lima mursa).

Figura 22- Medição da DBCP utilizando o calibre fornecido pelo laboratório de soldagem



Fonte: Elaboração própria

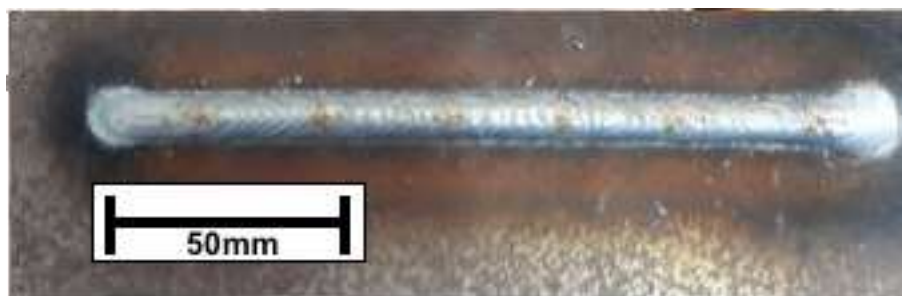
4.3.2 Parâmetros elétricos da soldagem MIG/MAG pulsado para ensaios preliminares

Nesta etapa foram realizados depósitos sobre chapas de aço 1020 com 6mm de espessura. Estes ensaios, realizados em material de menor custo e disponibilidade (aço 1020, em vez de aço API), serviram para o levantamento dos parâmetros de soldagem em condições necessárias para o controle da soldagem MIG/MAG pulsado.

A figura 23 mostra os ensaios iniciais realizados por MIG/MAG pulsado com polaridade positiva. Os parâmetros de soldagem utilizados são mostrados na tabela

6. Do ponto de vista visual, a soldagem foi realizada com êxito com níveis aceitáveis de respingos e defeitos de soldagem como porosidade e mordeduras.

Figura 23-Ensaio dos parâmetros MIG/MAG pulsado



Fonte: Elaboração própria

Tabela 6- Parâmetros de soldagem MIG/MAG pulsado

Im(A)	Va(m/min)	Vs(cm/min)	Um(V)	DBCP(mm)	Gás(l/min)
217	5,2	40	27,6	15	20

Fonte: Elaboração própria

Para evitar curtos-circuitos, amentou-se a corrente de soldagem até se obter uma transferência metálica por “spray” e uma melhora do aspecto do cordão de solda. Essa melhora dos aspectos de soldagem dos ensaios só foi possível devido à frequência do filtro da fonte de soldagem, estabelecendo o valor 1 para o terceiro bit (frequência de 0,5 kHz)

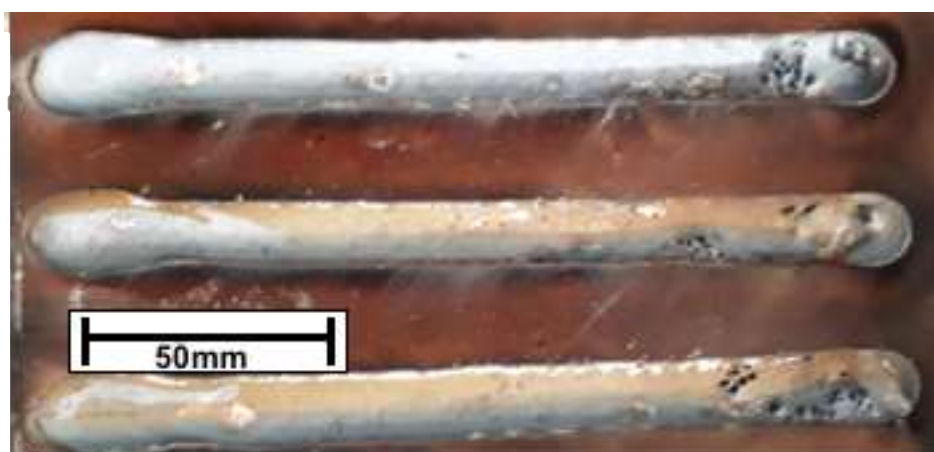
4.3.3 Parâmetros elétricos da soldagem MIG/MAG convencional para ensaios preliminares

Os ensaios dos parâmetros para o processo MIG/MAG convencional foram baseados no ensaio anterior. Como já se havia obtido a transferência metálica por “spray” com um parâmetro de corrente estável, definiu-se a tensão obtida nesse ensaio para o processo MIG/MAG convencional. Dessa forma, concluiu-se que com os parâmetros iniciais utilizados para o MIG/MAG pulsado não foi possível obter a transferência metálica esperada. Para isso, alterou-se os parâmetros como velocidade

do arame para se obter um valor maior de corrente média ao longo do cordão e eliminar os curtos-circuitos

A figura 24 mostra os ensaios realizados pelo processo MIG/MAG convencional também com polaridade positiva. Do ponto de vista visual a soldagem foi realizada com êxito apesar de no final do cordão faltar de material de adição no final do cordão e apresentar porosidades devido a falta de gás de proteção. Os parâmetros de soldagem são mostrados na tabela 7.

Figura 24- Ensaios dos parâmetros MIG/MAG convencional



Fonte:Elaboração própria

Tabela 7- Parâmetros de soldagem MIG/MAG convencional

Im(A)	Va(m/min)	Vs(cm/min)	Um(V)	DBCP(mm)	Gás(L/min)
238	6,9	40	27,9	15	20
Ks	Kd	-	-	-	-
100	100	-	-	-	-

Fonte: Elaboração própria

O MIG/MAG convencional possui dois parâmetros a mais do que o MIG/MAG pulsado, a indutância de subida e descida de corrente da fonte de soldagem. Os parâmetros de indutância foram estabelecidos por meio de ensaios para se obter a soldagem mais estável possível. Pensando nisso, foi definido como valores constantes ao longo de todos os ensaios o valor de 100 para os dois parâmetros. Além disso, da mesma forma que o ensaio anterior, a frequência do filtro da fonte de

soldagem foi estabelecido com um valor de 1 para o terceiro bit (frequência de 0,5kHz).

4.4 ENSAIOS REALIZADOS PARA AQUISIÇÃO DOS SINAIS DE CORRENTE PELO SAP 4.33s DA IMC SOLDAGEM

4.4.1 Preparação dos corpos de provas para o ensaio e aquisição de dados

Os ensaios preliminares para obtenção dos parâmetros de soldagem indicaram a possibilidade do empenamento do corpo de prova devido a grande transferência de calor para a peça. Para que esse problema seja evitado, prepararam-se os corpos de prova para que o empenamento não afetasse na aquisição dos dados. Dessa forma, uma peça de aço em forma de “L” ou “U” é soldada diretamente a peça com o objetivo de se evitar distorções significativa na mesma. (HÉLIO COLEHO,2006).

Além do preparo das peças em relação a possibilidade de distorção devido ao calor, optou-se por determinar o início e fim de soldagem para que, dessa forma, possibilitasse uma melhor aquisição dos dados e posicionamento do robô em relação ao corpo de prova. Para isso, implementou-se na programação a troca de programa ao iniciar o movimento de aumento da DBCP do robô, facilitando assim, a identificação do início do movimento do órgão terminal. Por fim, os corpos de provas foram submetido ao processo mecânico de desbaste superficial realizado pelo esmeril para que se pudesse obter uma superfície mais homogênea e livre de oxidações. O corpo de prova é representado pela figura 25 a seguir.

Figura 25- Preparação corpos de prova para os ensaios MIG/MAG pulsado e MIG/MAG convencional



Fonte: Elaboração própria

As chapas possuem a dimensão de 85 mm de largura, 290 mm de comprimento e 6 mm de espessura. Com marcações de 10mm no início e 150mm no final do comprimento do cordão de solda.

4.4.2 Aquisição dos dados pelo SAP 4.33s da IMC Soldagem

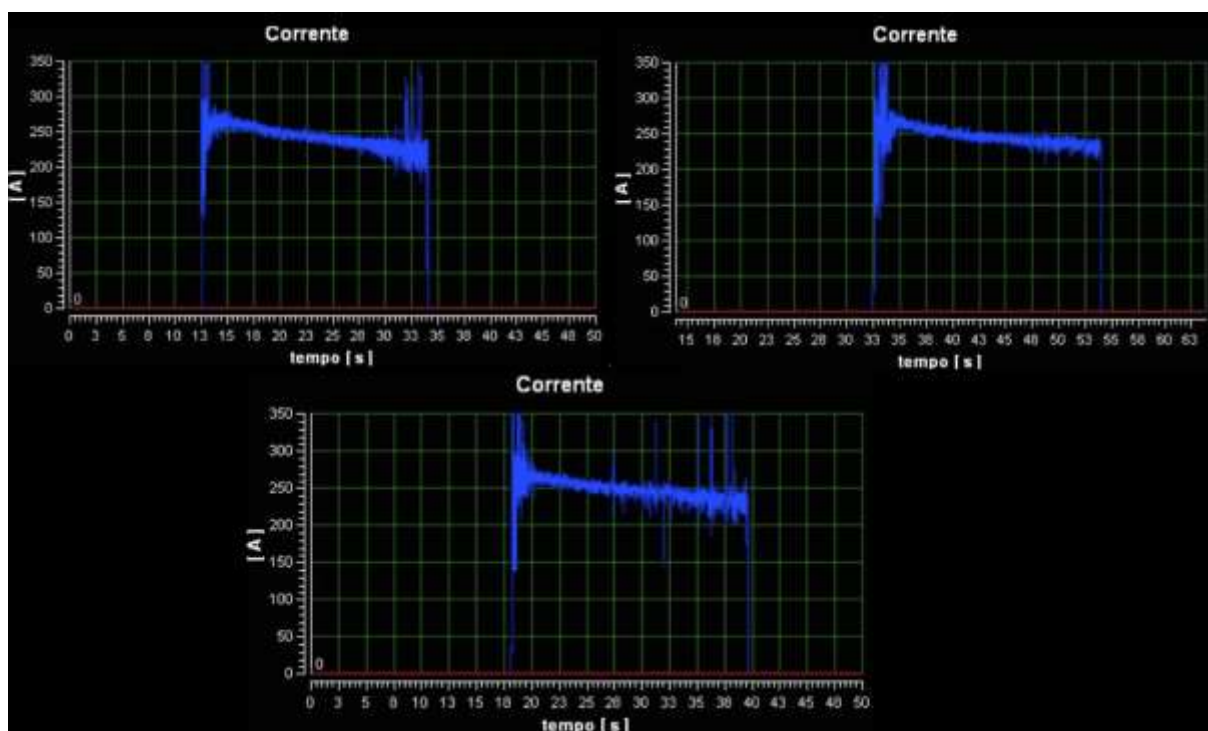
Os dados obtidos pelo SAP 4.33s são a corrente instantânea, velocidade do arame, gás de proteção e tensão do processo de soldagem. O estudo da influência da DBCP sobre os parâmetros elétricos fez com que apenas dois parâmetros fossem utilizados : a corrente e a tensão instantânea.

O início do cordão da solda foi estabelecido a 10mm da chapa a ser soldada, assim mantendo certa distância do começo do corpo de prova para evitar distorções adicionais. A alteração da DBCP foi realizada apenas quando estabelecido o modo de soldagem MIG/MAG convencional, para isso dois comprimentos de arco foram utilizados, sendo o início e final representados por respectivamente, 13mm e 25mm.

A programação para a realização dos ensaios foi implementada pelo TP.

