

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ISA PAULA FERREIRA SILVA

PROTÓTIPO DE UM ROBÔ CARTESIANO PARA A APLICAÇÃO EM
AGRICULTURA

Jataí - GO
Dezembro/2021



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico/Tecnológico - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Isa Paula Ferreira Silva

Matrícula: 20161020040250

Título do Trabalho: Protótipo de um Robô Cartesiano para a Aplicação em Agricultura

Autorização - Marque uma das opções

1. (☒) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. (☐) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. (☐) Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- (☐) O documento está sujeito a registro de patente.
(☐) O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
(☐) Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Jataí-GO, 14 / 01 / 2022.
Local Data

Isa Paula Ferreira Silva

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

ISA PAULA FERREIRA SILVA

**PROTÓTIPO DE UM ROBÔ CARTESIANO PARA A APLICAÇÃO EM
AGRICULTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás, Câmpus Jataí, para obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Elétrica.
Orientadora: Prof. Me. Kennya Resende
Mendonça.

Jataí - GO

Dezembro/2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

Silva, Isa Paula Ferreira.

Protótipo de um robô cartesiano para a aplicação em agricultura [manuscrito] / Isa Paula Ferreira Silva. -- Jataí: IFG/ Departamento de Processos Industriais – Engenharia Elétrica, 2021.

89 f.: il.

Orientadora: Prof^a. Me. Kennya Resende Mendonça.
Bibliografias.

1. Robô cartesiano. 2. Irrigação. 3. Arduino. 4. Agricultura digital. 5. Programação. I. Mendonça, Kennya Resende. II. IFG, Câmpus Jataí. III. Título.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ

Folha de Aprovação

ISA PAULA FERREIRA SILVA

PROTÓTIPO DE UM ROBÔ CARTESIANO PARA A APLICAÇÃO EM AGRICULTURA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Monografia defendida e aprovada, em 13 de dezembro de 2021, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ma. Kennya Resende Mendonça

Presidente da banca / Orientadora

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Prof. Ma. Camila Dias de Jesus

Membro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Prof. Me. Tiago Romeiro de Jesus

Membro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Jataí – GO

2021

Documento assinado eletronicamente por:

- **Tiago Romeiro de Jesus, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 18/01/2022 10:27:58.
- **Camila Dias de Jesus, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 17/01/2022 20:28:25.
- **Kennya Resende Mendonca, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 17/01/2022 16:00:59.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 13/12/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 228568

Código de Autenticação: e9d6c1ad9d



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Rua Maria Vieira Cunha, nº 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714
(64) 3605-0843 (ramal: 843)

“Por isso mesmo, empenhem-se para acrescentar à sua fé a virtude; à virtude o conhecimento”. – 2 Pedro 1:5

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por ter me dado saúde e sabedoria para concluir esta pesquisa, somente por sua graça foi tudo possível.

À minha orientadora, professora Kennya, que me coordenou com maestria durante esses tempos tão turbulentos de pandemia, além de agir com profissionalismo se mostrou empática com minhas dificuldades e com meu tempo para realizar cada coisa durante todo o projeto, sempre com entusiasmo.

Aos meus familiares, por terem me apoiado durante toda esta caminhada, em principal minha irmã Thaysa, que sempre esteve ao meu lado, a minha mãe, por todas as orações de apoio e ao meu pai por todo incentivo para sempre prosseguir e a minha avó, por todo carinho e ao meu cunhado Murillo pelo auxílio.

As minhas amigas de curso, Lygia e Laylla, que caminharam comigo todo esse percurso não medindo esforços para me ajudarem, juntamente com a Danielle, Isabella, Aureliano, Lucas e Válcio, um obrigada, vocês me ensinaram bastante, postergo também esses agradecimentos ao meu colega de trabalho Rodrigo, que não mediu esforços para me auxiliar durante a pesquisa e aos meus amigos de infância Cássio, Gabriela e Giovanna, por todo companheirismo.

Um agradecimento também a todos os professores do Instituto Federal de Goiás-Campus Jataí, agradeço por terem contribuído tanto para minha formação, com certeza esta pesquisa também é fruto de cada um de vocês.

RESUMO

Aborda-se na presente pesquisa o estudo da agricultura 4.0, que traz consigo os métodos e ferramentas da quarta revolução industrial e a aplicação da robótica na produção agrícola, bem como a automação de processos antes realizados de forma manual. O tema traz consigo preocupações com a segurança alimentar mundial, devido ao crescimento populacional e a diminuição de áreas agricultáveis, bem como a degradação de áreas já utilizadas pelo manuseio incorreto da terra.

Visa-se através deste, a construção de um protótipo para a irrigação de qualquer tipo de cultivo. O sistema tem mobilidade através dos eixos coordenados de um robô cartesiano, xyz, sendo capaz de localizar cada planta, verificar a necessidade de irrigação de acordo com seus dados e efetuar a ação se ver a necessidade, de forma eficiente e eficaz. O projeto do hardware foi inspirado por máquinas já existentes, como o modelo FarmBot, as impressoras 3D e as máquinas CNC. A pesquisa conta com inúmeras informações sobre cada peça usada na construção do protótipo e cada tecnologia para o desenvolvimento do software e do aplicativo. O robô cartesiano executa as atividades conforme previsto, caminha sobre a área demarcada, identifica a localidade de cada planta e a irriga quando necessário. Busca-se com o projeto novas perspectivas de como unir a agricultura com as inovações tecnológicas, incentivar o empreendedorismo com a aplicação de tecnologias nos mais diversos segmentos da indústria, bem como ter produtividade e eficiência no campo.

