

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

RODOLFO ROGGER DE CARVALHO VALLE

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM NA MORFOLOGIA DO
CORDÃO DE SOLDA EM REVESTIMENTO COM CORRENTE PULSADA**

CORNÉLIO PROCÓPIO

2017

RODOLFO ROGGER DE CARVALHO VALLE

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM NA MORFOLOGIA DO
CORDÃO DE SOLDA EM REVESTIMENTO COM CORRENTE PULSADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, em Engenharia Mecânica, da Coordenação de Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof. Me(a) Émillyn
Ferreira Trevisani Olivio.

Coorientador: Prof. Me Celso Alves
Correa.

CORNÉLIO PROCÓPIO

2017



**Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Mecânica
Curso de Engenharia Mecânica**



TERMO DE APROVAÇÃO

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM NA
MORFOLOGIA DO CORDÃO DE SOLDA EM REVESTIMENTO
COM CORRENTE PULSADA**

POR

RODOLFO ROGGER DE CARVALHO VALLE

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado às 14:00 horas do dia 28 de Novembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO MECÂNICO, linha de pesquisa - soldagem, no programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dra. Émillyn Ferreira Trevisani Olivio - Presidente (Orientadora)

Prof. Me. Celso Alvez Correa – (Coorientador)

Prof. Dr. Paulo César Moselli (Membro)

Prof. Phd. João Roberto Sartori Moreno (Membro)

“A Folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação de Curso.”

Dedico este trabalho à minha família, a todos os meus amigos que me apoiaram e aos meus professores que deram a base e direcionamento para a conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTO

Agradeço a minha orientadora Prof. Me Émillyn Ferreira Trevisani Olivio e ao meu Coorientador Prof. Me Celso Alves Correa pela sabedoria e pela maneira com que me orientou nesta trajetória.

Aos meus amigos Matheus, Vinicius, Rande, Marco, Dário, Vinicius, Wanderley, Osni, Fernando e a Carol.

Gostaria de salientar meu reconhecimento a minha família, minha mãe Joeli, meu Pai Carlos, e meus irmãos Vicktória e Carlos, pois foi de suma importância o apoio recebido de cada um.

Enfim, a todos que de alguma maneira contribuíram para a execução deste trabalho.

“Sucesso não é a chave para a felicidade; felicidade é a chave para o sucesso. Se você ama o que faz, você será bem-sucedido.”

(Albert Schweitzer)

RESUMO

Valle, R. R. C. **Influência dos parâmetros de soldagem na morfologia do cordão de solda em revestimento com corrente pulsada**, Cornélio Procópio, Faculdade de engenharia mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017, 33 p.

A soldagem de revestimento foi aplicada pelo processo de arame tubular com proteção gasosa na posição plana com corrente convencional. O metal base utilizado foi o aço SAE 1020 e o metal de adição foi o aço inoxidável martensítico 410 (CA6MN). Foram feitos ensaios variando os parâmetros de solda como a frequência, a distância do bico de contato peça e a velocidade de soldagem em uma corrente constante de 230 A pulsada.

Entretanto dados de largura do cordão e aceleração, foram analisados utilizando o software Microsoft Excel.

Portanto o revestimento apresentou melhor desempenho para frequência de 20 Hz, distância do bico de contato com a peça de 30 mm e velocidade de soldagem de 300 mm/min.

Palavras chave: Soldagem de revestimento, velocidade de soldagem, distância do bico de contato com a peça.

Abstract

Valle, R. R. C. Influence of welding parameters in the morphology of the welding cord in cladding with pulsed current, Cornélio Procópio, Faculty of Mechanical Engineering, Federal Technological University of Paraná, 2017, 33 p.

Cladding welding was applied by the gaseous-coated tubular wire process in the flat position with conventional current. The base metal used was SAE 1020 steel and the addition metal was martensitic stainless steel 410 (CA6MN). Assays were performed by varying the welding parameters such as the frequency, the distance of the contact nip part and the welding speed in a constant current of 230 A pulsed.

However, cord width and acceleration data were analyzed using Microsoft Excel software.

Therefore, the cladding presented better performance for 20 Hz frequency, 30 mm contact tip to workpiece distance and 300 mm / min welding speed.

Key words: Cladding welding, welding speed, contact tip to workpiece distance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Técnicas de soldagem.	16
Figura 3. Stick-out ideal para arames de 1,2 a 1,4mm.	18
Figura 4. Soldagem a arco elétrico com arame tubular auto protegido.	19
Figura 5. Distribuição e Localização dos Equipamentos Utilizados.	23
Figura 6. Dispositivo de posicionamento do corpo de prova.	23
Figura 7. Sequência e tratamento dos sinais.	25
Figura 8. Morfologia do cordão de solda.	26
Figura 9. Gráfico de Aceleração versus Frequência para uma corrente média de 230 Amperes.	28
Figura 10. Gráfico de Aceleração versus Velocidade de Soldagem para uma corrente média de 230 Amperes.	29
Figura 11. Gráfico de Aceleração versus Distância do Bico de Contato da Peça para uma corrente média de 230 Amperes.	29
Figura 12. Gráfico Frequência vs Dimensão para Reforço e Largura.	30
Figura 13. Gráfico Velocidade de Soldagem vs Dimensão para Reforço e Largura.	30
Figura 14. Gráfico Distância Bico de Contato com a Peça vs Dimensão para Reforço e Largura.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química do aço SAE 1020	21
Tabela 2. Composição química do metal de adição AWS EC 410 NiMo MC ...	21
Tabela 3. Equipamentos utilizados na bancada de ensaios.....	22
Tabela 4. Equipamentos para preparação dos corpos de prova.....	22
Tabela 5. Parâmetros de soldagem.	24
Tabela 6. Variação dos parâmetros usados na soldagem.	25
Tabela 7. Morfologia do cordão de solda em corrente pulsada.....	27
Tabela 8. Parâmetros do cordão de solda	27