A abertura de arquivos e obtenção de dados proveniente de outras fontes de comunicação não eram necessárias, sendo assim, a programação KAREL não foi utilizada para esse uso. Com isso, três cordões repetidos lado a lado foram realizados para garantir uma maior repetitividade ao processo. Os três ensaios foram realizados utilizando o corpo de prova de aço 1020, caso seja necessário alterar a peça para outra com um material diferente, novos ensaios deverão ser realizados.

Figura 26-Correntes instantâneas obtidas pelo SAP 4.33s da IMC para a soldagem MIG/MAG convencional



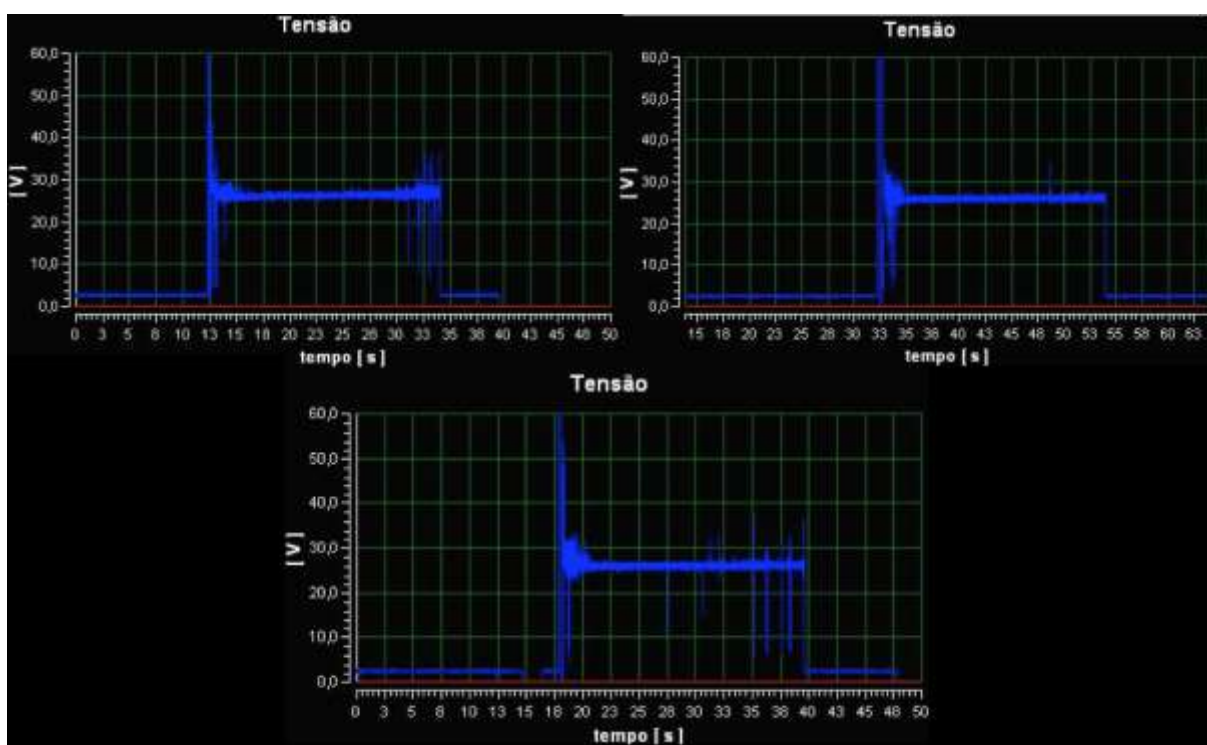
Fonte: Elaboração própria

No início do cordão, até os 10mm, é utilizada corrente pulsada. No momento que ocorre a transição, ou seja, a troca do modo de soldagem da fonte, a corrente passa a ter uma característica linear devido a imposição por tensão.

O início do cordão de solda é suscetível a grande variações e defeitos de soldagem devido ao tempo de estabilização da abertura do arco. Apesar desse tempo ter sido acrescentado na programação da soldagem, ainda assim observou-se a necessidade de desconsiderar os dados iniciais de corrente. Isto também ocorre ao final do cordão de solda, o qual possui uma instabilidade devido ao desligamento do arco elétrico, o que mesmo após certo tempo de atraso dado pela programação ainda afetava significativamente os parâmetros obtidos.

No modo MIG/MAG convencional a característica estática da fonte de soldagem é tensão constante e o valor de 27,9V foi obtido nos três ensaios. Como exposto pela figura 27, três instantes são críticos para aquisição de dados pelo SAP : início do cordão de solda, troca de programa de soldagem e fim do cordão de solda. Essa grande variação de tensão instantânea é devido a instabilidade característica da abertura e fechamento do arco elétrico dos processos de soldagem e a troca de modo pela fonte. Dessa forma, os períodos em que ocorria grande variação dos parâmetros elétricos, também denominados de regiões de instabilidade, foram desconsiderados para a aquisição dos dados.

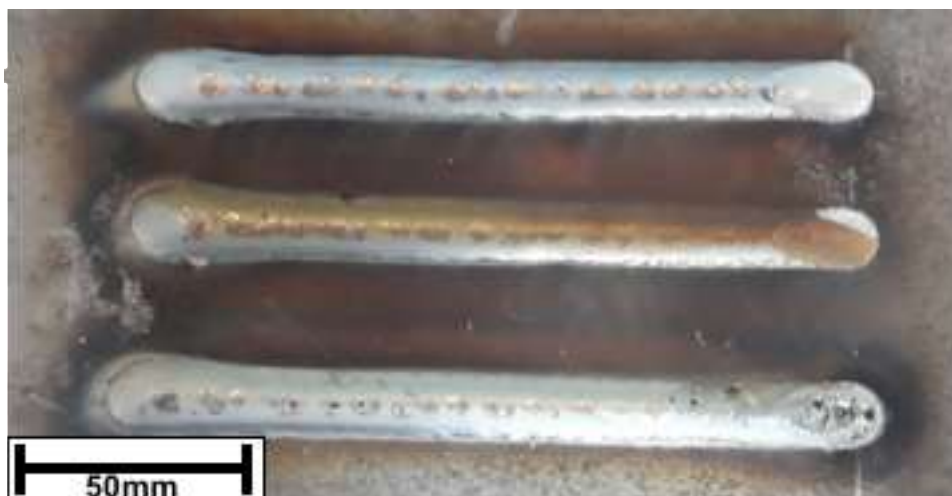
Figura 27-Tensões instantâneas obtidas pelo SAP 4.33s da IMC para a soldagem MIG/MAG convencional



Fonte: Elaboração própria

Os ensaios podem ser visualizados pela figura 28.

Figura 28- Cordões do ensaio MIG/MAG convencional para aquisição dos dados



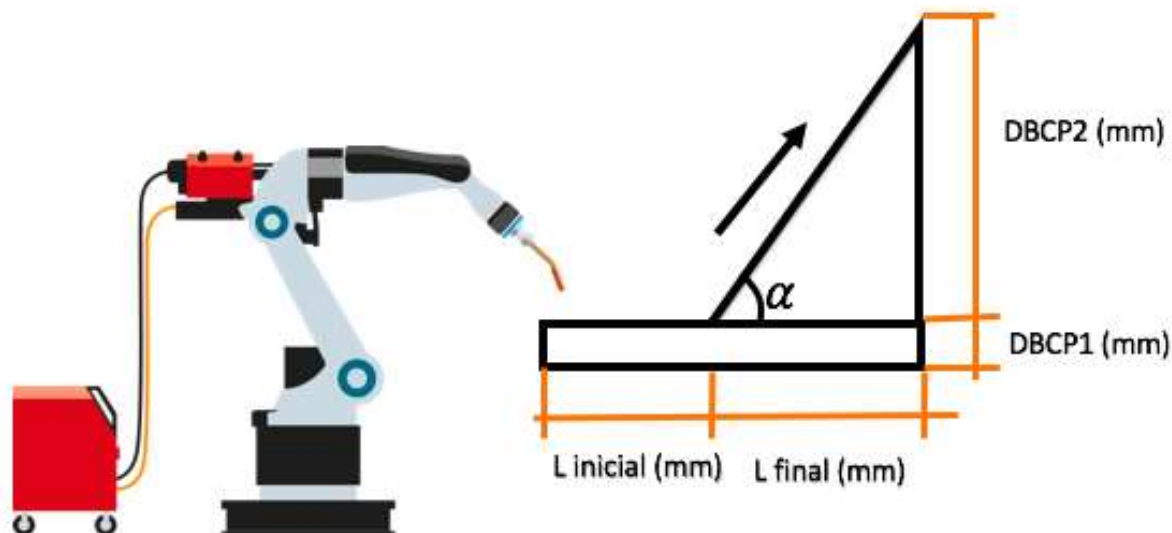
Fonte: Elaboração própria

4.4.3 Metodologia utilizada para o controle da DBCP na soldagem MIG/MAG convencional

No capítulo 2.3.2 foi indicado a relação entre as variáveis DBCP e corrente média durante o processo de soldagem. Diversos estudos já foram realizados na área de soldagem verificando a validação entre o comportamento da DBCP em relação aos parâmetros elétricos. Entre eles estão o Mohammad et al. (2010), onde estuda a influência dos parâmetros elétricos sobre o controle da DBCP no processo TIG. Apesar da grande possibilidade de análise de diversos parâmetros influenciadores do comprimento do arco, o foco é analisar apenas a relação entre a DBCP e sua influência em um parâmetro específico, a corrente média da soldagem MIG/MAG convencional

O método utilizado foi baseado no conhecimento da velocidade de soldagem em que foi realizada os cordões de solda e o movimento realizado pelo robô durante o aumento da DBCP. Assim, utilizou-se da troca de programa já parametrizado pela fonte de soldagem para que se pudesse analisar exatamente quando ocorria o aumento da DBCP, ou seja, a movimentação do robô no eixo Z.

Figura 29- Trajetória percorrida pelo robô em diferentes comprimentos energizados do arco



Fonte:Elaboração própria

A abertura do arco ocorre com corrente pulsado até se estabilizar o arco no $L_{inicial}$. Após a sua estabilização, troca-se o programa da fonte de soldagem de MIG/MAG pulsado para convencional e se inicia o movimento da trajetória como na figura 29. O início do cordão foi realizado com uma DBCP1 de 13mm em relação ao corpo de prova e após a troca de programa, a DBCP2 foi atingida com um valor de 25mm. O cordão realizado pelos dois processos possui o comprimento de 10mm ($L_{inicial}$) com a primeira parametrização da fonte e 150mm (L_{final}) com a segunda parametrização.

O primeiro passo foi analisar a trajetória do robô e os parâmetros já estabelecidos para os ensaios. O ângulo de inclinação da trajetória foi obtido de acordo com o comprimento percorrido durante seu movimento a partir da troca do programa. Dessa forma, no fim da trajetória (L_{final}) o robô havia percorrido horizontalmente um comprimento de 140mm e verticalmente um comprimento de 12mm. Sabendo disso, o ângulo de inclinação foi verificado de acordo com os dados obtidos da programação e visualizados via TCP/IP do robô.

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{12}{140} = 4,9^{\circ} \quad (1)$$

A velocidade de soldagem era de 40 cm/min, com esse dado foi possível se obter a relação da distância em que o robô estava em relação à vertical (eixo Z) de acordo com o tempo de soldagem. Para tanto, foram desconsiderados os primeiros 10 segundos da soldagem realizada pelo processo MIG/MAG pulsado.

$$\tan^{-1} \frac{d}{6,6667.t-10} = 4,9^\circ \quad (2)$$

$$d_{vertical} = 0,5714.t \quad (3)$$

Deste modo, obteve-se a posição exata em que o robô iniciava seu movimento em relação à vertical (eixo Z). Foi observado também que durante a troca do programa de soldagem enviando os bits para a fonte, havia um problema de atraso. Esse atraso era acarretado devido a necessidade da fonte de soldagem IMC alterar os modos de soldagem, consumindo um tempo de 0,5s para a alterar o programa. Apesar de ser um valor considerável e que deveria ser compensado, o aumento da DBCP ocorre apenas após a troca do modo de soldagem, não afetando na análise anterior.