Palavras-Chave: Robô Cartesiano. Irrigação. Arduino. Agricultura Digital. Programação.

Número de páginas: 89

ABSTRACT

This research addresses the study of 4.0 agriculture, which brings methods and tools from the fourth industrial revolution and the application of robotics in agricultural production, as well as automation processes previously performed manually. The theme brings with it concerns about world food security, due to population growth and the reduction of arable areas, as well as the degradation of areas already used by the incorrect handling of the land.

The aim through this research is to build a prototype for irrigation of any kind of crop. The system will include mobility through the coordinated axes of a cartesian robot, XYZ, being able to locate each plant, verify the need for irrigation according to its data and act if needed, in an efficient and effective way. The hardware design was inspired by existing machines such as FarmBot, 3D printers and CNC machines. This research contains a wealth of information about each part used in the prototype construction and every technology for the software and application development. The cartesian robot executes activities as planned, walks over the demarcated area, identifies each plant location and irrigates when necessary. This research pursues new perspectives of how agriculture and technological innovation can be united, encourages entrepreneurship with the application of technology on the most diverse industry segments, as well as increasing productivity and efficiency on the field.

Keywords: Cartesian robot. Irrigation. Arduino. Digital Agriculture. Programming.

Number of pages: 89

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Modelo de Máquina a vapor.	13
Figura 02 - Indústria Automobilística	14
Figura 03 - Revolução Industrial	14
Figura 04 -Relação População x Agricultura	16
Figura 05 - Agricultura industrial futurista	17
Figura 06 – Robôs Industriais	21
Figura 07 – Modelo de Robô Cartesiano.	23
Figura 08 – Modelo de Robô Gantry.	23
Figura 09 – Robô Cartesiano da FarmBot	24
Figura 10 –Agricultura 3.0	26
Figura 11 – Indústria 4.0	28
Figura 12 – Agricultura Inteligente	29
Figura 13 – Área equipada para a irrigação no Brasil - 2019	31
Figura 14 – Irrigação Mecanizada - Incremento Anual - Brasil	32
Figura 16 – Fluxograma de funcionamento	36
Figura 17 – Modelo FarmBot	37
Figura 18 – Projeto do Robô Cartesiano	37
Figura 20 – Perfil V-sloat OpenBuilds 20x20	39
Figura 21– Polias e Correias	40
Figura 22– Fuso Trapezoidal	41
Figura 23 – Motores de Passo	42
Figura 24 – Motor Nema 17	43
Figura 25 – Arduino Uno	44
Figura 26 – Driver A4988 + Shield	45
Figura 27 – Esquemático Driver A4988	46
Figura 29 – Identificação Portas Módulo Bluetooth	47
Figura 30 – Sensor Higrômetro	48
Figura 31 – Fontes de Alimentação	49
Figura 32 – Válvula solenóide	50
Figura 33 – IDE Arduino	51
Figura 34– Ambiente Componentes App Inventor	52
Figura 35– Ambiente Blocos App Inventor	53
Figura 36– QR CODE App Inventor	53
Figura 38 –Protótipo de Robô Cartesiano Final	55
Figura 37 – Fluxograma de funcionamento	56
Figura 39 – Vref Driver A4988	58
Figura 40 – Shield + Driver A4988	59
Figura 41 – Código Motor	62
Figura 42 – Montagem do circuito eletrônico	62

Figura 43 – Testagem de motores	63
Figura 44 – Pórtico Rolante	64
Figura 45 – Estrutura do Protótipo	64
Figura 46 – Tala para Eletrocalha	65
Figura 47 – Estrutura de movimentação dos eixos X.	65
Figura 48 – Eixo X	66
Figura 49 – Estrutura de movimentação do eixo Y.	67
Figura 50 – Eixo Z	68
Figura 51 – Eixo Z com efetuator	68
Figura 52– Estrutura do eixo Z.	69
Figura 53– Eixos Y e Z.	70
Figura 54– Eixos Y e Z.	70
Figura 55– Robô Cartesiano X, Y, Z	71
Figura 56 – Sensor no eixo Z	72
Figura 57– Identificação dos componentes	73
Figura 58– Código Irrigação	73
Figura 59– Código Irrigação	74
Figura 60 – Aplicativo Robô Cartesiano	75
Figura 61 – Tela Inicial	76
Figura 62– Comunicação	77
Figura 63 – Inicialização Bluetooth	77
Figura 64 – Pareamento Bluetooth	78
Figura 65 – Conexão e Desconexão Bluetooth	78
Figura 66 – Botão controle automático	79
Figura 67– Botão controle eixo X	80
Figura 68 – Programação bluetooth	80
Figura 69 – Programação Robô Teleoperado	81
Figura 70 –Protótipo de Robô Cartesiano Final	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Modos de Controle	45
Quadro 02 – Consumo energético	49
Quadro 03 – Orçamento do Protótipo	54

