

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA – CAMPUS JOINVILLE
SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL**

**EDUARDO BORGES MACHADO
JULIANA DREVES DOS SANTOS**

MANIPULADOR TIPO DELTA COM RECONHECIMENTO POR IMAGEM

JOINVILLE

2020

**EDUARDO BORGES MACHADO
JULIANA DREVES DOS SANTOS**

MANIPULADOR TIPO DELTA COM RECONHECIMENTO POR IMAGEM

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso Superior em Tecnologia em Mecatrônica Industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – IFSC – Campus Joinville – como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial.

Professor orientador: Michael Klug, Dr. Eng.

JOINVILLE

2020

Machado, Eduardo Borges.

Manipulador tipo Delta com reconhecimento por imagem / Eduardo Borges
Machado, Juliana Dreves dos Santos – Joinville, SC, 2020.
76 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação
Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Curso de tecnologia em Mecatrônica
Industrial, Joinville, 2020.

Orientador: Michael klug, Dr.

1.Manipulador Delta. 2. Arquitetura Paralela. 3. Visão Computacional. I.
Santos, Juliana Dreves dos. II. Instituto Federal de Educação Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente à Deus, por ter iluminado e abençoado em nossa trajetória.

Aos nossos familiares, que nos apoiaram e incentivaram desde o início.

A todos nossos professores e coordenadores que contribuíram e enriqueceram nossos conhecimentos adquiridos. Em especial ao professor orientador Michael Klug.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Campus Joinville, pela infraestrutura oferecida para a realização do curso.

Enfim e não menos importante aos nossos colegas de curso, pelos bons momentos que passamos durante essa caminhada.

“Investir em conhecimento
rende sempre os melhores juros.”
(Benjamin Franklin)

SANTOS, Juliana Dreves dos; MACHADO, Eduardo Borges. **Manipulador tipo Delta com Reconhecimento por Imagem**. 2020. 76 f. Trabalho de conclusão de curso - Superior em Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Campus Joinville, 2020.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um robô Delta com arquitetura paralela associado com visão computacional para aplicação *pick and place* (“pegar-e-posicionar”) através da adaptação de uma impressora 3D da Kossel, apresentado a entidade acadêmica com o propósito de expandir a aplicação desse robô e sua arquitetura em vários segmentos industriais e potencializar a aprendizagem em várias grades curriculares do ensino superior. O robô fará a seleção de peças através de sua geometria ou cor utilizando o controle de reconhecimento de imagem através da programação via *software Matlab®*.

Palavras-chave: Manipulador Delta, Arquitetura Paralela, Visão Computacional, Pegar-e-posicionar, Impressora 3D, *Matlab®*.

SANTOS, Juliana Dreves dos; MACHADO, Eduardo Borges. **Delta Type Manipulator with Image Recognition**. 2020. 76 f. Completion of course work - Higher course in Technology in Industrial Mechatronics, Federal Institute of Education, Science and Technology of Santa Catarina - University Campus Joinville, 2020.

ABSTRACT

This work presents the development of a Delta robot with parallel architecture associated with computer vision for pick and place application through the adaptation of a Kossel 3D printer, presented to an academic entity with the purpose of expanding the application of this robot and its architecture in various industry segments and enhance learning in various higher education curricula. The robot will make the selection of parts through their geometry or color using the image recognition control through programming via Matlab® software.

Keywords: Delta Handle, Parallel Architecture, Computer Vision, Pick-and-place, 3D Printer, Matlab®.

LISTA ILUSTRAÇÕES

Figura 1: ISIS/SurgiScope	11
Figura 2: Esquema cinemático do robô Delta.....	11
Figura 3: Elementos de um sistema robótico	12
Figura 4: Barra lisa	14
Figura 5: Polias e correias.....	14
Figura 6: Perfil de alumínio.....	15
Figura 7: Chave fim de curso	16
Figura 8: Arduino Mega	20
Figura 9: Raspberry Pi.....	20
Figura 10: Placa RAMPS montada sobre uma placa Arduino Mega	21
Figura 11: Hierarquia de tarefas de processamento de imagem.....	23
Figura 12: Diagrama de Kano	26
Figura 13: Atributos do produto	26
Figura 14: Atributos gerais e específicos.....	27
Figura 15: Ciclo de vida.....	28
Figura 16: Pirâmide de Maslow	29
Figura 18: Definição QFD.....	30
Figura 17: Modelo QFD	30
Figura 19: Função Global	31
Figura 20: Entradas e Saídas.....	32
Figura 21: Funções parciais e elementares.....	33
Figura 22: Matriz morfológica	34
Figura 23: Matriz de contradição	36
Figura 24: TRIZ	36
Figura 25: montagem estrutural	39
Figura 26: Montagem hastes.....	40
Figura 27: Fixação motores.....	40
Figura 28: Drive A4988.....	40

Figura 29: Carro de transporte com patins	41
Figura 30: Guias lineares com roldanas	41
Figura 31: Projeto CAD	42
Figura 32: Projeto físico.....	42
Figura 33: Esquema Eletro/Eletrônico.....	43
Figura 34: Fonte de alimentação.....	43
Figura 35: Raspberry.....	44

LISTA ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	Desenho Assistido por Computador
CNC	Controle Numérico Computadorizado
CPU	Central Processing Unit (Unidade Central de Processamento)
DC	Corrente Contínua
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
EPROM	Erasable Programmable Read Only Memory
GND	Graduated Neutral Density Filter (Filtro de Densidade Neutra)
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
HDMI	High Definition Multimedia Interface (Interface Multimídia de Alta Resolução)
IGBT	Transistor Bipolar de Porta Isolada
I/O	Input/Output
IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padronização)
LCD	Liquid Crystal Display
PDI	Processamento Digital de Imagens
PLC	Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programável)
PWM	Pulse Width Modulation
QFD	Desdobramento da Função Qualidade
RAM	Random Access Memory
REPRAP	Que Se Auto Replica
ROM	Read Only Memory
SLOT	Conector de Periféricos em Computadores
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TRIZ	Teoria da Solução Inventiva de Problemas
USB	Universal Serial Bus
V	Volts
VCA	Tensão Corrente Alternada
VCC	Tensão Corrente Contínua

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 JUSTIFICATIVA	8
1.2 OBJETIVOS GERAIS	8
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 DESCRIÇÃO DE UM ROBÔ	10
2.1.1 Robô com Arquitetura Paralela	10
2.1.4 Sistemas Robóticos	12
2.2 CINEMÁTICA	13
2.3 ELEMENTOS ESTRUTURAIS	13
2.3.1 Parafusos e derivados	13
2.3.2 Barras lisas	13
2.3.3 Polias e correias	14
2.3.4 Perfil de alumínio	15
2.3.5 Rolamentos.....	15
2.3.6 Patins ou trilhos	15
2.4 CHAVE FIM DE CURSO	16
2.5 MOTORES ELÉTRICOS	17
2.5.1 Motor de passo	17
2.6 DRIVE MOTOR DE PASSO.....	18
2.7 MICROCONTROLADOR	19
2.8 ARDUINO/RASPBERRY PI	19
2.8.1 Arduino vs Raspberry Pi	20
2.9 PLACA RAMPS.....	21
2.10 FONTE DE ALIMENTAÇÃO	21
2.11 TELA LCD	22
2.12 PROCESSAMENTO DE IMAGEM	22
2.13 SOFTWARE CAD	24
2.14 MATLAB.....	24
3 DESENVOLVIMENTO	25
3.1 PROJETO INFORMACIONAL	25
3.1.1 Diagrama de Kano	25
3.1.2 Atributos do produto.....	26

3.1.3 Definir as necessidades dos clientes	28
3.1.4 Teoria das hierarquias das necessidades (Maslow)	28
3.1.5 QFD	29
3.1.6. Definir os requisitos de projeto do produto	31
3.1.7. Avaliar as fases e os resultados.....	31
3.2 PROJETO CONCEITUAL	31
3.2.1 Função Global	31
3.2.2 Entradas e Saídas	32
3.2.3 Funções parciais e elementares	32
3.2.4 Matriz Morfológica.....	33
3.2.5 TRIZ.....	35
3.4 PROJETO DETALHADO	37
3.5 MONTAGEM ESTRUTURAL	39
3.6 SISTEMA ELETRO/ELETRÔNICA	42
3.7 PROGRAMAÇÃO	46
3.7.1 IHM.....	46
3.7.2 Botões de Operação	47
3.7.3 Captura Imagem	47
3.7.4 Identificação de Peças	49
3.7.5 Movimentação	50
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
ANEXOS	52
REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

Um robô paralelo no qual o número de cadeias cinemática é exatamente igual ao número de graus de liberdade do efetuador é chamado de robô totalmente paralelo. (MERLET,2006). Uma arquitetura paralela pode ser constituída por três braços atuando simultaneamente sobre sua base fixa, conseguindo assim 3 graus de liberdade (número de parâmetros independentes que são necessários para se definir a posição de um corpo no espaço em qualquer instante), em vez de um só braço como na arquitetura serial. Algumas vantagens são consideradas como, elevadas acelerações, movimentos rápidos, firmeza, maior capacidade de elevação de carga. Porém a sua principal desvantagem se encontra ao espaço de atuação de seus movimentos que não consegue alcançar áreas distantes.

Podemos analisar nas indústrias automatizadas que a arquitetura predominante em robôs manipuladores ainda é a do tipo serial. Entretanto, é perceptível que nos últimos anos exista uma tendência em favor da arquitetura paralela (MELLO, 2011).

Com a necessidade de aumentar a produção, as indústrias farmacêuticas, panificação, e de embalagens em geral, adotaram os robôs de arquitetura Delta¹ em suas linhas devido a sua característica com grande eficiência nas tarefas de “pegar-e-posicionar” (*pick-and-place*), podendo trabalhar em conjunto nesse tipo de tarefa e chegar a desempenhos de 100 a 2500 manipulações de produtos por minuto (MECHATRONIC-DESIGN, 2010).

Essas tecnologias são otimizadas quando associadas com a visão computacional que é uma das tecnologias utilizadas no monitoramento e na análise de diversos processos e atividades, segundo engenheiro mecânico Paulo Gardel Kurka “A visão computacional usa sistemas associados a tecnologias de captura de imagens e suporte de tomada de decisão baseados em algoritmos de análise ou de inteligência artificial” (REVISTA FAPESP, 2019).

¹ Delta: O robô Delta é alimentado através de fontes externas e apresenta autonomia de controle, pois é comandado por um microcontrolador Arduino Uno. (<http://joinville.ifsc.edu.br/~bibliotecajoi/arquivos/tcc/mecind/108459.pdf>)

Tendo em mente o conhecimento da criação e o avanço dos robôs com arquitetura paralela, especialmente o robô Delta, e a importância que os robôs estão adquirindo nas últimas décadas na área industrial, auxiliando os empregados na realização de suas atividades, este trabalho tem por objetivo desenvolver um robô Delta com a utilização de visão computacional. O desenvolvimento deste trabalho tem importância para criação de novas aplicações industriais em vários segmentos do mercado, bem como a importância acadêmica através da experiência de pesquisa, estudos e desenvolvimento neste segmento.

1.1 JUSTIFICATIVA

Algumas justificativas são dadas para sustentar os objetivos propostos:

- Equiparado com os robôs de arquitetura serial, os paralelos possuem ganhos com relação à velocidade de operação, precisão, rigidez e capacidade de carga, sendo empregado em diversas aplicações.
- De forma geral a utilização de robôs se intensificou nos últimos anos e está progredindo cada vez mais. Esse tipo de robô é tratado em inúmeros casos como a nova geração em matéria de conceito mecânico, oferecendo uma versatilidade à manufatura atual solucionando diversos problemas. A relevância desses trabalhos no meio acadêmico com foco nos robôs aumentou.
- Há várias questões mecânicas, eletrônicas e de modelagem a serem desenvolvidas nesse seguimento de arquitetura. Em questões de otimização ainda são encontrados poucos trabalhos.

1.2 OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver um robô de arquitetura paralela em configuração Delta, que fará a seleção de peças através de sua geometria ou cor utilizando o controle de reconhecimento por imagem.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Desenvolver a montagem e programação de um robô Delta sendo estes os objetivos específicos do trabalho:

- Projeto informacional
- Projeto conceitual
- Projeto detalhado
- Montagem e construção estrutural do robô
- Sistema eletro/eletrônica
- Programação via software MatLab®;
- Realizar o controle através de reconhecimento de imagem;
- Definir parâmetros de seleção de peças;
- Conciliar a fundamentação teórica com a prática;
- Programar trajetórias de tarefas de *pick-and-place*.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DESCRIÇÃO DE UM ROBÔ

Um robô é uma máquina reprogramável gerenciada por um computador que analisa dados captados por sensores da máquina e que os processa e toma uma decisão sobre o que se deve executar de acordo com os dados apresentados. Em conformidade com a decisão, o computador aciona e manipula componentes digitais e mecânicos do robô, para executar um novo processamento e verificação do ambiente ou executar uma ação física.

Uma definição mais integrada é apresentada pela norma ISO (*International Organization for Standardization*) 10218, do modo que: "uma máquina manipuladora com vários graus de liberdade controlada automaticamente, reprogramável, multifuncional, que pode ter base fixa ou móvel para utilização em aplicações de automação industrial".

2.1.1 Robô com Arquitetura Paralela

Esses robôs apresentam configuração com uma plataforma e mecanismo em cadeia cinemática fechada. O volume de trabalho resultante é aproximadamente semiesférico. Esses robôs possuem um sistema mecânico composto por barras lineares denominadas braços, que são acionados por motores diretamente conectados à sua base, as quais geram movimentos angulares e extremamente sincronizados, se tornando possível a manipulação de peças e ou produtos.

Os robôs paralelos são, hoje, utilizados em vários ramos industriais e do conhecimento. Na área médica, entre outras aplicações, destaca-se o ISIS/SurgiScope na figura 1, onde um robô delta sustenta um microscópio de 20 kg no qual anula o efeito da gravidade podendo movimenta-lo para onde desejar de forma manual (MERLET, 2006).

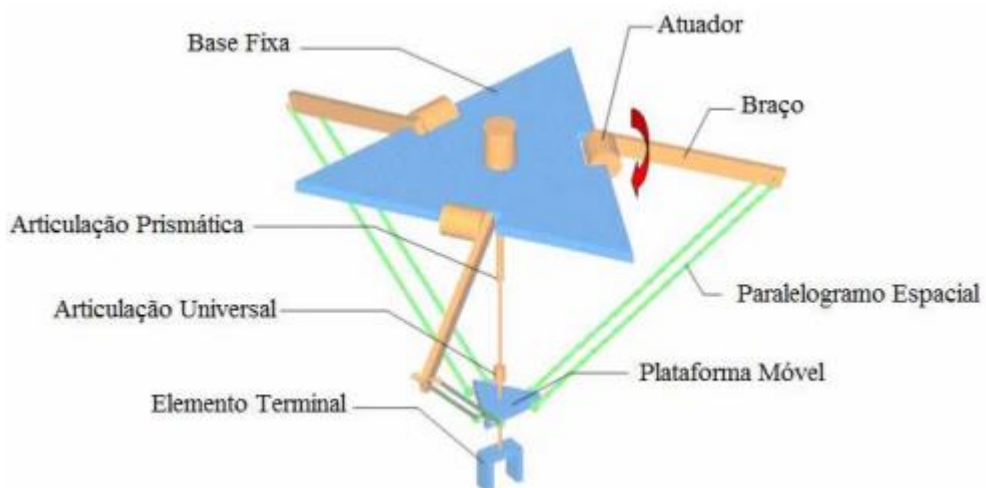
Figura 1: ISIS/SurgiScope



Fonte: Merlet (2006, pág. 28)

Os robôs paralelos em configuração delta são parecidos com aranhas e ou robôs de link paralelo, devidos as ligações paralelas das junções conectadas a uma base comum, veja o esquema cinemático do robô Delta na figura 2. O controle direto de cada junta sobre o efetor final, o posicionamento do efetor pode ser controlado facilmente com seus braços, resultando em alta velocidade de operação. Os robôs delta possuem um envelope de trabalho em forma de cúpula. Esses robôs geralmente são usados para aplicações rápidas de coleta e transferência de produtos.

Figura 2: Esquema cinemático do robô Delta



Fonte: Clavel e Rey, 1998.

2.1.4 Sistemas Robóticos

Basicamente um sistema robótico é composto por uma base, por braços (links ou elos) e por um punho. A base geralmente é dita como o referencial do sistema, ou seja, o referencial fixo da base. O braço consiste em elementos denominados elos, que são conectados entre eles por juntas que realizam os movimentos relativos, que por sua vez estão acoplados aos atuadores como: motores elétricos (servo motores, motores de passo, etc.), pistões pneumáticos e hidráulicos, músculos artificiais, entre outros que são responsáveis pelos movimentos, dotados de uma capacidade sensorial e instruídos por um sistema de controle. Na extremidade do braço encontra-se o punho, que consiste em conexões de juntas próximas entre si, permitindo a orientação da extremidade do manipulador no espaço, já segundo Mello: a movimentação dos braços é feita através de motores com redução, onde há a aplicação de torques a fim de possibilitar movimentos imprescindíveis para executar determinada tarefa (MELLO, 2011). No último elo, na extremidade, temos o “*end effector*” que está diretamente ligado a algum tipo de garra ou ferramenta, responsáveis por realizar uma determinada tarefa exigida pelo sistema.

O sistema de controle é realizado através do controlador (microcontroladores, microprocessadores, CLP, etc.) possui a função de ler e manipular as entradas do sistema, de modo a alcançar um desempenho almejado (ROMANO et al., 1999). O *Encoders*, *resolvers* ou tacômetros, por exemplo, são alguns dos tipos de sensores utilizados para controlar os movimentos do robô, com a premissa de permitir a realimentação do sistema de controle, compondo assim, a malha de sensoriamento. Na figura 3 exemplifica os elementos de um sistema robótico.



Fonte: MOLINA, 2008.

2.2 CINEMÁTICA

A cinemática é o estudo da posição e da velocidade linear e angular de um robô. Existem dois tipos de cinemática a direta e a inversa. Na cinemática direta queremos obter a posição e a velocidade em que o robô se encontra. A cinemática inversa é o oposto da cinemática direta, ou seja, são fornecidas a posição e a velocidade que quer se obter.

