

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

ÁLISON VINÍCIUS DE OLIVEIRA VIEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM MANIPULADOR ROBÓTICO DE BAIXO CUSTO  
PARA USO DIDÁTICO**

João Monlevade

2018

ÁLISON VINÍCIUS DE OLIVEIRA VIEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM MANIPULADOR ROBÓTICO DE BAIXO CUSTO  
PARA USO DIDÁTICO**

Monografia apresentada ao curso Engenharia de Computação do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para aprovação na Disciplina “Trabalho de Conclusão de Curso II”.

Orientador: Prof. Dr. Harlei Miguel de Arruda Leite

João Monlevade

2018

V658d      Vieira, Alíson Vinícius de Oliveira .  
Desenvolvimento de um manipulador robótico de baixo custo para uso  
didático [manuscrito] / Alíson Vinícius de Oliveira . Vieira. - 2018.  
  
55f.: il.: tabs.  
  
Orientador: Prof. Dr. Harlei Miguel de Arruda Leite.  
  
Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de  
Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Computação e Sistemas de  
Informação.  
  
1. Robôs - Sistemas de controle. 2. Robótica. 3. Manipuladores (Mecanismo).  
4. Automação. I. Leite, Harlei Miguel de Arruda . II. Universidade Federal de  
Ouro Preto. III. Título.

CDU: 681.5

Catálogo: [ficha.sisbin@ufop.edu.br](mailto:ficha.sisbin@ufop.edu.br)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS  
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO



**Folha de Aprovação**  
**Curso de Engenharia de Computação**

**FOLHA DE APROVAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA**

**Desenvolvimento de um manipulador robótico de baixo custo de uso didático**

**Álison Vinicius de Oliveira Vieira**

**Monografia apresentada ao Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial da disciplina CSI496 – Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Bacharelado em Engenharia de Computação e aprovada pela Banca Examinadora abaixo assinada:**

  
Prof. Dr. Harlei Miguel de Arruda Leite  
DECSI – ICEA/UFOP  
Professor Orientador

  
Profa. Dra. Gilda Aparecida de Assis  
DECSI – ICEA/UFOP  
Professora Convidada

  
Prof. Romeu Yukio Takeda  
DEELT – ICEA/UFOP  
Professor Convidado

João Monlevade, 30 de agosto de 2018

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho à minha mãe Cleide, meu pai Maurício, meu irmão Anderson e toda a minha família, que foram minha base para realizar este sonho.

Aos meus irmãos de república, meus amigos de curso e todas as pessoas que conheci e me acompanharam nessa caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente à Deus por ter me dado saúde, força e determinação para superar as dificuldades.

Aos meus pais, meu irmão e minha família, pelo amor, incentivo e por serem a base para que nunca desanimasse diante das dificuldades encontradas e por sempre acreditarem em mim e no meu potencial.

Aos meus irmãos de República, meus antigos e novos amigos pelo apoio e companheirismo durante a minha graduação.

Aos amigos da Sigga, pela grande oportunidade de aprendizado, crescimento pessoal, profissional e por todas as amizades conquistadas.

A Universidade Federal de Ouro Preto, seu corpo docente, direção e administração pela oportunidade que me foi dada de crescer humanamente e profissionalmente.

Ao meu orientador Prof. Dr. Harlei Miguel de Arruda Leite, pela orientação, paciência, conselhos e pelo suporte para a realização deste trabalho.

E a todos que de maneira direta ou indireta fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“Lembre da minha ordem: “Seja forte e corajoso! Não fique desanimado, nem tenha medo, porque eu, o Senhor, seu Deus, estarei com você em qualquer lugar para onde você for!”

(Josué 1:9)

## RESUMO

A robótica está cada vez mais presente no cotidiano das pessoas, seja na realização de cirurgias, em tarefas domésticas, em atividades industriais, explorações marítimas e espaciais, entre outras. A sua vasta gama de aplicações exige o constante desenvolvimento de técnicas, materiais, ferramentas e, principalmente, seu constante estudo. Um dos principais desafios encontrado pelas instituições no ensino da robótica é o alto custo dos equipamentos, como os dos manipuladores robóticos. Este trabalho apresenta o projeto e a implementação de um manipulador robótico de baixo custo para uso didático com três graus de liberdade. Para o controle do manipulador, o uso de potenciômetros foi adotado, além de possuir uma interface de controle através de linguagem textual desenvolvida especificamente para o manipulador. Apesar das limitações quanto ao desempenho do manipulador, devido aos componentes de baixo custo, é possível utilizá-lo em sala de aula para apresentar a anatomia de um manipulador robótico, assim como seu funcionamento.

**Palavras-chave:** Robótica, Manipulador, Arduino, Ensino.

## **ABSTRACT**

Robotics is increasingly present in the daily lives of people, in the execution of surgeries, in household tasks, in industrial activities, maritime and space explorations, among others. The wide range of applications requires the constant development of techniques, materials, tools and, especially, constant study. One of the major challenges found by institutions in teaching robotics is the high cost of equipment such as robotic manipulators. This work presents the design and implementation of a low cost robotic manipulator, with three degrees of freedom for didactic use. For the control of the manipulator, the use of potentiometers was adopted, besides having a control interface through textual language developed specifically for the manipulator. Despite the limitations on the performance of the manipulator, due to the low cost components, it is possible to use it in the classroom to present the anatomy of a robotic manipulator as well as its operation.

**Keywords:** Robotics, Manipulator, Arduino, Education

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1- Estrutura do manipulador .....                                                                                                                                                                                          | 17 |
| Figura 2 – Manipulador robótico com 3 graus de liberdade .....                                                                                                                                                                    | 18 |
| Figura 3 - Manipulador robótico com 1 GDL .....                                                                                                                                                                                   | 19 |
| Figura 4 - Manipulador robótico com seis GDL .....                                                                                                                                                                                | 19 |
| Figura 5 - Junta prismática .....                                                                                                                                                                                                 | 20 |
| Figura 6 - Junta rotacional .....                                                                                                                                                                                                 | 20 |
| Figura 7 - Junta rotativa torcional .....                                                                                                                                                                                         | 21 |
| Figura 8 - Junta rotativa rotacional .....                                                                                                                                                                                        | 21 |
| Figura 9 - Junta rotativa revolvente .....                                                                                                                                                                                        | 21 |
| Figura 10 - Exemplo de programa na linguagem VAL .....                                                                                                                                                                            | 24 |
| Figura 11 – Tipos de garras: (a) garra para objetos irregulares (b) garra para objetos cilíndricos e (c) garra para objetos frágeis ...                                                                                           | 25 |
| Figura 12 - Manipulador utilizando uma solda como ferramenta em seu efetuador .....                                                                                                                                               | 26 |
| Figura 13 - Espaços de trabalhos de diferentes manipuladores .....                                                                                                                                                                | 26 |
| Figura 14 - Espaço de trabalho do manipulador ARABA.....                                                                                                                                                                          | 27 |
| Figura 15 - Cinemática direta e inversa .....                                                                                                                                                                                     | 28 |
| Figura 16 - Estrutura Manipulador .....                                                                                                                                                                                           | 29 |
| Figura 17 - Base para o encaixe do servo .....                                                                                                                                                                                    | 30 |
| Figura 18 - Estrutura da base em 3D .....                                                                                                                                                                                         | 30 |
| Figura 19 – (a) Base giratória para o suporte do encaixe do suporte (b) base para encaixe do servo.....                                                                                                                           | 31 |
| Figura 20 - Base montada com o suporte para o servo .....                                                                                                                                                                         | 31 |
| Figura 21 – (a) Elo de suporte do servo motor (b) estrutura dos elos montada .....                                                                                                                                                | 32 |
| Figura 22 - Esquema de controle do manipulador .....                                                                                                                                                                              | 33 |
| Figura 23 - Chave seletora .....                                                                                                                                                                                                  | 34 |
| Figura 24 - Simulação circuito no Proteus .....                                                                                                                                                                                   | 35 |
| Figura 25 - Esquema de ligação da chave de controle .....                                                                                                                                                                         | 35 |
| Figura 26 - Alimentação dos potenciômetros no circuito .....                                                                                                                                                                      | 36 |
| Figura 27 – Identificação dos servos do manipulador .....                                                                                                                                                                         | 37 |
| Figura 28 - Alimentação dos servos motores.....                                                                                                                                                                                   | 38 |
| Figura 29 - Manipulador finalizado visto de cima .....                                                                                                                                                                            | 39 |
| Figura 30 - Manipulador finalizado .....                                                                                                                                                                                          | 39 |
| Figura 31 – Circuito de controle do manipulador .....                                                                                                                                                                             | 40 |
| Figura 32 - Etapas de execução do teste do manipulador (a) posição inicial, (b) movimentação do manipulador, (c) captura do objeto, (d) carregando o objeto, (e) objeto na posição final, (f) fim da execução de movimentos ..... | 41 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Lista de materiais da estrutura do manipulador .....  | 32 |
| Tabela 2 - Lista de materiais do sistema de controle .....       | 34 |
| Tabela 3 - Lista de comandos para movimentar o manipulador ..... | 37 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

|       |   |                                                    |
|-------|---|----------------------------------------------------|
| ASCII | – | AMERICAN STANDARD CODE FOR INFORMATION INTERCHANGE |
| CNC   | – | COMPUTER NUMERICAL CONTROL                         |
| DC    | – | DIRECT CURRENT                                     |
| DOF   | – | DEGREE OF FREEDOM                                  |
| GDL   | – | GRAU DE LIBERDADE                                  |
| HEX   | – | HEXADECIMAL                                        |
| IDE   | – | INTEGRATED DEVELOPMENT ENVIRONMENT                 |
| ISO   | – | INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION     |
| PCB   | – | PRINTED CIRCUIT BOARD                              |
| SPDT  | – | SINGLE POLE, DOULE THROW                           |
| TXT   | – | TEXT FILE                                          |
| VAL   | – | VICTOR ASSEMBLY LANGUAGE                           |
| USB   | – | UNIVERSAL SERIAL BUS                               |

## SUMÁRIO

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....                                | 14 |
| 1.1 PROBLEMA .....                                | 15 |
| 1.2 OBJETIVOS .....                               | 15 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA.....                            | 16 |
| 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....                   | 16 |
| 2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DA LITERATURA.....   | 17 |
| 2.1 MANIPULADORES ROBÓTICOS.....                  | 17 |
| 2.1.1 Estrutura.....                              | 17 |
| 2.1.1.1 Graus de liberdade .....                  | 18 |
| 2.1.1.2 Juntas.....                               | 19 |
| 2.1.1.3 Atuadores.....                            | 21 |
| 2.1.1.4 Sensores .....                            | 22 |
| 2.1.1.5 Unidade de controle .....                 | 22 |
| 2.1.1.6 Programação do manipulador robótico ..... | 23 |
| 2.1.1.7 Efetuador .....                           | 24 |
| 2.1.2 Espaço de trabalho .....                    | 26 |
| 2.2 CINEMÁTICA DIRETA E INVERSA.....              | 27 |
| 3 METODOLOGIA .....                               | 29 |
| 3.1 CONSTRUÇÃO DO MANIPULADOR ROBÓTICO .....      | 29 |
| 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....     | 39 |
| 5 CONCLUSÕES.....                                 | 42 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                  | 43 |
| APÊNDICE A – CÓDIGO DE CONTROLE DOS SERVOS .....  | 47 |
| CÓDIGO DE CONTROLE DOS SERVOS .....               | 48 |
| CÓDIGO DE CONTROLE DOS SERVOS .....               | 49 |

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| APÊNDICE B – CÓDIGO DE LEITURA DO ARQUIVO TEXTO E<br>COMUNICAÇÃO COM ARDUINO ..... | 50 |
| ALGORITMO DE LEITURA DO ARQUIVO TEXTO E COMUNICAÇÃO COM<br>ARDUINO .....           | 51 |
| ALGORITMO DE LEITURA DO ARQUIVO TEXTO E COMUNICAÇÃO COM<br>ARDUINO .....           | 52 |

## 1 INTRODUÇÃO

A robótica industrial é uma área cujo objetivo é o projeto, desenvolvimento e gerenciamento de sistemas robóticos para aplicações industriais (ROMANO; DUTRA, 2002). Historicamente, a máquina começou a fazer parte do processo de produção das indústrias em 1769, com o uso de máquina a vapor para retirada de água e elevação de cargas em minas, desenvolvida por James Watt, como uma forma de minimizar os custos com combustível e para aumentar a produtividade e segurança no trabalho (Klafter et al., 1989).