LISTA DE SIGLAS

TI	Tecnologia de Informação
CNC	Computer Numeric Control
AP	Agricultura de Precisão
RFID	Identificação por Radiofrequência
AP	Agricultura de Precisão
AD	Agricultura Digital
IoT	Internet das Coisas
CAD	Computer Aided Design
3D	Tridimensional
MIT	Massachusetts Institute of Technology
kgf	Quilograma Força
N.m	Newton-metro
Vcc	Tensão em Corrente Contínua

SUMÁRIO

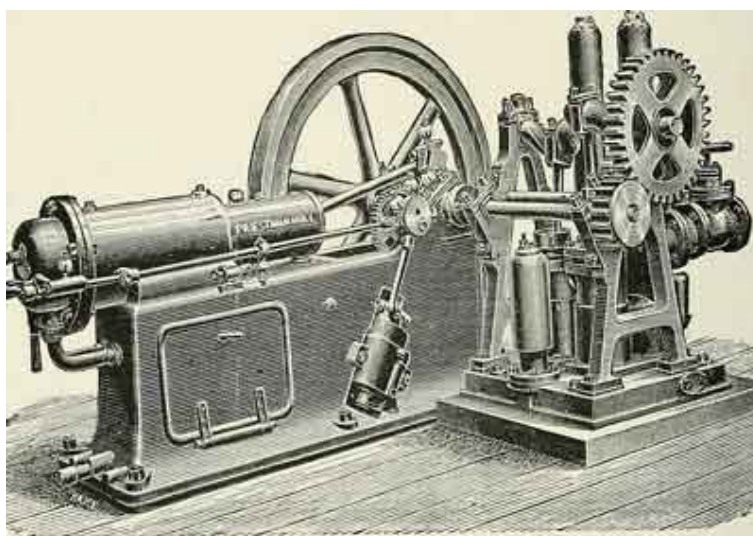
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO GERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 ROBÓTICA	20
2.2 ROBÔ CARTESIANO E APLICAÇÃO	22
2.2 AGRICULTURA	25
2.2.1 AGRICULTURA 4.0	27
2.3 IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA	31
3 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	36
3.1 ESTRUTURA MECÂNICA	39
3.1.1 PERFIL DE ALUMÍNIO	39
3.1.2 POLIAS E CORREIAS	39
3.1.3 FUSO TRAPEZOIDAL	40
3.2 COMPONENTES DO HARDWARE	41
3.2.1 MOTOR DE PASSO	41
3.2.3 PLATAFORMA ARDUINO	44
3.2.4 DRIVER E SHIELD A4988	44
3.2.5 MÓDULO BLUETOOTH HC-05	46
3.2.6 SENSOR DE UMIDADE DO SOLO	48
3.2.7 ALIMENTAÇÃO	48
3.2.8 VÁLVULA SOLENÓIDE	49
3.3 SOFTWARE	50
3.4 ORÇAMENTO	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
4.1 PRIMEIRA ETAPA	58
4.2 SEGUNDA ETAPA	63

4.3 TERCEIRA ETAPA	72
4.4 QUARTA ETAPA	75
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
6 TRABALHOS FUTUROS	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

1 INTRODUÇÃO

As revoluções industriais, iniciadas na segunda metade do século XVIII, proporcionaram transformações contínuas ao mundo, resultando no crescimento econômico e tecnológico das regiões. A primeira revolução surgiu com a criação das máquinas a vapor, Figura 01, nesta etapa iniciou-se a mecanização de processos que antes fora totalmente manual, a segunda revolução proporcionou a produção em massa, com máquinas a base de energia elétrica, favorecendo o aparecimento de novas invenções com a semi-automatização (TOFFLER, 2000).

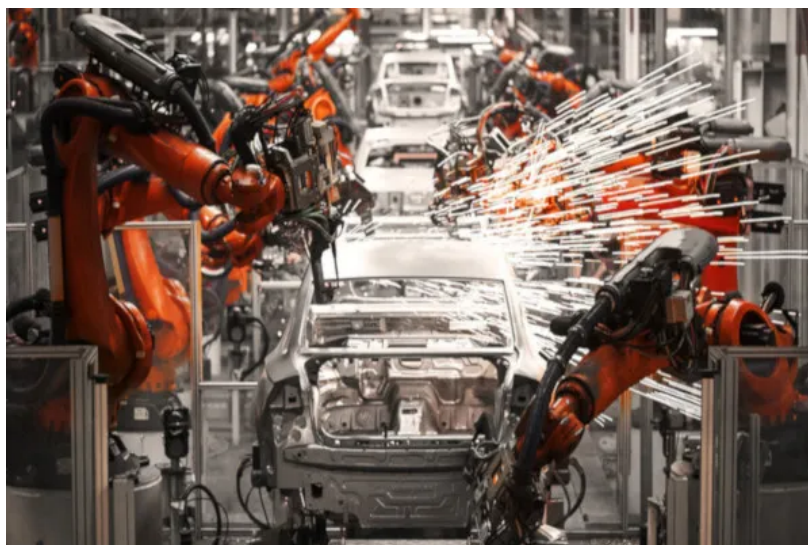
Figura 01 - Modelo de Máquina a vapor.