2.3 ELEMENTOS ESTRUTURAIS

2.3.1 Parafusos e derivados

Parafuso é uma peça que transforma um movimento de rotação em torno de seu eixo em um movimento de translação segundo esse eixo, servindo assim como um elemento de fixação, ou seja, a função do parafuso como item de construção ou acessório de máquinas pode ser a de peça de ligação, de mecanismo cinemático como transformador de movimento ou como multiplicador de esforços. Uma porca é um elemento de auxílio à fixação do parafuso, se moldando perfeitamente a ele para realizar a fixação. Arruela ou anilha é um disco furado a ser usado em um parafuso como separador ou travamento. Esses componentes são supostamente a parte mais simples da estrutura do robô Delta.

2.3.2 Barras lisas

Barras lisas (figura 4) ou guias lineares são utilizadas para orientar a movimentação dos eixos, elementos estruturais em que se assentam os eixos (X, Y e/ou Z). Geralmente são conjugadas com rolamentos lineares ou mesmo buchas cujo diâmetro interno coincide com o diâmetro da barra, deste modo, o rolamento linear ou

a bucha se tornam um elemento livre para deslizar linearmente por todo o comprimento da barra.

Figura 4: Barra lisa

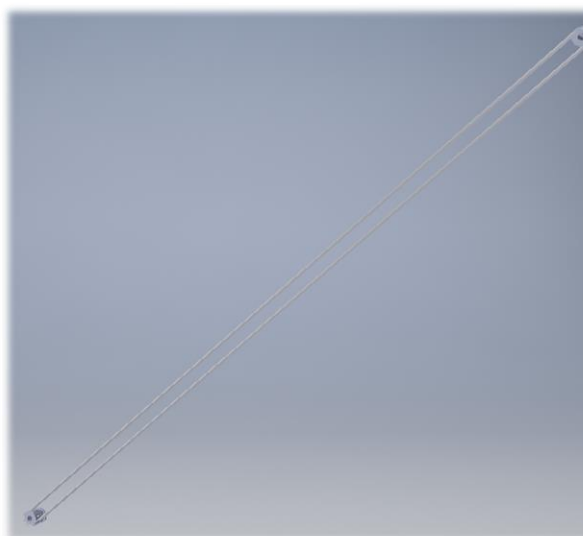


Fonte: Os Autores.

2.3.3 Polias e correias

São estruturas usadas em sistemas de engrenagens de transferência de força e energia cinética. As polias são elementos mecânicos circulares, presas a um eixo geralmente de metal. As correias, por sua vez, são cintas de material flexível, mas inextensível (não sofrem extensão elástica) presas às polias ou engrenagem por atritos ou sulcos. A polia de encaixe ou fricção transforma movimento rotacional para linear para a correia, e a correia transforma movimento linear para rotacional (figura 5).

Figura 5: Polias e correias

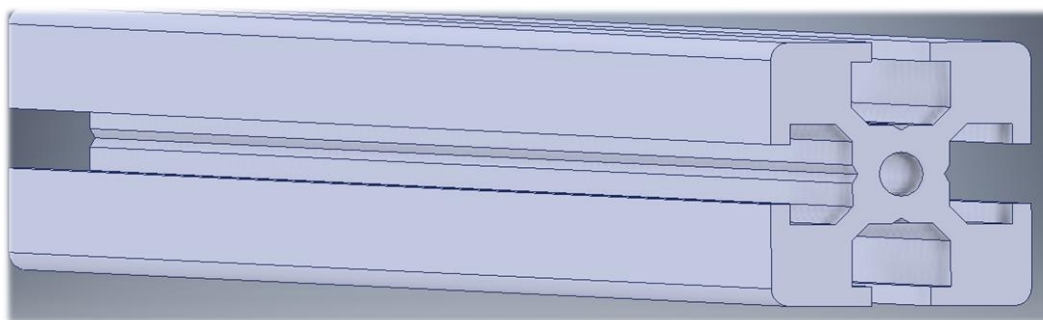


Fonte: Os Autores.

2.3.4 Perfil de alumínio

Os perfis de alumínio são estruturas muito usadas como os pilares de um delta ou as colunas de uma cartesiana e devido à sua uniformidade dimensional, especialmente retidão precisa. A extrusão se refere ao processo de fabricação do material, em que o alumínio é extrudado por um orifício de formato bem determinado o nome perfil refere, por sua vez, à forma deste orifício. O formato T-Slot (figura 6) é bastante útil pois permite a inserção de outros elementos que ficarão firmados à peça, incluindo porcas (comuns ou especiais) que permitem fixar com bastante resistência e estabilidade conectores e suportes.

Figura 6: Perfil de alumínio



Fonte: Os Autores.

2.3.5 Rolamentos

São eles os responsáveis pelo movimento, rotacional ou linear, entre duas ou mais partes. Eles intermediam o contato entre o elemento deslizante e a superfície de deslizamento. São elementos apropriados para alta rotação, alta precisão, baixo torque e baixa vibração.

2.3.6 Patins ou trilhos

Patim ou carro é o nome que se dá à peça que desliza, equivalente ao rolamento linear que usamos nas barras lisas e os trilhos são extrusões de metal retas com um perfil de encaixe em que o patim pode deslizar livremente. Patins podem,

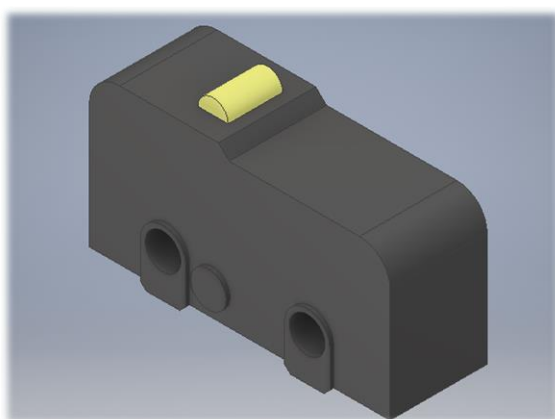
como os rolamentos, ter corpos rolantes nas partes em que tocam o perfil e geralmente são vendidos juntamente com os trilhos, já encaixados, e submetidos a um processo chamado de pré-carga, em que a possibilidade de folga diminui enormemente. Como têm uma usinagem mais complexa e controlada, têm preços maiores que seus conjuntos equivalentes feitos com rolamentos e barras lisas. Patins e trilhos são outro modo de se ter guias lineares que não usam as barras lisas com rolamentos.

2.4 CHAVE FIM DE CURSO

São dispositivos eletromecânicos (figura 7) que tem como função indicar que um motor ou a estrutura ligada ao seu eixo que chegaram ao fim do seu campo de movimento. Funcionam como um interruptor de comandos elétricos.

O sensor de fim de curso é capaz de ser atuado por uma força física externa muito pequena, é um dispositivo de baixo custo e com alta durabilidade, geralmente projetados para suportar mais de 1 milhão de ciclos, e este valor pode chegar até 10 milhões de ciclos, para modelos destinados a aplicações mais robustas.

Figura 7: Chave fim de curso



Fonte: Os Autores.

2.5 MOTORES ELÉTRICOS

Segundo Franchi (2011, p.17):

O motor elétrico é um dispositivo que transforma energia elétrica em mecânica, em geral, energia cinética, ou seja, num motor, a simples presença de energia elétrica, seja contínua ou alternada, garante movimento em um eixo, que pode ser aproveitado de diversas maneiras, dependendo da aplicação do motor.

Porém, para Pazos (2002, p.184):

Os motores elétricos são dispositivos que transformam algum tipo de energia em energia mecânica. Essa energia mecânica é desenvolvida através da rotação de um eixo que gira com uma determinada velocidade de torque.

Existem vários tipos de motores, dentre eles destacam-se os motores de corrente contínua (DC), motores de corrente alternada (AC), motores de passo e o de ímã permanente.

No entanto para Pazos (2002, p.185):

Também existem diferentes tipos de motores elétricos, segundo o tipo de energia elétrica utilizada. Entre os principais cabe mencionar: motores A.C. que operam com corrente alternada, motores D.C que operam com corrente contínua, e motores de passo, cujo funcionamento está baseado numa sequência determinada de pulsos elétricos.

2.5.1 Motor de passo

O motor de passo é um tipo de motor elétrico usado quando algo tem que ser posicionado muito precisamente ou rotacionado em um ângulo exato.

São motores cuja rotação é controlada por pulsos elétricos. Porém para Bolton (2010, p.239): “O motor de passo é um dispositivo que produz rotação em movimento de ângulos iguais, denominados de passos, para cada pulso digital em sua entrada”.

No entanto para Wirth Júnior (2009, p.63): “existem motores computadorizados como, entre outros, *drivers* e *cd roms*, que usam motores especiais nos quais seus rotores em vez de girar continuamente, giram em passos discretos. Esses motores são denominados motores de passo”.

2.6 DRIVE MOTOR DE PASSO

Para fazer o movimento, é necessário definir o torque e a velocidade que o motor fornece e, conseqüentemente, a corrente e a tensão necessárias ao controlador. O motor pode ser acionado com a simples aplicação de tensão à bobina (controlador de tensão) ou a corrente pode ser controlada na bobina (controlador de corrente). Via de regra, o controlador de tensão é usado em aplicações simples, principalmente aquelas com um único ponto de trabalho. A fonte de corrente permite controlar o torque fornecido pelo motor. A corrente pode ser controlada por um amplificador linear ou, como é feito atualmente na maioria dos controladores, por modulação de largura de pulso (PMW) para regular a corrente.

Para proteções adicionais afim de minimizar as chances de correntes inversas, sobretensões, picos de corrente, principalmente na alternância de correntes, pode-se incluir uma "Ponte H" (um arranjo eletrônico especializado para comutações rápidas sem corrente de retorno).

Existem muitas maneiras de controlar motores de passo. Um drive de motor de passo geralmente requer entrada na forma de direção e pulsos. Para cada pulso, o drive gera corrente em cada fase do motor para mover o rotor em um passo ou micropasso. Dependendo do drive, o motor pode ser movido um passo inteiro, meio passo ou em micropassos (de acordo com a corrente aplicada em cada fase). Os drives simples não usam regulação de corrente na bobina e eles são equivalentes aos controladores de tensão e nós os chamamos de "tipo L/R". Com esses drives, pode ser vantajoso adicionar uma resistência para reduzir a constante temporal elétrica. Drives mais complexos usam corrente regulada em cada bobina por PWM. Com a corrente ajustada em cada bobina, o motor pode ser movido em micropassos, ou seja, para o motor, o driver funciona como uma fonte de corrente na forma de enviar o sinal

necessário para que ele se mova e é a corrente, e não a tensão, a grandeza que determina o torque que o motor exerce.

2.7 MICROCONTROLADOR

Os microcontroladores são componentes capazes de executar programas que fazem uso de seus recursos internos, como a leitura e escrita digital na forma de valores de tensão em suas portas, além da comunicação com componentes externos, permitindo expansão de suas capacidades. Com simples recursos os microcontroladores podem ser utilizados em uma inúmera gama de aplicações.

O microcontrolador é um microprocessador, memória RAM, memória ROM, temporizadores, contadores, porta serial, conversores e portas de I/O² dentro de um único chip, ou seja, um microcontrolador é um computador em miniatura, dentro de um único chip, capaz de executar funções específicas através de um programa (software).

2.8 ARDUINO/RASPBERRY PI

O Arduino (figura 8) é uma placa composta por um microcontrolador Atmel, circuitos de entrada/saída e que pode ser facilmente conectada à um computador e programada via IDE (*Integrated Development Environment*, ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) utilizando uma linguagem baseada em C/C++, sem a necessidade de equipamentos extras além de um cabo USB. Depois de programado, o microcontrolador pode ser usado de forma independente em qualquer projeto.

² As portas de Entrada/Saída - I/O (Input/Output) servem para receber e passar informação para fora, para periféricos em geral, utilizando protocolos de comunicação. (INFOPÉDIA)

Figura 8: Arduino Mega



Fonte: Arduino Mega. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>. Acesso em: 24 mar. 2020.

A *Raspberry Pi* (figura 9) é um microcomputador do tamanho de um cartão de crédito de preço bastante acessível. Sua pequena forma não o impede de abrigar processador, processador gráfico, entrada de energia, barramentos de expansão, USB, HDMI e slot para cartões de memória. Ou seja, é um computador como qualquer outro, só que de tamanho bem reduzido. O *Raspberry Pi* Serve basicamente para todas as funções que podem ser realizadas por um computador convencional. Para sua utilização, é preciso apenas conectar um teclado e um mouse e expandir sua tela para uma televisão ou monitor. O *Raspberry Pi* é mais voltado à execução de tarefas básicas, como controlar um robô caseiro ou automatização de tarefas corriqueiras.

Figura 9: Raspberry Pi



Fonte: Olhar digital

2.8.1 Arduino vs Raspberry Pi

A principal diferença entre eles é que o Arduino é uma placa de microcontrolador, que pode executar um programa por vez, enquanto o *Raspberry Pi* é um minicomputador de uso geral, que pode executar vários programas. Portanto, o Arduino é apenas uma parte do *Raspberry Pi*. O *Raspberry Pi* é mais complicado de

usar do que um Arduino, porém ele é bom em aplicativos de *software*, enquanto o Arduino simplifica os projetos de *hardware*.

2.9 PLACA RAMPS

*Shield Ramps*³ (figura 10) foi desenvolvida com o objetivo de ser o módulo de interface entre motores, display, drivers, *cooler* entre outras partes necessárias à eletrônica para a montagem de uma impressora 3D *RepRap*⁴ ou CNC. Este *Shield* é próprio para utilizar com o Arduino Mega. A *Ramps* pode controlar até 5 motores independentes.

Figura 10: Placa RAMPS montada sobre uma placa Arduino Mega



Fonte: Blog Spot.

2.10 FONTE DE ALIMENTAÇÃO

Fonte de alimentação converte a tensão da rede de 110 ou 220 VCA em +5VCC, +12VCC ou +24VCC para alimentar os circuitos eletrônicos, as entradas e as saídas.

³ Shield Ramps: Rampas de proteção (TRANSLATE).

⁴ RepRap: Que se auto replica.

A fonte de alimentação desempenha importante papel na operação do sistema de um PLC. Além de fornecer todos os níveis de tensão para alimentação da CPU e dos Módulos de I/O, funciona como um dispositivo de proteção. Garante a segurança e a integridade da tensão de alimentação para todo o sistema, por meio do monitoramento constante dos níveis de tensão e de corrente fornecidos. [...] (GEORGINI, 2002, p.51).

2.11 TELA LCD

LCD - *Liquid Crystal Display*, ou display de cristal líquido. O LCD é um painel fino utilizado para exibir imagens, vídeos e textos em suportes diversos como monitor de computador, televisores, GPS, câmeras digitais, celulares, calculadoras e outros dispositivos.

A tela LCD é composta por um líquido polarizador de luz comprimido, controlado por via elétrica, dentro de lâminas transparentes. Cada uma delas possui pontos de eletricidade que fazem o campo elétrico se unir ao líquido no interior. O LCD é a parte frontal que gera as cores e forma a imagem da tela, o que muda é o padrão da luz de fundo. As telas LCDs funcionam com cores projetadas em uma transparência, ou seja, não brilham. Desse modo, a tela precisa de uma fonte de luz localizada na parte de trás, o *backlight*⁵, para mostrar a imagem.

2.12 PROCESSAMENTO DE IMAGEM

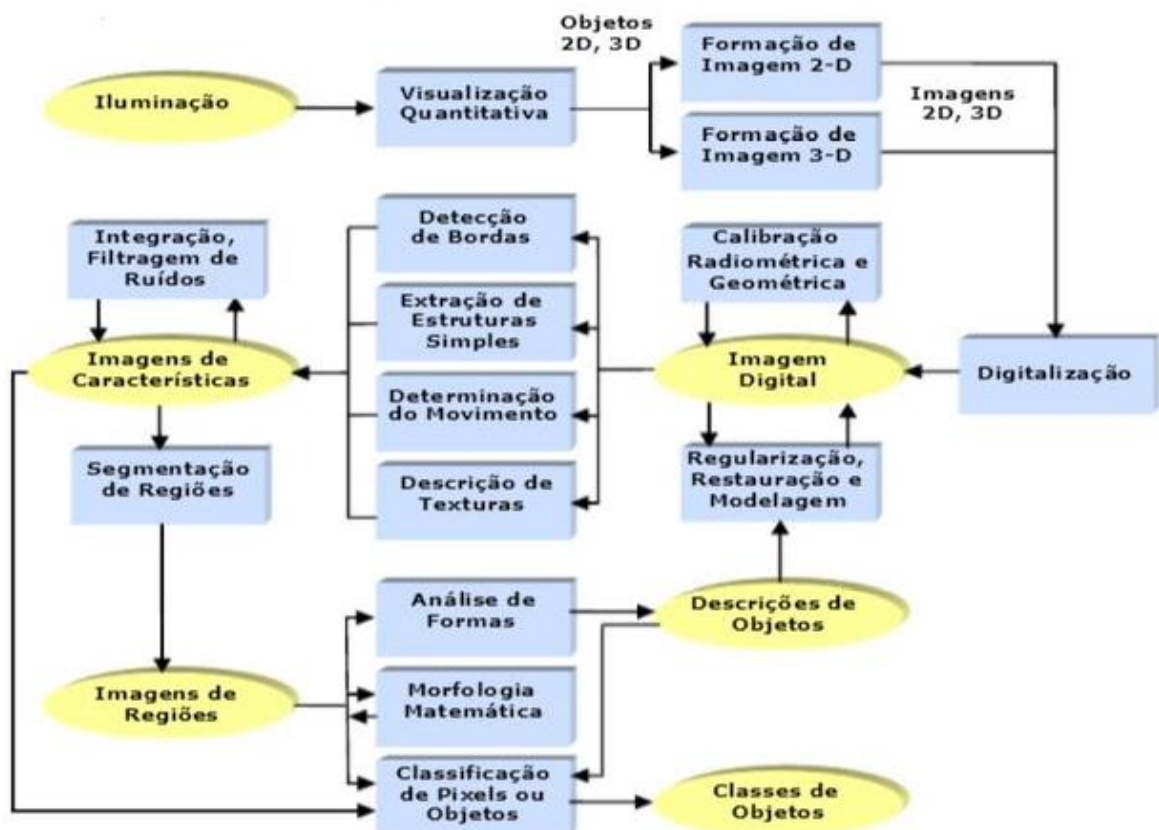
O processamento de imagem inicia-se com a captura de uma imagem, a qual, normalmente, corresponde à iluminação que é refletida na superfície dos objetos, realizada através de um sistema de aquisição. Após a captura por um processo de digitalização, uma imagem precisa ser representada de forma apropriada para tratamento computacional. Imagens podem ser representadas em duas ou mais dimensões. O primeiro passo efetivo de processamento é comumente conhecido

⁵ Backlight: Luz de fundo, iluminar por detrás (TRANSLATE).

como pré-processamento, o qual envolve passos como a filtragem de ruídos introduzidos pelos sensores e a correção de distorções geométricas causadas pelo sensor.