A Segunda Guerra Mundial motivou o desenvolvimento de pesquisas e contribuiu com a robótica através de duas tecnologias: teleoperadores e fresadoras com controle numérico. Os teleoperadores, ou dispositivos mestres-escravos, foram desenvolvidos para manusear material radioativo. Já as fresadoras, ou controle numérico computadorizado (CNC) foram desenvolvidas devido à necessidade da alta precisão em certos tipos de aplicações (SPONG *et al.*, 2005).

Em 1962, George Devol e Joseph Engelberger desenvolveram um protótipo para o primeiro manipulador industrial, denominado Unimate (MALONE, 2017). Em 1969, foi desenvolvido em Stanford um manipulador articulado de seis eixos denominado Stanford Arm, totalmente elétrico, utilizando como base a anatomia do braço humano que permitia seguir precisamente um dado caminho e realizar tarefas complexas como a soldagem (SCHEINMAN, 2017). Em 1983, a Unimation desenvolveu um robô de seis eixos denominado PUMA – *Programable Universal Machine for Assembly*, que rapidamente se popularizou (PAZOS, 2002). Desde então, grande parte dos avanços da robótica basearam-se no desenvolvimento da tecnologia de computadores e microprocessadores e a robótica tem se firmado como uma ciência autônoma, de caráter multidisciplinar, ingressando em áreas tradicionalmente ligadas às engenharias mecânica, elétrica, eletrônica, química e, mais recentemente, engenharia de software, computação e controle e automação (PAZOS, 2002). Sua amplitude e profundidade vêm mostrando sua importância em diversas áreas como a exploração espacial, exploração subaquática, medicina, comércio, engenharia de proteção ambiental, agricultura e indústria (MEDINA, 2007), contribuindo para o incremento da segurança nos componentes empregados em projetos de robôs e na redução das despesas para sua implementação em tarefas industriais.

Segundo Bouteille (1997), a utilização de robôs industriais está relacionada a:

- Diminuir custos dos objetos fabricados através da redução da quantidade de pessoas envolvidas na produção; aumento da qualidade de produtos em um dado período (produtividade); melhor aproveitamento da matéria-prima (redução de perdas e otimização da utilização); economia de energia, etc.;

- Favorecer as condições de trabalho do ser humano por meio do corte de atividades perigosas ou insalubres;
- Aperfeiçoar a qualidade do produto por meio do controle mais racional dos padrões de produção;
- Realizar serviços impraticáveis manualmente ou intelectualmente, como por exemplo a construção de peças em miniatura, a coordenação de movimentos complexos e atividades muito ágeis (transferência de materiais).

Com o desenvolvimento tecnológico dos últimos anos, a redução de custos de componentes eletrônicos e a crescente utilização de dispositivos robóticos em diversas áreas (saúde, indústria, pesquisa, dentre outros) a robótica vem se desenvolvendo, popularizando e difundindo-se, despertando nas instituições de ensino o interesse pelo assunto, uma vez que a aplicação da robótica necessita de profissionais qualificados com conhecimento teórico e prático na área (LAZZARIM, 2012).

Um dos grandes obstáculos da relação ensino-aprendizagem é a aplicação prática de conceitos e teorias apresentada em sala de aula, independentemente do nível de ensino, seja ele básico, técnico ou superior. Apoiando-se nessa realidade, a motivação deste projeto é propor um manipulador robótico de baixo custo, para minimizar a lacuna existente entre a teoria e a prática existente em instituições de ensino que não possuem este tipo de equipamento.

### **1.1 Problema**

Entre os principais problemas encontrados no ensino da robótica está o alto custo dos manipuladores robóticos necessários para a realização de aulas práticas, dificultando a compra por instituições de ensino e limitando a formação do aluno (ROBOTWORX, 2016). Esse cenário faz aumentar ainda mais o desafio de alinhar teoria com a prática, limitando o aluno em seu aprendizado. Diante dessas dificuldades, percebe-se a grande importância em se desenvolver um manipulador robótico didático de baixo custo.

### **1.2 Objetivos**

Construir um manipulador robótico de baixo custo para uso didático, utilizando materiais de fácil acesso, com o sistema de controle implementado na plataforma Arduino, de forma que seja possível demonstrar, na prática, a anatomia de um manipulador robótico e o seu princípio de funcionamento, contribuindo para o entendimento dos conceitos básicos da robótica fixa.

### **1.3 Justificativa**

A Robótica tem se tornado cada vez mais presente na vida das pessoas. Nas indústrias, cada vez é mais comum a presença de robôs e toda essa evolução de tecnologia ainda possui custo elevado, o que reflete a necessidade de total conhecimento das aplicabilidades e potencialidades dos equipamentos robóticos.

Pela proximidade na vida cotidiana, a robótica pode ser uma importante ferramenta no processo de aquisição de conhecimentos, pois permite uma aprendizagem mais ativa e participativa, possibilitando a união de vários recursos tecnológicos em situações de ensino-aprendizagem de maneira lúdica e interessante. Dando oportunidades de estimular engenharia e computação, desenvolvendo atividades altamente relevantes para o currículo escolar.

Assim, este trabalho se justifica a fim de permitir o desenvolvimento de manipuladores mais acessíveis, possibilitando a universalização da robótica independente da realidade financeira da instituição de ensino.

### **1.4 Estrutura do trabalho**

Este trabalho está dividido em 5 capítulos. No capítulo 1 é apresentada uma contextualização do problema, assim como os objetivos deste trabalho e sua justificativa, além de uma breve introdução histórica da robótica industrial. No capítulo 2 está contida a revisão bibliográfica sobre o tema a que se refere o trabalho, sendo abordada toda a estrutura de um manipulador robótico. No capítulo 3 são apresentados as técnicas e os métodos adotados para o desenvolvimento deste trabalho. No capítulo 4 os resultados são apresentados e por fim, no capítulo 5 são destacados os principais aspectos e contribuições alcançados.

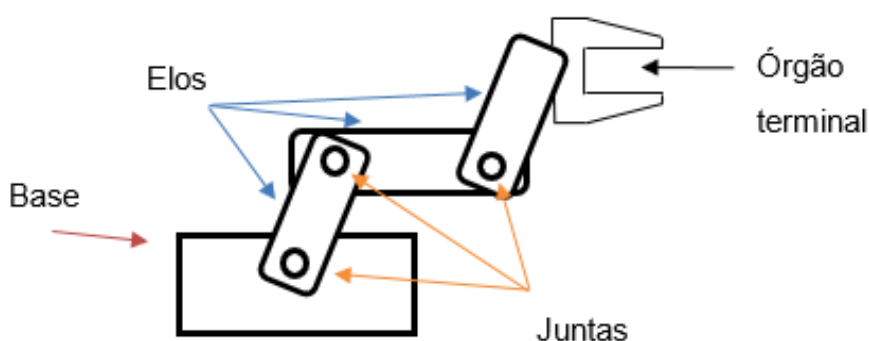
## 2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Manipuladores robóticos

Manipulador robótico, ou robô manipulador, pode ser definido como um mecanismo que posiciona e orienta no espaço o seu órgão terminal a fim de executar uma tarefa (CARRARA, 2004). Segundo o *Robotics Institute of America* (RIA - Instituto de Robótica da América) “Um robô industrial é um manipulador reprogramável e multifuncional, projetado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos específicos em movimentos variáveis, programados para a realização de uma variedade de tarefas” (RIA, 2008).

A estrutura de um manipulador robótico consiste em uma série de corpos rígidos que se denominam elos. Cada elo é unido por uma junta que lhe permite um movimento gerado por um sistema de acionamento controlado por um sistema de controle. A Figura 1 mostra esquematicamente uma sequência de elos e juntas de um manipulador robótico. O primeiro elo está conectado em uma superfície fixa, denominada base, e no último elo fica acoplado o órgão terminal (garra ou ferramenta).

Figura 1- Estrutura do manipulador



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

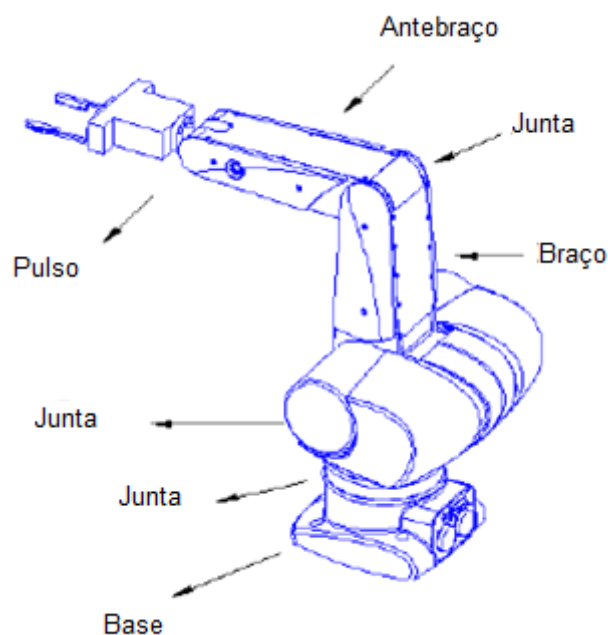
O manipulador é formado pela integração de vários componentes, sendo eles: a estrutura mecânica, atuadores, sensores, unidade de controle, unidade de potência e efetuator. As seções seguintes descrevem cada uma dessas partes.

#### 2.1.1 Estrutura

Refere-se ao aspecto mecânico do robô e ao conjunto de elementos rígidos (elos), interligados através de juntas, as quais são movimentadas pelo acionamento dos atuadores de modo a posicionar a extremidade onde está vinculado o órgão terminal (CARRARA, 2004).

A Figura 2 apresenta um manipulador robótico industrial com 3 graus de liberdade utilizado para a locomoção de objetos de uma posição para outra.

Figura 2 – Manipulador robótico com 3 graus de liberdade



Fonte: Carrara (2004)

#### 2.1.1.1 Graus de liberdade

Os graus de liberdade (GDL), ou *Degree of freedom* (DOF), é uma contagem específica de parâmetros no espaço tridimensional. Em um manipulador, o seu grau de liberdade é determinado pela soma do número de graus de liberdade de cada uma das juntas. Por exemplo, quando o movimento relativo ocorre em um único eixo, a junta tem um grau de liberdade, se o movimento ocorre em mais de um eixo, a junta tem dois graus de liberdade (CARRARA, 2004).

A Figura 3 mostra um manipulador com um grau de liberdade que executa o movimento de levantar e abaixar capturando o objeto através de um laço de arame que se estende e retrai. Quando o laço está estendido, o braço pode abaixar e segurar o alvo, logo após o laço é retraído e o alvo é capturado.

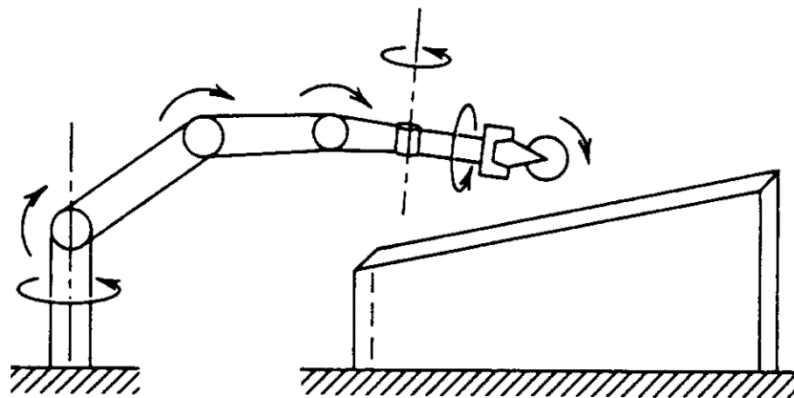
Figura 3 - Manipulador robótico com 1 GDL



Fonte: Single (2018).

A Figura 4 mostra um manipulador com seis graus de liberdade que realiza a separação de objetos para dentro de um compartimento.

Figura 4 - Manipulador robótico com seis GDL



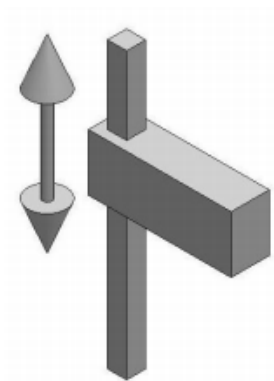
Fonte: Rosheim (1994)

#### 2.1.1.2 Juntas

As juntas são as interligações entre dois elos que permitem o movimento relativo entre eles, sendo as mais comuns as prismáticas e as rotacionais (SANTOS, 2004). Suas funcionalidades são descritas a seguir.

