



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

WELVIS SOARES LIMA

**CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO
MECANIZADO DE BAIXO CUSTO PARA
PROCESSOS DE SOLDAGEM SMAW**

Marabá

2019

WELVIS SOARES LIMA

**CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO
MECANIZADO DE BAIXO CUSTO PARA
PROCESSOS DE SOLDAGEM SMAW**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará em cumprimento as exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Gonçalves da Silva

Marabá

2019

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Setorial II da UNIFESSPA

Lima, Welvis Soares

construção de um protótipo mecanizado de baixo custo para processos de soldagem Smaw / Welvis Soares Lima ; orientador, Fabio Gonçalves da Silva. — Marabá : [s. n.], 2019.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Engenharia Mecânica, Curso de Engenharia Mecânica, Marabá, 2019.

1. Soldagem. 2. Soldagem elétrica. 3. Processos de fabricação. 4. Engenharia mecânica. I. Silva, Fabio Gonçalves da, orient. II. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. III. Título.

CDD: 22. ed.: 671.52

WELVIS SOARES LIMA

**CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO
MECANIZADO DE BAIXO CUSTO PARA
PROCESSOS DE SOLDAGEM SMAW**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará em cumprimento as exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Data da aprovação: 13 de dezembro de 2019

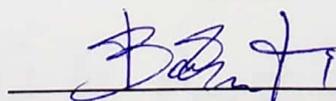
Conceito: BOM



Prof. Dr. Fabio Gonçalves da Silva
Unifesspa / FEMEC / Orientador



Prof.^a Dr.^a Giselle Barata Costa
Unifesspa / FEMEC / Membro



Prof. Dr. Breno Ebinuma Takiuti
Unifesspa / FEMEC / Membro

Marabá
2019

*"Mas eu confio em
ti, Senhor, e digo:
Tu és o meu Deus."
Salmos 31:14*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro, agradeço a Deus, através do seu amor e compaixão pude realizar este trabalho final e finalizar o curso.

Agradeço de modo especial a minha mãe Edna Soares, pela sua dedicação e apoio, passou por grandes dificuldades, mas sempre fez o possível para que o meu sonho se tornasse realidade. Agradeço aos meus irmãos Weslane e Wesley, pela força que tem me dado todos estes anos. Ao meu querido pai Nelson Lima, pelo cuidado e dedicação pelos filhos.

Agradeço também a minha companheira, amiga e eterna namorada Noele Marinho, que além de permanecer ao meu lado em muitos momentos difíceis, me deu forças para continuar e sempre alegrando meus dias. Obrigado pela compreensão, apoio e incentivo.

Agradeço aos amigos que a FEMEC me trouxeram. Francivan Silva, Luiz de Souza, Luiz Allan, Cledenilson Oliveira, Abiassafe Lima, Victor Rodrigues, Petri Willia, Willia Reis, Luan Vitor e Fábio Lima que, por muitas madrugadas batalhamos juntos com os estudos, sempre nos mantivemos unidos e tivemos muitas vitórias. Obrigado pela força, companheirismo e alegria meus amigos. Também aos amigos que se tornou inspiração para mim, pela humildade, competência e determinação, Adriano Souza e Roberto Gonçalves, muito obrigado pelos incentivos no decorrer destes anos. E a todos os companheiros de formação da turma de 2014.

A todos os amigos que a empresa Vale S.A. me trouxeram durante o período de estágio. Antônio Kaique, Filipe Mota, Maurício Barbosa, Geovani Silva, Emanuel Silvônio, Kaike dos Anjos, Flávio Guedes, Cristiano Morais, Raimundo passos, João Viana, Luiz Fernando, Gilvan Abreu, Josael Mota, Genival Batista, Laylson Maciel, Dilson Machado, Iury Bessa, Anderson Lino, Uemerson Souza, Filipe Roque, Islane Moreira, Cícero Sandro, Ricardo Avelino e ao meu caríssimo supervisor Alessandro Zacarias. Obrigado a cada um pela força e aprendizado que tenham me passado.

Ao professor Fábio Gonçalves da Silva, que me estimulou e orientou neste projeto. Aos professores(as) Giselle Barata Costa e Breno Ebinuma Takiuti pela orientação e apoio durante este trabalho, por todo conhecimento que foi a mim transmitido.

Aos professores da FEMEC, que contribuíram para a minha formação. A PROEX e DISEM/SINFRA por ter me concedido estágio durante o período do curso.

Agradeço a Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará pela estrutura disponibilizada, pelo curso gratuito e de qualidade. Minha Gratidão.

RESUMO

Os processos de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido estão cada vez mais associados aos métodos automatizados. Fatores como rapidez, versatilidade, aumento de produtividade e reduções de riscos ocupacionais, são bons indicadores para implementação dos sistemas automatizados ou que minimizem a ação do operador. A soldagem à arco elétrico com eletrodo revestido ER ou SMAW – Shielded Metal Arc Welding, é um processo manual, portanto, não garantindo a reprodutibilidade a cada solda depositada pelo soldador. Dado o exposto, a mecanização deste, tende a ser importante na qualidade do material depositado, controle dos parâmetros do processo e também a segurança do operador. O presente trabalho tem como objetivo a construção de um equipamento mecanizado com controle eletrônico utilizando a linguagem CNC para efetuar processos de soldagem SMAW. O protótipo tem um dispositivo de fixação (porta eletrodo) que faz o movimento de mergulho (movimento vertical) fazendo com o que de acordo com a configuração de ângulo, o eletrodo avance na direção da poça de fusão. Desta forma, o operador ajustará apenas os principais parâmetros do processo (tensão, corrente, velocidade de deposição e angulação de posição). Neste trabalho foram realizados três ensaios com eletrodo revestido E6013 com diâmetro de 2,5 mm. A validação do protótipo se mostrou eficaz, produzindo um cordão de solda linear. O protótipo mecanizado auxiliará posteriormente para a elaboração de futuros projetos científicos abrangendo novos campos de ensino e pesquisa. A utilização do arduíno como sistema de controle e a linguagem CNC, contribuíram para construção de um projeto de baixo custo comparado à braços robóticos comercializados atualmente.

Palavras-chave: Soldagem SMAW. Soldagem Mecanizada. Parâmetros de Soldagem. Eletrodo Revestido. Protótipo para Soldagem.

ABSTRACT

Arc welding processes are increasingly associated with automated methods. Factors such as speed, versatility, increased productivity and reduced occupational health risks to operators are good indicators of automated system implementation or minimizing operator action. Shielded Metal Arc Welding (SMAW) arc welding is a manual process and therefore does not guarantee identical reproducibility for each weld deposited by the welder. Given the above, its mechanization tends to be important in the quality of the deposited material, control of the process parameters and the operator safety. The present work has as objective the construction of a mechanized equipment with electronic control using CNC language to perform SMAW welding processes. The prototype has a clamping device (electrode holder) that makes the diving movement (vertical movement) causing the electrode to advance towards the melt pool according to the angle configuration. In this way, the operator will adjust only the main process parameters (voltage, current, and deposition speed and position angle). In this work, three tests were carried out with 2.5 mm diameter E6013 coated electrode. The validation of the prototype proved to be effective, producing a linear weld bead. The mechanized prototype will later assist in the elaboration of future scientific projects covering new fields of teaching and research. The use of arduino as a control system and the CNC language contributed to the construction of a low cost project compared to the robotic arms sold today.

Keywords: SMAW Welding. Mechanized welding. Welding Parameters. Coated electrode. Prototype for welding.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido.	16
Figura 2 – Soldagem de tubos pelo processo de soldagem a arco elétrico.	17
Figura 3 – Soldagem de estruturas metálicas pelo processo de soldagem a arco elétrico.	18
Figura 4 – (A) corrente, comprimento do arco e velocidade adequados; (B) Baixa corrente; (C) Alta corrente; (D) Pequeno comprimento do arco; (E) Grande comprimento do arco; (F) Baixa velocidade de soldagem; (G) Alta velocidade de soldagem.	21
Figura 5 – Dispositivo para soldagem por gravidade	23
Figura 6 – Dispositivo para soldagem por gravidade	23
Figura 7 – Dispositivo para soldagem por gravidade	24
Figura 8 – Dispositivo mecanizado para soldagem por eletrodo revestido	24
Figura 9 – Sistema automático para soldagem com eletrodo revestido	25
Figura 10 – Sistemas e fluxo de informações de um CNC	27
Figura 11 – Exemplo de um software IHM para fresadoras.	29
Figura 12 – Arduino Uno.	30
Figura 13 – Resumo de recursos da Arduino UNO	31
Figura 14 – CNC Shield V.3 para Arduino UNO;	32
Figura 15 – Drive A4988 para CNC Shield.	33
Figura 16 – Especificação técnica do drive A4988 para CNC Shield.	33
Figura 17 – Equipamento para soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido	34
Figura 18 – Esquema do protótipo	36
Figura 19 – Triângulo vetorial de velocidades	37
Figura 20 – Gráfico comparativo de custos entre um protótipo e um robô automatizado encontrado comercialmente	38
Figura 21 – Vistas ortogonais do protótipo	39
Figura 22 – Vista isométrica do protótipo cotado em milímetro	40
Figura 23 – Vista explodida do protótipo	42
Figura 24 – Sequência lógica de montagem dos componentes	43
Figura 25 – Protótipo mecanizado montado	44
Figura 26 – Ilustração da montagem do driver A4988, CNC Shield no Arduino Uno	45
Figura 27 – Esquema de ligação elétrica do drive A4988 ao motor de passo	45
Figura 28 – a) Caixa metálica ATX aberta com sistema controlador montado, b) caixa metálica ATX fechada.	46
Figura 29 – a) Interface do software Universal Gcode Sender	47
Figura 30 – Inicialização da comunicação do software e arduino	47

Figura 31 – Configurações do GRBL	48
Figura 32 – Interface do software Universal Gcode Sender, guia "machine control". .	49
Figura 33 – a) Antes de iniciar o teste do protótipo. b) início dos testes.	50
Figura 34 – Cordões de solda realizados pelo protótipo mecanizado.	51
Figura 35 – Ajuste do ângulo de 73° para deposição da solda	52
Figura 36 – Inspeção visual dos cordões de solda	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vantagens, limitações e aplicações principais do processo SMAW. . . .	18
Tabela 2 – Recomendações de parâmetros de soldagem para os eletrodos revestidos OK® para a soldagem de aços carbono.	20
Tabela 3 – Classificação dos processos de soldagem revisada	22
Tabela 4 – Parâmetros de soldagens para aquisição de dados	35
Tabela 5 – Tabela de materiais e custos	38
Tabela 6 – Tabela de custos de materiais para construção do projeto	41

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	OBJETIVOS	14
	1.2.1 Objetivos gerais	14
	1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	SOLDAGEM	16
	2.1.1 Soldagem a arco elétrico por eletrodo revestido - SMAW	16
	2.1.2 A especificação AWS A5.1	19
	2.1.3 Parâmetros de Soldagem	19
	2.1.4 Velocidade de soldagem	20
	2.1.5 Automação para soldagem	22
	2.1.6 Trabalhos relacionados a mecanização do processo de soldagem	22
2.2	TECNOLOGIA DE COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO	25
	2.2.1 Conceitos básicos sobre CNC	25
	2.2.2 Programas em sistemas CNC	28
	2.2.3 IHM – Interface Homem Máquina	28
	2.2.4 Controladores programáveis	30
3	METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	34
3.1	REQUISITOS DO PROJETO	34
	3.1.1 Parâmetros do processo de soldagem	34
	3.1.2 Princípio de funcionamento	35
	3.1.3 Custos do projeto	37
3.2	PROJETO EM SOFTWARE CAD	38
3.3	MONTAGEM DO PROTÓTIPO	40
3.4	INSTALAÇÃO DOS CONTROLADORES COM A IMPLEMENTAÇÃO DO SOFTWARE	44
	3.4.1 Instalação dos controladores	44
	3.4.2 Instalação do software	46
3.5	VALIDAÇÃO DO PROJETO	49
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54

4.1	CONCLUSÕES	54
4.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	55
	REFERÊNCIAS	56
	ANEXO A – DIAGRAMA ELÉTRICO DO ARDUINO UNO	59
	ANEXO B – LICENÇA AUTODESK	60
	ANEXO C – DIAGRAMA ELÉTRICO DO DRIVE A4988 .	61

1 INTRODUÇÃO

O processo de soldagem com arco elétrico por eletrodo revestido SMAW (Shielded Metal Arc Welding) é feito com o eletrodo fixado a um arco que produz o calor necessário entre o eletrodo revestido e a peça a soldar. Este processo surgiu no início do século com a utilização de arames para cercas que eram ligados à rede elétrica, um processo pobre e com muitos problemas soldar. (O'BRIEN; GUZMAN, 2007; LINCOLN, 1994).

O processo de soldagem é manual, o que não garante, portanto, a repetibilidade do processo, pois depende da experiência e qualificação do soldador. Essa é uma das principais desvantagens desse método já que, além de representar baixa produtividade do processo, pode ser causa de falhas de soldagem (BRACARENSE et al., 2002).

A interação do soldador durante o processo de solda causa interferência nos resultados obtidos. Cada cordão de solda exibe diferentes padrões devidos aos diferentes fatores inerentes ao processo de solda. A reprodução de cordões de solda idênticos é impraticável, já que o melhor soldador, inclusive, não se mostra capaz de soldar com absoluta repetitividade o processo (LIMAI; BRACARENSE, 2011).

Sabe-se que o problema da não repetibilidade dos resultados da solda também acontece nos processos mecanizados, pois ainda depende da interferência humana, mas mesmo assim apresenta melhores resultados que o processo manual. Os processos automatizados são os melhores nesse sentido, já que podem ser programados e reprogramados por meios mecânicos e/ou eletrônicos garantindo que a qualidade da solda será sempre a mesma, porém é necessário um alto investimento para a sua aplicação (FELIZARDO; BRACARENSE, 2006).

Portanto, a tentativa de mecanizar a técnica de soldagem SMAW mostra-se necessária, para que determinados estudos metalúrgicos possam apresentar resultados válidos e de maior confiabilidade. Mecanizar um processo de solda significa tornar o equipamento capaz de iniciar, controlar e mover o arco de forma automática (JENNEY; O'BRIEN, 2001). Os processos de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido estão cada vez mais associados aos métodos automatizados. Fatores como rapidez, versatilidade, aumento de produtividade e reduções de riscos ocupacionais, são bons indicadores para implementação dos sistemas automatizados ou que minimizem a ação do operador. A soldagem à arco elétrico com eletrodo revestido ER ou SMAW – Shielded Metal Arc Welding, é um processo manual, portanto, não garantindo a reprodutibilidade a cada solda depositada pelo soldador. Dado o exposto, a mecanização deste, tende a ser importante na qualidade do material depositado, controle dos parâmetros do processo e também a segurança do operador. O presente trabalho tem como objetivo a construção de um equipamento mecanizado com

controle eletrônico utilizando a linguagem CNC para efetuar processos de soldagem SMAW. O protótipo tem um dispositivo de fixação (porta eletrodo) que faz o movimento de mergulho (movimento vertical) fazendo com o que de acordo com a configuração de ângulo, o eletrodo avance na direção da poça de fusão. Desta forma, o operador ajustará apenas os principais parâmetros do processo (tensão, corrente, velocidade de deposição e angulação de posição). Neste trabalho foram realizados três ensaios com eletrodo revestido E6013 com diâmetro de 2,5 mm. A validação do protótipo se mostrou eficaz, produzindo um cordão de solda linear. O protótipo mecanizado auxiliará posteriormente para a elaboração de futuros projetos científicos abrangendo novos campos de ensino e pesquisa. A utilização do arduíno como sistema de controle e a linguagem CNC, contribuíram para construção de um projeto de baixo custo comparado à braços robóticos comercializados atualmente.