O processamento digital de imagens (PDI) de sensoriamento remoto tem como objetivo fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração das informações contidas nas imagens para posterior interpretação. Nesse sentido, são utilizados *softwares* específicos para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas. As imagens que passam pela etapa de PDI apresentam melhoria da qualidade de visualização dos alvos e precisão das imagens e, por conseguinte das informações que serão retiradas delas. O Processamento digital de imagens (PDI) não é uma tarefa simples, na realidade envolve um conjunto de tarefas interconectadas, vide figura 11.

Figura 11: Hierarquia de tarefas de processamento de imagem



Fonte: Passei direto.

2.13 SOFTWARE CAD

A sigla CAD que dizer *computer aided design*, ou seja, desenho auxiliado por computador pode ser usado tanto na elaboração de desenhos técnicos em 2D, quanto na criação de projetos tridimensionais, em 3D. Antes disso todos os desenhos eram feitos diretamente nos formatos de papel em cima de pranchetas, também os cálculos de medidas, o CAD reduziu o tempo e facilitou o desenvolvimento dos projetos. O CAD se tornou fundamental para desenvolver os projetos através dos cálculos automáticos, reduzindo erros e melhorando a apresentação desses projetos.

2.14 MATLAB

Matlab® (R2015a, MathWorks®) é um *software* interativo de alta performance voltado para o cálculo numérico. O Matlab® integra análise numérica, cálculo com matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos em ambiente fácil de usar onde problemas e soluções são expressos somente como eles são escritos matematicamente, ao contrário da programação tradicional, cujo seu elemento básico de informação é uma matriz que não requer dimensionamento.

3 DESENVOLVIMENTO

No desenvolvimento será apresentado todas as etapas detalhadas e resultados obtidos do projeto. Em seguida será apresentado a conclusão no qual será possível constatar se o projeto atingiu os objetos propostos nesse trabalho de conclusão de curso.

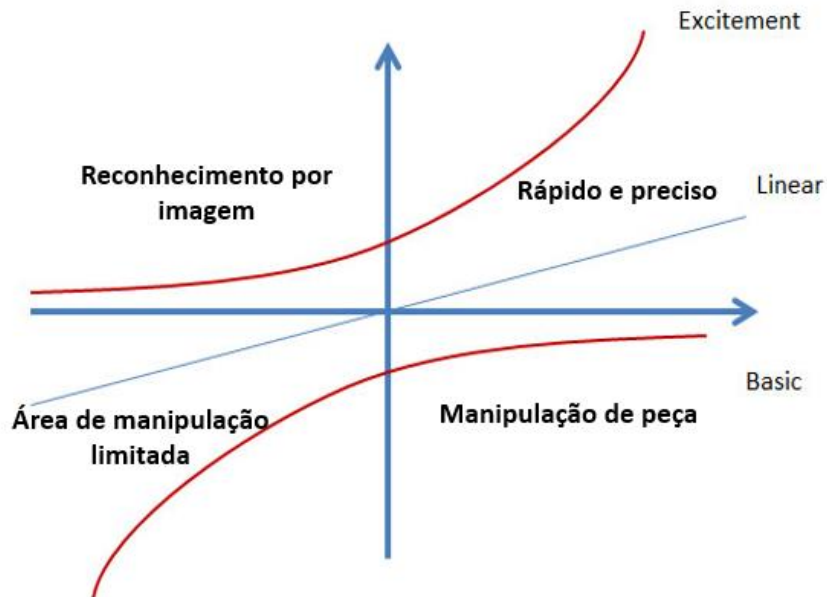
3.1 PROJETO INFORMACIONAL

Essa etapa é feita a introdução do projeto onde são levantados todas a informações, definições e requisitos do projeto. A primeira etapa consiste em pesquisar por informações técnicas e de mercado, essa etapa também foi realizada no desenvolvimento do trabalho de conclusão I chamada de fichamento que estará em anexo nesse trabalho. Após é necessário definir as necessidades dos clientes, definir os requisitos de projeto do produto e definir as especificações de projeto do produto.

3.1.1 Diagrama de Kano

O diagrama de Kano (figura 12) é uma ferramenta de gestão da qualidade que tem o principal objetivo a otimização do produto com foco nos clientes, visando sua satisfação atendendo as necessidades dos clientes (SITEWARE).

Figura 12: Diagrama de Kano

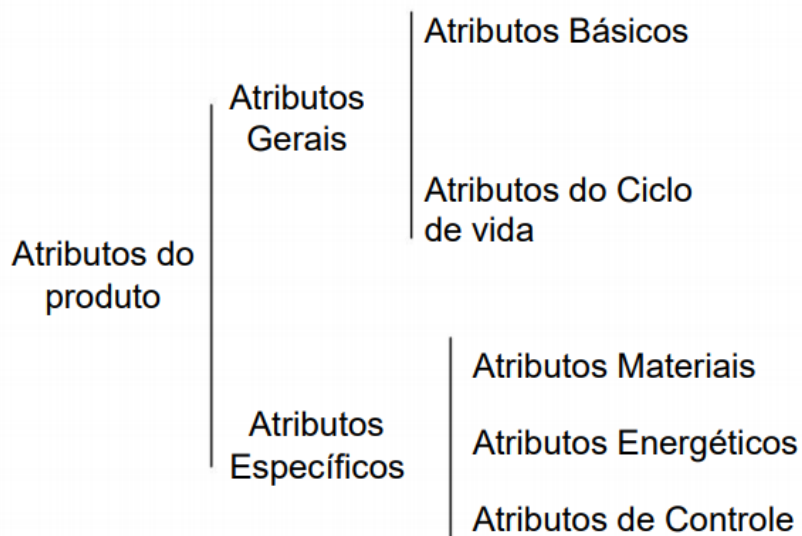


Fonte: Os Autores

3.1.2 Atributos do produto

Para especificarmos o produto precisamos definir as características do produto através dos atributos gerais e específicos, conforme figuras (13 e 14) abaixo.

Figura 13: Atributos do produto



Fonte: IFSC

Figura 14: Atributos gerais e específicos

Atributos produto	Atributos Gerais	Funcionamento	Manipular peças
		Ergonômico	Não comprometer o operador ao longo da operação
		Estético	Designer agradável
		Econômico	Preço razoável
		Segurança	Não afetar a integridade física dos funcionários durante instalação e funcionamento
		Confiabilidade	Capacidade de realizar 95% do que ele foi projetado
		Legal	Não se opor com nenhuma lei existente
		Patentes	Produto sem patente
		da Normalização	NR10 e NR12, bem como as normas referenciadas por elas;
		da Modularidade	100% modular
	do Impacto Ambiental	Se segregado de forma adequada não haverá grandes impactos ambientais.	
	Atributos Específicos	Fabricabilidade	Fácil, baixo custo, peças de mercado
		Montabilidade	Somente mão de obra especializada
		Embalabilidade	Embalagem reciclável para produto frágil, compacta e econômica
		Transportabilidade	Não há restrições quanto ao transporte do produto, adequada aos meios de transporte.
		Armazenabilidade	Por ser pequeno, não necessita de grandes espaços. Aconselhável instalar produto assim chegar
		Comerciabilidade	Setor industrial e acadêmico
		Da Função Usabilidade	Somente mão de obra capacitada
		Mantenabilidade	Manter em ambiente limpo e iluminado
Reciclabilidade		Produto 90% reciclável	
Descartabilidade	Descartado conforme padrões ambientais		

Fonte: Os Autores

3.1.3 Definir as necessidades dos clientes

Para definirmos as necessidades dos clientes e feito através do cruzamento dos atributos citados a cima e assim podemos verificar como cada um afeta os demais, vide figura 15.

Figura 15: Ciclo de vida

Ciclo de vida	Funcionamento	Ergonomia	Estética	Econômico	Normalização	Modularidade
Produção	Fixação parafusada	Fácil fixação	Fácil pintura	Produção rápida e custo baixo	Precisão milimétrica	Estrutura modular
Montagem	Montagem fácil					Modular
Transporte	Fácil transporte				Seguir regras de transporte	
Armazenagem				Fácil armazenamento		
Função	Manipular peças		Designer agradável			Estrutura modular
Uso	Esteiras transportadoras	Leve, sem cantos vivos e evitar ressaltos				
Manutenção	Mão de obra especializada					

Fonte: Os Autores.

Outra forma de identificar a necessidade dos clientes é através do questionário, esse questionário irá apresentar suas respostas em dois contextos no ambiente acadêmico e no contexto de mercado que estará nos anexos.

3.1.4 Teoria das hierarquias das necessidades (Maslow)

Maslow define cinco categorias de necessidades humanas: fisiológicas, segurança, afeto, estima e as de autorrealização. Esta teoria é representada por uma pirâmide onde na base se encontram as necessidades mais básicas pois estas estão diretamente relacionadas com a sobrevivência. Segundo Maslow, um indivíduo só sente o desejo de satisfazer a necessidade de um próximo estágio se a do nível anterior estiver sanada, portanto, a motivação para realizar estes desejos vem de forma gradual (WIKIPÉDIA).

Este método insere no projeto características importantes que podem ser atrativas, buscando assim atender uma gama maior de clientes potenciais, vide figura 16.

Figura 16: Pirâmide de Maslow



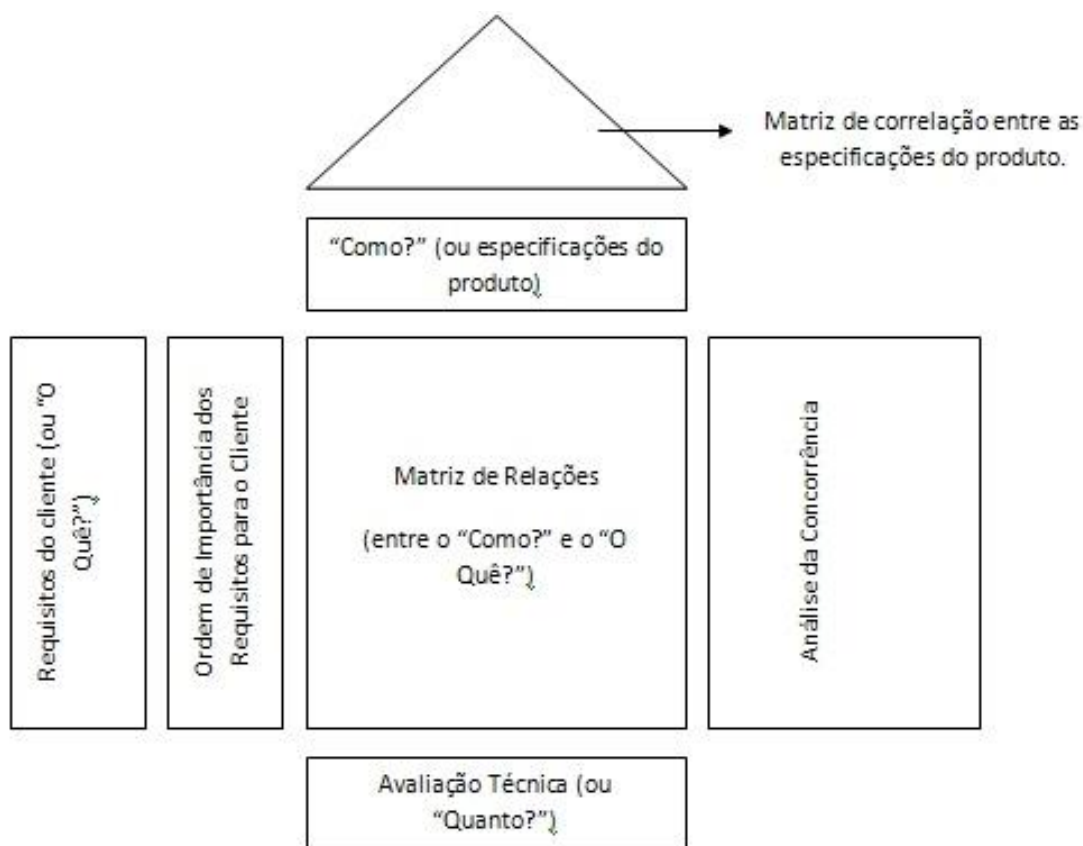
Fonte: Os Autores.

3.1.5 QFD

A ferramenta de projeto QFD (*Quality Function Deployment*) ou seja, Desdobramento da Função Qualidade (figura 17,18), é uma técnica que auxilia na organização, tratamento e análise das necessidades dos clientes e requisitos de projeto de produtos, considerando aspectos relacionados ao ciclo de vida de produtos (WIKIPÉDIA).

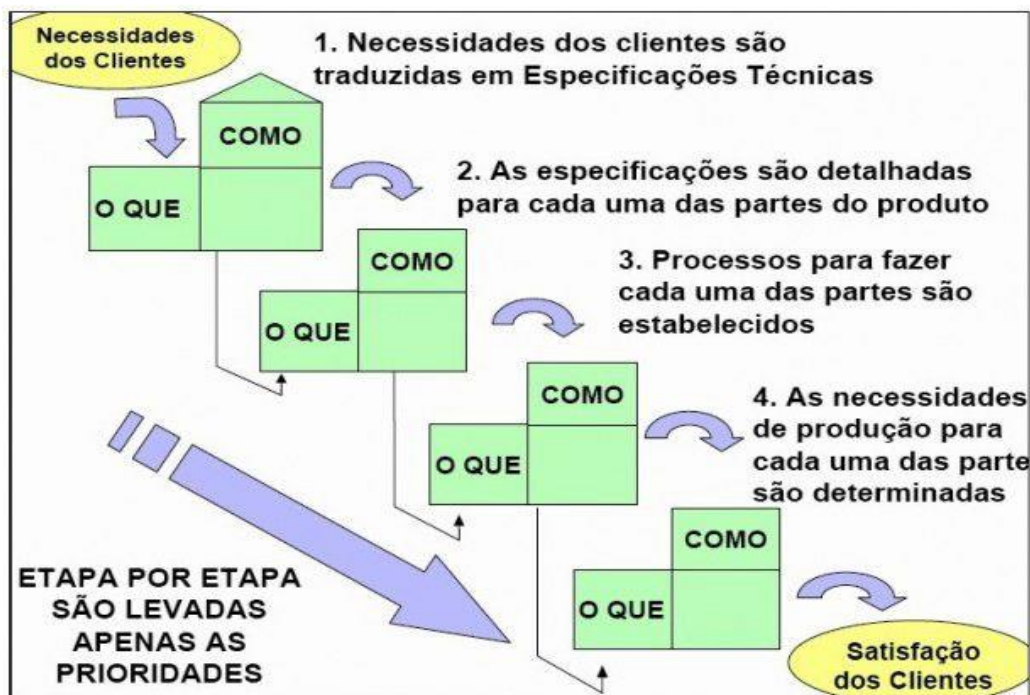
É uma ferramenta da engenharia simultânea para garantir que as necessidades do consumidor dirijam o processo de projeto e produção de um produto. Mede a qualidade do projeto como satisfação dos clientes ou usuários do produto. Vide anexo.

Figura 18: Modelo QFD



Fonte: INFOESCOLA.

Figura 17: Definição QFD



Fonte: INFOESCOLA.

3.1.6. Definir os requisitos de projeto do produto

O objetivo aqui é converter os requisitos dos clientes em requisitos do projeto do produto e organizá-los segundo sua ordem de importância (hierarquização). Nos anexos encontra-se os requisitos dos clientes e os valores e metas.

3.1.7. Avaliar as fases e os resultados

Deve-se avaliar, também, os próprios trabalhos de projeto para registrar as lições aprendidas, pontos fortes e pontos fracos da fase.

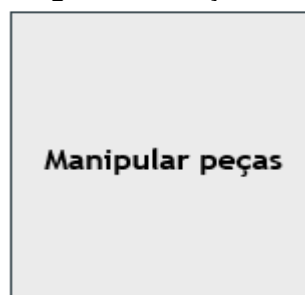
3.2 PROJETO CONCEITUAL

Nessa etapa são analisados as informações e metas, identificado as funções, são estabelecidas as funções globais, são estabelecidas as estruturas funcionais e são selecionadas as estruturas.

3.2.1 Função Global

A função global é manipular peças metálicas posicionando cada uma num lugar específico de acordo com sua cor, mostrado na figura 19.

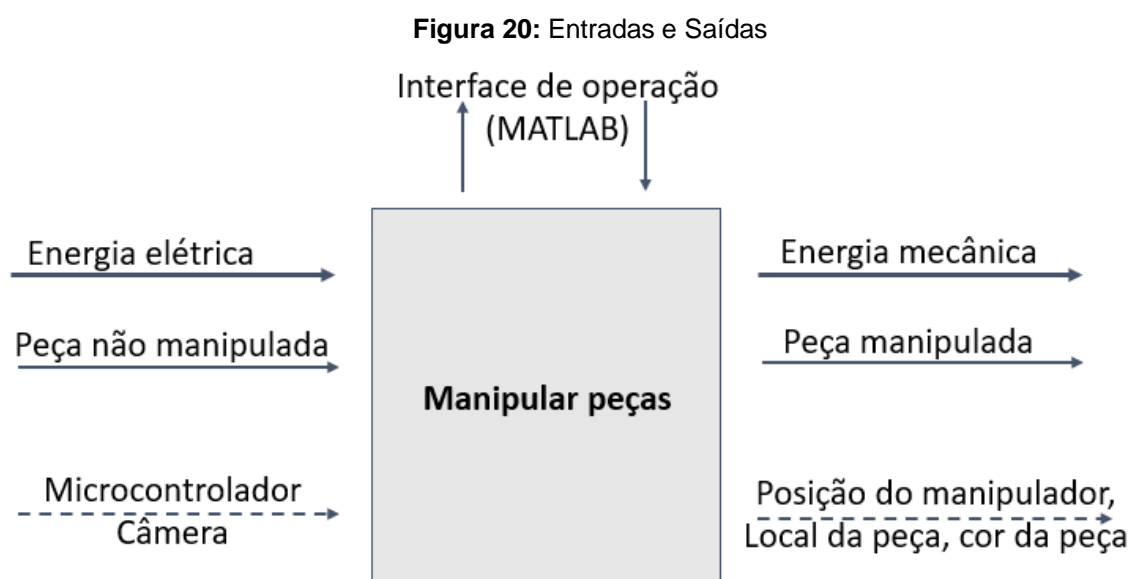
Figura 19: Função Global



Fonte: Os Autores.