- Junta prismática ou linear: Proporciona o deslocamento linear de duas hastes deslizantes como mostra a Figura 5. Não permite a mudança de orientação relativa entre duas hastes.

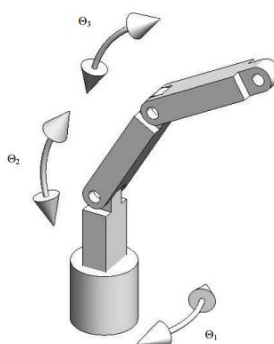
Figura 5 - Junta prismática



Fonte: Rios (2009)

- Junta rotacional ou rotativa: Possui eixo de rotação no qual gira em torno de uma linha imaginária permitindo a rotação em torno de um único ponto. A Figura 6 ilustra esse tipo de junta.

Figura 6 - Junta rotacional

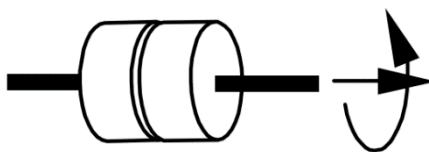


Fonte: Rios (2009)

Ainda sobre a junta rotacional, pode-se classificá-la de acordo com as direções dos elos de entrada e de saída em relação ao eixo de rotação, como é descrito a seguir (CARRARA, 2004):

- Rotativa de torção ou torcional T: Os eixos das juntas são paralelos entre si e os elos de entrada e saída tem a mesma direção do eixo de rotação, conforme mostrado na Figura 7.

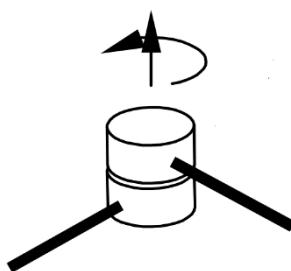
Figura 7 - Junta rotativa torcional



Fonte: Carrara (2004)

- Rotativa rotacional R: Os elos de entrada e saída são perpendiculares ao eixo de rotação da junta permitindo o movimento de rotação conforme mostrado na Figura 8.

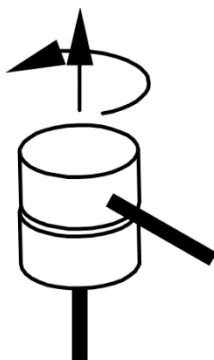
Figura 8 - Junta rotativa rotacional



Fonte: Carrara (2004)

- Rotativa revolvente V: O elo de entrada é perpendicular ao elo de saída, como mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Junta rotativa revolvente



Fonte: Carrara (2004)

### 2.1.1.3 Atuadores

Os atuadores são os elementos que transformam energia, seja ela hidráulica, pneumática ou elétrica, em energia mecânica, permitindo a movimentação, e trabalham em conjunto com a unidade de potência, dispositivo responsável por proporcionar energia necessária para a alimentação dos atuadores. As unidades de potência associadas aos

atuadores hidráulico, pneumático e elétrico são: bomba hidráulica, compressor e fonte elétrica, respectivamente (ROMANO; DUTRA, 2002). A definição do tipo de atuador que será utilizado é determinada pelo tipo de aplicação do manipulador robótico (PAZOS, 2002).

Os principais atuadores utilizados na robótica são os elétricos, hidráulicos e pneumáticos, sendo os elétricos os mais utilizados nos manipuladores robóticos devido à grande facilidade de controle, são mais baratos e possuem grande precisão. (ROMANO; DUTRA, 2002). Os mais comuns são os motores de corrente contínua (*Direct Current* ou *DC*, em inglês) e os motores de passo.

Os atuadores hidráulicos são acionados por fluidos, água ou óleo, e possuem características de rápida resposta e de grande força (PAZOS, 2002) e são usados quando há a necessidade de levantar cargas pesadas. Possuem algumas desvantagens como a emissão de ruídos sonoros, necessidade de manutenção constante e a possibilidade de vazamento de fluido (PAZOS, 2002).

Os atuadores pneumáticos são acionados por um gás, como o ar, e são de fácil instalação, média controlabilidade e de alta confiabilidade, além do baixo custo, porém são pouco eficientes. São utilizados em manipuladores de baixa complexidade, operações “pega e põe” (*pick & place*, em inglês), pois os elos se deslocam bruscamente entre dois extremos, impossibilitando o controle sobre a trajetória intermediária do efetuador. (SPONG *et al*, 2004).

#### **2.1.1.4 Sensores**

Os sensores são dispositivos que fornecem informações sobre o ambiente em que se encontram convertendo grandezas físicas como tempo, comprimento, velocidade, aceleração, força, posição, distâncias de objetos, luminosidade, temperatura, corrente elétrica, campo magnético, entre outros, em sinais elétricos, que podem ser lidos por um processador ou transmitido eletronicamente por uma rede de dados (PAZOS, 2002).

Em manipuladores robóticos se utiliza diferentes tipos de sensores para alimentar o sistema de controle, tais como sensores de pressão, de inclinação, de proximidade, de temperatura, dentre outros. Como exemplo prático, podemos citar um manipulador que detecta através de um sensor de proximidade que uma peça está deslocada de sua posição ideal, manilhando a mesma para sua posição correta.

#### **2.1.1.5 Unidade de controle**

A unidade de controle tem o objetivo de controlar o manipulador robótico e trabalha através de um sistema de hardware e software, que irá processar os sinais de entrada para

controlar a movimentação do manipulador. Essas unidades também podem exercer a função de se comunicar com outros manipuladores robóticos ou células de trabalho (LOPES, 2002).

O tipo de controle a ser utilizado nos manipuladores robóticos permite classificá-los em manipuladores de sequência limitada, manipuladores de repetição e manipuladores inteligentes. Os manipuladores de sequência limitada operam com chaves limitadoras de fim de curso fazendo com que o manipulador tenha acesso a um número reduzido de movimentos (ERTHAL, 1992). O ambiente de interação do manipulador precisa estar previamente organizado, pois as ações demandam a disposição precisa dos objetos que serão manipulados e as mesmas possuem poucas variações entre elas (RIVIN, 1988).

Nos manipuladores de repetição, uma sequência de pontos é previamente armazenada na memória do controlador posicionando o manipulador de maneira isolada ou continua classificando os manipuladores de repetição em controle por ponto-a-ponto e de controle contínuo (SANTOS, 2017). O controle por ponto-a-ponto realiza deslocamentos entre duas posições sem que posições intermediárias sejam colocadas na programação da trajetória. O controle por movimento contínuo realiza o deslocamento entre dois pontos com pequenos incrementos entre si. Cada posição é gravada pela unidade de controle em determinados intervalos de tempo. (ERTHAL, 1992).

Por fim, os manipuladores inteligentes podem gerar a trajetória contínua e corrigi-la em resposta a sinais transmitidos por sensores. A geração da trajetória pode ser através de diversas metodologias matemáticas e computacionais para a determinação de um conjunto de pontos para a melhor execução do movimento do manipulador. Esses tipos de manipuladores monitoram e interagem com o ambiente. (ERTHAL, 1992).

#### **2.1.1.6 Programação do manipulador robótico**

A programação de um manipulador pode ser entendida como um conjunto de informações sobre a trajetória a ser percorrida, o controle de seus movimentos e o tratamento dos sinais enviados através dos sensores, que serão convertidos em ações para o manipulador efetuar alguma tarefa. Pode ser dividida em dois tipos, programação por aprendizagem e programação textual (GROOVER *et.al*, 1987).

A programação por aprendizagem compreende em movimentar fisicamente o manipulador de forma a gravar sua trajetória na memória do controlador. O seu movimento é feito através de um *joystick*, ou um *teaching-box*, que contém as chaves para a seleção das juntas que serão movidas e botões direcionais para ensinar o controlador e armazenar na memória cada posição do movimento (GROOVER *et.al*, 1987).

A programação textual refere-se a uma linguagem de programação que codifica a movimentação a ser realizada pelo manipulador (GROOVER *et.al*, 1987). Consiste em escrever um programa em uma linguagem de programação determinando a sequência de movimentos. A primeira linguagem textual foi desenvolvida no *Stanford Artificial Intelligence Laboratory* em 1973, e foi denominada WAVE. Já em 1974, também em Stanford, uma nova linguagem foi desenvolvida, denominada AL, utilizada para controlar múltiplos manipuladores que exigiam coordenação entre si. Os conceitos dessas duas linguagens serviram como base para o desenvolvimento da primeira linguagem textual de programação de manipuladores comerciais, denominada VAL (*Victor Assembly Language*) (CRAIG, 2013). A Figura 11 mostra um exemplo de um programa em linguagem VAL para uma operação de pega-e-põe.

Figura 10 - Exemplo de programa na linguagem VAL

```

PROGRAM PICKPLACE
  1.cMOVE P1
  2.cMOVE P2
  3.cMOVE P3
  4.cCLOSEI 0.00
  5.cMOVE P4
  6.cMOVE P5
  7.cOPENI 0.00
  8.cMOVE P1
.END

```

Fonte: Craig (2013)

### 2.1.1.7 Efetuador

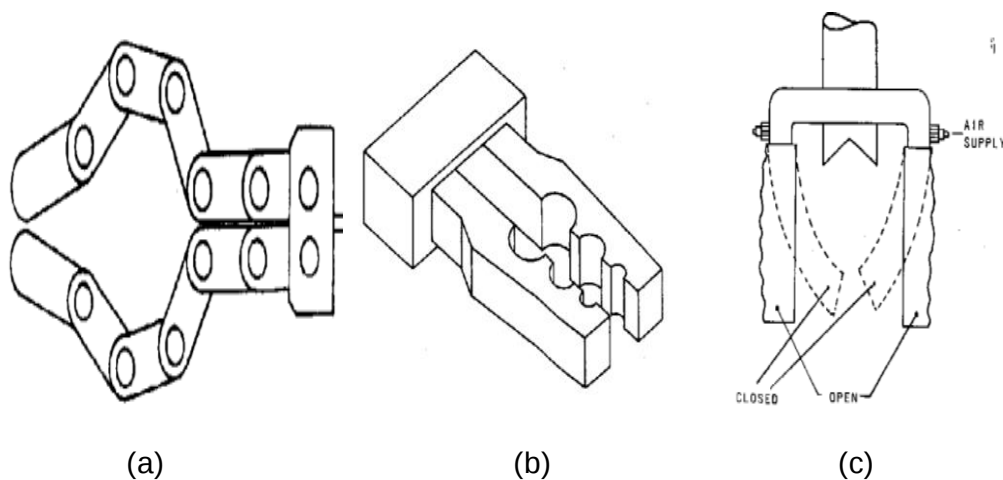
São os dispositivos que se encaixam no último elo e desempenham a função para o qual o manipulador foi construído. De um modo geral podem ser classificados como garras ou ferramentas (RIOS, 2009):

- Garra: são como pinças que abrem e fecham e são utilizadas para manusear objetos, movimentá-los de local para outro, retirar peças em locais de difícil acesso ou perigosos, etc. Podem ser divididas em:
  - Garras articuladas: projetadas para segurar objetos de formas irregulares, de diferentes tamanhos e modelos. Devido ao número de juntas ela pode se

adaptar a diversas formas de objetos. A Figura 12(a) mostra uma garra articulada.

- Garra para objetos cilíndricos: possuem um ou mais semicírculos de forma a encaixar o objeto cilíndrico como mostra a Figura 12(b).
- Garras para objetos frágeis: apresenta sensor de pressão na garra para manusear objetos frágeis sem danificá-los. A Figura 12(c) mostra uma garra para segurar objetos frágeis.

Figura 11 – Tipos de garras: (a) garra para objetos irregulares (b) garra para objetos cilíndricos e (c) garra para objetos frágeis



Fonte: Moraes, 2003

- Ferramentas: utilizadas para realizar um trabalho específico sobre uma peça ou objeto em um determinado local. Podem possuir funções como soldagem, pintura, corte, etc. A Figura 13 mostra o robô Motoman, que possui uma ponta de solda por arco ao punho como efetuator.