1.1 JUSTIFICATIVA

No cenário atual, no Brasil, no que se trata à tecnologia de equipamentos voltados ao processo de fabricação como por exemplo a soldagem, é ainda recente, sobretudo ao fato das maiores demandas de tecnologias serem provenientes do exterior. Isto eleva consideravelmente o custo de aquisição destes equipamentos capazes de aprimorar a manutenção, indústria e a pesquisa no meio acadêmico.

No que tange a soldagem, é interessante a implementação de sistemas robotizados principalmente porque robôs podem realizar soldagem por longos períodos, bem como proporcionar maior produtividade, repetitividade e eliminar as condições desfavoráveis ao soldador, uma vez que este passa a não mais atuar em um ambiente altamente insalubre (BROERING, 2005).

No âmbito da tecnologia da soldagem isto é relevante para o Brasil, uma vez que os produtos mais avançados são oriundos de tecnologia estrangeira. Com a utilização de controladores de custo mais baixos através do CNC (Comando Numérico Computadorizado) podem executar movimentos iguais à de equipamentos importados, o que traria uma economia relevante. Além disso, o desenvolvimento de tecnologia própria possibilita flexibilidade para a pesquisa, pois não se está restrito as limitações impostas por um equipamento comercial, sendo factível realizar alterações de acordo com necessidades encontradas no decorrer do projeto e do uso em campo (DUTRA; FELIPPE; CARVALHO, 2009).

Desta forma, a construção de uma protótipo mecanizado para processos de soldagem será de enorme valor para pesquisas científicas, pois será possível programar e reprogramar o processo de soldagem, variando o parâmetro da velocidade de mergulho na deposição de solda. Além disso, será um protótipo de baixo custo comparado a outros sistemas mecanizados encontrados no mercado.

Com a mecanização do protótipo para soldagem SMAW, a função do operador será apenas fazer observações visuais e ajustes ocasionais. Tornando os resultados de melhor qualidade para estudos, com garantia de maior exatidão nos resultados, devido à capacidade de repetitividade.

A construção desse protótipo contribuirá para aulas didáticas no laboratório de soldagem da FEMEC - Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - Unifesspa. Professores e alunos poderão interagir com o sistema mecanizado, sem mesmo ter alto conhecimentos de linguagem de programação. Será um sistema com interface interativa (IHM) e iterativa entre operador e máquina. Também contribuirá para elaboração de futuras pesquisas científicas nas áreas de metalurgia da soldagem e sistemas de controle.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos gerais

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é a construção de um protótipo mecanizado de baixo custo para processos de soldagem SMAW.

1.2.2 Objetivos específicos

- Definir os requisitos do projeto;
- Desenvolver um projeto mecânico em software CAD;
- Realizar montagem do protótipo;
- Instalação de controladores com a implementação do software de controle; e
- Validação do protótipo e realização da inspeção visual da solda.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta monografia está dividida em 4 Capítulos, organizados sequencialmente e cronologicamente de acordo com as fases de desenvolvimento do projeto. Cada Capítulo é dividido em Subcapítulos, estes em Seções e estas em Subseções, quando necessário.

O Capítulo 2, denominado “Referencial Teórico”, apresenta o conceito de todas as grandes áreas que tangenciam o desenvolvimento do projeto, baseando-se em literaturas técnicas, dando ao leitor embasamento teórico suficientemente aprofundado para os Capítulos seguintes. Este Capítulo é dividido em 2 Subcapítulos que aborda as duas

principais grandes áreas do projeto: "Soldagem SMAW e Suas Aplicações" e a "Tecnologia de Comando Numérico Computadorizado".

O Capítulo 3, "Metodologia de Desenvolvimento do Projeto" apresenta, com base nos modelos de referência apresentados no referencial teórico, descreve de forma resumida as principais fases da aplicação da metodologia de projeto: Definição dos requisitos do projeto; Desenvolvimento de um projeto mecânico em software CAD; Seleção de Materiais e montagem; Instalação dos controladores com a implementação do software de controle; e por fim validação do protótipo.

O Capítulo 4, "Considerações finais" este é dividido em dois subtítulos "Conclusão", apresenta as conclusões que puderam ser feitas a partir do desenvolvimento, fazendo uma comparação e análise a partir dos objetivos, geral e específicos propostos. E "Sugestões para Trabalhos Futuros", traz uma série de sugestões, tanto para projetos de continuidade ao proposto neste trabalho ou para trabalhos semelhantes, baseando-se em características observadas na revisão bibliográfica, que permitem a melhoria do equipamento e o aumento na sua capacidade de processo, apontando também as lacunas identificadas durante o próprio desenvolvimento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

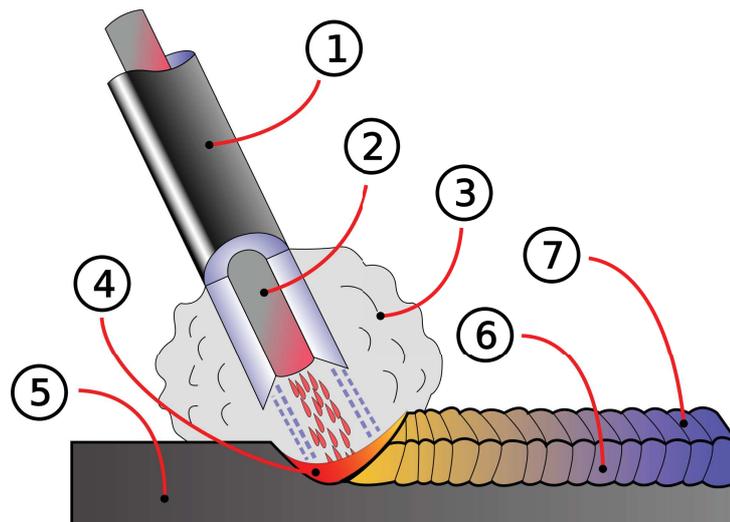
2.1 SOLDAGEM

Segundo Machado (1996), a soldagem consiste na união de dois materiais através da fusão dos mesmos em íntimo contato; ou pela fusão de ambos e adição de outro material fundido; ou, ainda, simplesmente por contato destes materiais, nas fases sólida ou semissólida.

2.1.1 Soldagem a arco elétrico por eletrodo revestido - SMAW

Segundo Modenesi, Marques e Bracarense (2005), a soldagem a arco elétrico com eletrodos revestidos (SMAW) é realizada através da fusão do material base, a alma do eletrodo e o seu revestimento. A fusão deve-se ao fato da alta temperatura e consequente condução de calor do arco elétrico formado entre o metal base e o eletrodo. Durante este processo gotas do metal de adição são fundidas e depositadas na poça de fusão. Essas gotas são protegidas dos gases atmosféricos pelos gases produzidos com a decomposição do revestimento do eletrodo. A proteção do metal líquido se dá em razão de a escória líquida, também produzida através da decomposição do revestimento, flutuar sobre o metal fundido. Observe a Figura 1:

Figura 1 – Soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido.



Fonte: Alusolda (2019).

Na figura mostrada acima, representa o diagrama soldagem a arco elétrico com

eletrodo revestido:

1. Revestimento do eletrodo;
2. Vareta (Alma);
3. Gás de proteção
4. Poça de fusão
5. Metal base
6. Metal de solda
7. Escória solidificada

Uma valiosa vantagem da soldagem a arco elétrico por eletrodo revestido é a grande variedade de metais e ligas em que o processo é capaz de soldar. Procedimentos e eletrodos estão disponíveis para soldar aços carbono e aços de baixa liga, de alta liga, aços revestidos, aços ferramenta e aços estampados, inoxidáveis e aços resistentes ao calor, ferros fundidos, cobre e suas ligas, níquel e ligas de cobalto (O'BRIEN, 2004). As Figuras 2 e 3 ilustram duas aplicações típicas: soldagem de tubos e soldagem de aço estrutural. O processo também pode ser usado para algumas aplicações de alumínio.

Figura 2 – Soldagem de tubos pelo processo de soldagem a arco elétrico.



Fonte: O'Brien (2004).

Na Tabela 1 os autores Modenesi e Marques (2000), citam algumas das vantagens e limitações do processo de soldagem SMAW:

Tabela 1 – Vantagens, limitações e aplicações principais do processo SMAW.

Vantagens e limitações	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> - Equipamento simples, portátil e barato; - Não necessita fluxos ou gases externos; - Pouco sensível a presença de correntes de ar (trabalho no campo); - Processo muito versátil em termos de materiais soldáveis; - Facilidades para atingir áreas de acesso restrito; - Aplicação difícil para materiais reativos; - Produtividade relativamente baixa; e - Exige limpeza após cada passe. 	<ul style="list-style-type: none"> - Soldagem de produção, manutenção e em soldagens no campo; - Soldagem de aços carbono e ligado; - Soldagem de ferro fundido; e - Soldagem de alumínio, níquel e suas ligas.

Fonte: Modenesi e Marques (2000).

Figura 3 – Soldagem de estruturas metálicas pelo processo de soldagem a arco elétrico.



Fonte: O'Brien (2004).

2.1.2 A especificação AWS A5.1

No Brasil, normas da AWS são amplamente utilizadas para a especificação de consumíveis soldagem. Eletrodos para a soldagem de aços de baixo carbono são, em geral, especificados com base nas propriedades mecânicas do metal depositado, no tipo de revestimento e em suas características operacionais. A especificação da AWS para estes aços é feita através de um conjunto de letras e dígitos. Por exemplo, de acordo com a norma AWS A5.1, uma classificação do tipo E6010 indica um eletrodo capaz de depositar material com um limite de resistência de 60.000psi (420MPa) e que possui um revestimento celulósico, com ligante a base de silicato de sódio, indicado para soldagem em todas as posições com corrente contínua e o eletrodo no polo positivo. Para os aços carbono, os eletrodos podem ser separados em diferentes tipos em função das características de seu revestimento, destacando-se:

- O eletrodo E7018 produz um depósito com limite de escoamento mínimo de 70 ksi
- O eletrodo E6013 é do tipo celulósico, usado somente na soldagem nas posições plana e horizontal.
- O eletrodo E6010 é do tipo celulósico, não indicado para soldagem de aços susceptíveis à trinca a frio.
- O eletrodo E7018 é do tipo celulósico, de baixo hidrogênio.
- O eletrodo E7018 produz um depósito com limite de resistência à tração mínimo de 700 MPa.

2.1.3 Parâmetros de Soldagem

A Tabela 2 mostra os parâmetros de soldagem recomendados para a soldagem com eletrodos revestidos OK® para aços carbono e suas respectivas taxas de deposição e eficiências de deposição.

Tabela 2 – Recomendações de parâmetros de soldagem para os eletrodos revestidos OK® para a soldagem de aço carbono.

Eletrodo	AWS	Diâmetro (mm)	Corrente (A)	Valor ótimo (A)	TX. dep. (kg/h)	Ef. dep. (%)
OK 22.45P OK 22.50	E6010 E6010	2,5	60 – 80	75	0,7	72
		3,2	80 – 140	100 / 130	0,9 / 1,0	76 / 69
		4,0	90 – 180	140 / 170	1,3 / 1,3	74 / 64
		5,0	120 – 250	160 / 190	1,5 / 1,6	75 / 70
OK 22.65P	E6011	2,5	40 – 75	75	0,6	61
		3,2	60 – 125	120	1,0	71
		4,0	80 – 180	150	1,7	77
		5,0	120 – 230	180	1,9	73
OK 46.00 OK 46.13 OK 43.32	E6013	2,0	50 – 70	50	0,6	73
		2,5	60 – 100	85	0,7	73
		3,2	80 – 150	125	1,0	73
		4,0	105 – 205	140 / 160 / 180	1,2 / 1,4 / 1,6	76 / 74 / 71
		5,0	155 – 300	180 / 200 / 220	1,5 / 1,7 / 1,9	74 / 71 / 73
OK 33.80	E7024	3,2	130 – 170	140 / 180	1,9 / 2,3	72 / 71
		4,0	140 – 230	180 / 210 / 240	2,4 / 2,9 / 3,3	71 / 73 / 69
		5,0	210 – 350	245 / 270 / 290	3,4 / 3,8 / 4,1	69 / 71 / 68
		6,0	270 – 430	320 / 360	4,3 / 5,3	72 / 69
OK 48.04 OK 48.06 OK 48.07 OK 55.00	E7018 E7018 E7018-1 E7018-1	2,5	65 – 105	90	0,8	66
		3,2	100 – 150	120 / 140	1,2 / 1,2	72 / 71
		4,0	130 – 200	140 / 170	1,4 / 1,7	75 / 74
		5,0	185 – 270	200 / 250	2,2 / 2,4	76 / 75

Fonte: Fortes (2005).

2.1.4 Velocidade de soldagem

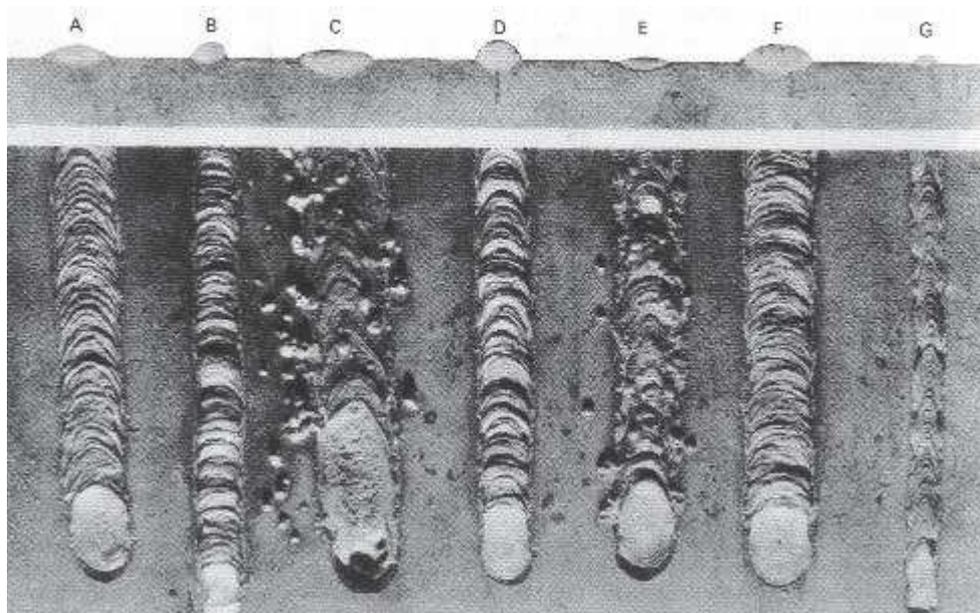
Segundo Felizardo e Bracarense (2006) a velocidade de soldagem é a taxa na qual o eletrodo move ao longo da junta. Uma velocidade adequada é aquela que produz um cordão de solda de boa aparência e boa penetração. A velocidade de soldagem no processo SMAW é influenciada pelos fatores seguintes:

- Tipo de corrente, amperagem e polaridade;
- Posição da soldagem;
- Taxa defus ao do eletrodo;
- Espessura do material;
- Condições superficiais do metal de base;
- Manipulação do eletrodo.

- Tipo de junta;

Ainda Felizardo e Bracarense (2006) dizem que durante a soldagem, a velocidade deve ser tal que conduza suavemente a poça de fusão. Até certo ponto, um aumento na velocidade de soldagem resulta na redução da largura do cordão e no aumento da penetração. Além de um certo ponto, um aumento na velocidade de soldagem pode resultar em uma redução da penetração, surgimento de trincas nos contornos do cordão, dificuldade de remoção da escória, surgimento de porosidade e deterioração da aparência do cordão de solda. Com velocidade de soldagem muito baixa, o cordão de solda tende a ficar mais largo, mais convexo e menos profundo. A baixa penetração deve-se ao fato do arco elétrico permanecer mais tempo sobre a poça de fusão ao invés de conduzi-la. Quanto menor a velocidade de soldagem, maior a quantidade de calor por unidade de comprimento fornecido ao material (aporte térmico), aumentando, assim, o tamanho da zona termicamente afetada e reduzindo a taxa de resfriamento do material. Logo na figura (Fig. 4) a baixo apresenta os efeitos da corrente, do comprimento do arco e da velocidade de soldagem na aparência do cordão de solda.

