

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA
PROFESSOR MIGUEL REALE

GABRIEL VIEIRA GENNARI
KAIO FELIPE TORRES SANTOS
RONALD MAURÍCIO CARRILLO VILLAN

Manipulação de Objetos Através de Braços Robóticos Com Ventosa

São Paulo

2024

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA
PROFESSOR MIGUEL REALE

GABRIEL VIEIRA GENNARI
KAIO FELIPE TORRES SANTOS
RONALD MAURÍCIO CARRILLO VILLAN

Manipulação de Objetos Através de Braços Robóticos Com Ventosa

Trabalho acadêmico realizado como requisito parcial para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial.

Orientador: Prof. Doutor Rodrigo Soares Moraes

São Paulo
2024

FOLHA DE APROVAÇÃO

GABRIEL VIEIRA GENNARI
KAIO FELIPE TORRES SANTOS
RONALD MAURÍCIO CARRILLO VILLAN

Manipulação de Objetos Através de Braços Robóticos Com Ventosa

Projeto tecnológico elaborado como requisito parcial para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Nome da Especialidade.

Orientador(a): Prof. Doutor Rodrigo Soares Moraes

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rodrigo Soares Moraes

Assinatura: _____

Instituição: FATEC ITAQUERA

Data ____/____/____

Prof. Me. Francisco José O. Maia

Assinatura: _____

Instituição: FATEC ITAQUERA

Data ____/____/____

Prof. Me. Fabio Pinto de Arruda

Assinatura: _____

Instituição: FATEC ITAQUERA

Data ____/____/____

RESUMO

O projeto propõe estudo e análise de combinações lógicas para manipuladores robóticos, com leitura de objetos com um sensor ultrassônico, contribuindo no segmento industrial, alimentício e logístico. A realidade de robôs capazes de facilitar o processo e adaptar-se a ambientes de forma mais eficiente, sem a necessidade de ajustes constantes em sensores, programação e calibração, e sobretudo, sem depender significativamente da intervenção humana, para aumentar qualidade e resultados e também diminuir tempo e custo. Trata-se de um estudo de procedimento experimental que envolve ensaios no âmbito da manipulação de objetos em braços manipuladores. O desenvolvimento do projeto possui uma condução atenta na programação lógica de funcionamento para a leitura precisa dos objetos por meio do sensor ultrassônico com procedimentos experimentais, os dados coletados foram processados e analisados utilizando combinações lógicas, visando a rapidez e alta repetibilidade de reconhecimentos dos objetos pelo sensor ultrassônico e a busca pelo manipulador. Os resultados obtidos demonstraram melhorias significativas na busca e entrega de objetos com precisão e facilitando o processo que pode ser substituído por humanos, sendo processos repetitivos que causam lesões no trabalhador. As métricas de desempenho, como taxas aprimoradas de detecção de objetos e os pontos gravados no Arduino das posições que os servos-motores se encontram, evidenciaram a eficácia e o potencial dessas tecnologias para o aprimoramento dos braços robóticos. Em conclusão, a aplicação das tecnologias avançadas propostas neste estudo mostrou-se promissora para a implementação do braço robótico com um tempo de 45 segundos para detecção de dois objetos e organização do mesmo na caixa metálica e 43 segundos colocando uma peça vermelha na caixa e uma peça preta após identificação do sensor de cor sendo descartada. Como observação para melhorias futuras, a escolha por um esqueleto mecânico robusto, pois a alta força de torque dos servos motores comprometeu a estrutura para a realização de mais testes. Ainda assim, o projeto mostra a importância dessas tecnologias como soluções para enfrentar os desafios das indústrias.

Palavras-chave: Manipulador de objetos; Braços robóticos; Ventosa.

ABSTRACT

The project proposes the study and analysis of logical combinations for robotic manipulators, reading objects with an ultrasonic sensor, contributing to the industrial, food and logistics segments. The reality of robots capable of facilitating the process and adapting to environments more efficiently, without the need for constant adjustments to sensors, programming and calibration, and above all, without significantly depending on human intervention, to increase quality and results and also reduce time and cost. This is an experimental procedure study that involves tests involving the manipulation of objects in manipulator arms. The development of the project has an attentive approach to the logical programming of operation for the precise reading of objects using the ultrasonic sensor with experimental procedures, the collected data was processed and analyzed using logical combinations, aiming at the speed and high repeatability of object recognition by the ultrasonic sensor and the search for the manipulator. The results obtained demonstrated significant improvements in the search and delivery of objects with precision and facilitating the process that can be replaced by humans, with repetitive processes that cause injuries to workers. Performance metrics, such as improved object detection rates and the points recorded on Arduino of the positions that the servo motors are in, highlighted the effectiveness and potential of these technologies for improving robotic arms. In conclusion, the application of the advanced technologies proposed in this study showed promise for the implementation of the robotic arm with a time of 45 seconds for detecting two objects and organizing them in the metal box and 43 seconds placing a red piece in the box and a black piece after color sensor identification being discarded. As an observation for future improvements, the choice for a robust mechanical skeleton was chosen, as the high torque force of the servo motors compromised the structure for carrying out further tests. Still, the project shows the importance of these technologies as solutions to face industry challenges.

Keywords: Object Handler; Robotic Arms; Suction Cup.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Cadeia cinemática aberta	17
Figura 2 - Braço robótico cinemática direta	18
Figura 3 - Diagrama da rotação angular do servo motor usando onda PWM	22
Figura 4 - Organização interna de um servo motor.	22
Figura 5 - Ondas de pulso do sensor ultrassônico	24
Figura 6 - Expectro de cores	25
Figura 7 - Luz refletida do objeto.....	25
Figura 8 - Índice de automação nas empresas brasileiras	27
Figura 9 - Índice de porte de empresas brasileiras.....	27
Figura 10 - Aplicação robôs de serviços	28
Figura 11 - Foto 1 - Braço robótico seletor.....	29
Figura 12 - Foto 2 - Braço robótico seletor	29
Figura 13 - Foto 3 - Braço robótico seletor	30
Figura 14 - Foto 4 - Braço robótico seletor	30
Figura 15 - Foto 5 - Braço robótico seletor	30
Figura 16 - Fluxograma do projeto	32
Figura 17 - Fluxograma lógica de funcionamento.....	33
Figura 18 – Projeto robótico em 3D	34
Figura 19 - Dimensões do esqueleto	35
Figura 20 - Servo motor.....	36
Figura 21 - Dimensões do servo motor	36
Figura 22 - Arduino MEGA	37
Figura 23 - Módulo regulador de tensão	38
Figura 24 - Módulo relé	39
Figura 25 - Sensor ultrassônico	40
Figura 26 - Sensor de cores.....	41
Figura 27 - Bomba de sucção e válvula eletrônica	42
Figura 28 - Ventosa	42
Figura 29 - Transistor B331 NPN	43
Figura 30 - Peças de conexão	45
Figura 31 - Montagem da estrutura (foto 1)	46
Figura 32 - Montagem da estrutura (foto 2)	46

Figura 33 - Esqueleto braço robótico montado	47
Figura 34 - Suporte chapa de aço	48
Figura 35 - Caixa de seleção	49
Figura 36 - Declaração dos pinos do servo motor	50
Figura 37 - Visualização do servo motor invertido	50
Figura 38 - Tensão medida de cada servo motor.....	52
Figura 39 - Corrente medida de cada servo motor	52
Figura 40 - Foto módulo regulador de tensão	53
Figura 41 - Foto traseira do módulo regulador de tensão.....	53
Figura 42 - Ligação do transistor ao módulo relé	54
Figura 43 - Cálculo matemático na IDE	54
Figura 44 - Teste primário com o sensor ultrassônico	55
Figura 45 - Monitor serial do teste primário sensor ultrassônico	55
Figura 46 - Foto sensor de cores	56
Figura 47 - Leitura de cor da tampa de caneta	56
Figura 48 - Monitor serial da leitura de cor tampa de caneta	57
Figura 49 - Diagrama final do circuito elétrico eletrônico.....	58
Figura 50 - 1º TESTE - Leitura posição da peça	60
Figura 51 - 1º TESTE - Sucção pneumática da peça	61
Figura 52 - 1º TESTE - Leitura de cor da peça.....	61
Figura 53 - 1º TESTE - deslocamento da peça à caixa	62
Figura 54 - 1º TESTE - Segunda peça posicionada	62
Figura 55 - 1º TESTE - Sucção pneumática da segunda peça	63
Figura 56 - 1º TESTE – Segunda peça posicionada frente ao sensor de cor	63
Figura 57 - 1º TESTE - Leitura de cor da segunda peça	64
Figura 58 - 1º TESTE - Leitura de cor da segunda peça (monitor serial).....	64
Figura 59 - 1º TESTE - Deslocamento da segunda peça à caixa	65
Figura 60 - 2º TESTE - Posicionamento da peça preta	66
Figura 61 - 2º TESTE - Sucção da peça preta.....	66
Figura 62 - 2º TESTE - Deslocamento da peça preta à sensor de cor.....	67
Figura 63 - 2º TESTE - Deslocamento da peça preta para fora da caixa	67
Figura 64 - 2º TESTE - Posicionamento da peça vermelha	68
Figura 65 - 2º TESTE - Leitura da peça vermelha no sensor de cor	68
Figura 66 - 2º TESTE - Deslocamento da peça vermelha para dentro da caixa.....	69

Figura 67 - 2º TESTE - Peça vermelha guardada na caixa.....69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações do esqueleto robótico	35
Tabela 2 - Especificações do servo motor.....	37
Tabela 3 - Especificações do Arduino MEGA.....	38
Tabela 4 - Especificações do regulador de tensão.....	39
Tabela 5 - Especificações do sensor ultrassônico.....	40
Tabela 6 - Especificações do terminal do sensor de cores	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Corrente Alternada
ARM	Máquina RISC Avançada
AVR	Regulador Automático de Voltagem
CCD	Dispositivo de Carga Acoplada
CMOS	Semicondutor Complementar de Óxido Metálico
DC	Corrente Contínua
DOF	Graus de Liberdade
DORT	Distúrbios Osteomioarticulares Relacionados ao Trabalho
FEIMEC	Feira Internacional de Máquinas e Equipamentos
GND	Filtro Graduado de Densidade Neutra
IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado
IFR	Federação Internacional de Robótica
I/O	Entrada/Saída
IoT	Internet das Coisas
ISO	Organização Internacional de Padronização
LER	Lesão dos Esforços Repetitivos
PC	Personal Computer
PME	Pequenas Médias Empresas
PWM	Modulação por Largura de Pulso
RGB	Vermelho Verde Azul
RISC	Computador com Conjunto Reduzido de Instruções
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
VCC	Voltagem em Corrente Contínua
VDI	Associação de Engenheiros Brasil-Alemanha

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa	13
1.2	Objetivo Geral	15
1.3	Objetivos Específicos	15
1.4	Delimitações	15
2	REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1	Automação	16
2.2	Robótica	16
2.3	Cinemática	17
2.3.1	<i>Cinemática Aberta e Fechada</i>	17
2.3.2	<i>Cinemática Direta e Inversa</i>	18
2.3.3	<i>Graus de Liberdade</i>	18
2.4	Sistemas de Controle	19
2.4.1	<i>Arduino</i>	19
2.5	Programação	20
2.5.1	<i>Linguagem C++</i>	20
2.6	Atuadores	21
2.6.1	<i>Servo Motor</i>	21
2.6.2	<i>Garra de Vácuo</i>	23
2.7	Sensores	23
2.7.1	<i>Ultrassônico</i>	23
2.7.2	<i>Cores</i>	24
2.8	Robôs na Indústria	26
2.8.1	<i>Aplicação</i>	28
3	METODOLOGIA	32
3.1	Definição	32
3.2	Materiais	34
3.2.1	<i>Esqueleto Robótico</i>	34
3.2.2	<i>Servo Motores</i>	35
3.2.3	<i>Arduino MEGA</i>	37
3.2.4	<i>Módulo Regulador de Tensão</i>	38
3.2.5	<i>Módulo Relé</i>	39
3.2.6	<i>Sensor Ultrassônico</i>	40
3.2.7	<i>Sensor de Cores</i>	41

3.2.8	<i>Sistema Pneumático</i>	42
3.2.9	<i>Transistor</i>	43
3.2.10	<i>Outros materiais e ferramentas</i>	43
3.3	Cronograma	44
4	DESENVOLVIMENTO	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
6	CONCLUSÃO	71
	REFERÊNCIAS	72
	APÊNDICE A: CRONOGRAMA DO PROJETO	78
	APÊNDICE B: CÓDIGO DE COMANDO DO PROJETO	79

1 INTRODUÇÃO

A automação gera evoluções na produtividade das indústrias, desde o século XVIII, os humanos estão cada vez mais perdendo espaços para fazer os processos de uma produção, pois a automação e a robótica estão minimizando erros, que geram custos, tempo e com novas tecnologias, traz resultados melhores com maior precisão e em quantidades maiores. Sem precisar de humanos para operar, sem riscos de se machucarem, carregar peso, fazer processos repetitivos, não tem pausa para horário de almoço, férias, doenças e ainda trabalham 24 horas por dia; barateando o produto para concorrências, com a qualidade que se pede, esforço menor e, com isso, a população também paga mais barato (Maia, 2003).

Durante o século XX, a tecnologia evoluiu rapidamente, com o surgimento de dispositivos como transistores e circuitos integrados, como microprocessadores e microcontroladores (Simplício; Lima; Junkes, 2016). Em vista disso, “Cientistas árabes acrescentaram um importante e novo conceito a ideia tradicional de robôs, concentrando as suas pesquisas no objetivo de atribuir funções aos robôs, que fossem ao encontro das necessidades humanas” (Cristo; Araújo; Neto, 2017, p. 69).

Leonardo Da Vinci, um dos primeiros percursoros que influenciaram indiretamente no desenvolvimento das articulações mecânicas. Por meio de seus estudos à anatomia humana, Da Vinci contribuiu no entendimento e na criação de estruturas mecânicas que imitassem os movimentos do corpo humano (Fenerick; Volante, 2020).

Quando os computadores começaram a surgir na metade do século XX, se questionava sobre a capacidade de assimilação de pensamento e atuação dos robôs como dos humanos. No entanto, os robôs foram criados principalmente para substituir os seres humanos em tarefas de alto desempenho ou presente de algum risco. Contudo, as indústrias se beneficiaram pois permitiu aumentar a produção e reduzir os riscos à funcionários (Carrara, 2015).

A definição de robô industrial é dada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018), como uma máquina flexível, com capacidade de manipular objetos com vários graus de liberdade, operando de forma automática e reprogramável. Robôs versáteis, desempenham diversas funções, e podem conter bases fixas ou móveis para distintas aplicações na automação industrial.

Com tantas aplicações possíveis, é evidente que existem várias maneiras de construir um robô, e uma das abordagens mais comuns hoje em dia é baseada na anatomia de braços mecânicos industriais. Para os movimentos dos braços robóticos, sua estrutura é composta de elos, articulações, atuadores e sensores, também são controlados por um sistema de controle (Volpi; Dal-Ri; Rauta, 2020).

Esses manipuladores estão presentes na indústria e são usados em diversas áreas e segmentos, como na execução de atividades industriais rotineiras, linha de montagem, linha de logística, processos fabris de produção, soldagem, perfuração, *pick and place*, entre outros (Torres, 2022).

Sua aplicação proporciona vantagens econômicas às empresas, por não requerer alterações significativas no ambiente de trabalho, proporcionando melhor ergonomia dos operadores e processos industriais. Para sua implementação, deve ser levado em consideração a necessidade de estudos aos desafios a serem superados (Soares; Lucato, 2021).

A proposta deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é investigar por meio de estudo experimental as características e a utilização de um braço robótico na indústria, empregando servo motores com 20kg de torque e um sensor ultrassônico. O braço robótico é uma ferramenta versátil e precisa que desempenha um papel fundamental em várias aplicações industriais, como montagem, soldagem e inspeção. Os servos motores de alta potência fornecem a força necessária para movimentar o braço de forma eficiente e controlada, enquanto o sensor ultrassônico permite ao robô perceber e reagir ao ambiente ao seu redor. Este protótipo busca explorar as capacidades desses componentes, analisando sua eficácia em tarefas específicas dentro do contexto industrial. Ao compreender melhor as características e o desempenho deste sistema, espera-se contribuir para o avanço da automação industrial e aprimorar a eficiência dos processos de produção.

1.1 Justificativa

Diante das transformações na robótica, a realidade de robôs capazes de facilitar o processo e adaptar-se a ambientes de forma mais eficiente, sem a necessidade de ajustes constantes em sensores, programação e calibração, e sobretudo, sem depender significativamente da intervenção humana, para aumentar qualidade e resultados e também diminuir tempo e custo. (Romano; Dutra, 2016).

Com as ideias de Taylor e Ford transformando o artesanal em científico e dividindo as tarefas para aumento de quantidade e menor custo, porém as indústrias que não usam esses sistemas usam o trabalho humano dentro de uma produção por exemplo, são movimentos repetitivos e com o tempo geram lesões chamadas de Lesão dos Esforços Repetitivos (LER) e o termo Distúrbios Osteomioarticulares Relacionados ao Trabalho (DORT). E as empresas além de perder um funcionário mesmo que por pouco tempo, por lesão, gera ações trabalhistas e desgaste do funcionário (Couto, 1998).

A adoção de robótica emergiu como uma solução altamente eficaz, contribuindo para uma maior competitividade ao realizar tarefas de maneira equivalente às executadas por humanos. Além disso, os robôs oferecem uma vantagem significativa na produção em larga escala ao garantir a padronização dos produtos. Atualmente, células de trabalho automatizadas são empregadas em diversos processos industriais, incluindo fundição, soldagem, pintura, usinagem, inspeção, montagem, paletização e movimentação de materiais (Granemann *et al.* 2020).

Os benefícios primários do investimento em robótica incluem uma melhoria na qualidade dos produtos e a redução dos custos operacionais. Além disso, a utilização de robôs oferece flexibilidade na produção e a capacidade de adaptar-se rapidamente às demandas do mercado em comparação com máquinas especializadas em produtos específicos. Adicionalmente, os robôs proporcionam um ambiente de trabalho mais seguro, melhorando as condições para os funcionários (Weidlich, 2006).