Figura 12 - Manipulador utilizando uma solda como ferramenta em seu efetuador

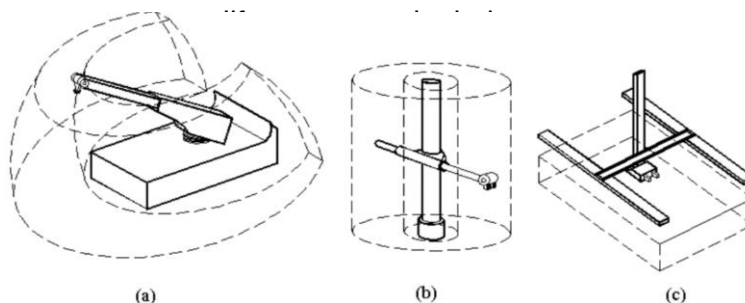


Fonte: Ferreira, Ipuchima e Silva (2012)

### 2.1.2 Espaço de trabalho

O espaço ou volume de trabalho do manipulador é a área total que o órgão terminal pode percorrer executando todos os movimentos possíveis (CAO et al, 2011). De forma mais simples, o espaço de trabalho pode ser definido como o espaço em que o manipulador pode alcançar. No cálculo do espaço de trabalho o órgão terminal não é considerado, para que esse volume não seja determinado pelo tamanho do órgão terminal, que pode variar. O espaço de trabalho depende da anatomia do robô, do tamanho dos elos e da limitação dos movimentos das juntas, como apresentado na Figura 14, onde pode-se ver uma configuração para o volume de trabalho como uma semiesfera parcial, um cilindro ou um prisma (PAZOS, 2002).

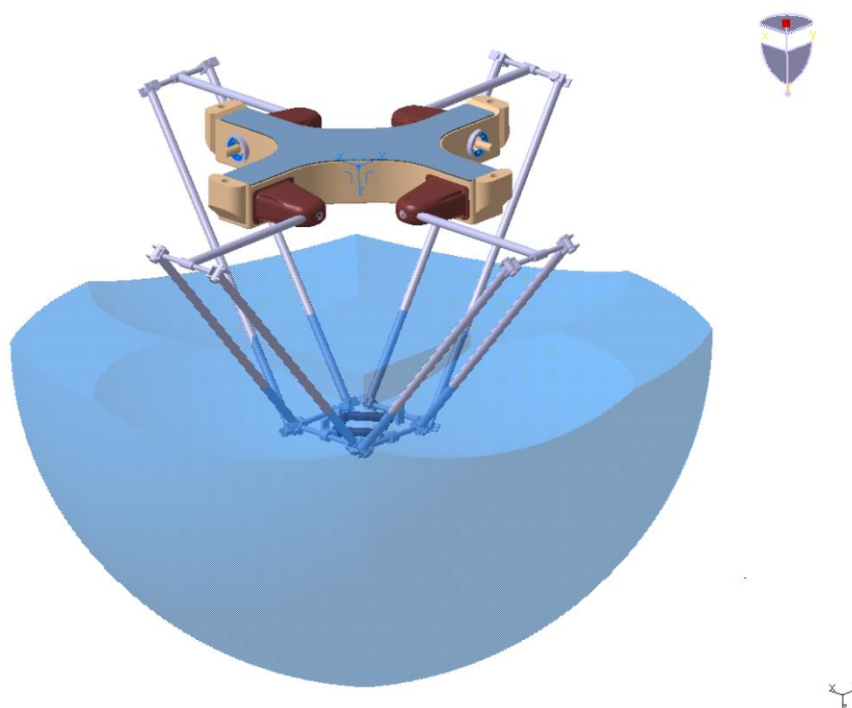
Figura 13 - Espaços de trabalhos de



Fonte: Pazos (2002)

A Figura 15 mostra o espaço de trabalho do robô ARABA, projetado por pesquisadores do Grupo de Mecânica Computacional da Universidade do País Basco que tem como função movimentar objetos de um local para outro. O sólido azul descreve todos os pontos do espaço de trabalho onde o órgão terminal pode atingir.

Figura 14 - Espaço de trabalho do manipulador ARABA



Fonte: Salgado *et al.* (2018)

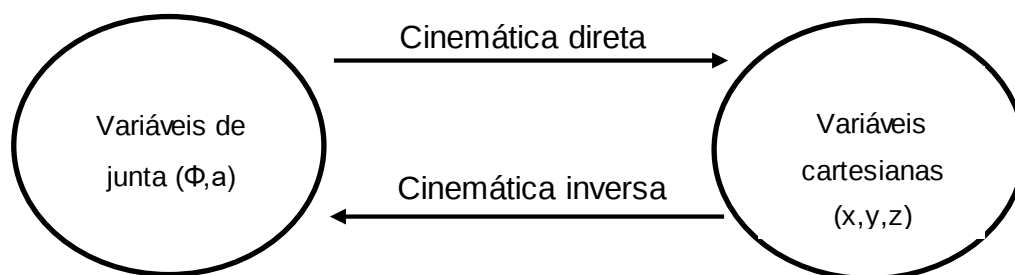
## 2.2 CINEMÁTICA DIRETA E INVERSA

A Cinemática é a ciência que aborda o estudo dos movimentos e da velocidade sem considerar as forças que os causam (VALDIERO, 2005). No estudo cinemático dos manipuladores destaca-se a posição, velocidade, aceleração e todas as derivadas de ordem mais elevada das variáveis de posição. A cinemática pode ser dividida em cinemática direta e cinemática inversa.

A cinemática direta é o equacionamento para o cálculo da posição do órgão terminal do manipulador em função das variáveis de juntas. A cinemática inversa calcula os valores das variáveis de juntas para gerar a posição e orientação desejada para o órgão terminal (PAZOS, 2002). O estudo da cinemática é de grande importância tanto para o projeto dos manipuladores robóticos quanto para sua utilização, pois através das manipulações das

equações é possível descrever e ter conhecimento sobre os movimentos do órgão terminal em relação a base (ERTHAL, 1992) A Figura 16 ilustra a transformação entre variáveis de junta e variáveis cartesianas.

Figura 15 - Cinemática direta e inversa



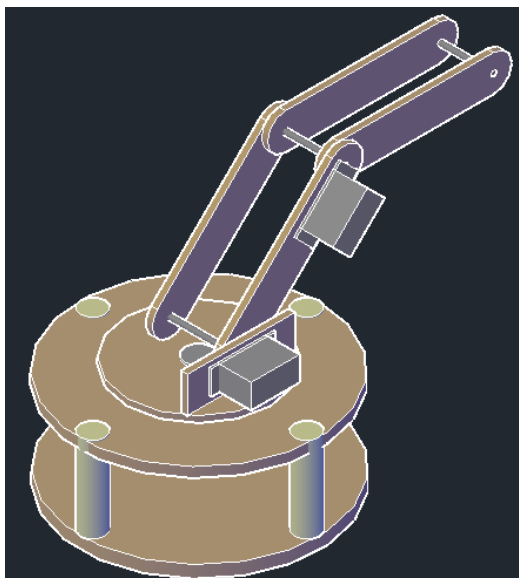
Fonte: Adaptada de Ferreira, Ipuchima e Silva (2012).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Construção do manipulador robótico

Decidiu-se iniciar o desenvolvimento do manipulador a partir da estrutura mecânica. A sua estrutura é composta de dois elos e uma base giratória interligados por juntas rotativas, uma base fixa para apoiar o manipulador e uma garra para execução de tarefas *pick & place*, obtendo assim três graus de liberdade. A estrutura foi desenvolvida utilizando o *software* AutoCAD para se obter uma visualização precisa da aparência final do manipulador. A Figura 17 mostra o esquema do manipulador feito no AutoCAD.

Figura 16 - Estrutura Manipulador

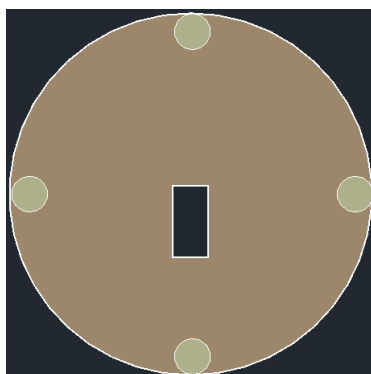


Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Para a construção do manipulador foi utilizado folhas de madeira compensada devido ao baixo custo, facilidade de manuseio e por apresentar boa resistência e maleabilidade, características importantes para se montar uma estrutura rígida de baixo custo.

A base é constituída por 3 círculos de madeira compensada: o primeiro possui 60 mm de raio e é responsável por fazer o contato com a superfície onde o manipulador se encontra e a base de apoio, já os demais possuem 85 mm de raio e são a base de sustentação que apoia todo o manipulador. O segundo círculo foi perfurado para poder acoplar o servo motor, como mostra a Figura 18.

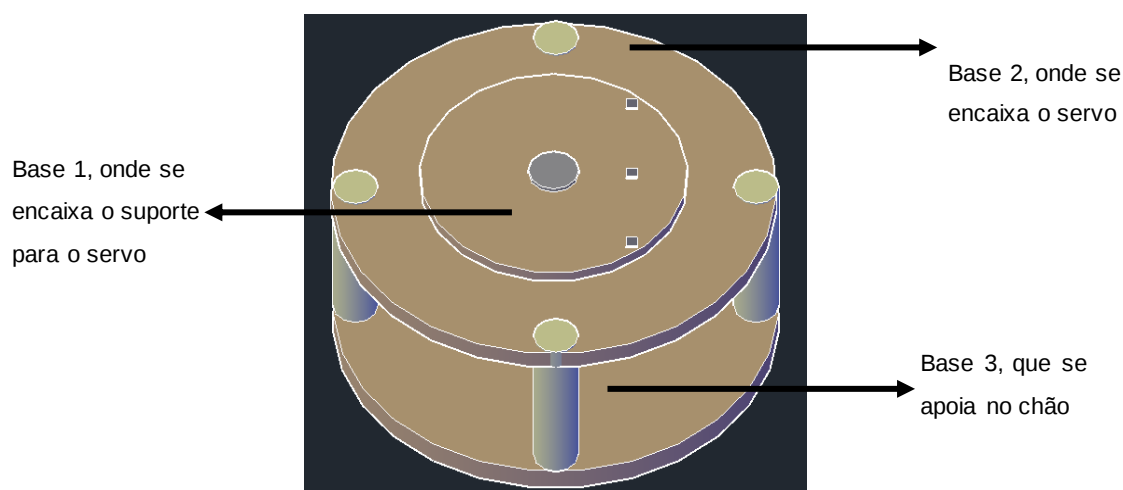
Figura 17 - Base para o encaixe do servo



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

A montagem da base foi realizada utilizando parafusos, porcas e arruelas de forma a encaixar os dois círculos de 85 mm, servindo de apoio para suportar a estrutura do manipulador. A Figura 19 ilustra a base já montada, onde pode-se ver a estrutura dos dois círculos, a posição dos parafusos e a posição da base que executará o movimento de rotação do manipulador.

Figura 18 - Estrutura da base em 3D



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

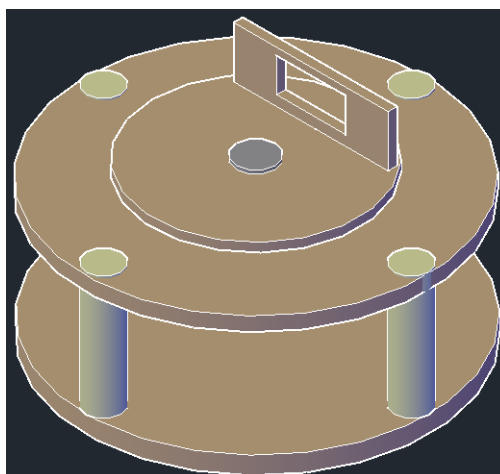
Para o encaixe dos elos foi construído um suporte retangular a fim de fixar o servo motor. Para a fixação do suporte foram feitos furos na Base 1, e no suporte retangular foram feitos três pinos de forma a encaixá-los na base. As Figuras 20(a) e 20(b) mostram a base giratória e o suporte para o encaixe do servo, respectivamente. A Figura 21 mostra a base montada com o suporte para o servo.