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.1.1 OBJETIVO GERAL	13
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 TÉCNICAS DE SOLDAGEM	16
2.2 PARÂMETROS DE SOLDAGEM	16
2.1.1 TENSÃO.....	16
2.2.2 CORRENTE	17
2.2.3 – GASES DE PROTEÇÃO	17
2.2.4 – STICK-OUT	17
2.3 SOLDAGEM COM ARAME TUBULAR	18
2.4 SOLDAGEM DE REVESTIMENTO.....	19
2.5 ESTABILIDADE DO ARCO ELÉTRICO	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	21
3.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	21
3.3 CORPO DE PROVA.....	23
3.4 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS.....	24
3.5 ENSAIOS DE SOLDAGEM	24
3.6 AQUISIÇÃO DE SINAL	25
4. RESULTADOS E DISCUÇÕES.....	26
4.1 MORFOLOGIA DOS CORDÕES	26
4.2 RESULTADOS DA AQUISIÇÃO DE SINAIS.....	28
5. CONCLUSÕES.....	32
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1. INTRODUÇÃO

Soldagem é a técnica de unir duas ou mais partes, sem que haja grande mudança nas características químicas ou mecânicas do material. Denota-se soldagem como ação de unir peças, enquanto solda é o resultado ou produto da operação (SILVA, 2003).

Apesar da atual forma de soldagem ser recente, com aproximadamente 100 anos, a brasagem e a soldagem por forjamento já eram utilizadas há muito tempo. Segundo registros, existe um pingente de ouro com indicações de ter sido soldado por volta de 4.000 a.C na Pérsia. (MODENESI e MARQUES, 2000).

O método de soldagem de revestimento é o processo em que se deposita uma camada de metal de adição sobre a superfície de outro material, que têm como objetivo obter propriedades ou dimensões desejadas. Este processo é geralmente utilizado com o objetivo de prorrogar a vida útil de peças que não possuem propriedades necessárias para determinadas aplicações, para a criação de superfícies com características especiais, além de também ser empregada na recuperação de elementos afetados pelo desgaste ou corrosão. (MODENESI e MARQUES, 2005).

Dentre as aplicações citadas, Murugan e Parmar destacam o aumento do uso do processo de soldagem de revestimento no setor industrial para a obtenção de superfícies especiais e, considerando a enorme gama de diversidades de materiais para revestimento, os aços inoxidáveis se destacam com uma aplicação mais frequentes. Geralmente os aços inoxidáveis são depositados sobre superfícies de aço carbono ou aço baixa liga, formando uma camada com propriedades anti-corrosivas, além de gerar uma resistência capaz de suportar ambientes com alto poder de desgaste por corrosão. Esse processo vem gerando excelentes resultados, o que vem tornando esta aplicação bem atrativa, uma vez em que superfícies resistentes à ambientes corrosivos são produzidos utilizando materiais de baixo custo comparados aos puramente de aços inoxidáveis, que possuem um custo elevados. Portanto esses fatos veem justificando o aumento significativo do uso desse processo no setor industrial. (MURUGAN e PARMAR, 1994).

Este trabalho busca analisar como a variação de corrente e tensão interferem na estabilidade do arco elétrico na soldagem de revestimento, alimentando o sistema com corrente pulsada.

1.1 OBJETIVOS

Nos processos de soldagem por arame tubular, existem algumas variáveis que interferem diretamente na qualidade do cordão de solda. A partir destas informações, elaborou-se um estudo de parâmetros na soldagem de revestimento pulsada com um aço inoxidável martensítico, coletando dados de tensão e corrente, investigando as variáveis de influência e realizando uma análise de dados.

Uma das formas de analisar a estabilidade do processo, é monitorando a variação de alguns parâmetros tais como tensão e corrente. Através desse monitoramento, podemos caracterizar diferentes aspectos operacionais do processo.

Portanto este trabalho foi fragmentado em duas partes: a primeira com a coleta de dados e, a segunda consiste na análise dos dados e determinar quais parâmetros interferem diretamente na qualidade do cordão de solda e analisar qual variável teve maior influência.

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho possui o objetivo geral de analisar importantes parâmetros utilizados na soldagem a arco com arame tubular *Flux Cored Arc Welding* - FCAW utilizando fonte de corrente pulsada a 230 A de um aço inoxidável martensítico como revestimento.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar os resultados obtidos através da soldagem de revestimento com arame tubular, segundo parâmetros previamente estipulados, para que, a partir desses valores encontrados, possa-se:

- Verificar os parâmetros que influenciam a soldagem de revestimento;
- Contribuir com o estudo da soldagem de revestimento por arame tubular e de variação da tensão e corrente na soldagem;
- Constatar a estabilidade do arco elétrico em corrente pulsada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Define-se soldagem como um processo do grupo de união de materiais, que visa a união, manutenção e/ou revestimento de materiais, com ou sem o emprego de pressão e/ou com ou sem a aplicação de calor (WAINER, 2008).

Uma vez descoberta, a soldagem foi de extrema importância para todos os segmentos industriais, onde o desenvolvimento de novos processos e novas técnicas foram acompanhando as necessidades de cada época. (MODENESI e MARQUES, 2000).

Em 1885, Nikolas Bernados e Stanislav Olszewsky, na Inglaterra, registraram a primeira patente de um processo de soldagem, que foi baseado em um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de carvão e a peça a ser soldada. (MODENESI e MARQUES, 2005).

Atualmente encontra-se uma enorme gama de processos de soldagem utilizados na indústria. Dentro dos diversos, têm-se um bastante utilizado que é o arame tubular (FCAW – Fluxed Cored Arc Welding), o qual possui duas variações: com proteção gasosa ou não. (SENAI, 1997).

Dentro do processo de soldagem com arame tubular, destaca-se duas formas de soldagem: sendo semi-automática, onde o soldador controla a tocha, ou então automática que é quando um robô executa a soldagem através da leitura de um programa de controle. Com o avanço da criação de arames com diâmetro menores, foi-se utilizado o método FCAW para se soldar em diversas posições e para vários tipos de juntas. (SENAI, 1997).

Existem várias características presentes nos processos com proteção gasosa e nos com eletrodos revestidos que são comuns também nos de arame tubular, das quais, podemos destacar: alta versatilidade, alta taxa de deposição, operação em campo, entre outras. Por esta variabilidade de vantagens, as soldagens por arame tubular veem ganhando uma enorme importância na utilização em indústrias petrolíferas, químicas, alimentícias, agrícolas, nucleares, navais, ferroviária, de construção civil, entre várias outras (SENAI, 1997).