Paralelamente, as indústrias estão investindo em conformidade com normas de segurança, reconhecendo a importância dessas medidas para o bem-estar dos colaboradores e visando reduzir acidentes. Essas adaptações de segurança frequentemente envolvem a instalação de barreiras de proteção e sensores de presença para minimizar os riscos associados às operações (Crespo, 2011).

A análise de Combinações lógicas, ao proporcionar inteligência aos robôs, não apenas expande suas capacidades operacionais, mas também promove eficiência, versatilidade e automação otimizada em ambientes industriais e logísticos. Além disso, a utilização de equipamentos de captura de cores de baixo custo e os contínuos avanços na tecnologia de processamento são fatores facilitadores.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo deste projeto propõe estudo e análise de combinações lógicas para manipuladores robóticos através de ventosas, com leitura de objetos por um sensor ultrassônico e identificação de cor, contribuindo no segmento industrial, alimentício e logístico.

1.3 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo serão realizadas:

- Desenvolvimento mecânico e operacional: Abranger os estudos do funcionamento mecânico do protótipo e sensores presentes.
- Desenvolvimento com linguagem de programação: Programar toda linha de código com linguagem C para atender as necessidades específicas e personalizadas para o protótipo.
- Integração de leitura: Vincular a capacidade da leitura dos sensores para analisar o objeto a ser alcançado e a cor desse objeto para fazer a separação.
- Análise de resultados: Realização de testes e comandos a fim de aprimorar e alcançar o melhor desempenho do braço robótico com precisão, decisão, eficiência e estabilidade.

1.4 Delimitações

Para a realização do projeto prático ser possível é necessário delimitar algumas partes que abarcam:

- Tipo de objeto: a pesquisa é capaz de ser delimitada apenas à objetos não porosos, objetos com estrutura não circulares, para não comprometer a fixação dos objetos.
- Tecnologias envolvidas: o projeto se concentra em combinações lógicas "if / else", que são enviados pelo sensor ultrassônico e processamento dos dados.
- Recursos acessíveis: a pesquisa é delimitada pelos recursos acessíveis de cada componente do grupo como; verba, tempo, conhecimento/familiaridade no manuseio dos *softwares* e dispositivos a serem utilizados.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura propõe contextualizar a construção para um problema e análise de possibilidades presentes. Segue itens para melhor entendimento de cada área do conhecimento usado neste projeto.

2.1 Automação

A automação industrial nasce com a visão de automatizar processos industriais por meio de um conjunto de técnicas, substituindo a energia humana por máquinas projetadas. Essa ideia teve suas raízes no século XVIII com a criação da máquina a vapor desenvolvida por James Watt. Nessa época houve um acentuado progresso na automação de processos produtivos, com a produção industrial em larga escala. Até o início do século XX, no qual, a automação industrial era guiada pelo uso de máquinas projetadas em um mesmo segmento para se obter maior produtividade, volume, lucratividade e qualidade; Henry Ford introduziu o modelo de "linha de montagem" denominado na indústria como automação rígida (Silveira; Lima, 2003).

A ascensão tecnológica está relacionada à organização das indústrias, que buscam minimizar custos com aplicação de outros modelos de produção. Além do modelo de automação rígida; a automação programável está associada na fabricação em série de lotes menores de produtos; já a automação flexível se refere à produção de lotes diversos de produtos (Romano; Dutra, 2002).

2.2 Robótica

Os robôs industriais aparecem como uma alternativa eficiente nos modelos de automação programável e flexível. Devido a capacidade de movimentação programável, adaptação operacional e aplicação de ferramentas ou dispositivos pertinentes para realização ordenada (Romano; Dutra, 2002).

O conceito de robô teve sua origem em uma peça de ficção científica dirigida por Karel Capek. De origem tcheca, a palavra "robota" diz a respeito da "servidão" ou "trabalhador forçado" (Groover *et al.* 1989).

Na robótica moderna, o conceito de robô é referido de acordo com a competência de a máquina ser autônoma, estar presente no mundo físico e agir sobre esse meio físico para cumprir seus objetivos (Carrara, 2015).

2.3 Cinemática

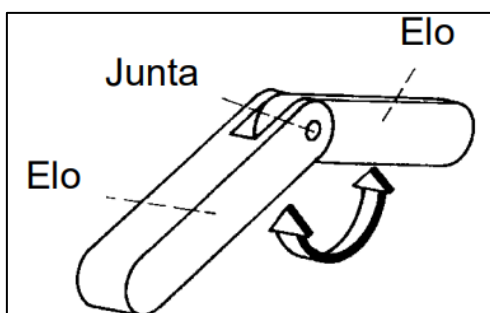
Leonardo Da Vinci, um dos cientistas que contribuíram para o avanço do crescimento da robótica; suas pesquisas na área da anatomia humana proporcionaram conhecimento sobre as articulações humanas. Essa descoberta facilitou para o entendimento dos movimentos humanos mediante os eixos; que por sua vez, passaram a ser integrados em sistemas robóticos (Yanagiya, 2015). Os braços robóticos são um exemplo.

Os manipuladores robóticos se assemelham ao braço do corpo humano com elementos base da estrutura, braço, antebraço e punho. Um robô manipulador é formado por uma integração capaz de realizar movimentação por intermédio de componentes estruturais rígidos como braços ou elos, interligados através das articulações ou juntas. Nas juntas há diversos tipos que compõem um par cinemático, constituído por dois elos adjacentes. Cada letra se refere ao seu tipo de configuração da junta, junta linear ou prismática "P", rotacional "R", esférica "S" (Romano; Dutra, 2002).

2.3.1 Cinemática Aberta e Fechada

Um robô manipulador pode ser de cadeia cinemática aberta que iniciando da base, vai até o punho por um único caminho em sequência de “elo” depois “junta” e por fim “elo”. Já na cadeia cinemática fechada é viável chegar ao punho por meio de inúmeros caminhos (Carrara, 2015). Como visto na Figura 1 a seguir.

Figura 1 - Cadeia cinemática aberta

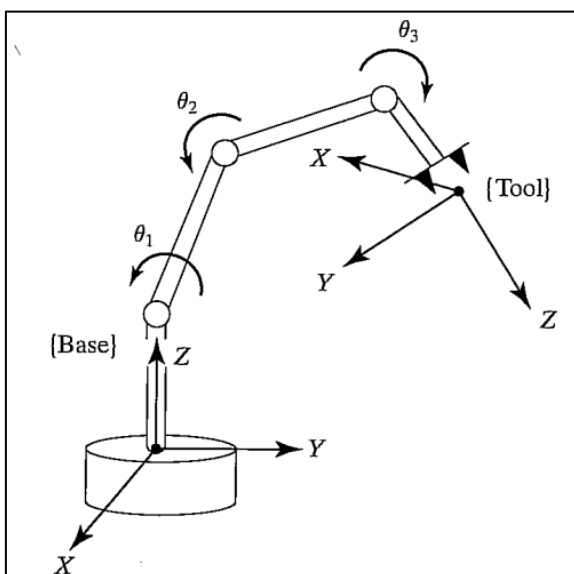


Fonte: Santos (2004)

2.3.2 Cinemática Direta e Inversa

A cinemática direta se refere ao desafio de localizar a orientação da extremidade do braço em relação à base. Em outras palavras, a cinemática direta consiste em encontrar as coordenadas tridimensionais (x, y, z) do braço robótico com base nos valores dos ângulos das articulações (θ_n) e dos servomotores correspondentes (m_n). Como ilustra a Figura 2.

Figura 2 - Braço robótico cinemática direta



Fonte: Craig (2005)

A cinemática inversa, princípio oposto da cinemática direta, pois se refere ao objetivo de encontrar os valores de ângulos das juntas (θ_n) com base nas coordenadas tridimensionais (x, y e z) do braço robótico. A complexidade é notável, já que, não há apenas uma única solução, mas diversas alternâncias de ângulos que levar o atuador do braço à mesma posição e orientação (Batista, 2019).

2.3.3 Graus de Liberdade

Um manipulador robótico tem sua movimentação limitada, de acordo com os Graus de Liberdade (GL) ou do original *Degrees of Freedom* (DOF), onde são definidos através da quantidade de articulações presentes no manipulador; quanto mais articulações maior o nível de complexidade da movimentação desse manipulador. Os DOF podem ser compostas por diferentes combinações, chamados

de geometria do robô. De características rotacionais "raio", lineares "retos", ou esférica (Casanova, 2007).

Existem três tipos de movimentos independentes:

- 1) Vertical transversal – Movimentação do punho para cima ou para baixo;
- 2) Rotacional transversal – Movimentação do punho à direita ou esquerda;
- 3) Radial transversal - Aproximação e afastamento do punho.

2.4 Sistemas de Controle

Sistema de controle é um conjunto de componentes físicos conectados de maneira a comandar a si mesmo ou a outros sistemas (Carneiro, 2021).

2.4.1 Arduino

O Arduino é uma das plataformas de prototipagem eletrônica de código aberto lançada em 2005. Desde então, tornou-se uma ferramenta essencial para uma variedade de pessoas, incluindo iniciantes, estudantes e profissionais interessados em eletrônica, engenharia e arte. Esta plataforma é construída com *hardware* e *software* flexíveis e amigáveis, projetados para simplificar o processo de prototipagem (McRoberts, 2011).

A placa Arduino é o componente central, contendo um microcontrolador, entradas e saídas digitais e analógicas, além de interfaces para conectar sensores, atuadores e outros dispositivos eletrônicos. O microcontrolador, com arquitetura *Reduced Instruction Set Computing* (RISC), geralmente é da família *Alf and Vegard's* RISC processor (AVR) da Atmel ou um processador Máquina RISC Avançada (ARM), desempenhando o papel de controlar os dispositivos eletrônicos, assim como um cérebro controla um corpo. O *Integrated Development Environment* (IDE) ou ambiente de desenvolvimento integrado facilita a escrita e o carregamento de código para a placa, utilizando uma variante da linguagem de programação C/C++ (McRoberts, 2011).

Um dos pontos fortes do Arduino é sua comunidade ativa e diversificada, que compartilha projetos, códigos e conhecimento. Isso torna mais fácil para os iniciantes aprenderem e para os experientes ampliarem suas habilidades. Com o Arduino, é possível criar diversos projetos, desde simples pisca-piscas até sistemas complexos, como robôs, automação residencial e dispositivos como Internet das Coisas (IoT). O

Arduino foi programado principalmente em uma variante da linguagem C++, que foi usada em sistemas avançados e desenvolvimento de *software*. C++ fornece um conjunto de recursões e estruturas que são fundamentais para o funcionamento do Arduino (Oza; Mehta, 2018).

2.5 Programação

O computador compreende apenas números que atinjam valores de 0 e 1, sendo necessário o desenvolvimento de uma forma de comunicação para facilitar a compreensão de quem programa (Haverbeke, 2024). Dito isto, tem-se que a linguagem de programação é tido uma escrita formal, a qual é capaz de passar instruções para o computador, porém com particularidades encontradas nos diferentes tipos de linguagens existentes, tais como interface de usuário, forma de declarar uma variável, entre outras (Caruso; Cavalheiro, 2021).

A programação consiste em cumprir rotinas e sub-rotinas em sequencias para uma lógica executar o comando. O computador opera com lógica binária, portanto, a necessidade de criar uma linguagem de programação bilateral, de fácil entendimento à máquina e ao ser humano. Cada modelo de linguagem de programação apresenta particularidades distintas, complexibilidade e finalidades (Leonardelli, 2015).

2.5.1 Linguagem C++

O programa criado no Arduino é escrito em linguagem de programação C++, compilado e executado pelo microcontrolador apresentado no Arduino PC. O microcontrolador é o núcleo do Arduino responsável pela execução do código lógico à controlar diversos componentes eletrônicos conectados à placa (Banzi, 2011).

A estrutura básica de um programa Arduino consiste em duas funções principais: *setup()* e *loop()*. A função *setup()* é executada apenas uma vez no Arduino; conectada e usada para configurar os pinos de entrada e saída para lançar várias opções e atingir os objetivos de inicialização necessários para a função do programa. Além disso, a função *loop()* é executada continuamente em *looping*, baseada na maioria dos programas em execução. Na função é apresentada os códigos para sensores, dispositivos de processamento de dados, dispositivos de controle e respostas a eventos externos (Evans; Noble; Hochenbaum, 2013).

Ao decorrer da lógica programada é possível especificar e manipular diversas estruturas de controle com o uso de funções como *if*, *else*, *while*, por exemplo; utilizados para controlar ou fluir o programa com operadores aritméticos, lógicos, relacionais para realizar cálculos e tomar decisões. Além da possibilidade na criação de próprias funções e bibliotecas em C++ para organizar e reutilizar códigos com eficiência (Evans; Noble; Hochenbaum, 2013).

No Arduino, é viável a capacidade de manipular *strings* para construí-las em portas seriais de comunicação entre computadores ou outros dispositivos. Outro ponto se destaca pela compatibilidade de uma biblioteca ampla com funções pré-definidas para comunicação com o *hardware* específico do Arduino - são necessários PCs.

Na área da robótica, o Arduino desempenha um papel significativo, permitindo o controle preciso dos movimentos de servos motores, componentes-chave no campo da automação (Candelas, 2015).

2.6 Atuadores

Atuadores são dispositivos que geram movimento. Para realizar essa função, eles transformam energia elétrica, hidráulica ou pneumática em movimento. Esse processo de conversão de diferentes tipos de energia resulta em energia mecânica, que é responsável pelo movimento produzido pelos atuadores (Simplício; Lima; Junkes, 2016).

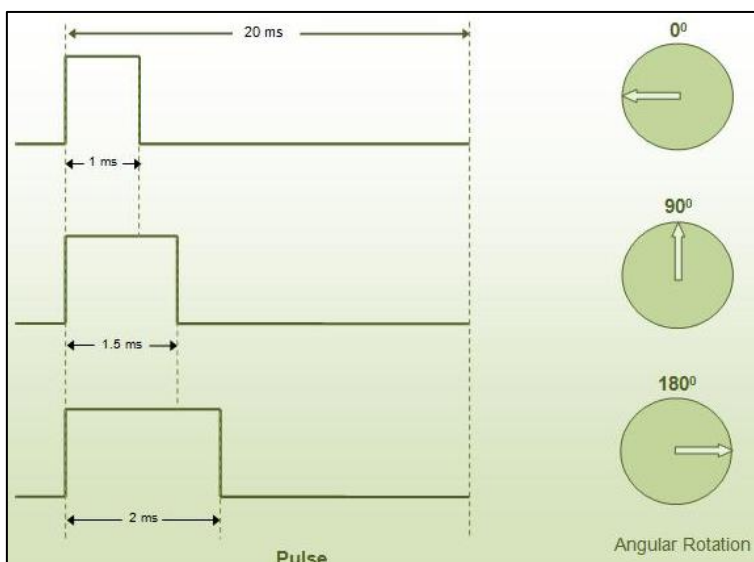
2.6.1 Servo Motor

Nos manipuladores robóticos, os atuadores são responsáveis pela dinâmica e movimentação de translação ou rotação das juntas. Os servos motores exercem a função dos atuadores em aplicações de controle de posição precisa. Com motores de corrente contínua (DC) ou alternada (AC), sistema de *feedback* e um controlador (Firoozian, 2014).

O motor DC converte energia elétrica em energia mecânica, essa ação gera torque e move o eixo do servo. No fio de controle do servo motor passa os sinais PWM que são enviados para seu controle. O sistema *feedback* atua no ajuste da tensão do motor por meio do comparativo entre posições, atual e a desejada do eixo. A Figura 3 ilustra a largura do pulso para determinação da posição angular do servo, onde o servo precisa apenas de 1 milissegundo para mover à 0° e 2 milissegundos para mover à

180°. Outro caso, como no deslocamento do servo para 90° - uma posição intermediária, é preciso um pulso de 1,5 milissegundos. Os valores podem variar dependendo do fabricante. (Agnihotri, 2019; Universal Robots Brasil, 2023a).

Figura 3 - Diagrama da rotação angular do servo motor usando onda PWM

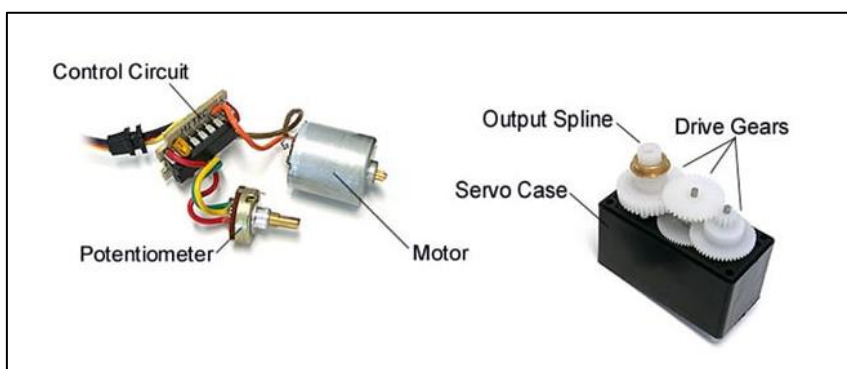


Fonte: Agnihotri (2019)

Isso permite movimentos precisos e controlados, tornando os servos motores ideais para aplicações em sistemas de controle automatizados, robótica industrial, entre outros que exigem posicionamento preciso.

A Figura 4 apresenta elementos presentes no servo motor.

Figura 4 - Organização interna de um servo motor.



Fonte: Stroski (2017)

- Motor – responsável pelo acionamento das engrenagens e eixo principal do servo motor;
- *Drive Gears* (engrenagens) – responsáveis pelo aumento do torque e redução da rotação do motor;
- *Output Spline* (encaixe de saída) – conexão de saída para controle;
- *Potentiometer* (potenciômetro) – monitoramento e ajuste da posição do servo motor;
- *Control Circuit* (circuito de controle) – com função de monitoração da saída do potenciômetro e ativação do motor interno.