Além disso, essa análise e modelagem foi realizada apenas para os parâmetros de soldagem específicos já definidos. Caso seja necessário utilizar outros parâmetros, uma nova modelagem deverá ser realizada.

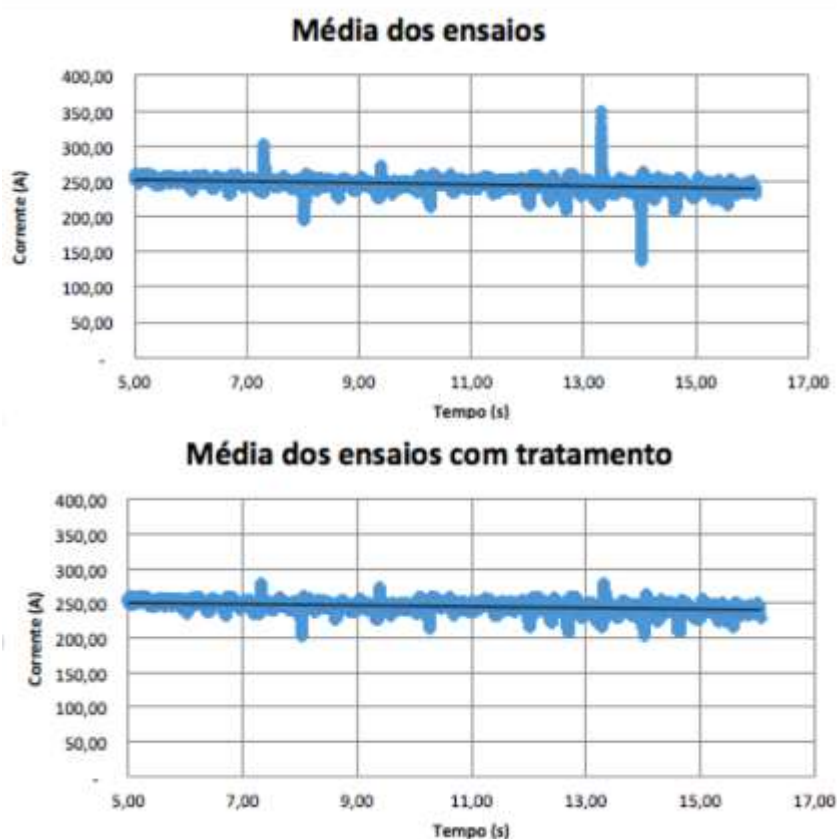
4.5 TRATAMENTO DOS DADOS PARA SE OBTER A RELAÇÃO ENTRE A DBCP E A CORRENTE MÉDIA DA SOLDAGEM MIG/MAG CONVENCIONAL

4.5.1 Relação entre corrente média e tempo de soldagem

O tratamento dos sinais contribui para a atenuação de dados irregulares e é obtido a partir da média dos parâmetros elétricos ao longo do tempo. Apesar da média da corrente ser realizada a cada período de tempo fixo pela programação da fonte, a dispersão da corrente ainda continuava grande. Esse fato é acarretado devido aos picos de corrente instantânea ou tensão durante o processo de soldagem,

consequência dos curtos-circuitos esporádicos. Para resolver o problema da grande dispersão entre os parâmetros elétricos de soldagem, realizou-se além da média, um filtro que atenuasse os sinais anormais. Apesar da facilidade da implementação desse filtro, caso seja dado um valor excessivo ao mesmo, acarretaria em perdas de características do processo de soldagem. Pensando nisso, um valor intermediário foi utilizado para que o filtro não afetasse de maneira significativa as características do processo e apenas filtrasse os dados com grande dispersão. O gráfico de corrente média por tempo dos ensaios com tratamento e sem tratamento do filtro pode ser visualizado a seguir.

Figura 30- Tratamento de dados da corrente instantânea da soldagem MIG/MAG convencional



Fonte: Elaboração própria

A abertura do arco possui uma grande instabilidade, assim como seu desligamento. Portanto, apenas utilizou-se os dados obtidos de corrente média após 5 segundos passados do tempo de aquisição e 5 segundos antes do seu desligamento. Com isso, pode-se obter uma distribuição mais homogênea dos dados

pois o início e o fim do cordão de solda possui grande instabilidade como pode ser visto na Figura 26. A tabela dos filtros da corrente média máxima e mínima do processo pode ser visualizada a seguir.

Tabela 8- Corrente média e filtro

Corrente média máxima(A)	Corrente média mínima(A)
341,47	142,11
Filtro médio: 280	Filtro médio: 200

Fonte: Elaboração própria

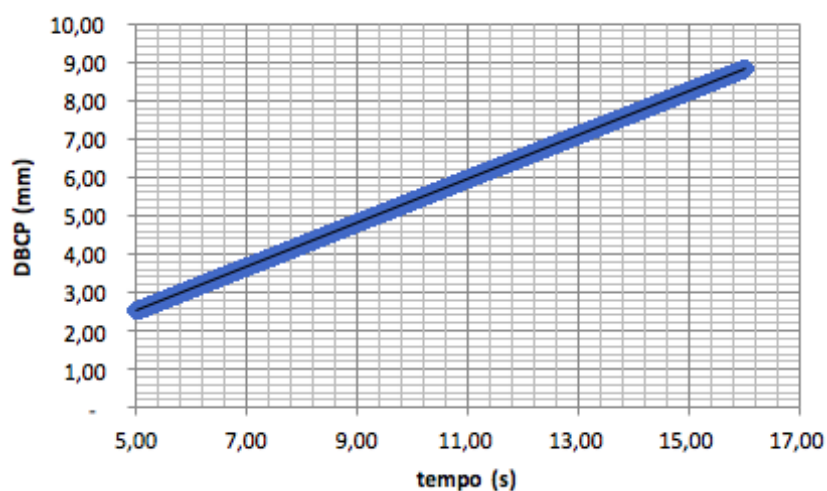
4.5.2 Relação entre DBCP e corrente média

Para resolver o problema de atraso do tempo inicial nas aquisições de corrente média do SAP 4.33s, compensou-se esse valor com uma constante. Desse modo, o valor foi compensado no tempo do processo de soldagem de acordo com a equação.

$$Compensação = Tempo_{real} - T_{adquirido} \quad (4)$$

A DBCP deveria aumentar de acordo com a passagem do tempo. Para tanto, foi gerado um gráfico de dispersão no software Microsoft Excel, com a combinações de valores obtidos e, em seguida, adicionada uma linha de tendência para os dados. Assim, alterando-se a equação 3 com a compensação do tempo, obteve-se a relação na figura 31. Para se obter essa relação e modelagem foram realizados 3 ensaios para obtenção dos dados de corrente da soldagem.

Figura 31- Gráfico da variação da distância de bico de contato à peça (DBCP) e tempo para a soldagem MIG/MAG convencional

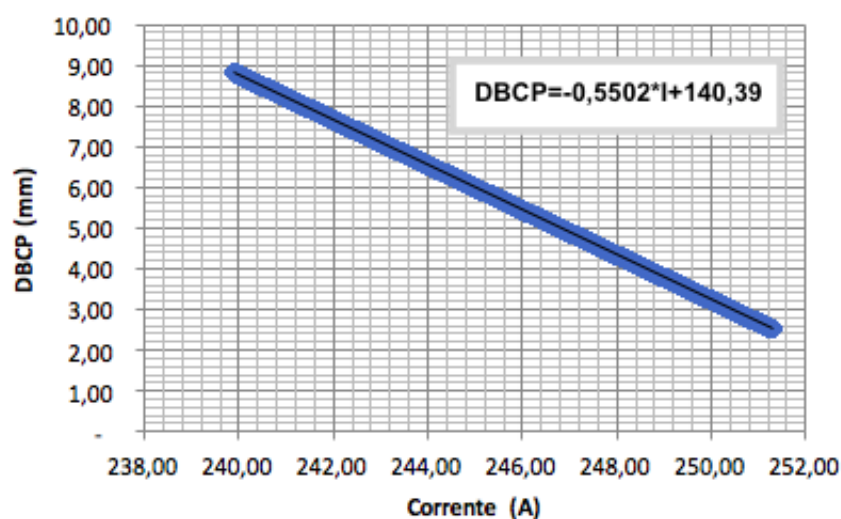


Fonte:Elaboração própria

Observa-se a figura 31 que o tempo inicia-se com 5 segundos onde a DBCP já possui um valor de 2,51mm até chegar a um valor de 8,83mm. A inclinação da reta é diretamente influenciada pelo valor da velocidade de soldagem. Caso a velocidade seja aumentada, o ângulo da reta em relação a horizontal tende a aumentar.

Com a obtenção dos dados de corrente e DBCP, a análise da forma com que as duas variáveis se relacionam na soldagem MIG/MAG convencional é requerida para o controle. Para tanto, foi gerado um gráfico pelo software Excel para se obter a relação entre a corrente média e a DBCP, e em seguida, foi adicionada uma linha de tendência para se obter a equação final para o controle do processo MIG/MAG convencional.

Figura 32- Gráfico da variação da distância de bico de contato à peça por corrente média da soldagem MIG/MAG convencional



Fonte:Elaboração própria

Observa-se na figura 32 que a corrente média é inversamente proporcional ao valor da DBCP para a soldagem MIG/MAG convencional. Além disso para os parâmetros obtidos nos ensaios no capítulo 4.3.3, a corrente varia entre 240 A e 251A de acordo com a alteração da DBCP. Com essa variação, obteve-se a equação que relaciona as duas variáveis necessárias para o controle do processo de soldagem, a DBCP e a corrente média de soldagem.

A equação obtida com os dados de corrente do processo MIG/MAG convencional é uma equação recursiva do controlador digital. Dessa forma, o ganho proporcional e integral está na própria equação como a seguir.

$$DBCP = Kp(-0,5502 * I + 140,39) + Ki \quad (5)$$

Como o objetivo era validar o controle da DBCP do processo MIG/MAG convencional não foi necessário alterar-se esses valores dos ganhos. Caso seja necessário se obter dados da utilização do controle proporcional e integral para o processo MIG/MAG convencional, faz-se necessário um estudo mais aprofundado sobre a variação desses ganhos para o controle do processo

4.6 VALIDAÇÃO DO CONTROLE DA DBCP VIA SENSORIAMENTO DO ARCO MIG/MAG CONVENCIONAL

4.6.1 Influência da aquisição de dados sobre o automatismo do controle de comprimento de arco

Considerando um sistema responsável pelo controle de certo nível de água de uma caixa que perde um litro de água por segundo e a ação do controle acontece a cada segundo de perda de água, este sistema deverá adicionar um litro de água por correção.

Caso haja mudança no número de ações de controle por segundo do sistema, passando, a ocorrer o dobro de vezes por segundo, bastaria reduzir a correção pela metade, ou seja, meio litro de água por correção. Porém, caso a correção passasse a ocorrer apenas a cada dois segundos, ele deve recompor o nível de água adicionando o dobro por correção. Essa é a lógica do controle proporcional. Considerando o que foi dito, tem-se que o valor de correção necessário para estabilidade do sistema de controle é inversamente proporcional ao números de correções por segundo e diretamente proporcional à taxa de crescimento do erro. Além disso, a dispersão da corrente média devido ao filtro utilizado na fonte afeta diretamente o controle; dessa forma, sendo necessária uma análise cautelosa do problema.