2.1 TÉCNICAS DE SOLDAGEM

Existem algumas técnicas que afetam a características finais da solda.. A Figura 1 (a) ilustra a técnica de soldagem puxando, gera como resultado um cordão de solda estreito, e reforço do cordão de solda e penetração de garganta maiores. A Figura 1 (b) ilustra a técnica de soldagem denominada empurrando, resulta em um cordão de solda mais largo, e um reforço menor, com menor penetração de garganta. Para se determinar qual técnica deve-se utilizar é necessário avaliar qual os resultados a serem alcançados e o tipo de junta a ser soldada (ESAB, 2005).

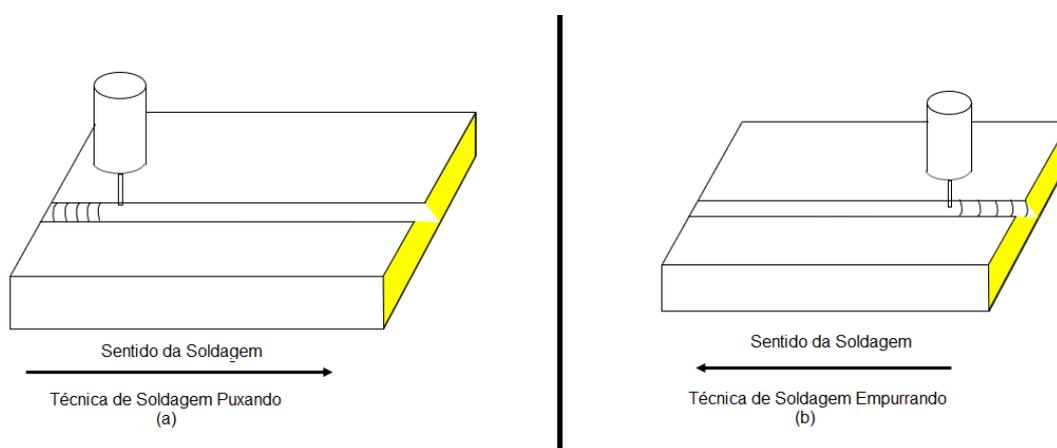


Figura 1. Técnicas de soldagem.
Fonte: Atuação própria

2.2 PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Os parâmetros de solda são os fatores mais importantes que afetam produtividade, custo e a qualidade final da solda (Bracaraense, 2000).

2.1.1 TENSÃO

A tensão no arco de solda influencia diretamente no comprimento do arco, ou seja, quanto maior a tensão, maior será o comprimento do arco (SENAI 2007).

Quando se têm todos os parâmetros de soldagem constantes, ao aumentar a tensão, resulta-se em uma maior área de junta soldada (Bracaraense, 2000).

2.2.2 CORRENTE

Define-se como corrente de soldagem sendo a amperagem de saída da fonte quando a solda está sendo realizada. Geralmente é lida no indicador da fonte, ou através de um amperímetro separado (ESAB, 2005).

A transferência do metal e o controle da taxa de fusão do eletrodo são influenciados pela intensidade de corrente, ou seja, é a principal responsável pela velocidade de soldagem. Assim quando temos uma corrente de soldagem relativamente baixa, ocorre uma inadequada penetração e acúmulo do metal de solda (MARQUES, 1996).

2.2.3 – GASES DE PROTEÇÃO

Para evitar a contaminação da poça de fusão pela atmosfera, a soldagem é feita com um gás de proteção. Essa contaminação se deve principalmente pela presença de nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2) e vapor d'água (H_2O). (ESAB, 2005).

A distância entre a tocha e a poça de fusão é a que determina a vazão adequada para proteger o arco elétrico. Quando se tem uma vazão inadequada pode ocorrer tantos problemas de oxidação quanto porosidades. (SENAI, 1997).

2.2.4 – STICK-OUT

A distância entre o bico de contato e a peça e, deve ser mantido entre 15 a 20mm para arames de diâmetros 1,2 e 1,4mm e de 20 a 25mm para arames com diâmetros de 1,6mm. Por outro lado, a distância entre bico de contato/peça é de 25 mm a 35 mm para elementos maciços de 1,2 mm de diâmetro. (ESAB, 2005).

Deve-se ter um controle do stick-out, pois quando for excessivo, resulta-se em um arco de comprimento muito curto, gerando respingos, gotículas maiores e arco instável e se for muito curto, a corrente aumentará fazendo com que a poça de fusão fique mais quente e de difícil controle, tudo isso resulta em

uma má soldabilidade. A Figura 3, ilustra um Stick-out ideal entre 15mm e 20mm para arames com diâmetros de 1,2 a 1,4mm (ESAB, 2005).

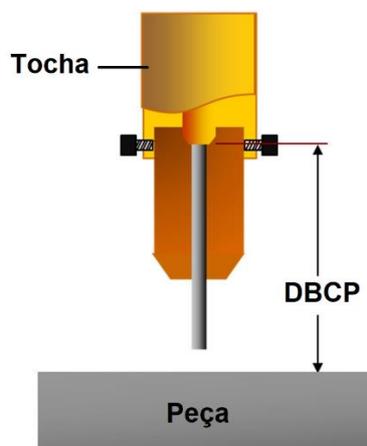


Figura 2. Stick-out ideal para arames de 1,2 a 1,4mm.
Fonte: Adaptado de Scielo.

2.3 SOLDAGEM COM ARAME TUBULAR

É um processo de soldagem a arco que produz a coalescência de metais pelo aquecimento deste com um arco elétrico, que é estabelecido pelo metal de base e um eletrodo metálico tubular, contínuo e consumível (Figura 4). A proteção do arco e do cordão de solda pode ser contida dentro do eletrodo ou fornecido por uma proteção gasosa fornecida por uma fonte externa. (SENAI, 1997)

Nas últimas décadas o processo de soldagem por Arame Tubular – FCAW, apresentou um crescimento significativo na indústria, fato que se justifica pelas vantagens encontradas no processo em relação aos demais similares (SENAI, 1997).