2.6.2 Garra de Vácuo

Utiliza ventosas para fixar objetos com superfícies lisas. A pressão negativa criada entre a ventosa e a superfície do objeto gera uma sucção suficiente para levantá-lo, podendo ser este objeto uma chapa de metal, painéis de plástico, madeira ou pratos cerâmicos. Pode-se utilizar uma ou várias ventosas para segurar o objeto. Em comparação com outras técnicas de fixação, essa abordagem é mais eficiente em termos de consumo de energia, mas está sujeita a mais riscos devido a possíveis desalinhamentos das ventosas e outras falhas que comprometem a vedação adequada (Torres, 2022).

2.7 Sensores

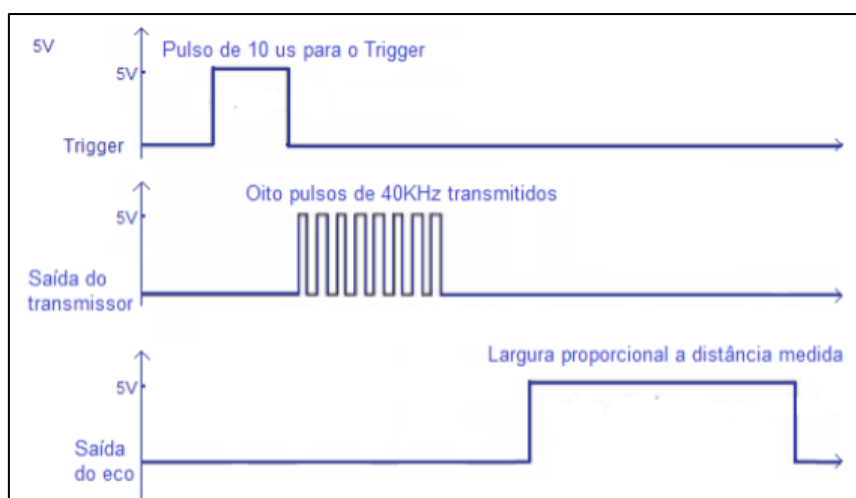
São dispositivos físicos que permitem a um robô ou o sistema a ser controlado perceber seu ambiente físico, a fim de obter informações sobre si mesmo, e sobre os objetos que o cercam (Matarić, 2014).

2.7.1 Ultrassônico

O sensor ultrassônico opera emitindo ondas sonoras que são usadas para calcular a distância entre o sensor e o objeto alvo. Composto por quatro pinos: *Vcc* – entrada de alimentação, *Trigger* – saída de pulso, *Echo* – saída de eco e *Gnd* – terra.

A distância é calculada a partir do momento que o *trigger* recebe um pulso de alimentação por no mínimo 10 μ s, em seguida o sensor transmite oito ciclos de pulsos de 40 kHz; o *echo* do sensor recebe sinal lógico alto e após um *delay* transmite a largura proporcional à distância (Morgan, 2014). Como ilustra a Figura 5.

Figura 5 - Ondas de pulso do sensor ultrassônico



Fonte: Nakatani; Massayuki; Guimarães (2014).

Com base no tempo de ida e volta da onda, o sensor calcula a distância pela divisão entre o tempo do *echo* em nível lógico alto multiplicado a velocidade do som e, em seguida, dividindo o resultado por dois. A divisão por dois contém o tempo de ida e volta. Dessa forma, a distância é medida de forma direta entre o sensor ultrassônico e o objeto em questão (Nakatani; Massayuki; Guimarães, 2014).

A Equação (1) representa o cálculo executado.

$$d = \frac{t * v}{2} \quad (1)$$

Onde:

d = Distância;

t = Tempo em *High*;

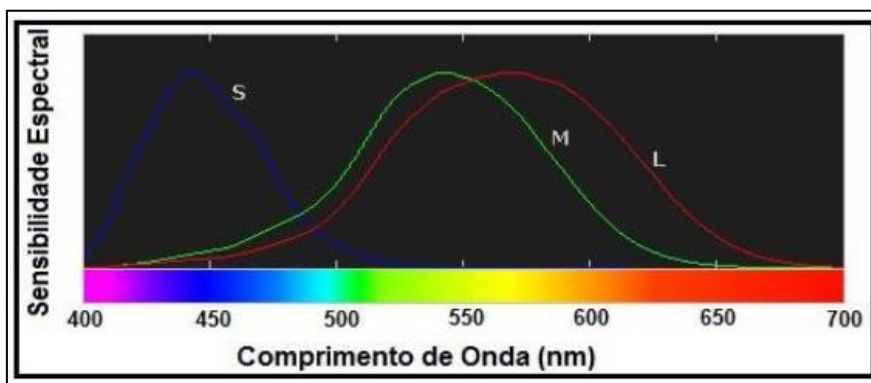
v = Velocidade do som.

2.7.2 Cores

O olho humano capta o espectro de cores de $4 \cdot 10^{-7}$ nm a $7 \cdot 10^{-7}$ nm através das regiões dos cones e bastonetes. A região dos bastonetes é adaptada para identificar a intensidade da luz, mesmo com pouca luminosidade. Sobretudo, os cones identificam as cores do objeto pelas frequências emitidas com maior grau de luminosidade; funcionamento semelhante ao sensor de cores. A definição de cores detectadas é possível pelo conjunto de sinais, dividido em três tipos de cones, cada com especialidade em um comprimento de onda: *Short – Blue*; *Medium – Green* e

Long – Red (Roveratti; Feitosa; Galera, 2021). Figura 6 ilustra o espectro de cores e o comprimento de cada onda.

Figura 6 - Expectro de cores

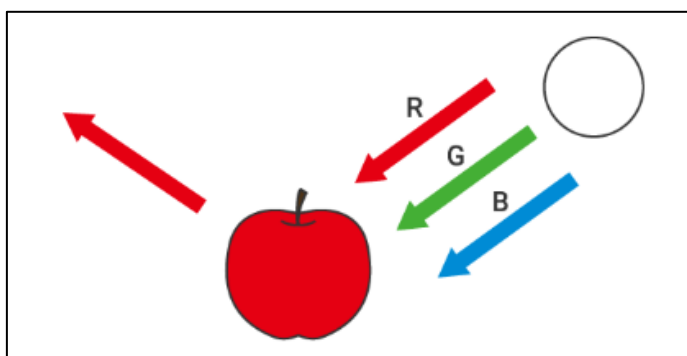


Fonte: Roveratti; Feitosa; Galera (2021).

O efeito fotoelétrico dita o funcionamento dos sensores de cores ao ser emitido uma luz branca na superfície do objeto a ser analisado e resulta em uma luz refletida. O padrão RGB inspeciona a luz refletida enviando sinais de comunicação das especificações de cores captadas. A identificação das cores segue um modelo aditivo, ou seja, o somatório das cores do sensor RGB (vermelho, verde e azul) é capaz de gerar a cor branca e a ausência das cores caracteriza a cor preta (Barreto, 2023).

Portanto, o sensor em questão identifica a cor pela intensidade da luz refletida, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Luz refletida do objeto



Fonte: Barreto (2023).

O sensor de cores utiliza tecnologias como o *Charge-Coupled Device* (CCD) ou *Complementary Metal-Oxide Semiconductor* (CMOS) por estar baseada nas matrizes formadas por diodos, responsáveis pela absorção de fótons de luz gerando corrente elétrica ao liberar elétrons, os fotodiodos. O padrão RGB apresenta os sensores CCD, com os fotodetectores ao capturar luz, em seguida, converte em carga elétrica a medida do grau de intensidade da luz, definindo as informações da cor (Barreto, 2023).

2.8 Robôs na Indústria

As revoluções industriais 3.0 e a 4.0 ditaram aplicações distintas na área da tecnologia. A robótica na indústria 3.0 se aplica ao segmento que detém tarefas repetitivas, com intuito de aumentar a produtividade e velocidade dos processos, não de forma autônoma. Já a indústria 4.0 se diferencia pela implementação de inteligência autônoma das máquinas/robôs (Sakurai; Zuchi, 2018).

De acordo com um levantamento de 2017 pela Federação Internacional de Robótica (IFR), o Brasil tinha um percentual de 0,6% de robôs industriais em relação total mundial, ocupando no ranking global de automação a 18ª posição. Segundo a Associação de Engenheiros Brasil-Alemanha (2021), para o potencial das empresas brasileiras esses números estão aquém do ideal.

As inovações tecnológicas nas áreas de soldagem, manuseio e montagem industrial não alcançaram o patamar tecnológico ideal. Estudos apontam a falta de profissionais capacitados no desenvolvimento, análise e resolução dos problemas; a primícia com foco apenas na redução de custo ao invés da perspectiva de custo-benefício às empresas/setores industriais (Universal Robots Brasil, 2023b).

Nas Figura 8 e 9, dados levantados pela GS1 Brasil dimensiona com 0 para ausência de automação e com 1 às empresas com automação completa.

Figura 8 - Índice de automação nas empresas brasileiras

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Índice Indústria	0,27	0,28	0,29	0,26	0,27	0,31
Índice Comércio e Serviços	0,16	0,17	0,18	0,18	0,18	0,20
Índice Brasil	0,22	0,23	0,24	0,22	0,23	0,26

Fonte: GS1 Brasil (2023).

Figura 9 - Índice de porte de empresas brasileiras

Porte	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Pequena	0,20	0,21	0,22	0,21	0,20	0,23
Média	0,27	0,30	0,30	0,29	0,30	0,35
Grande	0,32	0,36	0,35	0,37	0,37	0,41
Brasil	0,21	0,22	0,23	0,23	0,22	0,25

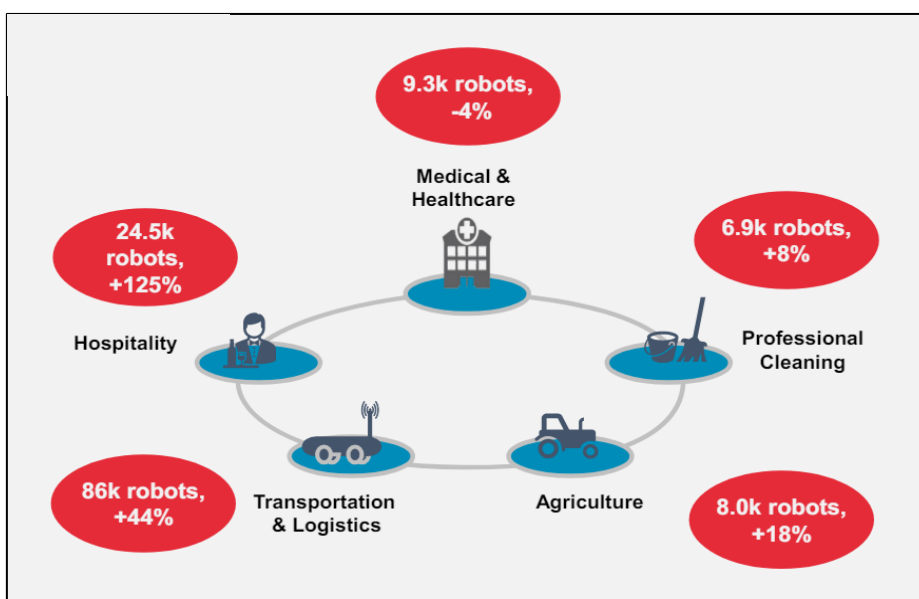
Fonte: GS1 Brasil (2023).

Em tempos de crise, governos avistam oportunidades de modernização nas indústrias, por meio da digitalização de suas operações para otimizar seus problemas, mesmo que beneficie grande parte a empresas já consolidadas em automação robótica. Müller (2023) ainda ressalta a importância de nivelar as pequenas e médias empresas (PME) com aumento nos ensinos e investimentos tecnológicos, devido a pouca adoção de robôs em relação a outras empresas.

Os manipuladores robóticos proporcionam vantagens consideráveis para a automação da produção e da manufatura, como flexibilidade, alta precisão nas operações, redução de custos, prevenção de acidentes causadas por tarefas repetitivas ou de ambientes de periculosidade. Sua efetivação traz a melhoria nos avanços tecnológicos, eficiência nas execuções e segurança nas indústrias (Roggia; Fuentes, 2016).

A incorporação de nova tecnologia nas empresas pode ser vista na Figura 10 com o crescimento da aplicação de robôs de serviços nas principais cinco áreas de atuação.

Figura 10 - Aplicação robôs de serviços



Fonte: Müller (2023).

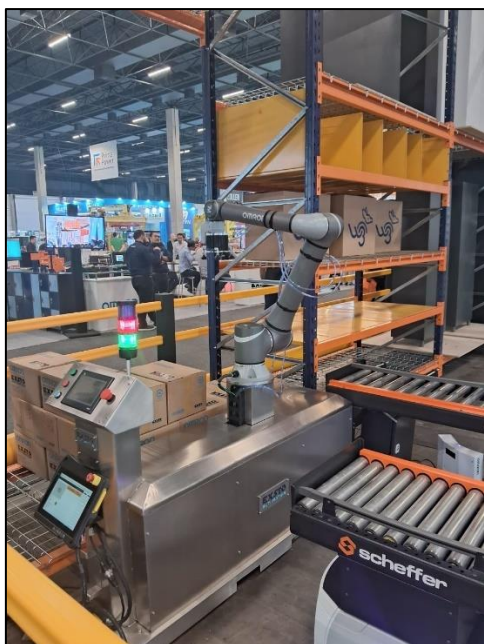
No presente, os robôs e manipuladores desempenham a viabilidade em PMEs, a cooperação do trabalho em conjunto aos trabalhadores, principalmente em processos manuais repetitivos (Albuquerque *et al*, 2019).

2.8.1 Aplicação

A Feira Internacional de Máquinas e Equipamentos (FEIMEC) 2024 que ocorreu na São Paulo Expo, havia diversas exposições de modelos para braços robóticos em diferentes aplicações. Um exemplo foi o braço robótico com 2 DOF, na parceria das empresas OMRON e EXSTO Automation; robô aplicado para indústria logística.

As Figuras 11 até 15 são fotos capturadas do braço robótico e as esteiras automatizadas na FEIMEC 2024.

Figura 11 - Foto 1 - Braço robótico seletor



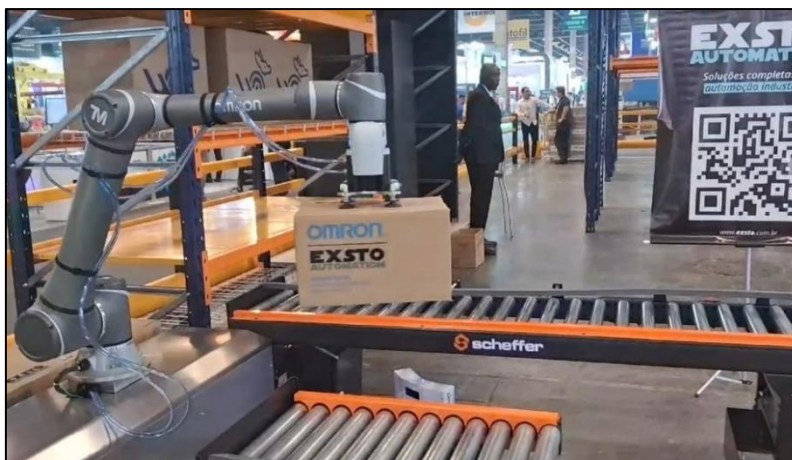
Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 12 - Foto 2 - Braço robótico seletor



Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 13 - Foto 3 - Braço robótico seletor



Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 14 - Foto 4 - Braço robótico seletor



Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 15 - Foto 5 - Braço robótico seletor



Fonte: Próprios autores (2024).

Com um princípio de funcionamento com sensores de posição, detectando a caixa a ser alcançada pelo braço robótico e por meio das garras pneumáticas deslocar para uma esteira robotizada de aproximadamente um metro. A esteira móvel apresenta tecnologia automatizada, sem a intervenção humana, programada para entregar a caixa ao ser detectada pelo sensor de outra esteira fixa; quando posicionadas uma frente a outra, acionavam as duas esteiras e despejavam a caixa em um palete.

A seção sobre a revisão da literatura abrange um vasto conteúdo técnico de pesquisas, teorias, cálculos entre outros. Com os tópicos abordados anteriormente é viável unificar todo o conhecimento para realizar a construção, análise teste no protótipo experimental do projeto em questão.

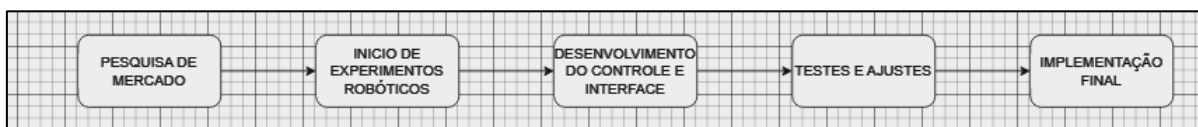
3 METODOLOGIA

No presente trabalho, a estruturação principal de pesquisa referente ao objetivo principal foi baseada no tipo exploratório em contexto com os objetivos já apresentados, uma vez que, a pesquisa exploratória tem como finalidade familiarizar o tema abordado ou alçar novos pontos de vistas e ideias sobre o tema (Da Silva; Bervian; Cervo, 2007).

Portanto, com a ideia de detalhar os ensaios no âmbito da manipulação de objetos em sistemas robóticos, especificamente em braços manipuladores; será realizado uma abordagem dedutiva com uma condução atenta na programação lógica de funcionamento para a leitura precisa dos objetos por meio do sensor ultrassônico. A partir de projetos relacionados ou correlacionados ao tema, com a possibilidade de levantar novas teorias e agregar conhecimento técnico científico para área de tecnologia.

Para a pesquisa de método exploratório, por adentrar em pesquisas já existentes, porém pouco explorados no campo acadêmico. Estruturar os estudos da teoria e alçar investigações prognósticas limitantes, durante os ensaios a serem desenvolvidos na captação dos sensores a serem utilizados. Com a finalidade de apresentar os benefícios de um sistema automatizado, em destaque na melhoria da otimização do tempo e qualidade do processo, o campo da manipulação de objetos abrange possibilidades de uso em diversos setores industriais, como também no ramo logístico. Portanto, estudos completos com suporte técnicos serão analisados para fins de extensão do tema em questão. Na Figura 16, pode ser visto o planejamento do projeto.