3.2.2 Entradas e Saídas

Após definido a função global determinamos as entradas e saídas do projeto. As entradas são a fonte de energia elétrica, a peça que será manipulada e o sistema de visão que fará a captura da peça. A interface de operação será feita via MATLAB®. Na saída temos a energia elétrica a qual convertida em mecânica e que realizou a manipulação, que identificou posição, local e cor da peça via entrada do microcontrolador e o sistema de visão, conforme figura 20 abaixo.



Fonte: Os Autores.

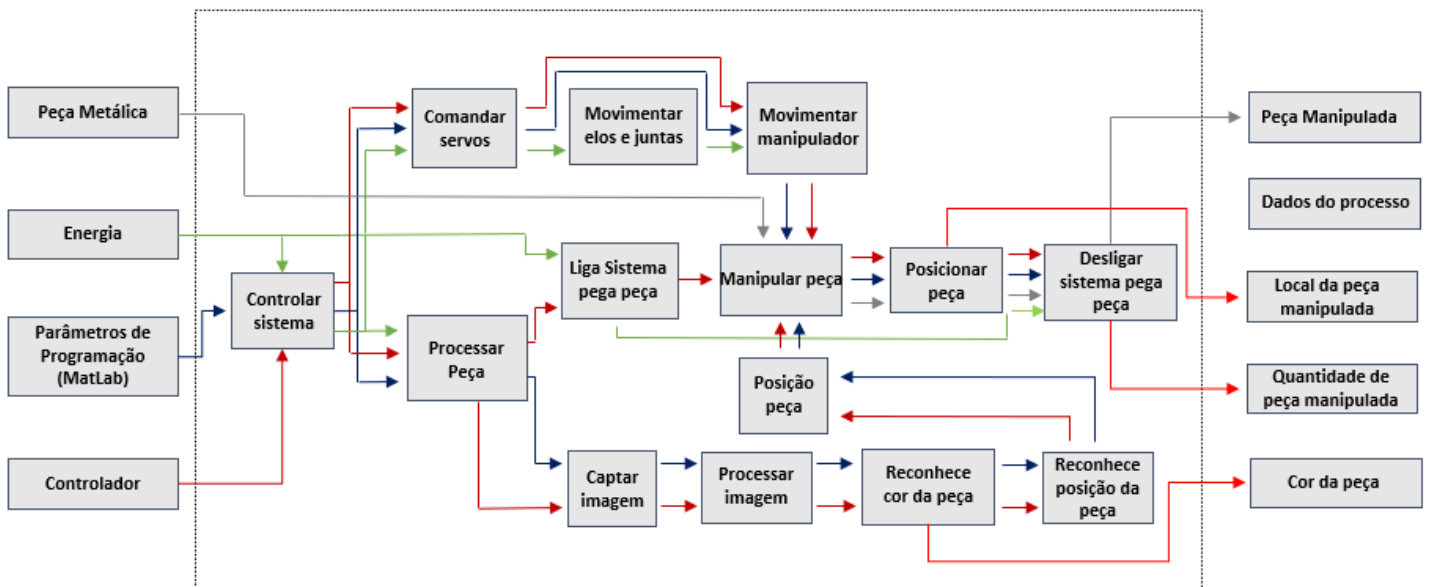
3.2.3 Funções parciais e elementares

Tendo as entradas e saídas determinados após a função global, definimos as funções parciais e elementares para executar a manipulação de peças. Com as informações e parâmetros da entrada, o mesmo deve ser computado pelo controlador do sistema a qual será responsável por executar o controle dos servos motores e, processamento das peças através dos dados da entrada. O primeiro passo é processar a peça através da captação e processamento da imagem, reconhecendo a cor da peça e posição da peça.

O comando dos servos movimentará os elos e juntas a fim de movimentar o manipulador até a posição desejada de pegar a peça, conseqüentemente movimentar até a posição de largar a peça.

Entre estas movimentações o controlador também deverá solicitar o liga sistema pega peça e desligar o sistema pega peça, realizando o processamento da imagem, movimentos do manipulador e a manipulação das peças. Os resultados da saída devem ser a peça manipulada, dados do processo, local da peça manipulada, quantidade de peça manipulada de acordo com suas cores, conforme figura 21 abaixo.

Figura 21: Funções parciais e elementares












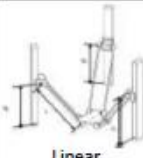




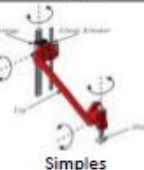
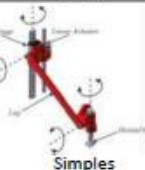





Fonte: Os Autores.

3.2.4 Matriz Morfológica

A matriz morfológica é uma pesquisa sistemática de diferentes combinações de elementos ou parâmetros com o objetivo de encontrar uma nova solução para o problema. Na matriz procura-se listar as funções do produto, meios possíveis para cada função e também uma forma de representar as funções com diferentes combinações, vide figura 22.

Figura 22: Matriz morfológica

MATRIZ MORFOLOGICA						
Soluções		S1	S2	S3		Solução
Controlar Sistema	Energizar Sistema	 Fonte Discreta	 Fonte Chaveada		S2	 Fonte Chaveada
	Sensor fim de curso	 Sensor Óptico	 Sensor Magnético	 Sensor Fim-de-Curso	S3	 Sensor Fim-de-Curso
	Controlador	 Arduino	 Raspberry	 TI-Texas	S1	 Arduino
Posicionar Manipulador de Peça	Tipo de Mecanismo Delta	 Linear	 Keops	 Kanuk	S1	 Linear
	Tipo de Elo	 Composto	 Simples		S2	 Simples
	Tipo de Junta	 Rotativa	 Rotular		S2	 Rotular

MATRIZ MORFOLOGICA						
Posicionar Manipulador de Peça	Gerador de Movimento	 Motor DC	 Brushless	 Motor de Passo	S3	 Motor de Passo
	Trasmitir Movimentação	 Polia-Correa	 Fuso de Esfera	 Cassette-Corrente	S1	 Polia-Correa
	Manter Linearidade	 Trilho-Patim	 Eixo Liso	 Perfil-Rolamento	S3	 Perfil-Rolamento

Posicionar Manipulador de Peça	Tipo de Material de Estrutura	 Madeira	 Policarbonato	 Alumínio	S3	 Alumínio
Processar Peça	Câmera	 Sensor de Visão	 Webcam	 Câmera de Monit.	S2	 Webcam
Pegar/Larga Peça	Manipulador	 Eletroímã	 Pinça Pneumática	 Ventosa Pneumática	S1	 Eletroímã

Fonte: Os Autores.

3.2.5 TRIZ

Antes de iniciarmos a construção da teoria da solução inventiva de problemas (TRIZ) realizamos primeiro um *brainstorming* (chuva de ideias), no qual foi possível avaliar e definir qual seria a melhor opção a ser utilizada no projeto como por exemplo: as diferentes formas de fazer a captura da imagem, os ângulos de posicionamento da câmera, como as peças a serem manipuladas chegariam até o manipulador e também formas de como a peça seria manipulada, entre outras ideias que surgiram nessa etapa foi possível identificar a melhor concepção para o desenvolver o projeto.

Após essa etapa foi criado uma lista dos atributos do projeto como material da estrutura, tipo de fabricação, montagem, resistência de acordo com a necessidades dos clientes.

Observando a matriz de correlação que se encontra no telhado da casa de qualidade (QFD), no qual foi associado esses requisitos de contradição com os parâmetros de engenharia da TIPS (considerar os 39 parâmetros de engenharia, levando em conta a similaridade e compatibilidade) e identificar o princípio inventivo da TIPS utilizando a matriz de contradição, vide figura 23.

Figura 23: Matriz de contradição

		Matriz de contradição					
		CAMPO 2 – Parâmetro de Engenharia em Contradição					
		Custo razoável (R\$)	Design auspicioso (% aceitação)	Alta eficiência de produção (%)	Alta velocidade (cps)	Alta precisão (%)	Projetar garra para outros tipos de materiais (qdt.)
CAMPO 1 - Parâmetro de Engenharia a ser otimizado	Sistema de visão com alta resolução (MP)		32, 30		10, 13, 19	11, 15, 32	18, 1, 19
	Custo razoável (R\$)					10, 26, 24	2
	Alta eficiência de produção (%)				21, 35, 11, 28	32, 3, 11, 23	

Fonte: Os Autores.

Com a matriz das contradições pronta iniciamos a construção da TRIZ, ou seja, após identificados os princípios inventivos, conseguimos identificar as funções do produto que podem ser empregadas através dos princípios inventivos, enfim conseguimos construir a TRIZ seguindo todos os passos que foram ensinados na grade curricular projeto de máquinas, vide figura 24.

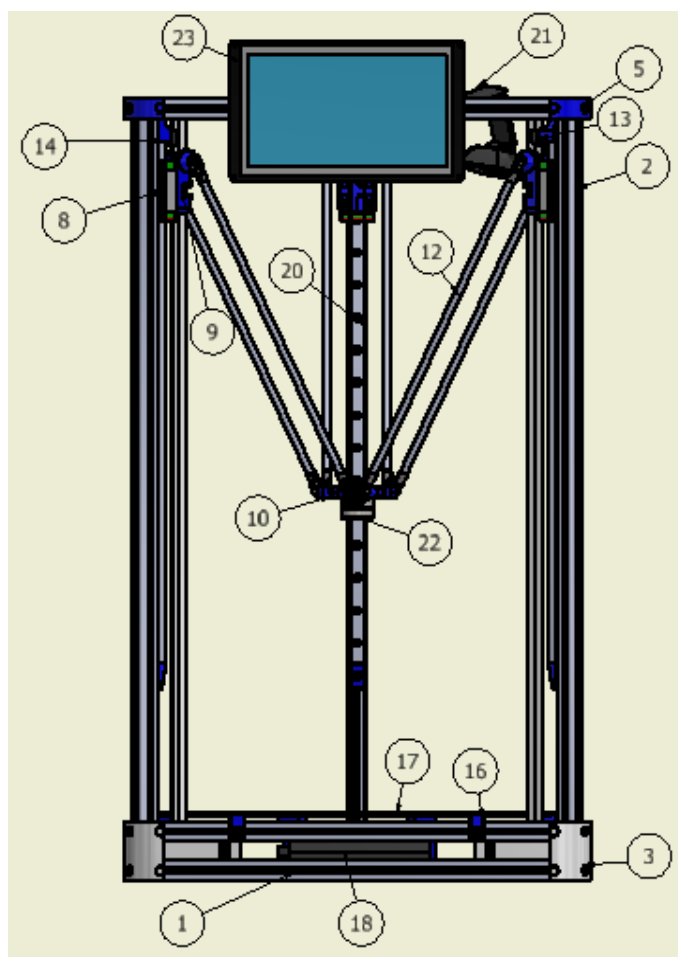
Figura 24: TRIZ

Requisitos do projeto	Parâmetros de Engenharia	Solução inventiva	Status
Alta velocidade (cps)	9. Velocidade	10. Posicionar camera perpendicular aos planos de movimentação do objeto	ok
		13. Camera acoplada no eletroimã	x
		13. Uma camera com um ponto de referencia e rotacionar a camera em torno esse ponto	x
		19. Processamento de imagem contínuo com sistema de manipulação	x
		19. Processamento de duas imagens simultaneas ara prover ação adicional	x
Alta precisão (%)	28. Precisão de medida	11. Instalar um posicionador de peças na esteira para que as peças fiquem em uma posição semelhante	ok
		15. Sistema de transporte da peça com formato cilindrico para facilitar a manipulação	x
		32. Adicionar cor nos objetos para facilitar a identificação do objeto	ok
Alta precisão (%)	28. Precisão de medida	32. Adicionar cor nos objetos para facilitar a identificação do objeto	ok
		11. Instalar um posto de inspeção manual ou sistema automatico para avaliar os itens manipulados	ok
		23. Instalar um gerador caso haja falta de energia para não perder os parametros do robô	ok

Fonte: Os Autores.

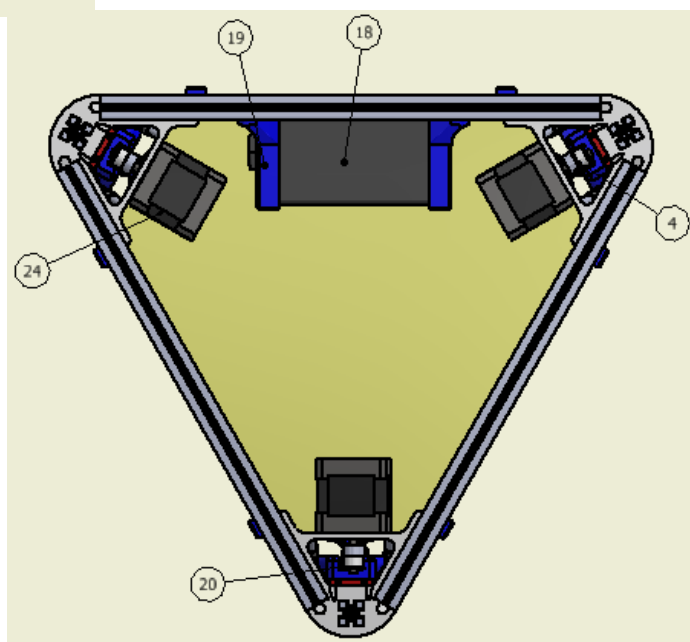
3.4 PROJETO DETALHADO

Nessa etapa foi realizado o modelamento do robô utilizando o *software* Autodesk Inventor®.

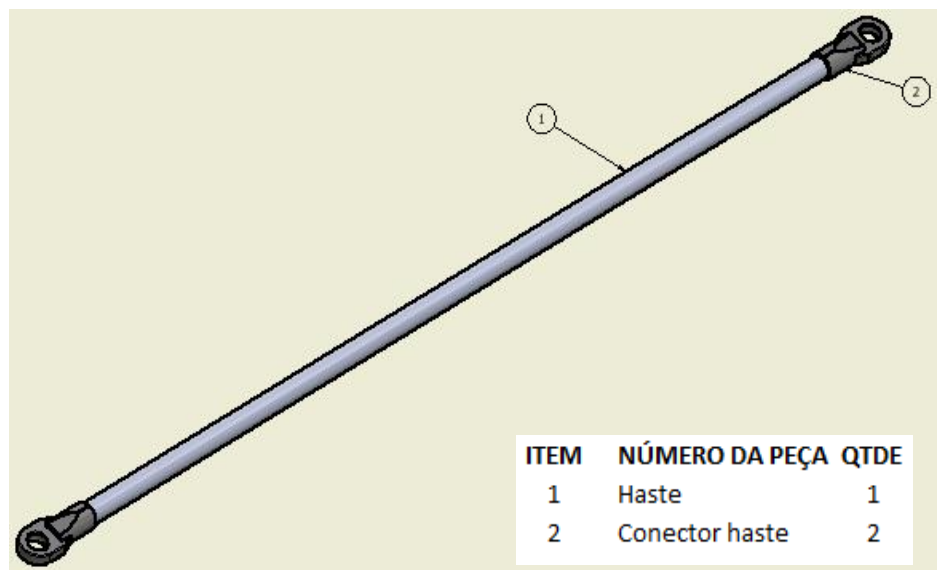
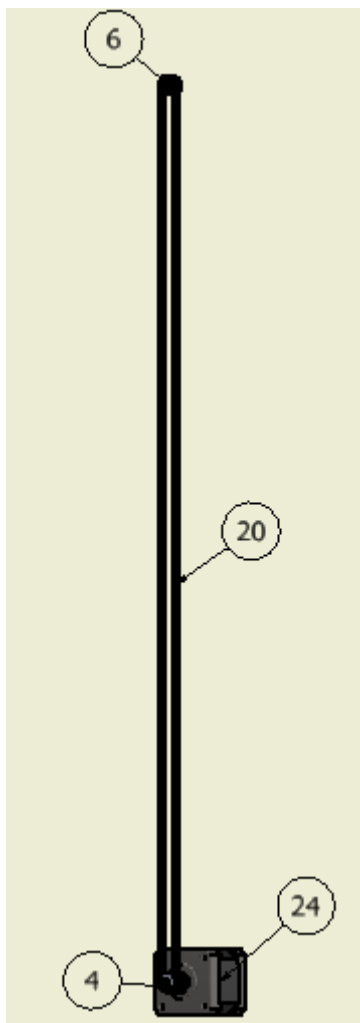
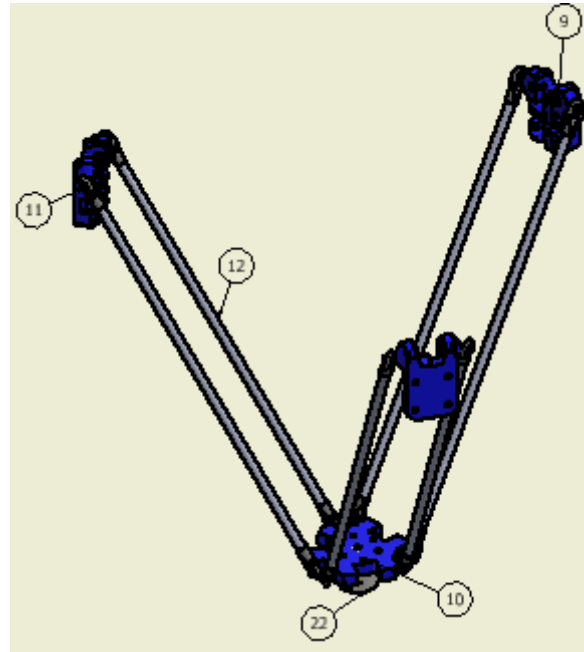


Item	Número da peça	QTDE
1	Perfil - 300mm	9
2	Perfil - 600mm	3
3	cantoneira	3
4	GT2 16T Pulley	3
5	Vertice topo	3
6	F623ZZ Flange Rolamento	6
7	Trilho	3
8	Carro transporte	3
9	Carro transporte vertical	3
10	Base hastes	1
11	Esfera	12
12	Montagem haste	6
13	Fim de curso	3
14	Final trillho	3
15	Final trilho inferior	3
16	clipe plataforma	6
17	Plataforma	1
18	Fonte de alimentação	1
19	Suporte fonte de alimentação	2
20	Cinto_correia	3
21	Logitech_webcam_c270	1
22	Eletroimã	1
23	Nextion NX8048K070	1
24	Montagem_motor	3