Dentro do processo de soldagem por arame tubular, destaca-se algumas características, tais como: a obtenção de soldas de alta qualidade, arco estável, menor vazão de gás e baixo nível de respingos, que aliadas ao baixo custo e sua versatilidade fazem com que seja cada vez mais utilizada nos processos de fabricações (SENAI, 1997).

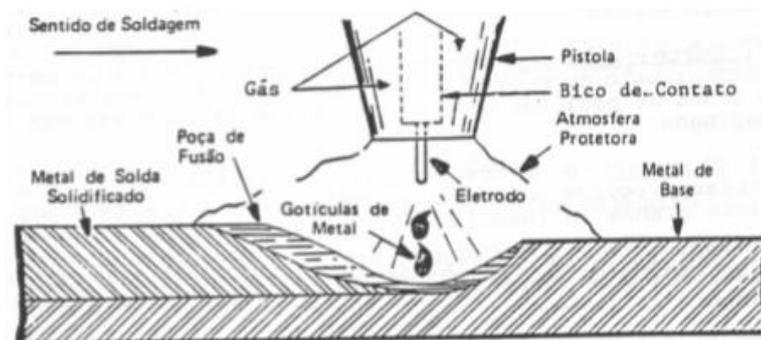


Figura 3. Soldagem a arco elétrico com arame tubular auto protegido.
Fonte: ESAB.

2.4 SOLDAGEM DE REVESTIMENTO

Define-se a soldagem de revestimento com aço inoxidável sendo um processo de deposição de uma camada de aço inoxidável em superfícies de aço de baixa liga ou aço carbono com a finalidade de gerar revestimentos com propriedades anti-corrosão e resistências necessárias que os materiais estão sujeitos no ambiente. (MRUNGAN & KANNAN,2006).

Portanto este processo vem ganhando grande importância no ramo industrial, pois conforme a utilização dos equipamentos nas indústrias, sua deterioração e desgaste é inevitável, sendo o desgaste o principal responsável pelo aumento do processo de revestimento para recuperação. Isso se deve pelo fato do processo ter um custo reduzido e possui uma versatilidade na realização do processo (SENAI, 1997).

Para efetuar o processo de soldagem de revestimento deve-se considerar os mesmos parâmetros citados anteriormente ao explicar o processo de soldagem com arame tubular.

2.5 ESTABILIDADE DO ARCO ELÉTRICO

Quando se trata de um processo de soldagem com transferência metálica, têm-se a estabilidade do arco e a transferência do metal como duas variáveis interligadas, pois estas são de suma importância para o processo e caso um destes estiver instável, o processo inteiro sofrerá variações (ESAB, 2005).

Pode-se dizer que um processo de soldagem é estável quando uma quantidade limitada a uma determinada amplitude tem como resultado uma saída também limitada em amplitude (SENAI, 1997).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Os corpos de prova que foram utilizados nesse projeto são barras de aço trefiladas SAE 1020 com as seguintes dimensões: 185,00 mm de comprimento, largura de 63,50 mm e espessura de 12,70 mm. A Tabela 1 demonstra dados da composição química do material.

Tabela 1. Composição química do aço SAE 1020

Elementos	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	Sn	N (ppm)
Teor em %	0,18/ 0,23	0,30/ 0,60	0,10/ 0,30	0,030 máx.	0,035 máx.	0,200 máx.	0,150 máx.	0,060 máx.	0,060 máx.	80
Resistência à tração (MPa)				441,3	Limite de Escoamento (MPa)				245,2	

Fonte: Gerdau.

O metal de adição, foi o arame tubular inoxidável martensítico, que possui um diâmetro de 1,2 mm, especificado como AWS EC 410 NiMo MC. A Tabela 2 demonstra dados da composição química do material.

Tabela 2. Composição química do metal de adição AWS EC 410 NiMo MC

Elementos	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Teor em %	0,027	0,440	0,590	0,024.	0,006	12,500	4,860	0,430
Resistência à tração (MPa)			910	Limite de Escoamento (MPa)				830

Fonte: ESAB.

3.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Para efetuar a soldagem do corpo de prova, foi utilizado uma bancada de ensaios desenvolvida pela UTFPR-CP, que é composta por: uma fonte de soldagem, uma tartaruga de soldagem e um sistema modular de aquisição de dados com amperímetro, voltímetro e acelerômetro. A Tabela 3 contém as principais características dos componentes da bancada de ensaio.

Tabela 3. Equipamentos utilizados na bancada de ensaios.

EQUIPAMENTOS	MODELO	FABRICANTE	OBSERVAÇÕES
Tocha reta refrigerada a água	Tocha MIG Reta TBI 511 AUT- 2,0m	TBI	- Diâmetro utilizável: 1,2 a 2,4 mm (milímetros)
Sistema de alimentação de arame	STA-20 / digital	IMC/LABSOLDA - UFSC	-
Fonte de soldagem multiprocesso	Inversal 450	IMC soldagem	- Corrente: contínua ou alternada; - Corrente nominal: 450A (amperes); - Tensão de entrada: 220, 380 ou 440V (volts) trifásica.
Carro motriz: tartaruga de soldagem com deslocamento controlável nos eixos X e Y	Tartilope V2	SPS – Sistema e Processos de Soldagem	- Eixo X: velocidade até 160 cm/min (centímetros por minuto) - Eixo Y: velocidade até 300 cm/min (centímetros por minuto)

Fonte: Autoria Própria.

Além dos equipamentos citados acima, outros foram utilizados e tiveram uma importância fundamental na preparação dos corpos de prova e coletas de dados para a formulação dos resultados. A Tabela 4, a seguir descreve os demais equipamentos utilizados.

Tabela 4. Equipamentos para preparação dos corpos de prova.

EQUIPAMENTO	MODELO	FABRICANTE	OBSERVAÇÕES
Serra de fita contínua	FM-335	Franho	-
Termômetro infravermelho digital portátil	ITTI-1600	INSTRUTEMP	- Faixa de temperatura: -32 a 1650°C (graus celsius).
Gabinete de jateamento por sucção	GS-9075X	CMV Indústrias Mecânicas	-
Forno mufla para aquecimento	NT-380	Novatécnica	- Faixa de temperatura: 100 a 110°C (graus celsius)

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 5 apresenta esquematicamente a bancada utilizada durante a soldagem.