Figura 16 - Fluxograma do projeto



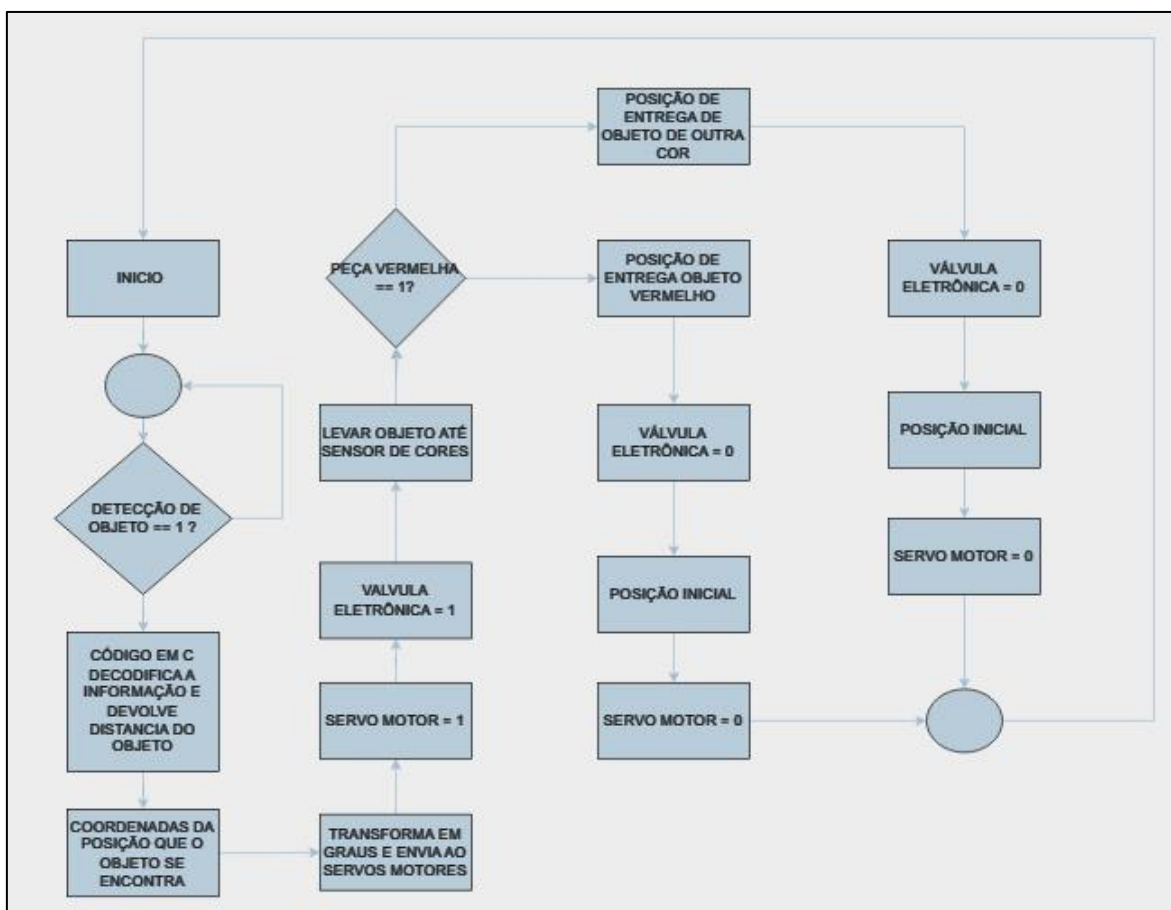
Fonte: Próprios autores (2024).

3.1 Definição

Porém, quando referente ao procedimento, o tipo de pesquisa utilizado foi experimental por ter uma abordagem que busca testar hipóteses e estabelecer relações causais entre variáveis, através da manipulação de uma ou mais variáveis

independentes e da observação dos efeitos nas variáveis dependentes (Da Silva; Bervian; Cervo, 2007). Pode ser visto na Figura 17, o fluxograma lógico de funcionamento.

Figura 17 - Fluxograma lógica de funcionamento



Fonte: Próprios autores (2024).

O fluxograma da Figura 17 descreve o passo a passo de como é preparado as informações para a máquina, com a posição de início conhecida como *HOME* na robótica para que após o término do seu processo quando houver uma nova detecção o braço não ir para a posição errada. Em seguida, se encontra uma decisão, o sensor ultrassônico espera a detecção de um objeto quando verdadeiro, logo segue para os processos de decodificação do Arduino, enviando as coordenadas da posição atual do objeto, gravando na programação as posições de cada servo motor para ir buscar o objeto. Após estar em cima da peça liga a válvula eletrônica para obter a sucção do objeto com a ventosa e leva-lo até o sensor de cores. O sensor de cores trabalha com espectro de cores de 0 a 1000 com as cores vermelha, verde e azul (RGB), com isso

programamos, quando a peça estiver dentro do espectro de cores mais próximo do vermelho, levará o objeto para dentro da caixa metálica, caso contrário, a peça será colocada em outra caixa. A posição de entrega é enviada ao comando de desligar a válvula e a ventosa soltar a peça. Ao final, volta para a posição inicial e em seguida é desligado os servo motores e aguarda nova detecção de objeto.

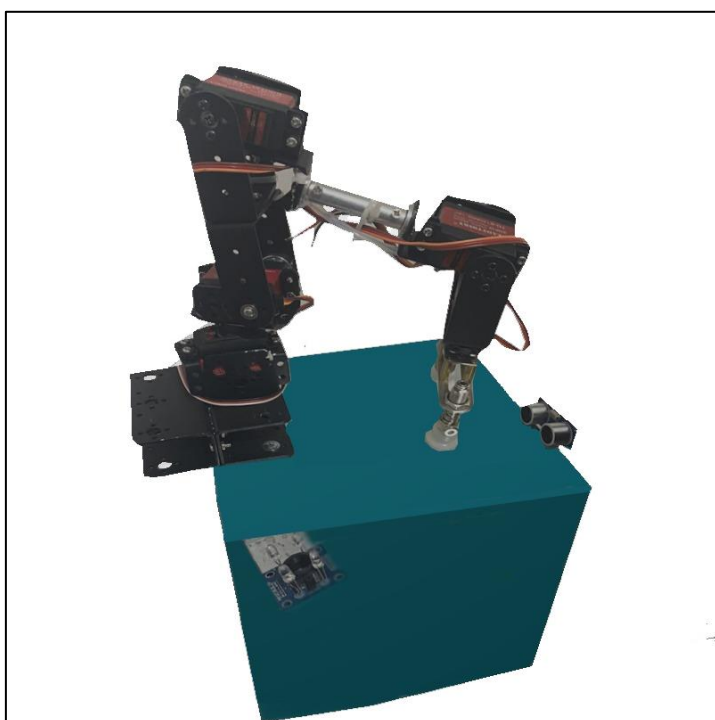
3.2 Materiais

A seção a seguir tem o objetivo de ilustrar os materiais utilizados, além das especificações técnicas de cada componente.

3.2.1 Esqueleto Robótico

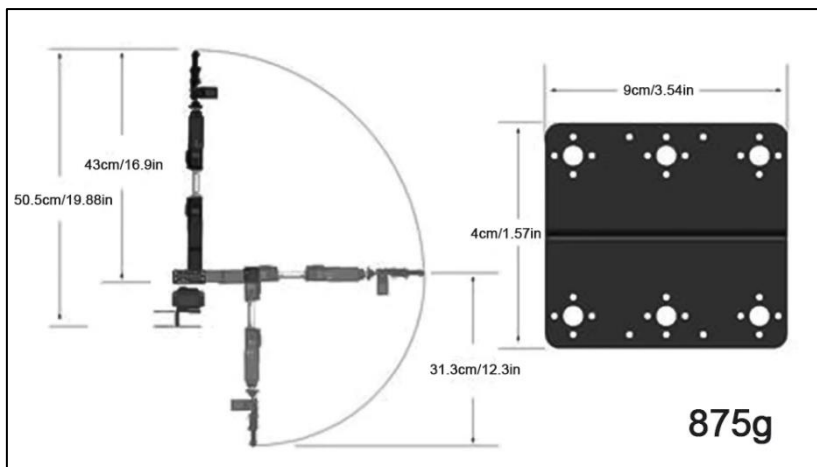
Braço robótico escolhido atende aos graus de liberdade precisos para o manuseio dos objetos no projeto. Figura 18 ilustra o esqueleto robótico.

Figura 18 – Projeto robótico em 3D



Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 19 ilustra a distância de alcance de cada DOF presente, já a Tabela 1 detalha as informações precisas do esqueleto robótico.

Figura 19 - Dimensões do esqueleto

Fonte: Mercado Livre (2024a).

Tabela 1 - Especificações do esqueleto robótico

Especificações do Esqueleto Robótico	
Marca	Genérica
DOF	6
Material	Plástico
Espessura do Material	2 mm
Altura Máxima	50,5 cm
Peso	875 g

Fonte: Próprios autores (2024).

Conforme apresentado na Figura 19, o esqueleto robótico utilizado tem 6 Graus de Liberdade (6 DOF), com material de plástico com as especificações mostradas na Tabela 1. Parte estrutural mecânica para a montagem e testes experimentais do projeto.

3.2.2 Servo Motores

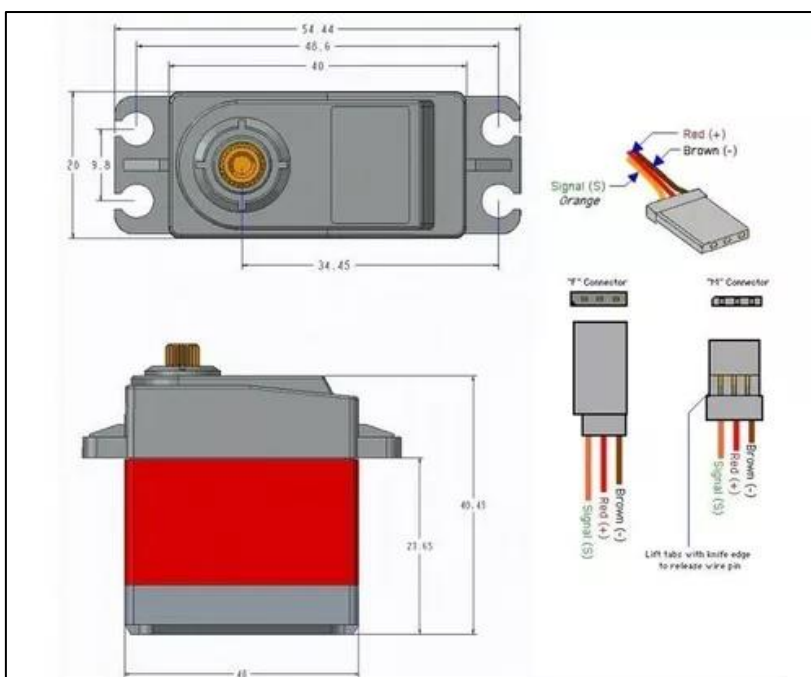
Para o projeto foi obtido 5 servos motores para os 5 DOF. Modelo adquirido é mostrado na Figura 20, especificações de tamanho na Figura 21 e detalhes do fabricante na Tabela 2.

Figura 20 - Servo motor



Fonte: Mercado Livre (2024b).

Figura 21 - Dimensões do servo motor



Fonte: Mercado Livre (2024c).

Tabela 2 - Especificações do servo motor

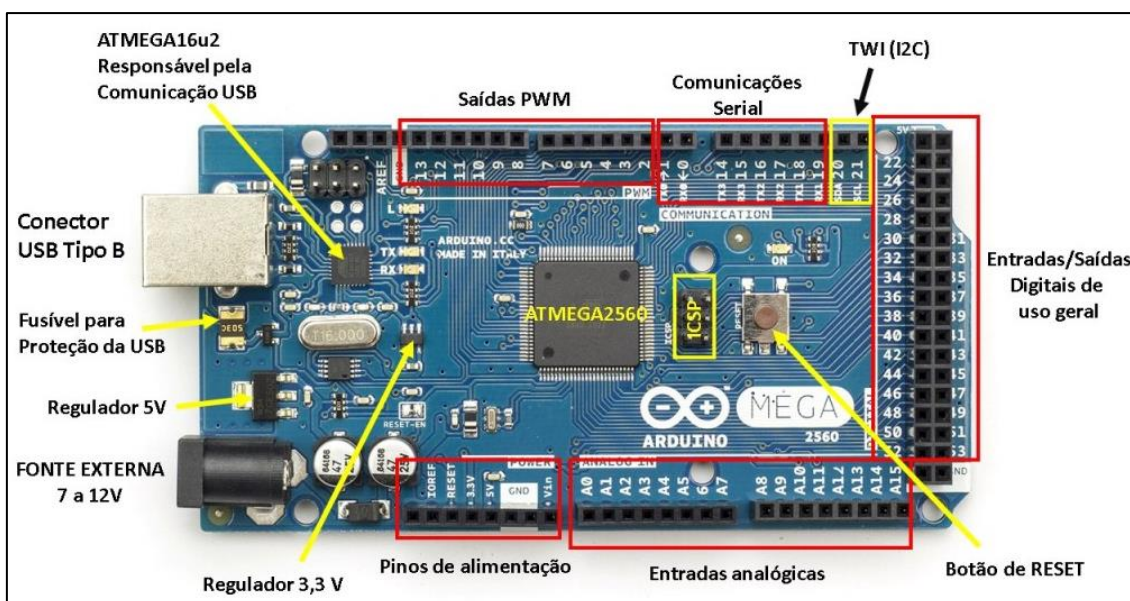
Especificações do Servo Motor	
Marca	Tiankongrc
Modelo	TD-8120MG
Quantidade	5
Peso Suportado	20 kg
Espessura do Material	2 mm
À Prova da Água	Sim

Fonte: Próprios autores (2024).

Conforme apresentados nas figuras anteriores, a escolha por atuadores de muito torque, são responsáveis pela movimentação e articulação do braço robótico, os 5 servo motores da marca Tiankongrc.

3.2.3 Arduino MEGA

Microcontrolador Arduino MEGA para obter o melhor desempenho nas trocas de comunicações com os componentes a serem controlados. Figura 22 identifica a funcionalidade de cada parte do Arduino. Detalhes do desempenho descritos na Tabela 3.

Figura 22 - Arduino MEGA

Fonte: Eletru's (2024).

Tabela 3 - Especificações do Arduino MEGA

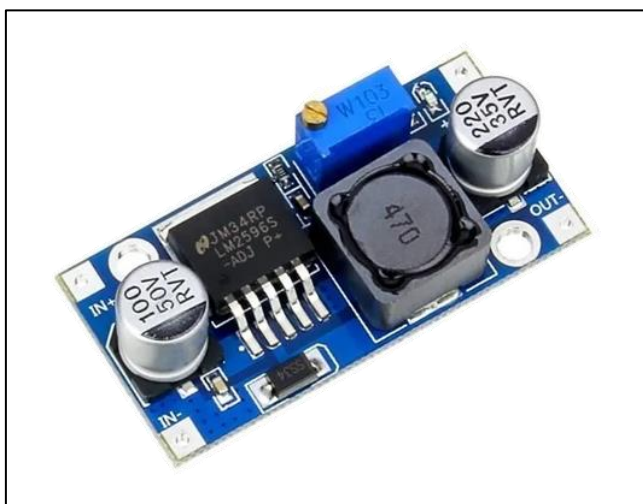
Especificações do Arduino MEGA	
Microcontrolador	ATmega2560
Tensão de Operação	5 V
Tensão de Entrada	7-12 V
Portas Digitais	54
Portas PWM	15
Portas Analógicas	16
Velocidade de <i>Clock</i>	16 MHz
Corrente Pinos I/O	40 mA
Corrente Pinos 3,3V	50 mA
Corrente Máxima de Saída	800 mA
Memória <i>Flash</i>	256 KB

Fonte: Próprios autores (2024).

O Arduino Mega é a escolha ideal e de baixo custo para ser o microcontrolador responsável pela comunicação com os componentes a serem controlados, seja os sensores e atuadores.

3.2.4 Módulo Regulador de Tensão

O módulo regulador permite um ajuste da tensão de entrada para fornecer uma tensão de saída constante 5 V para o funcionamento eficiente do microcontrolador. Figura 23 mostra o exemplo de um módulo regulador. Tabela 4 detalha as especificações do aparato eletrônico.

Figura 23 - Módulo regulador de tensão

Fonte: Mercado Livre (2024d)

Tabela 4 - Especificações do regulador de tensão

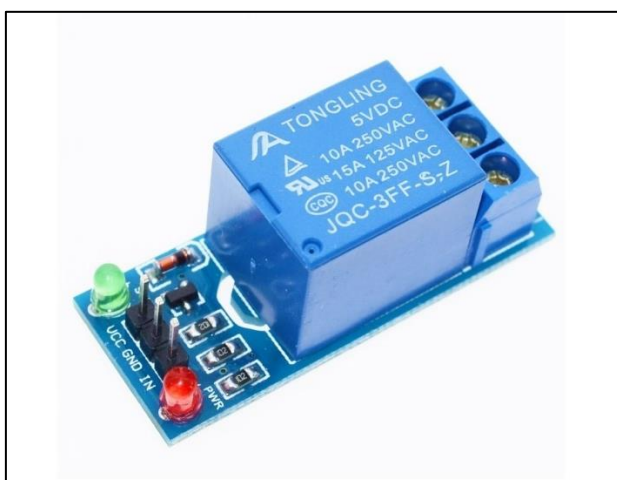
Especificações do Regulador de Tensão	
Modelo	LM2596
Tensão de Entrada	4,5 a 28 V
Tensão de Saída	0,8 a 20 V
Corrente Nominal Máxima de Saída	3 A
Eficiência Nominal	92%

Fonte: Próprios autores (2024).