Fonte: (CRISTIAN, 2021)

A terceira revolução industrial, que ocorreu na segunda metade do século XX, marcada pelo avanço de diversos ramos da indústria, como o automobilístico, Figura 02, consistiu de um grande avanço tecnológico, os processos foram automatizados por meio da eletrônica, informática, telecomunicações e robótica (TOFFLER, 2000). Nesta etapa, pesquisas tecno-científicas trouxeram grandes descobertas, na microeletrônica, por exemplo, os materiais semicondutores, proporcionaram a criação de chips dotados de alto poder de processamento e transmissão de dados, acelerando o desenvolvimento tecnológico (SWART, 2021).

Figura 02 - Indústria Automobilística

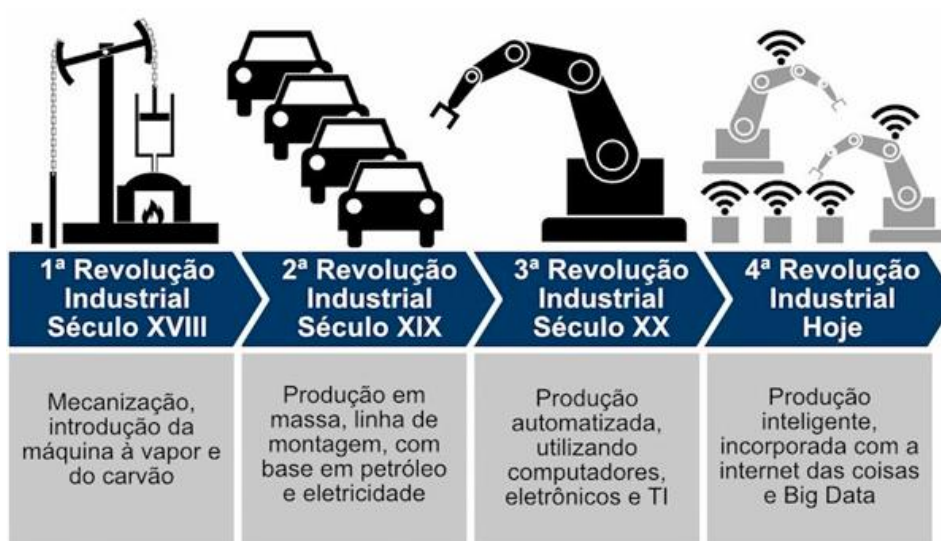


Fonte: (MEDEIROS, 2021)

Agora, nas primeiras décadas do século XXI, surge a Indústria 4.0 ou quarta revolução industrial, voltada a produtos e equipamentos inteligentes, onde a comunicação máquina máquina se torna presente, com uma indústria que busca segurança, eficiência e produtividade nas operações, uma fábrica ágil, dinâmica e flexível, possuindo como pilares, a internet das coisas e serviços, sistemas cyber-physicos e Big-Data (COELHO, 2016).

A Figura 03 ilustra um pouco sobre todas estas transformações, mostrando as cronologicamente:

Figura 03 - Revolução Industrial



Fonte: (PRETI, 2018)

A robotização dos processos industriais substitui a mão de obra humana em diversos setores, atualmente, em principal, nas atividades que necessitam de grande esforço físico, periculosidade e/ou que sejam realizadas em locais de difícil acesso, garantindo o bem estar humano e maior competitividade no mercado. Juntas, a automação e a robótica, geraram um grande impacto nos sistemas produtivos, criando uma indústria extremamente mecanizada, com máquinas que podem funcionar de forma programada, autônomas ou semi autônomas, auxiliando os trabalhadores (FORNI, 2017).

Através das tecnologias de informação os robôs continuaram a evoluir, tornando-se mais inteligentes, levando os processos de fabricação atual para um modelo de manufatura digital, onde os robôs são capazes de estar lado a lado dos humanos no chão de fábrica, os chamados robôs colaborativos, essa nova fase industrial garante grandes vantagens competitivas por meio da atualização tecnológica (CHRISTENSEN et al., 2020).

