

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

DIEGO PASQUALI ROMANI

**FLEXIBILIZAÇÃO DE ROBÔ INDUSTRIAL DE SOLDAGEM VIA
INTEGRAÇÃO DE EFETUADOR FINAL**

Florianópolis 2019

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

DIEGO PASQUALI ROMANI

**FLEXIBILIZAÇÃO DE ROBÔ INDUSTRIAL DE SOLDAGEM
VIA INTEGRAÇÃO DE EFETUADOR FINAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecatrônica.

Professor Orientador: Nelso Bonacorso, Dr.
Eng.

Florianópolis 2019

Ficha de identificação de obra elaborada pelo autor.

Romani, Diego Pasquali

Flexibilização de robô industrial de soldagem via integração de garra modular / Diego Pasquali Romani; Orientação de Nelso Bonacorso. – Florianópolis, SC, 2019.

47 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Campus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Mecatrônica. Departamento Acadêmico de Metal Mecânica.

Inclui Referências.

1. Garra robótica. 2. Engenharia Mecatrônica. 3. Robô de solda. 4. integração mecatrônica.

I. Nelso Gauze Bonacorso. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. III. Garra robótica, Engenharia Mecatrônica, Robô de solda, integração mecatrônica.

FLEXIBILIZAÇÃO DE ROBÔ INDUSTRIAL DE SOLDAGEM VIA INTEGRAÇÃO DE EFETUADOR FINAL

DIEGO PASQUALI ROMANI

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

Florianópolis, 3 de julho de 2019

Banca Examinadora:

Nelso Gauze Bonacorso, Dr. Eng. (orientador)

Erwin Werner Teichmann, Dr. Eng.

Raimundo Ricardo Matos da Cunha, Dr. Eng.

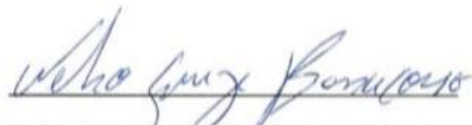


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS.

DECLARAÇÃO DE FINALIZAÇÃO DE CURSO

Declaro que o(a) estudante **DIEGO PASQUALI ROMANI**, matrícula nº 1420014102, do curso de Engenharia Mecatrônica, defendeu o trabalho intitulado **FLEXIBILIZAÇÃO DE ROBÔ INDUSTRIAL DE SOLDAGEM VIA INTEGRAÇÃO DE EFETUADOR FINAL**, o qual está apto a fazer parte do banco de dados da Biblioteca Hercílio Luz do Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis.

Florianópolis, 09 de agosto de 2019



Prof. Orientador do TCC: Nelso Gauze Bonacorso

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Jeová Deus, por me permitir ter sabedoria, e vida para realizar qualquer coisa.

A minha esposa, por todo apoio dado, e incentivo.

A minha mãe que sempre foi meu braço direito e grande incentivadora em buscar os meus objetivos.

Aos professores que fizeram parte dessa caminhada, que não foram apenas ótimos instrutores, mas bons amigos e colegas de trabalho.

Ao Professor Nelso Gauze Bonacorso por sua instrução durante esse TCC.

Ao IFSC, ao departamento de Metal mecânica, os funcionários do IFSC pelos seus excelentes serviços prestados, e pelas ótimas condições de estudo providenciadas.

Aos professores membros da bancada Erwin Werner Teichmann e Raimundo Ricardo Matos da Cunha, pelas contribuições e melhoramentos sugeridos ao trabalho.

“Na Engenharia 99% feito é igual a 0, faça as coisas 100% para que se considere concluídas.”

(Ricardo Guidini)

RESUMO

A característica de reprogramação aliada à de multitarefa, diferencia os braços robóticos dos demais equipamentos automáticos de manufatura. Entretanto, em aplicações industriais com distintas ferramentas ou para o ensino prático de robótica, há necessidade de efetadores finais com capacidade de flexibilizar a fixação e a liberação automática dos diversos tipos de ferramentas. Tanto a usinagem, quanto a solda a arco elétrico, são exemplos de aplicações onde há um tipo de ferramenta para cada processo de fabricação. Nesse sentido, a presente monografia descreve o desenvolvimento, a integração e os testes de validação de uma garra pneumática com comando e monitoramento eletroeletrônico para o robô de uso didático em soldagem M-10iA do fabricante Fanuc. O objetivo deste desenvolvimento é o de possibilitar o uso de diferentes tochas no fim didático, sendo as trocas de ferramentas feitas de forma rápida. Os resultados práticos de fabricação obtidos validam todo o projeto descrito nesta monografia.

Palavras-chave: Garra robótica, Engenharia Mecatrônica, Robô de solda, integração mecatrônica.

ABSTRACT

The reprogramming feature combined with the multitasking feature, differentiates the robotic arms from other automatic manufacturing equipment. However, in industrial applications with different tools or for the practical teaching of robotics, there is a need for end effectors with the ability to flexibly clamp and automatically release various types of tools. Both machining and arc welding are examples of applications where there is a type of tool for each manufacturing process. In this sense, the present monograph describes the development, integration and validation tests of an electro-electronic command and monitoring pneumatic clamp for the robot for welding use M-10iA from manufacturer Fanuc. The objective of this development is to enable the use of different torches for the didactic purpose, with quick tool changes. The practical manufacturing results obtained validate the entire project described in this monograph.

Key-words: Robotic Claw, Mechatronics Engineering, Arc Welding, Welding Robot, mechatronics integration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Robô industrial antropomórfico.....	16
Figura 2 - Célula de soldagem robotizada do IFSC.....	17
Figura 3 – manipulador M10iA.....	20
Figura 4 - Pistola Típica soldagem GMAW.....	21
Figura 5 - Tocha TIG.....	22
Figura 6 - Tocha solda SA.....	23
Figura 7 - Tocha para solda plasma.....	24
Figura 8 - Tocha de solda Laser.....	25
Figura 9 - Exemplo de manipuladores.....	26
Figura 11 - Flange do Fanuc.....	27
Figura 12 – Características técnicas da garra axial selecionada.....	29
Figura 13 – Detalhamento dimensional da garra axial selecionada.....	30
Figura 14 - Robô comercial com Garra acoplada.....	31
Figura 15 - Desenho Técnico acoplamento.....	32
Figura 16 - Acoplamento lado fanuc.....	33
Figura 17 - Acoplamento lado atuador.....	33
Figura 18 - Desenho Técnico garra.....	35
Figura 19 - Garra.....	36
Figura 20 - Desenho Técnico suporte da Tocha.....	37
Figura 21 - Suporte da tocha.....	38
Figura 22 - Instalação da garra com pinças no robô.....	40
Figura 23 - Sensores indutivos.....	41
Figura 24 - Eletroválvula.....	41
Figura 25 - Lógica para a troca de ferramentas.....	42
Figura 26 – Pinout Conexão EE.....	43

Figura 27 - Programação troca de tocha	44
Figura 28 - Movimentação de chapa	45
Figura 29 - Tocha instalada	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GMAW – Gas Metal Arc Welding;

MIG – Metal Inert Gas;

MAG – Metal Active Gás;

TIG - Tungsten Inert Gas;

GTAW - Gas-Shielded Tungsten Arc Welding;

SAW - Submerged arc welding

IFSC – Instituto federal de Santa Catarina

IHM – Interface Homem Máquina

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1.	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	17
1.2.	OBJETIVOS	18
1.2.1.	<i>Objetivo principal</i>	18
1.2.2.	<i>Objetivos específicos</i>	18
1.3.	JUSTIFICATIVA.....	19
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1.	ARC MATE® 100iC	20
2.2.	PROCESSOS DE SOLDA	21
2.2.1.	<i>GMAW</i>	21
2.2.2.	<i>TIG</i>	21
2.2.3.	<i>SAW</i>	22
2.2.4.	<i>Plasma</i>	23
2.2.5.	<i>Laser</i>	24
2.3.	EFETUADORES MECÂNICOS	25
3	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	27
3.1	DIMENSÕES DE PROJETO	27
3.2	TIPO DO ATUADOR	27
3.3	PROJETO	31
3.4	ACOPLAMENTO.....	32
3.5	GARRA	34
3.6	SUORTE DA TOCHA.....	36
3.7	MONTAGEM TESTE	39
3.8	INTEGRAÇÃO.....	40
4	RESULTADO	44
4.1	FUNÇÃO GARRA	44
4.2	FUNÇÃO SEGURAR TOCHA	45
5	CONCLUSÃO	49
6	REFERÊNCIAS.....	50

1. INTRODUÇÃO

Desde o início do século XX, a evolução dos chamados robôs tem se destacado em todo o mundo, nos primórdios desse século pesquisadores começaram a usar essas estruturas para realizar tarefas e ações simples.