Figura 19 – (a) Base giratória para o suporte do encaixe do suporte (b) base para encaixe do servo



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Figura 20 - Base montada com o suporte para o servo

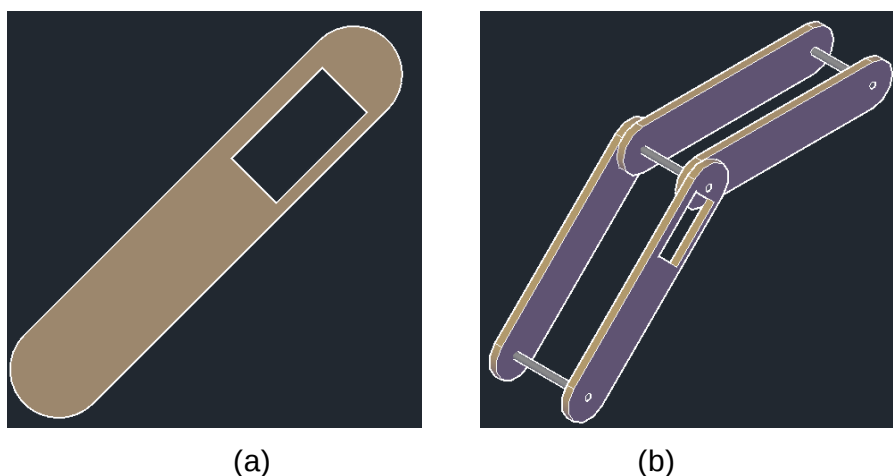


Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Os elos foram construídos a partir de quatro retângulos possuindo 130 mm de comprimento e 30 mm de altura, depois de cortados os mesmos foram lixados em suas laterais e em um deles foi feito o encaixe para o servo motor. Os elos foram colocados paralelamente dois a dois utilizando parafusos, porcas e arruelas de modo que ficassem firmes e estáveis para executar os movimentos. A Figura 22(a) mostra o elo onde foi fixado o servo motor e a Figura 22(b) mostra a estrutura dos elos finalizada. Após a finalização dos elos os mesmos foram fixados no servo motor acoplado na base retangular.

Em relação a garra, devido a complexidade de construção decorrente do sistema de engrenagem para a abertura e fechamento, optou-se por comprar uma garra de baixo custo para o projeto. A sua construção só seria viável com o uso de ferramentas de corte automatizado.

Figura 21 – (a) Elo de suporte do servo motor (b) estrutura dos elos montada



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Os materiais utilizados e seus respectivos valores são descritos na Tabela 1:

Tabela 1 - Lista de materiais da estrutura do manipulador

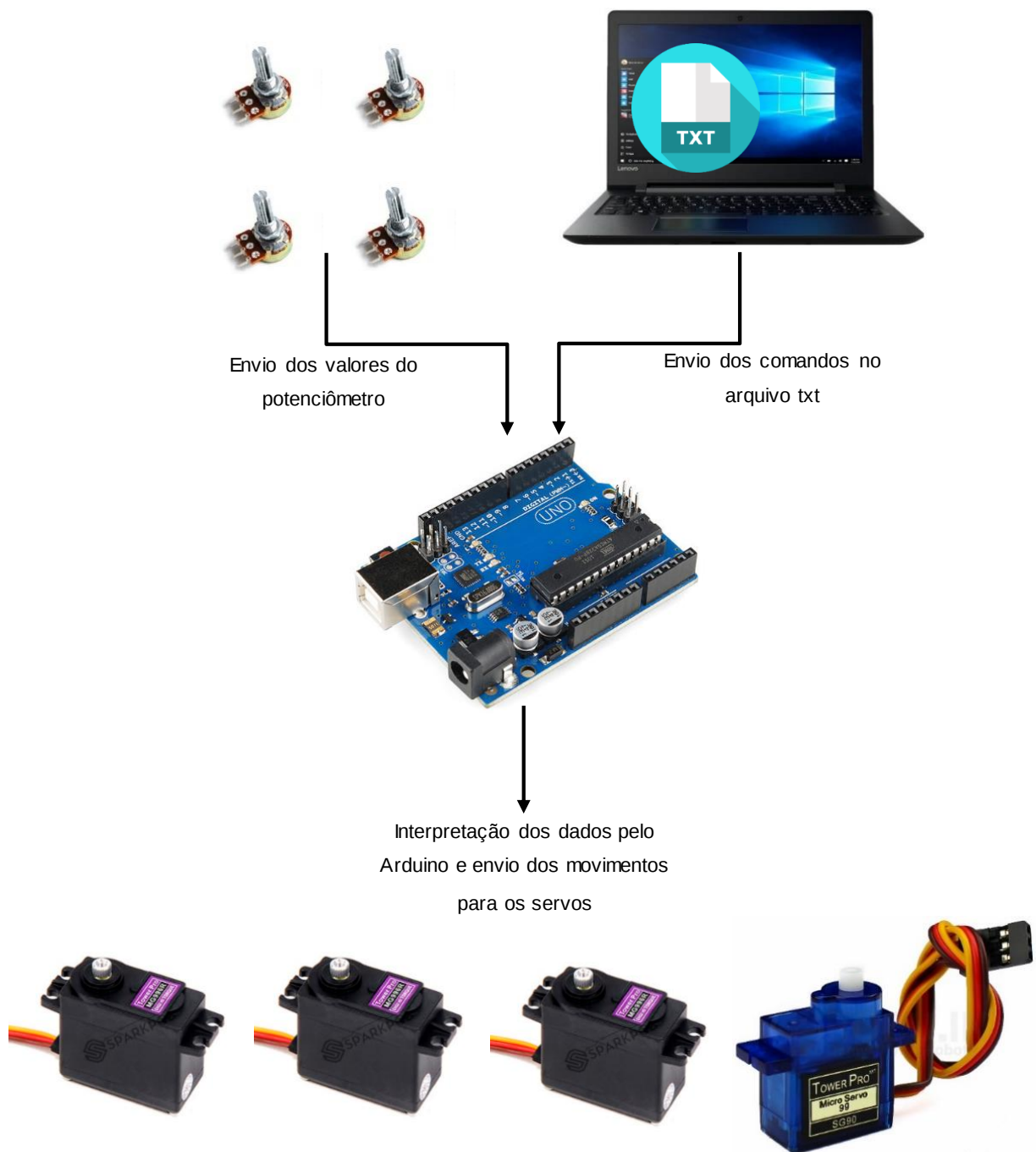
| Material                                                         | Quantidade | Preço     |
|------------------------------------------------------------------|------------|-----------|
| placa de folha de compensado com aproximadamente 1m <sup>2</sup> | 1          | -         |
| parafusos de 5cm                                                 | 7          | R\$2,10   |
| arruelas 1/8                                                     | 24         | R\$2,40   |
| porcas 3mm                                                       | 21         | R\$3,15   |
| servo 9g sg90 TowerPro                                           | 1          | R\$8,99   |
| servos mg-996r Tower Pro                                         | 3          | R\$90,99  |
| garra mecânica                                                   | 1          | R\$5,99   |
| Total                                                            | -          | R\$113,62 |

### 3.2 Desenvolvimento do sistema de controle

O sistema de controle tem a finalidade de receber e interpretar sinais e traduzir em sinais de controle que vão gerar o movimento das juntas do manipulador. O sistema de controle foi desenvolvido na linguagem C e embarcado no Arduino. Os sinais que alimentam o sistema de controle são enviados através dos potenciômetros ou através da porta serial USB. Quando enviados pelos potenciômetros, os sinais são lidos através das portas

analógicas do Arduino e são convertidos em sinais de controles que irão alimentar os servos. O envio dos sinais pela porta USB acontece quando é feita a leitura de um arquivo texto contendo os comandos de movimento do manipulador. A Figura 23 ilustra o esquema do sistema de controle.

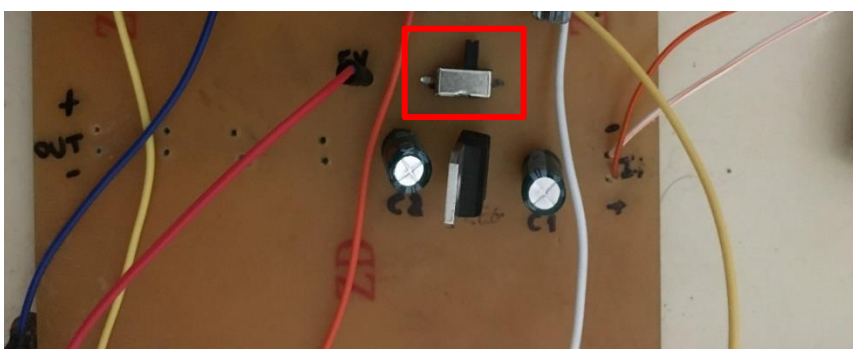
Figura 22 - Esquema de controle do manipulador



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Uma chave seletora (*switch*), destacada em vermelho na Figura 24, é responsável pela definição da origem dos sinais que vão alimentar o sistema de controle (potenciômetro ou porta serial USB). Essa chave envia o sinal de seu estado para o Arduino onde será interpretado pelo software de controle, determinando se os potenciômetros ou a porta serial USB irá controlar o manipulador. Para este controle, foi desenvolvido uma PCB (*printed circuit board*). A Tabela 2 apresenta a lista de materiais usados no desenvolvimento da placa PCB, assim como o custo de fabricação.

Figura 23 - Chave seletora



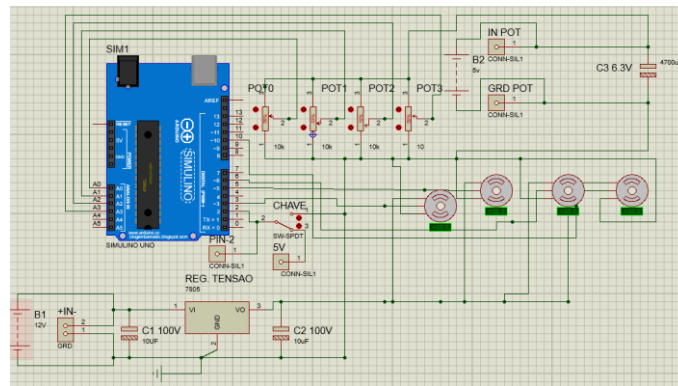
Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Tabela 2 - Lista de materiais do sistema de controle

| Material                          | Quantidade | Preço    |
|-----------------------------------|------------|----------|
| 1 Placa Arduino Uno R3 + Cabo USB | 1          | R\$35,90 |
| 4 Potenciômetros 10k B            | 4          | R\$8,00  |
| 1 Capacitor 6.3V 4700uF           | 1          | R\$1,50  |
| 2 capacitores 100V 10uF           | 2          | R\$0,50  |
| 1 regulador de tensão 7805        | 1          | R\$2,50  |
| Fios de cobre c/65                | -          | R\$9,90  |
| Chave seletora                    | 1          | R\$2,50  |
| Total                             | -          | R\$60,80 |

Antes da montagem, o circuito foi simulado no *software* Proteus 8 para verificação do funcionamento do *hardware* e do *software* e, assim, corrigir os valores de tensões e correntes dos componentes e o comportamento do algoritmo para rotacionar os servos. A Figura 25 mostra o circuito implementado no Proteus.

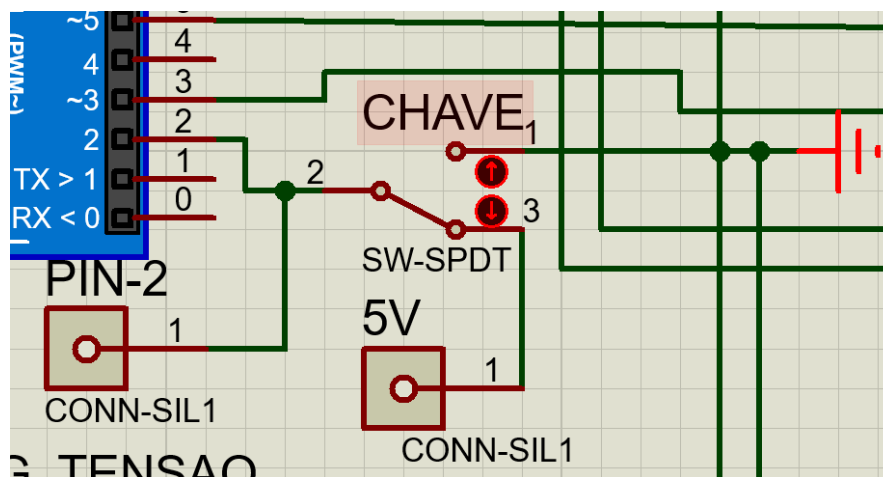
Figura 24 - Simulação circuito no Proteus



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

O funcionamento do sistema de controle se inicia com a chave seletora alimentada em 5V em uma de suas conexões de modo que ela possa ser “ligada” ou “desligada” permitindo ou não a passagem de corrente para o pino 2 do Arduino que foi definido como uma porta de entrada, *input*. O Arduino foi configurado para realizar a leitura do pino 2 e verificar se há passagem de corrente, ou seja, se seu estado atual é *HIGH*. Em caso positivo, o Arduino recebe essa entrada e o manipulador é controlado através dos potenciômetros. A Figura 26 ilustra este cenário onde a chave é alimentada através da conexão 3 e sua posição atual permite a passagem de corrente através da conexão 2, alimentando o pino 2 do Arduino.