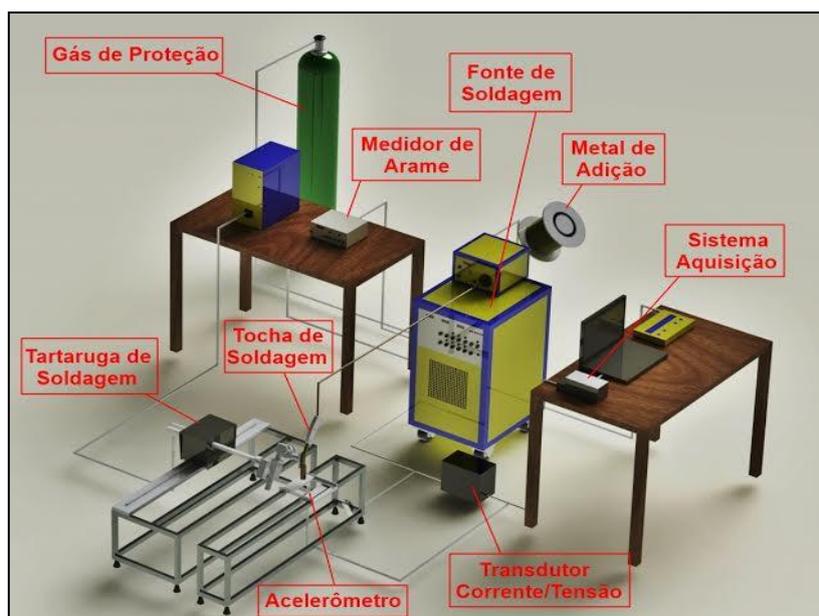


Figura 4. Distribuição e Localização dos Equipamentos Utilizados.
Fonte: Autoria Própria.

3.3 CORPO DE PROVA

Para garantir uma superfície limpa, os corpos de prova antes de serem soldados, passam por um processo de jateamento abrasivo com granalha de aço angular G-25 S280, com grau de dureza D, garantindo assim uma superfície isenta de graxa, óleo e demais contaminantes.

A fim de evitar falhas e garantir que o corpo de prova será alocado sempre no mesmo local, para isso, foi utilizado um dispositivo de posicionamento (Figura 6) que foi fixado na bancada de ensaios.

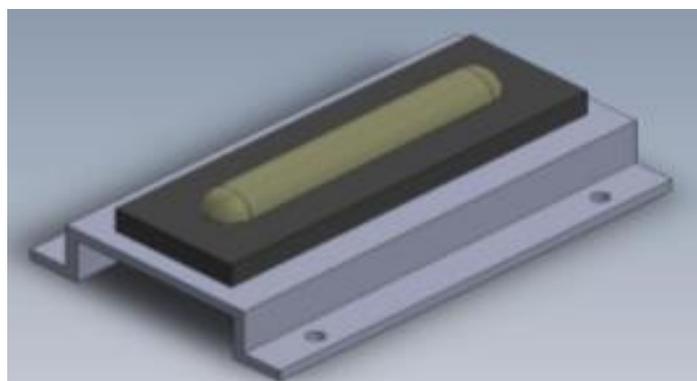


Figura 5. Dispositivo de posicionamento do corpo de prova.
Fonte: Autoria própria.

3.4 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS

Os parâmetros listados na Tabela 5 foram mantidos constantes em todo o processo de soldagem. Estes foram definidos com base nas bibliografias e posteriormente, foram realizados ensaios para confirmar a veracidade dos mesmos.

Tabela 5. Parâmetros de soldagem.

Parâmetro	Nível
Polaridade do Eletrodo	CCEP
Gás de proteção	Argônio + 2% Oxigênio
Vazão do gás	18 litros/min
Ângulo da tocha	90º
Posição de soldagem	Plana
Temperatura de interpasse	150ºC
Velocidade de alimentação do arame	8,5m/min
Quantidade de cordões	1
Corrente de pico (Ip)	350 amperes
Tempo de pico (tp)	10 milisegundos

Fonte: Autoria própria

3.5 ENSAIOS DE SOLDAGEM

Adotou-se alguns parâmetros de soldagem como variáveis para realizar os experimentos, são eles: velocidade de soldagem, distância do bico de contato da peça e a frequência de pulsação. Assim definidos, foram realizados alguns experimentos para validar a escolha dos mesmos. Na Tabela 6 estão representados a relação entre dos parâmetros adotados.

Tabela 6. Variação dos parâmetros usados na soldagem.

Corrente Média (Amperes)	Frequência de Pulsação (Hz)	Velocidade de Soldagem (mm/min.)	Distância do Bico de Contato (mm)
230	22,22	300	36
	22,22	300	36
	20,00	350	30
	20,00	350	30
	18,18	400	33
	18,18	400	33

Fonte: Autoria própria

Como citado anteriormente, a tabela 6 contém as variáveis e seus respectivos valores, que foram: corrente média fixa de 230 A; velocidade de soldagem de 300, 350 e 400 mm/min.; e distância do bico de contato de 36, 33 e 30 mm; e por se tratar da utilização de correntes pulsadas, a frequência de pulsação de 22.22, 20.00 e 18.18 Hz;

3.6 AQUISIÇÃO DE SINAL

Para realizar a coleta dos sinais, foi utilizado-se o *software* LabVIEW da *National Instruments*.

A Figura 7 ilustra a sequência de aquisição e tratamento dos sinais.



Figura 6. Sequência e tratamento dos sinais.

Fonte: Autoria própria.

4. RESULTADOS E DISCUÇÕES

Nesta seção, são apresentados e discutidos os resultados que foram obtidos no procedimento experimental. Os dados foram divididos em duas partes, sendo a primeira uma amostra da morfologia dos cordões de solda e na segunda parte são mostrados os resultados dos dados coletados.