Com o passar dos anos a indústria reconheceu a grande utilidade dessa invenção na produção em série, começando a aparecer as primeiras patentes relacionadas a braços robóticos na década de 1950, com braços hidráulicos orientados por coordenadas cartesianas, sua utilidade era ligada a movimentação de objetos. (Gamero, Isis, 2018)

No final da década de 1960, foram projetados os primeiros braços robóticos com motores elétricos em cada eixo, esse foi um grande salto para as aplicações industriais, pois permitia que o robô fizesse trajetórias específicas, e um controle de movimentos complexos foi possível. (Ayres, 2007)

Em 1981, o engenheiro Takeo Kanade desenvolve e monta o primeiro braço mecânico com motor instalado diretamente nas junções do braço. Esta mudança faz com que os movimentos se tornem mais rápidos e precisos. Em 1986, a Honda inicia suas pesquisas para a construção de um robô, que segundo palavras da própria empresa “deveria coexistir e cooperar com os humanos, fazendo aquilo que as pessoas não conseguem e cultivando uma nova dimensão de mobilidade, que tem como princípio beneficiar a sociedade”. (Ayres, 2007)

Em paralelo, a história dos braços robóticos corria a história da solda, em 1907 foi patenteado o primeiro eletrodo revestido para soldagem do mundo, o primeiro grande salto desta área. Trinta anos mais tarde foi desenvolvido o primeiro processo de soldagem por arco submerso, o que tornou versátil a deposição de grandes quantidades de metal nas soldas. (aventa, 2019)

Na década de 1940 introduziu-se um novo processo de soldagem, chamado TIG (*Tungsten Inert Gas*), trazendo mais controle sobre a soldagem e dando mais qualidade e resistência a soldas. O grande avanço veio em 1950, quando o processo GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) foi criado, por ser muito versátil e rápido é até hoje o mais usado na área industrial. (aventa, 2019)

A junção dessas duas invenções trouxe uma revolução para as fábricas no mundo, que permitiu substituir a mão de obra humana, por mão de obra robotizada.

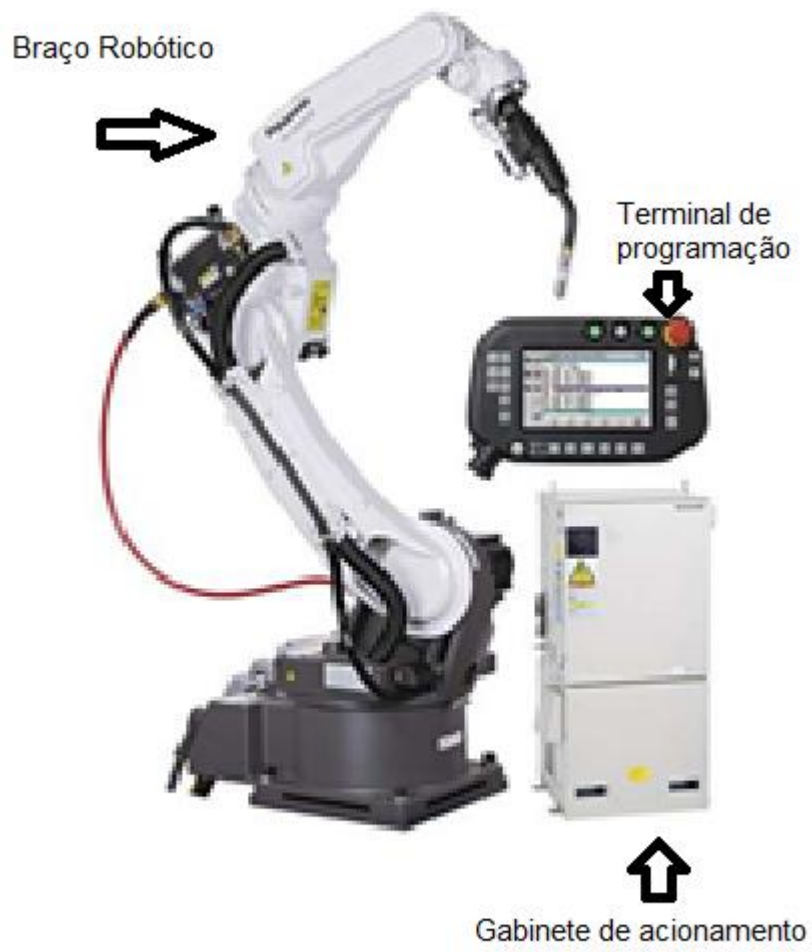
Como toda inovação, essa substituição trouxe prós e contras, como prós cita-se: maior velocidade da solda em relação a manual; constância de trabalho; qualidade e acabamento da solda; precisão de trajetória na solda; tirar trabalhadores de uma profissão insalubre que oferece riscos à saúde.

Como desvantagens podemos citar: necessidade de complexa programação; o fato de a solda ter que ser feita em um local específico; muito tempo para programar o processo; custo do equipamento de um robô industrial de solda.

Os robôs de soldagem são compostos por três partes principais, que podem ser observadas na figura 1, sendo elas:

- Braço robótico -> parte responsável pelo movimento em si, conta com os atuadores, sensores e a estrutura de movimentação.
- Gabinete de acionamento -> parte que é responsável por receber as informações dos sensores e comandar os atuadores e periféricos do robô, pode-se chama-lo de cérebro do robô, sendo responsável por executar todas as instruções.
- Terminal de programação -> Parte onde você “ensina” o manipulador as ações que ele deve realizar, onde você realiza a programação *on line* do mesmo.

Figura 1 – Robô industrial antropomórfico



Fonte: (Panasonic, 2019)

1.1. Definição do Problema

Embora muito versáteis os braços robóticos são vendidos sem um dispositivo que execute a função de pegar e largar peças ou ferramentas, tornando necessária a aquisição do mesmo ou construir um próprio. Normalmente, a ferramenta é fixada de forma direta ao flange do robô via componentes estruturais de fixação. Isso retira a flexibilidade do robô, limitando somente a uma atividade. Um exemplo disso, é a célula robotizada de soldagem GMAW do IFSC que é formada pelo robô antropomórfico industrial M10iA com o controlador R-30iA do fabricante Fanuc, a fonte de soldagem multiprocesso DIGIplus A7 da empresa IMC e a patenteada plataforma de posicionamento para corte e soldagem de metais do IFSC, conforme mostra a Figura 2. Embora a fonte de soldagem permita operar em diversos tipos de processos de soldagem (GMAW, GTAW, SAW e PLASMA), o robô usa uma tocha para solda industrial GMAW fixada de forma concêntrica ao seu flange, o que o dedica a ser utilizado apenas para esse processo de soldagem.

Figura 2 - Célula de soldagem robotizada do IFSC



Fonte: Acervo do autor (2019)

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo principal

Diante do cenário atual apresentado, o objetivo principal desta monografia é o de melhorar as condições de ensino prático e de pesquisa do Laboratório de Soldagem Elétrica do IFSC via a flexibilização do robô industrial M10iA do fabricante Fanuc quanto à manipulação de peças e ao uso de distintas ferramentas de solda e corte.

1.2.2. Objetivos específicos

Para cumprir plenamente com o objetivo principal desta monografia, será necessário realizar todos os seguintes objetivos específicos:

- Aplicar metodologia para desenvolver o projeto da garra robótica;
- Desenvolver o projeto de acionamento e monitoração da garra;
- Construir a garra robótica e montar seus circuitos eletroeletrônicos;
- Integrar e validar a garra robótica no robô Fanuc;
- Documentar e publicar os resultados.

1.3. Justificativa

Diante do supracitado, esta monografia tem a prerrogativa de melhorar as condições de ensino e da pesquisa no campus do campus Florianópolis do IFSC através da integração de um efetuator final ao robô que permita a flexibilização da célula robotizada de soldagem GMAW do IFSC. Além disso, as competências adquiridas pelo autor dessa monografia e a experiência gerada pela sua realização são relevantes na justificativa deste tema.

2. Referencial teórico

Nessa seção analisaremos algumas características do robô Fanuc usado no projeto, algumas características de cada processo de solda e suas respectivas necessidades, bem como modelos de tochas comerciais que podem ser acopladas ao robô. O foco está nos tipos de tochas para os distintos processos de soldagem, as características dos variados tipos de efetadores finais e seus usos.

2.1. O robô M10iA

Desenvolvido pela empresa Fanuc este modelo de robô industrial tem as características de ter seis eixos rotativos controlados por servos drivers de precisão, possui uma capacidade de carga de 10 kg, um alcance de 1420 mm, uma repetibilidade de $\pm 0,08\text{mm}$, possuindo freio eletromagnético em todos os motores.

Foi comprado como um robô de manipulação e adaptado com uma tocha como robô de soldagem, com o duto da tocha passando pelo interior do braço do robô, conforme pode ser observado na figura 3. Cabe ressaltar que, tanto o alimentador de arame quanto a tocha são acessórios adquiridos por outros fabricantes para integração ao robô.

Figura 3 – manipulador M10iA



Fonte: (FANUC, 2019)

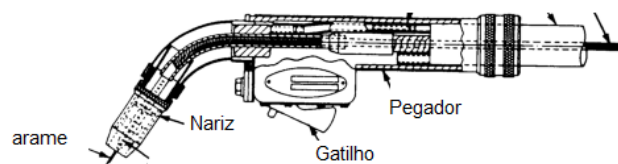
2.2. Processos de Solda

2.2.1. GMAW

Na soldagem ao arco elétrico com gás de proteção GMAW, também conhecida como soldagem MIG/MAG (MIG – Metal Inert Gas e MAG – Metal Active Gás), um arco elétrico é estabelecido entre a peça e um consumível na forma de arame. O arco funde continuamente o arame à medida que este é alimentado à poça de fusão. O metal de solda é protegido da atmosfera pelo fluxo de um gás (ou mistura de gases) inerte ou ativo. (Nof, 1999)

Comumente se usa corrente contínua nesse sistema, mas também pode ser usado corrente alternada. A Figura 4 apresenta um modelo de tocha normalmente usada nesse tipo de processo, com suas características construtivas. Embora varie de modelo para modelo, o campo a ser observado na tocha é o fato de possuir uma parte circular, onde podemos fixar ao robô através do adaptador.