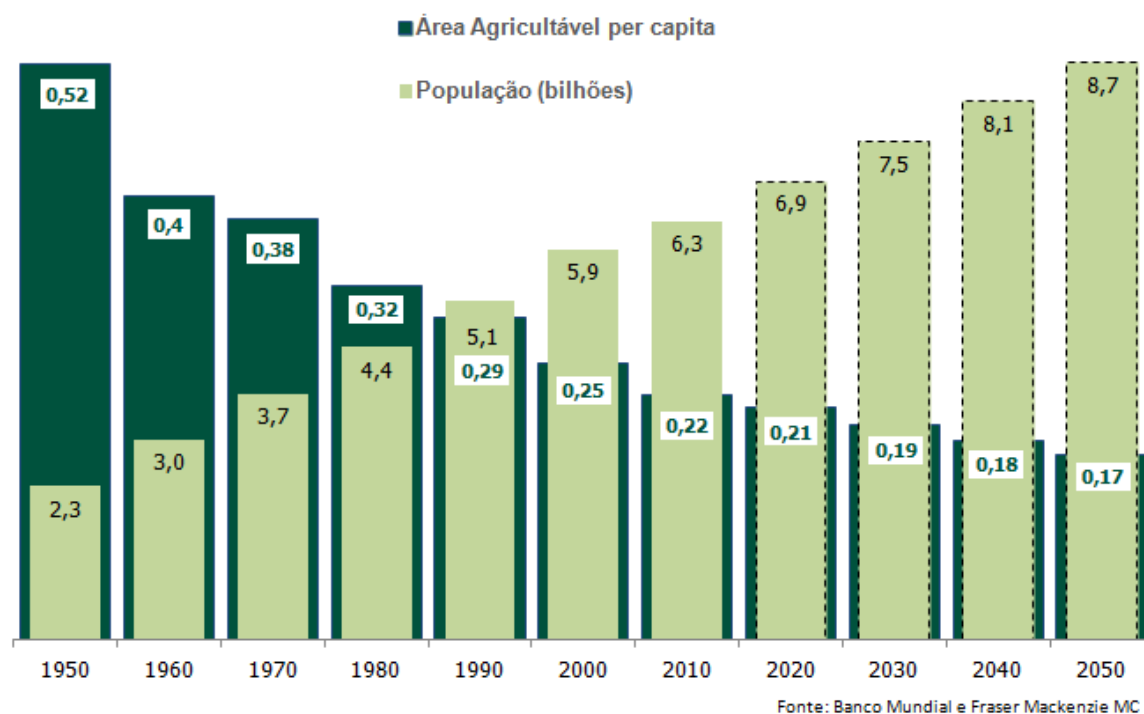
Um estudo realizado por diversas universidades mostra a necessidade da introdução de robôs nos segmentos alimentícios da agricultura e pecuária, para o processamento de itens, como carnes, laticínios e vegetais, visto que esta indústria depende muito dos trabalhadores temporários, que estão se tornando escassos (CHRISTENSEN et al., 2020). Por exemplo, na agricultura, a necessidade da robotização pode incluir todas as etapas do processo produtivo, desde a introdução da semente no solo, como a manutenção da planta, proteção contra ervas daninhas e colheita.

Este mesmo estudo ainda aponta a necessidade de ferramentas de fácil uso, para evitar a necessidade de extensos treinamentos dos trabalhadores locais e que estas possam ser acessíveis aos produtores, garantindo assim a expansão da automação e principalmente da produtividade no campo, de forma eficiente e rentável (CHRISTENSEN et al., 2020). Pode-se perceber que estas novas tecnologias visam, entre muitos aspectos, a segurança alimentar mundial.

A ONU prevê que até 2050 a população mundial será de em torno de 8,7 bilhões de pessoas, isso resultará numa grande demanda da agricultura para sustentar a matriz energética necessária (SLC, 2018), como observado na Figura 04. A Embrapa possui diversos estudos sobre a segurança alimentar e, conforme seus dados, o Brasil deve atingir a marca de 230 milhões de pessoas e a Ásia 5 bilhões de pessoas em 2028, este crescimento resulta num maior consumo de alimentos, água e energia, bens finitos e preciosos na terra, o que pode gerar um desequilíbrio entre a produção total mundial de alimentos, consumidores, e manutenção da água na terra (EMBRAPA, 2018). De acordo com a FAO poucos são os lugares no mundo que irão conseguir sustentar a demanda alimentar, principalmente por não

possuírem áreas disponíveis para a expansão agrícola, em muito por que o crescimento de habitantes terrestres ocuparam esta área (SAATH; FACHINELLO, 2018).

Figura 04 -Relação População x Agricultura



Fonte: (SLC, 2018)

Observa-se já uma grande transformação da agricultura ao longo dos anos bem como a sua prática mais sustentável, entretanto apenas uma mínima parcela dos produtores possuem essas tecnologias para tornar seu modo de produzir mais eficiente e econômico (CALBO; SILVA, 2005). Esta evolução é reflexo da agricultura de precisão e da agricultura digital, que ajudam a avaliar e acompanhar as diversas atividades agrícolas. Com análises tão rígidas para o futuro é necessário que a agricultura se desenvolva de forma mais inteligente e que utilize de forma controlada os recursos naturais.

Esse upgrade da agricultura é aplicado em qualquer área agrícola, por exemplo na irrigação, como chave para reduzir desperdícios e aumentar a eficiência no campo, tendo em visto que o desenvolvimento de uma planta é influenciado, principalmente, pela umidade do solo: a deficiência ou excesso, variáveis que atuam diretamente na produtividade (CALBO; SILVA, 2005).

Outra aplicação que cresce continuamente é a utilização de robôs nos processos agrícolas, em uma Webinar organizada pela Embrapa o pesquisador Antônio Leite pontua que

mesmo com a necessidade de muito investimento em pesquisas e testes, a robótica já tem seu espaço no campo, os robôs aéreos e terrestres, já são aplicados em diversas atividades, como na pulverização e remoção de plantas daninhas, monitoramento da área e irrigação a longas distâncias (EMBRAPA, 2018).