Já a ação integral do controle possui o objetivo de anular o erro de regime, fazendo com que o sistema possua maior precisão e melhore o seu funcionamento.

No caso do controle via sensoriamento do arco por meio do RS232, o número de correções por segundo é relacionado à frequência de aquisição dos parâmetros elétricos da fonte e a velocidade de soldagem. Assim, foram realizados diversos ensaios e modificações no controle e correção, de modo a permitir que o controle não comprometa o automatismo do sensoriamento do arco.

4.6.2 Validação das Implementações do controle

Considerando a função de reposicionamento do comprimento do arco da tocha, na própria programação do controlador, tem-se que sua lógica é caracterizada como do tipo proporcional e integral, uma vez que o valor de correção é calculado proporcionalmente ao valor da variação da corrente média (ΔI_m) interpretado, porém com a adição de uma correção.

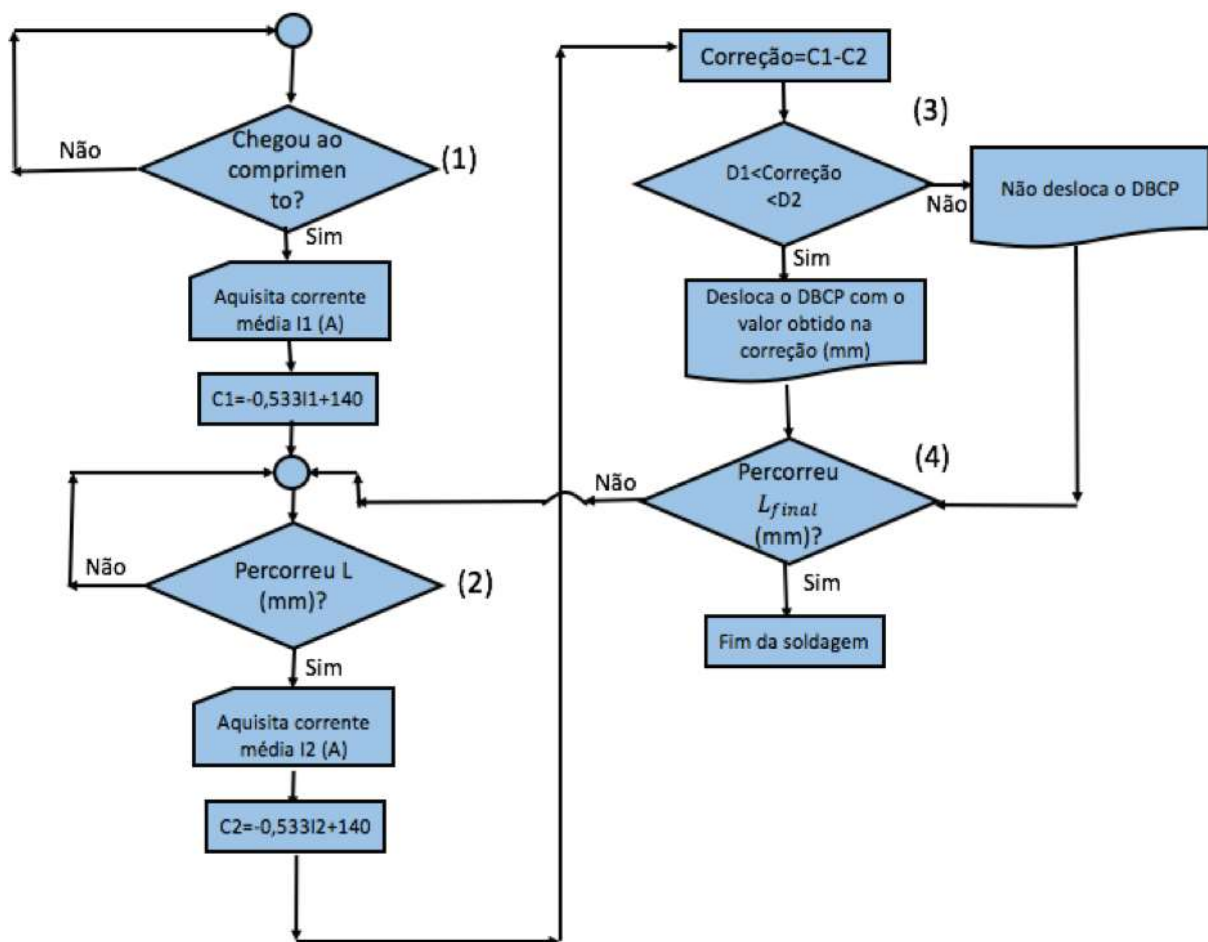
O controlador executa a rotina de reposicionamento da tocha de soldagem a partir da diferença entre os dois valores de corrente média aquisitados e obtém a diferença da correção das duas correntes. A rotina de reposicionamento se dá da seguinte maneira:

- Se ΔI_m inicial for maior do que ΔI_m final, o sistema corrige negativamente com uma distância de correção fixa. Isso porque se a corrente média diminuiu, pode-se concluir que o valor da DBCP aumentou durante a soldagem;
- Se ΔI_m inicial for menor do que ΔI_m final, o sistema corrige positivamente com uma distância de correção fixa. Isso porque se a corrente média aumentou, pode-se concluir que o valor da DBCP diminuiu durante a soldagem;
- Se ΔI_m inicial igual do que ΔI_m final, o sistema não corrige com uma distância de correção fixa. Isso porque se a corrente média continuou a mesma, pode-se concluir que o valor da DBCP permaneceu constante;
- Se o valor de correção ultrapassar determinado valor tanto positivo ou negativo, o sistema corrige a correção para zero. Evitando-se valores de curtos-circuitos mesmo com o filtro digital;
- Adquiri-se o valor inicial de corrente após determinada distância do ponto inicial para se evitar a aquisição de valores instáveis na abertura do arco para o controle da soldagem.

A correção da DBCP via sensoriamento do arco pode ser descrita, mais especificamente, segundo o fluxograma apresentado na figura 33. De acordo com o fluxograma no ponto 1 o sistema realiza uma contagem de acordo com o caminho

percorrido da soldagem, e em seguida realizada a aquisição do valor da corrente de referência para o controle no ponto 2. Depois, realiza novamente aquisição da segunda corrente no ponto 2 e faz a correção caso essa diferença estabelecida esteja contida na faixa de valores que abrangem a correção indicada no ponto 3. Por fim, caso tenha percorrido o caminho total da soldagem se dá o fim do processo no ponto 4.

Figura 33- Fluxograma funcionamento do controle para soldagem MIG/MAG convencional



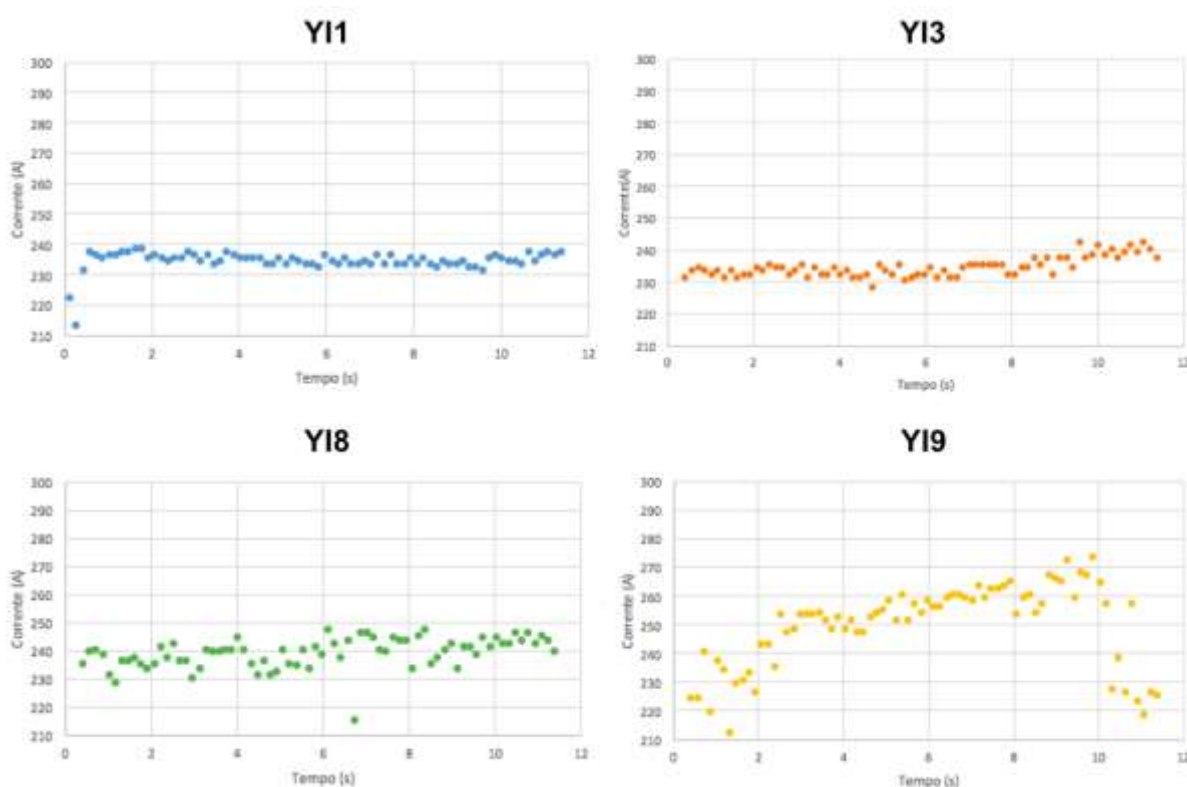
Fonte: Elaboração própria

A aquisição de corrente não ocorre de forma a depender apenas de frequência de aquisição da fonte. Caso assim fosse, a taxa de amostragem do controle digital seria a mesma da fonte (0,5 KHz). Porém, como exposto pela figura 33, a aquisição depende também do comprimento soldado no corpo de prova, dessa forma, obtendo-se uma frequência com atraso. Portanto, a frequência de amostragem do controle é de cerca de 0,38KHz.

4.6.3 Influência da configuração e dos componentes de soldagem sobre a aquisição da corrente média e o automatismo

O valor de ΔIm depende de diversos fatores, dentre estes: velocidade com que o arame é alimentado, velocidade de soldagem, ângulo de ataque de soldagem e capacidade de resposta da fonte de soldagem a mudança. Entretanto, a implementação de um filtro passa baixa na programação da fonte IMC Digiplus acarretou na necessidade de uma análise dos dados obtidos. Dessa forma, cabe ao usuário analisar de que forma o controle será realizado e o filtro ajustado sem que se perda dados significativos sobre o processo de soldagem e a abertura do arco. Seguem os dados obtidos de corrente média de acordo com os filtros utilizados.

Figura 34- Dispersão dos dados de corrente média da fonte IMC DIGIPLUS



Fonte: Elaboração própria

A dispersão aumenta conforme maior é a frequência de corte do filtro da fonte de soldagem. Além disso, o início e final do processo possuem pontos que

podem ser desconsiderados na dispersão devido á instabilidade. Analisando-se os dados adquiridos de corrente média da fonte, tem-se como base o desvio padrão desses parâmetros que pode ser observado na tabela a seguir.