Figura 4 - Pistola Típica soldagem GMAW



Fonte: (Grill, 2019)

2.2.2. TIG

A Soldagem TIG (Tungsten Inert Gas) ou GTAW (Gas-Shielded Tungsten Arc Welding) é um processo que utiliza um eletrodo sólido de tungstênio não consumível. O eletrodo, o arco e a área em volta da poça de fusão da solda são protegidos por uma atmosfera protetora de gás inerte. Se um metal de enchimento é necessário, ele é adicionado no limite da poça de fusão. A soldagem TIG produz uma solda limpa e de alta qualidade. Como não é gerada escória, a chance de inclusão da mesma no metal de solda é eliminada, e a solda não necessita de limpeza no final do processo. (ESAB, 2019).

Na figura 5 podemos analisar a estrutura padrão de uma tocha utilizada no processo de solda TIG, onde, a forma circular abaixo da chave elétrica, facilita, assim como na tocha GMAW, a fixação ao robô.

Figura 5 - Tocha TIG



Fonte: (Soldas Brasil, 2019)

2.2.3. SAW

Na soldagem por arco submerso um arco é formado entre a peça de trabalho e o final do consumível, onde ambos estão cobertos por uma camada de fluxo granular, (daí o nome arco submerso). O arco fica, portanto, escondido. Parte do fluxo é fundida gerando uma capa protetora sobre a poça de fusão da solda. O restante não fundido é recolhido para a reutilização, (Nof, 1999).

Pela Figura 6 observa-se uma tocha usada no SAW que possui as mesmas características geométricas que as anteriores apresentadas.

Figura 6 - Tocha solda SA



Fonte: (Cander Castro, 2019)

2.2.4. Plasma

O processo de soldagem a arco com Plasma (PAW) é um processo de soldagem que produz coalescência dos metais, pelo aquecimento com um arco constrito entre o eletrodo e a peça de trabalho (arco transferido) ou entre o eletrodo e o bocal constrito da tocha (arco não transferido). A proteção é obtida do gás quente e ionizado, proveniente da tocha. Este gás é usualmente suprido por uma fonte auxiliar de gás de proteção. –

Fonte: (InfoSolda, 2019)

Assim como nos processos GMAW e GTAW, as tochas do processo plasma apresentam dois modelos construtivos. A tocha reta, destinada a soldagem automática como as duas da esquerda e a da direita da Figura 7 e a tocha inclinada direcionada para a soldagem manual, como as duas centrais da Figura 7.

Figura 7 - Tocha para solda plasma



Fonte: (*Plasma Welding, 2019*)

2.2.5. Laser

O raio laser oferece diversas possibilidades de ligar metais. Ele pode juntar peças na superfície ou criar costuras de solda profundas. Ele pode ser combinado com processos de solda convencionais e também faz brasagem.

Com o mínimo de distorção, são criadas geometrias de cordão bem finas com uma relação de profundidade e largura grande. Os lasers soldam, tanto materiais com ponto de fusão alto, como materiais altamente condutores. Devido à fusão pequena e à duração curta e controlável, pode-se unir materiais que são considerados difíceis de soldar. O cabeçote de solda a Laser, Figura 8, assim como a SAW só existem na forma reta para soldagem automática pois o risco de acidente o torna inviável de conduzir manualmente.

Figura 8 - Tocha de solda Laser



Fonte: (sign in thai, 2019)

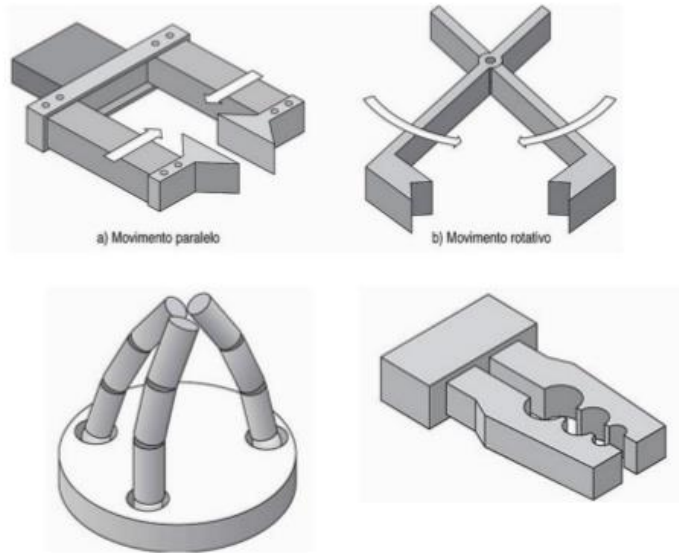
2.3. Efetuadores Finais

Efetuadores finais (End-effector) são dispositivos conectados à extremidade do braço, ou seja, ligado ao último elo do robô (flange) com a função de pegar e soltar um objeto ou ferramenta. Assim, o end-effector pode ser do tipo garra ou uma ferramenta específica.

Na figura 9, observa-se alguns tipos de garras disponíveis no mercado. Quanto ao acionamento desses dispositivos, podem ser de várias formas de energia: pneumática, ou seja, usando ar comprimido, hidráulica, usando fluido hidráulico, eletromecânico, acionada por motores elétricos, entre outros. Além das garras do tipo pinça há ainda aquelas de funcionamento baseado em vácuo, eletroímã e adesivo, conforme a Figura 9. Para cada aplicação, há um efetuator final que possui a melhor relação custo/benefício.

Figura 9 - Exemplo de manipuladores

Garras



Fonte: (Simas, 2015)

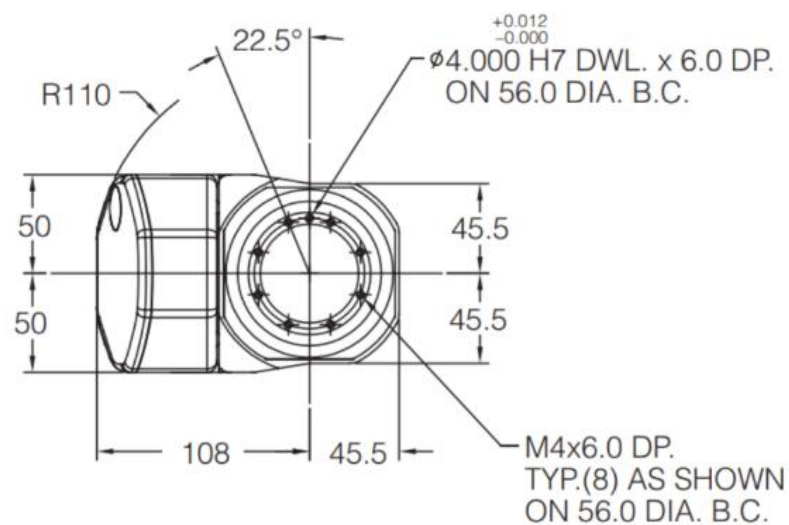
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Todo desenvolvimento de um produto inicia quando se depara com uma necessidade explícita e/ou causas que o justifiquem. O desenvolvimento de um efetuator final flexível para o robô Fanuc nasceu da necessidade de se melhorar as condições de ensino e da pesquisa no campus Florianópolis do IFSC.

3.1 Especificações do Projeto

Para iniciar o desenvolvimento, foram estabelecidos alguns requisitos de projeto. O referido efetuator final deve ser fixado ao flange do robô Fanuc, Figura 11, através de um pino guia e oito parafusos. O efetuator final também deve ser modular para manipular os diferentes tipos de tochas e objetos metálicos.

Figura 10 - Flange do Fanuc



Fonte: (FANUC Robotics America, Inc., 2007)


3.2 Tipo do Atuador

O atuador escolhido para a fabricação do efetuator final foi do tipo pneumático, as razões para isso foram: existência da instalação interna de ar comprimido da base ao ombro do robô Fanuc, características de força e velocidade necessárias para segurar a tocha e pequenas peças de metal e custo acessível as

definições do projeto. A garra axial pneumática modelo GX312025 do fabricante BelAir Pneumática Hidráulica, Figura 12, foi a selecionada.