Tem-se como exemplo de robôs na agricultura, a Iron Ox, que é a primeira fazenda coberta totalmente autônoma do mundo, situada na Califórnia, utiliza robótica e inteligência artificial para sua plena produção (IRONOX, 2021). A fazenda hidropônica conta com dois robôs para plantar, cuidar e colher todos os seus produtos, a Figura 05, mostra um de seus robôs em ação, ele se desloca autonomamente pelas estufas cultivando as plantas em suas diversas etapas, nas áreas de plantas novas, luz solar, nutrição, água ou colheita.

Figura 05 - Agricultura industrial futurista



Fonte: (IRONOX, 2021)

O desenvolvimento e expansão da agricultura 4.0 traz inúmeros benefícios à sociedade, como eficiência no campo, sustentabilidade, oportunidades para geração de novos empregos, incentivo para jovens empresários, por se tratar de uma área muito tecnológica, podendo diminuir o êxodo rural que vem se intensificando e assim contribuindo para a economia local e global (VALLE;KIENZLE, 2020).

1.1OBJETIVO GERAL

Construir o protótipo de um robô cartesiano com mobilidade xyz, que colete dados do solo e faça a irrigação das plantas quando necessário, através de um aplicativo automático ou teleoperado, controlado pela plataforma embarcada Arduino.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos, pressupostos para a obtenção do objetivo geral, são destacados nos tópicos a seguir:

- Aprimorar e integrar os conhecimentos de dispositivos elétricos e mecânicos à agricultura.
- Incentivar pesquisas nesta temática em ambiente científico e contribuir para o desenvolvimento de outras pesquisas na área.
- Desenvolver uma plataforma robótica de baixo custo.
- Aproximar os estudantes da disciplina de robótica de conceitos da agricultura e mecânica.
- Criar ferramentas capazes de auxiliar o professor de forma didática na sala de aula.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A pesquisa foi dividida em 6 capítulos, detalhados a seguir.

O capítulo 1 contextualiza o tema e garante o entendimento geral do assunto abordado, em seu conteúdo está:

- Introdução
- Objetivos

O capítulo 2 apresenta:

- Contextualização da Robótica;
- Tipos de robô;
- Modelo de robô inspiração da pesquisa;
- Aplicação da robótica na Agricultura;
- Definições inerentes ao tema;
- Tecnologias existentes;
- Exemplos aplicáveis no campo, como a irrigação.

O capítulo 3 conta com:

- Descrição de cada componente utilizado para a construção do robô;
- Descrição da plataforma utilizada para desenvolvimento do software e aplicativo;
- Orçamento.

O capítulo 4 apresenta os resultados e discussões, com os seguintes conteúdos:

- Cálculos e configurações dos eletrônicos
- Testes de funcionamento dos hardwares.
- Processo de construção do protótipo, passo a passo de todas as etapas.
- Desenvolvimento do Software
- Desenvolvimento de Aplicativo

O capítulo 5 expõe as considerações finais e o capítulo 6 trabalhos futuros.

2 ROBÓTICA

Inicialmente é importante definir o que é um robô, o RIA, Robot Institute of America, o define da seguinte forma (FORNI, 2017).

“Um manipulador multifuncional reprogramável, projetado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especializados através de vários movimentos programados para o desempenho de uma variedade de tarefas.”

Dependendo da aplicação de um robô, ele deve possuir um conjunto de capacidades específicas, como: capacidade de se mover, de reconhecer o ambiente, de manipular objetos, de interagir com o meio, de se comunicar, transmitir dados máquina máquina, raciocinar, realizar atividades gerenciadas remotamente, de forma semi autônoma ou autônoma e capacidade de adequar o comportamento em razão ao ambiente que esteja inserido (FORNI, 2017).

O pleno funcionamento de um robô é resultado da compatível união do hardware e software, seus componentes são basicamente (MATARIC, 2014):

- ❑ Corporalidade

O termo se refere ao corpo físico do robô, sua estrutura, de ter a consciência de si e dos outros corpos ao seu redor. Seu corpo determina suas limitações e funcionalidades, como irá interagir com o meio, se movimentar e sua velocidade.

- ❑ Sensoriamento

O termo se refere a capacidade do robô coletar informações do meio em que está inserido e de si próprio, para as máquinas os sensores são como os olhos, ouvidos e nariz para os humanos. Estes sensores são definidos pelo projetista, observando a funcionalidade dos dispositivos para que o robô consiga efetuar as atividades idealizadas.

- ❑ Ação

Se refere aos efetadores e atuadores, a parte do robô que realiza ações, efetua atividades, como de locomoção e manipulação de objetos.

- ❑ Controladores

Os controladores são comparados ao cérebro humano, eles que fornecem ao robô um certo grau de autonomia, é por ele que o robô consegue analisar os dados coletados a partir dos sensores e assim decidir quais atividades realizar.