Figura 25 - Esquema de ligação da chave de controle



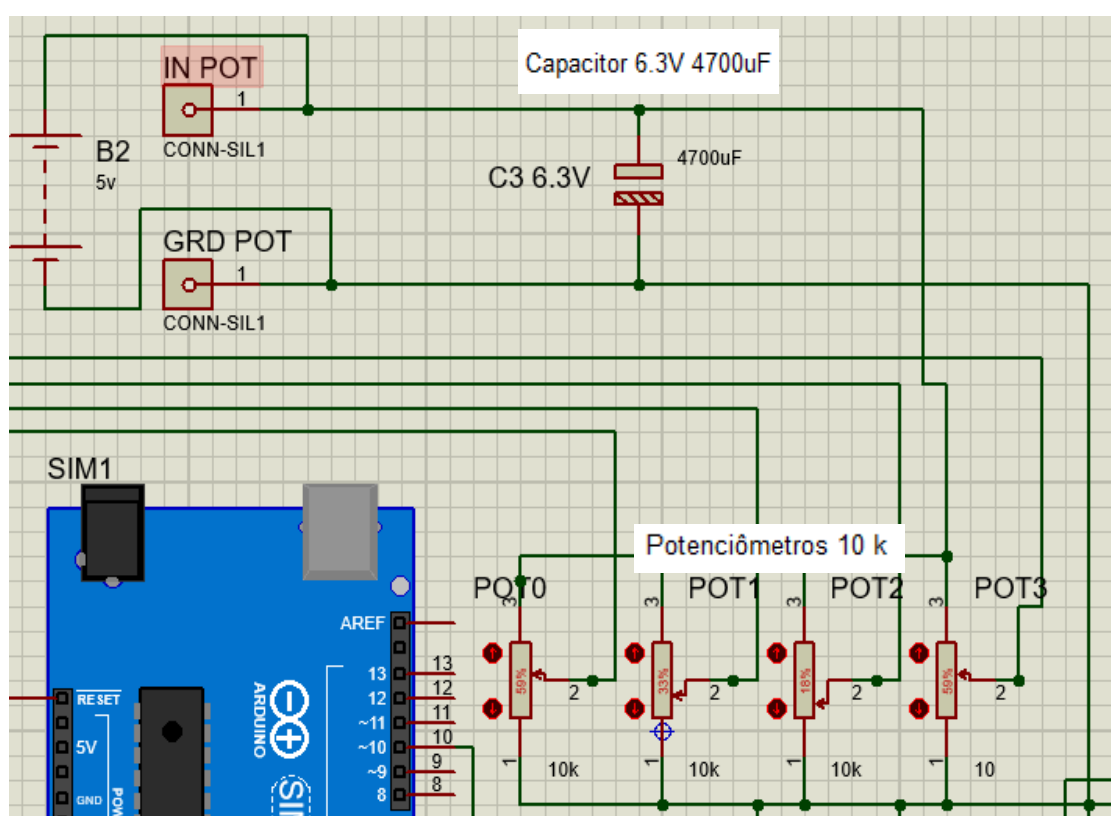
Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Os potenciômetros utilizados possuem resistência no valor total de 10 k $\Omega$  e controlamos servos através do mapeamento do valor de tensão, entre 0V e 5V, lido nas portas analógicas a0, a1, a2 e a3 do Arduino e são convertidas em valores inteiros entre 0 e 1023.

Foi definido que quando a resistência do potenciômetro estivesse em  $0\Omega$  esse valor corresponderia à posição de ângulo mínimo de rotação do elo,  $0^\circ$ , e para o valor de  $10.000\Omega$  foi definido o maior ângulo possível,  $179^\circ$ , obtendo assim, o total de 180 pontos discretos de rotação do servo motor.

Os potenciômetros foram alimentados com tensão de 5V e em paralelo a alimentação foi ligado um capacitor, que funciona como um filtro estabilizando a tensão e eliminando os ruídos presentes no sistema, garantindo o comportamento mais estável possível. A Figura 27 mostra o esquema da ligação dos potenciômetros.

Figura 26 - Alimentação dos potenciômetros no circuito



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

No segundo caso, quando não há leitura de corrente no pino 2 do Arduino, o manipulador passa a ser controlado através da comunicação serial. Para esse controle foi desenvolvido um programa em Java, que pode ser visto no Apêndice B, onde o mesmo faz a leitura do arquivo texto e envia os comandos para o Arduino através da porta USB.

Esses comandos devem seguir sempre o mesmo padrão, sendo a primeira coluna o tipo de movimento, *move* para movimentar algum elo, *open* para abrir a garra ou *close* para fechá-la. A variável 'X' representa o servo motor que executa o movimento. 1 corresponde à

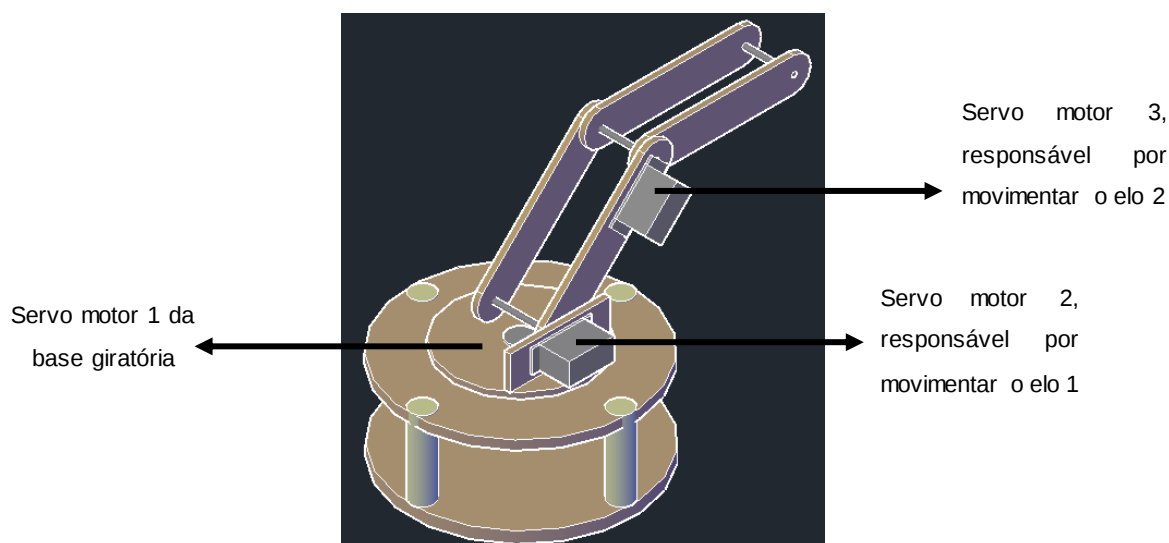
base giratória; 2 ao elo 1; 3 ao elo 2; 4 à garra, e a variável 'Y' o valor em graus de rotação, de 0 a 179. A Tabela 3 mostra como os comandos do arquivo texto são estruturados.

Tabela 3 - Lista de comandos para movimentar o manipulador

| Comando  | Descrição                   |
|----------|-----------------------------|
| move X Y | Movimentar junta X, Y graus |
| open 0 Y | Abrir garra Y graus         |
| clos 0 Y | Fechar garra Y graus        |

A Figura 28 mostra quais servos correspondem a movimentação de cada parte do manipulador.

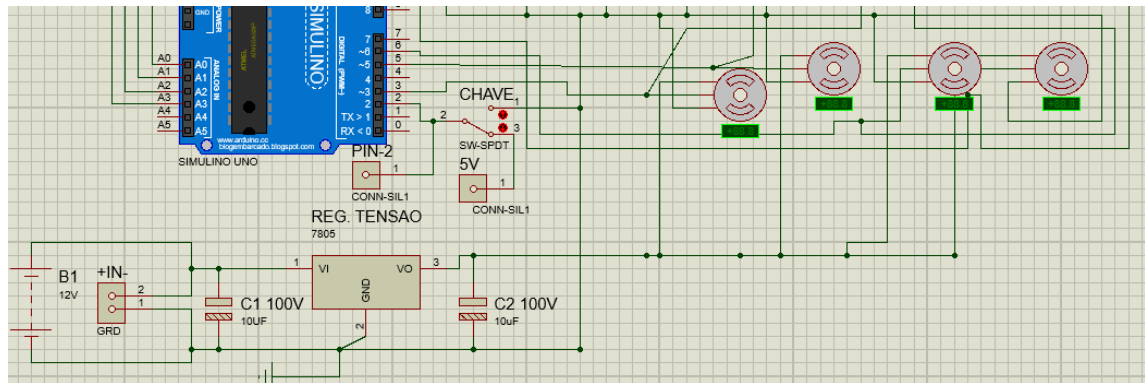
Figura 27 – Identificação dos servos do manipulador



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Após a leitura de cada linha, os comandos são enviados para o Arduino através da porta serial USB, onde são interpretados e os sinais de controle, posteriormente, enviados aos servos motores através das portas digitais do Arduino. Para a alimentação dos servos foi necessário utilizar uma fonte de tensão externa junto a um regulador de tensão, a fim de manter a tensão em uma faixa segura, pois pilhas, baterias e a saída de alimentação do Arduino não conseguem suprir a corrente de partida necessária para iniciar os movimentos dos mesmos. Para o correto funcionamento do regulador foi necessário a utilização de dois capacitores para estabilizar o nível de tensão em sua saída. A Figura 29 mostra o esquema do circuito de alimentação dos servos.

Figura 28 - Alimentação dos sevos motores



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

#### 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O manipulador foi totalmente construído seguindo o projeto desenvolvido em *AutoCAD*. Ao término da montagem da sua estrutura, notou-se a necessidade de um apoio em sua base giratória, para suportar o peso do manipulador com os servos motores e o mesmo não sofrer uma inclinação excessiva. As Figuras 30 e 31 mostram o manipulador finalizado o.

Figura 29 - Manipulador finalizado visto de cima



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Figura 30 - Manipulador finalizado

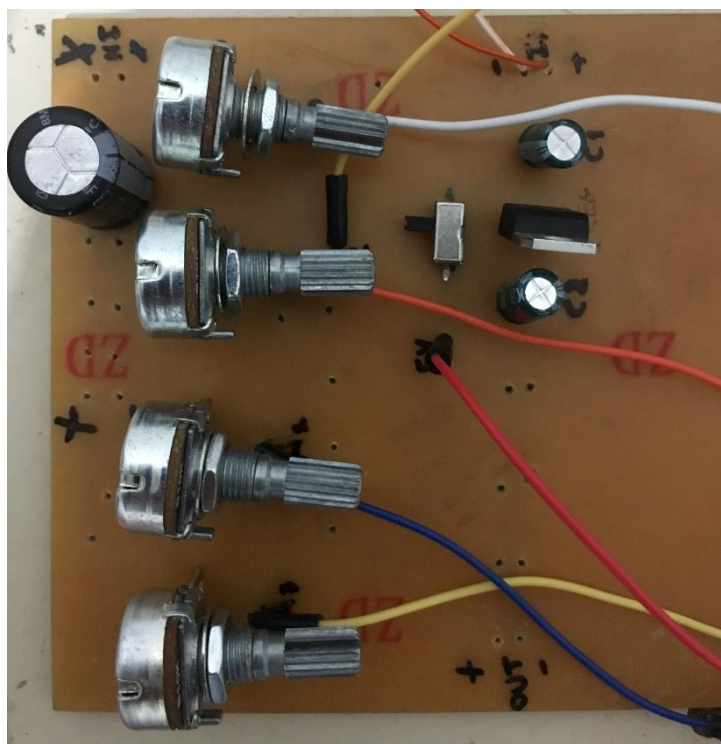


Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

O sistema de controle, *hardware* e *software*, também foi construído com sucesso. O controle através dos potenciômetros não é tão preciso devido as suas características analógicas, o que fez com que a garra não executasse os movimentos de abre e fecha corretamente deixando-a com uma certa instabilidade ao segurar objetos. Já o controle

através da leitura de comandos no arquivo texto possui uma maior precisão de movimento, uma vez que o valor exato do movimento é especificado no arquivo texto. A Figura 32 mostra a PCB finalizada.