Figura 4 – (A) corrente, comprimento do arco e velocidade adequados; (B) Baixa corrente; (C) Alta corrente; (D) Pequeno comprimento do arco; (E) Grande comprimento do arco; (F) Baixa velocidade de soldagem; (G) Alta velocidade de soldagem.



Fonte: Handbook (2004)

2.1.5 Automação para soldagem

Segundo Modenesi, Marques e Bracarense (2005), a automação da soldagem pode ser dividida em duas grandes categorias: soldagem mecanizada e soldagem automática. Na soldagem mecanizada, o operador deve posicionar manualmente a peça a ser soldada para que um equipamento possa realizar a solda. O equipamento tem a função de controlar o movimento da pistola de soldagem ou da peça a ser soldada, bem como regular os parâmetros de soldagem, para garantir a qualidade e a repetibilidade da solda. Quando a solda estiver terminada, o operador retira a peça soldada iniciando um novo ciclo.

Os processos de soldagem podem ser classificados quanto ao nível de controle e intervenção realizado pelo soldador, e são divididos em soldagem manual, semimecanizado, mecanizado e automático (MODENESI; MARQUES; BRACARENSE, 2005). A Tabela 3 exibe as relações entre as atividades desempenhadas durante a soldagem e sua respectiva classificação.

Tabela 3 – Classificação dos processos de soldagem revisada

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

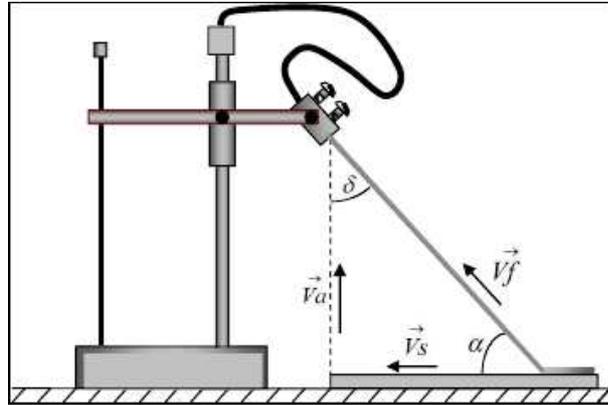
Fonte: Modenesi e Marques (2000).

2.1.6 Trabalhos relacionados a mecanização do processo de soldagem

É comum a utilização de dispositivos automáticos ou mecanizados para aumentar a produtividade e a repetitividade da soldagem com eletrodo revestido, além de anular as perturbações infringidas ao processo de solda por parte do operário. Dentre estes dispositivos, o mais simples é o que utiliza o método de soldagem por gravidade (MARQUES et al., 1991). Neste tipo de dispositivo, o eletrodo é preso a um componente móvel que desliza por uma guia que pode ser vertical ou estar inclinada com determinado ângulo, conforme pode ser visto nas figuras 5, 6 e 7. Após a abertura do arco elétrico, à medida

que o eletrodo vai sendo consumido, o componente móvel se movimenta pela guia sob a ação de seu próprio peso, depositando o material sobre a peça.

Figura 5 – Dispositivo para soldagem por gravidade



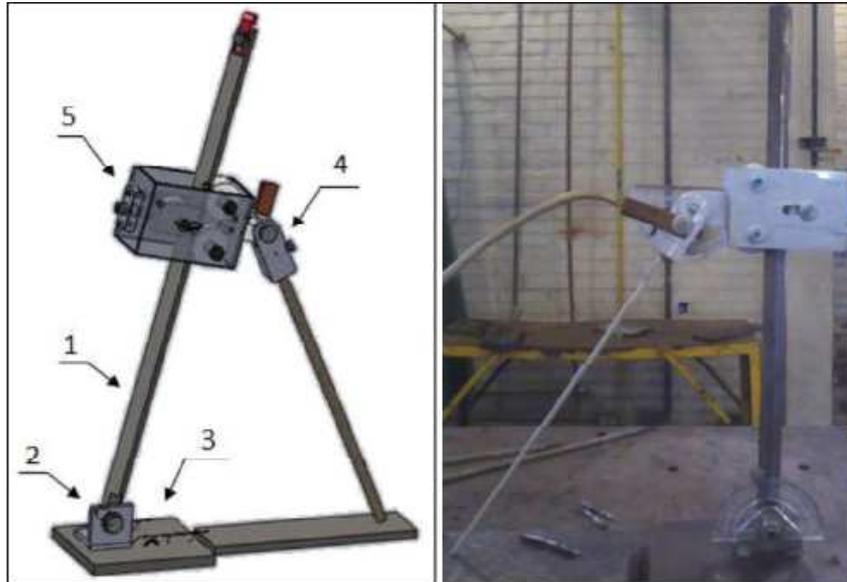
Fonte: Rodríguez et al. (2009)

Figura 6 – Dispositivo para soldagem por gravidade



Fonte: LimaII e Bracarense (2011)

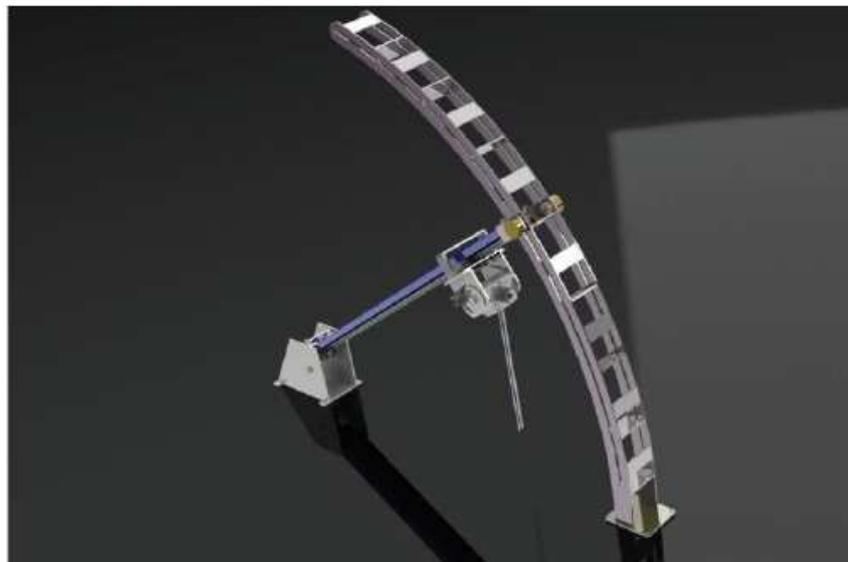
Figura 7 – Dispositivo para soldagem por gravidade



Fonte: Cavalcanti (2011)

Já os equipamentos mais sofisticados como os mecanizados e automáticos, fazem o mesmo procedimento da soldagem por gravidade, porém de forma automática via software e comandos eletrônicos. As Figuras 8 e 9 mostram os dois tipos de configurações, o trabalho mecanizado desenvolvido por Silva (2015) e o automatizado por Neto (2018).

Figura 8 – Dispositivo mecanizado para soldagem por eletrodo revestido



Fonte: Silva (2015)

Figura 9 – Sistema automático para soldagem com eletrodo revestido



Fonte: Neto (2018)

2.2 TECNOLOGIA DE COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO

2.2.1 Conceitos básicos sobre CNC

O conceito de CNC pode ser definido como: sistema baseado em eletrônica e em software, responsável por receber um “programa” formado por letras, números e caracteres especiais, decodificá-lo, transformando as informações em sinais elétricos capazes de comandar um sistema eletroeletrônico de acionamento com objetivo de transmitir movimento para um sistema mecânico de uma máquina, resultando em posições, velocidades e acelerações controladas em diversos eixos, simultaneamente ou não. Além disto, é responsável pelo acionamento de dispositivos periféricos concernentes à máquina comandada (SUH et al., 2008; LACALLE; MENTXAKA, 2008; ALTINTAS, 2012).

A definição dada por Batalha (2003) descreve que o CNC (Comando Numérico Computadorizado) é um dispositivo eletrônico capaz de receber informações e enviar sinais a máquina ferramenta de forma a executar operações sem a intervenção do operador. De um ponto de vista mais amplo, a programação CNC começa quando as características da peça são analisadas para determinar os processos de fabricação necessários. Os métodos de

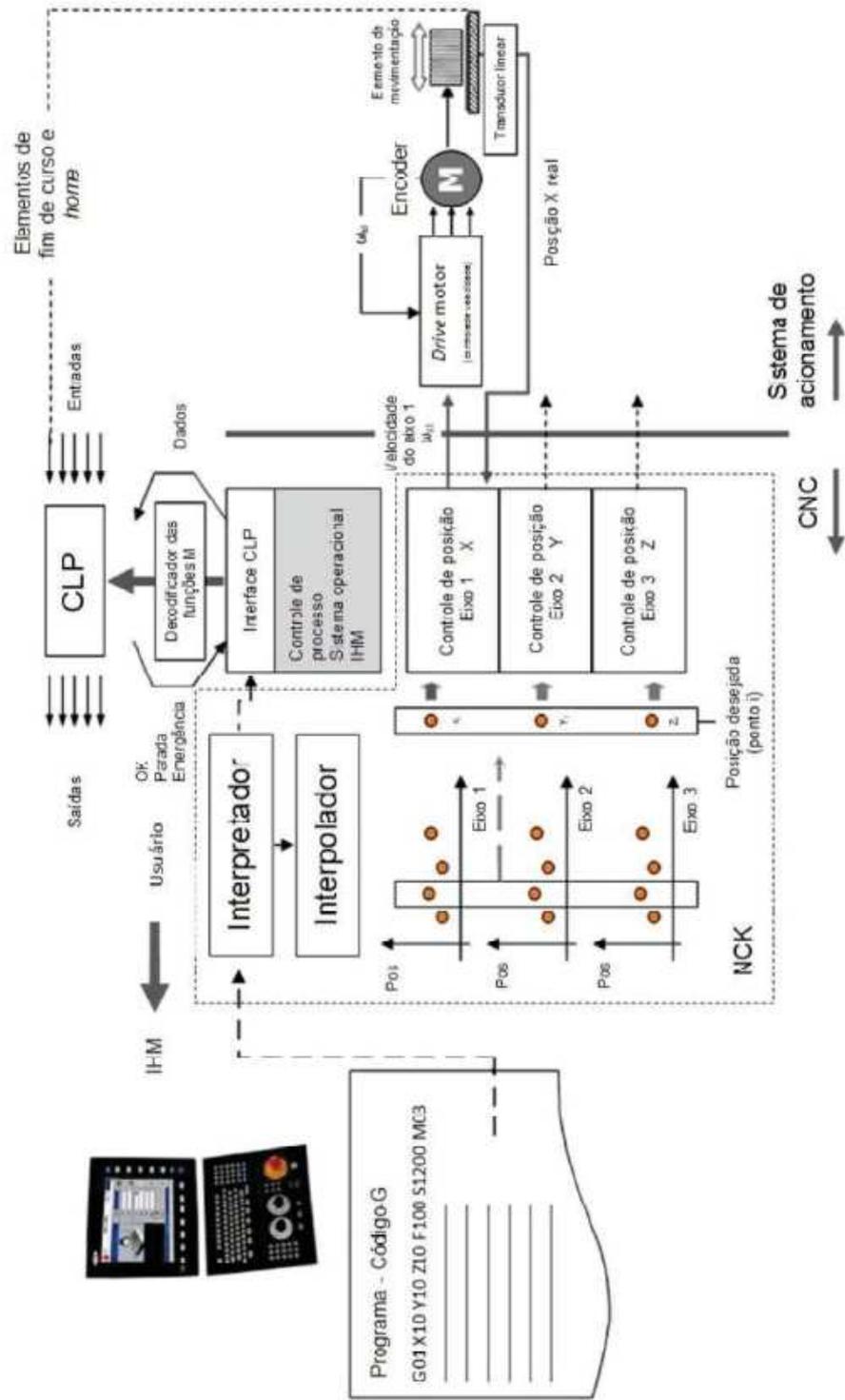
programação CNC podem ser classificados em quatro grupos:

- Programação manual;
- Programação do tipo APT;
- Sistemas Gráfico-interativos; e
- Sistemas CAD-CAM.

Nos dois primeiros tipos, o programador elabora o programa, que geralmente é verificado através de sistemas de simulação ou teste na própria máquina. Nos dois últimos, a elaboração do programa é realizada com o auxílio do computador em situações com geometria totalmente definida onde todos os dados necessários são informados, mas a geração final do programa é feita pelo sistema de programação assistida pelo computador. (BATALHA, 2003).

Um programa é inserido ou feito na própria máquina por meio de uma Interface Humano-Máquina – IHM, que também possui botões de comando que permitem gerar ações específicas no sistema comandado. Este programa é interpretado pelo decodificador de código G, o interpretador, responsável por interpretar os códigos relacionados à movimentação e transmiti-los diretamente ao interpolador. No interpolador, as informações são transformadas em grandezas de movimento, sendo convertidas em sinais elétricos que informarão ao sistema de controle a posição e a velocidade dos eixos que compõem a máquina, os quais podem ser movimentados individual ou simultaneamente (interpolados). O sistema de controle fornece os sinais para o sistema eletroeletrônico de acionamento, além de receber a realimentação do sistema de posicionamento, fazendo as devidas correções desta grandeza. A velocidade é controlada no próprio sistema de acionamento (drive) (LACALLE; MENTXAKA, 2008; SUH et al., 2008; BERTRÁN et al., 2012). A Figura 10 ilustra de forma esquemática os sistemas envolvidos em um comando CNC e o respectivo fluxo de informações e sinais.

Figura 10 – Sistemas e fluxo de informações de um CNC



Fonte: Lacalle e Mentxaka (2008)

2.2.2 Programas em sistemas CNC

Conforme o que foi caracterizado na seção 2.2.1, um sistema CNC funciona através do recebimento de um programa. Este programa possui uma linguagem codificada, que pode ser diversa de acordo com o desenvolvedor do sistema CNC. Um padrão, mundialmente conhecido e normatizado, denominado Código-G, padronizado pela norma ISO 1056. Com isto, é possível gerar um programa em Código-G que contenha todas as ações que a máquina deve realizar na execução de um processo, tais como posições dos eixos, velocidades de avanço dos eixos, velocidade de rotação da árvore (no caso de máquinas ferramenta de usinagem), momento em que um dispositivo periférico, como bomba de fluido de corte, deve ser ligada ou desligada, dentre outras características que, possibilitarão obter a execução de um processo de fabricação diverso na máquina em questão (SUH et al., 2008; LACALLE; MENTXAKA, 2008).

2.2.3 IHM – Interface Homem Máquina

A interface homem máquina, conhecida como IHM, tem algumas funções e características que a tornam essencial a um sistema de comando numérico. O próprio nome já deixa explícita a principal função atribuída a este componente: interfacear a interação entre usuário e máquina. Geralmente, é composta por uma tela, botões diversos para comando da máquina e teclado alfanumérico para digitação das linhas de programa. Na tela de uma IHM, é possível verificar o status atual da máquina durante a execução do processo, como por exemplo: velocidade e posição atual dos eixos, rotação do eixo árvore, o bloco do programa que está em execução no momento, dentre outras informações, dependendo do processo que está em execução e das configurações atribuídas pelo fabricante da máquina ou pelo usuário desta. Também importantes são os alarmes que são exibidos na tela. Estes alarmes, podem ou não, serem responsáveis pela execução de alguma tarefa e são gerenciados pelo CLP, de acordo com a lógica definida em seu firmware. Estas são denominadas Funções de Monitoramento e Alarme. Na maior parte das vezes a IHM pode ser adaptada de acordo com o processo que é executado na máquina e conforme as necessidades e preferências do usuário (LACALLE; MENTXAKA, 2008). Logo abaixo (Fig.11 temos um exemplo prático da empresa Num, um sistema interativo para operações de fresamento.

Figura 11 – Exemplo de um software IHM para fresadoras.