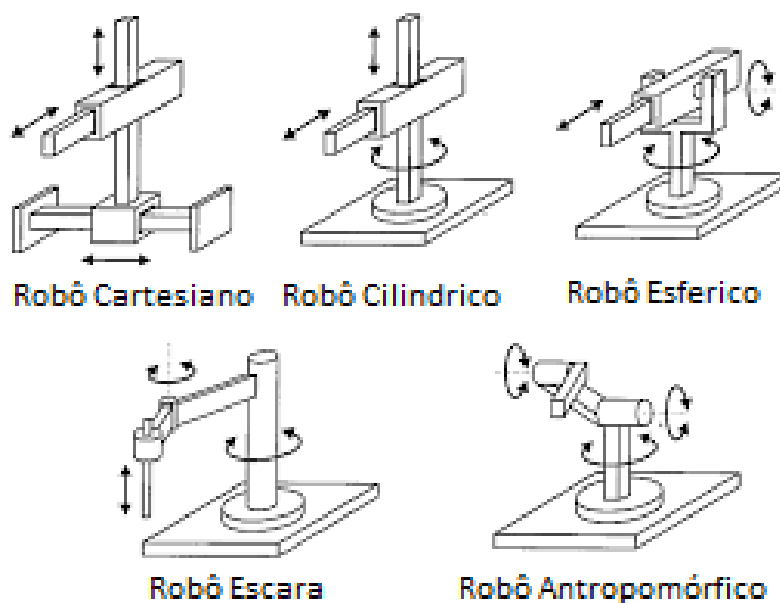
❑ Juntas e Elos

As juntas, ou articulações e os elos permitem a movimentação de um robô em várias posições. As juntas podem ser classificadas em três grupos, as prismáticas, as rotacionais e as esféricas. As juntas prismáticas (P) produzem movimento linear, as juntas rotacionais (R), movimentos rotacionais e as juntas esféricas (S), produzem um movimento misto, uma combinação de movimentos lineares e rotacionais.

Existem diversos grupos de robôs e eles podem ser classificados quanto mobilidade da base, se são móveis ou fixos, quanto a estrutura cinemática, se são seriais ou paralelos, quanto aos seus graus de liberdade, ao seu tipo de acionamento, podendo ser elétrico, pneumático e hidráulico e ao seu espaço de trabalho (MATARIC, 2014).

Entre os robôs mais comuns na indústria, estão os seguintes:

Figura 06 – Robôs Industriais



Fonte: (BARRIENTOS et al, 1997).

❑ Cartesiana

Possui três juntas prismáticas (PPP), resultando em um movimento composto por três translações, cujos eixos de movimento são coincidentes com um sistema de coordenadas de referência cartesiano.

❑ Cilíndrica

Possui duas juntas prismáticas e uma de revolução (PPR), compondo movimentos de duas translações e uma rotação.

❑ Esférica

Eixos de movimento formam um sistema de coordenadas de referência polar, através de uma junta prismática e duas de rotação (PRR), compondo movimentos de uma translação e duas rotações.

❑ Articulado horizontal ou Scara

Possui duas juntas de rotação dispostas em paralelo e uma junta prismática, perpendicular a este plano (PRR), apresentando portanto uma translação e duas rotações.

❑ Articulado Vertical ou Antropomórfico (RRR)

O robô que possui maior mobilidade, é de sua característica no mínimo três juntas de rotação (RRR). O eixo de movimento da junta de rotação da base é ortogonal às outras duas juntas de rotação, que são simétricas entre si.

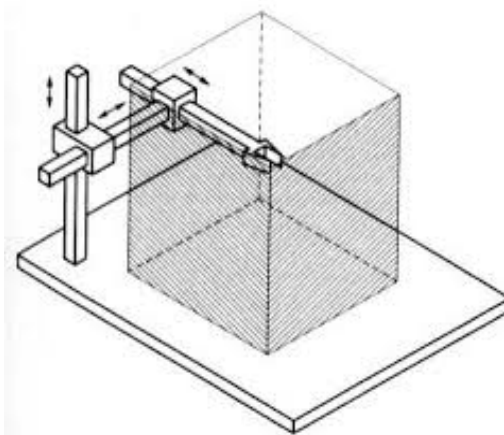
Dentre estes, os que mais se destacam nas aplicações industriais são os robôs do tipo Cartesiano, Scara, Delta e de 6 eixos (SILVEIRA, 2019).

Na agricultura os robôs atuam em diversas atividades, os chamados Robôs Agrícolas ou Agrobots. Considerando a ampla gama de recursos dos Agrobots, atualmente, existem duas tendências principais em termos de automação de operações de campo agrícola: Criação do zero de novos equipamentos para realizar diferentes operações agrícolas especializadas ou a conversão de equipamento agrícola padrão em equipamento autônomo, por meio do uso de sensores e automatismos projetados para substituir a intervenção física do agricultor (VALLE;KIENZLE, 2020).

2.2 ROBÔ CARTESIANO E APLICAÇÃO

O Robô de coordenadas cartesianas, visto na Figura 07, é aquele cujas três primeiras articulações são prismáticas, que desempenham movimentos lineares, totalmente independentes e deslizantes, formando um ângulo reto em relação a cada eixo, com movimentos de cima para baixo, de dentro para fora e da direita para esquerda. Esses eixos coincidem com os eixos cartesianos XYZ (SPONG; HUTCHINSON; VIDYASAGAR, 2006).