Figura 11 – Características técnicas da garra axial selecionada

Garras Axiais



Bel Air
PNEUMÁTICA & HIDRÁULICA

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Pressão Máxima de 10Kgf/cm² (145 psi)
Mínima de 2 Kgf/cm² (29 psi)

Temperatura +5°C a 60°C

Fluido Ar comprimido filtrado e lubrificado


MATERIAIS

Haste Inox

Corpo Alumínio

Garras Aço zincado

Vedações Buna-N ou Viton



ESPECIFICAÇÕES

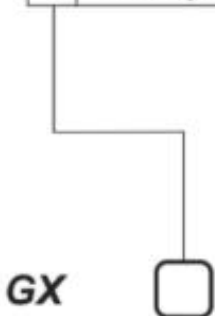
MODELO	
1	SIMPLES AÇÃO NA
2	SIMPLES AÇÃO NF
3	DUPLA AÇÃO


VERSÃO	
0	BUNA-N
1	BUNA-N + MAGNÉTICO
3	VITON


TIPO	
1	H/PASSANTE
2	BÁSICO

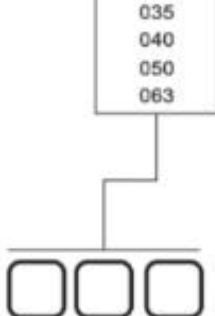
Ø CILINDRO	
016	
020	
025	
035	
040	
050	
063	

GX







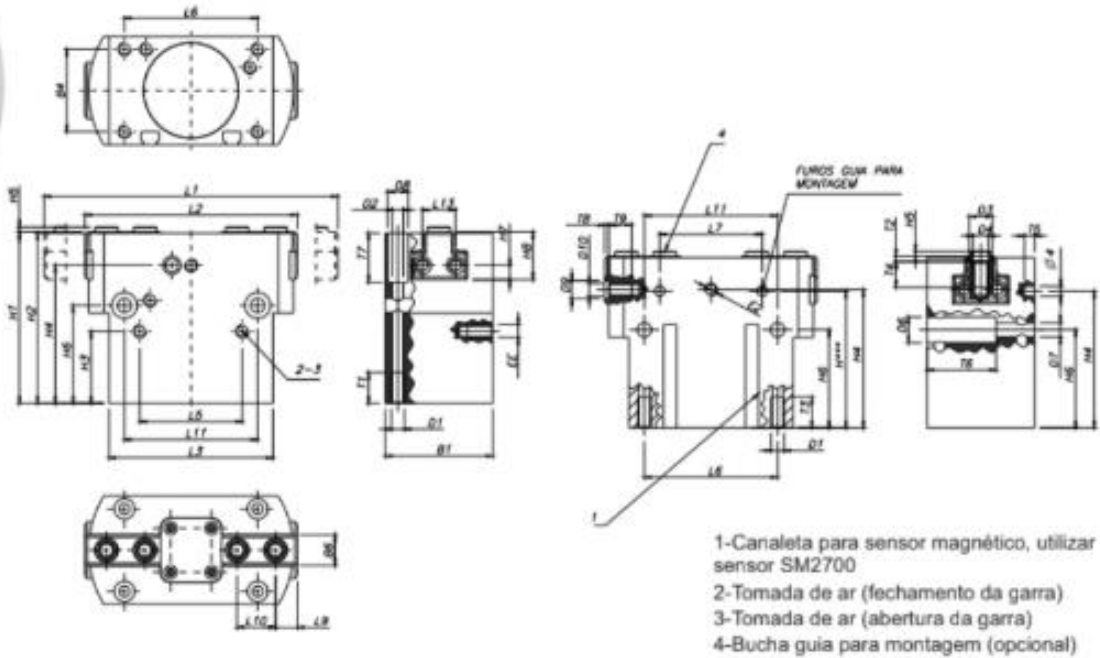


Fonte: (Bel Air, 2019)

Conforme observado na Figura 12, a pressão máxima de abertura desse atuador é de 10 Kgf/cm², sua versão dispõe de sensor magnético para verificar abertura e fechamento, e os materiais de construção são resistentes a oxidação. Como a face frontal da garra axial possui furos rosqueados, foram introduzidas hastes guias em dois destes furos para servir também como fixação, aumentando assim a rigidez do efetuador final. A Figura 13 mostra as dimensões do atuador, necessárias para a fabricação da garra.

Figura 12 – Detalhamento dimensional da garra axial selecionada

Cilindros



Dimensões em mm

Ø CIL	B1	B4	B6	D1	D2	D3	D4	D6	D7	D8	D9	D10	EE	E2	H1	H2
16	24	17	6	M3X0,5	2,6	5	M3X0,5	4,6	2,6	4,6	-	M2X0,4	M3X0,5	M3X0,5	39	12,2
20	28	22	6,5	M4X0,7	3,2	5	M3X0,5	6	3,2	6	5	M3X0,5	M3X0,5	M3X0,5	46	14,3
25	36	27	10	M5X0,8	4,2	7	M4X0,7	8	4,2	8	5	M3X0,5	M5X0,8	M5X0,8	57	20
35	42	32	12	M5X0,8	4,2	9	M6X1	10	5,3	8	7	M5X0,8	M5X0,8	M5X0,8	67	8
40	50	38	14	M6X1	5,1	9	M6X1	11	6,4	9	7	M5X0,8	M5X0,8	M5X0,8	83	20
50	60	45	15,5	M8X1,25	6,4	9	M6X1	13,5	8,4	11	7	M5X0,8	1/8" BSP	M5X0,8	97	8
63	72	56	20	M8X1,25	6,4	12	M8X1,25	13,5	8,4	11	7	M5X0,8	1/8" BSP	M5X0,8	117	20

Ø CIL	H3	H4	H5	H6	H7	H8	L1	L2	L3	L5	L6	L7	L9	L10	L11	L13	T1	T2	T3
16	12	33,7	1,2	27,5	2,2	8,5	46	40	35,8	22,4	29	20	3	6	29	6	5	1,3	4
20	15	37	1,2	24	3	12	58	50	44	28	35	24	4	8	35	6	6	1,3	4
25	20	46	1,4	34	4,5	16	76	64	52	28	42	20	5	12	42	6	10	1,6	4
35	28	53	1,9	38	5,5	19	96	80	64	40	52	40	6	15	52	13	10	2,1	6
40	36	68	1,9	53	5,5	22	120	100	80	48	66	50	10	18	66	13	12	2,1	6
50	30	78	1,9	61	7,5	25,5	149	125	100	56	82	60	10	12,5	82	13	12	2,1	8
63	26	92	2,4	67	9	32	192	160	125	74	100	76	10	18	100	13	12	2,6	10

Ø CIL	T4	T5	T6	T7	T8	T9
16	12	33,7	1,2	27,5	2,2	8,5
20	15	37	1,2	24	3	12
25	20	46	1,4	34	4,5	16
35	28	53	1,9	38	5,5	19
40	36	68	1,9	53	5,5	22
50	30	78	1,9	61	7,5	25,5
63	26	92	2,4	67	9	32

FORÇAS DE ABERTURA E FECHAMENTO (Kgf)

Ø CIL	ABRIR	FACHAR
16	12	33,7
20	15	37
25	20	46
35	28	53
40	36	68
50	30	78
63	26	92

Obs.: Força a uma pressão de 6 Kgf/cm².

Fonte: (Bel Air, 2019)

3.3 Projeto

O estudo para concepção de um modelo de garra que atendesse aos requisitos baseou-se em modelos comerciais com características operacionais semelhantes. A figura 14 mostra um modelo com uma tocha que pode ser retirada para a instalação de outra.

Figura 13 - Robô comercial com Garra acoplada



Fonte: (Panasonic, 2019)

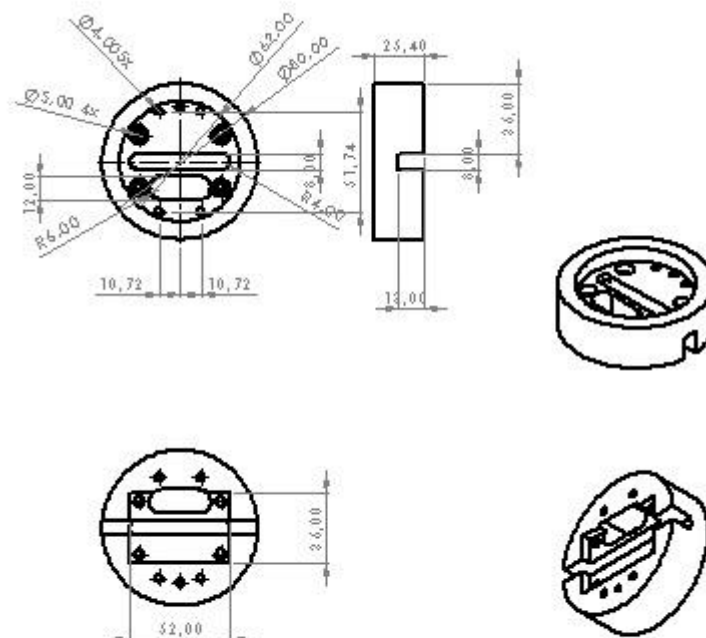
Embora seja possível a troca de tocha nesse modelo, não é de forma fácil e rápida, pois exige a remoção de componentes manualmente, como parafusos as mangueiras de passagem de fluido refrigerante.

Visando atender ao requisito de troca fácil e rápida de ferramentas, o projeto do efetuador final do robô foi concebido em três partes, o que o torna modular, fácil construção, fácil instalação e possível adequação a diferentes situações.