REFPT CNC? SYSVr EXPErr NPOS STOP SPS: 1 Klasse: 1
 AUTO HR PPP/BU ITER FREIG SPS: 101 Klasse: 4
 M01 / mm FREIG SPS: 102 Klasse: 4
 START STOP M02 ABHÄNG CNC0 CH00

Pos.	OP	Delta
X1	0.000	0.000
Y1	0.000	0.000
Z1	0.000	0.000
U1	0.000	0.000
C1	0.000	0.000

Spindel nicht verfügbar

Linearinterpolation im Vorschub
 F 1000.000 mm/min * 120% = 1200.000 mm/min

Kein Programm gewählt

CNC Satz	N0	WZ Korr.	D0
Werkzeug	T0	Prog.- Art	Abs
Ebene	X-Z	Kühlmittel	Aus
Radiuskorr.	Aus		

G01	G04	G38	G09	G18	G90	G71	G52	G40
G54	G94	G98	G97	G92	G20	G07	G24	G26
G73	G999	G10	G16	G51	G12	G80		
M05	M00	M09		M48	M06			M61
	M66		M07	M08	M19			

Flexium 3D 3.4.1.18 (OpenGL-Hardware-Beschleunigung aus) - C:\Users\Public\Documents\NUM\Flexium 3D\work\CNC Config Face Milling.ini

Animation: 5 fps Collision: Off Simulation time: 7.61s X: -25.7558 Y: -25.347 Z: 351
 Model: 400 Precision: 0.1 mm Processing time: 1h 4m GO 094 097 013 F2945

Fast simulation

CNC command
 Hexagon.xpl
 Face.xpl
 G0 Z-29.1
 G0 Z2.
 G0 Z100.
 M02

Fonte: Num (2019)

2.2.4 Controladores programáveis

- **Arduino Uno**

O projeto Arduino foi criado na Itália em 2005 com o objetivo de oferecer uma plataforma de prototipagem eletrônica de baixo custo e de fácil manuseio por qualquer pessoa interessada em criar projetos com objetos e ambientes interativos (PINTO, 2011).

Segundo Monk (2012) o Arduino é uma placa de microcontrolador dotada de conexão USB, que permite a ligação serial com um computador, contendo diversos terminais de conexão com dispositivos externos, como motores, relés, sensores, diodos, etc. O projeto da placa é aberto, configurando o “open hardware”, que implica uma variedade grande de placas compatíveis com o projeto aberto Arduino (BANZI; SHILOH, 2014).

Segundo as informações no site do Arduino (2019b), o Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar. Placas Arduino são capazes de ler entradas - luz em um sensor, um dedo em um botão ou uma mensagem no Twitter - e transformá-lo em uma saída - ativando um motor, ligando um LED, publicando algo on-line. pode-se dizer a placa o que fazer enviando um conjunto de instruções para o microcontrolador na placa. Para isso, usa a biblioteca Arduino, e o software para Arduino (IDE). Abaixo é apresentado uma imagem ilustrativa do Arduino Uno (Fig. 12).

Figura 12 – Arduino Uno.



(ARDUINO, 2019a)

Algumas características básicas da placa arduino são:

Entradas/Saídas IN/OUT

Entrada (IN) - As entradas digitais podem ter o valor 1 (5V) ou 0 (0V). As entradas analógicas possibilitam a verificação da tensão que está na porta, permitindo a leitura (0 a 5V) em 1024 níveis (1024 bits), com o valor máximo 1023 (4.955V) e o valor mínimo é 0 (0V).

Saída (OUT) - As saídas digitais podem ter uma tensão entre 0 e 1 (0=0V, 1=5V).

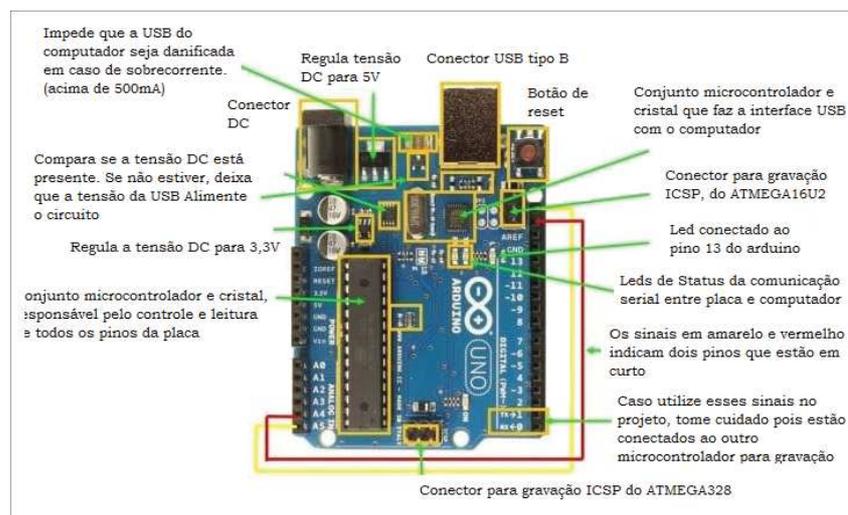
Porta Serie USART - Pino: 0 recebe, Pino: 1 envia. Pode-se usar um pino para transmitir e um pino para receber dados no formato serie assíncrono (USART). Também pode-se ligar um módulo de transmissão de dados via bluetooth e comunicar com o Arduino remotamente.

PWM - Modulação por Largura de Pulso - Pinos: 3, 5, 6, 9, 10 e 11 muitas vezes tratadas como saídas analógicas, na verdade são saídas digitais que vão gerar um sinal alternado (0 e 1) onde o tempo que o pino fica em nível 1 (ligado) é controlado. É usado para controlar velocidade de motores, ou gerar tensões com valores controlados pelo programa.

Comparador Analógico - Pinos: 6 e 7 os dois pinos fazem a comparação entre as duas tensões externas sem a necessidade do programa para efetuar a leitura e comparação.

A Figura 13 especifica alguns recursos da plataforma arduíno. No Anexo A encontra-se o diagrama elétrico do Arduíno UNO.

Figura 13 – Resumo de recursos da Arduino UNO



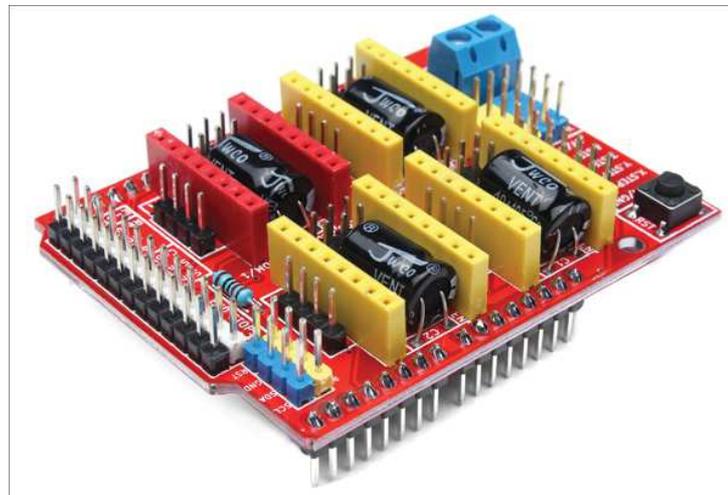
Fonte Embarcados (2019)

- **CNC Shield V.3 para Arduino**

Segundo as informações do site institutodigital (2019) a CNC shield V.3 pode ser

usada para controle uma fresadora CNC a partir de uma placa Arduino. A placa contém três soquetes que fornecem suporte ao driver A4988, fornecendo a capacidade de conduzir o eixo dos motores de passo (X, Y, Z); Conectores adicionais fornecem fácil conexão dos sensores de fim de curso e botões de controle. Cada canal do motor de passo necessita apenas 2 portas IO, o que significa que 6 portas IO são suficientes para gerenciar 3 motores de passo. Logo abaixo é apresentado uma imagem da CNC Shield V.3 para Arduino (Fig. 14).

Figura 14 – CNC Shield V.3 para Arduino UNO;

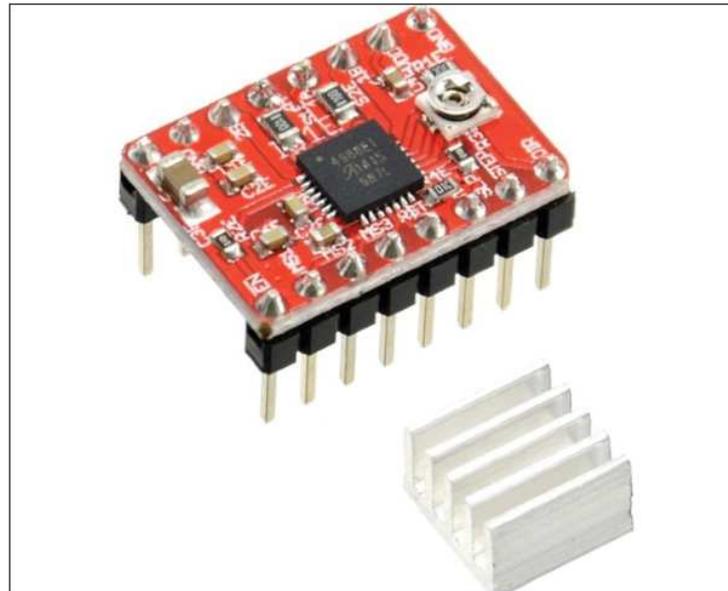


Fonte: institutodigital (2019)

- **Módulo driver do motor de passo A4988**

O controle básico do motor de passo é feito por meio de dois pinos do microcontrolador, ligados aos pinos STEP (passo) e DIR (direção) do módulo A4988, conforme podemos verificar na pinagem do mesmo, mostrada abaixo na Figura 15:

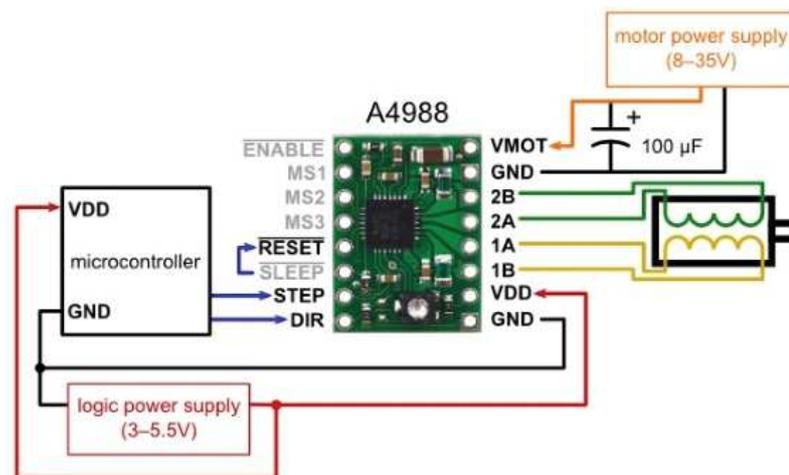
Figura 15 – Drive A4988 para CNC Shield.



Fonte: institutodigital (2019)

Especificações técnicas do Drive A4988:

Figura 16 – Especificação técnica do drive A4988 para CNC Shield.



Fonte: institutodigital (2019)

3 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

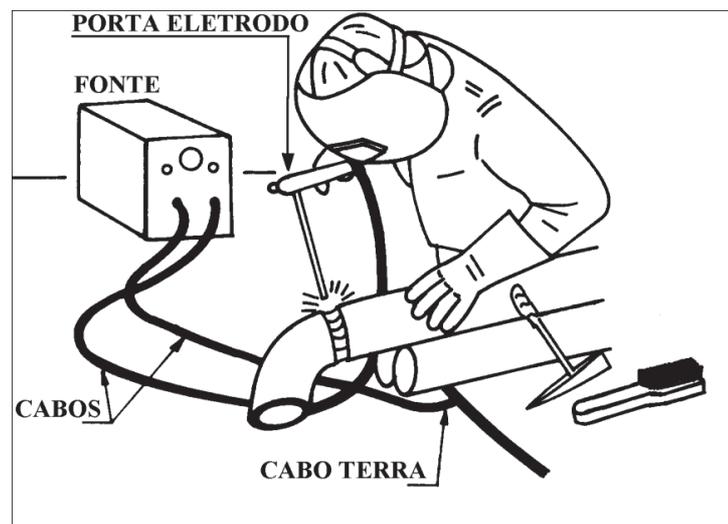
O objetivo do Capítulo “Metodologia de Desenvolvimento do Projeto” consiste em abordar as etapas do projeto, de acordo com os objetivos específicos. No que se tange a robôs automatizados para soldagem, baseado nos modelos já existentes, foi proposto a construção de um protótipo mecanizado de baixo custo. Para isto, foi realizado a pesquisa para fundamentação teórica e determinação dos requisitos para elaboração do projeto. Em seguida, foi realizado a modelagem do protótipo em software CAD com os desenhos detalhados. Após a realização da projeção 3D do equipamento, foi feito a seleção de materiais para construção e montagem do protótipo como também a instalação do software de controle. E por fim, realizado a validação do projeto.

3.1 REQUISITOS DO PROJETO

3.1.1 Parâmetros do processo de soldagem

Para a operação de soldagem por ER (Eletrodo Revestido) são necessários, uma fonte para ajustar as condições elétricas (Tensão e corrente) ao processo, o eletrodo revestido e uma forma de fechar o circuito para que haja a fusão do material de base e do próprio eletrodo promovendo a coalescência da junta (Fig.17).

Figura 17 – Equipamento para soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido



Fonte: Modenesi, Marques e Bracarense (2005)

Para determinar os requisitos do projeto primeiro precisa-se analisar os dados de deposição de soldagem. O autor Neto (2018) realizou um trabalho de deposição (Tab. 4) para determinar os tempos e velocidades na deposição da solda.

Tabela 4 – Parâmetros de soldagens para aquisição de dados

Tipo	Tensão Recomendada (V)	Corrente Recomendada (A)	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Tempo (s)	Tensão utilizada (V)	Corrente utilizada (A)
E7018	20 - 30	70 - 105	2,5	300	60	30	90 - 105
E7018	20 - 30	70 - 105	2,5	300	62	20	90 - 105
E6010	23 - 28	100 - 185	4	300	63	28	110 - 125
E6010	23 - 28	100 - 185	4	300	61	23	105- 120
E6013	18 - 28	50 - 70	2	300	57	28	60 - 70
E6013	18 - 28	50 - 70	2	300	62	18	50 - 60

Fonte: Neto (2018)

Os parâmetros de soldagens mostrados na Tabela 4 foram obtidos através de operações de forma manual. Essas soldagens tiveram como objetivo a determinação das velocidades comuns que um soldador utiliza na soldagem com eletrodo revestido. Foram utilizadas diferentes bitolas de eletrodos a fim de se obter tempos para diferentes amostras. Todas as soldagens foram realizadas respeitando-se as recomendações de corrente e voltagem indicadas pelo fabricante.

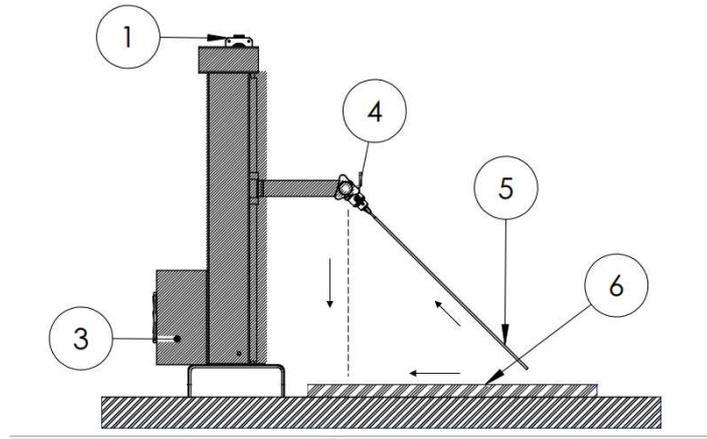
Diante disso, foi proposto a construção de um protótipo que pudesse variar o ângulo da posição do eletrodo e velocidades do movimento de mergulho do porta eletrodo. Com isso, o operador deverá apenas variar os parâmetros de tensão, corrente e ângulo de deposição. Já a velocidade de mergulho será ajustada via sistema de controle. Sendo um projeto com custo reduzido, pois será utilizado controladores e materiais de fácil disponibilidade no mercado.