ITEM	NÚMERO DA PEÇA	QTDE
4	GT2 16T Pulley	3
18	Fonte de alimentação	1
19	Suporte fonte de alimentação	2
20	Cinto_correia	3
24	Montagem_motor	3



ITEM	QTDE	NÚMERO DA PEÇA
9	3	Carro transporte vertical
10	1	Base hastes
11	12	Esfera
12	6	Montagem haste
22	1	eletroimã



ITEM	NÚMERO DA PEÇA	QTDE
1	Haste	1
2	Conector haste	2

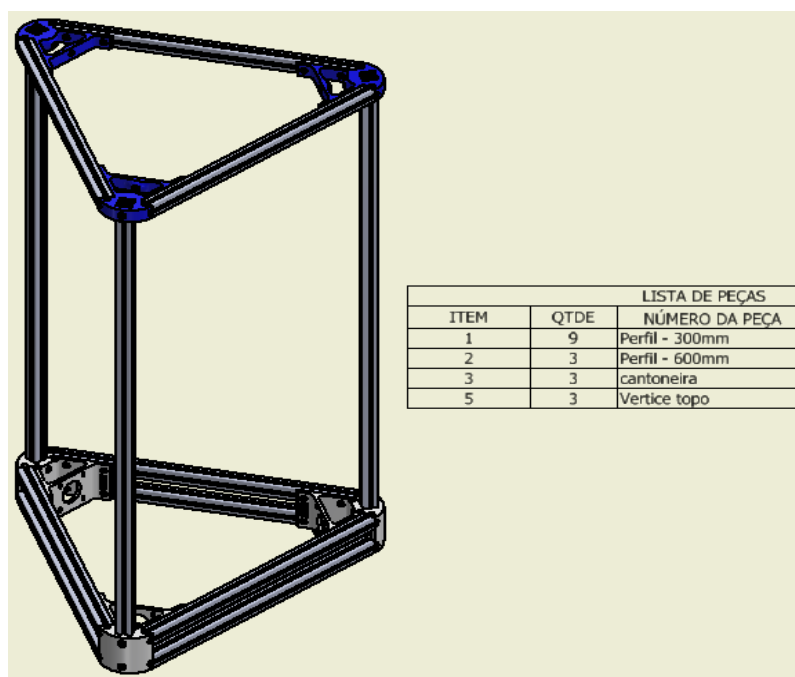
LISTA DE PEÇAS		
ITEM	QTDE	NÚMERO DA PEÇA
4	3	GT2 16T Pulley
6	6	F623ZZ Flange Rolamento
20	3	Cinto_correia
24	1	Montagem_motor

3.5 MONTAGEM ESTRUTURAL

Conforme citado anteriormente foi realizado o modelamento do robô no Autodesk Inventor® software CAD, ao qual através desse modelamento foi realizado a aquisição das peças e iniciado a montagem da estrutura do robô. Optamos por desenvolver um projeto modular com peças de mercado não sendo necessário utilizar componentes dedicados.

A sustentação da parte estrutural do robô foi feita com perfis de alumínio T-Slot 1515 por ser um material de prateleira e acessível, no qual foram utilizados três perfis na posição vertical de 600mm, e nove perfis dispostos na horizontal conectados uns aos outros possuem comprimento de 300mm, conforme será mostrado na figura 25.

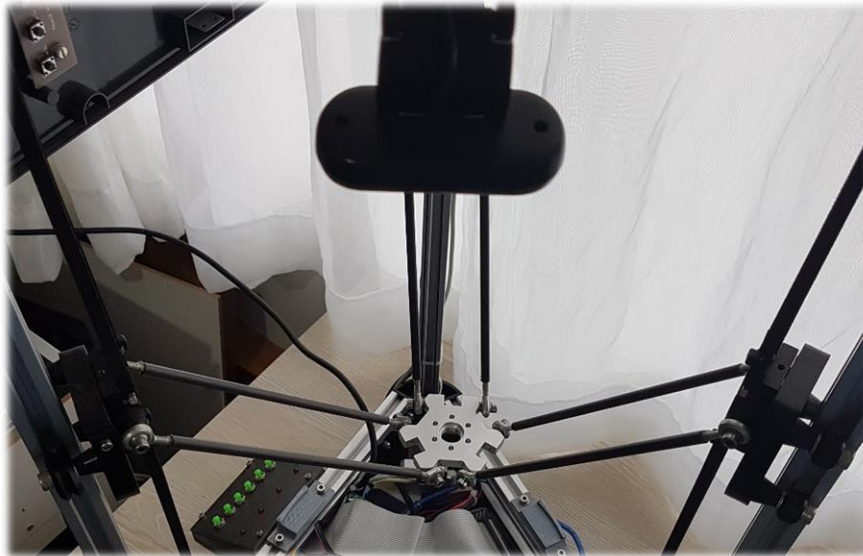
Figura 25: montagem estrutural



Fonte: Os autores.

A montagem dos eixos de movimentação x, y e z, são constituídos por duas hastes que possuem conectores roscados com juntas esféricas que são fixados na base a 120° uma das outras, devido ao posicionamento dos motores. Na figura 26 são mostradas que as hastes foram conectadas na parte superior aos carros de transporte vertical e ao efetuator, sendo que o projeto possui três carros de transporte vertical, seis hastes e um efetuator. No efetuator (base das hastes) está acoplado o eletroímã que realizará a pega dos objetos para manipulação.

Figura 26: Montagem hastes

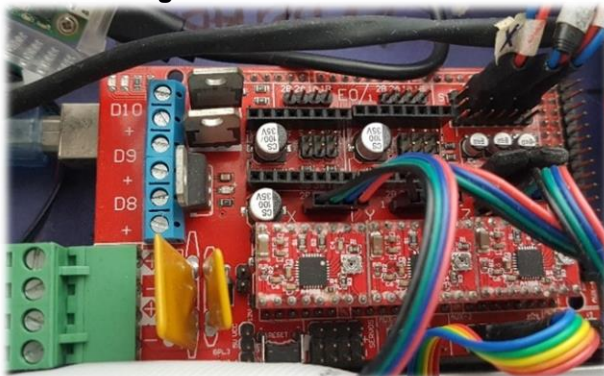


Fonte: Os autores.

Os motores de passo que são os atuadores do manipulador foram fixados na estrutura de sustentação inferior (figura 27), os motores utilizados no projeto modelo NEMA 17 17 17HD34008-22B (32,63 kgf.m /1,5 A), como a placa microcontrolada não fornece corrente suficiente para o acionamento do motor, é necessário usar um driver (figura 28), ou seja, uma unidade que controla o motor, o drive utilizado foi o *shield*⁶ *Ramps 1.4* (A4988). A transmissão de movimento do motor é feita através de correias e polias.

As chaves fim de curso estão fixadas na parte superior da estrutura, um para cada grau de liberdade a fim de estabelecer o limite máximo, e enviam um sinal quando acionadas, que indicará quando o robô estará na posição inicial especificada e então inicia a sequência de movimento pelo usuário.

Figura 28: Drive A4988



Fonte: Os autores.

Figura 27: Fixação motores

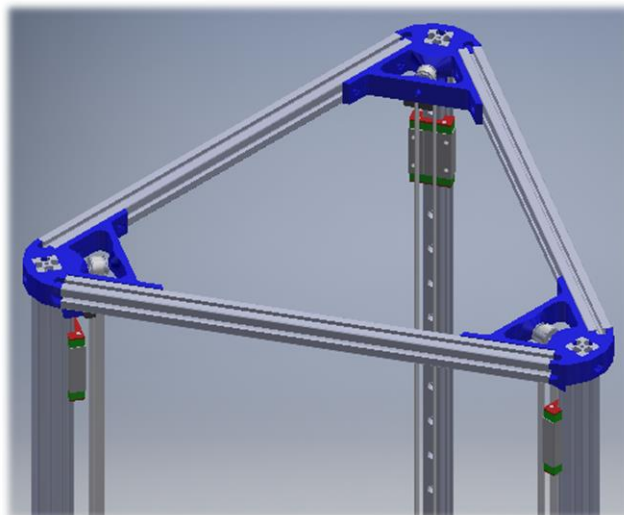


Fonte: Os autores.

⁶ Shield: placa adicional, encaixável nos pinos.

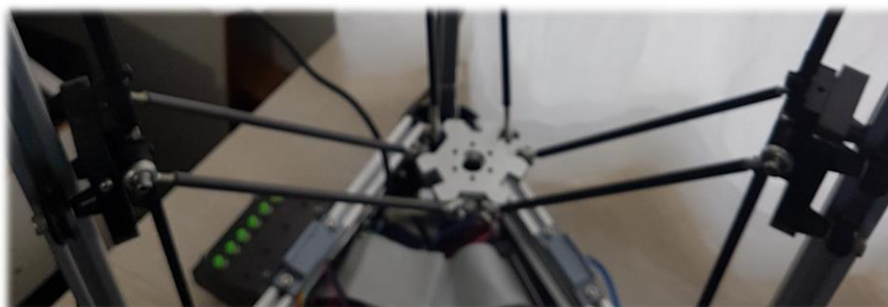
No modelamento a estrutura foi desenvolvida com guias lineares com patins (figura 29), e na montagem física foi utilizado guias lineares com roldanas (figura 30), devido ao custo benéfico, pois não necessitamos da precisão que os patins oferecem.

Figura 29: Carro de transporte com patins



Fonte: Os autores.

Figura 30: Guias lineares com roldanas



Fonte: Os autores.

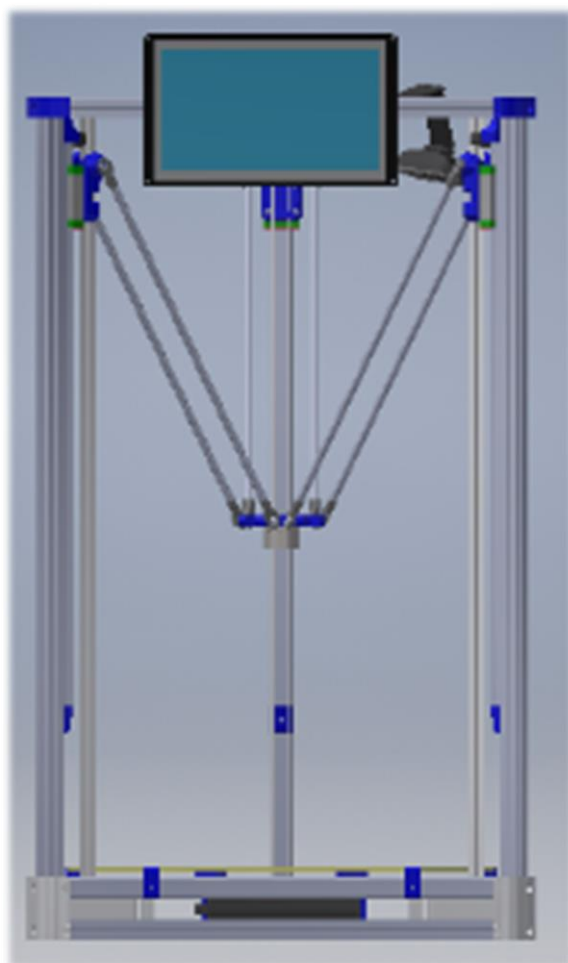
As imagens a seguir mostram o resultado final do projeto real x projeto CAD:

Figura 32: Projeto físico



Fonte: Os autores.

Figura 31: Projeto CAD



Fonte: Os autores.

Após a montagem estrutural damos sequência para a montagem e configuração da parte eletrônica do projeto.

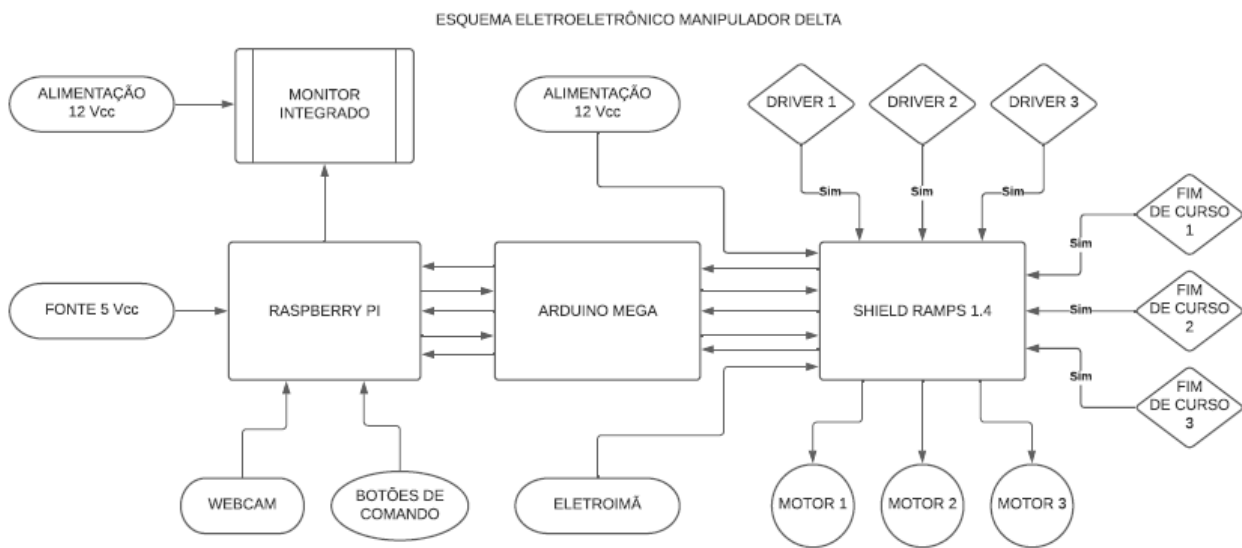
3.6 SISTEMA ELETRO/ELETRÔNICA

Foi desenvolvido um diagrama eletro/eletrônico descrevendo todas as ligações e interações dos componentes elétricos e eletrônicos. No esquema eletro/eletrônico podemos analisar que a duas fontes de energia, sendo um alimentando o monitor integrado e a Placa *Shield Ramps 1.4.*, e outra alimentando a *Raspberry PI*.

Na placa *Raspberry PI* é conectado o Monitor Integrado, Webcam, Botões de Comando e a placa Arduino Mega, sendo que na placa Arduino Mega é conectado a placa *Shield Ramps 1.4*.

A placa *Shield Ramps 1.4* é responsável por controlar os motores de passo e na mesma é conectado os drivers dos motores, os motores de passo e os fins de curso, conforme podemos ver na figura 33 abaixo.

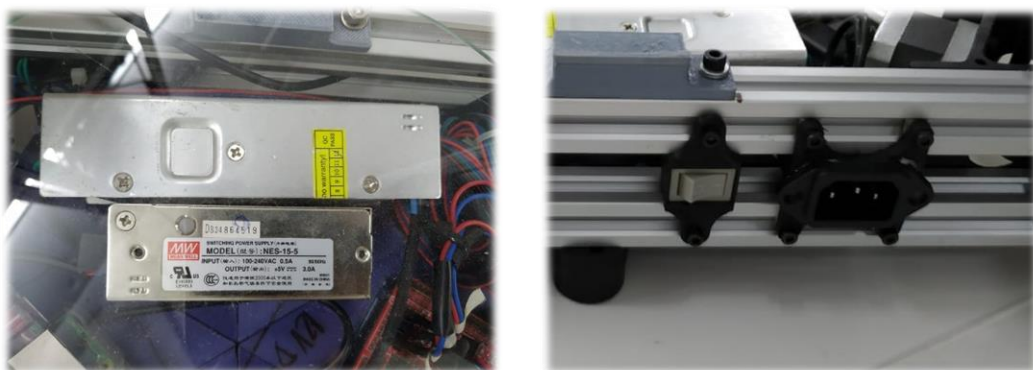
Figura 33: Esquema Eletro/Eletrônico



Fonte: Os autores.

A alimentação elétrica dos circuitos eletro/eletrônica utiliza duas fontes chaveada sendo elas as entradas em 220 Vca e a saída em 12 Vcc - 5A e 5 Vcc – 3A (figura 33). As fontes são alimentadas por um cabo elétrico de fonte de computador conectado num *plug* macho fixado na estrutura mecânica da base com um interruptor ao lado de liga/desliga.

Figura 34: Fonte de alimentação



Fonte: Os autores.

A montagem do sistema eletro/eletrônica é responsável pelo funcionamento do robô, no qual optou-se pela *Raspberry* (figura 34) para o processamento de imagens, e um conjunto *Arduino mega* e *shield ramps 1.4* para o controle do movimento.

O controle do robô é realizado por meio de um sistema de *software* e *hardware*. Este sistema processa os sinais de entrada e converte estes sinais em uma ação ao qual foi programado. Para a implementação do *software* de controle de movimento foi utilizado o ambiente de desenvolvimento *Matlab®*, onde são inseridas as coordenadas cartesianas que o robô irá executar.

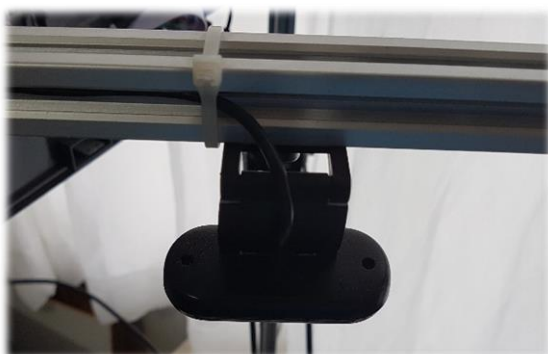
Figura 35: Raspberry



Fonte: Os autores.

A webcam captura imagem (figura 35) e detecta a posição cartesiana do objeto através do processamento de imagem interligado a placa *Raspberry* através do programa fonte, que são visualizadas em um monitor integrado (figura 36) a estrutura mecânica de 10". Após a leitura da posição uma trajetória é criada entre posição inicial e final, então o robô inicia a trajetória fazendo a movimentação dos três motores, onde o eletroímã fara a pega do objeto e o movimentara até a posição final em que soltara o objeto, e então move-se para a posição inicial novamente e para.

Figura 36: Webcam



Fonte: Os autores.