3.4 Acoplamento

A primeira parte do efetuador final foi projetadas dimensões da peça podem ser observadas na figura 15, todas as dimensões estão em milímetros, baseada na necessidade de fixar a garra axial ao flange do robô, para tanto foi desenvolvida uma peça de acoplamento, conforme mostra a figura 16. Primeiramente, a garra axial é encaixada ao acoplamento e na sequência fixada por quatro parafusos, figura 17. Depois, o conjunto, garra e acoplamento, é encaixado ao flange circular do robô com orientação de um pino guia e, a seguir, fixado ao mesmo por quatro parafusos, figura 16. O acoplamento foi fabricado com dois furos passantes do tipo oblongo para passar as mangueiros de ar comprimido e os cabos elétricos dos sensores magnéticos da garra axial.

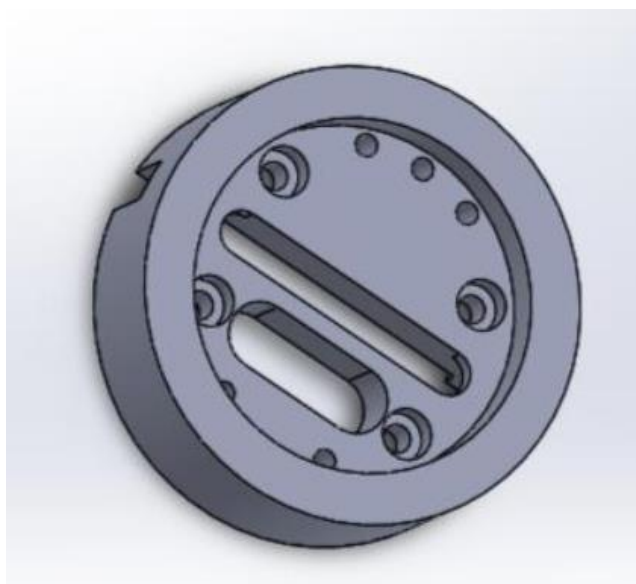
Figura 14 - Desenho Técnico acoplamento



Fonte: Acervo do autor

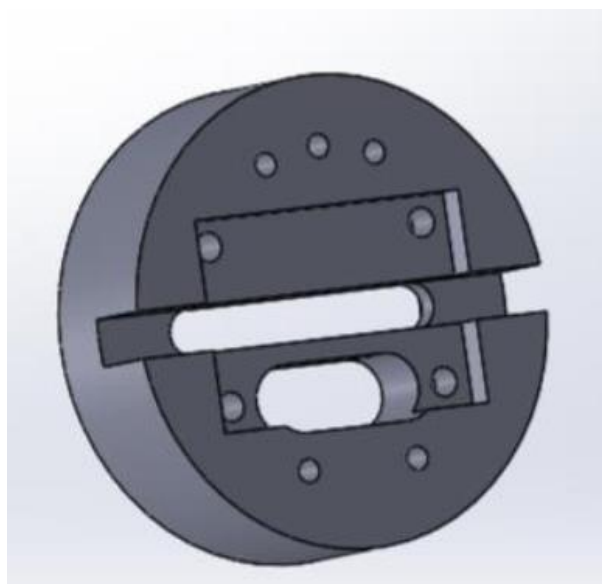
O material escolhido para se fabricar essa peça foi o alumínio, a principal justificativa para essa escolha foi devido ao peso. Devido ao robô ter uma capacidade de carga limitada, tem-se a necessidade reduzir o peso do aparato ao máximo, ao fim de não prejudicar o funcionamento do robô.

Figura 15 - Acoplamento lado fanuc



Fonte: Acervo do autor

Figura 16 - Acoplamento lado atuador



Fonte: Acervo do autor

Para fabricação dessa peça foi inicialmente cortado um tarugo circular de alumínio. Com o pedaço cortado, usou-se um torno convencional para usinar suas dimensões.

Com a base de trabalho pronta e possuindo a peça modelada em 3D, foi usado o software EdgeCAM para fazer a rotina de fresamento. Devido a necessidade de precisão da peça, foi usado o centro de usinagem Romi D600 para fazer as furações da peça.

Na primeira etapa de fresamento foram feitos o rebaixo circular referente ao flange do Fanuc e os furos de fixação. Como essa é uma peça de precisão, foi necessário fazer 4 rasgos em 0°, 90°, 180° e 270° para que a peça pudesse ser retirada da fixação do centro de usinagem, girada, e re-fixada na posição correta para a usinagem do lado que seria usado para fixar a garra axial.

Depois da peça ser reposicionada com a ajuda dos rasgos, foi feita a rotina de fresamento do rebaixo retangular, o que foi o maior desafio nessa parte da usinagem, depois de algumas tentativas, foi decidido usar uma fresa fina e deixar os cantos arredondados para que a operação fosse possível com essa máquina.

3.5 Garra

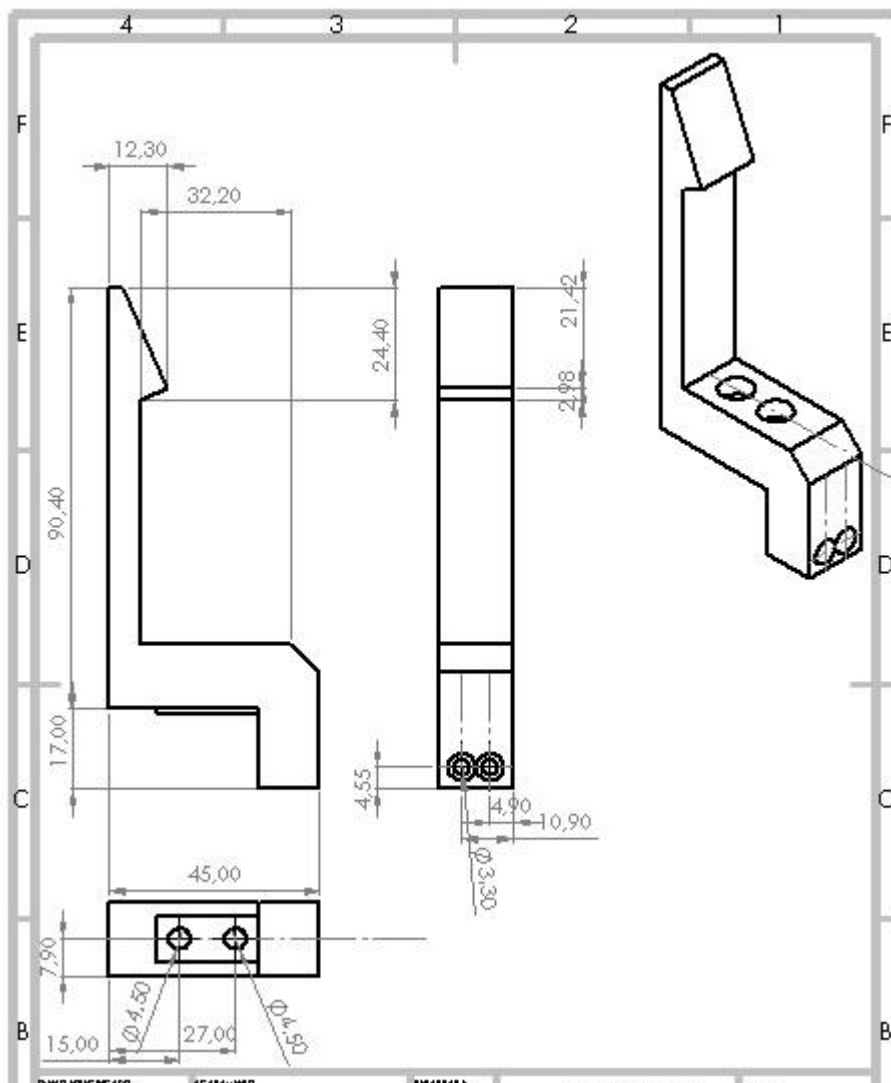
Foram projetadas duas pinças em aço 1045 com as dimensões máximas de (CxLxE), Figura 18 (dimensões em milímetros) e Figura 19, para fixação na garra axial via parafusos. Assim, é possível segurar o suporte da tocha quando a garra axial abre e segurar pequenos objetos quando fecha.

Na ponta de cada pinça, foi feito um ressalto triangular a fim de ajudar no travamento do suporte da tocha. Sua ponta foi projetada cônica, para no momento de entrada no suporte da tocha, poder se auto alinhar, e entrar tranquilamente no encaixe.

Na base de encaixe no atuador pneumático, foi projetado um pequeno ressalto para que a garra ficasse fixada apenas sobre a parte móvel do atuador, evitando assim que quando a garra fosse fixada, ela não travasse o movimento na parte superior do atuador.