3.1.2 Princípio de funcionamento

O equipamento deverá ser capaz de realizar o movimento de mergulho de forma a garantir a permanência do arco aberto. O mecanismo deve ser dimensionado a percorrer uma distância de 300 mm em menos de 1 minuto. Conseqüentemente o motor deverá realizar sincronia de passos para desenvolver uma velocidade de pelo menos 5 mm/min para o movimento de mergulho do porta eletrodo. No entanto para efeito de produtividade, este mesmo mecanismo deverá ser capaz de retornar a sua posição inicial para uma nova soldagem, a velocidade será maior na subida (voltando para a posição inicial do porta

eletrodo). Os movimentos poderão ser programadas de forma automática ou manual via software. Na Figura 18 é melhor ilustrado o esquema do protótipo.

Figura 18 – Esquema do protótipo

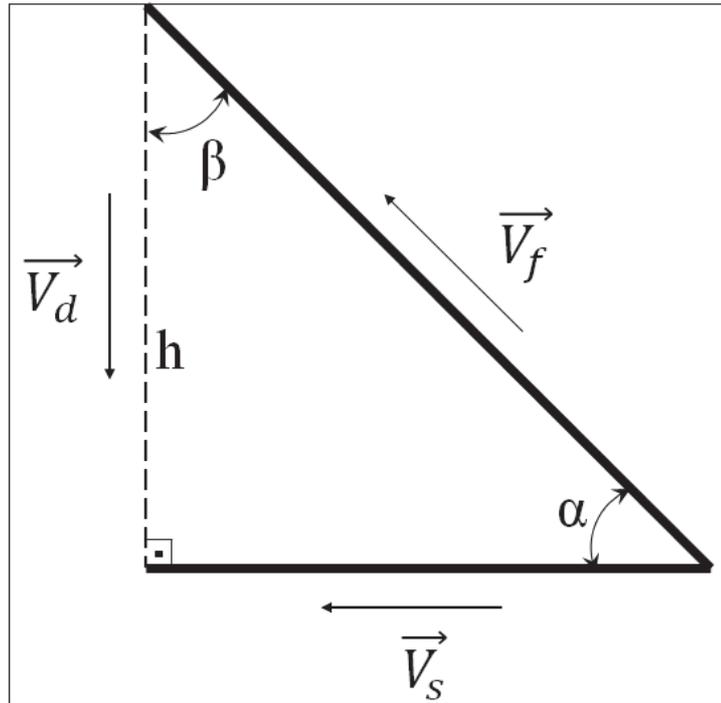


Fonte: Elaboração própria do autor.

1. Motor de passo;
2. Estrutura rígida;
3. Caixa dos controladores;
4. Porta eletrodo;
5. Eletrodo revestido;
6. Chapa de aço para testes.

Com essa configuração é possível testar várias combinações de ângulos do porta eletrodo. Essas combinações, conseqüentemente influenciam a velocidade de soldagem, a componente força peso atuando sobre a chapa e também o comportamento do arco elétrico que influem diretamente no aspecto do cordão de solda. A configuração de movimentos é melhor demonstrada pelo triângulo de velocidades (Fig. 19)

Figura 19 – Triângulo vetorial de velocidades



Fonte: Elaboração própria do autor.

Onde:

\vec{V}_s - Velocidade de soldagem;

\vec{V}_f - Velocidade de fusão do eletrodo;

\vec{V}_d - Velocidade de deslocamento do componente móvel;

α - Ângulo de ataque do eletrodo em relação à chapa;

β - Ângulo de ajuste do porta-eletrodo;

h - Altura normal do componente móvel em relação à chapa;

3.1.3 Custos do projeto

Comparando com sistemas robustos de automatização para soldagens, este projeto mostra um custo menor em relação a outros equipamentos encontrados comercialmente. A Figura 20 mostra uma breve pesquisa generalizada do custo de um sistema soldagem robusto encontrado comercialmente comparado com um protótipo fabricado.

Figura 20 – Gráfico comparativo de custos entre um protótipo e um robô automatizado encontrado comercialmente



Fonte: Elaboração própria do autor.

O valor estimado do equipamento comercial foi baseado em orçamentos feitos em empresas que vendem o produto. Com isso, foi realizado uma média desse valores.

A Tabela 5 mostra a relação de custos de materiais que foram utilizados na construção do projeto.

Tabela 5 – Tabela de materiais e custos

Item	Materiais	Especificações	Qtd	Valor unitário R\$	Valor R\$
1	Controlador	Kit CNC Shield V4 + Arduino Uno + 3 Driver A4988	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00
2	Porcas	Hexagonal M8	10	R\$ 0,30	R\$ 3,00
3	Parafusos	Hexagonal M8	10	R\$ 0,30	R\$ 3,00
4	Barra roscada	1000 x 8 mm	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
5	Motor de passo	Nema 17 4,28 Kgf.cm	1	R\$ 80,00	R\$ 80,00
6	Polias	GT2 1/2"	1	R\$ 19,00	R\$ 19,00
7	Placas de zinco	Dimensionado	2	R\$ 10,00	R\$ 20,00
8	Guia	Guia fusor de impressora	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00
9	Correia de sincronizadora de transmissão	GT2	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00
10	Mandril	Encaixe 5/8"	1	R\$ 40,00	R\$ 40,00
11	Caixa cooler	140x140x140 mm	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00
12	Perfil U	300 x 150 x 4 mm	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
13	Fonte carregador	12V	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00
14	Software	Universal Gcode Sender	1	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Total de custos	R\$ 600,00				

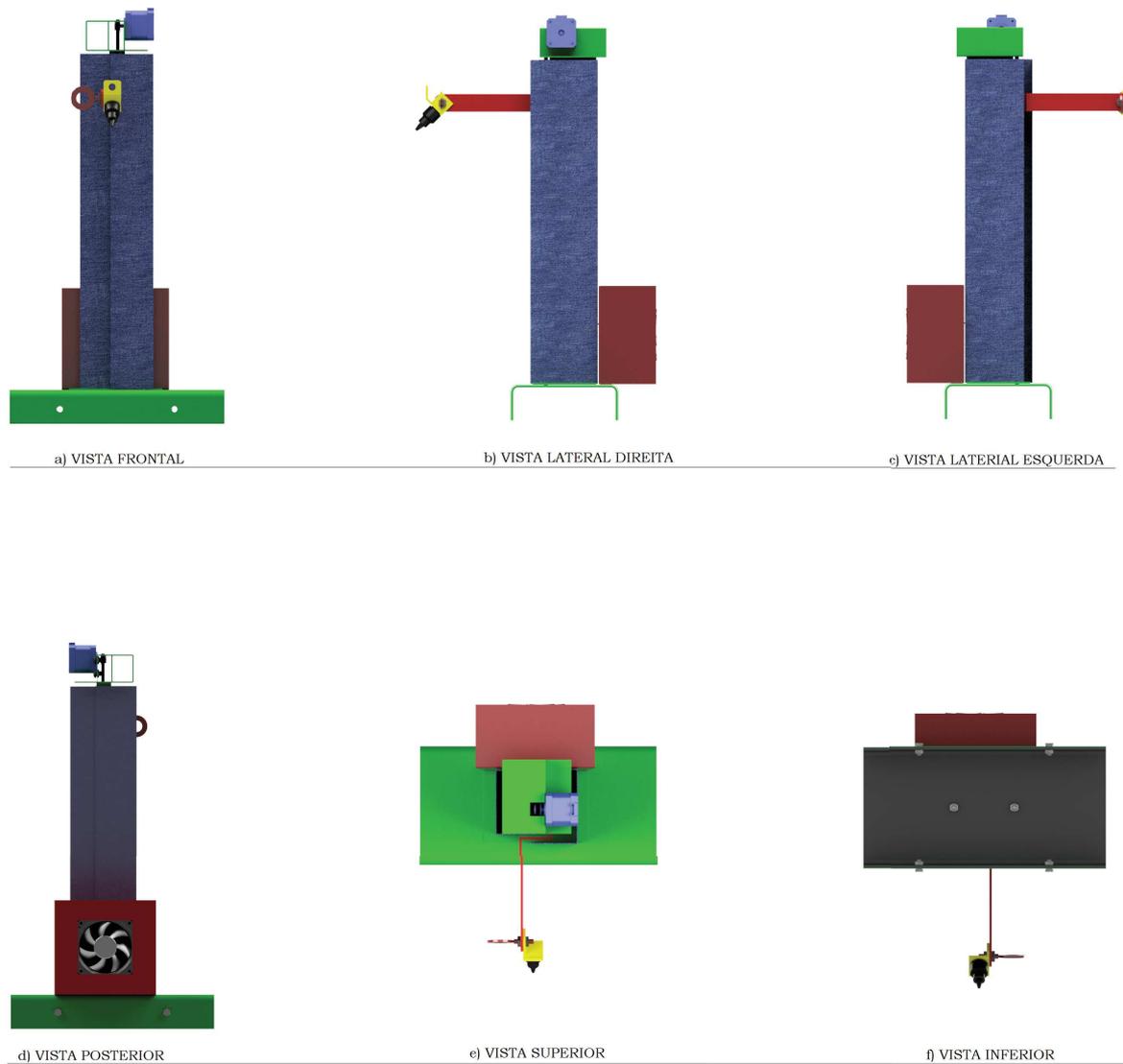
Fonte: Elaboração própria do autor.

3.2 PROJETO EM SOFTWARE CAD

Para projetar a estrutura do protótipo mecanizado em modelagem 3D, foi utilizado o software Autodesk Inventor 2020 com licença estudantil (Anexo B). Tendo como base, os principais componentes para funcionamento um mecanismo para transmissão de correia sincronizadora, tem-se um motor de passo como acionamento, polias dentadas e uma

estrutura rígida para acoplamento das polias e correia sincronizadora, Veja na figura abaixo (Fig. 21) as vistas ortogonais do protótipo mecanizado.

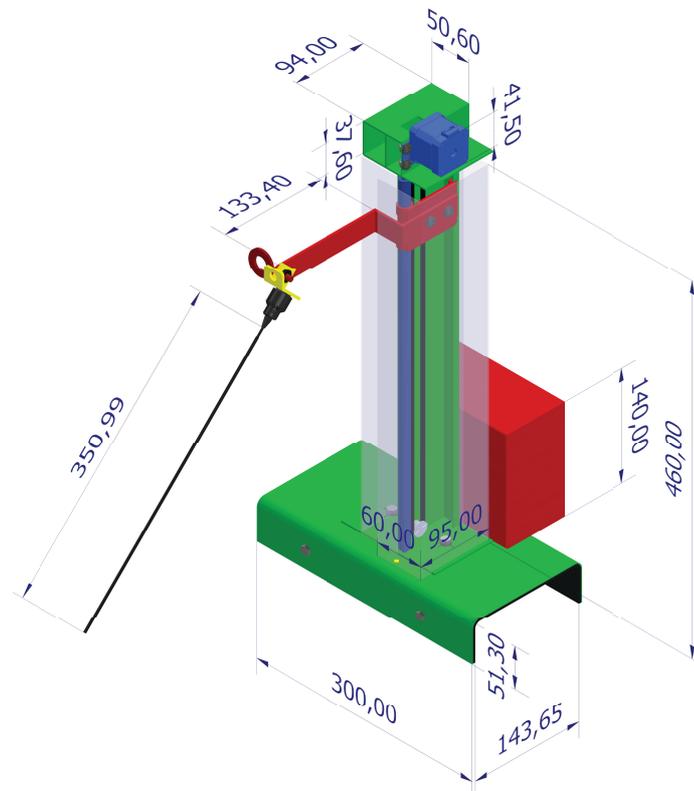
Figura 21 – Vistas ortogonais do protótipo



Fonte: Elaboração própria do autor.

Na Figura 22 é ilustrado o dimensionamento do protótipo, todo o detalhamento se encontra no Apêndice XX.

Figura 22 – Vista isométrica do protótipo cotado em milímetro



Fonte: Elaboração própria do autor.

3.3 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

Tratando-se de projeto de máquinas, é comum que o projetista ou a equipe de projeto envolvida sejam os responsáveis por selecionar os componentes adequados para que as especificações sejam de fato alcançadas. No entanto, no desenvolvimento deste trabalho, alguns elementos foram previamente adquiridos. Na tabela abaixo (6) é mostrado a lista de componentes para a fabricação do equipamento, os recursos comprados estão destacados em vermelho e os em preto adquiridos como doação.

Tabela 6 – Tabela de custos de materiais para construção do projeto

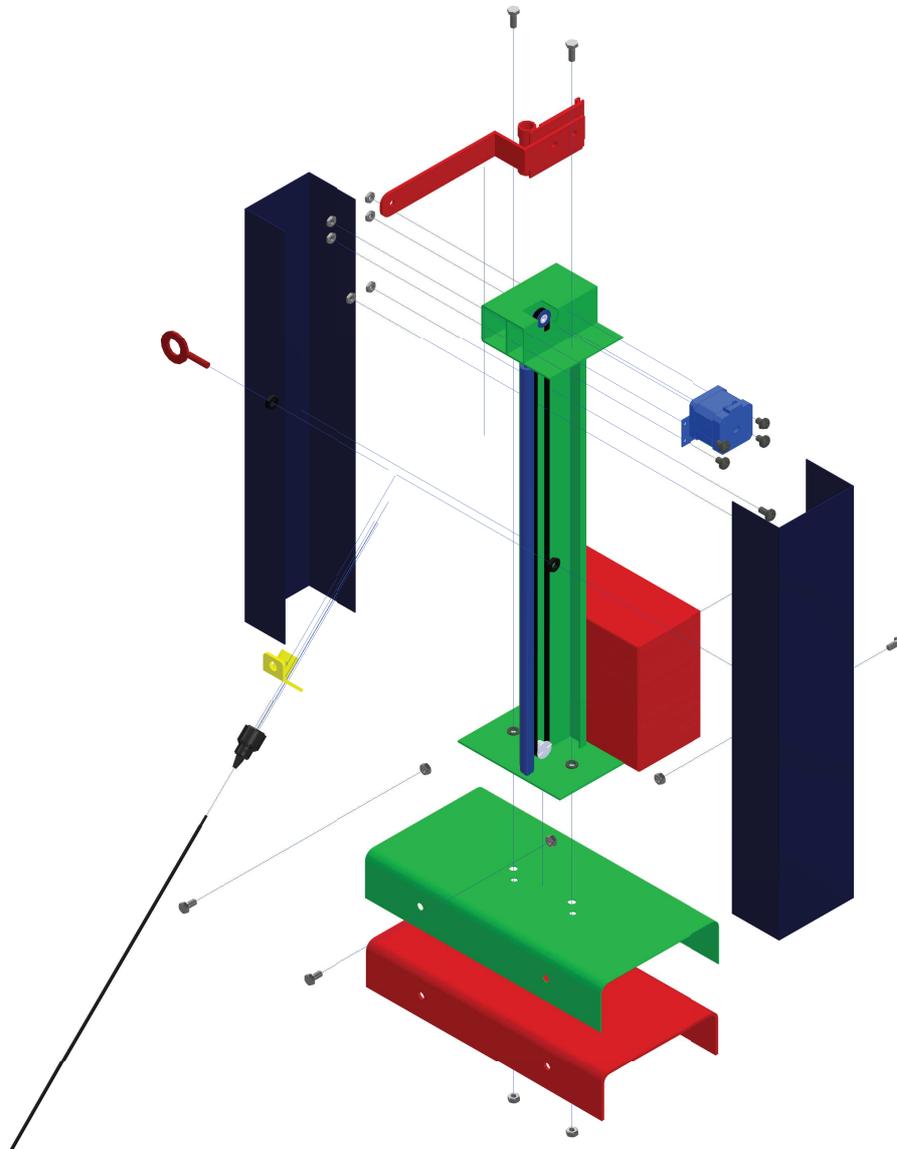
Item	Materiais	Especificações	Qtd	Valor unitário	Valor R\$	Valor Real
1	Controlador	Kit CNC Shield V4 + Arduino Uno + 3 Driver A4988	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00	R\$ 200,00
2	Porcas	Hexagonal M8	10	R\$ 0,30	R\$ 3,00	R\$ 3,00
3	Parafusos	Hexagonal M8	10	R\$ 0,30	R\$ 3,00	R\$ 3,00
4	Barra roscada	1000 x 8 mm	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00	R\$ 15,00
5	Motor de passo	Nema 17hs4401 4,28 Kgf.cm	1	R\$ 80,00	R\$ 80,00	R\$ 0,00
6	Polias	GT2 1/2"	1	R\$ 19,00	R\$ 19,00	R\$ 0,00
7	Placas de zinco	Dimensionado	2	R\$ 10,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00
8	Guia	Guia fusor de impressora	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00	R\$ 0,00
9	Correia de sincronizadora de transmissão	GT2	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 0,00
10	Mandril	Encaixe 5/8"	1	R\$ 40,00	R\$ 40,00	R\$ 0,00
11	Caixa cooler	140x140x140 mm	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00	R\$ 0,00
12	Perfil U	300 x 150 x 4 mm	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00	R\$ 0,00
13	Fonte carregador	12V	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00
14	Software	Universal Gcode Sender	1	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Total de custos					R\$ 600,00	R\$ 261,00

Fonte: Elaboração própria do autor.