Tabela 9- Valor do filtro e desvio padrão da amostra

Valor do filtro	Desvio padrão da amostra (A)
Y11	$\pm 3,28$
Y13	$\pm 6,16$
Y18	$\pm 11,11$
Y19	$\pm 19,05$

Fonte: Elaboração própria

Com isso, observa-se a tendência do filtro da média em relação ao desvio padrão. Portanto, como analisado na tabela 9, a diminuição brusca desse filtro, pode acarretar em perda das características do arco. Definindo-se dessa forma, a utilização do filtro de menor desvio para o controle do processo MIG/MAG convencional.

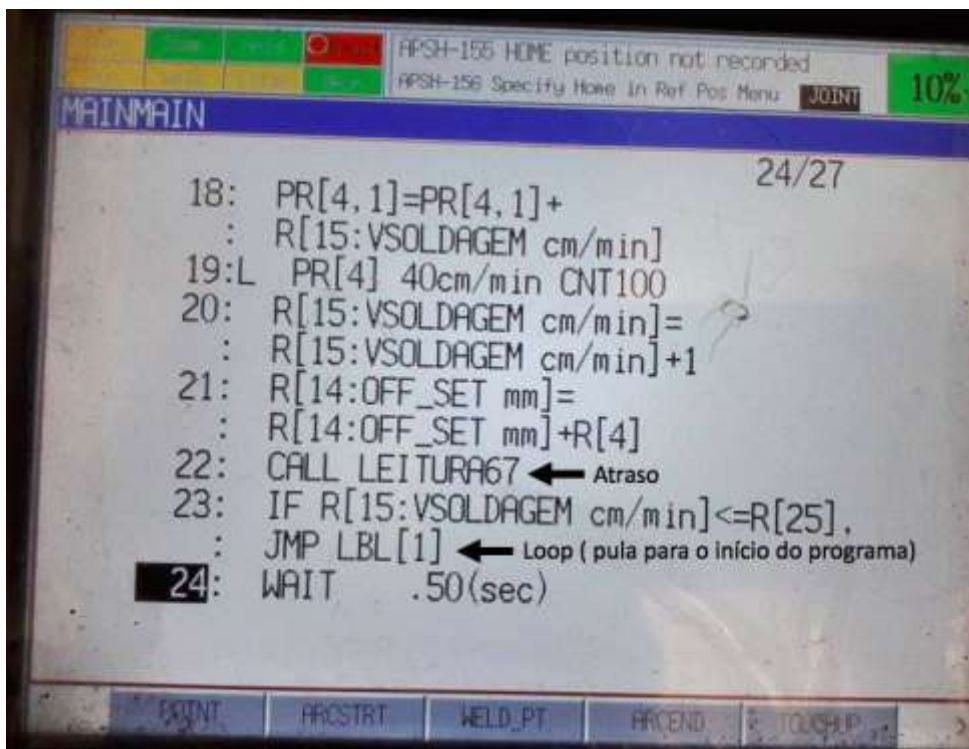
4.6.4 Programação KAREL e a gravação e reprodução da trajetória por incrementos

Um dos objetivos deste trabalho envolve a memorização do posicionamento da tocha de soldagem no início do cordão de solda e sua posterior utilização até finalizar o processo. Essa técnica foi utilizada com o intuito de realizar pequenos incrementos para que a aquisição de dados ocorra a cada comprimento específico do cordão de solda. Sendo assim, o programa deve possuir a capacidade de adquirir os dados diversas vezes e incrementar essa posição inicial até finalizar a soldagem. Com isso, a função utilizada funciona da seguinte maneira:

- Operador adiciona nos registradores de posição do robô três posições iniciais: posicionamento do *Home*, posição de aproximação e posição de início da soldagem;
- O valor da velocidade, parâmetros de contorno do posicionamento e abertura do arco não são definidos pelo operador no TP, mas sim pela programação utilizada em KAREL;
- A cada incremento de comprimento o controlador adquire um dado e após o tratamento necessário, soma-se a correção final ao valor do registrador referente ao posicionamento em Z (DBCP);
- O programa em KAREL ocorre inúmeras vezes até que se chegue ao comprimento final do cordão de solda.

O operador possui a facilidade de apenas adquirir os posicionamentos iniciais do processo de soldagem, não sendo necessário adicionar nenhum parâmetro adicional ou reformular a programação inteira caso queira modificar os posicionamentos. Como no processo automatizado as indústrias utilizam do processo com pouco ou nenhum manuseio do operador referente à máquina, uma das grandes vantagens é a realização da soldagem de forma facilitada e com grande modularidade devido a programação.

Figura 35- Erro de atraso apresentado na programação KAREL e "Teach Pendant"

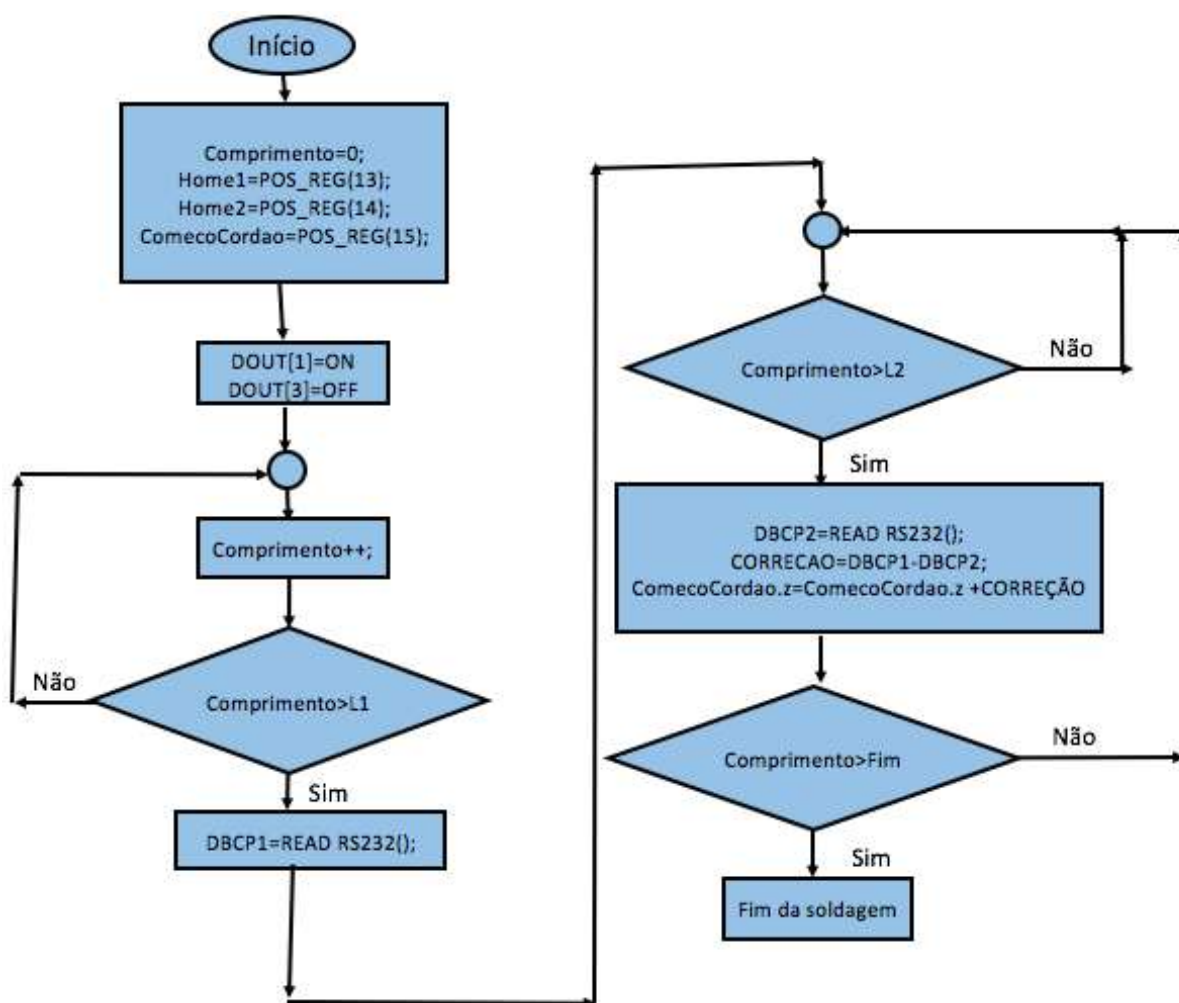


Fonte: Elaboração própria

Caso se utilize das duas programações, a KAREL para a leitura dos dados de corrente média e a própria do TP para realização da movimentação, faz-se necessário chamar uma das programações no escopo da outra através de subrotinas. Isso acarreta, como exposto na figura 35 em tempos de espera que são indesejáveis para o processo de soldagem. Dessa forma, cada movimento do robô causaria em um tempo morto que tornaria o processo instável.

O processo de gravação e reprodução da trajetória em KAREL pode ser visualizado a seguir, dando ênfase para o armazenamento da posição nos endereços.

Figura 36- Gravando o endereço de posição e incrementando programação KAREL



Fonte:Elaboração própria

O controle da DBCP pode ser considerado um controle proporcional e integral devido a lógica utilizado para o mesmo. Observa-se que a correção do controle é baseada em um valor fixo de DBCP como referência e posteriormente há a diferença entre os novos valores adquiridos para que ocorra a correção.

4.7 RESULTADO DO CONTROLE DO PROCESSO MIG/MAG CONVENCIONAL E TESTES

4.7.1 Comprimento inicial de aquisição de dados

O comprimento inicial de aquisição de dados é fundamental para viabilidade do controle da soldagem. Foram realizados diversos ensaios sem que houvesse limite de comprimento para o início da aquisição, o que acarretou em erros de posicionamento e instabilidade de soldagem. Para tanto, um valor de comprimento inicial foi definido logo após se alterar o programa da fonte com o objetivo de garantir a estabilização do arco.

A troca do modo de soldagem pela fonte é acompanhada de um período de instabilidade, impossibilitando a aquisição da corrente média devido a grande dispersão de valores e elevada quantidade de respingos. Em consequência disso, o controle do processo se torna inviável, o que acarreta em uma DBCP constante ao longo de todo cordão de solda. Para resolver esse problema, um valor de 6mm para o comprimento inicial foi definido com o objetivo de se adquirir a corrente média em um período de tempo em que o arco já esteja estabilizado.

4.7.2 Limites de correção

Os limites de correção definem os valores em que é possível o robô alterar sua DBCP em cada incremento de posição. Dessa forma, o limite de correção é um parâmetro importante pois define a forma com que o controle será realizado. Caso esse valor seja muito pequeno, podem ocorrer problemas como perdas das características do arco em relação ao controle. Se o valor for muito alto, podem ocorrer instabilidade pois a aquisição poderá ser realizada em curtos-circuitos ou valores que excedem a média da corrente nominal da fonte.

Para evitar este efeito, foram realizados ensaios com diferentes correções para viabilizar a possibilidade de adquirir os dados com correções cada vez maiores. Com isso, uma grande instabilidade foi encontrada, pois correntes médias em curtos-circuitos foram adquiridas e utilizadas para realizar as correções. Isso fez com que a

DBCP do robô fosse incrementada em valores muito altos, gerando uma grande poça de fusão e interrompendo o movimento. Um ensaio realizado sem os limites dos valores de correção pode ser visto a seguir.

Figura 37- Ensaio MIG/MAG convencional com controle sem os limites de correção corretos



Fonte: Elaboração própria

4.7.3 Incrementos

O incremento foi utilizado no programa para que as aquisições de dados acontecessem a cada acréscimo de posição do robô. Dessa forma, incrementos menores fazem com que o robô não respondesse ao aumento da DBCP, o que acarretava em que o mesmo permanecesse com a DBCP constante até o final do processo. Com isso, faz-se necessário aumentar o intervalo de aquisições (tempo) até um valor em que o robô pudesse realizar seus movimentos sem dificuldades.