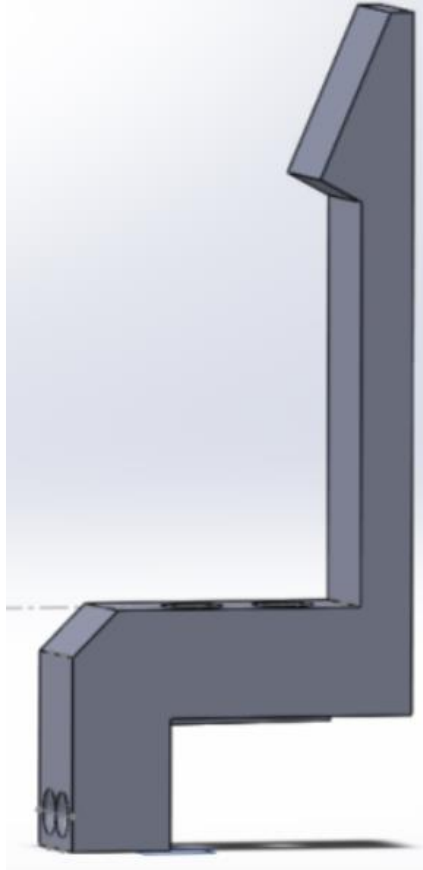
A fixação da pinça nos cursores da garra é feita por dois parafusos M4 na parte superior, e dois parafusos M3 na lateral.

Figura 17 - Desenho Técnico garra



Fonte: Acervo do autor

Figura 18 - Garra



Fonte: Acervo do autor

Para a fabricação dessa peça, foi utilizado um processo chamado de eletro erosão a fio. Para isso, foi usado o modelo 3D das pinças para se criar as instruções de corte da ferramenta. Depois de cortada foi usada a fresadora para fazer os furos nas posições corretas.

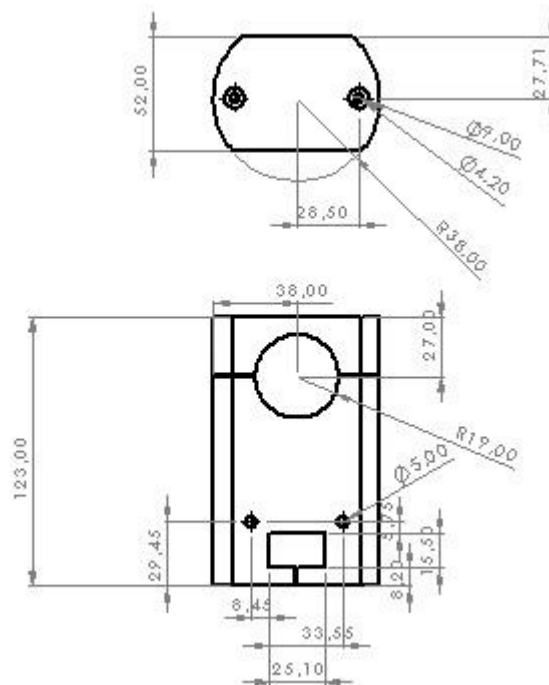
3.6 Suporte da tocha

A terceira parte consiste do suporte da tocha. Essa peça é formada por duas partes e específica para cada tipo de tocha, suas dimensões em milímetros podem ser observadas na Figura 20, e sua modelagem 3D observada na Figura 21. A primeira que não muda é a de entrada dos dois guias cilíndricos e das duas pinças da garra quando a mesma estiver fechada. Para isso, ela possui dois furos passantes circulares e um furo passante retangular onde a garra é introduzida. Além de servir como fixação, essas duas hastes proporcionam um guia de segurança extra para o

processo de troca de tochas, pois alinham o suporte com a tocha a ser fixada, impedindo a entrada incorreta das pinças da garra.

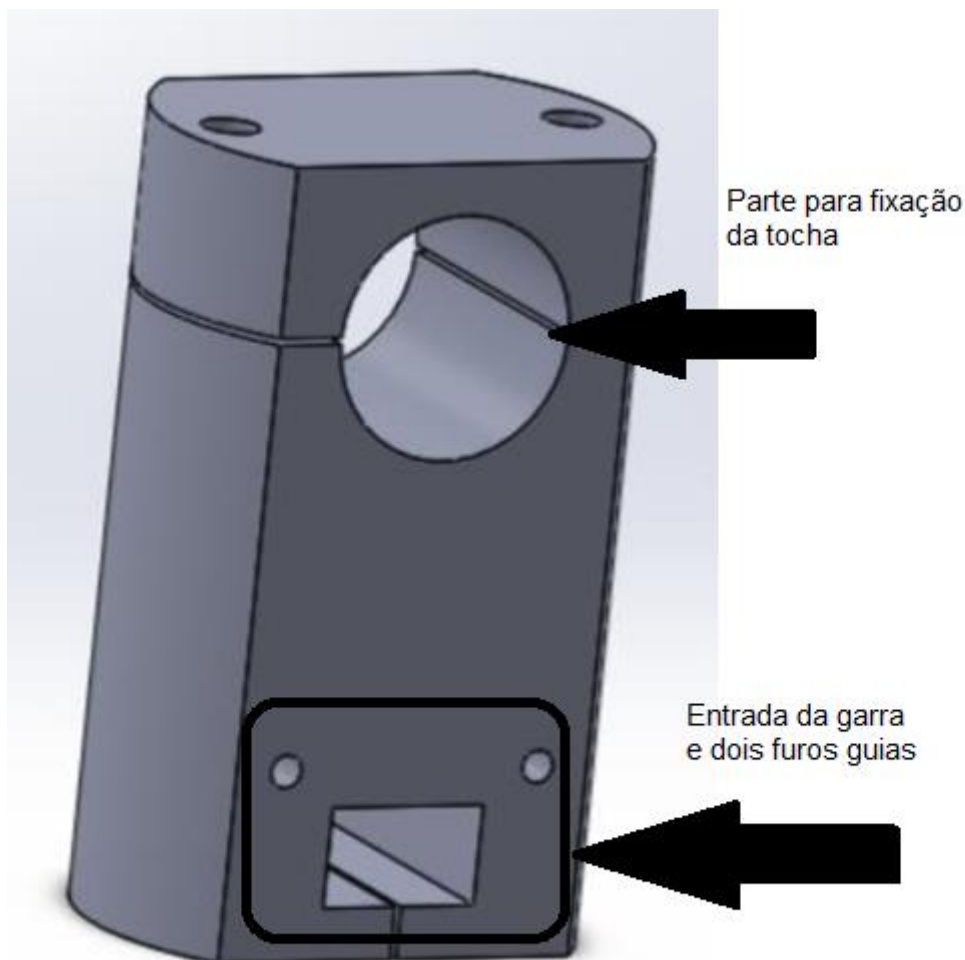
A segunda parte dessa peça pode variar dependendo da tocha a ser manipulada. Geralmente possui um furo passante circular com diâmetro nominal da tocha. Um corte no sentido longitudinal central a esse furo foi realizado para remoção da parte superior do suporte. Na sequência a tocha é introduzida no suporte e fixada por dois parafusos que unem as duas partes do suporte.

Figura 19 - Desenho Técnico suporte da Tocha



Fonte: Acervo do autor

Figura 20 - Suporte da tocha



Fonte: Acervo do autor

A fabricação dessa peça teve seus desafios, principalmente por haver um furo quadrado em sua construção. A solução encontrada foi dividir a fabricação da peça em quatro etapas, tornando possível a fabricação da mesma.

Primeiro foi cortado um tarugo de alumínio de 78mm de diâmetro, e comprimento de 120mm. Após isso foi levado o tarugo para um torno mecânico, onde foi feito o faceamento dos lados, e deixado o tarugo na altura final do suporte, com 115mm.

A segunda etapa foi na fresadora, onde foi inicialmente deixado o tarugo com uma espessura de 52mm. Com a peça faceada, foram feitos os furos de guias das hastes, e por último foram feitos os furos na parte de cima e o rebaixo para a cabeça dos dois parafusos de fixação da tocha.

A terceira etapa foi a de eletro erosão a fio, foram feitas as trajetórias de corte do furo retangular e circular com a ajuda do software EdgeCAM, baseada no desenho 2D da peça.

A quarta etapa foi dar os acabamentos finais na peça.

3.7 Montagem teste

Depois das peças serem fabricadas, deu-se início a montagem do conjunto. A primeira parte foi instalar as duas pinças na garra axial pneumática. Para isso, usou-se quatro parafusos M4, dois para fixar cada lado pinça nos seus respectivos carrinhos. Nessa instalação foi observada uma falha na construção da fabricante da garra axial, pois um dos carrinhos que fazem o movimento estava mais baixo, isso ocasionando o travamento do movimento. Como solução, foram inseridas arruelas de suporte aos carrinhos, fixando as pinças corretamente e sem travamento do movimento dos carrinhos.

A segunda parte, consistiu na montagem do conjunto: robô, peça de acoplamento e garra axial. A peça de acoplamento foi feita com um ajuste H7 para evitar folgas, tanto do lado do robô, quanto do lado da garra. A sua fixação a garra foi realizada por 4 parafusos M3. Nessa etapa, também já foram montados os dois guias cilíndricos na parte frontal da garra axial.

A terceira parte da instalação consistiu da substituição da tocha antiga, pelo projeto apresentado. Para isso foram retiradas as conexões de água, retorno de água, gás e arame, foram retirados os parafusos de fixação, possibilitando desacoplar a tocha antiga do flange do robô. Depois foi retirada a tubulação da tocha. Com as passagens livres foi instalado no ombro do robô a eletroválvula pneumática de 5/2 vias de duplo solenoide. Depois disso, foram passadas as mangueiras pneumáticas e os cabos elétricos dos sensores indutivos pela abertura do flange do robô. Após isso, os cabos foram passados pelas aberturas projetadas na peça de acoplamento para os sensores e para as mangueiras pneumáticas. Na sequência, esse conjunto foi fixado ao flange do robô através do pino guia e, depois pelos quatro parafusos M4, conforme mostra a Figura 22.