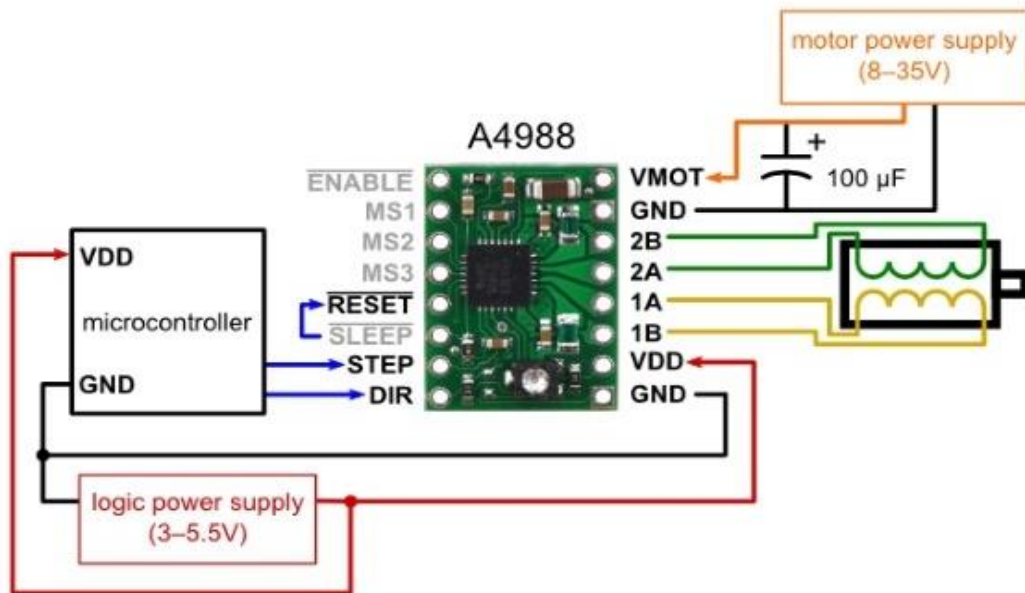
Figura 37: Monitor integrado



Fonte: Os autores.

Os ângulos dos motores são recebidos através da comunicação USB do microcontrolador Arduino Mega2560, que recebe o sinal do fim de curso e faz o acionamento da *Shield Ramps 1.4* com acoplamento de placas drivers A4988 (PWM) que faz a comparação da posição atual com a posição determinada, vide figura 37.

Figura 38:Esquema Driver A4988



Fonte: Datasheet do Fabricante

A determinação do ponto zero (inicial) dos trilhos de movimentação dos eixos são feitas através das chaves fim de curso na extremidade superior da estrutura (figura 38), ligado e monitorado pelo Arduino Mega.

Figura 39: Chave Fim de Curso



Fonte: Os autores

3.7 PROGRAMAÇÃO

O *software* desenvolvido em *Matlab*®, possui duas programações, uma para o processamento de imagem e identificação das peças informando sua localização em tempo real e outra programação pega essas localizações gera um código G, para realizar o movimento de pegar e posicionar as peças, sendo essas duas programações integradas.

O *firmware* é um código que fica no controlador da máquina, em que é responsável por receber e interpreta os comandos *G-code*, coordena os motores e também armazena alguns parâmetros de funcionamento, que permite estabelecer a comunicação com o *software* de controle. O *firmware* utilizado neste projeto foi o Marlin no qual foi adequado conforme a necessidade do projeto.

3.7.1 IHM

O manipulador possui uma tela integrado de 10” (figura 39), a qual é feita a interação homem máquina. No menu superior temos identificação de Imagem e abaixo os itens de seleção de cores primárias: vermelho, verde, azul, e formas geométricas: quadrado, triângulo e círculo.

Na interface de interação homem máquina possui duas janelas, sendo a primeira janela para a imagem captada via webcam e na segunda janela a imagem binária, sendo que as peças selecionadas conforme determinação do usuário está em branco deixando o fundo da imagem capturada pelo webcam em preto.

Figura 40: IHM

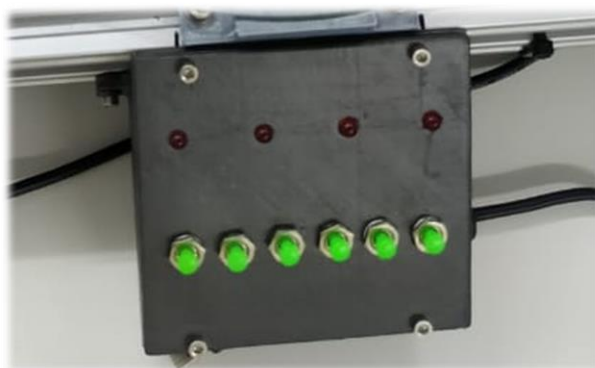


Fonte: Os autores

3.7.2 Botões de Operação

O manipulador possui botões para facilitar sua operação (figura 40), sendo que o primeiro botão realiza a seleção do tipo do objeto pela cor ou geometria, o segundo e terceiro botão fazem um ajuste manual dos níveis de saturação das cores e os outros botões são reservas para que possam ser realizados outros ajustes de inicialização, pausa e etc.

Figura 41: Botões de Operação



Fonte: Os autores

3.7.3 Captura Imagem

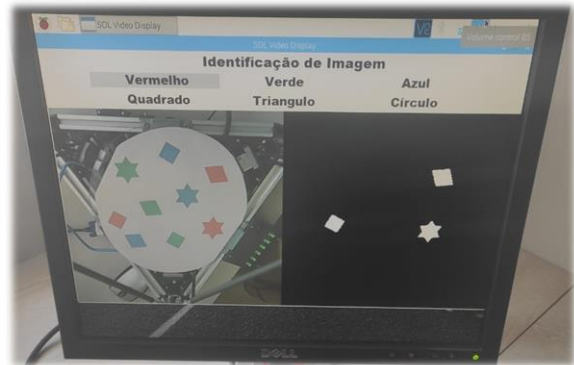
Para realizar o processamento da imagem captada pela webcam, a programação realiza a leitura da imagem faz um pré-processamento mostrando na primeira imagem da IHM, converte a imagem que saí da webcam em imagem RGB mostrando somente as cores vermelho, verde e azul (figura 41, 42, 43) para que em uma função ele selecione somente a cor ou geometria selecionada, convertendo essa imagem em dois níveis binário 0 (zero) e 1 (um) com a função *'bw'* e *'thresh'*, realiza na sequência uma filtragem da imagem retirando possíveis ruído e em um novo processamento em modo binário mostra as peças selecionada na cor branca e o restante da imagem em preto mostrado na segunda imagem.

Figura 42: Seleção verde



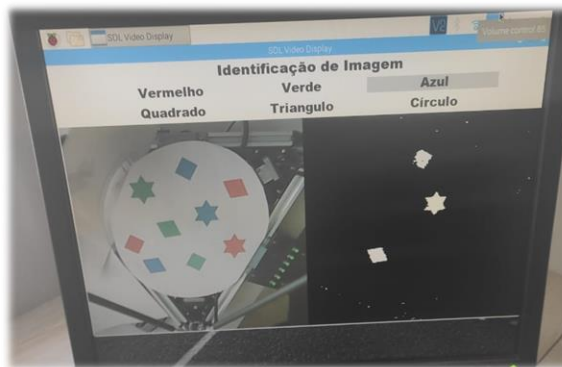
Fonte: Os autores

Figura 43: Seleção vermelho



Fonte: Os autores

Figura 44: Seleção azul

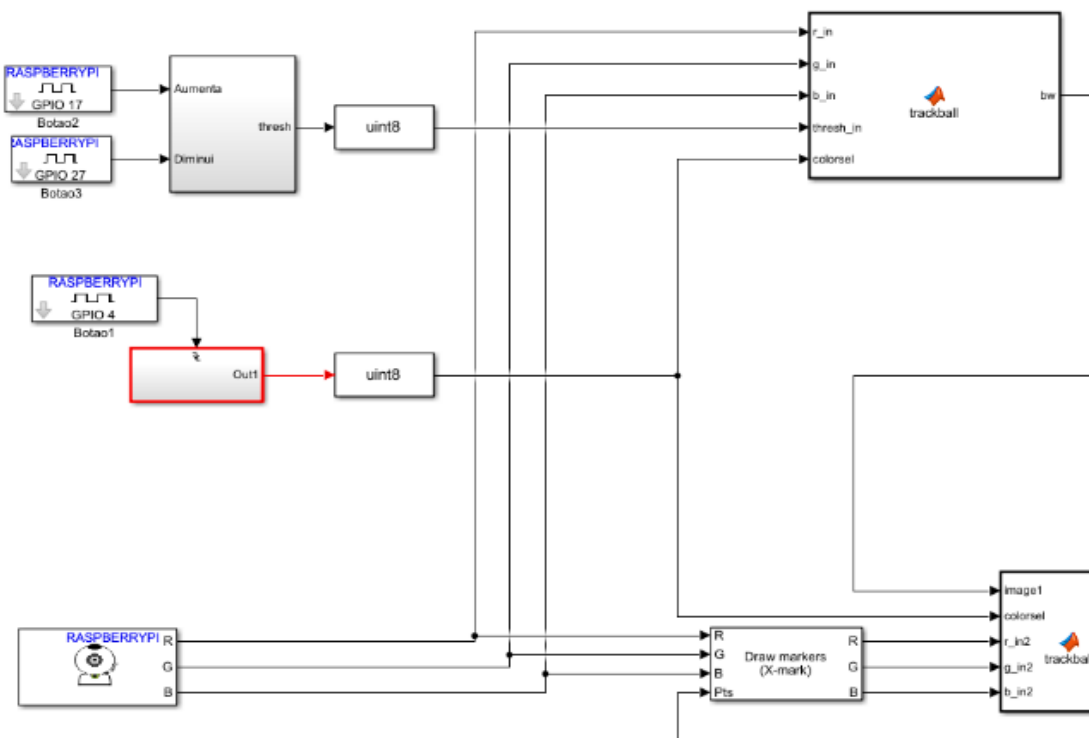


Fonte: Os autores

3.7.4 Identificação de Peças

O processamento de imagem é realizado em níveis binários onde é feita uma análise das partículas em branco (peças), calculando área, centro e perímetro dessas peças, para que não haja erros e o manipulador identifique algum ruído na imagem e gere um ponto de pegar que não seja peça. O programa possui uma função que compara as áreas das peças geradas e se essa área é compatível com uma peça ou não. Após confirmação da quantidade de peças confirmadas é compilado os dados a partir do centro geométrico dessas peças, gerando as coordenadas cartesianas no plano x, y. (Vide anexo 6). Na figura 44 tem uma amostra do programa no *Simulink*. O manipulador possui um gatilho para ajustar a saturação dos níveis de cores, regulando a sensibilidade, identificando uma cor mais escura ou mais clara que são recebidos nessa parte do programa melhorando a nitidez e a visualização das peças.

Figura 45: Bloco programação processamento de imagem



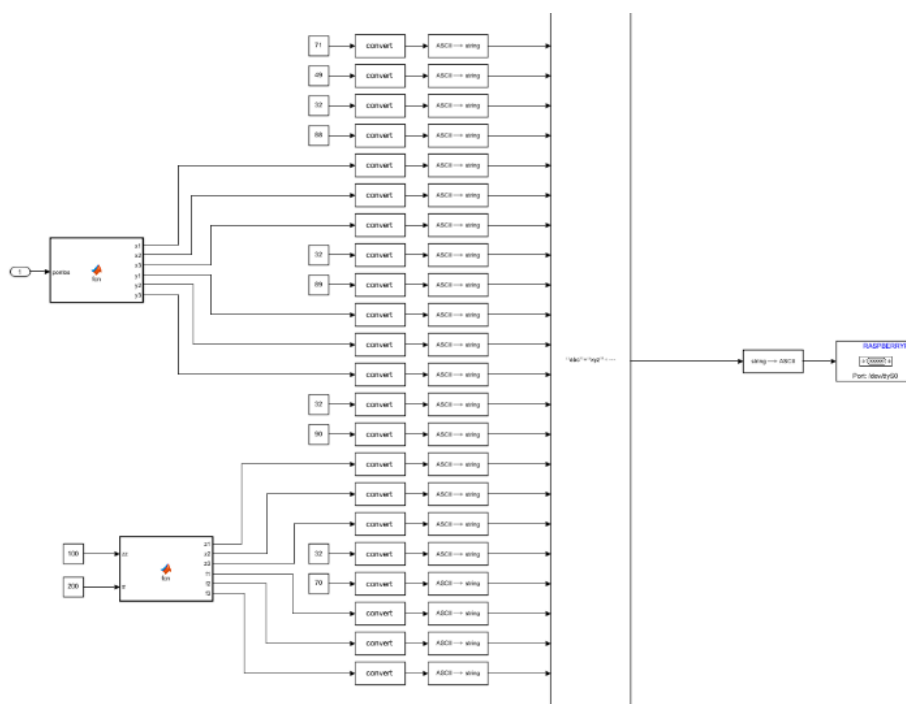
Fonte: Os autores.

3.7.5 Movimentação

Para realizar a movimentação do manipulador *pick-and-place*, são necessários pegar as coordenadas cartesianas do centro geométrico das peças (ponto de pegada) gerado pelo primeiro programa, juntamente com os parâmetros pré-configurados como o ponto de largada, offset de aproximação, controle de velocidade: aproximação, pegada, e movimentação do manipulador. Depois de compilados esses dados, gera-se um conjunto de comandos de código G em número decimal, tipo ASCII, criando uma trajetória de movimentação que se comunica via USB com o *firmware Marlin* do Arduino Mega que fara o controle e acionamento dos servos motores e do eletroímã.

A segunda etapa da programação (figura 45) foi inserida uma função que arruma os pontos, trabalhando em conjunto com um contador, para não ter problemas de o robô tentar manipular duas peças ao mesmo tempo, e então a cada peça movimentada ele conta +1 e envia para essa função, que altera os pontos de pega peça para os pontos da peça que está na sequência e assim em diante. Essa contagem é realizada de acordo com a quantidade de pontos do centro geométrico das peças encontrado na imagem binária. (Vide anexo 7).

Figura 46: G-code



Fonte: Os autores.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho de conclusão de curso teve como objetivo geral o desenvolvimento de um manipulador paralelo em configuração Delta, executando movimentos de *pick-and-place* através do reconhecimento de imagem dos objetos/peças via webcam.

Esse trabalho se propôs em adquirir conhecimento técnico em cima de pesquisas e o estudo para o desenvolvimento de uma lógica de programação que realiza o reconhecimento dos objetos no plano bidimensional através da sua localização cartesiana. Dentro das limitações impostas durante o desenvolvimento do projeto, os objetivos propostos foram alcançados de forma satisfatória.

Com base nas pesquisas em empresas de automação robótica, há uma grande busca atualmente na aquisição e adequações de robôs que realizam o processamento de imagem para localização, manipulação e para o controle de qualidade. Além de ser de suma importância para o meio acadêmico, otimizando o aprendizado em interfaces computacionais que possibilitam o controle do robô visualizando os movimentos do modelo virtual, estudos de precisão, repetibilidade, análise de volume, cadeias cinemáticas dentre outras aplicações que irão agregar mais conhecimentos aos alunos.

Com base na análise do desenvolvimento deste trabalho há algumas sugestões de melhorias futura, visto que a programação foi dividida em duas etapas, uma oportunidade de melhoria seria unir os dois códigos em uma única programação deixando mais compacto e em um único arquivo. Outra oportunidade se aplica aos ajustes de saturação no qual os mesmos são realizados manualmente podendo ser criado uma função que execute esses ajustes automaticamente no código fonte via software. Sugerido a otimização na programação para o reconhecimento de peças pela sua forma geométrica, visto que não tivemos tempo hábil para finalizar, porém a proposta do trabalho foi atingida com a detecção de peças pela cor através do reconhecimento por imagem.

ANEXOS

Anexo 1: Fichamento.....	53
Anexo 2: Questionário das necessidades dos clientes.....	56
Anexo 3: Matriz QFD.....	60
Anexo 4: Requisitos dos Clientes.....	61
Anexo 5: Valores e Metas.....	62
Anexo 6: Programa identificação peça.....	63
Anexo 7: Programa de movimentação.....	67

ANEXO I

FICHAMENTO

ESTRUTURA DELTA

“A estrutura Delta foi proposta na década de 80, por Reymond Clavel da EPFL (Escola Politécnica Federal de Lausana - do francês École polytechnique fédérale de Lausanne), Suíça (LOPES, 2002). Esse mecanismo possui 3 graus de liberdade (número de parâmetros independentes que são necessários para se definir a posição de um corpo no espaço em qualquer instante) e opera com a função de Pick-and-Place (OLSSON, 2009). Para executar tal função, e como diferencial, será utilizado controle de reconhecimento de objetos por imagem através de uma webcam.” (JUBELLI; LIMA; HORSTMANN, 2013)

SISTEMA DE VISÃO

“[...]A visão computacional ou visão de máquina pode ser definida, basicamente, como a aquisição e digitalização de dados por um dispositivo de visão (câmeras), no processamento desses dados e em sua interpretação por um computador (GROOVER et al., 1988). A aquisição das imagens é feita através de uma câmera de vídeo e o sistema de digitalização armazena esses dados para serem analisados posteriormente (GROOVER et al., 1988). O processamento e a análise das imagens obtidas são o segundo passo de um sistema de visão. Existem várias tecnologias para se realizar a análise das imagens obtidas em um sistema de visão, sendo uma das principais a técnica da segmentação (GROOVER et al., 1988). A última etapa, a interpretação dos dados obtidos, consiste em se comparar os dados obtidos pelo sistema de visão com modelos ou valores pré-existentes em um banco de dados. O objeto em questão deve apresentar valores que se encontrem dentro das tolerâncias especificadas nos arquivos do computador para que o sistema seja capaz de interpretar a operação que deve realizar sobre o objeto em análise, peça conforme, não conforme, descarte, etc. (GROOVER et al., 1988) Além disso, existem outras

questões a serem consideradas em sistemas de visão como, por exemplo, o tipo de câmera a ser utilizada, a iluminação, a resolução que se pretende obter da imagem e o treinamento do sistema de visão.” (LAZZARI; OLIVEIRA; PAIXÃO, 2012).