Os componentes adquiridos como doação também podem ser obtidos por reciclagem e/ou reutilização.

Com o projeto detalhado e materiais adquiridos, foi possível inciar a montagem do protótipo. Este dispositivo é composto por uma estrutura rígida com uma guia linear de deslocamento, correia sincronizadora, polias, motor de passo, porta eletrodo e componentes eletrônicos para controle. Na Figura 23 apresenta o mecanismo projetado em vista explodida.

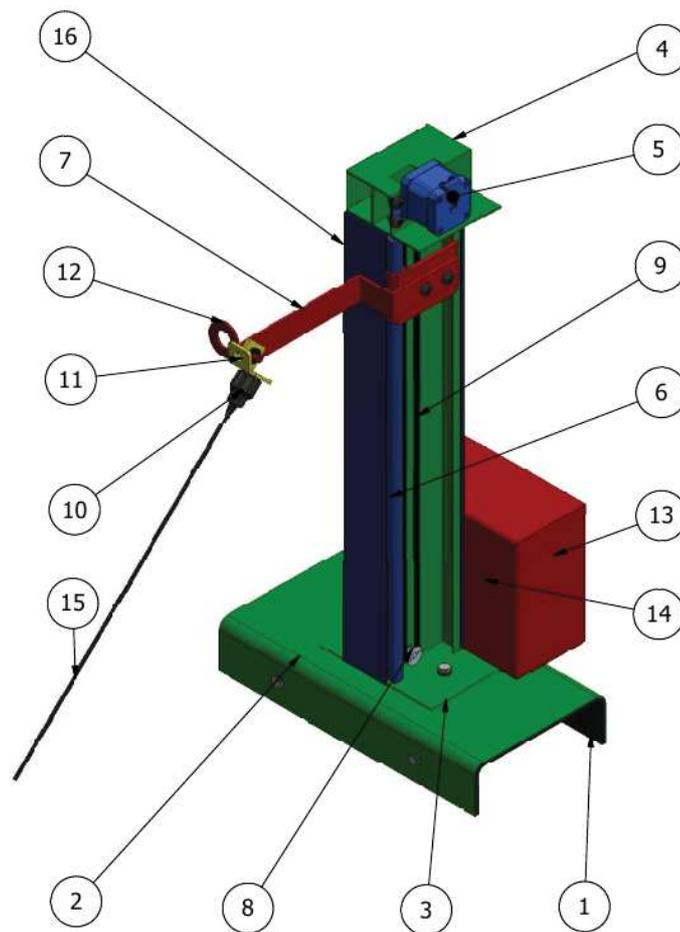
Figura 23 – Vista explodida do protótipo



Fonte: Elaboração própria do autor.

Todos os componentes são montados sequencialmente conforme a numeração, logo abaixo (Fig. 24) é mostrado essa sequencia lógica de montagem.

Figura 24 – Sequência lógica de montagem dos componentes



Fonte: Elaboração própria do autor.

Os componentes básicos são: 1 - Base viga U para sustentação da estrutura (4); 2 - Base chapa de zinco para revestimento da base viga U; 3 - Chapa de fixação entre a base (2) e a estrutura (4); 4 - Estrutura rígida de aço para acoplamento do motor de passo (5), polia (7) e chapa de proteção (16); 5 - Motor de passo; 6 - Guia cilíndrica linear que é acoplada na estrutura (4); 7 - Braço acoplado na guia linear (6) e correia sincronizadora (9); 8 - Polias encaixadas na estrutura (4) e motor de passo (5); 9 - Correia sincronizadora que se conecta com a polia do motor de passo (5) e estrutura (4); 10 - Mandril que se encaixa no dispositivo de fixação do mandril (11); 11 - Dispositivo de fixação do mandril; 12 - Manípulo de aperto do dispositivo de fixação do mandril (11); 13 - Caixa ATX para resfriamento do sistema de controle (14); 14 - Sistema de controle; e 15 - Consumível eletrodo.

Logo abaixo (Fig. 25) mostra o protótipo para soldagem já montado, de acordo com as especificações do projeto.

Figura 25 – Protótipo mecanizado montado



Fonte: Elaboração própria do autor.

3.4 INSTALAÇÃO DOS CONTROLADORES COM A IMPLEMENTAÇÃO DO SOFTWARE

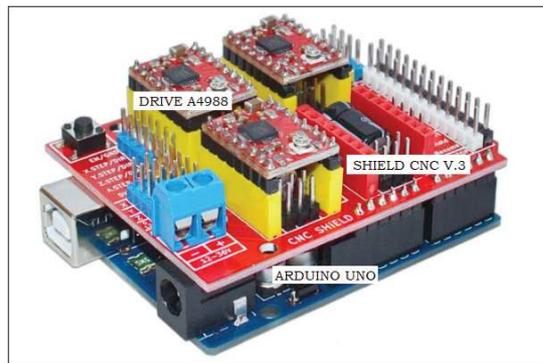
A fim de atingir o objetivo principal deste projeto, conseguir realizar soldagens com eletrodo revestido de forma consistente e com repetitividade, é necessário além da da construção mecânica do equipamento, a utilização de um sistema de controle e um software de comando. Este software é utilizado a linguagem CNC (código G), com isso, através da interface homem máquina (IHM) será possível variar os parâmetros de soldagens, como por exemplo, a velocidade de mergulho do eletrodo, de forma interativa e iterativa. Para isso, é utilizado um software de licença gratuita, Universal Gcode Sender.

3.4.1 Instalação dos controladores

Primeiramente se faz necessário a instalação dos controladores no equipamento. Como controlador é utilizado o Arduino Uno pois possui um bom número de portas disponíveis, e grande compatibilidade com os shields disponíveis no mercado. Possui processador ATMEGA328, 14 portas digitais, sendo que 6 delas podem ser usadas como

saidas PWM, e 6 portas analógicas. A alimentação (selecionada automaticamente), pode vir da conexão USB ou do conector para alimentação externa (recomendável 7 à 12 Vdc). Para os controles de coordenadas e ajuste da corrente transmitida ao motor de passo, faz-se necessário a utilização de uma shield e um drive, neste caso, utilizaremos a shield CNC V.3 e o drive A4988. Na Figura 26 mostra a montagem do arduino, CNC shield e driver A4988.

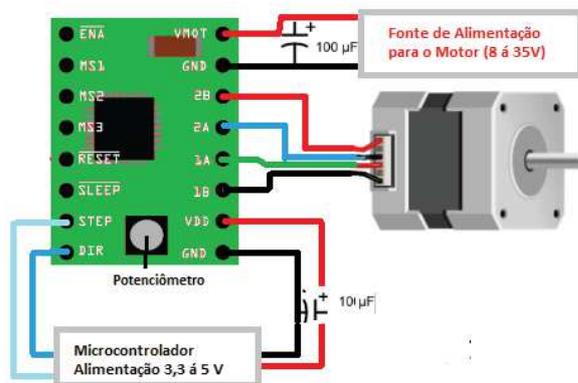
Figura 26 – Ilustração da montagem do driver A4988, CNC Shield no Arduino Uno



Fonte: institutodigital (2019) adaptado

Para enviar pulsos elétricos e corrente adequada ao motor de passo, é necessário a utilização do driver A4988. Com esse driver será possível controlar a velocidade de passos por minuto do motor elétrico. Na figura 27 mostra o diagrama esquemático da instalação.

Figura 27 – Esquema de ligação elétrica do drive A4988 ao motor de passo



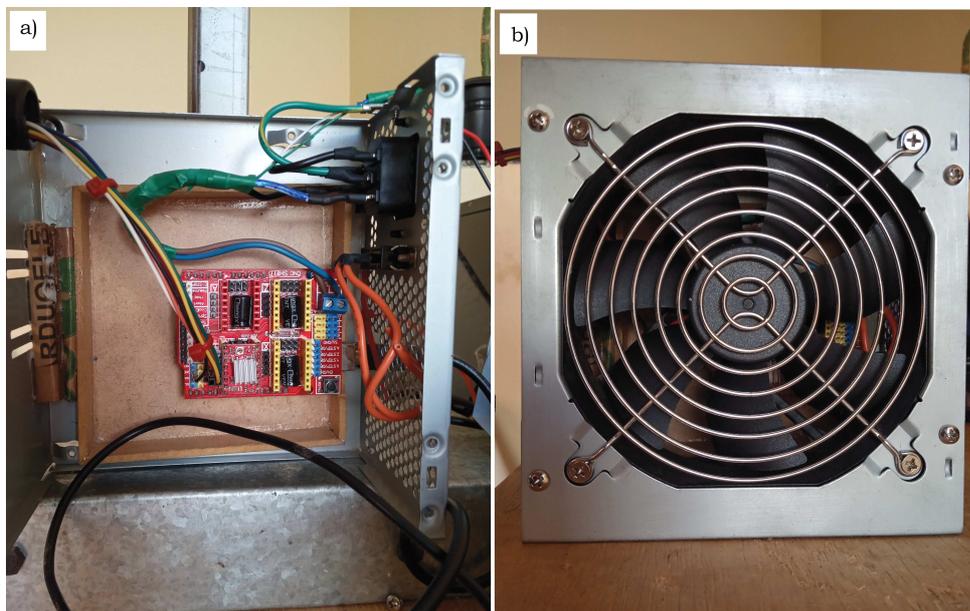
Fonte: Elaboração própria do autor.

O funcionamento do driver requer uma conexão com a alimentação lógica do microcontrolador (3,3V à 5V) nos pinos VDD e GND, e outra com a fonte de energia atribuída ao motor (8V à 35V) nos terminais VMOT e GND. Os terminais 2B, 2A, 1A e

1B serão aplicados a conexão das bobinas do motor. O diagrama elétrico se encontra no Anexo C.

Foi utilizado um caixa metálica de uma fonte ATX para instalação dos controladores. Essa adaptação foi ideal para o resfriamento do sistema de controlador, em especial, o driver A4988 que chega a altos picos de temperatura, chegando a danificar alguns circuitos da placa arduino e shield. Logo abaixo na Figura 28 mostra a montagem do dos controladores na caixa metálica ATX.

Figura 28 – a) Caixa metálica ATX aberta com sistema controlador montado, b) caixa metálica ATX fechada.

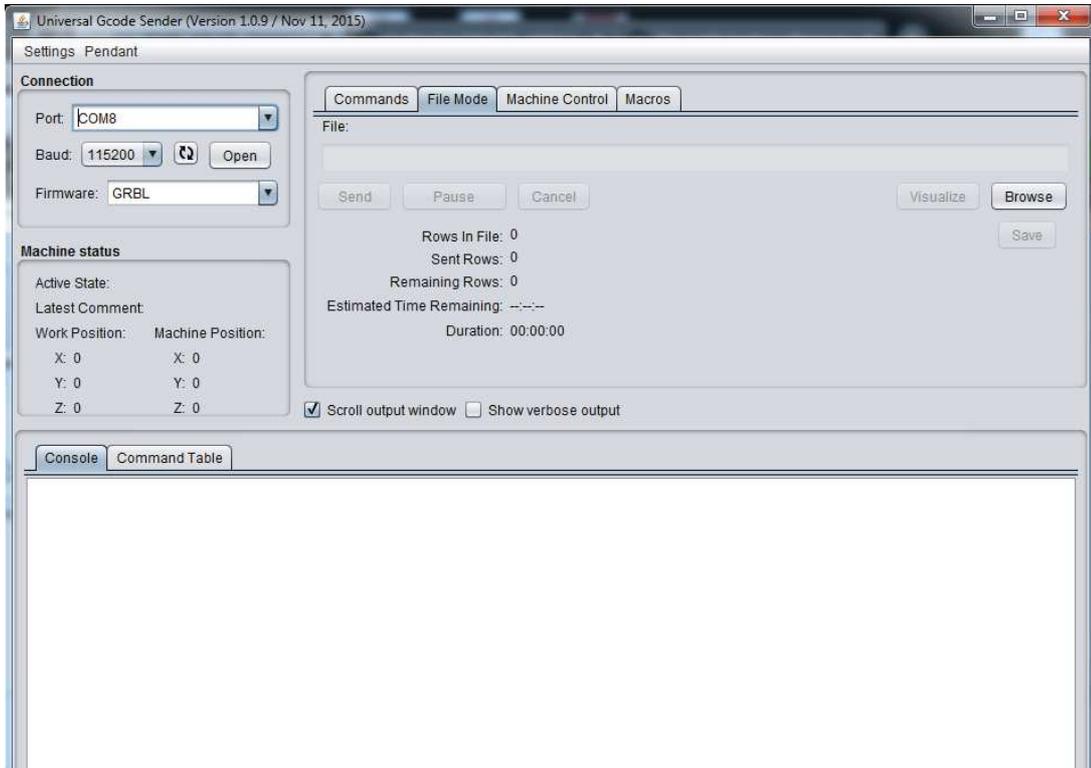


Fonte: Elaoração própria do autor.

3.4.2 Instalação do software

O software na qual será utilizado para controles CNC é denominado Universal Gcode Sender. Para instalação do software, poderá ser baixado no site <https://github.com/>, sob licença livre podendo ser instalado em sistemas operacionais como Windows e Linux. Logo na figura abaixo (Fig. 29) é mostrado a interface do programa. O objetivo do software é enviar sinais para o controlador, que este envia pulsos elétricos ao motor de passo, com tensão e corrente controlada.

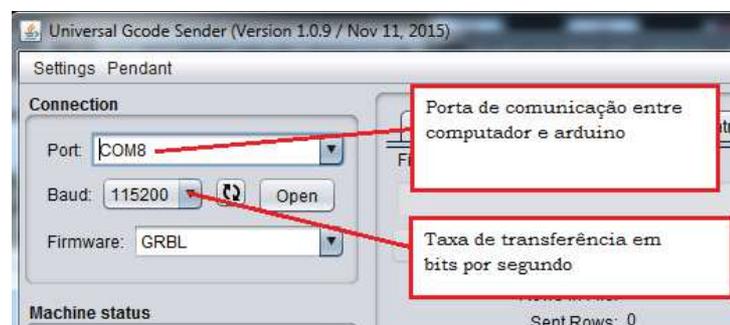
Figura 29 – a) Interface do software Universal Gcode Sender



Fonte: Elaboração própria do autor.

Para iniciar o programa, primeiro conecte o cabo de comunicação de acordo com a porta liberada para uso, neste caso a COM8, a velocidade de comunicação exibirá um valor pré determinado para comunicação. A firmware a ser utilizada será o GRBL (Fig. 30).