O módulo regulador de tensão permite ajustar a tensão de entrada e tensão de saída. Para maior estabilidade na comunicação do Arduino com os sensores e atuadores foi necessário o módulo para obter uma saída constante de 5 V.

3.2.5 Módulo Relé

O módulo relé de nível baixo proporciona um isolamento elétrico, para ligação do microcontrolador com um dispositivo lógico, promovendo a passagem de corrente quando programada. Figura 24 ilustra o módulo relé.

Figura 24 - Módulo relé

Fonte: Mercado Livre (2024e).

Com o módulo relé o operador final, bomba de sucção da ventosa, é acionado apenas quando enviado o sinal de nível lógico baixo pelo Arduino.

3.2.6 Sensor Ultrassônico

Sensor essencial para medir o distanciamento dos objetos. Figura 25 ilustra o sensor escolhido e a Tabela 5 especifica os detalhes do sensor.

Figura 25 - Sensor ultrassônico



Fonte: Mercado Livre 2024f).

Tabela 5 - Especificações do sensor ultrassônico

Especificações do Sensor Ultrassônico	
Modelo	HC-SR04
Alimentação	5 V DC
Corrente de Operação	2 mA
Frequência de Operação	40 Hz
Alcance Máximo	4 m
Alcance Mínimo	2 cm
Ângulo de Efeito	15°
Precisão	3 mm

Fonte: Próprios autores (2024).

Conforme apresentado na Figura 25, o sensor ultrassônico é a decisão inicial do projeto, por detectar a presença de objeto, trabalhando com ondas ultrassônicas e para quantificar a distância do objeto com o sensor. Cálculo especificado na fórmula da Equação (1).

3.2.7 Sensor de Cores

Sensor responsável pela identificação das cores para um sistema seletor de objetos. Figura 26 mostra o sensor obtido. Tabela 6 descreve os terminais do sensor de cores.

Figura 26 - Sensor de cores



Fonte: Mercado Livre (2024g).

Tabela 6 - Especificações do terminal do sensor de cores

Especificações do Terminal do Sensor de Cores			
Nome	Nº	I/O	Descrição
GND	4		Aterramento da fonte de alimentação. Todas as tensões são referenciadas ao GND
OE	3	I	Ativar para fo (ativo baixo)
OUT	6	O	Frequência de saída (fo)
S0, S1	1, 2	I	Entradas de seleção de escala de frequência de saída
S2, S3	7, 8	I	Entradas de seleção do tipo de fotodiodo
VDD	5		Tensão de Alimentação

Fonte: Próprios autores (2024).

O sensor de cores escolhido tem por finalidade aprimorar os estudos experimentais do braço robótico, obtendo uma nova medição de identificação por cor.

3.2.8 Sistema Pneumático

O sistema pneumático é constituído pela bomba de sucção, tubos de passagem de ar, válvula eletrônica e as ventosas. Figuras 27 e 28 mostram os componentes presentes no sistema pneumático.

Figura 27 - Bomba de sucção e válvula eletrônica



Fonte: Aliexpress (2024a).

Figura 28 - Ventosa



Fonte: Aliexpress (2024b).

O projeto visa a utilização de um sistema capaz de ser usual em diversos segmentos das indústrias como logística, manufatura entre outros. Por isso a escolha de um sistema pneumático constituído pela válvula eletrônica e ventosa.

3.2.9 Transistor

O transistor B331 NPN é um componente eletrônico, cuja sua funcionalidade com polarização reversa permite que a corrente passe do coletor ao emissor quando a base receber sinal do microcontrolador. Figura 29 ilustra o componente.

Figura 29 - Transistor B331 NPN



Fonte: Alibaba (2024).

Ponto a ser observado é a escolha do transistor B331 NPN utilizado no projeto, onde pode ser substituído pelo transistor BC-548 NPN por ter melhor acessibilidade na procura e compra do componente, sem a necessidade de importar de outro fornecedor no exterior.

3.2.10 Outros materiais e ferramentas

Outros materiais para a montagem e interligação dos dispositivos são necessários para conectar todo o sistema. Exemplos dos jumpers, fonte de alimentação externa de 9 V e 5 V.

Material chapa de aço usado na construção do suporte para o braço robótico. Tinta para pintar os objetos identificados pelo sensor de cores.

Além das ferramentas para parafusar o esqueleto do braço, servo motores. Estanho para soldar e conectar os componentes.

3.3 Cronograma

O cronograma a seguir detalha os passos a serem seguidos na metodologia escolhida para este projeto, estudo de caso. Define e separa com clareza o tempo estipulado para cumprir com os prazos e objetivos de cada etapa, listados detalhadamente no Apêndice A – Cronograma do projeto.

4 DESENVOLVIMENTO

A realização do projeto, a metodologia escolhida passou por todas as etapas devidas para efetuar a montagem prática do braço robótico com ventosas. A seção do desenvolvimento é reservada para detalhar o passo a passo na montagem, como também identificar as dificuldades e impasses que surgiram da metade ao fim do projeto.

O esqueleto do braço robótico utilizado no projeto foi adquirido com a premissa de obter o melhor desempenho em relação ao manuseio dos objetos, por meio dos graus de liberdade proporcionado. Constituídos pelas seguintes peças como mostra a Figura 30.

Figura 30 - Peças de conexão



Fonte: Mercado Livre (2024h).

No conjunto das peças está presente eixos, polias, engrenagens – todos de material do tipo plástico reforçado – e parafusos para o encaixe das peças e montagem do esqueleto por inteiro. As Figuras 31 e 32 mostram o processo de montagem do esqueleto robótico.

Figura 31 - Montagem da estrutura (foto 1)



Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 32 - Montagem da estrutura (foto 2)



Fonte: Próprios autores (2024).

Ao todo, o braço robótico possui capacidade de desempenho em 6 DOF. Cada grau de liberdade corresponde a uma junta que está conectada a um elo, permitindo sua movimentação. Após o encaixe de todas as peças foi possível posicionar os 5 servos motores possibilitando atingir até 5 DOF. A Figura 33 mostra os servos motores parafusados no braço robótico.

Figura 33 - Esqueleto braço robótico montado

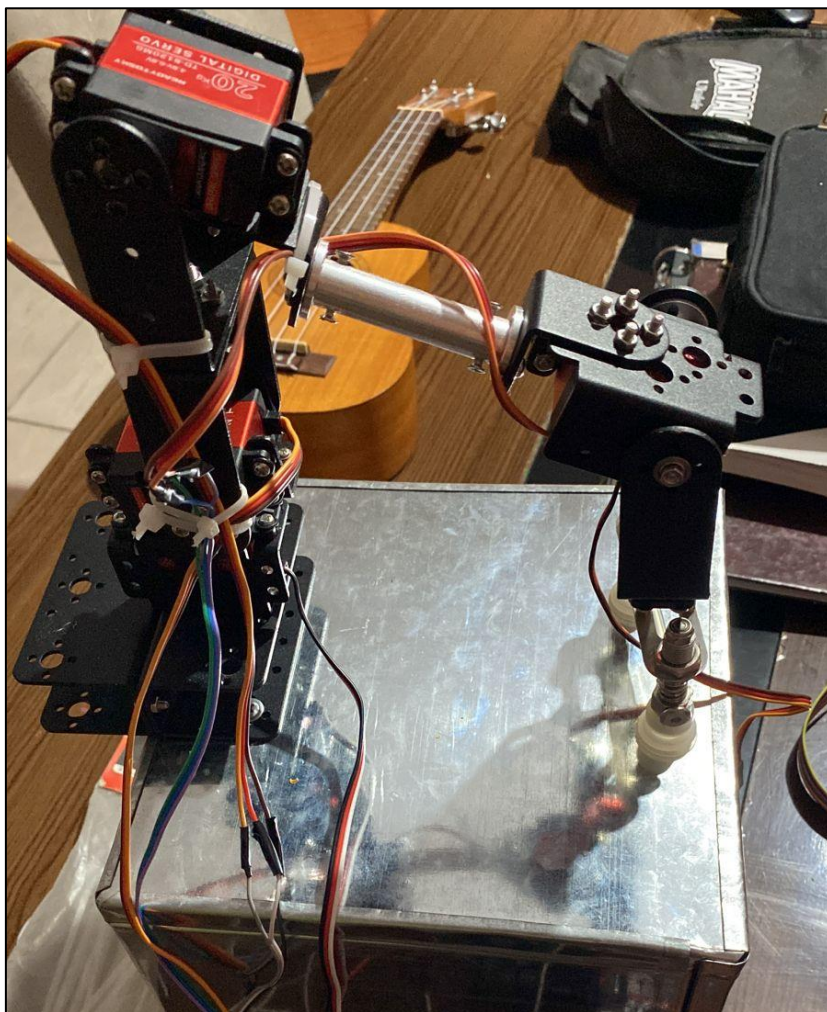


Fonte: Próprios autores (2024).

A movimentação do braço robótico é associada aos servos motores: [1] rotação *yaw* – primeira junta do braço de rotação ao longo de um plano horizontal; [2] rotação *pitch 1* – segunda junta do braço de movimento em arco vertical; [3] rotação *pitch 2* – terceira junta de movimento em arco vertical, permitindo a retração e extensão do braço; [4] rotação *yaw 2* – quarta junta do braço de rotação em plano horizontal; [5] rotação *roll* – quinta junta com rotação axial do punho do braço robótico.

A base do esqueleto robótico precisa estar bem fixa para suportar a movimentação de todos os servos motores, por isso foi desenvolvido uma caixa em material chapa de aço com medidas de 20x20 cm. Ilustração da Figura 34 do braço robótico já instalado no suporte.

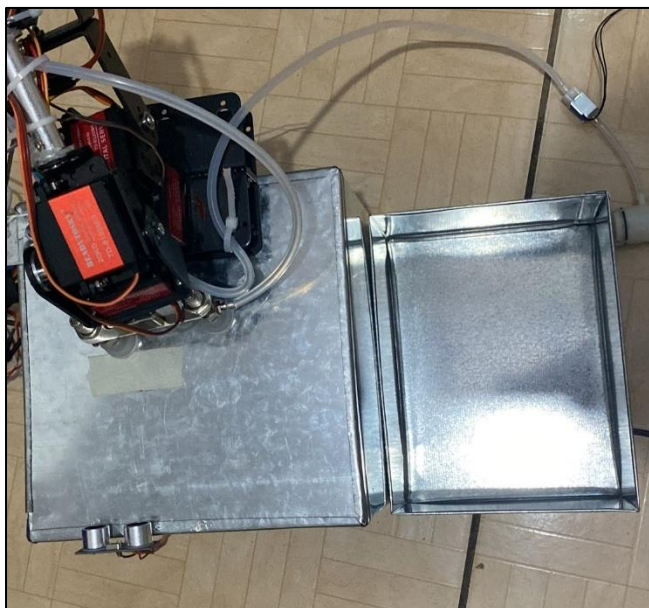
Figura 34 - Suporte chapa de aço



Fonte: Próprios autores (2024).

Como um sistema seletor de objetos, outra base foi desenvolvida, com o intuito de armazenar os objetos capturados pelo braço robótico. A Figura 35 mostra o recipiente dos objetos instalada ao lado do suporte do braço robótico.

Figura 35 - Caixa de seleção

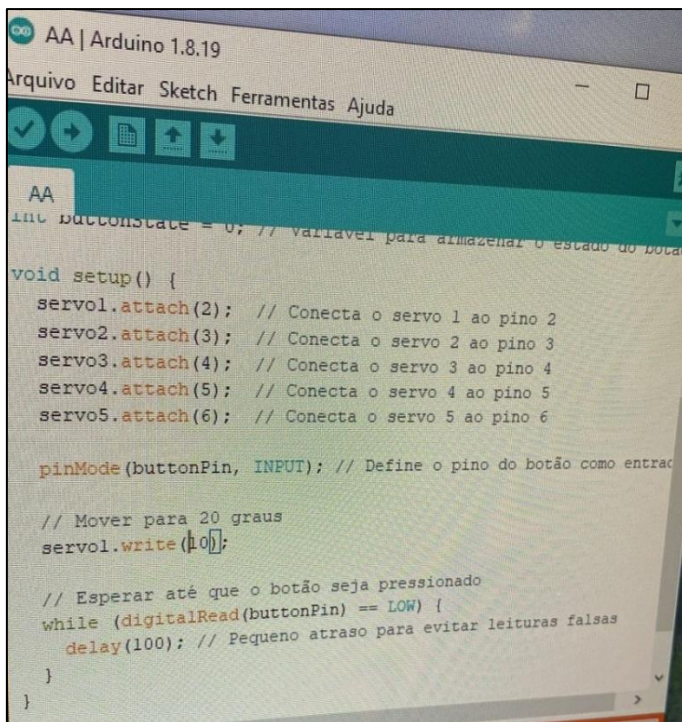


Fonte: Próprios autores (2024).

A princípio, para controlar o braço robótico, foi considerado utilizar o Arduino Mega (*made in China*), pelo baixo custo. Para realizar as ligações dos atuadores e sensores no microcontrolador foi esboçado um esquema das ligações eletrônicas feita na plataforma do Tinkercad.

O esquema eletrônico deve ser configurado no IDE do Arduino, incluindo a biblioteca `<VarSpeedServo.h>` para obter controle sobre a velocidade de atuação de cada servo motor, além de todos os parâmetros e variáveis devidamente declarados para execução de cada componente do sistema eletrônico responsável pela leitura e comando no braço robótico. Todos os detalhes da programação estão descritos no Apêndice B – Código de comando do projeto. Figura 36 ilustra a declaração das pinagens para cada servo motor.

Figura 36 - Declaração dos pinos do servo motor



```
AA | Arduino 1.8.19
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

AA
int buttonstate = 0; // variavel para armazenar o estado do botão

void setup() {
  servo1.attach(2); // Conecta o servo 1 ao pino 2
  servo2.attach(3); // Conecta o servo 2 ao pino 3
  servo3.attach(4); // Conecta o servo 3 ao pino 4
  servo4.attach(5); // Conecta o servo 4 ao pino 5
  servo5.attach(6); // Conecta o servo 5 ao pino 6

  pinMode(buttonPin, INPUT); // Define o pino do botão como entrada

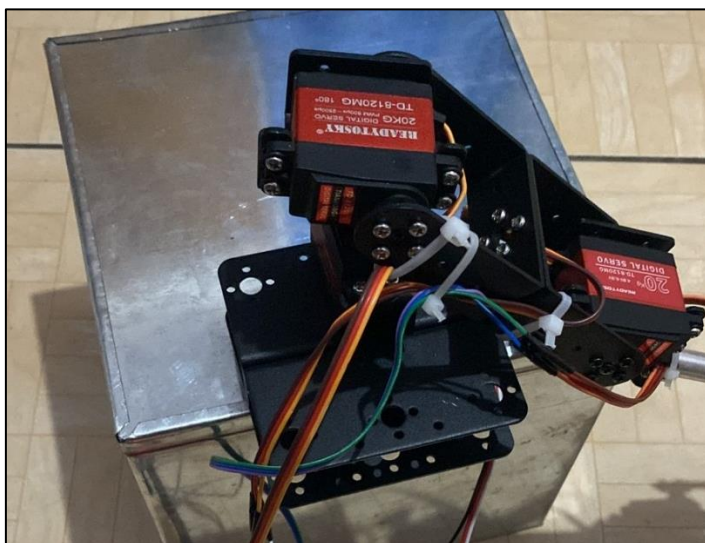
  // Mover para 20 graus
  servo1.write(20);

  // Esperar até que o botão seja pressionado
  while (digitalRead(buttonPin) == LOW) {
    delay(100); // Pequeno atraso para evitar leituras falsas
  }
}
```

Fonte: Próprios autores (2024).

Nos testes de mapeamento de ângulos dos servos motores notou-se que o segundo servo responsável pelo segundo DOF, ilustrado na Figura 37, estava conectado ao contrário. Foi preciso fazer o ajuste, pois o braço se movimentava para um sentido oposto do comando programado.

Figura 37 - Visualização do servo motor invertido



Fonte: Próprios autores (2024).

Outro fator observado, a configuração da posição inicial dos servos motores precisava ser ajustada para 90 graus, pois a posição inicial no mapeamento estava com 180 graus. Com o start do mapeamento feito, o campo de atuação central da posição inicial seguia de 90 graus à 0 graus (sentido horário) e 90 graus à 180 graus (sentido anti-horário).

Devido as limitações de pinos de I/O, menor capacidade de memória e poucas portas de comunicação, o Arduino Mega (*made in China*) se mostrou ineficiente nos testes primários, gerando bugs na comunicação com todos os servos motores por conta da baixa corrente máxima total de 200 mA e sobrecarga de desempenho ocasionada pela interferência do sensor ultrassônico nos servos motores e válvula da bomba de sucção. A baixa corrente não gerava força suficiente para vencer a força da gravidade. Hipótese comprovada pelo som emitido dos servos na tentativa de movimentar o braço, tendo êxito somente ao aplicar uma segunda força.

A partir de uma fonte externa de 9 V / 2 A é possível alcançar a corrente necessária para os servos motores. Porém, ao mandar um comando de teste, os servos atingiram uma velocidade muito alta ocasionando um incidente. O conector micro USB, responsável pelo envio de dados do Arduino Mega (*made in China*), foi comprometido no impacto.

Em consequência do incidente, a escolha por um novo microcontrolador de maior eficiência e recursos para lidar com a complexidade as exigências no projeto foi obtido, o microcontrolador Arduino Mega.

A Figura 38 mostra a tensão de alimentação para cada servo, e a Figura 39 a corrente em cada servo.

Figura 38 - Tensão medida de cada servo motor



Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 39 - Corrente medida de cada servo motor

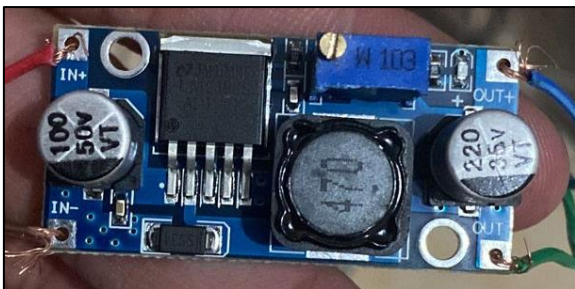


Fonte: Próprios autores (2024).