Iniciou-se com um incremento de 1mm porém houveram problemas na movimentação do robô. Grande parte das correções não estavam sendo realizadas, fazendo com que o robô realizasse sua movimentação sem mudança na DBCP mesmo com diferentes alturas do corpo de prova. Para incrementos maiores o resultado se tornava mais estável, sendo todas as correções realizadas e o controle efetivado. Portanto, o incremento de 2mm foi utilizado pois se obteve melhor resultados em relação à implementação do controle.

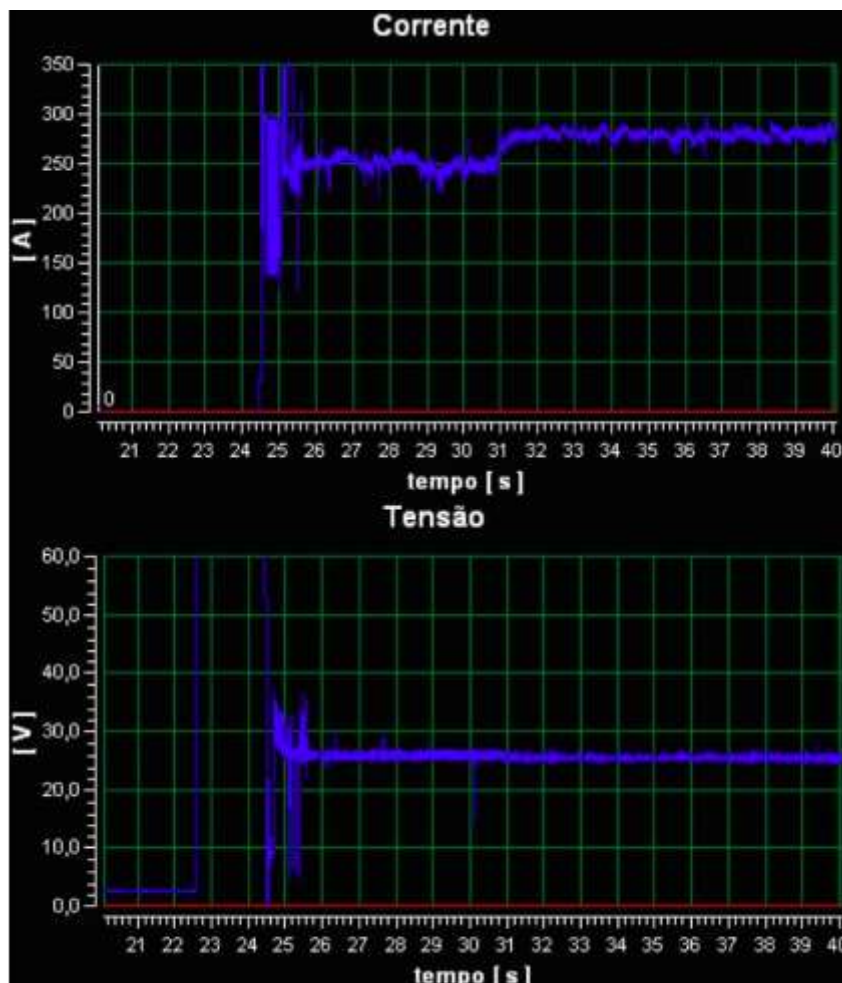
4.7.4 Resultados e análise do Algoritmo I

A lógica do controle foi implementada durante os ensaios para se obter os sinais de corrente média e validar o controle. Além disso, como o SAP 4.33s apenas

consegue adquirir os dados de corrente instantânea do processo de soldagem MIG/MAG convencional, a análise desses dados para constatar se o robô realmente estava realizando os incrementos na DBCP foi dificultada. Para tanto, implementou-se na programação o envio de dados de corrente média para um pen drive que era acoplado ao TP para realizar a análise dos dados da corrente média enviada pela fonte.

Constatou-se a possibilidade do emprego do controle do processo MIG/MAG convencional via sensoriamento do arco pelo protocolo RS232, apesar da instabilidade do processo. Observou-se que grande parte dos valores das correções estavam sendo realizados da maneira correta, entretanto o referencial da corrente média para o controle estava errado. Grande parte dos valores ultrapassavam o limite de 3mm no programa e, deste modo, o sistema ignorava as correções e a DBCP permanecia constante. Os dados obtidos pela aquisição das correntes instantâneas pelo SAP 4.33s podem ser visualizados a seguir.

Figura 38-Resultado de corrente instantânea utilizando o algoritmo I da soldagem MIG/MAG convencional via SAP 4.33s



Fonte: Elaboração própria

O início da soldagem foi realizado pelo programa do MIG/MAG pulsado. O comprimento inicial de aquisição dos dados foi de 6mm, onde possui grande instabilidade, pois não se tinha como obter um valor de corrente média estável para se referenciar o controle proporcional e integral.

A figura 38 mostra um acréscimo de corrente a partir dos 31 segundos devido um degrau de 2mm no corpo de prova. Esse degrau foi adicionado com a soldagem de uma chapa sobre à mesma de forma que as chapas fossem sobrepostas. Sendo assim, para validar o controle e realizar os ensaios, além da adição do degrau foi necessária a preparação prévia das chapas tanto para fixação entre as peças quanto para a limpeza dos óxidos como na figura 39.

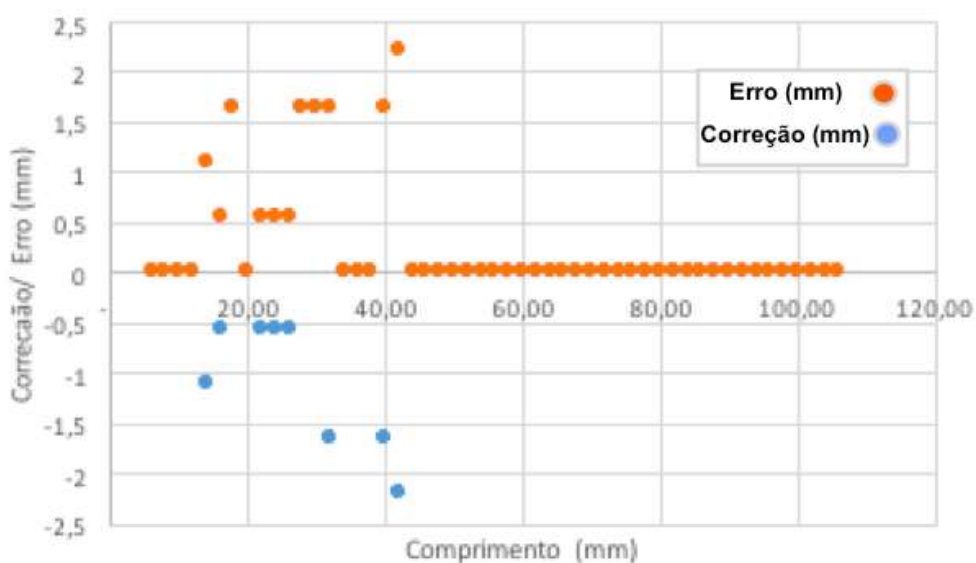
Figura 39- Altura das chapas para o controle do processo



Fonte: Elaboração própria

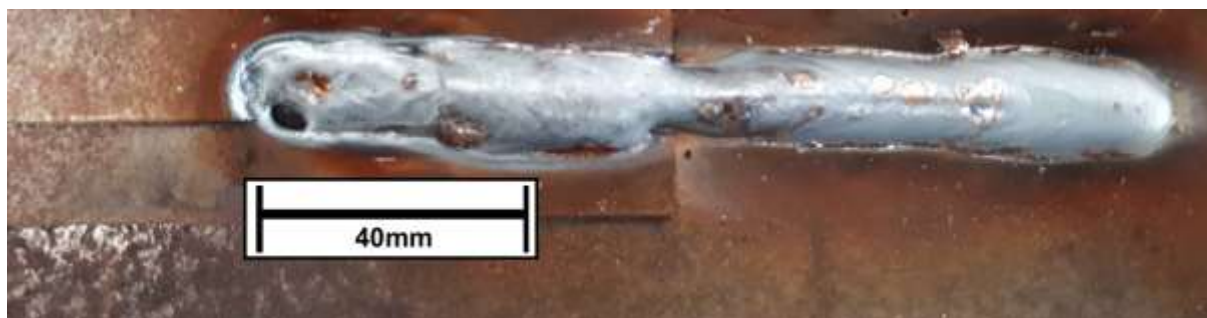
O comprimento inicial de aquisição de dados é fundamental para o bom controle do processo. Como esse comprimento foi pequeno, a aquisição da corrente média de referência acabou sendo no período de instabilidade. Dessa forma, o controle foi realizado com base em uma referência errada, concluindo com valores de correções negativos em vez de positivos e o resultado pode ser visto pela figura 41.

Figura 40- Erros e correções realizado pelo controle do algoritmo I



Fonte: Elaboração própria

Figura 41- Foto do cordão de solda do controle do algoritmo I

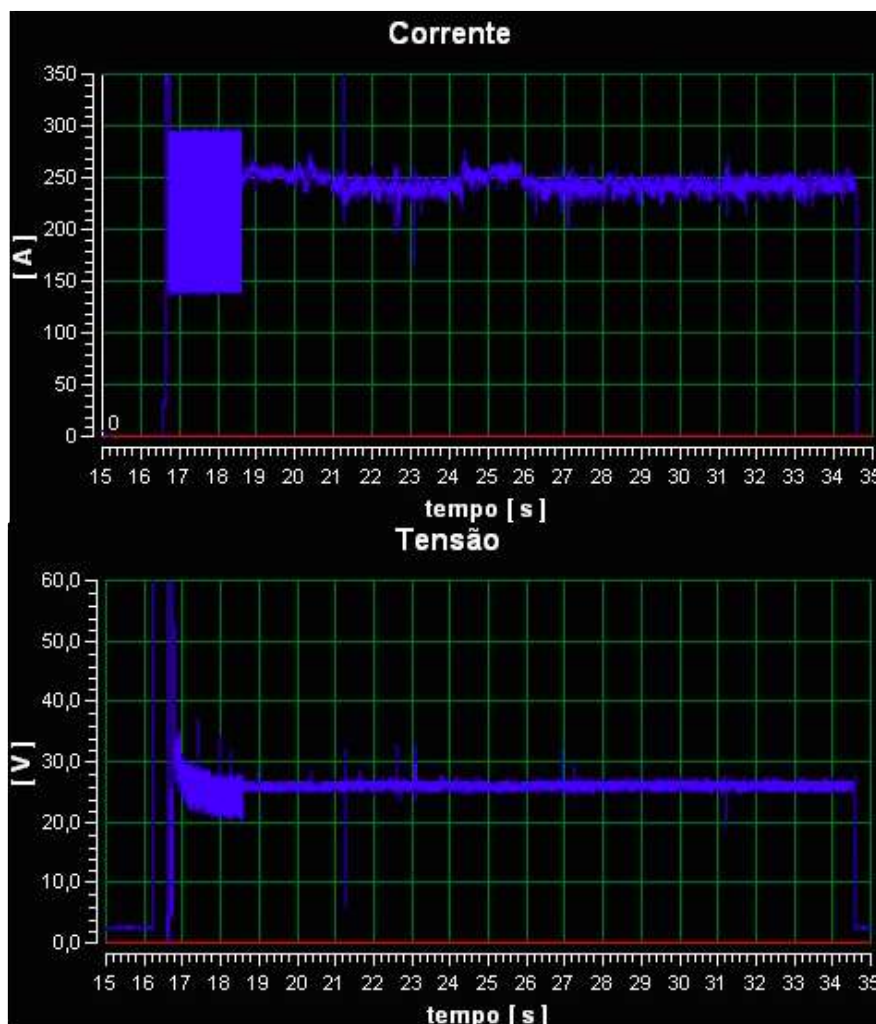


Fonte: Elaboração própria

4.7.5 Resultados e análise do Algoritmo II

A partir dos resultados obtidos com o algoritmo inicial do controle, foi realizada uma modificação na lógica de funcionamento no tempo da primeira aquisição de dado da corrente média de referência. A modificação se deu da seguinte maneira: ao invés de ignorar os primeiros 6mm para que ocorra a primeira aquisição de dados, o sistema passa a adquirir após 13mm de comprimento percorridos na troca de programa. O resultado obtido a partir desta lógica é apresentado na figura 42 . No resultado, é constatado que o controle proporcional e integral para o processo MIG/MAG convencional foi realizado, apesar das irregularidades em consequência do sobressinal.