Figura 30 – Inicialização da comunicação do software e arduino

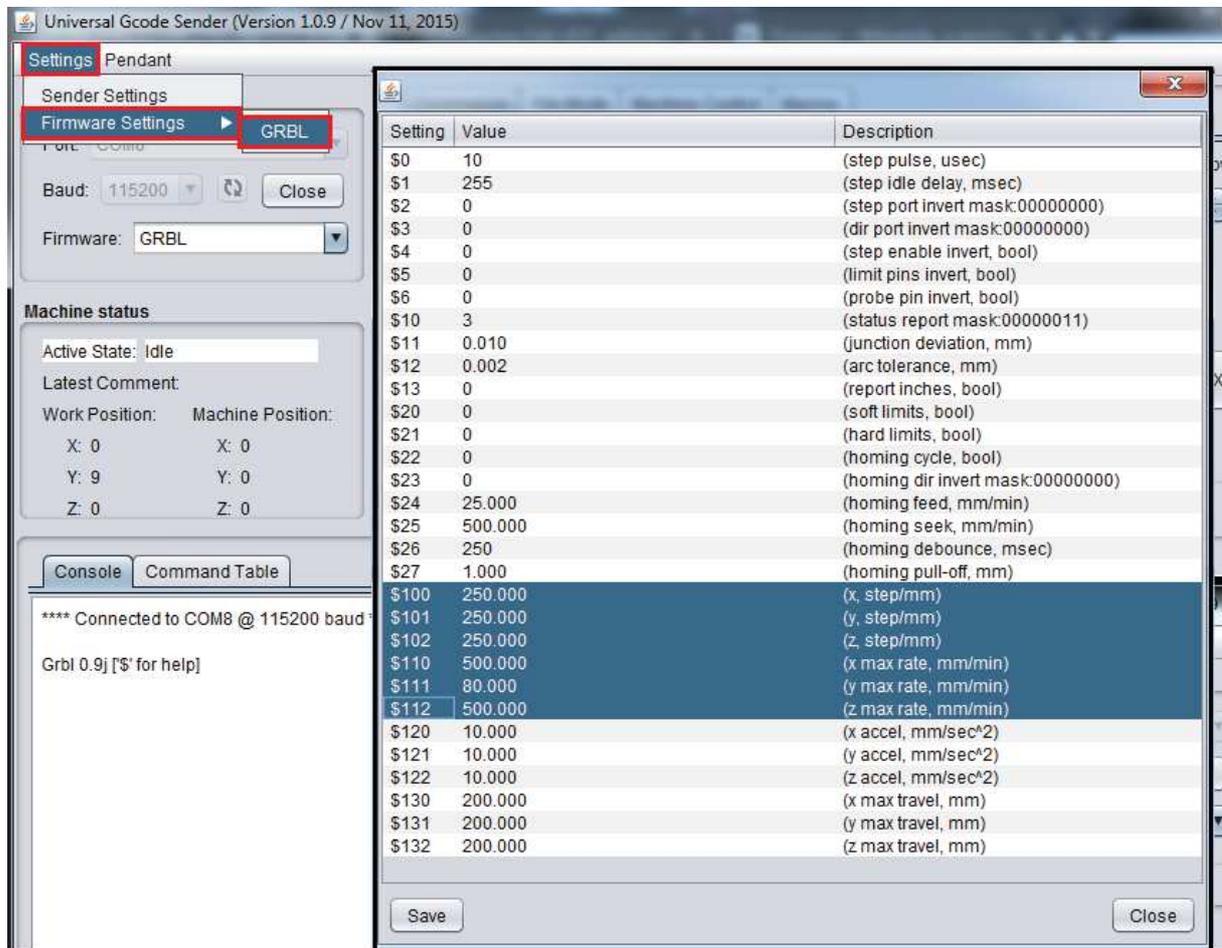


Fonte: Elaboração própria do autor.

Para visualizar as configurações, clique em settings e pressione enter após conectar-se ao Grbl. O Grbl deve responder com uma lista das configurações atuais do sistema, conforme mostrado no exemplo abaixo (Fig 31). Todas essas configurações são persistentes

e mantidas na EEPROM; portanto, se você desligar, elas serão carregadas de volta na próxima vez que você ligar o Arduino.

Figura 31 – Configurações do GRBL

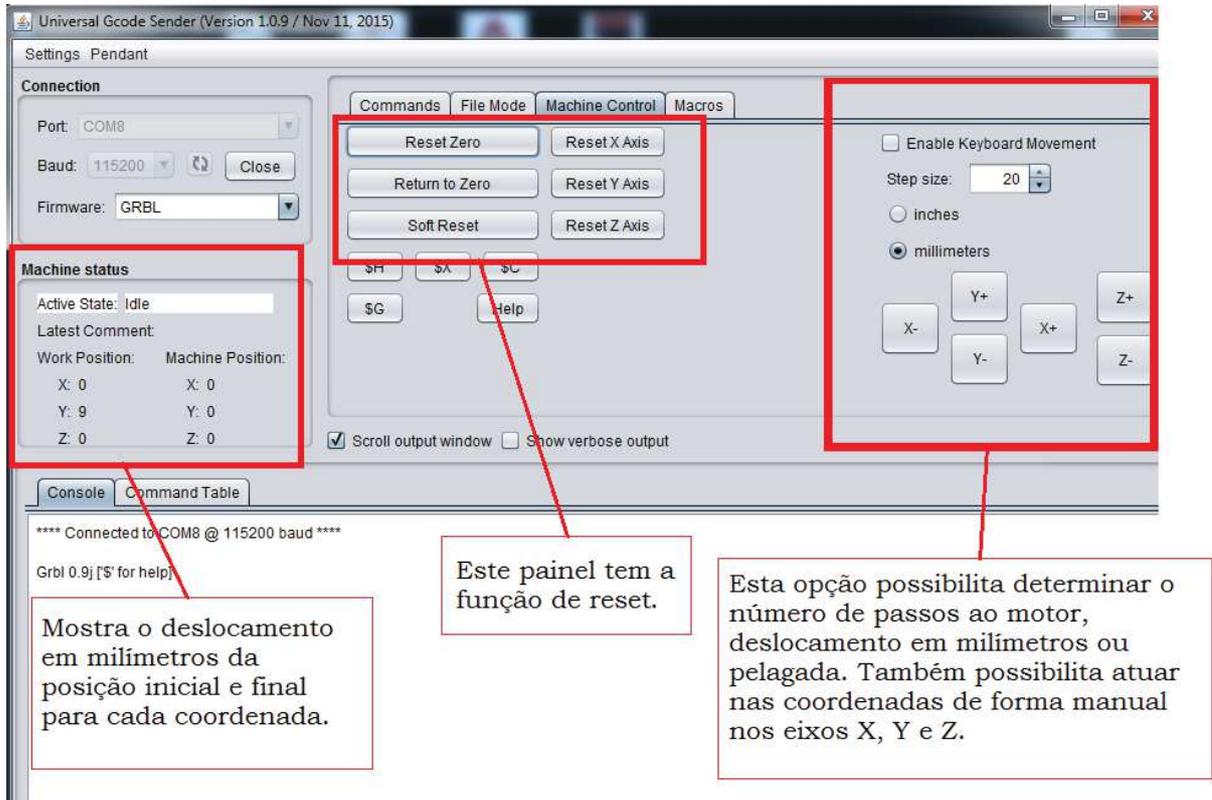


Fonte: Elaboração própria do autor.

Na configuração do GRBL, os itens \$100, \$101, \$102, \$110, \$111 e \$112 destacados na Figura 31 são as configurações de controle de deslocamento e velocidade de rotação do motor de passo para as coordenadas X, Y e Z. Para o presente trabalho, será utilizado apenas a coordenada Y, para movimento vertical. No restante da configuração do GRBL irá permanecer sem alterações.

Na guia "machine control" mostra algumas das funções principais do software. Essa guia é adequada para um trabalho de forma manual, onde o operador terá uma melhor interação com o programa (Fig. 32).

Figura 32 – Interface do software Universal Gcode Sender, guia "machine control".

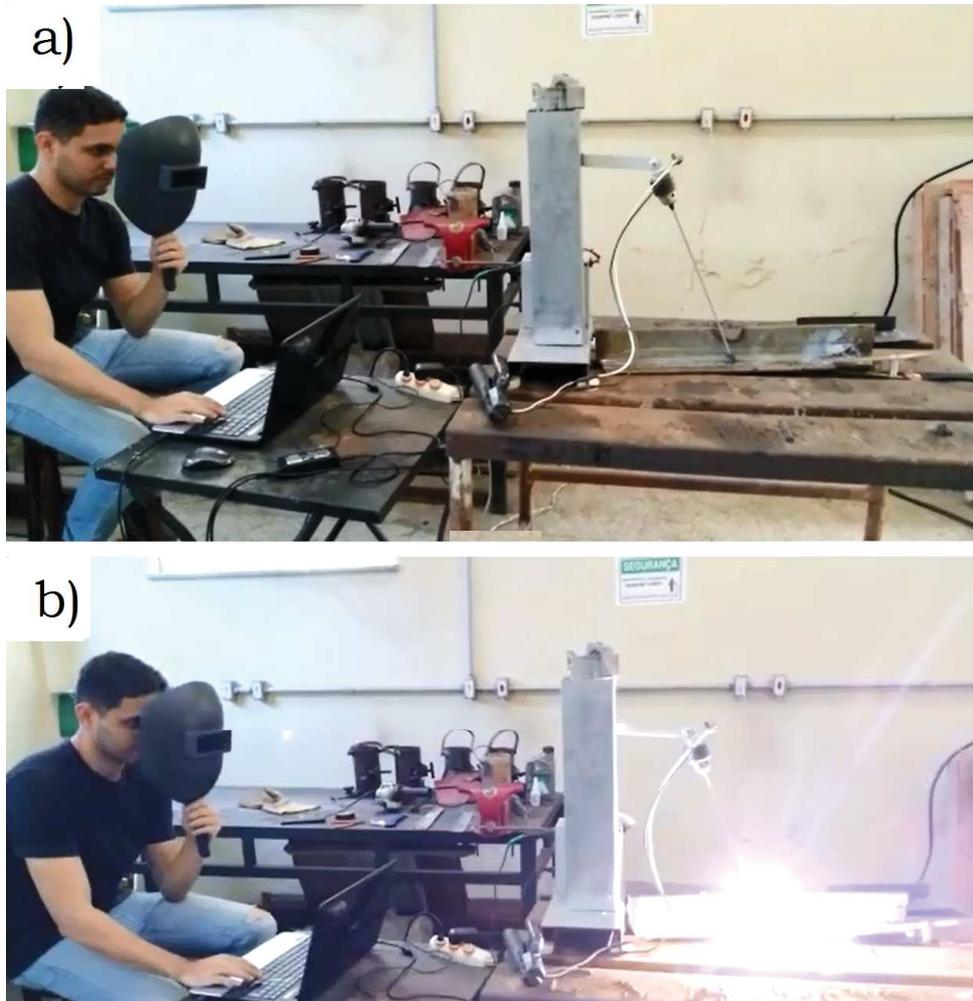


Fonte: Elaboração própria do autor.

3.5 VALIDAÇÃO DO PROJETO

Para fazer a validação foi preciso preparar o local, equipamentos e configurações para dar início aos testes. Utilizando uma máquina de solda, o alicate positivo foi colocado no cabo elétrico que está acoplado ao porta eletrodo do protótipo e o alicate negativo foi colocado na chapa de aço onde se fará o cordão de solda. Na Figura 33 mostra o operador dando início aos primeiros testes com o protótipo.

Figura 33 – a) Antes de iniciar o teste do protótipo. b) início dos testes.



Fonte: Elaboração própria do autor.

O operador tem a função apenas de ajustar a corrente da máquina de solda, ângulo do porta eletrodo para deposição de soldagem e ajustes de parâmetros de deslocamento e velocidade no software de controle.

Para a validação do projeto foram utilizados três eletrodos E6013 da marca OK® com diâmetros de 2,5 mm, aplicado uma corrente de 100 amperes na máquina de solda. Para este tipo de diâmetro de eletrodo é indicado uma corrente de 80 a 100 amperes conforme é mostrado na 2 na seção 2.1.3 do referencial teórico. Foi determinado que os testes fossem realizados em alta amperagem devido a facilidade de abertura do arco elétrico. Na Figura 34 mostra o resultado dos testes realizados para os três eletrodos.

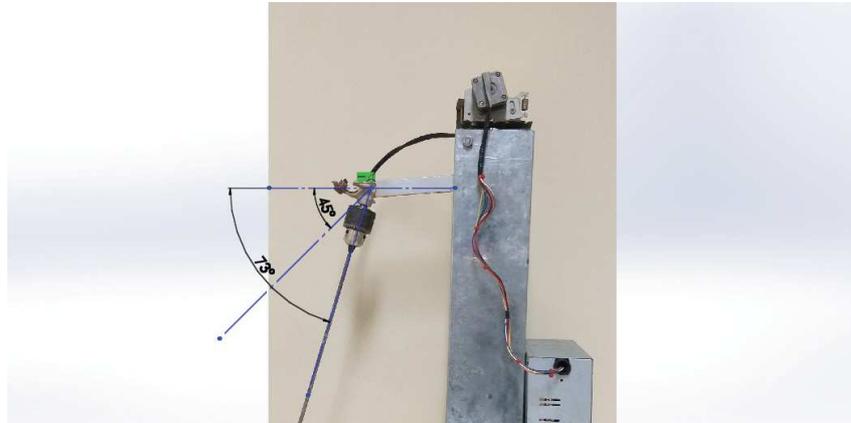
Figura 34 – Cordões de solda realizados pelo protótipo mecanizado.



Fonte: Elaboração própria do autor.

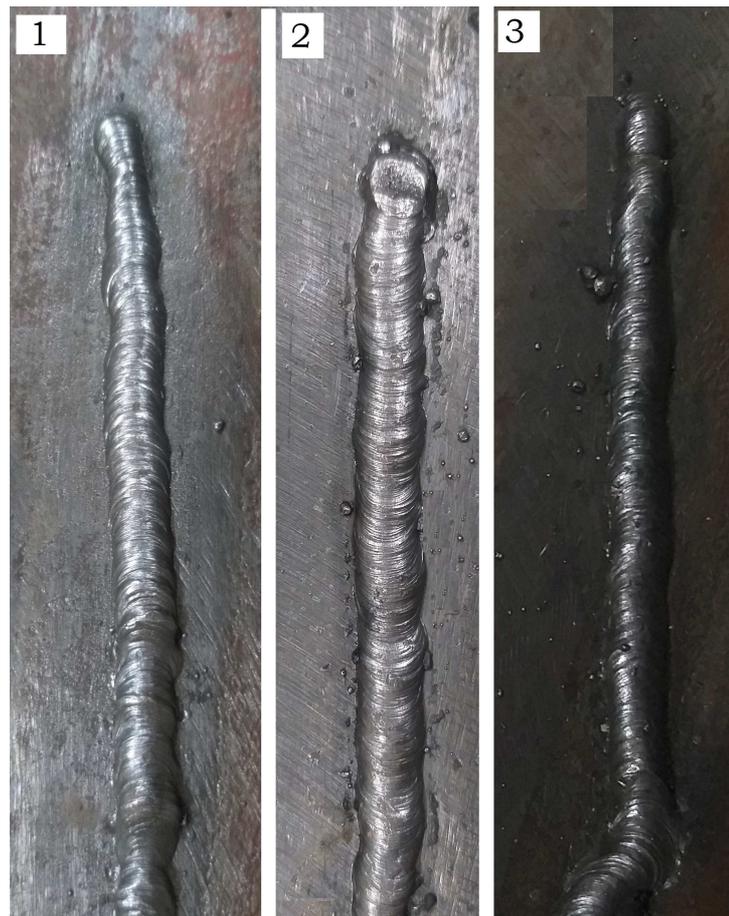
A velocidade de deposição determinada foi de 13 mm/min para os três tipos de eletrodo. Onde se obteve uma maior uniformidade do cordão de solda. A velocidade de deposição foi determinada por tentativas de se conseguir uma boa soldura, na qual, as tentativas foram de 5, 8, 10, 13 e 15 mm/min controlada via software, de forma que, o penúltimo valor foi o ideal para que o cordão de solda ficasse uniforme utilizando um eletrodo com diâmetro de 2,5 mm. Essa velocidade foi a combinação ideal para um ajuste de ângulo de 73° do porta eletrodo, a Figura 35 exemplifica melhor essa angulação.