A tensão de alimentação medida para cada servo é 6,01 V e a corrente medida de 0,28 A. Todos os servos consumiam cerca de 500 mA. É recomendável manter a corrente máxima total abaixo de 400 mA para evitar sobrecarga e garantir melhor estabilidade no sistema.

Por isso, para melhor organização, um regulador de tensão deve ser ligado em paralelo com o Arduino para captar o sinal de comunicação e passar aos servos motores. A Figura 42 ilustra o regulador de tensão LM2596 utilizado.

Figura 40 - Foto módulo regulador de tensão



Fonte: Próprios autores (2024).

Como a comunicação dos servos motores depende do Arduino, a fonte de alimentação também deve ser feita pelo Arduino. Para alimentar o regulador de tensão foi soldado na parte traseira da fonte do Arduino Mega, como mostra a Figura 41. O Arduino Mega está sendo alimentado pela fonte externa de 9 V. Ou seja, a tensão de entrada do regulador de tensão é 9 V e a tensão de saída que liga todos os servos é 5 V.

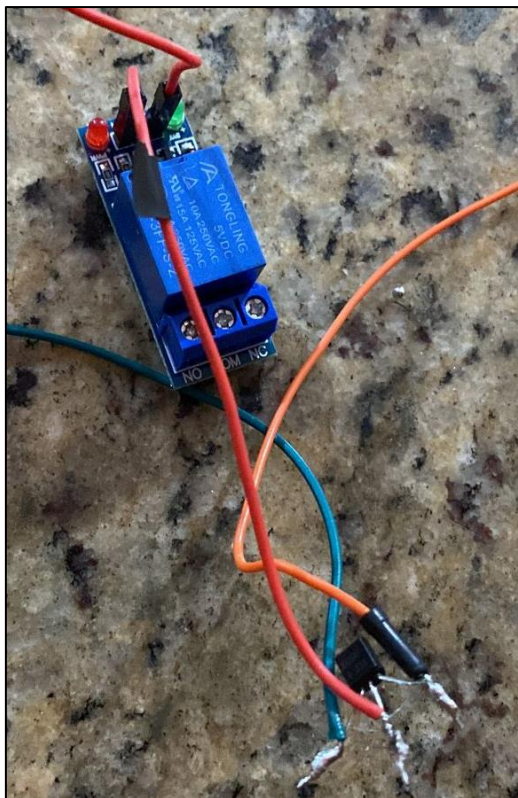
Figura 41 - Foto traseira do módulo regulador de tensão



Fonte: Próprios autores (2024).

A válvula da bomba de sucção não funcionou. Sendo assim, foi adaptado um módulo de relé simples de nível baixo, com o objetivo de controlar a bomba de sucção diretamente pela passagem de corrente no comando programado do Arduino. A lógica de nível baixo é possível quando conectada ao Arduino o chaveamento do emissor do transistor B331 NPN, o coletor no GND e a base conectada na entrada In do módulo de relé, como mostra a Figura 42.

Figura 42 - Ligação do transistor ao módulo relé



Fonte: Próprios autores (2024).

O sensor ultrassônico é responsável por detectar o distanciamento dos objetos a serem alcançados pelo braço robótico. Com as ligações devidamente conectadas ao Arduino Mega é possível calcular o distanciamento do objeto por meio do cálculo matemático programado na plataforma IDE do Arduino, como mostra a Figura 43.

Figura 43 - Cálculo matemático na IDE

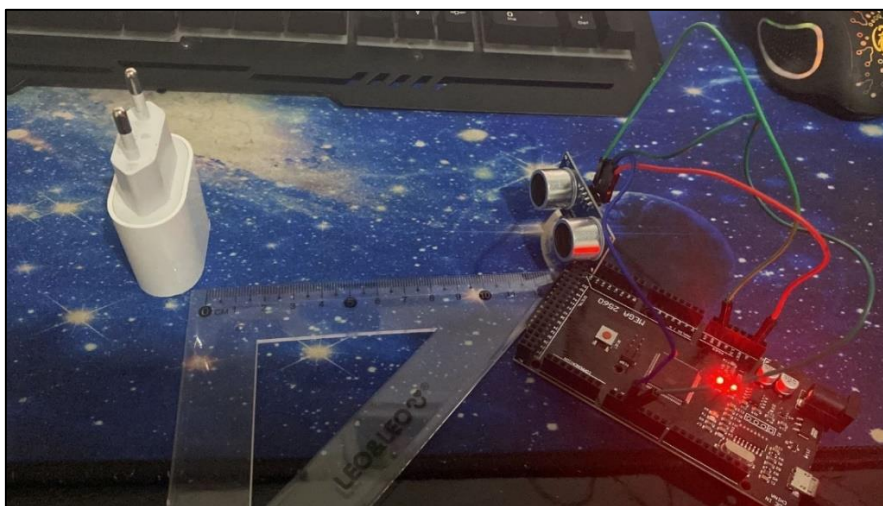
```
digitalWrite(trigPin, LOW);  
delayMicroseconds(10);  
digitalWrite(trigPin, LOW);  
  
// Lê a duração do pulso no pino de echo  
duration = pulseIn(echoPin, HIGH);  
  
// Calcula a distância em centímetros  
distance = duration * 0.034 / 2;  
  
// Exibe a distância medida no monitor serial  
Serial.print("Distancia: ");  
Serial.print(distance);  
Serial.println(" cm");  
  
// Aguarda um curto intervalo antes da próxima leitura  
delay(100);
```

Fonte: Próprios autores (2024).

Para determinar a distância em centímetros do sensor até o objeto é realizado um cálculo matemático; convertendo a velocidade do som de 340,29 m/s para aproximadamente 0,034 cm/ μ s. Dessa forma, obtemos a distância por meio da Equação (1).

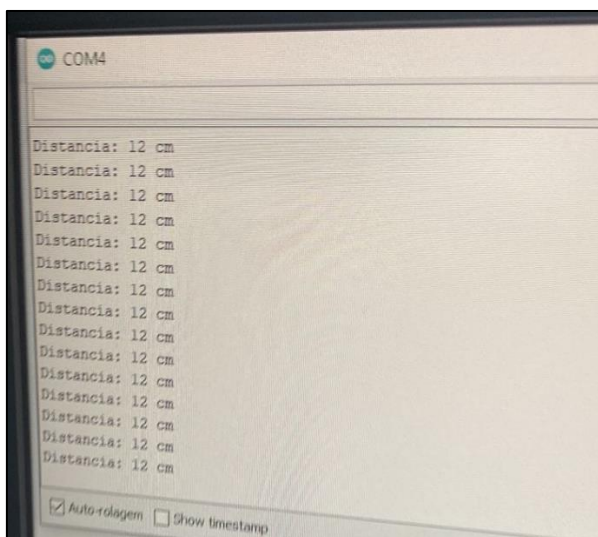
Com a programação elaborada, o sensor de posição obteve êxito nos primeiros testes. A Figura 44 mostra a distância de 12 cm, medidas com uma régua, em relação ao carregador como objeto de exemplo.

Figura 44 - Teste primário com o sensor ultrassônico



Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 45 - Monitor serial do teste primário sensor ultrassônico



Fonte: Próprios autores (2024).

O monitor serial do Arduino, como pode ser observado na Figura 45, obteve o distanciamento exato medido.

Realizando as devidas conectividades dos terminais do sensor de cor, como já apresentado na Tabela 6, e configurado na programação do Arduino; foi realizado testes para visualizar o comportamento das leituras das frequências de cores. Imagem 46 mostra o sensor de cores ligado.

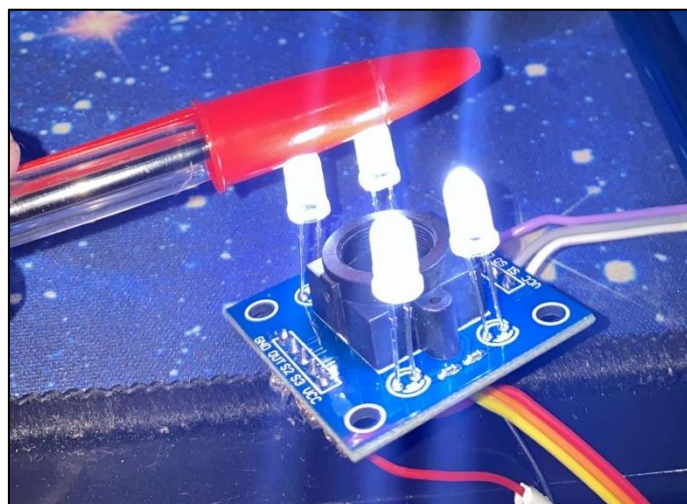
Figura 46 - Foto sensor de cores



Fonte: Próprios autores (2024).

Para o primeiro teste foi usado a tampa vermelha de uma caneta. Figura 47 mostra a tampa posicionada para leitura de cor do sensor.

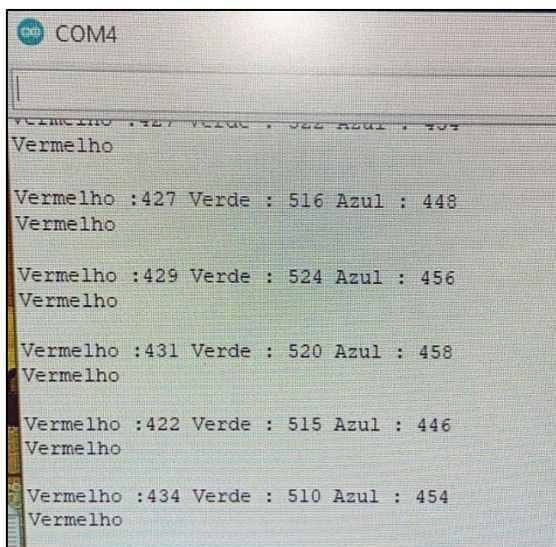
Figura 47 - Leitura de cor da tampa de caneta



Fonte: Próprios autores (2024).

O monitor serial da IDE apresentava uma frequência variada de 300 a 600 Hz quando a tampa vermelha foi colocada frente ao sensor. A Figura 48 mostra o momento em que a frequência vermelha é reconhecida pelo sensor.

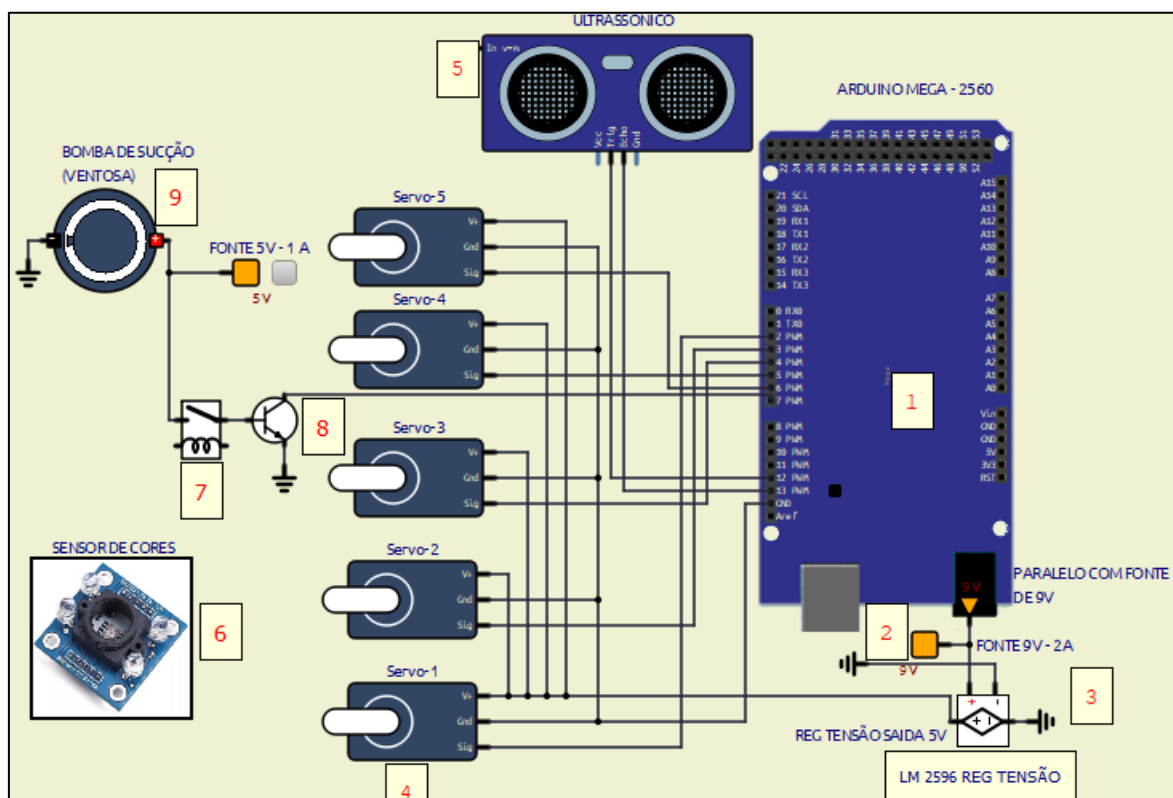
Figura 48 - Monitor serial da leitura de cor tampa de caneta



Fonte: Próprios autores (2024).

Ao final das ligações de todos os componentes e dispositivos, o sistema elétrico/eletrônico desenvolvido no projeto ilustradas na Figura 49 pode ser entendido da seguinte forma:

Figura 49 - Diagrama final do circuito elétrico eletrônico



Fonte: Próprios autores (2024).

O sistema é elaborado pelo [1] microcontrolador Arduino Mega, alimentado com uma [2] fonte de alimentação externa de 9 V. A fonte de 9 V também alimenta o [3] módulo regulador de tensão LM2596 para dar estabilidade de tensão e corrente em sua saída de 5 V energizando os [4] 5 servo motores; com o aterramento dos servos no GND do Arduino e, o principal, os pinos de entrada de sinal conectados as portas digitais pré configuradas na IDE. Do microcontrolador há ligação de sinal para o [5] sensor ultrassônico e [6] sensor de cores. Outro comando de sinal partindo do Arduino é interligado ao [7] módulo relé de nível baixo, só irá ativar quando receber sinal elétrico da base do [8] transistor B331 NPN, caso a corrente do coletor puder passar ao lado do emissor. O sinal de comando enviado a [9] bomba de sucção (alimentada com uma fonte externa de 5 V) ativará a sucção pneumática da ventosa.

Ao final da montagem foi estipulado um custo total aproximado dos materiais adquiridos:

- Esqueleto robótico: R\$120,00
- 5 Servo motores: R\$205,00

- Sistema pneumático: R\$180,00
- Arduino Mega (chinês): R\$80,00
- Arduino Mega: R\$130,00
- Sensor de ultrassônico: R\$22,00
- Sensor de cor: R\$70,00
- Suporte chapa de aço: R\$80,00
- Fios conectores e fonte: R\$35,00
- +1 Servo motor: R\$50,00
- Frete total aproximado: R\$230,00

Cerca de R\$1200,00 de investimento para realizar o projeto em sua prática.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desenvolvimento e implementação do braço robótico com 5 DOF foi um projeto bem-sucedido nos objetivos traçados. A integração dos componentes de *hardware* - servo motores, sensor de posição e cores – com o *software* de controle por meio da IDE do microcontrolador Arduino MEGA, possibilitou realizar o sistema seletor de objetos por cores.

Na elaboração do primeiro teste bem-sucedido é dada pelas ordens:

1. Identificar a posição do objeto colocado dentro do range de alcance programado;
2. Movimentar o braço robótico até a peça identificada;
3. Acionar o sistema de sucção da ventosa para agarrar o objeto;
4. Deslocar o objeto até o próximo sensor, o sensor de cores;
5. Identificar a frequência de luz refletida no sensor e mostrar no monitor serial do Arduino;
6. Transportar o objeto agarrado até a base coletora e soltar.

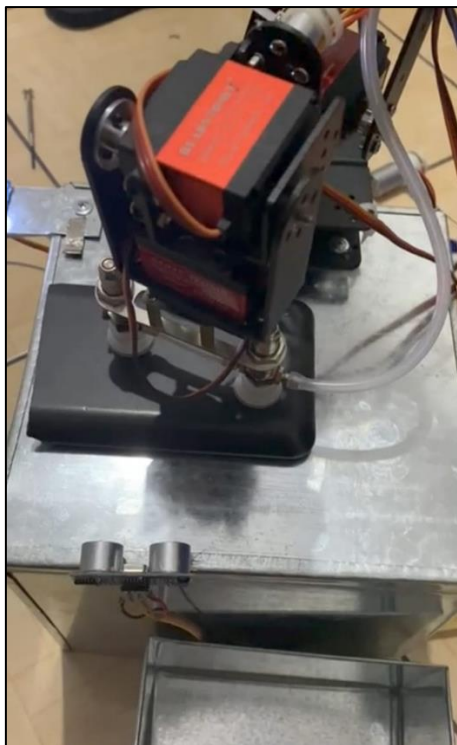
A programação detalhada no Apêndice B executa as etapas das ordens desejadas ao braço robótico. Ilustrado o processo das etapas nas Figuras 50 até o 59.