Figura 21 - Instalação da garra com pinças no robô



Fonte: Acervo do autor

3.8 Integração

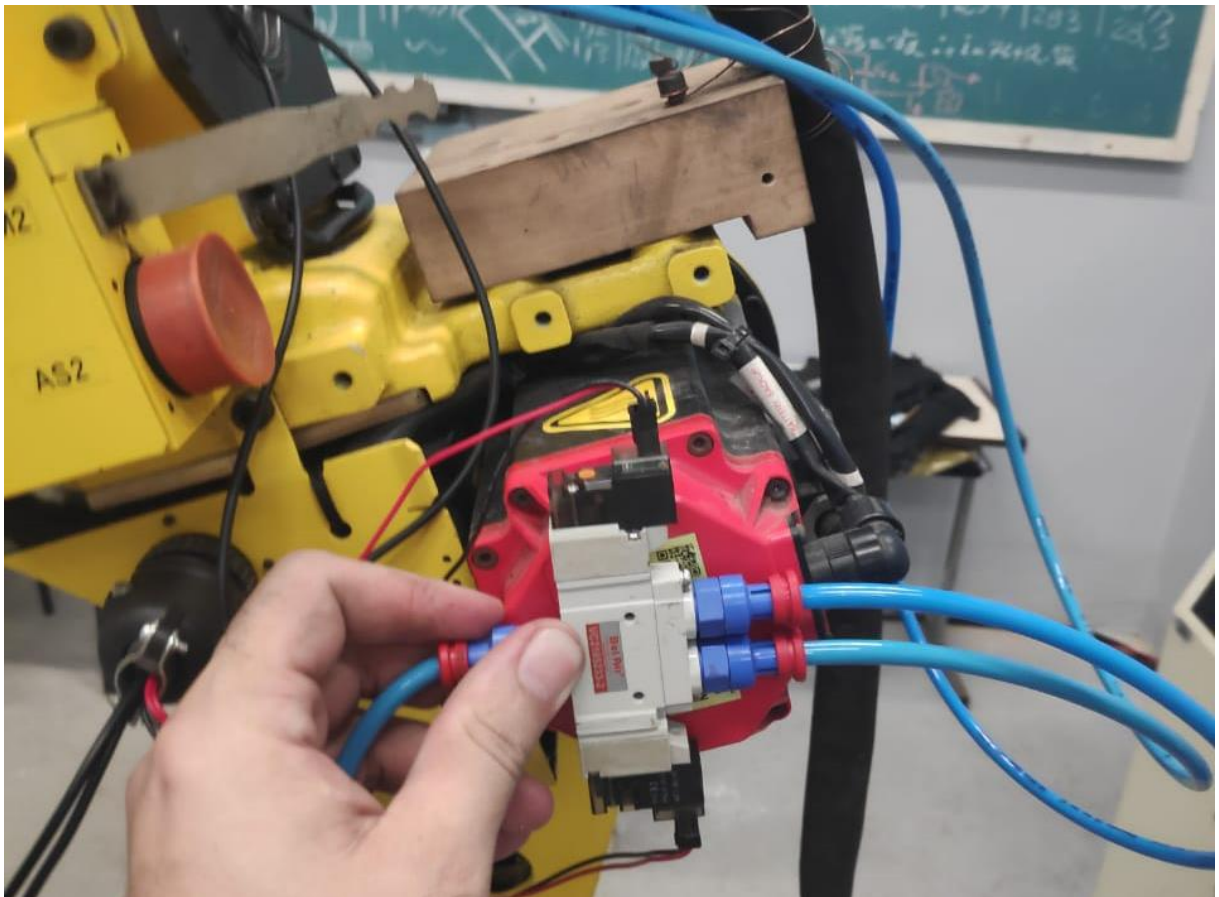
Para a integração ser possível, foram utilizados dois sensores indutivos que realizam a leitura do atual estado do atuador na montagem, se está aberto ou fechado, sua instalação pode ser vista na figura 23. O acionamento é feito pela eletroválvula instalada, sendo comandadas pela Saída EE do Fanuc, Sua instalação pode ser observada na figura 24.

Figura 22 - Sensores indutivos



Fonte: Acervo do autor

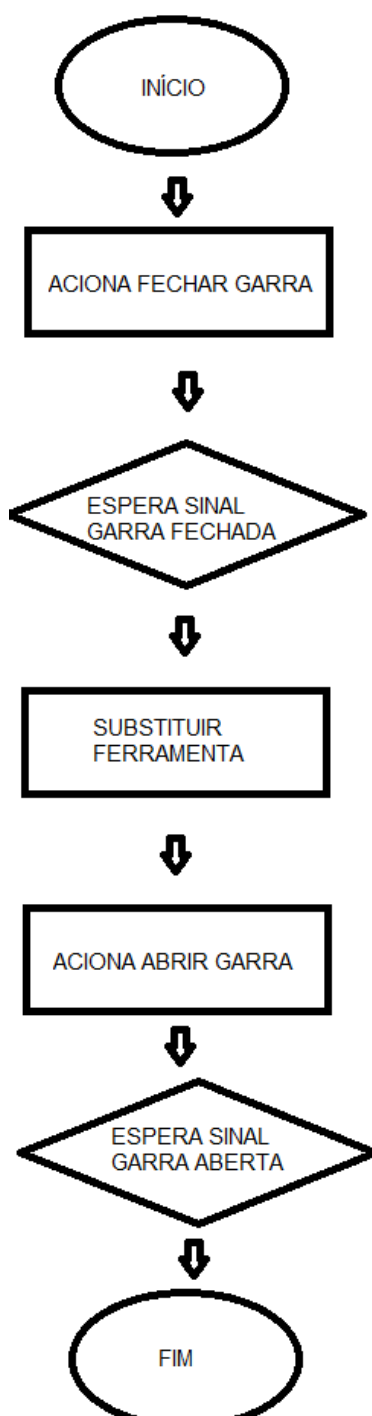
Figura 23 - Eletroválvula



Fonte: Acervo do autor

Como o efetuador final do robô foi projetado para ser modular, tem-se a necessidade do desenvolvimento de uma lógica para a troca de ferramentas. Para isso, foi elaborado o fluxograma da figura 25 para as trocas de ferramentas.

Figura 24 - Lógica para a troca de ferramentas

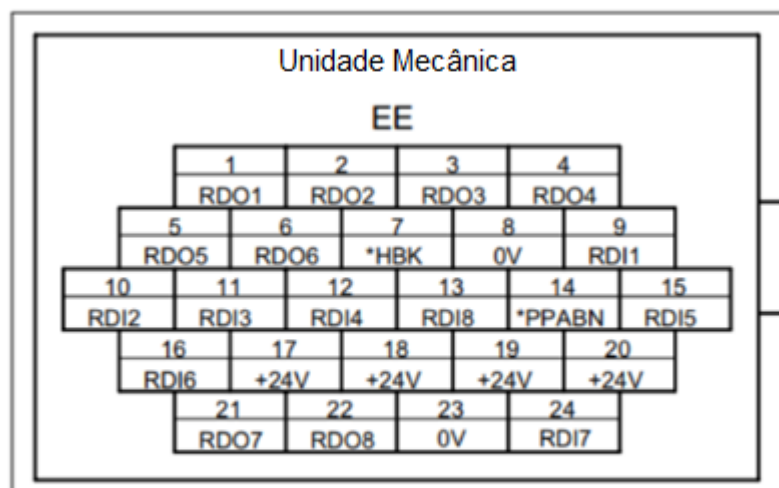


Fonte: Acervo do autor

No ombro do robô Fanuc há um conector do efetuator final ‘EE’, contendo oito entradas e oito saídas digitais já conectadas ao gabinete elétrico e disponível ao usuário. A Figura 26, mostra a pinagem deste conector.

As saídas digitais usadas foram a RDO7 para abrir a garra e a RDO8 para fechar a garra. O comando tipo pulso com duração programada é o mais indicado para o acionamento da garra. Da mesma forma, as entradas digitais RDI7 e RDI8 foram usadas para detectar garra totalmente aberta e garra totalmente fechada, respectivamente.