PROCESSAMENTO DE IMAGEM

“O protótipo de robô desenvolvido no trabalho está habilitado a se locomover através de um ambiente controlado utilizando a técnica de line tracing e efetuar o reconhecimento de figuras geométricas planas que estarão dispersas ao longo do caminho percorrido. O controle do robô e o reconhecimento das imagens são efetuados por um microcomputador. A comunicação entre o microcomputador e o robô é realizada através das interfaces serial e paralela. A interface serial é utilizada para a transmissão de comandos para a câmera, bem como o recebimento da imagem capturada. Já a interface paralela é utilizada para enviar sinais de controle aos motores e receber o status dos sensores de posicionamento do robô.” (OLIVEIRA, 2001).

PROCESSAMENTO DE IMAGEM DIGITAL COM MATLAB

“O processamento de imagem digital constitui um importante desenvolvimento na área da visualização de imagens permitindo melhorar a sua interpretação e realçar aspetos distintos conforme os fins a que se destinam. A indústria tem vindo progressivamente a usar este tipo de técnicas na melhoria do processo de fabrico, por exemplo em situações de avaliação e classificação automática por substituição da visão humana. Neste estudo pretende-se aplicar técnicas de processamento de imagem em contexto industrial, nomeadamente pela aplicação e comparação de diferentes algoritmos de computação numérica. O *Matlab*® é uma importante ferramenta de computação numérica que permite efetuar o tratamento da imagem digital e que se pretende que seja utilizada na resolução de um problema real.” (PROCESSAMENTO... 2013)

“[...] O *Matlab*® é um software de computação numérica que integra computação, visualização e programação num ambiente simples e onde problemas e

soluções são expressos em notação matemática. Alguns exemplos de aplicação: matemática e computação, desenvolvimento de algoritmos, aquisição de dados, modelação, simulação e protótipo, análise de dados, exploração e visualização, gráficos. O *Matlab*® é um sistema interativo cujo elemento base é um array que não requer dimensionamento, o que permite a formulação de soluções de muitos problemas, em particular os que envolvem a representação de matrizes como o processamento de imagem digital.” (PROCESSAMENTO... 2013)

ANEXO 2

QUESTIONÁRIO DAS NECESSIDADES DOS CLIENTES

Questionário é uma das formas para poder identificar a necessidade dos clientes, esse questionário irá apresentar suas respostas em dois contextos no ambiente acadêmico e no contexto de mercado.

A primeira etapa avalia as questões de clientes e mercado:

1. Quem são os principais clientes, aqueles que são afetados diretamente pelo produto? Não apenas quem irá comprar e usar o produto.

R: Acadêmico: Os alunos que estão desenvolvendo o produto, fabricantes e vendedores dos materiais.

Mercado: Empresas que necessitem realizar a manipulação de peças metálicas de pequeno porte (ex.: fabricantes e montadoras), local onde serão revendidos os produtos que foram manipulados (ex.: lojas e supermercados).

2. Quem são os clientes secundários, aqueles de alguma forma relacionados com o produto? Instalações, pessoal de serviço, etc.

R: Acadêmico: Como se trata de um produto modular as empresas que fornecem os módulos para montagem do produto (fornecedor da câmera, estrutura delta, servos motores e placa eletrônica...).

Mercado: Mão de obra especializada que prestam serviços de manutenção, programação, montagem e entre outros.

3. O que os clientes gostariam de conseguir com o produto? Desempenho, custo, níveis de qualidade, etc.

R: Acadêmico: Conhecimento aprofundado na cinemática inversa, processamento de imagens e manipulação de peças realizado por robôs.

Mercado: Desempenho com alta velocidade e precisão na manipulação de peças por processamento de imagem com baixo custo.

4. Quem são os clientes que estão comprando, e de quem?

R: Indústrias de fabricação e montagem de vários setores. Atualmente vendedores: Kuka Roboter do Brasil, Mectrol® Automação Industrial, ABB Automação Industrial.

Nessa segunda etapa avaliamos as questões de uso e desativação:

1. Quais devem ser as funções principais do produto? Quais devem ser as funções secundárias do produto?

R: A função principal do produto seria para manipulação de peças metálicas classificada por cor. Outra função do produto poderá ser aplicada para controle de qualidade por imagem (Ex. Inexistência de código de barras, falhas na pintura ou falta de algum componente).

2. Quais são as habilidades daqueles que irão usar o produto?

R: Conhecimento técnico básico em robótica.

3. Qual será a frequência de uso, e os períodos de utilização e não utilização.

R: Acadêmico: Uso semanal aplicando o conhecimento teórico da matéria de robótica na prática.

Mercado: Dependendo da aplicação, podendo ser utilizado por 24 horas.

4. Qual será o tempo de vida do produto?

R: Indeterminado levando em conta o uso adequado, sendo realizado as manutenções preventiva e preditiva no equipamento.

5. Em que ambiente o produto será utilizado?

R: Aplicabilidade deve ser em ambientes limpos e bem iluminados para que não haja interferência.

6. Quais são as condições de segurança relacionadas com as pessoas, produto e ambiente?

R: Acadêmico: Procedimento de segurança, bloqueando a potência do robô para intervenção segura,

Mercado: Atender os requisitos de segurança do MTE de acordo com a Norma Regulamentadora 12.

7. Quais serão os efeitos da desativação ou abandono temporário ou permanente?

R: O abandono temporário do robô poderá acarretar na oxidação dos elementos de transmissão de movimentos, bem como na perda dos parâmetros.

8. Quais são as habilidades daqueles que irão reaproveitar o produto desativado?

R: Conhecimentos básicos de mecânica, elétrica ou eletrônica.

Outro contexto abordado é sobre produção, distribuição e instalação:

1. Quantos produtos serão produzidos?

R: Um produto modelo de demonstração para parametrização e programação servindo de modelo para outros projetos.

2. Qual deverá ser o tempo de produção do produto?

R: 15 dias para compra do material, 40 horas de montagem e 60 horas de programação e testes.

3. Qual será a frequência de produção?

R: Baixa, em pequena escala.

4. Quais materiais serão processados?

R: Todos os componentes serão comprados pronto.

5. Quais processos de fabricação e montagem serão necessários e quais os disponíveis?

R: Somente o processo de montagem realizados por profissionais da área ou estudantes acadêmicos da área.

6. Quais serão as habilidades daqueles envolvidos com a produção, distribuição e instalação?

R: Será produzido uma unidade, poucas pessoas, serão necessário estudantes e profissionais com nível técnico para essa operação.

7. Como o produto será testado?

R: Pelos fabricantes dos componentes e pelo responsável pela montagem, testando todos os graus de liberdade do robô.

8. Como o produto será embalado?

R: Desmontado em caixas de papelão com plástico bolha.

9. Como o produto será transportado?

R: Sem restrições para transporte.

Outro quesito avaliado são as questões de empresa:

1. Como a empresa pretende custear o empreendimento?

R: O IFSC custeou a compra dos componentes para fins acadêmicos.

2. Qual a posição que a empresa pretende ocupar entre os concorrentes?

R: Estudos avançados na área de robótica com aplicação pratica.

3. Quais as metas da empresa?

R: Acadêmico: Estudantes com ensino prático diferenciado em robótica.

4. Que recursos financeiros são disponíveis?

R: Está sendo financiado pelo IFSC.

5. Qual é o tempo disponível?

R: 1 ano e meio (18 meses).

6. Qual é o máximo custo aceitável para o produto?

R: R\$1500,00 para compra e montagem.

7. Quais são os fornecedores preferenciais?

R: Sem preferência, optar pelo custo menor tendo a pronta entrega.

E por último questionamos os fatores externos:

1. Quais os conhecimentos científicos e tecnológicos necessários, e quais são os disponíveis?

R: Estudos técnicos e científicos de robótica. (Técnico ou Tecnólogo em Mecatrônica ou Engenharia Elétrica e Mecânica)

2. Como está e como estará a situação de desenvolvimento econômico no ambiente da empresa e do cliente?

R: Acadêmico: Está com poucos robôs e contará com mais com o seu termino.

Mercado: Baixo interesse para essa configuração de robô delta e poderá aumentar para solução de perdas de produtividade e serviços repetitivos.

3. Existem decisões políticas por parte de autoridades, que podem afetar o produto?

R: Não.

4. Qual é a legislação associada com o produto, os clientes e a empresa?

R: NR 12.

5. Quais são as demandas e limitações sociais, culturais e religiosas?

R: Não se aplica.

6. Como pode o produto perturbar o meio ambiente?

R: Não há perturbação havendo o descarte correto.

ANEXO 4

REQUISITOS DOS CLIENTES

Câmera adaptável a todos os ambientes	Espaço de trabalho grande
Baixo custo	Aplicação em diversos setores industriais
Aparência agradável	Altas temperaturas
Cor agradável	Flexível
Retorno do investimento há curto prazo	Utilizado em qualquer tipo de ambiente
Baixo peso	Fácil usabilidade
Peças de reposição de fácil acesso	Fácil de montar
Aumento da capacidade produtiva	Transportabilidade flexível
Baixo índice de falha	Reciclável
Reciclabilidade	Padronizado
Segurança	Fácil parametrização dos dados
Compacto	Garantia
	Contato direto entre cliente x fabricante

Fonte: Os Autores

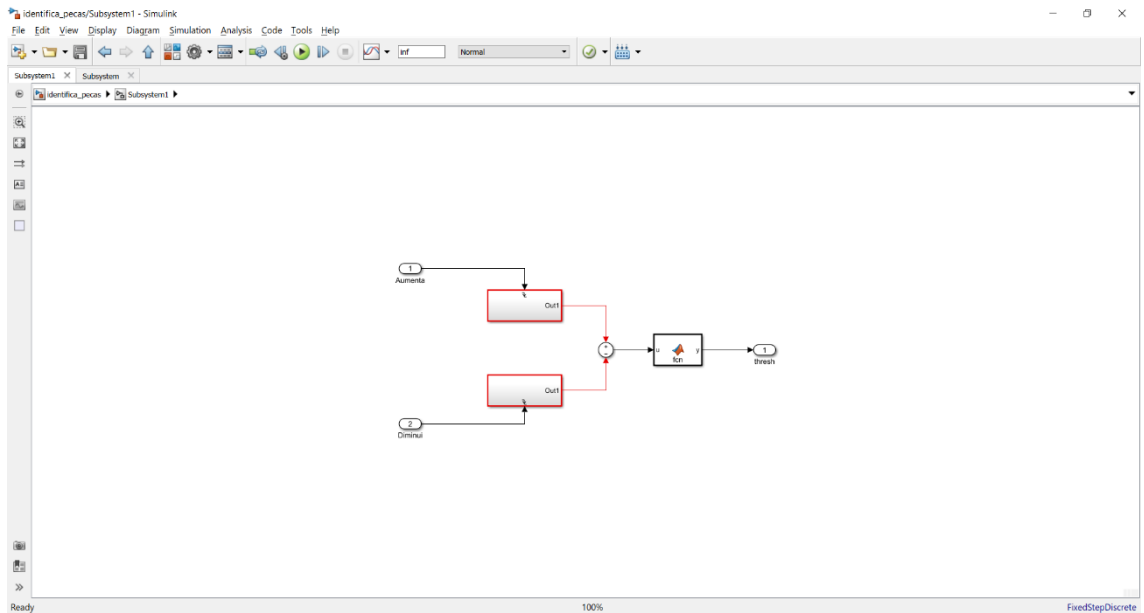
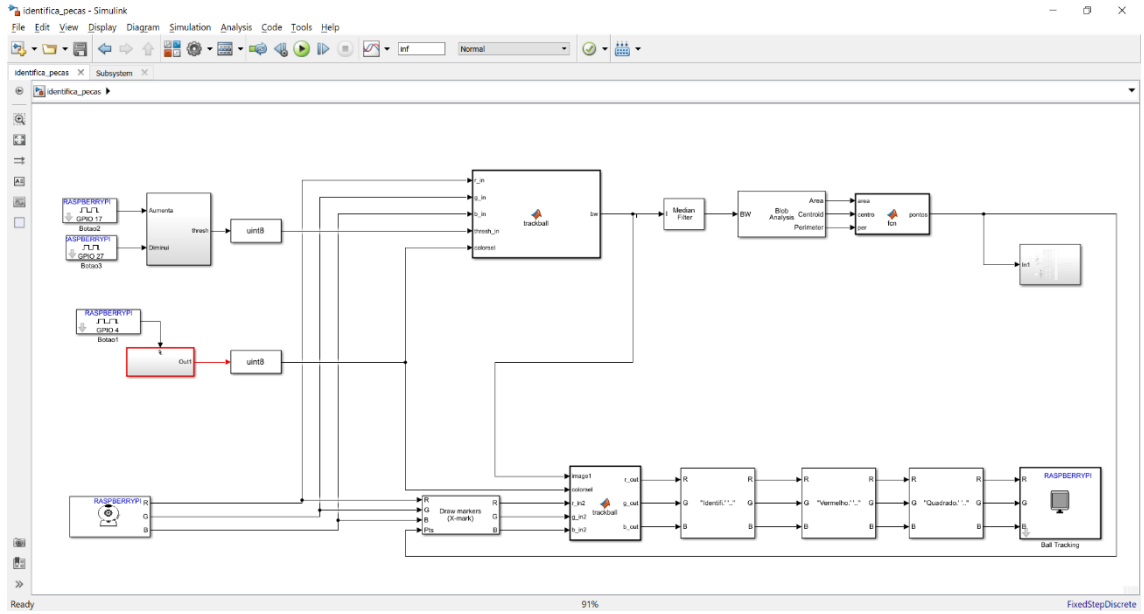
ANEXO 5

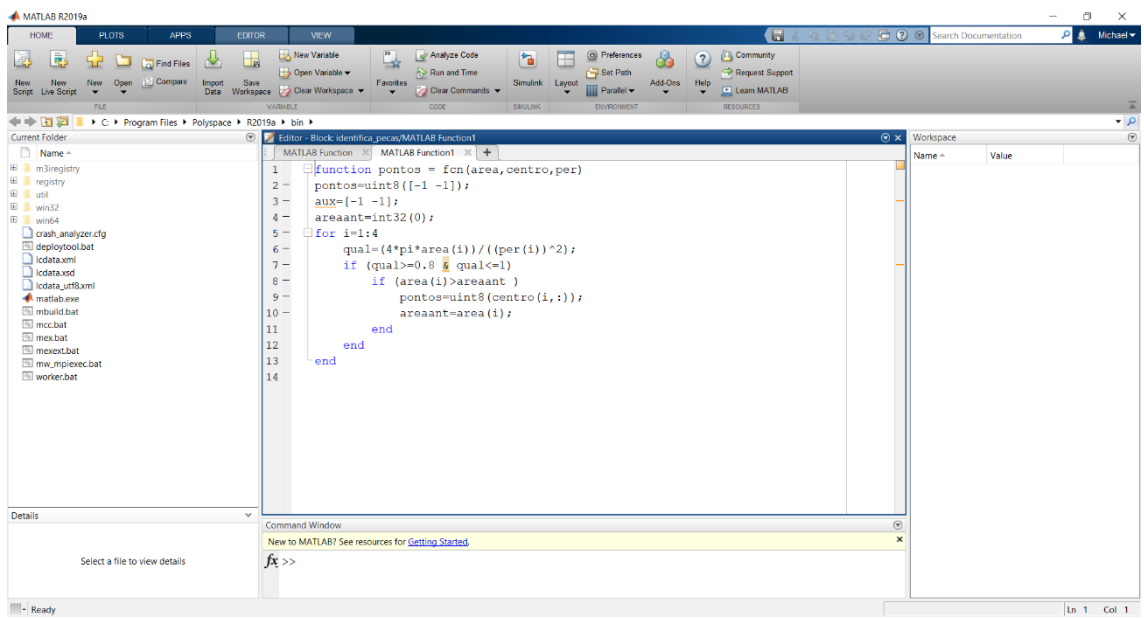
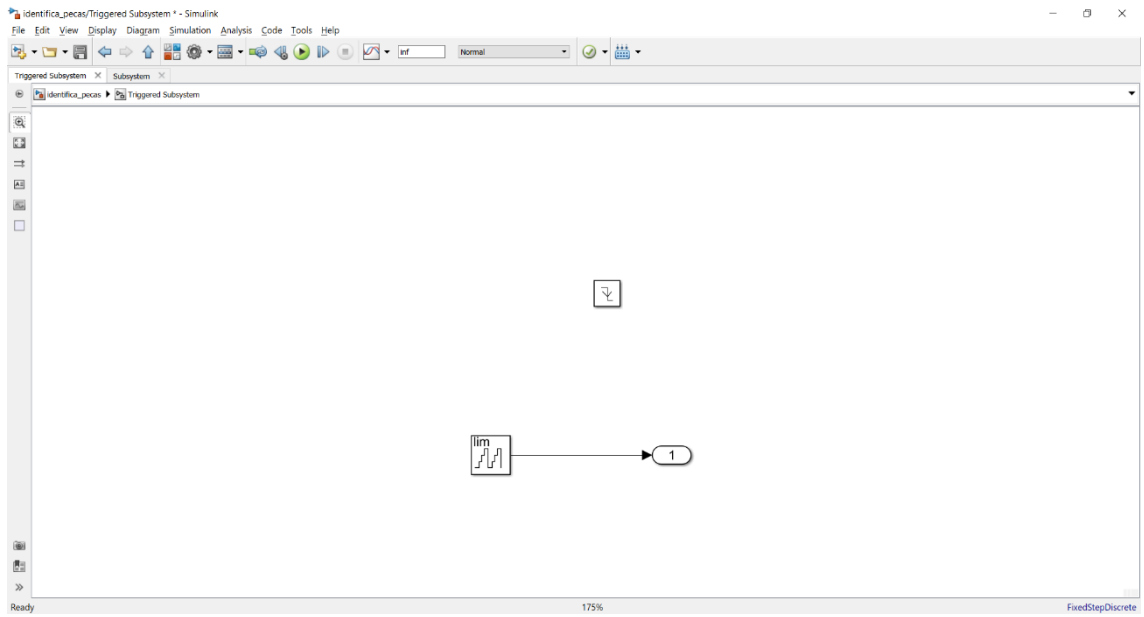
VALORES E METAS