Figura 35 – Ajuste do ângulo de 73° para deposição da solda



Fonte: Elaboração própria do autor.

Figura 36 – Inspeção visual dos cordões de solda



Fonte: Elaboração própria do autor.

Na Figura 36 mostra os três cordões de solda obtidos pelo processo de soldagem mecanizada. Observa-se que os cordões 1, 2 e 3 apresentam uma morfologia semelhante,

com uma boa uniformidade. Ainda se há de fazer alguns ajustes no equipamento, por exemplo, retirar a vibração que o motor de passo causa na estrutura do protótipo e no eletrodo. Essa vibração é devida a posição do motor de passo se encontrar na parte superior da estrutura rígida do protótipo, também a baixa rigidez da estrutura metálica e o sistema de transmissão ser por correia sincronizadora. Essa vibração impacta diretamente na formação do cordão de solda, pois a ponta do eletrodo, onde ocorre o arco elétrico, não se mantém estável, assim causando alguns desvios na linearidade de formação do cordão. Todo o experimento foi realizado no laboratório da Faculdade de Engenharia Mecânica - FEMEC da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - Unifesspa.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1 CONCLUSÕES

A soldagem SMAW, considerada de baixa produtividade, porém ainda se mostra amplamente utilizada na indústria. Pelo principal motivo de possuir equipamentos portáteis e baratos, e ser um processo relativamente de baixo custo. Porém, o processo SMAW possui baixa repetitividade, implicando na qualidade dos resultados.

Neste trabalho foi apresentado a linguagem CNC aplicada a um protótipo para validação da soldagem SMAW. Este trabalho foi baseado nas literaturas existentes na produção de dispositivos mecanizados para soldagem até mesmo o de automação.

Considerando o mercado, o preço de um robô automatizado com configuração robusta varia de 170 a 190 mil reais. Já o protótipo construído com algumas limitações, por exemplo, sem movimento oscilatório do porta eletrodo e apenas possuir uma coordenada, custa em média 600,00 em materiais para a construção.

Para tanto, o principal objetivo deste projeto foi criar um protótipo mecanizado em que realizasse a soldura de forma independente. Para isto, foi necessário a implementação do sistema CNC com um complemento IHM e um sistema de controle. Desta forma, foi possível realizar testes de forma interativa e iterativa, trazendo resultados satisfatórios. Ainda há algumas adaptações e melhorias a serem realizadas, será relatado em trabalhos futuros.

Através dos ensaios de validação do equipamento foi possível constatar que o objetivo foi alcançado. Pois o ensaio só foi possível se obter através da construção do equipamento equipamento. A velocidade obtida de mergulho do eletrodo foi de 13 mm/min, produzindo cordões de solda quase estáveis.

Há algumas interferências na qualidade da solda, por exemplo, devido a existência de folgas no suporte do porta eletrodo, causando algumas oscilações, resultando em algumas distorções no cordão de solda. A vibração do motor de passo também é uma das causas raiz, pois causa vibrações em toda a estrutura do protótipo.

Este trabalho também poderá servir como base para futuras pesquisas no que tange à tecnologia da soldagem, seja no desenvolvimento de projetos similares ou até mesmo no aperfeiçoamento no método de soldagem SMAW. Um bom exemplo é o desenvolvimento de um sistema para controle de altura do arco elétrico e movimentos de tecimento. Este sistema certamente traria muitas vantagens para a soldagem, posto que tende a proporcionar maior estabilidade ao arco elétrico no transcorrer da realização do cordão de solda. A estabilidade

do arco elétrico reflete-se diretamente na melhoria da qualidade do cordão. Outro exemplo é a implementação da soldagem MIG (Metal Inert Gas), já que possui uma maior facilidade na abertura do arco elétrico. Assim, através do controle CNC, traria uma melhor qualidade e confiabilidade nos resultados.

Logo pode-se concluir que o projeto desenvolvido neste trabalho atende a uma necessidade existente na área da soldagem. Sendo esta necessidade aumentar a repetitividade do processo SMAW. Como também auxiliar nas aulas didáticas no laboratório do curso de Engenharia Mecânica da FEMEC-UNIFESSPA. Contribuindo para futuros projetos acadêmicos.

4.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base na experiência adquirida durante a realização deste trabalho, nesta seção apresenta sugestões para trabalhos futuros, com objetivo de auxiliar na realização de melhorias ou projetos similares dando continuidade a este projeto.

Sugere-se a implementação de chaves fim de curso configurando o software de forma que o protótipo venha funcionar sem ultrapassar o fim da guia linear, evitando o rompimento da correia sincronizadora.

Estudo do sistema de controle, determinando os sinais de entrada e saída do sistema, construção do diagrama de blocos.

Implementar um sistema de aquisição de dados para mensurar temperatura do eletrodo durante o processo de soldagem.

Sugere-se a aquisição de uma segunda coordenada no projeto para fazer movimentos de tecimento no cordão de solda.

Realizar estudos de variação das velocidades dos movimentos de soldagens. Analisar a qualidade e taxas de deposição.

Sugere-se fazer um estudo de Benchmarking dos diferentes tipos de eletrodos revestidos encontrados comercialmente.

A soldagem SMAW pode ser efetuada em diferentes posições. Sugere-se adaptar o protótipo para trabalhos com posições de maior dificuldade pelo operador, como por exemplo soldagem sobre-cabeça.

REFERÊNCIAS

- ALTINTAS, Y. **Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design**. [S.l.]: Cambridge university press, 2012.
- ALUSOLDA. **Como soldar a Arco Elétrico com Eletrodo Revestido**. 2019. Disponível em <<http://www.alusolda.com.br/conteudo/como-soldar-a-arco-eletrico-com-eletrodo-revestido.html>>. Acessado no dia 08 abril de 2019.
- ARDUINO. **Arduino Nano**. 2019. Disponível em <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>. Acessado no dia 09 abril de 2019.
- ARDUINO. **o que é arduino?** 2019. Disponível em <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acessado no dia 08 abril de 2019.
- BANZI, M.; SHILOH, M. **Getting started with Arduino: the open source electronics prototyping platform**. [S.l.]: Maker Media, Inc., 2014.
- BATALHA, G. F. Processos de fabricação: Junção, soldagem e brasagem. **Laboratório de Engenharia de Fabricação-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, 2003.
- BERTRÁN, J. A. R. et al. Sistematização do processo de projeto em automação de máquinas cartezianas com acionamento eletromecânico: ênfase no posicionamento. 2012.
- BRACARENSE, A. Q. et al. Soldagem robotizada. **Robótica Industrial. Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processos**. São Paulo: Edgard Blücher. cap, v. 8, p. 139–155, 2002.
- BROERING, C. Desenvolvimento de sistemas para a automatização da soldagem e do corte térmico. fev. 2005. 96p. **Dissertação de mestrado. Dept, de Eng. Mecânica, UFSC, Florianópolis**, 2005.
- CAVALCANTI, C. A. N. Comparação entre o comportamento de eletrodos revestidos utilizando dispositivos de soldagem por gravidade e com controle automático do comprimento do arco elétrico. 2011.
- DUTRA, J. C.; FELIPPE, L.; CARVALHO, R. S. Sistema robótico de quatro graus de liberdade e processos de soldagem dedicados para o revestimento de tubos de caldeiras. **V CITENEL. Belém**, 2009.
- EMBARCADOS. **Arduino Uno**. 2019. Disponível em <<https://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>>. Acessado no dia 15 novembro de 2019.
- FELIZARDO, I.; BRACARENSE, A. Q. Método de aplicação da soldagem: Manual, mecanizado ou automatizado. In: **XXXII Congresso Nacional de Soldagem, Belo Horizonte. XXXII Consolda**. [S.l.: s.n.], 2006.

FORTES, C. Apostila de eletrodos revestidos. **Assistência Técnica ESAB Indústria e Comércio Ltda**, 2005.

HANDBOOK, W. **Fundamentals of Welding**. 9^a Edição. 2004.

INSTITUTODIGITAL. **CNC shield V.4**. 2019. Disponível em <<http://www.institutodigital.com.br/pd-49b3a1-shield-cnc-v4-para-arduino-nano.html>>. Acessado no dia 08 abril de 2019.

JENNEY, C. L.; O'BRIEN, A. **Welding handbook: welding science and technology**. [S.l.]: American Welding Society, 2001.

LACALLE, N. L. de; MENTXAKA, A. L. **Machine tools for high performance machining**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2008.

LIMAI, E. J.; BRACARENSE, A. Q. Arc welding automation. In: **Arc Welding**. [S.l.]: IntechOpen, 2011.

LINCOLN, E. C. **The procedure handbook of arc welding**. [S.l.]: Cleveland, Ohio, 1994.

MACHADO, I. G. **Soldagem & técnicas conexas: processos**. [S.l.]: Ed. do Autor Porto Alegre, 1996.

MARQUES, P. V. et al. Tecnologia da soldagem. **Belo Horizonte: ESAB**, 1991.

MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V. Soldagem i introdução aos processos de soldagem. **Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Metalúrgica. Belo Horizonte**, p. 13, 2000.

MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem-fundamentos e tecnologia**. [S.l.]: Editora UFMG, 2005.

MONK, S. **Programming Arduino: getting started with sketches**. [S.l.]: McGraw-Hill New York, NY, USA:, 2012. v. 14.

NETO, E. A. C. Desenvolvimento de um sistema mecanizado para soldagem de eletrodo revestido. Joinville, SC, 2018.

NUM. **CNC Controller**. 2019. Disponível em <<https://num.com/products/cnc-controls>>. Acessado no dia 16 novembro de 2019.

O'BRIEN, A.; GUZMAN, C. **Welding handbook: welding processes**. [S.l.]: American Welding Society, 2007.

O'BRIEN, A. Aws welding handbook. **Volume**, v. 2, p. 52, 2004.

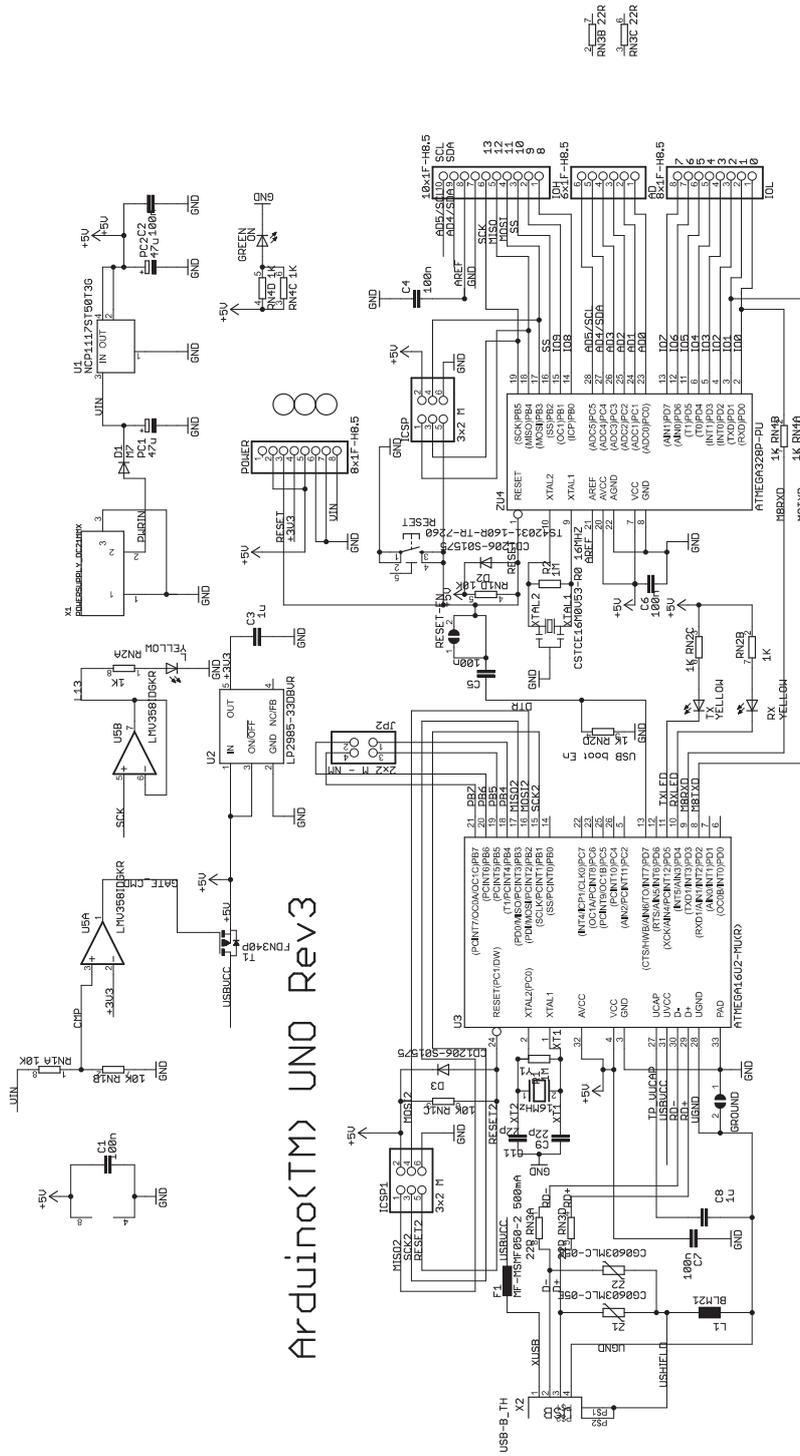
PINTO, M. d. C. Aplicação de arquitetura pedagógica em curso de robótica educacional com hardware livre. **Rio de Janeiro: UFRJ. Dissertação (Mestrado em Informática). Instituto de Matemática, Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro**. <http://www.nce.ufrj.br/ginape/paginas/teses.html>, Agosto, 2011.

RODRÍGUEZ, A. G. et al. Valoración del desempeño de un dispositivo de autoalimentación diseñado para la evaluación operativa de electrodos revestidos. 2009.

SILVA, K. d. **Sistema Automático para Soldagem com Eletrodo Revestido**. 2015. Monografia - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC.

SUH, S.-H. et al. **Theory and design of CNC systems**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2008.

ANEXO A – Diagrama elétrico do Arduino UNO



Arduino(TM) UNO Rev3

Reference Designs ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS. ARDUINO DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Arduino may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." Arduino reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information. ARDUINO is a registered trademark.

Use of the ARDUINO name must be compliant with <http://www.arduino.cc/en/Main/Policy>

ANEXO B – Licença Autodesk

welvissoares@unifesspa.edu.br

Dom, 17 de nov de 2019 13:04

GUARDE E IMPRIMA ESTE E-MAIL SERVE DE REGISTO DOS DIREITOS DE LICENCIAMENTO PARA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE AUTODESK.

Comunidade educativa Autodesk



Caro(a) Welvis Lima,

Informações da licença de produto do licenciado:

Produto:	Inventor Professional 2020
Tipo de licença:	Educativa autónoma
Tipo de acesso:	Utilizador único
Utilização autorizada:	Instalação num máximo de 2 dispositivos pessoais*
Chave de produto:	797L1
Número de série:	901-36448811
Período de vigência:	período de vigência de 3 anos
Proprietário da licença:	Welvis Lima

**A sua Autodesk Account poderá apresentar este direito de utilização como 1 posto.*

Durante a instalação, introduza esta chave de produto e este número de série. Quando iniciar o produto pela primeira vez, receberá um pedido para ativar a sua licença. Esta data assinala o início do período de vigência de três anos.

ANEXO C – Diagrama elétrico do drive A4988