Figura 50 - 1º TESTE - Leitura posição da peça



Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 51 - 1º TESTE - Sucção pneumática da peça



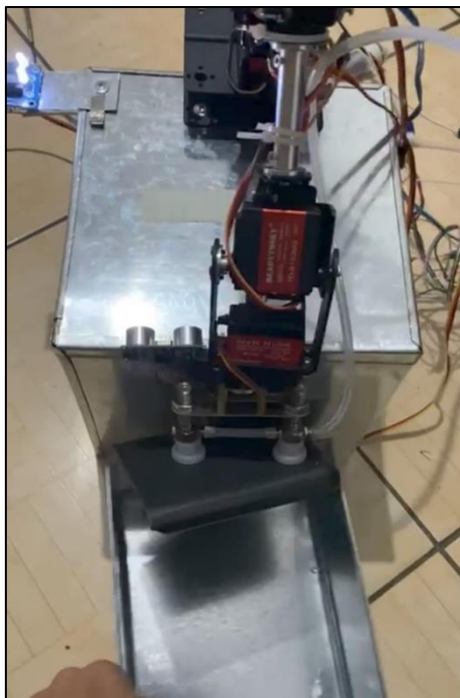
Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 52 - 1º TESTE - Leitura de cor da peça



Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 53 - 1º TESTE - deslocamento da peça à caixa



Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 54 - 1º TESTE - Segunda peça posicionada



Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 55 - 1º TESTE - Sucção pneumática da segunda peça



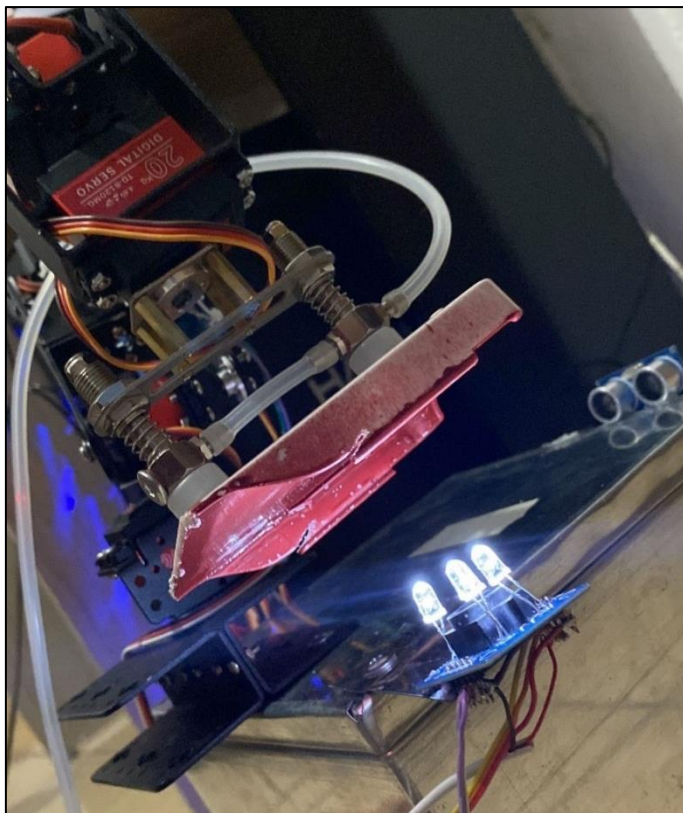
Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 56 - 1º TESTE – Segunda peça posicionada frente ao sensor de cor



Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 57 - 1º TESTE - Leitura de cor da segunda peça



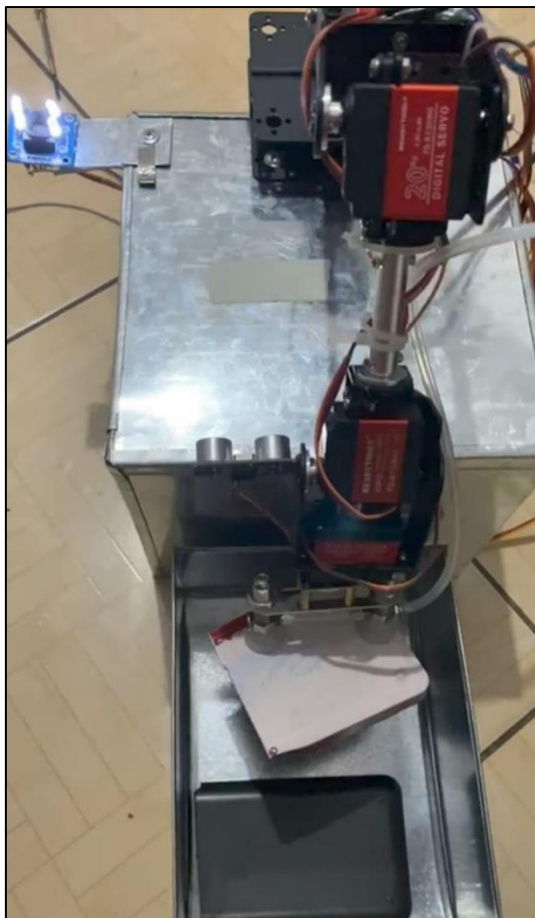
Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 58 - 1º TESTE - Leitura de cor da segunda peça (monitor serial)

```
COM4
|
|
Distancia <= 7cm: 4 cm
Vermelho: 0 - Vermelho detectado!
Distancia <= 7cm: 4 cm
Vermelho: 754
Distancia <= 7cm: 2 cm
Vermelho: 997
Distancia <= 7cm: 3 cm
Vermelho: 929
Distancia <= 7cm: 2 cm
Vermelho: 281 - Vermelho detectado!
```

Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 59 - 1º TESTE - Deslocamento da segunda peça à caixa



Fonte: Próprios autores (2024).

O primeiro teste teve um tempo de resposta de 45 segundos, desde o início da movimentação do braço robótico para pegar o objeto, até o momento de descarte do objeto na caixa. Sendo um somatório de:

- Detecção do objeto 1 pelo sensor ultrassônico: 2 segundos;
- Sucção do objeto 1 pela ventosa e deslocamento: 8 segundos;
- Leitura da cor do objeto 1 pelo sensor de cores: 2 segundos;
- Deslocamento do objeto 1 para a caixa: 9 segundos;
- Volta para a posição *home*: 3 segundos
- Detecção do objeto 2 pelo sensor ultrassônico: 2 segundos;
- Sucção do objeto 1 pela ventosa e deslocamento: 8 segundos;
- Leitura da cor do objeto 2 pelo sensor de cores: 2 segundos;
- Deslocamento do objeto 2 para a caixa: 9 segundos.

Para o segundo teste, foi configurado no código as instruções de soltar a peça de cor preta fora da caixa. A peça vermelha instruída a guardar dentro da caixa. Ilustrações a seguir das Figuras 60 até 67 fazem parte do segundo teste reprogramado.

Figura 60 - 2º TESTE - Posicionamento da peça preta



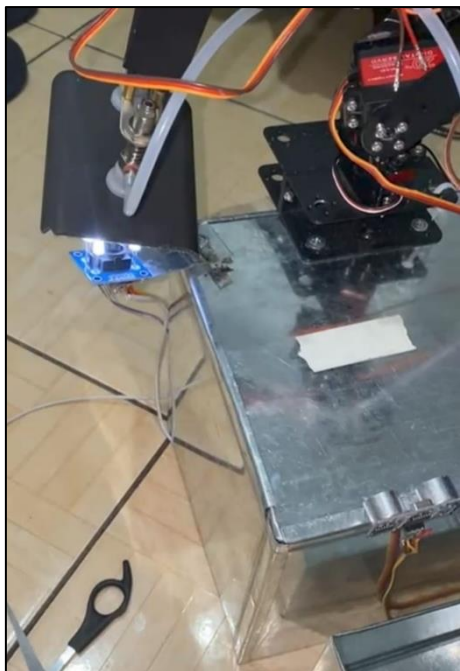
Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 61 - 2º TESTE - Sucção da peça preta



Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 62 - 2º TESTE - Deslocamento da peça preta à sensor de cor



Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 63 - 2º TESTE - Deslocamento da peça preta para fora da caixa



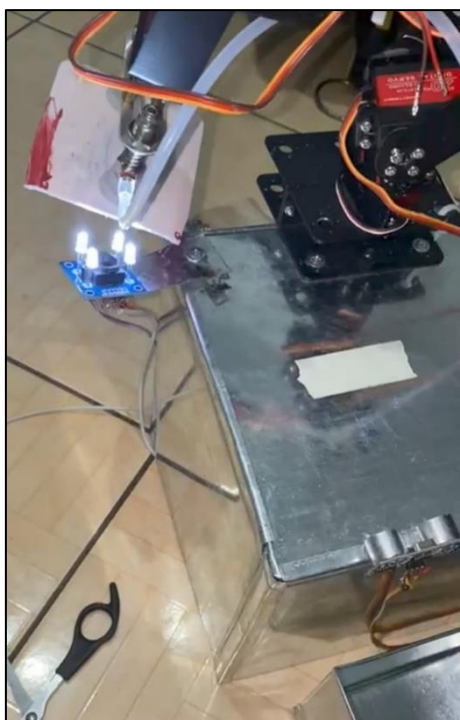
Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 64 - 2º TESTE - Posicionamento da peça vermelha



Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 65 - 2º TESTE - Leitura da peça vermelha no sensor de cor



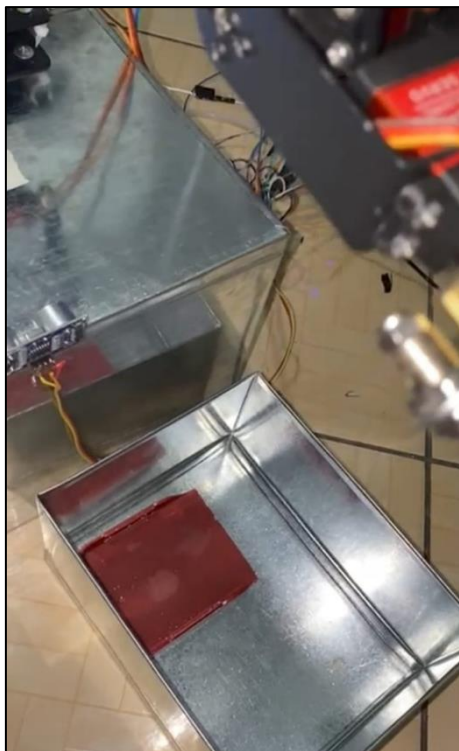
Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 66 - 2º TESTE - Deslocamento da peça vermelha para dentro da caixa



Fonte: Próprios autores (2024).

Figura 67 - 2º TESTE - Peça vermelha guardada na caixa



Fonte: Próprios autores (2024).

O segundo teste teve um tempo de resposta de 43 segundos, desde o início da movimentação do braço robótico para pegar o objeto, até o momento de descarte do objeto 1 na caixa e o objeto 2 fora da caixa. Sendo um somatório de:

- Detecção do objeto 1 pelo sensor ultrassônico: 2 segundos;
- Sucção do objeto 1 pela ventosa e deslocamento: 8 segundos;
- Leitura da cor do objeto 1 pelo sensor de cores: 2 segundos;
- Deslocamento do objeto 1 para a caixa: 9 segundos;
- Volta para a posição *home*: 3 segundos
- Detecção do objeto 2 pelo sensor ultrassônico: 2 segundos;
- Sucção do objeto 1 pela ventosa e deslocamento: 8 segundos;
- Leitura da cor do objeto 2 pelo sensor de cores: 2 segundos;
- Deslocamento do objeto 2 para fora da caixa: 7 segundos.

A diferença mínima de 2 segundos a menos que o primeiro teste é consequente a não precisão do segundo movimento para posicionar o objeto na caixa.

Com as técnicas de programação, eletrônica, elétrica e cálculos utilizadas na integração dos sensores e o microcontrolador foi possível obter o controle correto e preciso de movimento do braço robótico para alcançar com sucesso os testes realizados.

Ponto a ser revisado para segmento do projeto, o servo motor de 20 kgf possui um torque muito elevado para o esqueleto utilizado com velocidade reduzida. As peças de conexão aos eixos, por serem de material plástico, não permitiram desempenhar outros testes seletoras de cores, pois a estrutura estava sendo comprometida, tendo que em ocasiões reforçar os eixos com chapa metálica parafusados. O ideal seria adquirir ou desenvolver um esqueleto robótico com material resistente e robusto para que a força seja devidamente distribuída por todo o tamanho do braço.

6 CONCLUSÃO

No decorrer deste trabalho foram investidos em média um total de 480 horas-homem, tempo hábil para desenvolver toda a pesquisa e estudos presentes, além da montagem, testes e análises dos resultados.

Por fim, o projeto desenvolveu e implantou um sistema de manipulação de objetos utilizando um braço robótico equipado com servos motores de alto torque, uma ventosa e um sensor de cor e posição. O objetivo principal foi alcançado ao criar um sistema capaz de identificar a cor das peças e realizar a manipulação de acordo com essa classificação.

O projeto apresenta grau de relevância na área da automação industrial, pois demonstra a aplicação prática da robótica na otimização de processos produtivos. A automação desempenha um papel importante na modernização e eficiência das linhas de produção, permitindo que tarefas complexas e/ou simples sejam executadas de forma precisa e rápida.

A utilização dos braços robóticos para manipular objetos, o projeto demonstra como a automação industrial pode ser usada para substituir ou complementar a atividade humana em tarefas repetitivas, perigosas ou que exigem alta precisão. A integração de componentes como servo motores de alto desempenho e sensores de cores destaca a versatilidade e adaptabilidade do sistema robótico, que pode ser adaptado às necessidades específicas de cada aplicação.

Alerta para capacitação de trabalhadores, com a instalação do projeto o trabalho humano em atividades repetitivas deixaria de existir, e será necessário humanos para as áreas de manutenção, programação de novos pontos, para usar o braço robótico em outra parte da indústria.

Dessa forma, conclui-se que o projeto não apenas demonstra as capacidades e benefícios da automação industrial, mas também contribui para o avanço tecnológico e aprimoramento da área, ao apresentar uma solução prática e inovadora para um problema comum em ambientes industriais.

REFERÊNCIAS

Agnihotri, Nikhil. **Servo Motor: Basics and Working**: In: Engineers Garage. Ohio, 5 jul. 2019. Disponível em: <https://www.engineersgarage.com/servo-motor-basics-and-working/>. Acesso em: 16 abr. 2024.

Albuquerque, P.H., Saavedra, A., Morais, R., Alves, R. & Yaohao, P. (2019). **Na era das máquinas, o emprego é de quem?** Estimação da probabilidade de automação de ocupações no Brasil. Texto para discussão. IPEA 2457. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9116/1/td_2457.pdf. Acesso em: 19 abr. 2024.

Alibaba. **Imagem do transistor b331**. Disponível em: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/-Novo-original-transistor-npn-bipolar-900014072651.html>. Acesso em: 24 mai. 2024.

Aliexpress. **Imagem da bomba de sucção**. 2024a. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/i/1005005462096018.html>. Acesso em 24 mai. 2024.

Aliexpress. **Imagem da ventosa**. 2024b. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/i/1005003246853871.html>. Acesso em 24 mai. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10218-1:2028**: Robôs e dispositivos robóticos — Requisitos de segurança para robôs industriais - Parte 1: Robôs. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. Acesso em 26 jun. 2024.

ASSOCIAÇÃO DE ENGENHEIROS BRASIL-ALEMANHA. **Como anda a revolução dos robôs na indústria?** VDI Brasil: São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.vdibrasil.com/como-anda-a-revolucao-dos-robos-na-industria/>. Acesso em 26 jun. 2024.

Banzi, Massimo. **Primeiros passos com o Arduino**. São Paulo: Novatec Editora, 2011. Acesso em: 26 jun. 2024.

Barreto, Josiele Lima. **Desenvolvimento de uma interface gráfica via app designer para calibração de um sensor TCS230 microcontrolado por Arduino**. UFOP. Instituto de Engenharia e Geociências. Pará, 2023. Acesso em: 23 mai. 2024.

Batista, Rogério Pereira. **Cinemática inversa aplicada a manipulador robótico a partir de coordenadas capturadas pela Microsoft Kinect**. Goiânia, 2019. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/riserver/api/core/bitstreams/31e8f572-b8a4-461a-a3af-2454e2f97e76/content>. Acesso em: 17 nov. 2023.

Candelas, F. A. (2015). **Experiences on using Arduino for laboratory experiments of Automatic Control and Robotics**. University of Alicante, Alicante, Spain. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896315024799>. Acesso em: 14 abr. 2024.

Carneiro, Gênnisson Batista. **Desenvolvimento de um controlador inteligente em sistema embarcado para controle dinâmico de veículo elétrico de duas rodas**. Dissertação. Universidade Federal da Paraíba. Paraíba, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/22021/1/G%c3%aannissonBatistaCarneiro_Dissert.pdf. Acesso em: 26 jun. 2024.

Carrara, Valdemir. **Introdução à Robótica Industrial**. Ministério da Ciência: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São Paulo, p. 1-110, 2015. Acesso em: 22 mar. 2024.

Caruso, André Luis Macedo; Cavalheiro, Simone André da Costa. **Integração entre Pensamento Computacional e Inteligência Artificial: Uma Revisão Sistemática de Literatura**. Simpósio Brasileiro De Informática Na Educação (SBIE). Porto Alegre, p. 1051-1062, 2021. DOI: 10.5753/sbie.2021.218125. Acesso em: 18 nov. 2023.

Casanova, Christiano C. **Modelagem e compensação de atrito em Robôs manipuladores com flexibilidades nas juntas**: identificação, análise e resultados experimentais. Universidade federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/90304/244888.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 nov. 2023.

Couto, Hudson de Araújo. **Como gerenciar a questão das LER/DORT**: Lesões por Esforços Repetitivos / Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho. 1. ed. Belo Horizonte, Ergo Editora, 1998. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep1999_a0689.pdf. Acesso em: 14 abr. 2024.

Craig, John J. **Introduction to Robotics: Mechanics and Control**. 3 ed. Nova Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005, 400 p. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=1361963d67c938b599521dd844bae5052864b750>. Acesso em: 26 jun. 2024.

Crespo, D. d. A. **Especificações de segurança para células robotizadas**. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/39187>. Acesso em: 15 abr. 2024.

Cristo, Amarildo António das Dores; Araújo, Caíque Vallim; Neto, Amadeu Zanon. Construção de um AGV (Veículo guiado automaticamente) controlado pela Plataforma Arduino Uno Para Circular em Labirintos. **Revista eSALENG**. São Paulo, v. 2, n. 1, p. 69, 2017. Disponível em: https://unisaesiano.com.br/aracatuba/wp-content/uploads/2018/05/Revista_eSaleng_edicao_3.pdf. Acesso em: 26 jun. 2024.

Da Silva, Roberto; Bervian, Pedro Alcino; Cervo, Amado Luiz. **Metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2007. Acesso em: 26 jun. 2024.