Figura 31 – Circuito de controle do manipulador

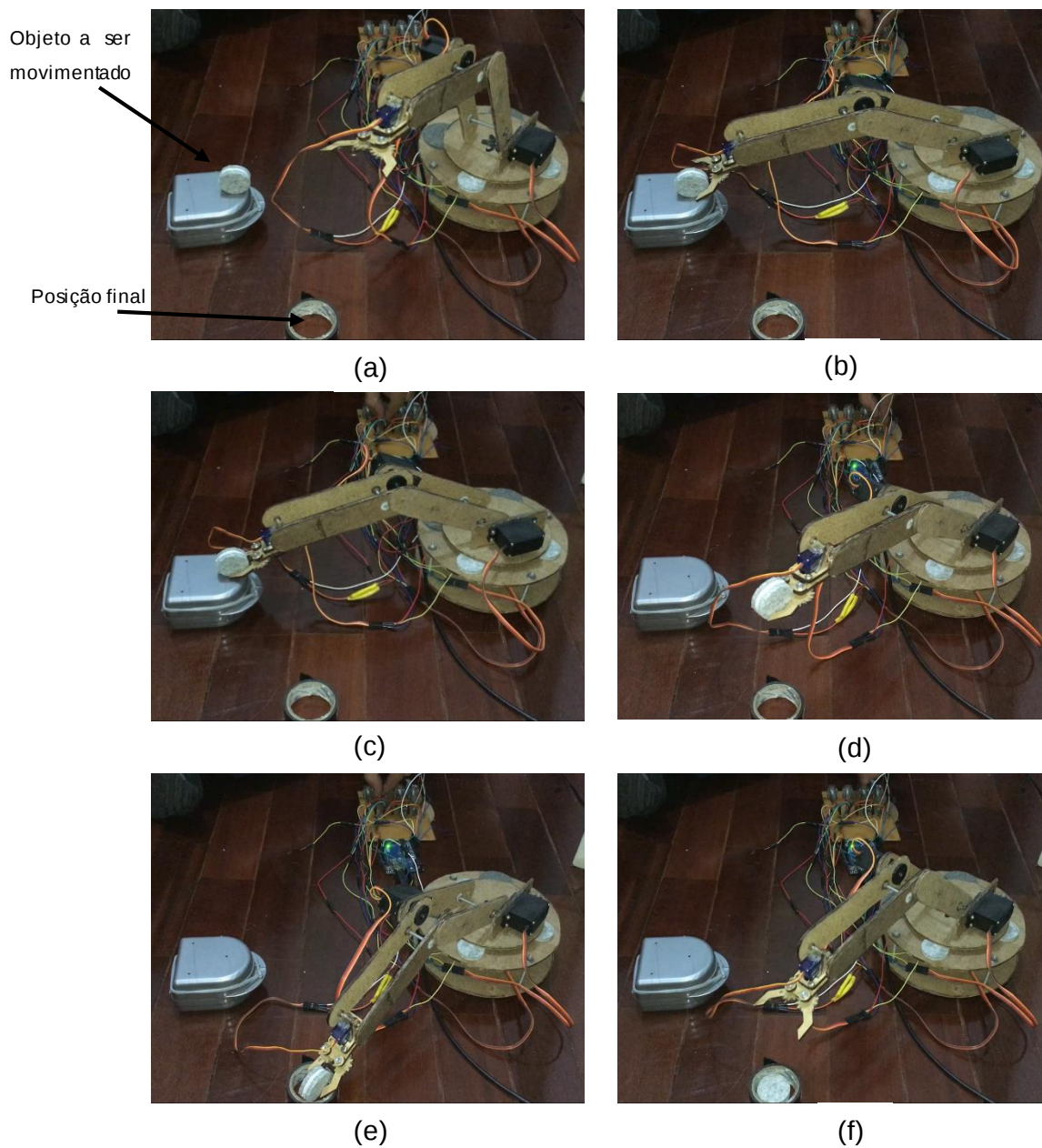


Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Para verificar o funcionamento do manipulador foram realizados testes de *pick & place*, o primeiro controlando-o através dos potenciômetros e o segundo controlando-o através dos comandos de texto. Em ambos os testes o manipulador teve o mesmo objetivo, pegar o objeto em determinada posição e leva-lo para outra posição escolhida. No primeiro teste, foi muito difícil chegar até a posição exata do objeto e segurá-lo com firmeza, de modo a não o deixar cair e transportá-lo com sucesso para a posição final. Isso se deve as oscilações dos potenciômetros devido as suas características analógicas que faziam o manipulador tremer e a garra não ter seu encaixe preciso ao segurar o objeto.

No teste realizado através dos comandos do arquivo texto, o manipulador foi mais preciso e exato nas execuções dos movimentos, pois os valores de rotação dos servos são definidos de forma discreta, não havendo oscilações. As Figuras 33(a),(b), (c), (d), (e) e (f) mostram as etapas de execuções do teste.

Figura 32 - Etapas de execução do teste do manipulador (a) posição inicial, (b) movimentação do manipulador, (c) captura do objeto, (d) carregando o objeto, (e) objeto na posição final, (f) fim da execução de movimentos



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

## 5 CONCLUSÕES

Um manipulador de baixo custo foi desenvolvido com o objetivo de servir como uma ferramenta didática no ensino da robótica, demonstrando sua concepção, estrutura, e princípio de funcionamento, alinhando, assim, teoria e prática.

Durante o desenvolvimento, diversos desafios surgiram, e muitos dos problemas foram decorrentes do uso de materiais de baixo custo, que muitas vezes não se comportavam como o esperado, como as oscilações do uso de servo motores e as adaptações da estrutura do manipulador devido a baixa qualidade da madeira compensada. No entanto, uma vez que não era requisito um excelente desempenho, estes problemas não afetaram o objetivo principal deste manipulador robótico, que é o ensino dos conceitos básicos da robótica fixa.

Para fins de trabalhos futuros, pode-se melhorar a estrutura para dar uma maior estabilidade ao manipulador e permitir o controle por meio de um aplicativo de celular, tornando o controle mais fácil e intuitivo.

## Referências Bibliográficas

5º CONGRESSO NACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2015, Ribeirão Preto. **Braço mecânico automatizado usando um controlador arduino guiado por um sensor de cor rgb...** [S.l.: s.n.], 2015. 10 p. Disponível em: <<http://conic-semesp.org.br/anais/files/2015/trabalho-1000020510.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2018.

AGUIAR, Alexandre Farínon de. **Programação de manipuladores mecânicos**. 1994. 105 f. Monografia (bacharelado em ciência da computação) - Universidade de Caxias do Sul, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Caxias do Sul, 1994. Disponível em: <<https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/2933/TCC%20Alexandre%20Farino%20de%20Aguiar.PDF?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

BIASE, H. H.; SUZIKI, N. K. G; SANTOS, R. L. **Desenvolvimento de um Manipulador Robótico Antromórfico**. *Biotemas*, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 158-166, 2013.

BOSH, **Sonda Lambda**. <[http://br.bosch-automotive.com/media/www/products/downloads\\_12/Catalogo\\_SondaLambda-2016.pdf](http://br.bosch-automotive.com/media/www/products/downloads_12/Catalogo_SondaLambda-2016.pdf)>. Acesso em 20 fev, 2018

BOUTEILLE, D., BOUTEILLE, N., CHANTREUIL, S., et al., **Les Automatismes Programables**, Cépaduès-éditions, 2 ed., Toulouse, 1997.

CARRARA, Valdemir. **Apostila de Robótica**. Universidade de Braz cubas. São Paulo: Universidade Braz Cubas, 2004. 15 p.

CRAIG, John J. **Introduction to Robotics: Mechanics and Control**. [S.l.]: Pearson Education Limited, 2013. 384 p. Disponível em: <[http://www.mech.sharif.ir/c/document\\_library/get\\_file?uuid=5a4bb247-1430-4e46-942c-d692dead831f&groupId=14040](http://www.mech.sharif.ir/c/document_library/get_file?uuid=5a4bb247-1430-4e46-942c-d692dead831f&groupId=14040)>. Acesso em: 02 out. 2018.

DE MASI, D., **A Sociedade Pós-Industrial**, Editora SENAI, 2 ed., São Paulo, 1999.

ERTHAL, Jorge Luiz. **Estudo de métodos para a solução da cinemática inversa de robôs industriais para implementação computacional**. 1992. 155 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1992.

FERREIRA, Manuel de Oliveira; IPUCHIMA, Sandrina Souza; SILVA, Wilton Pereira. **Projeto de um braço robótico para fins didáticos com quatro graus de liberdade e uma garra**. 2012. 111 f. Monografia (Engenheiro de Controle e Automação (Mecatrônica).) - UNIVERSIDADE PAULISTA – UNIP, MANAUS - AM, 2012.

GROOVER, M.P.; WEISS, M.; NAGEL, R.N.; ODREY.N.G. **Industrial Robotics: Technology, Programming and Applications**. New York: McGraw-Hill, 1987.

ISO 10218 - **Manipulating Industrial Robots** - Safety, ISO Publications, France, 1992.

KLAFTER, R., CHMIELEWSKI, T., NEGIN, M., 1989, “**Robotic Engineering, an Integrated Approach**”, Prentice-Hall International Editions, London.

LAZZARIM, Julio Cesar. **Construção de um manipulador robótico de baixo custo para ensino**. 2012. 47 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência de Computação) - Unioeste - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

LOPES, António Mendes. **Robótica Industrial: Modelação Cinemática e Dinâmica de Manipuladores de Estrutura em Série**. 2002. 101 f. Dissertação (Mestrado em Automação, Instrumentação e Controlo) - Faculdade de Engenharia, Universidade de Porto, Porto, [2002]. Disponível em: <[https://paginas.fe.up.pt/~aml/maic\\_files/cindin.pdf](https://paginas.fe.up.pt/~aml/maic_files/cindin.pdf)>. Acesso em: 19 nov. 2017.

MALONE, Bob. **George Devol: A Life Devoted to Invention, and Robots**. Disponível em:<<http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/industrial-robots/george-devol-a-life-devoted-to-invention-and-robots>>. Acesso em: 02 jul. 2017.

MEDINA, S. **Industrial Automation, IDC Engineering Pocket Guide**. First Edition. Rev 1.04. Technology training that Works.

MORAES, A. A. **Robótica**. São Paulo – SP: Curso técnico em mecatrônica, SENAI, 2003

OLIVEIRA, A. G. D. C.; CARDOSO, C.B.; PREVEDI, G.M.; PINTO. L.A.D.; CALDAS, P. H. **Braço Educacional Tecnicamente Operacional** (B.E.T.O), São Caetano do Sul, 2015.

PAZOS, Fernando. **Automação de Sistemas e Robótica**. [S.l.]: Axcel Books, 2002. 392 p.

RIA. **Robotics Online**. 2008. Disponível em: < <https://www.robotics.org/>> Acesso em: 29 set. 2018.

RIOS, Claudio Fernando. **Projeto e construção de um robô cartesiano com acionamento pneumático**. 2009. 88 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17887/000725504.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

RIVIN, E. **Mechanical Design of Robots**, 1 ed., MacGraw-Hill Inc., New York, 1988.

ROMANO, Vitor Ferreira; DUTRA, Max Suell. **Introdução à robótica industrial**. In: ROMANO, Vitor Ferreira; DUTRA, Max Suell. Robótica. [S.l.: s.n.], [2002]. cap. 1, p. 1-21. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~hermini/Robotica/livro/cap.1.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2017.

ROSARIO, João Maurício. **Princípios de Mecatrônica**. 1ª Ed. São Paulo, 2005.

ROSHEIM, Mark E. **Robot Evolution: The Development of Anthrobotics**. Estados Unidos: John Wiley Professio, 1994. 448 p. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?id=IxtL54iiDPUC&dq=pitch+roll+yaw&hl=pt-BR&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.br/books?id=IxtL54iiDPUC&dq=pitch+roll+yaw&hl=pt-BR&source=gbs_navlinks_s)>. Acesso em: 15 jan. 2018.

SALGADO, O. *et al.* **Diseño, síntesis y verificación de manipuladores paralelos para producción industrial. Aplicación a manipuladores de baja movilidad**. 24-10-2007. Disponível em: <<http://www.ehu.eus/compmech/welcome/araba.html>>. Acesso em: 13 jan. 2018.

SANTOS, V. **Robótica Industrial**, 2004. [pdf] Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro Disponível em: <[http://lars.mec.ua.pt/public/LAR%20Projects/Humanoid/2013\\_EmilioEstrelinha/Dissertação\\_Emílio\\_Estrelinha/Datasheets/RoboticalIndustrial-Sebenta2003-2004-v2a.pdf](http://lars.mec.ua.pt/public/LAR%20Projects/Humanoid/2013_EmilioEstrelinha/Dissertação_Emílio_Estrelinha/Datasheets/RoboticalIndustrial-Sebenta2003-2004-v2a.pdf)> Acesso em: 19 nov. 2017.

SCHEINMAN, Victor. **Robots and their Arms**. Disponível em: <http://infolab.stanford.edu/pub/voy/museum/pictures/display/Calculators.htm>. Acesso em: 19 nov. 2017.