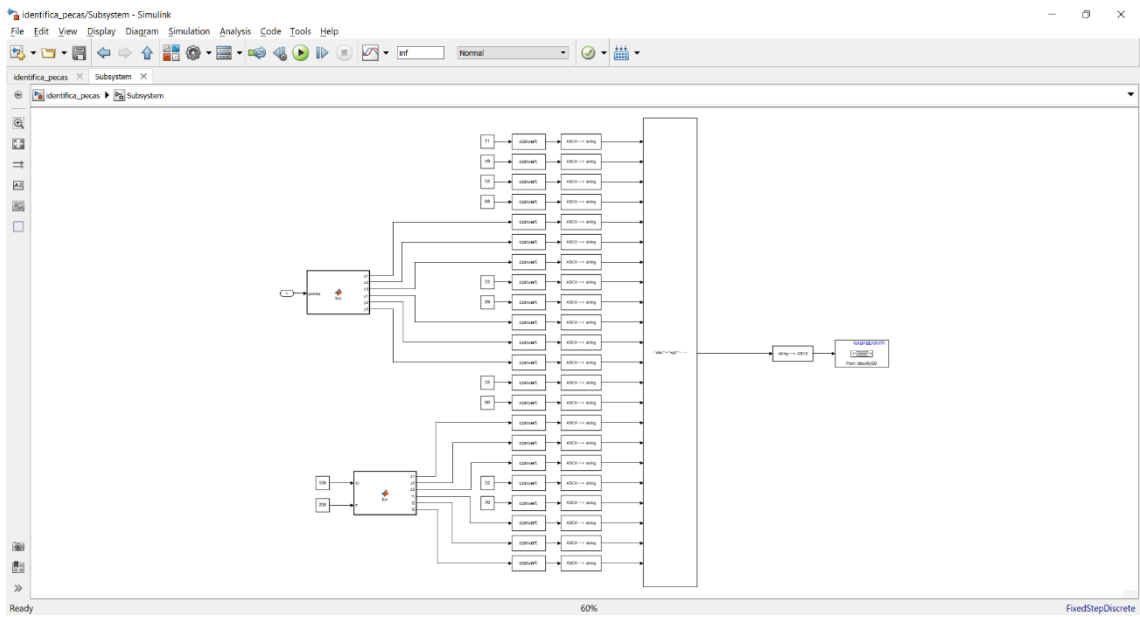
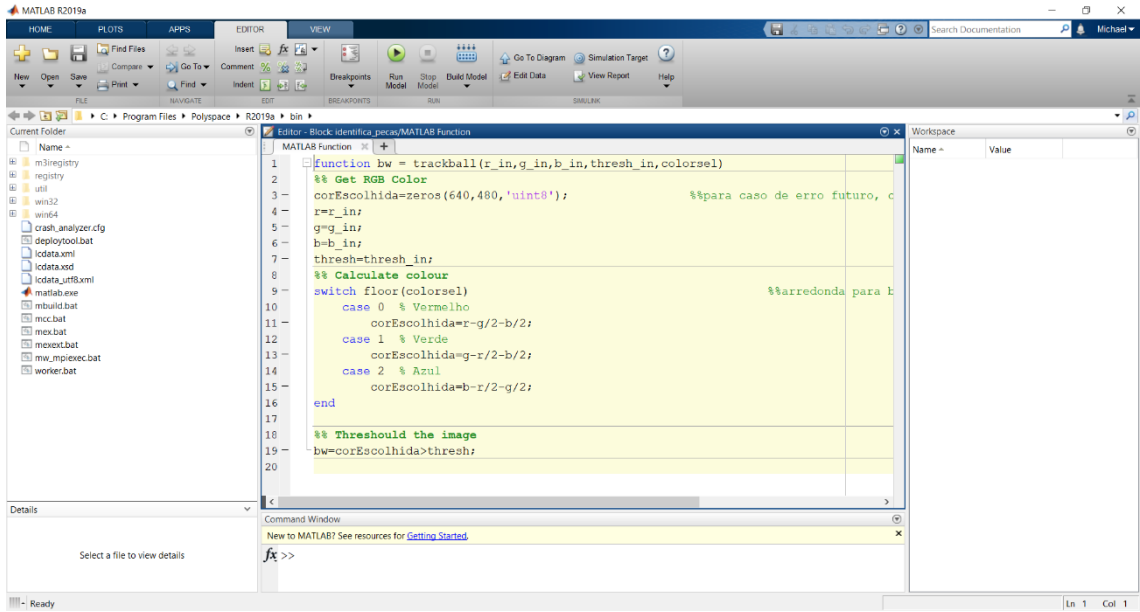
Requisitos do projeto	Valor meta	Sensor	Observações
Alta precisão	> 95%	Porcentagem	
Alta velocidade	> 3 cps	Ciclos por segundo	
Sistema de visão com alta resolução	> 20 MP	Megapixel	
Custo razoável	< R\$ 3.000,00	Reais	
Alta eficiência de produção	> 95%	Porcentagem	
Robô pré programado	>5	Quantidade	Quantidade de programas pré programados
Produto modular	100%	Porcentagem	
Depende de uma mão de obra capacitada	Capacitado	Treinamento	
Deve ser montado por mão de obra especializada	Nível técnico	Nível de formação	
Materiais inovadores e com menor impacto ambiental	> 80%	Porcentagem	
Suporte técnico	1 ano	Anos	
Operação com segurança garantida	> 55	Ip	
Produto reciclável	> 90%	Porcentagem	
Projeto robusto	< 10 kg	Peso	
Projetar garra para outros tipos de materiais	> 1	Quantidade	Quanto tipos de peças pode ser aplicado
Espaço de trabalho é limitada pela geometria do manipulador	+/- 45 m ²	Metros quadrado	
Aplicação para materiais ferromagnéticos	>> 1	Permeabilidade magnética	
Design auspicioso	> 50%	Porcentagem de aceitação	
Atender todas as normas, leis e decretos exigidos	100%	Porcentagem	
Densidade do Material e ligas leves	+/- 2,7 g/m ³	peso por centimetro cubico	
Não há restrições para o transporte	< 10 kg	Peso	
Contrato de responsabilidades	1 ano	Anos	
Cores neutras	100 IRC	Indice de reprodução de cor	
Dimensões do produto	700 x 300 mm	Milímetros	
Deve ser instalado em ambiente iluminado	> 3500 lux	lux	

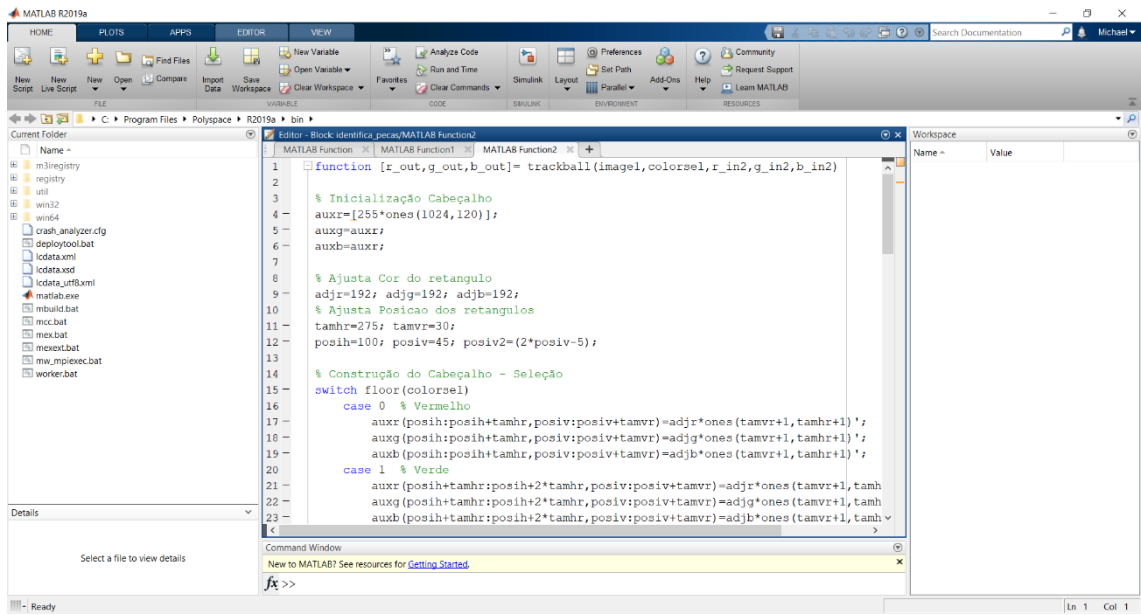
ANEXO 6

PROGRAMA DE IDENTIFICACAO DE PEÇAS



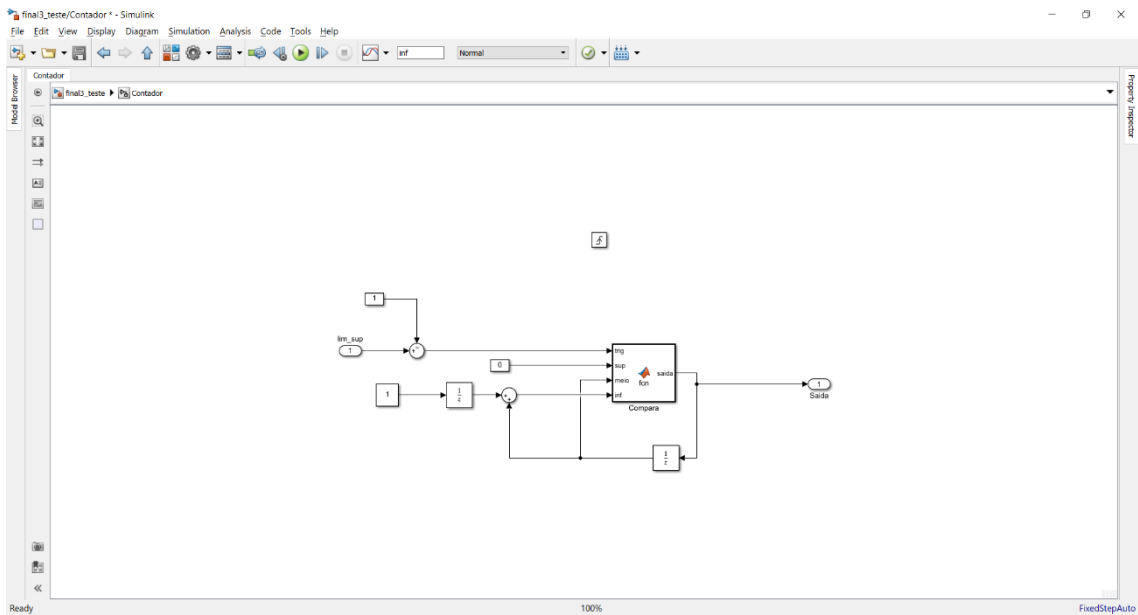
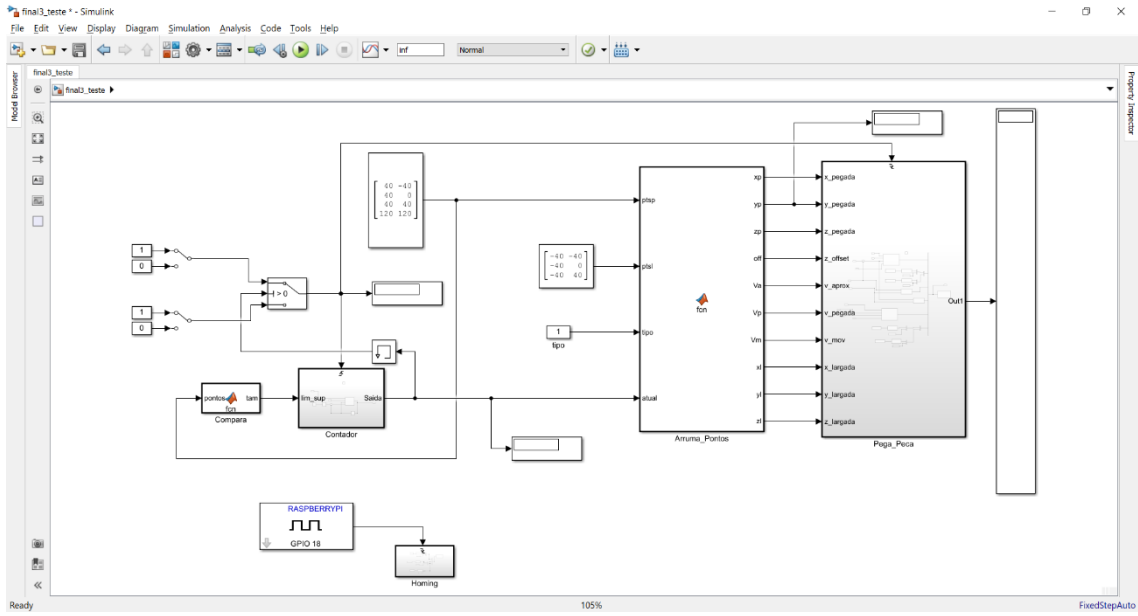


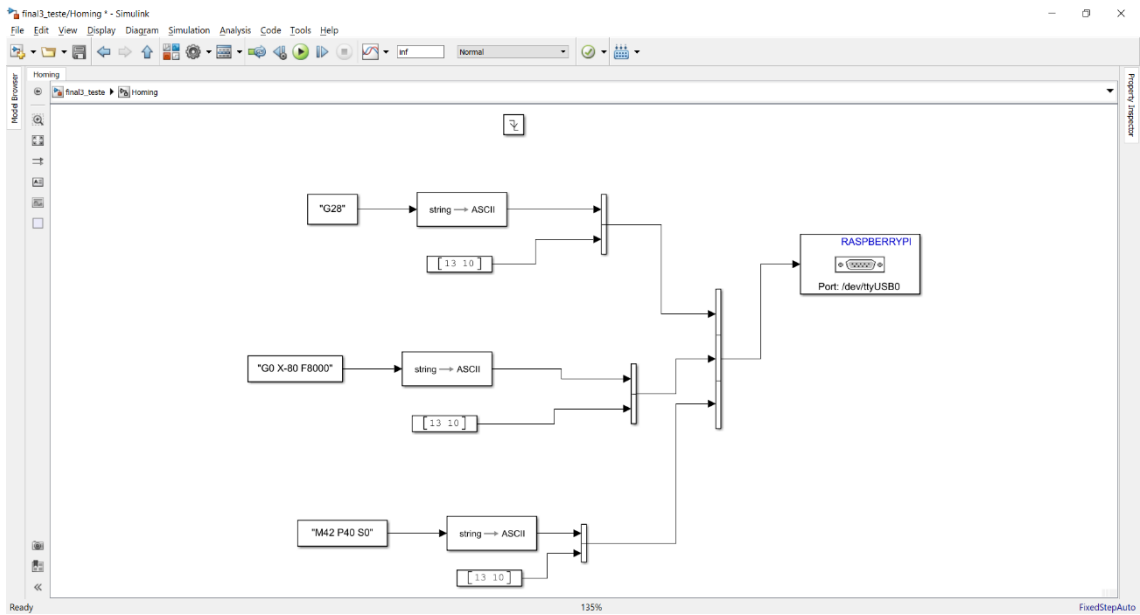




ANEXO 7

PROGRAMA DE MOVIMENTACAO





MATLAB R2019a

Editor - Block: final3_teste/Arma_Pontos

```

1 function [xp, yp, zp, off, Va, Vp, Vm, xl, yl, zl] = fcn(ptsp, ptsl, tipo, atua
2 xp=ptsp(atual+1,1);
3 yp=ptsp(atual+1,2);
4 if ((xp==120) || (yp==120))
5     xp=ptsp(atual+1,1);
6     yp=ptsp(atual+1,2);
7     zp=20; % Altura de Pegada da Peça
8     off=20; % Distância de Aproximação
9     xl=ptsl(tipo,1);
10    yl=ptsl(tipo,2);
11    zl=40; % Altura de Largada da Peça
12 else
13     xp=int8(-70);
14     yp=int8(0);
15     zp=200; % Altura de Pegada da Peça
16     off=0; % Distância de Aproximação
17     xl=int8(-70);
18     yl=int8(0);
19     zl=200; % Altura de Largada da Peça
20 end
21
22 Va=8000; % Velocidade de Aproximação
23 Vp=3000; % Velocidade de Pegada

```

Workspace

Name	Value

Command Window

```

fx >>

```

REFERÊNCIAS

DIAGRAMA de blocos do controle em malha fechada de um manipulador robótico. 2020. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~adao/SR2y.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2020.

SISTEMA de controle malha aberta. 2020. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~adao/SR2y.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2020.

BOLTON, William. Mecatrônica: **Uma abordagem multidisciplinar.** 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

PAZOS, Fernando. **Automação de Sistemas e Robótica.** Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil Editora, 2002.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos elétricos.** 4. ed. São Paulo: Érica Ltda, 2011. 250 p.

WIRTH JUNIOR, Almir. **Eletricidade e eletrônica básica.** 4. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2009. 320 p.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia De Controle Moderno.** 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. 809 p. Disponível em: <https://idoc.pub/documents/engenharia-de-controle-moderno-katsuhiko-ogata-5-ediao-d4pqqpexovnp>. Acesso em: 20 mar. 2020.

Arduino Mega. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>. Acesso em: 24 mar. 2020.

GEORGINI, Marcelo. **Automação Aplicada.** Rio de Janeiro: Érica Ltda, 2002. 240 p.

SILVEIRA, Paulo Rogério da; SANTOS, Winderson E. Dos. **Automação e Controle Discreto.** 6. ed. São Paulo: Érica, 2004.

ROMANO, V.F., DUTRA, M.S., **Introdução à Robótica Industrial**. Campinas: UNICAMP, 1999. 21 p.

JUBELLI, Fabio Junior; LIMA, Marcelo de; HORSTMANN, Robson Luiz. **MANIPULADOR PARALELO EM CONFIGURAÇÃO DELTA**. 2013. Disponível em: <<http://joinville.ifsc.edu.br/~bibliotecajoi/arquivos/tcc/mecind/108459.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2018.

PROCESSAMENTO de imagem digital com MatLab: uma aplicação em ambiente industrial. uma aplicação em ambiente industrial. 2013. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/55625503.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2018.

OLIVEIRA, Emerson de. **PROTÓTIPO DE UM ROBÔ RASTREADOR DE OBJETOS**. 2001. Disponível em: <<http://dsc.inf.furb.br/arquivos/tccs/monografias/2001-1emersondeoliveiravf.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2018.

LAZZARI, Felipe dos Santos; OLIVEIRA, Henrique Ribeiro de; PAIXÃO, Teilor Sabino. B. de Q. **DESENVOLVIMENTO DE UM ROBÔ PARALELO TIPO DELTA ASSOCIADO COM VISÃO COMPUTACIONAL PARA APLICAÇÕES PICK AND PLACE**. 2012. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/929/1/CT_COMET_2012_1_02.pdf>. Acesso em: 05 out. 2018.