Figura 42--Resultado de corrente instantânea utilizando o algoritmo II da soldagem MIG/MAG convencional via SAP 4.33s

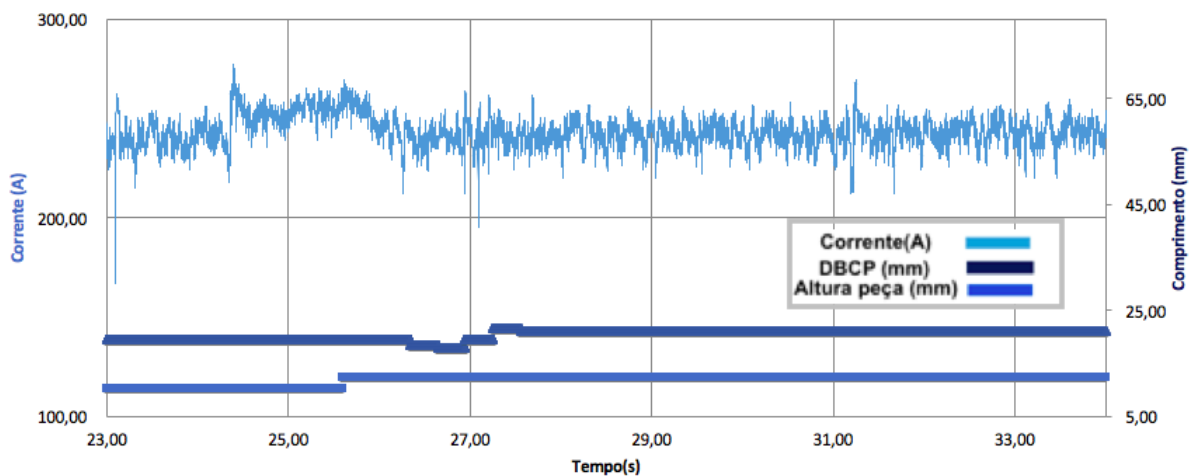


Fonte: Elaboração própria

Na figura 42 a corrente permanece quase constante, havendo uma curva de controle típica ao aumentar a DBCP se comparado ao controle realizado pelo capítulo anterior. Nessa curva o tempo entre 24s e 26s ocorre um sobressinal devido ao degrau de 2mm adicionado pelas chapas sobrepostas.

Os erros e correções do robô podem ser visualizados na figura 43, indicando que grande parte da correção ocorreu apenas no degrau de 2mm da chapas e com valores positivos, assim como o esperado.

Figura 44- Gráfico da altura da peça, aumento da DBCP e corrente média do controle algoritmo II



Fonte: Elaboração própria

O controle proporcional e integral não possui erro em regime permanente. Sendo assim, o erro pode ter sido acarretado devido às incertezas durante o processo de soldagem como a utilização dos instrumentos de medição pelo operador, saída do gás de proteção, etc. O erro em regime permanente foi de -0,3mm pois o incremento realizado para o valor de regime foi de 1,7mm. Por conseguinte o valor do erro foi de 15% do valor de regime. Apesar de possuir erro em regime, o controle foi realizado com sucesso e os cordões de soldas foram realizados com baixo nível de respingos e defeitos de soldagem como na figura 45.

Figura 45- Ensaio do controle MIG/MAG convencional utilizando o algoritmo II



Fonte: Elaboração própria

5 CONCLUSÃO

O controle da soldagem MIG/MAG convencional via sensoriamento do arco exige considerações quando se trata do algoritmo utilizado para o controle. Estas considerações não devem ser exclusivas apenas deste tipo de soldagem, mas basicamente todas as soldagens que exigem o controle da DBCP via sensoriamento do arco. Além disso, a forma com que foram tratadas a comunicação entre a fonte de soldagem e o controlador é importante para que se possa obter resultados satisfatórios durante o processo. Trabalhos como de Kallil [1] indicam que a frequência de aquisição de dados e a forma de tratamento afetam diretamente no controle da soldagem. Mais especificadamente, as principais conclusões alcançadas pelo trabalho foram:

- A viabilidade do controle da distância bico de contato à peça utilizando o arco elétrico como sensor foi verificada;
- Para que se possa realizar o controle via sensoriamento do arco pelo protocolo RS232, há necessidade de se utilizar um filtro passa baixa na programação da fonte. O filtro deve ser determinado de acordo com o projeto, sendo necessário analisar seus desvios para verificar a viabilidade dos sinais para o processo de soldagem;
- A modificação da aquisição da corrente média de referência para tempos maiores, quando ocorre o período de instabilidade da troca do programa, foi capaz de realizar a soldagem pretendida, inicialmente com eficiência;
- O erro em regime, mostrou-se como um fator a ser melhorado no processo, podendo ser melhorado com a variação dos ganhos proporcional e integral;
- As funções desenvolvidas, de gravação e reprodução da DBCP, foram empregadas de maneira satisfatória. Não afetando de forma significativa a viabilidade do processo, pois não houve atraso durante a execução do programa de soldagem.
- Para estudos futuros, pode-se obter melhoras de acordo com a variação dos ganhos do controle proporcional e integral. Utilizando-se de valores já disponibilizados nesse trabalho para variação dos ganhos e obtenção de um controle mais estável.

6 BIBLIOGRAFIA

1. MENDONÇA. F. K. **Evolução da técnica de seguimento de junta via sensoriamento do arco para operações de soldagem em posições forçadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2013
2. SOARES. G. C. H., **Estudo de sequências de soldagem para redução e eliminação de distorções**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UFMG
3. DIAS. A. R; TEICHMANN. W. E; SCHMITT. A; SILVA. O. E. **Implementação de uma rede industrial para células de soldagem robotizadas utilizando o protocolo MODBUS**, CONSOLDA, 2011.
4. PEREIRA. E. C; LAGES. F. W. **Integração de Sinais e Dados**, Apostila, cap.3, 2005
5. MANUAL, **Fanuc Robotics System R-J3, RJ3iB & R-30iA ArcTool eLearn Student Manual**, MATELRNAT0511CE REV.A
6. VIVIANI. B. A. **Integração de um sensor a laser a um manipulador cartesiano de soldagem para o seguimento automático de juntas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina
7. Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Mecatrônica. **Diretrizes de Estruturação do Documento de Projeto de Dissertação de Mestrado – PDM**, 2010. Página de internet: <http://mecatronica.florianopolis.ifsc.edu.br/ppgm/>, em Inscrições e Informes, Formulários.
8. Santos, J. F. & Quintino L., **Automatização e Robotização em Soldadura**. Lisboa, ISQ- Instituto de Soldadura e Qualidade de Portugal, 1992.
9. COSTA, A. R. F. **Desenvolvimento de um sistema de seguimento de junta que utiliza o próprio arco como sensor**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 120. 2003.
10. CARY, H. **Arc Welding Automation**. 1. ed. New York, EUA: Marcel Dekker, Inc, 1995. 527 p.
11. GOHR, R. J. **Novos Métodos de controle da soldagem MIG/MAG**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina.

12. SCOTTI, A.; PONOMAREV, V. **Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho.** São Paulo: Artliber Editora, 2008.
13. TEICHMANN, E. W. **Análise de variantes de processos de soldagem visando o revestimento com iconel 625 de tubos em aço API X46.** Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal de Santa Catarina
14. ÁLVARES, Alberto José et al. Tendências e aplicações especiais. In: ROMANO, Vitor Ferreira (Org.). **Robótica industrial: aplicação na indústria de manufatura e de processos.** Brasil: Edgard Blücher, 2002.
15. MARQUES, P.V.; MODENESE, P.J.; BRACARENSE, A.Q. **Soldagem: fundamentos e tecnologia.** 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2009.
16. RODAS.A.C.C, ALVES.D.M, ARAÚJO. R.G, JUNIOR.O.A.J, PALMEIRA.T.H.P, GONÇALVES.L.B. **Soldagem Robótica aplicada a indústria automobilística: A evolução e processos adaptativos para o desenvolvimento do setor.**
17. KARAFI.R.M, NARIMANI.R, HOJJAT.Y, GHEYBI.M. **Study on automatic control of arc gap in robotic TIG welding**
18. MACHADO, I. G. **Soldagem e Técnicas Conexas.** Rio de Janeiro: 2007.
19. KARAFI.R.M; NARIMANI.R; HOJJAT. Y; GHEYBI. M, I. G. **Study of automatic control of arc gap in robotic TIG welding.** Article: 2010..
20. BONACORSO, N. G. **Desenvolvimento de uma Célula de Fabricação Automatizada para Soldagem GMAW dos Componentes Estruturais das Rodas Metálicas de Tratores Agrícolas.** In: ABS, XXXVII Congresso Nacional de Soldagem, 2011. Natal – RN. ABS. p.9.
21. TEICHMANN, E. **Soldagem a Arco Aplicada na Indústria Automobilística Chassis.** IFSC, 2012.
22. SCOTTI, A. **Uma metodologia para parametrização do processo MIG/MAG CA.** Soldagem & Inspeção. São Paulo: ABS. 17: 6 p. 2012.
23. SCOTTI, A. **Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho.** São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2008. 284 p.
24. LINDÉN, G. COMMISSIONS XII **Arc Welding Processes and Production Systems. Sensors for seam tracking and adaptive control,** IIW/IIS, Doc. n. XII-1077-89, 1988.
25. GOHR, J.R, **Catálogo programação da fonte de soldagem IMC DIGIPLUS A7,** 2012.