4.1 MORFOLOGIA DOS CORDÕES

Quando se realiza uma soldagem de revestimento, procura-se atingir dois principais objetivos. O primeiro objetivo é se obter uma maior largura possível, para que necessite o menor número de passes na soldagem, tendo assim uma economia no tempo de soldagem e da quantidade de metal de adição na soldagem. O segundo objetivo é que a penetração da solda não seja tão grande, com o intuito evitar interferências na estrutura do revestimento.

Para elaborar esse estudo, verificou-se os seguintes parâmetros: largura (L), reforço (R) e penetração (P). A Figura 8 demonstra esses parâmetros. Por meio de análise destes parâmetros, é possível analisar com eficiência apresentada nos cordões de solda quando se varia os parâmetros definidos anteriormente.

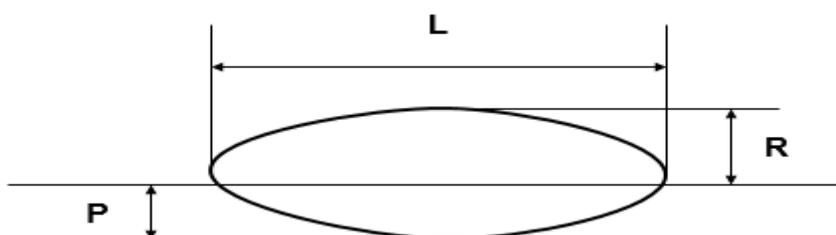


Figura 7. Morfologia do cordão de solda.

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 7 apresentada a seguir, mostra a forma visual do cordão gerado pela corrente de 230 A com velocidade de soldagem de 300 mm/min, 350 mm/min e 400 mm/min.

Tabela 7. Morfologia do cordão de solda em corrente pulsada.

Corrente (A)	Velocidade de Soldagem (mm/min.)					
	300		350		400	
230		Freq. (22,22 Hz) DBCP (36 mm)		Freq. (20,00 Hz) DBCP (30 mm)		Freq. (18,18 Hz) DBCP (33 mm)

Fonte: Autoria própria.

Pela Tabela 7, podemos observar que ao se aumentar a velocidade de soldagem a largura (L) do cordão de solda diminui, notando também que a variação do reforço (R) foi mínima o que também acontece quando se falamos em penetração (P) onde obtivemos uma variação mínima.

Nas três condições de velocidade de soldagem obtivemos penetrações diferentes mais com formas parecidas. Com relação ao reforço, obtivemos uma maior convexidade na velocidade de 350 mm/min. Com relação a largura do cordão, quanto maior a velocidade, menor é a largura do cordão, e então obtivemos uma largura maior quando a velocidade foi de 300 mm/min

A Tabela 8 mostra os resultados da morfologia do cordão de solda.

Tabela 8. Parâmetros do cordão de solda

Corrente média (Amperes)	Frequência de pulsação (Hz)	Velocidade de soldagem (mm/min.)	Distância do bico de contato com a peça	Aceleração (m/s ²)	Largura (mm)	Reforço (mm)
230	22,22	300	36	0,1531	11,040	3,420
	22,22	300	36	0,1810	11,510	3,590
	20,00	350	30	0,1700	10,060	3,560
	20,00	350	30	0,1932	10,130	3,610
	18,18	400	33	0,1665	9,750	3,520
	18,18	400	33	0,1668	10,040	3,140

Fonte: Autoria própria.

4.2 RESULTADOS DA AQUISIÇÃO DE SINAIS

Os dados coletados de corrente e tensão, foram analisados e para um melhor entendimento elaborou-se gráficos com a ajuda do software Microsoft Excel.

Os gráficos foram divididos de acordo com os parâmetros analisados. Primeiramente os dados foram analisados em um intervalo de tempo de 20s a 30s. Utilizou-se também uma corrente média de 230 Amperes para todos os experimentos.

Nas Figura 9, Figura 10 e Figura 11, relacionou-se aceleração versus frequência, velocidade de soldagem e distância entre o bico de contato e a peça respectivamente.

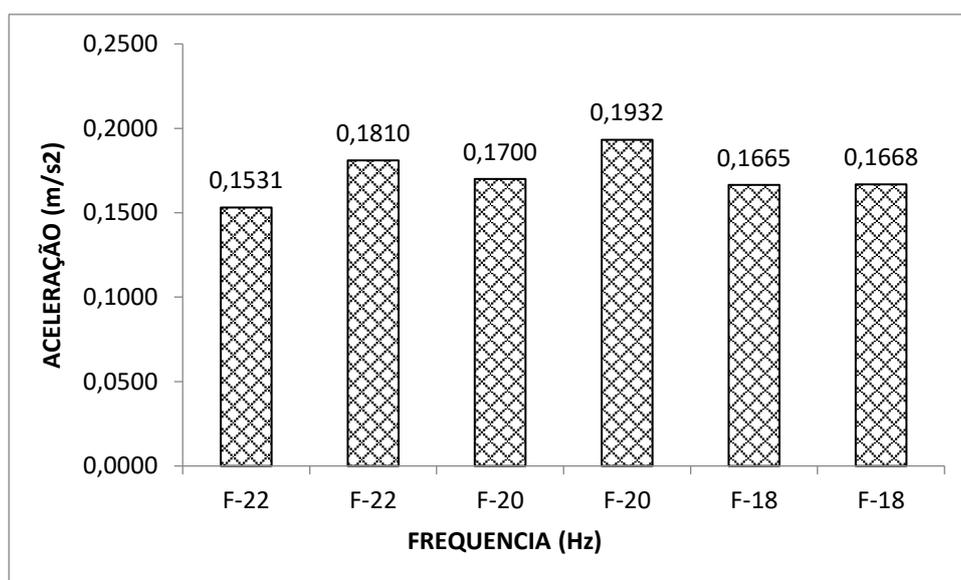


Figura 8. Gráfico de Aceleração versus Frequência para uma corrente média de 230 Amperes.

Fonte: Autoria própria.