Eletru's. **Imagem do Arduino MEGA**. 2024. Disponível em: <https://www.eletruscomp.com.br/produto/arduino-mega-2560-r3/>. Acesso em: 24 mai. 2024.

Evans, Martin; Noble, Joshua; Hochenbaum, Jordan. **Arduino em ação**. São Paulo: Novatec Editora, 2013. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=tig0CgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA8&dq=info:oWLTtRYS1jBIJ:scholar.google.com/&ots=mTgxhdYq3O&sig=-wXG_-5gK7jkdD9a5lawfuzq5rA#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 26 jun. 2024.

Fenerick, Jessica A.; Volante, Carlos R. **A evolução das indústrias, os benefícios da automação e as perspectivas do mercado da robótica no Brasil e no mundo**. Revista Interface Tecnológica. São Paulo, v. 17, n. 1, p. 734-745, 2020. DOI: 10.31510/infa.v17i1.805. Acesso em: 22 mar. 2024.

Firoozian, Riazollah. **Servo Motors and Industrial Control Theory**: Mechanical Engineering Series. 2. ed. Springer, 2014, p. 65-90. Disponível em: <https://online.flipbuilder.com/John.nappa/qbcj/mobile/index.html>. Acesso em: 17 abr. 2024.

Granemann, A. L. *et al.* **Desenvolvimento de um sistema robotizado de encaixotamento de potes para uma empresa de produtos lácteos**. Monografia. Universidade Federal de Santa Catarina. Blumenau, 2020. Disponível em: <https://automacao.blumenau.ufsc.br/2020/03/02/defesa-de-tcc-desenvolvimento-de-um-sistema-robotizado-de-encaixotamento-de-potes-para-uma-empresa-de-produtos-lacteos/>. Acesso em: 16 abr. 2024.

Groover, M. P.; Weiss, M.; Nagel, R. N.; Odrey, N. G. **Robótica: Tecnologia e Programação**. McGraw-Hill, São Paulo, 1989. Acesso em: 18 nov. 2023.

GS1 Brasil. **Índice de Automação de Empresas 2022**. 6. ed. São Paulo, 2023. Disponível em: https://www.gs1br.org/educacao-e-eventos/Documents/Indice%20de%20Automacao%202022_Empresas.pdf. Acesso em: 19. abr. 2024.

Haverbeke, Marijn. **JavaScript Eloquente**. 4 ed. Traducido al Español. In: Midudev. San Francisco: No Starch Press, 2024. Disponível em: <https://eloquent-javascript-es.vercel.app/>. Acesso em: 26 jun. 2024.

Leonardelli, Pablo. **Uso do diagrama sequencial funcional como linguagem de programação para um robô cilíndrico (sic) de 5 graus de liberdade acionado pneumáticamente**. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015, 82 p. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/149214>. Acesso em 26 jun. 2024.

Maia, Deborah. **Automação Industrial e Robótica**. 2003. Disponível em: <https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17829/material/ARTIGO08.pdf>. Acesso em: 12 set. 2023.

Matarić, Maja J. **Introdução à robótica**. Tradução: Humberto Ferasoli Filho, José Reinaldo Silva, Silas Franco dos Reis Alves. 1. ed. São Paulo: Editora Unesp/Blucher, 2014. Acesso em 26 jun. 2024.

McRoberts, Michael. **Arduino Básico**. [Tradução]. São Paulo: Novatec Editora, 2011, 453 p. Disponível em:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4287597/mod_resource/content/2/Ardu%C3%ADno%20B%C3%A1sico%20-%20Michael%20McRoberts.pdf. Acesso em: 26 jun. 2024.

Mercado Livre. **Especificações do esqueleto robótico**. 2024a. Disponível em:

https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-4529089818-kits-de-braco-mecnico-de-rob-6-dof-diy-para-aprender-_JM#position=3&search_layout=stack&type=item&tracking_id=97337bff-57b9-4206-a170-9f5de0a59afc. Acesso em 24 mai. 2024.

Mercado Livre. **Imagem do servo motor**. 2024b. Disponível em:

https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2209581597-servo-auto-modelo-20-kg-prova-de-agua-18-e-110-todos-_JM. Acesso em 24 mai. 2024.

Mercado Livre. **Especificações do servo motor**. 2024c. Disponível em:

https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2209581597-servo-auto-modelo-20-kg-prova-de-agua-18-e-110-todos-_JM. Acesso em 24 mai. 2024.

Mercado Livre. **Imagem do regulador de tensão**. 2024d. Disponível em:

https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1060959707-3x-regulador-de-tenso-lm2596-conversor-dc-dc-step-down-_JM#position=27&search_layout=grid&type=item&tracking_id=ec5258b3-3277-4f1d-9b24-217a96bff3dd. Acesso em: 24 mai. 2024.

Mercado Livre. **Imagem do módulo relé**. 2024e. Disponível em:

https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1343987636-modulo-rele-1-canal-de-sinal-5v-para-110220v-ac-arduino-_JM#position=15&search_layout=grid&type=item&tracking_id=89cc8b2c-e50f-4b61-86f7-14bac2d32242. Acesso em: 24 mai. 2024.

Mercado Livre. **Imagem do sensor ultrassônico**. 2024f. Disponível em:

https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3332433649-30-x-sensor-de-distancia-ultrasonico-hc-sr04-_JM#position=10&search_layout=grid&type=item&tracking_id=f8ac45d8-f989-40de-9ec6-27747c5cb922. Acesso em: 24 mai. 2024.

Mercado Livre. **Imagem do sensor de cor**. 2024g. Disponível em:

https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1905345301-sensor-cor-cores-rgb-tcs230-tcs3200-arduino-gy-31-_JM#position=7&search_layout=grid&type=item&tracking_id=bd18cad6-c311-4988-84f4-c7a8cca29cfd. Acesso em 24 mai. 2024.

Mercado Livre. **Imagem das peças de encaixe do braço robótico**. 2024h.

Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-4529089818-kits-de-braco-mecnico-de-rob-6-dof-diy-para-aprender-_JM#position=3&search_layout=stack&type=item&tracking_id=97337bff-57b9-4206-a170-9f5de0a59afc. Acesso em 24 mai. 2024.

Morgan, Elijah J. **HC-SR04 Ultrasonic Sensor**. 16 nov. 2014. Disponível em: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132204/ETC2/HCSR04.html>. Acesso em: 23 abr. 2024.

Müller, Christopher. **World Robotics 2023 – Industrial Robots**. International Federation of Robotics. Statistical Department, VDMA Services GmbH. Frankfurt, p. 9-16, 2023. Disponível em: https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_2023.pdf. Acesso em: 19. abr. 2024.

Nakatani, Alessandro Massayuki; Guimarães, Anderson Valenga; Neto, Vicente Machado. **Medição com sensor ultrassônico HC-SR04**. In: Congresso Internacional de Metrologia Mecânica. 3. ed. Curitiba, 2014. Acesso em: 19. abr. 2024.

Oza, Vaibhav; Mehta, Pranav. **Arduino robotic hand**: Survey paper. In: 2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET). IEEE. Mumbai, 2018. Acesso em: 26 jun. 2024.

Roggia, R; Fuentes, Rodrigo C. **Automação Industrial**. ed. única. Rede e –Tec Brasil. Santa Maria, 2016. Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/12/06_automacao_industrial.pdf. Acesso em: 19. abr. 2024.

Romano, Vitor Ferreira; Dutra, M. **Introdução a robótica industrial. Robótica Industrial: Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processo**. São Paulo: Edgard Blücher, p. 1-19, 2002. Acesso em: 18 nov. 2023.

Roveratti, Gabrielle; Feitosa, Adriano de Araújo; Galera, Jhonatan William. **O uso do sensor RGB TCS3200 em Arduino, aplicado a esteira seletora por cor**. Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica. v. 3, n. 1, p. 47-58. Rio Grande do Norte, 2021. Acesso em: 19. abr. 2024.

Sakurai, Ruudi; ZUCHI, Jederson D. **As Revoluções Industriais até a Indústria 4.0**. Revista Interface Tecnológica. São Paulo, v. 15, n. 2, p. 480-491, 2018. DOI: 10.31510/infa.v15i2.386. Acesso em: 19. abr. 2024.

Santos, Vítor M. F. **Robótica industrial**. Universidade de Aveiro. 2004. Disponível em: http://lars.mec.ua.pt/public/LAR%20Projects/Humanoid/2013_EmilioEstrelinha/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Em%C3%ADlio_Estrelinha/Datasheets/RoboticalIndustrial-Sebenta2003-2004-v2a.pdf. Acesso em: 18 nov. 2023.

Silveira, Leonardo; Lima, Weldson Q. **Um breve histórico conceitual da automação industrial e redes para automação industrial**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2003. Acesso em: 06 nov. 2023.

Simplício, Paulo V. G.; Lima, Beatriz R.; Junkes, Janaína A. **Manipuladores robóticos industriais**. Revista Ciências Exatas e Tecnológicas. Aracaju, v. 3, n. 3, p. 85-94, 2016. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/3572/1950>. Acesso em: 22 mar. 2024.

Soares, Renan; Lucato, André V. R. **Robótica colaborativa na indústria 4.0, sua importância e desafio**. Revista Interface Tecnológica. São Paulo, v. 18, n. 2, p. 747-759, 2021. DOI: 10.31510/infa.v18i2.1298. Acesso em: 22 mar. 2024.

Stroski, Pedro N. **Como servomotores funcionam?** In: Electrical e-Library. Paraná, 19 jul. 2017. Disponível em: <https://www.electricalibrary.com/2017/07/19/como-servomotores-funcionam/>. Acesso em: 16 abr. 2024.

Torres, Rogério A. A. **Manipulação Robótica na Indústria Cerâmica**. Politécnico de Coimbra. Coimbra, p. 1-171, nov. 2022. Acesso em: 22 mar. 2024.

Universal Robots Brasil. **Servo Motor**: O que é, como funciona e seu uso na robótica industrial: In: Blog Universal Robots Brasil. São Paulo, 29 ago. 2023a. Acesso em: 19. abr. 2024.

Universal Robots Brasil. **Robótica No Brasil**: Conheça a história e o cenário atual do setor no país: In: Blog Universal Robots Brasil. São Paulo, 25 jan. 2023b. Disponível em: <https://www.universal-robots.com/br/blog/rob%C3%B3tica-no-brasil-conheca-a-hist%C3%B3ria-e-o-cen%C3%A1rio-atual-do-setor-no-pa%C3%ADs/>. Acesso em: 19. abr. 2024.

Volpi, Ana J.; Dal-ri, Nayane; Rauta, Leonardo R. P. **Montagem e Desenvolvimento de um Braço Robótico**. Anais do Computer on the Beach. Santa Catarina, v. 11, n. 1, p. 619-621, set. 2020. Disponível em: <https://periodicos.univali.br/index.php/acotb/article/view/16837>. Acesso em: 22 mar. 2024.

Weidlich, Guilherme Henrique. **Desenvolvimento e aplicação de um dispositivo para análise de exatidão e repetitividade em robôs industriais**. Porto Alegre, nov. 2006. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10616/000599802.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 abr. 2024.

Yanagiya, Eric Fernando M. **Desenvolvimento De Manipuladores Robóticos Visando Sua Utilização No Ensino Médio**. Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho” Faculdade De Engenharia De Ilha Solteira UNESP. Ilha Solteira, 2015. Disponível em: https://www.feis.unesp.br/Home/Instituicao/administracao/cpeu550/rf_desenvolvimento_manipuladores_roboticos_2015_2.pdf. Acesso em: 06 nov. 2023.

APÊNDICE A: CRONOGRAMA DO PROJETO

Cronograma -2º Semestre de 2023							
Etapa	Atividade	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1	Escolha do tema e verificação de possibilidades	X					
	Análise teórica relacionada á estipulação de metas e porpósitos	X					
2	Introdução ao tema		X				
	Definição das justificativas e objetivos		X				
	Discussão acerca de supisições e Indagações direcionadoras			X			
3	Pesquisa de mercado			X			
	Revisão literatura				X		
4	Desenvolvimento da Metodologia				X		
	Elaboração dos materiais do protótipo e seus sistemas integrados					X	
5	Antecipação de cenários e metas almejadas.						X
	Apresentação oral para qualificação.						X
Cronograma -1º Semestre de 2024							
Etapa	Atividade	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.
6	Revisão do Texto	X					
	Aquisição Final de materiais		X				
7	Desenvolvimento da Aplicação Lógica ao protótipo		X				
	Experimentos práticos e análise dos dados coletados			X			
8	Validação da integridade dos dados mediante análise qualitativas e quantitativas				X		
	Desenvolvimento da versão definitiva da monografia e design do banner				X		
9	Desenvolvimento de resultados e considerações finais					X	
	Apresentação oral para qualificação final.					X	X

APÊNDICE B: CÓDIGO DE COMANDO DO PROJETO

```
#include <VarSpeedServo.h>

VarSpeedServo servo1;      // Define o objeto para o servo 1
VarSpeedServo servo2;      // Define o objeto para o servo 2
VarSpeedServo servo3;      // Define o objeto para o servo 3
VarSpeedServo servo4;      // Define o objeto para o servo 4
VarSpeedServo servo5;      // Define o objeto para o servo 5

const int trigPin = 12;
const int echoPin = 13;
const int motorPin = 7;
long duration;
int distance;
int mete;                  // Variável para armazenar a distância se for <= 7cm

//Pinos de conexão do módulo
const int s0 = 41;
const int s1 = 43;
const int s2 = 45;
const int s3 = 47;
const int out = 49;

//Variáveis para armazenar as cores
int red = 0;
int cor = 0;

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    pinMode(trigPin, OUTPUT);
    pinMode(echoPin, INPUT);
```



```
pinMode(motorPin, OUTPUT);
Serial.begin(9600);
servo1.attach(2);      // Conecta o servo 1 ao pino 2
servo2.attach(3);      // Conecta o servo 2 ao pino 3
servo3.attach(4);      // Conecta o servo 3 ao pino 4
servo4.attach(5);      // Conecta o servo 4 ao pino 5

pinMode(s0, OUTPUT);
pinMode(s1, OUTPUT);
pinMode(s2, OUTPUT);
pinMode(s3, OUTPUT);
pinMode(out, INPUT);
digitalWrite(s0, HIGH);
digitalWrite(s1, LOW);

// Mover para ponto HOME
moveHome();
}

void loop()
{
    // Limpa o pino trigPin
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);

    // Aciona o pulso ultrassônico
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);

    // Mede o tempo de retorno do pulso
    duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
```

```
// Calcula a distância em centímetros
distance = duration * 0.034 / 2;

// Se a distância for menor ou igual a 7cm
if (distance <= 4) {
    // Armazena a distância em "mete"
    mete = distance;

    // Exibe a distância no monitor serial
    Serial.print("Distancia <= 7cm: ");
    Serial.print(mete);
    Serial.println(" cm");

    // Mova para o ponto P1
    pontos();

    // Aguarda 1 segundo antes de começar a detectar a cor
    delay(2000);

    //Detecta a cor
    color();
    delay(1000);

    // Mostra valores no monitor serial
    Serial.print("Vermelho: ");
    Serial.print(red);

    // Verifica se o valor do vermelho é menor que 450
    if (red < 450) {
        servo1.write(72, 20, true);        // Mover servo1 para a posição
de 40 graus com uma velocidade de 100 (mais lento)
        servo4.write(80, 20,true);
        servo2.write(160, 20, true);
```

```

servo3.write(105, 20, true);

// Mover servo1 para a posição de 40 graus com uma velocidade
de 100 (mais lento)
cor = 1;           // Define a variável "cor" como 1 (vermelho)
Serial.println(" - Vermelho detectado!");
digitalWrite(7, HIGH);
} else {
servo1.write(72, 20, true);      // Mover servo1 para a posição
de 40 graus com uma velocidade de 100 (mais lento)
servo4.write(80, 20,true);
servo2.write(140, 20, true);
servo3.write(100, 20, true);

// Mover servo1 para a posição de 40 graus com uma velocidade
de 100 (mais lento)
cor = 0;          // Define a variável "cor" como 0 (outras cores)
digitalWrite(7, HIGH);
Serial.println();
}
}

// Aguarda um intervalo antes de ler novamente
delay(1000);
}

// Função para mover para o ponto P1
void pontos()
{
servo1.write(55, 20, false);      // Mover servo1 para a posição de 40 graus
com uma velocidade de 100 (mais lento)
servo2.write(40, 20, true);
servo4.write(60, 30, true);

```

```
servo3.write(160, 30, true);
servo2.write(30, 20, true);
servo4.write(0, 30, true);
servo3.write(180, 30, true);
servo2.write(50, 20, true);

// ativar ventosa
delay(2000);
digitalWrite(7, LOW);
delay(2000);
servo2.write(20, 20, true);
servo3.write(150, 20, true);
servo1.write(0, 20, false);
servo3.write(170, 20, true);
}

void color()
{
    // Rotina que lê o valor das cores
    digitalWrite(s2, LOW);
    digitalWrite(s3, LOW);

    // Lê a intensidade da cor vermelha
    red = pulseIn(out, digitalRead(out) == HIGH ? LOW : HIGH);

    // Avança para a próxima cor
    digitalWrite(s3, HIGH);

    // Aguarda um curto intervalo
    delayMicroseconds(10);

    // Reseta o pino s3 para garantir que esteja pronto para a próxima leitura
    digitalWrite(s3, LOW);
```

```
// Avança para a próxima cor
digitalWrite(s2, HIGH);
}

// Função para mover para o ponto HOME
void moveHome()
{
    servo1.write(20, 20, true);    // Mover servo1 para a posição de 40 graus
    com uma velocidade de 100 (mais lento)
    servo2.write(35, 20, true);    // Mover servo2 para a posição de 80 graus
    com uma velocidade de 100 (mais lento)
    servo3.write(140, 20, true);    // Mover servo3 para a posição de 120 graus
    com uma velocidade de 100 (mais lento)
    servo4.write(10, 20, true);    // Mover servo4 para a posição de 30 graus
    com uma velocidade de 100 (mais lento)
    digitalWrite(7, HIGH);
}
```