APÊNDICES

APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO KAREL ALGORITMO I PARA O CONTROLE DA SOLDAGEM MIG/MAG CONVENCIONAL

```

PROGRAM leitura344
-- PROGRAMA PARA LEITURA DA CORRENTE (MIG;MAG CONVENCIONAL)
VAR RS232:FILE
VAR TXT_y:FILE
VAR TXT_corrente:FILE
VAR TXT_x:FILE
VAR TXT_Z:FILE
VAR file_status:INTEGER
VAR xs:STRING[3]
VAR ys:STRING[3]
VAR x:INTEGER
VAR y:INTEGER
VAR stat:INTEGER
VAR DBCP: REAL
VAR passou: BOOLEAN
VAR DBCP2: REAL
VAR Correcao: REAL
VAR tamanho:INTEGER
VAR comecoCordao:XYZWPR
VAR HOME1:XYZWPR
VAR HOME2:XYZWPR
VAR INTERACAO:BOOLEAN
VAR inicio:REAL
BEGIN

FORCE_SPMENU(TP_PANEL,SPI_TPUSER,1)

stat=SET_PORT_ATR(PORT_2,ATR_MODEM,MD_NOUSE_DSR)
stat=SET_PORT_ATR(PORT_2,ATR_MODEM,MD_NOUSE_DTR)
stat=SET_PORT_ATR(PORT_2,ATR_MODEM,MD_NOUSE_RTS)
stat=SET_PORT_ATR(PORT_2,ATR_BAUD,BAUD_4800)
stat=SET_PORT_ATR(PORT_2,ATR_PARITY,PARITY_ODD)
stat=SET_PORT_ATR(PORT_2,ATR_SBITS,SBITS_1)
stat=SET_PORT_ATR(PORT_2,ATR_DBITS,DBITS_8)
stat=SET_PORT_ATR(PORT_2,ATR_TIMEOUT,50000)

passou=FALSE
CLOSE FILE TXT_X
CLOSE FILE TXT_Z
CLOSE FILE TXT_Y
CLOSE FILE TXT_corrente
CLOSE FILE RS232
OPEN FILE RS232('RW','P2:')
OPEN FILE TXT_corrente('RW','UT1:teste.txt')
OPEN FILE TXT_X('RW','UT1:teste2.txt')
OPEN FILE TXT_Z('RW','UT1:teste3.txt')
OPEN FILE TXT_Y('RW','UT1:teste4.txt')
file_status=IO_STATUS(RS232)
IF(file_status<>0) THEN
WRITE TPDISPLAY('Failed to open the file=',file_status,CR)
ENDIF

tamanho=0
HOME1=GET_POS_REG(13,file_status)
HOME2=GET_POS_REG(14,file_status)

```

```

comecoCordao=GET_POS_REG(15,file_status)

$UFRAME=$MNUFRAME[1,6]
$UTOOL=$MNUTOOL[1,6]

WITH $MOTYPE=JOINT, $SPEED=100, $TERMTYPE=FINE
MOVE TO HOME1

WITH $MOTYPE=LINEAR, $SPEED=50, $TERMTYPE=FINE
MOVE TO HOME2

--MIG MAG PULSADO

DOUT[1]=OFF
DOUT[3]=OFF

WITH $MOTYPE=LINEAR, $SPEED=50, $TERMTYPE=FINE
MOVE TO comecoCordao

DELAY 1000
DOUT[10]=ON
DELAY 1500
comecoCordao.x=comecoCordao.x+20

WITH $MOTYPE=LINEAR, $SPEED=6.666667, $TERMTYPE=NODECEL
MOVE TO comecoCordao

DOUT[1]=ON
DOUT[3]=OFF
--Definindo a DBCP2 (para controle)
--leitura DBCP2
passou=FALSE

WHILE (tamanho<101) DO
IF((tamanho>5)AND(passou=FALSE)) THEN
WRITE RS232('YI1')
READ RS232(xs::3)
CNV_STR_INT(xs,x)
WRITE TPDISPLAY('Corrente1=',x,CR)
--CALCULO DBCP REFERENCIA
DBCP=-0.5502*x+140.39
WRITE TPDISPLAY('DBCP1=',DBCP,CR)
passou=TRUE
ELSE
WRITE RS232('YI1')
READ RS232(xs::3)
CNV_STR_INT(xs,x)
ENDIF

IF((tamanho>7)AND(passou=TRUE)) THEN
WRITE RS232('YI1')
READ RS232(xs::3)
CNV_STR_INT(xs,x)
WRITE TPDISPLAY('Corrente2=',x,CR)
DBCP2= -0.5502*x+140.39
WRITE TPDISPLAY('DBCP2=',DBCP2,CR)
Correcao=DBCP-DBCP2
WRITE TPDISPLAY('Correcao=',Correcao,CR)
ELSE
Correcao=0
DBCP2=0
WRITE RS232('YI1')
READ RS232(xs::3)
CNV_STR_INT(xs,x)
WRITE TPDISPLAY('Corrente2=',x,CR)
WRITE TPDISPLAY('DBCP2=',DBCP2,CR)
WRITE TPDISPLAY('Correcao',Correcao,CR)

```

```
ENDIF

IF UNINIT(x) THEN
  WRITE TPDISPLAY('nao conseguiu inicializar',CR)
ELSE
  WRITE TPDISPLAY('x=',x,CR)
ENDIF

ENDIF

IF((Correcao<-3) OR (Correcao>3)) THEN
  Correcao=0
ENDIF

tamanho=tamanho+2
comecoCordao.z=comecoCordao.z+Correcao
comecoCordao.x=comecoCordao.x+2

-- Passa pelo ponto sem parar

WITH $MOTYPE=LINEAR, $SPEED=6.666667, $TERMTYPE=NODECEL
MOVE TO comecoCordao NOWAIT

WRITE TXT_corrente(xs::3,CR)
WRITE TXT_X(Correcao::3,CR)
WRITE TXT_Z(ComecoCordao.z::3,CR)
WRITE TXT_Y(ComecoCordao.x::3,CR)
ENDWHILE

DOUT[10]=OFF
DELAY 500

WITH $MOTYPE=JOINT, $SPEED=50, $TERMTYPE=FINE
MOVE TO HOME1

CLOSE FILE RS232
CLOSE FILE TXT_corrente
CLOSE FILE TXT_X
CLOSE FILE TXT_Z
CLOSE FILE TXT_Y

END leitura344
```

APÊNDICE B – PROGRAMAÇÃO KAREL ALGORITMO II PARA O CONTROLE DA SOLDAGEM MIG/MAG CONVENCIONAL

```

PROGRAM leitura345
-- PROGRAMA PARA LEITURA DA CORRENTE (MIG;MAG CONVENCIONAL)
VAR RS232:FILE
VAR TXT_y:FILE
VAR TXT_corrente:FILE
VAR TXT_x:FILE
VAR TXT_Z:FILE
VAR file_status:INTEGER
VAR xs:STRING[3]
VAR ys:STRING[3]
VAR x:INTEGER
VAR y:INTEGER
VAR stat:INTEGER
VAR DBCP: REAL
VAR passou: BOOLEAN
VAR DBCP2: REAL
VAR Correcao: REAL
VAR tamanho:INTEGER
VAR comecoCordao:XYZWPR
VAR HOME1:XYZWPR
VAR HOME2:XYZWPR
VAR INTERACAO:BOOLEAN
VAR inicio:REAL
BEGIN

FORCE_SPMENU(TP_PANEL,SPI_TPUSER,1)

stat=SET_PORT_ATR(PORT_2,ATR_MODEM,MD_NOUSE_DSR)
stat=SET_PORT_ATR(PORT_2,ATR_MODEM,MD_NOUSE_DTR)
stat=SET_PORT_ATR(PORT_2,ATR_MODEM,MD_NOUSE_RTS)
stat=SET_PORT_ATR(PORT_2,ATR_BAUD,BAUD_4800)
stat=SET_PORT_ATR(PORT_2,ATR_PARITY,PARITY_ODD)
stat=SET_PORT_ATR(PORT_2,ATR_SBITS,SBITS_1)
stat=SET_PORT_ATR(PORT_2,ATR_DBITS,DBITS_8)
stat=SET_PORT_ATR(PORT_2,ATR_TIMEOUT,50000)

passou=FALSE
CLOSE FILE TXT_X
CLOSE FILE TXT_Z
CLOSE FILE TXT_Y
CLOSE FILE TXT_corrente
CLOSE FILE RS232
OPEN FILE RS232('RW','P2:')
OPEN FILE TXT_corrente('RW','UT1:teste.txt')
OPEN FILE TXT_X('RW','UT1:teste2.txt')
OPEN FILE TXT_Z('RW','UT1:teste3.txt')
OPEN FILE TXT_Y('RW','UT1:teste4.txt')
file_status=IO_STATUS(RS232)
IF(file_status<>0) THEN
WRITE TPDISPLAY('Failed to open the file=',file_status,CR)
ENDIF

tamanho=0
HOME1=GET_POS_REG(13,file_status)
HOME2=GET_POS_REG(14,file_status)
comecoCordao=GET_POS_REG(15,file_status)

$UFRAME=$MNUFRAME[1,6]
$UTOOL=$MNUTOOL[1,6]

```

```
WITH $MOTYPE=JOINT, $SPEED=100, $TERMTYPE=FINE
MOVE TO HOME1
```

```
WITH $MOTYPE=LINEAR, $SPEED=50, $TERMTYPE=FINE
MOVE TO HOME2
```

```
--MIG MAG PULSADO
```

```
DOUT[1]=OFF
DOUT[3]=OFF
```

```
WITH $MOTYPE=LINEAR, $SPEED=50, $TERMTYPE=FINE
MOVE TO comecoCordao
```

```
DELAY 1000
DOUT[10]=ON
DELAY 1500
comecoCordao.x=comecoCordao.x+20
```

```
WITH $MOTYPE=LINEAR, $SPEED=6.666667, $TERMTYPE=NODECEL
MOVE TO comecoCordao
```

```
DOUT[1]=ON
DOUT[3]=OFF
--Definindo o DBCP2 (para controle)
--leitura DBCP2
passou=FALSE
```

```
WHILE (tamanho<101) DO
IF((tamanho>9)AND(passou=FALSE)) THEN
WRITE RS232('Y11')
READ RS232(xs::3)
CNV_STR_INT(xs,x)
WRITE TPDISPLAY('Corrente1=',x,CR)
--CALCULO DBCP REFERENCIA
DBCP=-0.5502*x+140.39
WRITE TPDISPLAY('DBCP1=',DBCP,CR)
passou=TRUE
ELSE
WRITE RS232('Y11')
READ RS232(xs::3)
CNV_STR_INT(xs,x)
ENDIF
```

```
IF((tamanho>12)AND(passou=TRUE)) THEN
WRITE RS232('Y11')
READ RS232(xs::3)
CNV_STR_INT(xs,x)
WRITE TPDISPLAY('Corrente2=',x,CR)
DBCP2= -0.5502*x+140.39
WRITE TPDISPLAY('DBCP2=',DBCP2,CR)
Correcao=DBCP-DBCP2
WRITE TPDISPLAY('Correcao=',Correcao,CR)
ELSE
Correcao=0
DBCP2=0
WRITE RS232('Y11')
READ RS232(xs::3)
CNV_STR_INT(xs,x)
WRITE TPDISPLAY('Corrente2=',x,CR)
WRITE TPDISPLAY('DBCP2=',DBCP2,CR)
WRITE TPDISPLAY('Correcao',Correcao,CR)
ENDIF
```

```
IF UNINIT(x) THEN
WRITE TPDISPLAY('nao conseguiu inicializar',CR)
ELSE
```

```
WRITE TPDISPLAY('x=',x,CR)

ENDIF

IF((Correcao<-3) OR (Correcao>3)) THEN
  Correcao=0

ENDIF

tamanho=tamanho+2
comecoCordao.z=comecoCordao.z+Correcao
comecoCordao.x=comecoCordao.x+2

-- Passa pelo ponto sem parar

WITH $MOTYPE=LINEAR, $SPEED=6.666667, $TERMTYPE=NODECEL
MOVE TO comecoCordao NOWAIT

WRITE TXT_corrente(xs::3,CR)
WRITE TXT_X(Correcao::3,CR)
WRITE TXT_Z(ComecoCordao.z::3,CR)
WRITE TXT_Y(ComecoCordao.x::3,CR)
ENDWHILE

DOUT[10]=OFF
DELAY 500

WITH $MOTYPE=JOINT, $SPEED=50, $TERMTYPE=FINE
MOVE TO HOME1

CLOSE FILE RS232
CLOSE FILE TXT_corrente
CLOSE FILE TXT_X
CLOSE FILE TXT_Z
CLOSE FILE TXT_Y

END leitura345
```