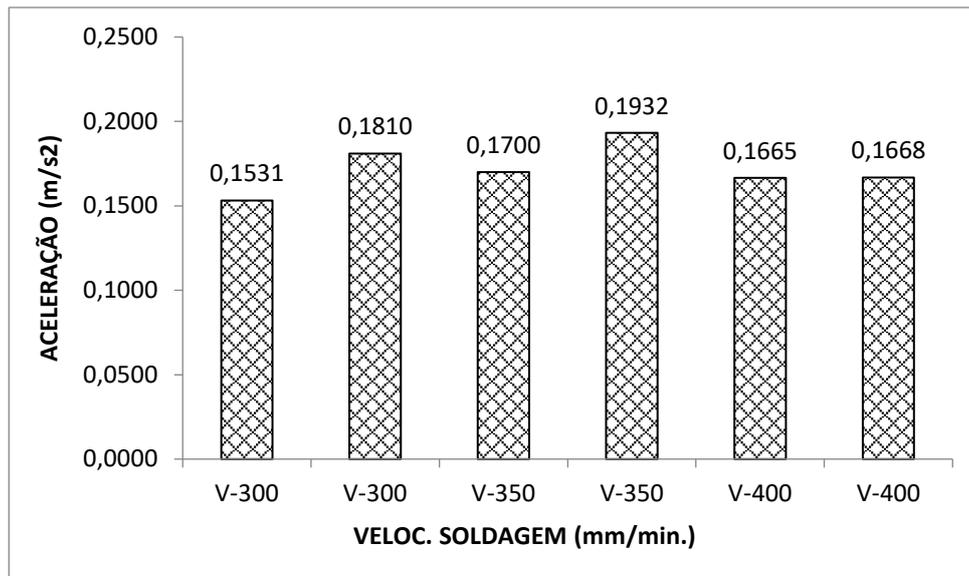


Figura 9. Gráfico de Aceleração versus Velocidade de Soldagem para uma corrente média de 230 Amperes.

Fonte: Autoria própria.

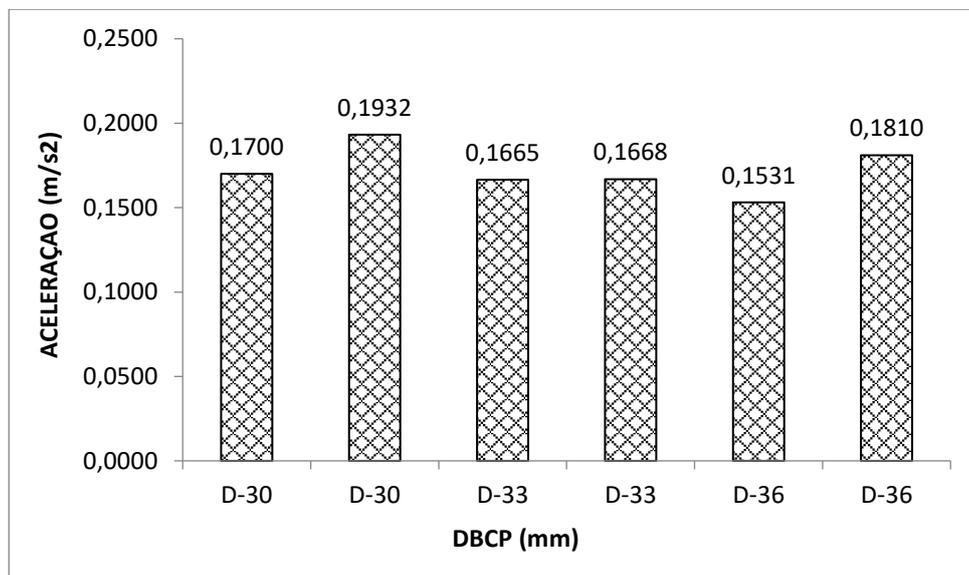


Figura 10. Gráfico de Aceleração versus Distância do Bico de Contato da Peça para uma corrente média de 230 Amperes.

Fonte: Autoria própria.

Podemos notar que nas Figura 9, Figura 10 e Figura 11, variou-se a aceleração de acordo com alteração dos parâmetros de soldagem. Assim obteve-se a maior aceleração com uma distância do bico de contato com a peça

de 33 (mm), uma velocidade de soldagem de 350 (mm/min) e uma frequência de 20 (Hz).

Nas Figura 12, Figura 13 e Figura 14 representa-se os gráficos obtidos para largura e reforço versus frequência, velocidade de soldagem e distância entre o bico de contato e a peça respectivamente.

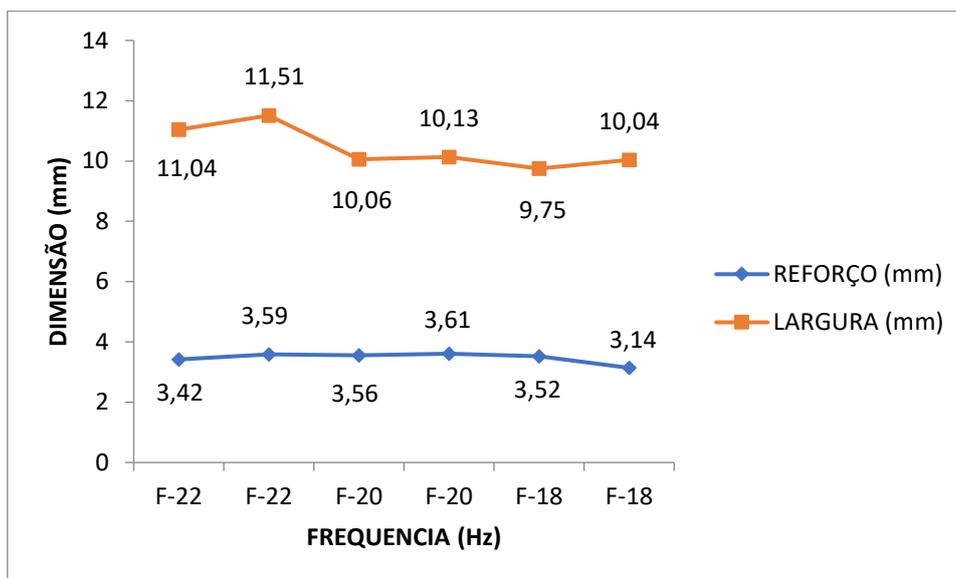


Figura 11. Gráfico Frequência vs Dimensão para Reforço e Largura.
Fonte: Autoria própria.