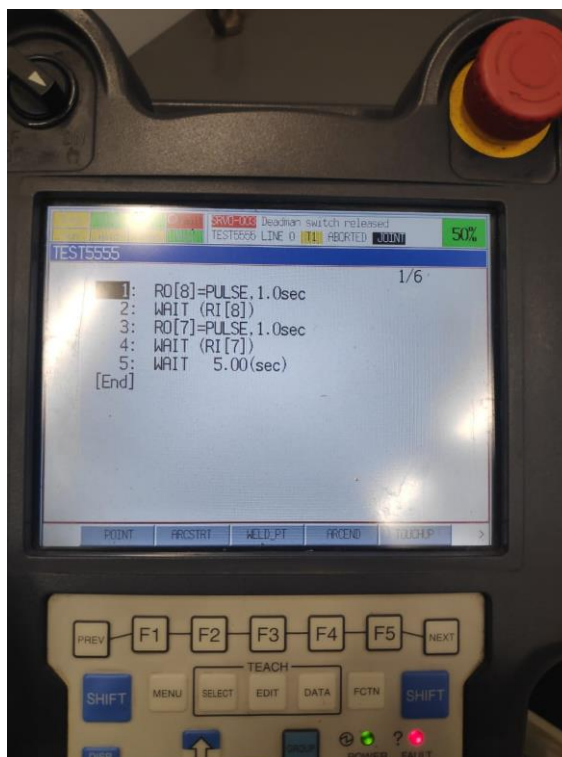
Figura 25 – Pinout Conexão EE



Fonte: (Jimenez, 2019)

Seguindo a lógica demonstrada na figura 25, e utilizando as saídas fornecidas pela Fanuc mostradas na Figura 26, foi usado o painel de programação do robô Fanuc para programar essa sequência para simular como seria o processo de troca de ferramenta. A programação elaborada pode ser observada na figura 27. Com essa lógica, foi possível testar as eletroválvulas e os sensores, e fazer sua calibragem.

Figura 26 - Programação troca de tocha



Fonte: Acervo do autor

4 RESULTADO

Nesta seção veremos os resultados que foram obtidos com a instalação da garra ao robô, bem como os testes realizados.

4.1 Função Garra

A primeira operação que a garra deveria realizar, era ser capaz de pegar as chapas e movimenta-las. A figura 28, mostra o teste sendo realizado.

Figura 27 - Movimentação de chapa



Fonte: Acervo do autor

Foi posto a peça em uma posição onde ela deveria escorregar, e a garra foi capaz de segurar a chapa observada na figura 28.

Mesmo segurando a chapa com pouca força, foi possível girar a peça presa, mostrando que ela estava segura por uma pequena área, tornando ineficiente o manuseio de peças, pois movimentações bruscas podem mover a peça a tirando da posição desejada. A garra tem força suficiente para segurar a peça na posição desejada, mas o atrito que ela gera é pouco para impossibilitar movimentação.

4.2 Função Tocha

A instalação da tocha GMAW na peça de suporte fixa pelas pinças pode ser observada na figura 29.

A tocha ficou bem fixada a peça de suporte, não se movimentando nem escorregando, sua posição de movimentação ficou ideal, a altura em relação a flange do robô a permite se movimentar muito bem.

O principal problema encontrado foi em relação as pinças da garra. Como elas ficaram com um erro dimensional devido ao seu processo de fabricação, elas estão 0,5mm fora de dimensão. Isso acabou acarretando em um folga nos eixos x e y, que embora pequenas no atuador, dão uma diferença grande na ponta da tocha, movendo até 2,5mm na ponta o que torna inaceitável para o projeto.

A fim de tornar o equipamento usável com esse problema, as guias foram substituídas por duas hastes roscadas passantes, para permitir que se pudesse fixar essa peça com uma arruela, o que evita a folga, tornando o uso possível.

Figura 28 - Tocha instalada



Fonte: Acervo do autor

Como melhorias são listadas a seguir:

Necessidade da re-fabricação da garra, para acertar a dimensões de acoplamento com o suporte da tocha;

As duas hastes guias possuírem um comprimento 10mm maior, o que faria o sistema ainda mais estável, ajudando ainda mais no problema da folga.

Fazer ranhuras nas garras, ou por algum tipo de borracha, a fim de aumentar o atrito com as peças que ela tem que pegar, evitando que elas se movam.

Vale salientar que a tocha não apresentou folga em rotação em nenhum dos eixos, se mostrando bem estável para realizar o trabalho.

5 CONCLUSÃO

Neste projeto foi construído um dispositivo mecatrônico conhecido como que permitiu a flexibilização do braço robótico Fanuc M10iA, buscando manter a sua qualidade, velocidade e precisão de trabalho, além de dar uma nova função de pegar peças.

Conseguiu-se com o projeto um protótipo funcional, onde foi produzido um mecanismo capaz de realizar tanto pegar uma peça, quanto manipular tochas para soldagem. Foram empregados nesse processo vários tipos de conhecimentos, em diversas áreas, desde os desenhos técnicos produzidos em softwares CAD, e suas trajetórias de cortes em softwares CAM, a fabricação de peças em tornos e fresadoras e processos comandados numericamente.

Os erros encontrados giram em torno das folgas dimensionais, que não podem ocorrer durante os processos. O fato de as peças presas pela garra poderem ser mexidas foi algo a ser considerado como problema.

Como melhorias ficam a necessidade de realizar re-fabricação das pinças da garra, tense também a necessidade de fazer uma diminuição de massa nos suportes da tocha, o que tornaria o sistema ainda mais rígido, ajudando ainda mais no controle da folga nos eixos X e Y, que precisam manter o erro dimensional do robô em +/- 0,1mm. Aparte interna da garra também necessita de estrias a fim de aumentar o atrito, impedindo o deslizamento das peças pegadas.

Com a instalação do efetuador final, já podem ser desenvolvidos novos projetos no campus baseados em outros tipos de soldas utilizando o braço robótico Fanuc.

6 REFERÊNCIAS

- aventa. (08 de junho de 2019). *Aventa*. Fonte: *aventa*:
<https://aventa.com.br/novidades/infografico-historia-da-soldagem>
- Ayres, M. (01 de outubro de 2007). *UOL Tecnologia*. Fonte: *UOL*:
<https://tecnologia.uol.com.br/ultnot/2007/10/01/ult4213u150.jhtm>
- Bel Air. (20 de 5 de 2019). *Garra Axial*. Fonte: *Bel Air*:
<http://www.belair.ind.br/belair/index.php?pag=8&id=187>
- Cander Castro. (28 de 5 de 2019). *Consumíveis para TIG, MIG e Plasma*. Fonte:
Cander Castro: http://www.candercastro.com.br/?page_id=319
- ESAB. (20 de 5 de 2019). *Processos de Soldagem: Arco Submerso (SAW)*. Fonte:
CENTRO DE CONHECIMENTO ESAB:
https://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_arco_submerso.cfm
- FANUC. (15 de 04 de 2019). *ARC Mate 100iC/12*. Fonte: *fanuc*:
<https://www.fanuc.eu/pt/pt/rob%C3%B4s/p%C3%A1gina-filtro-rob%C3%B4s/soldadura-por-arco/arcmate-100ic-12>
- FANUC Robotics America, Inc. (2007). *ARC Mate® 100iC & 100iC/6L*. USA.
- Gamero, I. (28 de março de 2018). *Isis*. Fonte: *Pollux*:
<https://www.pollux.com.br/blog/robos-industriais-tudo-o-que-voce-precisa-saber/>
- Grill, J. (10 de 04 de 2019). *GMAW MIG Welding Tips & Techniques*. Fonte: *WeldGuru*:
<https://weldguru.com/OLDSITE/Mig.html>
- Grover, M. P. (1988). *Robótica Tecnologia e Programação*. McGraw Hill.
- InfoSolda. (1 de 6 de 2019). *Soldagem a plasma – PAW*. Fonte: *InfoSolda*:
<https://www.infosolda.com.br/artigos/processos-de-soldagem/326-soldagem-a-plasma-paw>
- Jimenez, A. H. (3 de 6 de 2019). *FANUC ARC Mate 100iB_M-6iB - Maintenance Manual - B-81545EN-01*. Fonte: *SCRIBD*:

<https://pt.scribd.com/document/78889010/FANUC-ARC-Mate-100iB-M-6iB-Maintenance-Manual-B-81545EN-01>

Nof, S. (1999). *Handbook of Industrial Robotics*. 2nd ed. John Wiley & Sons.

Panasonic. (10 de 5 de 2019). *Panasonic GIII High Power TAWERS "The Arc Welding Robot System"*. Fonte: Panasonic Fa: <http://www.panasonicfa.com/content/panasonic-giii-high-power-tawers-arc-welding-robot-system>

Panasonic. (17 de 05 de 2019). *Robo de solda tm 1400 186*. Fonte: powermig: <https://www.powermig.com.br/pt-br/robotica/robo-de-solda-tm-1400-186>

Plasma Welding. (6 de 4 de 2019). *Replacement Parts for Plasma Welding Torch*. Fonte: Plasma Welding: <http://www.plasmaweld.com/plasma-welding-torch/replacement-parts.html>

sign in thai. (10 de 6 de 2019). *300W Dual Optical Path Laser Welding Machine for Fine Metal Chann*. Fonte: sign in thai: http://www.sign-in-thai.com/products/23783/300w_dual_optical_path_laser_welding_machine_for_fine_metal_channel_letter_making%7Ced%7C16%7C2017_edm_THSIGN_02_13-362.html?utm_source=EDM&utm_medium=SICnewsletter&utm_campaign=EDM20170213

Simas, G. M. (3 de 3 de 2015). *Sr aula1 robos industriais*. Fonte: SlideShare: <https://pt.slideshare.net/giselemoraessimas/sr-aula1-robosindustriais>

Soldas Brasil. (17 de 5 de 2019). *TOCHA TIG*. Fonte: Soldas Brasil: <http://www.soldasbrasil.com.br/tocha-tig.php>