SILVA, R. M. **Apostila: Introdução à Dinâmica e ao Controle de Manipuladores Robóticos**. Porto Alegre: DEM – PUCRS.

SIMPLÍCIO, Paulo Victor Galvão; LIMA, Beatriz Régo; JUNKES, Janaína Accordi. **Manipuladores robóticos industriais**. Ciências exatas e tecnológicas, Aracaju, v. 3, n. 3, p. 85-94, out. 2016. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernoexatas/article/viewFile/3572/1950>. Acesso em: 19 nov. 2017.

SINGLE **Axis Robotic Arm With Snare End-Effector: Onwards and Upwards Your Roboticist Guide**. Disponível em: <http://nearsys.com/catalog/robotics/singlearm.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2018.

SPONG, Mark W.; HUTCHINSON, Seth; VIDYASAGAR, M. **Robot Modeling and Control**. [S.l.]: Wiley, 2005. 496 p.

VALDIERO, A. C. **Projeto Mecânico de Robôs Industriais. Programa de incentivo à produção docente: Coleção Cadernos Unijuí - Série Tecnologia Mecânica n. 9**, Editora Unijuí, Ijuí, 2005.

Yi Cao, Ke Lu, Xiujuan Li and Yi Zang. **Accurate Numerical Methods for Computing 2D and 3D Robot Workspace [Journal]** // International Journal of Advanced Robotic Systems : INTECH, August 2011. – 6 : Vol. VIII – pp. 1-13.

## APÊNDICE A – Código de Controle dos Servos

```
#include "Servo.h" //biblioteca para controle do servomotor

const int SW_PIN = 2; //Polo da chave/switch conectado ao pino 2
const int ENABLE_POT = 4; // Connect the LED to pin 3
const byte numChars = 32; //numero maximo de bytes recebidos

char    receivedChars[numChars]; //armazena valor recebido da porta serial
boolean newData = false;

int tipo_mov    = 0;
int junta      = 0;
int pos        = 0;
int pos1_cen   = 0;
int pos2_dez   = 0;
int pos3_uni   = 0;

//Criando objeto da classe Servo
Servo servoMotor1Obj; //para controlar o servo 1
Servo servoMotor2Obj; //para controlar o servo 2
Servo servoMotor3Obj; //para controlar o servo 3
Servo servoMotor4Obj; //para controlar o servo 4

//pinos analógicos dos potenciômetros
int const potenciometro1Pin = 0; //potenciometro 1
int const potenciometro2Pin = 1; //potenciometro 2
int const potenciometro3Pin = 2; //potenciometro 3
int const potenciometro4Pin = 3; //potenciometro 3

//pino digital associado ao servomotor
int const servoMotor1Pin = 3; //controle do servomotor 1
int const servoMotor2Pin = 5; //controle do servomotor 2
int const servoMotor3Pin = 6; //controle do servomotor 3
int const servoMotor4Pin = 11; //controle do servomotor 4

//variáveis usadas para armazenar o valor lido nos potenciômetros
int valPotenciometro1; //potenciômetro 1
int valPotenciometro2; //potenciômetro 2
int valPotenciometro3; //potenciômetro 3
int valPotenciometro4; //potenciômetro 4

//variáveis para armazenar os valores em graus dos servomotores
int valServo1; //servomotor 1
int valServo2; //servomotor 2
int valServo3; //servomotor 3
int valServo4; //servomotor 3
```

## Código de Controle dos Servos

```

void loop() {

    if (digitalRead(SW_PIN) == HIGH) {

        //lendo os valores dos potenciômetros
        //o (intervalo do potenciometro está entre 0 e 1023)
        valPotenciometro1 = analogRead(potenciometro1Pin);
        valPotenciometro2 = analogRead(potenciometro2Pin);
        valPotenciometro3 = analogRead(potenciometro3Pin);
        valPotenciometro4 = analogRead(potenciometro4Pin);

        //mapeando os valores dos potenciômetros para a escala do servo (intervalo entre 0 e 179 graus)
        valServo1 = map(valPotenciometro1, 0, 1023, 0, 179);
        valServo2 = map(valPotenciometro2, 0, 1023, 0, 179);
        valServo3 = map(valPotenciometro3, 0, 1023, 0, 179);
        valServo4 = map(valPotenciometro4, 0, 1023, 0, 179);

        //definindo o valor/posição dos servomotores em graus
        servoMotor1Obj.write(valServo1);
        servoMotor2Obj.write(valServo2);
        servoMotor4Obj.write(valServo4);
        servoMotor3Obj.write(valServo3);

        delay(15);
    } else { //controle através do arquivo texto via serial USB
        static byte idx = 0;
        while (Serial.available() > 0 && newData == false) {
            int char_Recebido = Serial.read();
            if (char_Recebido != '\n') {
                receivedChars[idx] = char_Recebido;
                idx++;
                if (idx >= numChars) {
                    idx = numChars - 1;
                }
            }
        } else {
            receivedChars[idx] = '\0'; // fim da string
            idx = 0;
            newData = true;
        }

        if (newData == true) {
            //0..9 = 48 ..57
            //l=49 -> 49-48 = 1
            tipo_mov = receivedChars[0] - '0'; //x-48
            junta = receivedChars[1] - '0';
            pos1_cen = receivedChars[2] - '0';
            pos2_dez = receivedChars[3] - '0';
            pos3_uni = receivedChars[4] - '0';
            pos = pos1_cen*100 + pos2_dez*10 + pos3_uni;
        }
    }
}

```

## Código de Controle dos Servos

```

switch(tipo_mov){
  case 1://move
    switch(junta){
      case(1):
        delay(1000);
        servoMotor1Obj.write(pos);
        delay(1000);
        break;

      case(2):
        delay(1000);
        servoMotor2Obj.write(pos);
        delay(1000);
        break;

      case(3):
        Serial.println(pos);
        delay(1000);
        servoMotor3Obj.write(pos);
        delay(1000);
        break;
    }
    break;

    case 2://abrir garra
      delay(100);
      servoMotor4Obj.write(pos);
      delay(1000);
      break;

    case 3://fechar garra
      delay(1000);
      servoMotor4Obj.write(pos);
      delay(1000);
      break;
    }
    pos = 0;
    newData = false;
  }
}
}

```

## APÊNDICE B – Código de leitura do arquivo texto e comunicação com Arduino

```
import java.io.BufferedReader;
import java.io.FileReader;
import java.io.IOException;
import java.util.Scanner;

public class Principal {

    public static void main(String[] args) throws InterruptedException, IOException {

        Scanner ler = new Scanner(System.in);
        Arduino conn = new Arduino();

        try {
            String linha ;
            String[] s ;

            System.out.printf("Informe o nome do arquivo texto:\n");
            String nome = ler.nextLine(); /*recebe o diretorio do arquivo
            'C:\Users\aliso\Google Drive\UFOP\Comandos.txt'*/
            System.out.printf("\nConteúdo do arquivo texto:\n");

            FileReader arq = new FileReader(nome);
            BufferedReader lerArq = new BufferedReader(arq);

            // a variável "linha" recebe o valor "null" quando o processo
            // de repetição atingir o final do arquivo texto

            while ( (linha = lerArq.readLine()) != null) {
                s = linha.split(" ");
                if(s[0].equals("move")){

                    System.out.printf("%s\n", s[0]);
                    linha = "" + 1 + s[1] + s[2];
                    linha = linha + "\n" ;
                    conn.comunicacaoArduino(linha);

                }else if (s[0].equals("open")){

                    System.out.printf("%s\n", s[0]);
                    linha = "" + 2 + s[1] + s[2];
                    linha = linha + "\n" ;
                    conn.comunicacaoArduino(linha);

                }else if (s[0].equals("clos")){

                    System.out.printf("%s\n", s[0]);
                    linha = "" + 3 + s[1] + s[2];
                    linha = linha + "\n" ;
                    conn.comunicacaoArduino(linha);

                }
            }
        }
    }
}
```

## Algoritmo de leitura do arquivo texto e comunicação com Arduino

```

        System.out.printf("fim");
        arq.close();
    } catch (IOException e) {
        System.err.printf("Erro na abertura do arquivo: %s.\n",
            e.getMessage());
        e.printStackTrace();
    }
}

import gnu.io.CommPortIdentifier;
import gnu.io.NoSuchPortException;
import gnu.io.SerialPort;
import java.io.IOException;
import java.io.OutputStream;
import javax.swing.JOptionPane;

public class ControlePorta {
    private OutputStream serialOut;
    private int taxa;
    private String portaCOM;

    /** Construtor da classe ControlePorta
     *  @param portaCOM - Porta COM que será utilizada para enviar os dados para o arduino
     *  @param taxa - Taxa de transferência da porta serial geralmente é 9600
     */
    public ControlePorta(String portaCOM, int taxa) {
        this.portaCOM = portaCOM;
        this.taxa = taxa;
        this.initialize();
    }

    // Método que verifica se a comunicação com a porta serial está ok
    private void initialize() {
        try {
            //Define uma variável portId do tipo CommPortIdentifier para realizar a comunicação serial
            CommPortIdentifier portId = null;
            try {
                //verifica se a porta COM informada existe
                portId = CommPortIdentifier.getPortIdentifier(this.portaCOM);
            } //Abre a porta COM
            SerialPort port = (SerialPort) portId.open("Comunicação serial", this.taxa);
            serialOut = port.getOutputStream();
            port.setSerialPortParams(this.taxa, //taxa de transferência da porta serial
                SerialPort.DATABITS_8, //taxa de 10 bits 8 (envio)
                SerialPort.STOPBITS_1, //taxa de 10 bits 1 (recebimento)
                SerialPort.PARITY_NONE); //receber e enviar dados
        } catch (NoSuchPortException npe) {
            //Caso a porta COM não exista será exibido um erro
            JOptionPane.showMessageDialog(null, "Porta COM não encontrada.",
                "Porta COM", JOptionPane.PLAIN_MESSAGE);
        }
    } catch (Exception e) {
        e.printStackTrace();
    }
}

```

## Algoritmo de leitura do arquivo texto e comunicação com Arduino

```
// Método que fecha a comunicação com a porta serial
public void close() {
    try {
        serialOut.close();
    } catch (IOException e) {
        JOptionPane.showMessageDialog(null, "Não foi possível fechar porta COM.",
            "Fechar porta COM", JOptionPane.PLAIN_MESSAGE);
    }
}

// @param tipo_mov - Valor a ser enviado pela porta serial
public void enviaDados(String tipo_mov){
    try {
        System.out.printf("Serial: %s\n", tipo_mov);
        serialOut.write(tipo_mov.getBytes()); // escreve o valor na porta serial para ser enviado
    } catch (IOException ex) {
        JOptionPane.showMessageDialog(null, "Não foi possível enviar o dado. ",
            "Enviar dados", JOptionPane.PLAIN_MESSAGE);
    }
}
}

public class Arduino {
    private ControlePorta arduino;

    // Construtor da classe Arduino
    public Arduino(){

        arduino = new ControlePorta("COM3",9600); // Windows - porta e taxa de transmissão
    }

    // Envia o comando para a porta serial
    public void comunicacaoArduino(String tipo_mov){

        System.out.printf("comunicacaoArduino: %s\n", tipo_mov);
        arduino.enviaDados(tipo_mov);
    }
}
}
```



Universidade Federal  
de Ouro Preto

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS  
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO



### TERMO DE RESPONSABILIDADE

Eu, Álton Vinícius de Oliveira Viçoso,  
declaro que o texto do trabalho de conclusão de curso intitulado  
“Desenvolvimento de um manipulador robótico de  
baixo custo de uso didático” é de  
minha inteira responsabilidade e que não há utilização de texto, material fotográfico, código  
fonte de programa ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem as devidas  
referências ou consentimento dos respectivos autores.

João Monlevade, 13 de dezembro de 2018

Álton Vinícius de O. Viçoso

Assinatura do aluno



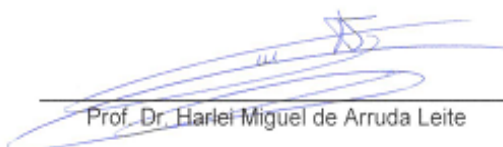
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS  
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO



### DECLARAÇÃO DE CONFORMIDADE

Certifico que o(a) aluno(a) Állison Vinícius de Oliveira Vieira, autor do trabalho de conclusão de curso intitulado "Desenvolvimento de um manipulador robótico de baixo custo de uso didático" efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.

João Monlevade, 11 de dezembro de 2018.



Prof. Dr. Harlei Miguel de Arruda Leite