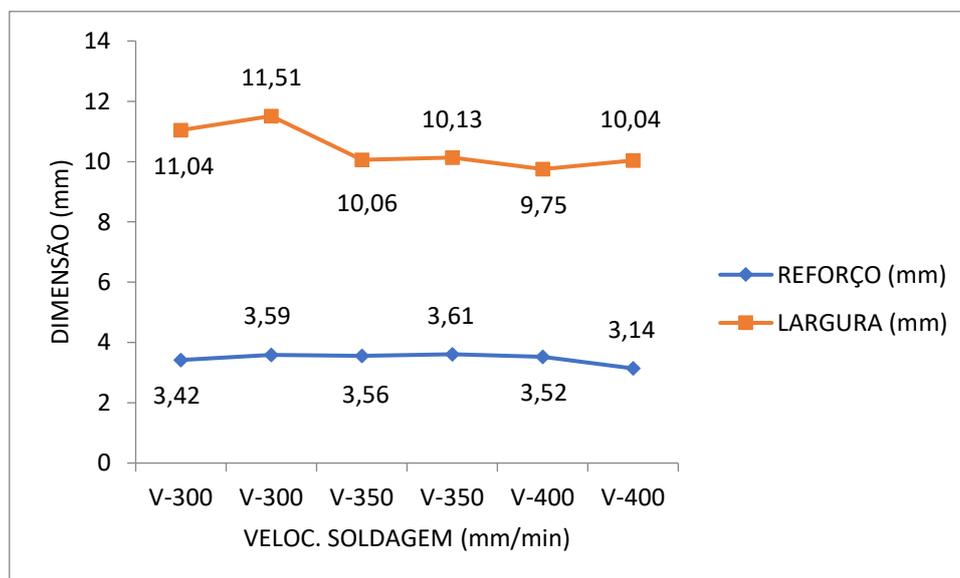


Figura 12. Gráfico Velocidade de Soldagem vs Dimensão para Reforço e Largura.
Fonte: Autoria própria.

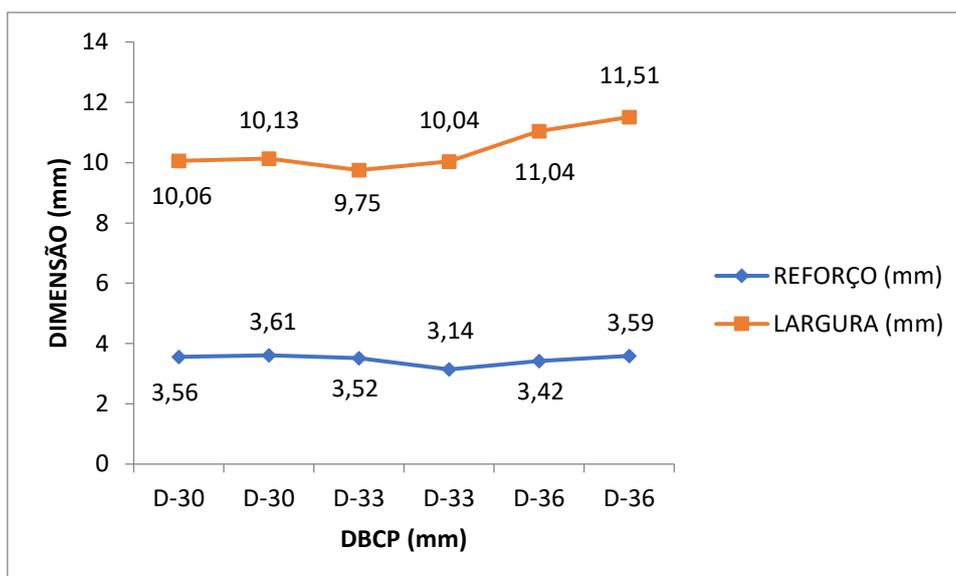


Figura 13. Gráfico Distância Bico de Contato com a Peça vs Dimensão para Reforço e Largura.

Fonte: Autoria própria.

Nota-se nas Figura 12 e Figura 13 que de acordo que variou-se os parâmetros, a largura e o reforço se comportaram igual, ou seja, conforme aumentou-se a velocidade de soldagem e reduziu-se a frequência, obteve-se como resposta os mesmos valores para reforço e largura.

Pode-se notar que quando se variou a distância do bico para peça não se obteve-se o mesmo comportamento, obtendo assim valores alternados, sem um aumento ou redução progressiva.

5. CONCLUSÕES

Quando se trata de soldagem de revestimento, devemos obter uma maior largura e velocidade para um maior rendimento, com a mínima penetração para que não se altere as propriedades do metal base.

Entretanto analisando os dados obtidos juntamente com a morfologia dos cordões de solda, notamos que se obteve os melhores valores de 230 A, frequência de pulsação de 20 Hz, distância do bico de contato com a peça de 30 mm e uma velocidade de soldagem de 300 m/min. Uma vez que a corrente média foi 230 A.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 30, n. 7-8, p. 669-676, 2006.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 362 p.

MODENESI, Paulo J. e MARQUES, Paulo V. **Introdução aos Processo de Soldagem**. Belo Horizonte: UFMG, 2000. 52 p.

MURUGAN, N e PARMAR, R. S. **Effects of MIG process parameters on the geometry of the bead in the automatic surfacing of stainless steel**. Journal of Materials Processing Technology, v. 41, n. 4, p. 381-398, 1994.

PALANI, P. K. e MURUGAN, N. **Development of mathematical models for prediction of weld bead geometry in cladding by flux cored arc welding**.

PHILLIPS, A. L. **Welding Handbook: Special Welding Processes and Cutting**. London: American Welding Society, 1965b. 4. Vol. 3.

SENAI; ZIEDAS, Selma; TATINI, Ivanisa (Org.) **Soldagem**. São Paulo: SENAI, 1997. 553p.

SILVA, Fernanda. L. T. **Pequeno Histórico da Soldagem**. São Paulo. Era Moderna. 2003. 37 p.