Figura 07 – Modelo de Robô Cartesiano.



Fonte: (SPONG; HUTCHINSON; VIDYASAGAR, 2006).

O robô cartesiano pode ser instalado sob o chão, mesa ou fixado em uma estrutura acima a área de serviço, possui extrema precisão pelos atuadores lineares em seus eixos, o modelo pode ser integrado a diversos mecanismos de acionamento, como correia, esfera ou parafuso de avanço. Esta classificação de robô possui grande robustez e velocidade na execução das atividades e pode operar em conjunto com o ser humano sem oferecer riscos. (SPONG; HUTCHINSON; VIDYASAGAR, 2006).

A classificação dos robôs cartesianos constitui a formação de diversas máquinas, como as impressoras 3D e as CNC. Na indústria existem diversas aplicações para este modelo de robô. Uma variante deste robô é a configuração tipo pórtico (gantry), Figura 08, ele está suspenso do solo, otimizando o espaço, nesta imagem, observa-se um robô que é projetado para controlar simultaneamente pneus com diferentes tamanhos.

Figura 08 – Modelo de Robô Gantry.



Fonte: (CASSIOLI, 2021).

O modelo de inspiração a este projeto é um robô de coordenadas cartesianas produzido por uma empresa americana chamada FarmBot, o Express v1.0, visto na Figura 09, lançado em 2014, uma máquina CNC para agricultura de precisão que possui código aberto.

Figura 09 – Robô Cartesiano da FarmBot



Fonte: (FARMBOT, 2021).

O Express v1.0 reproduz todas as atividades de plantio no campo, como a escolha do local para crescimento da planta, depósito de sementes no solo, irrigação e controle de plantas daninhas, possui uma interface semelhante a um jogo e seu software dá ao usuário pleno controle do sistema e a autonomia do mesmo, além de uma câmera que monitora as condições da área de plantio (FARMBOT, 2021).

O hardware é todo de alumínio inoxidável, que garante resistência às intempéries da natureza, sua parte eletrônica conta com motores de passo, sensor de umidade, válvula solenóide, bomba de vácuo, drives de passo, o minicomputador Raspberry Pi, a plataforma arduino e outros dispositivos, além de diversos efetadores para execução das atividades programadas. O sistema em si já possui outras versões e está presente em 75 países, nas mais diversas aplicabilidades, seja para educação em instituições de ensino, uso profissional para produção de alimentos de forma automatizada ou para uso pessoal (FARMBOT, 2021).

O sistema de referência é visto como um jardim tecnológico e virtual, o fazendeiro monitora os aspectos de uma plantação por aplicativo, como condições de umidade, este que simula um videogame. O FarmBot surge como uma forma de cultivar vegetais em casas que não teriam estrutura para tal, a partir de tecnologias que controlam os processos de cultivo.

2.2 AGRICULTURA

O crescimento populacional, a agricultura e a domesticação de animais caminharam juntos desde os tempos antigos, o que propiciou a fixação do homem na terra. A agricultura, por sua vez, garantiu segurança alimentar a um maior número de pessoas e a domesticação de animais, um auxílio para o homem nos trabalhos do campo (CARPANEZZI et al., 2021; OLIVEIRA, 2017).

Com a expansão populacional, o homem viu a necessidade de trocar as ferramentas rudimentares que eram utilizadas na produção agrícola por máquinas que aumentariam a produtividade e alimentariam mais pessoas. Assim, começou a revolução agrícola, com ferramentas simples, como as semeadoras, segadeiras e ceifadeiras, comandadas por mãos humanas ou por tração animal, que pode ser chamada como agricultura 1.0. Com a industrialização logo surgiram novos maquinários, os primeiros tratores, que eram similares as máquinas a vapor e as colheitadeiras, utilizadas em lavouras de grãos, de cana de açúcar e de algodão (CARPANEZZI et al., 2016).

Entre os anos 60 e 70, no Brasil, houve uma grande industrialização (NETO, 1985). Nesta mesma época, a produção alimentar passava problemas em todo o país, com cidades em crescimento, aumento da população e maior poder aquisitivo, a sociedade teve que buscar meios alternativos de produzir, fazendo surgir investimentos públicos em pesquisa e desenvolvimento de extensão rural e crédito fácil para modernização desse setor (EMBRAPA, 2018).

Neste período iniciou a agricultura 2.0, com a mecanização e utilização de motor à combustão, no Brasil ocorreram as primeiras importações de máquinas agrícolas, como tratores e posteriormente o início da fabricação local, impulsionando a economia agrícola do país, gerando alimentos, renda e empregos (NETO, 1985).

No final da década de 90 e início dos anos 2000, ocorreu um salto tecnológico, a automação protagonizou grandes transformações na indústria e também no campo. As máquinas agrícolas, como vista na Figura 10, receberam diversas ferramentas, como monitores de telas gráficas, sistemas de GPS e mapas georreferenciados, que auxiliaram na produtividade, protagonizando a agricultura 3.0. Entre 1975 e 2017, a produção de grãos, que era de 38 milhões de toneladas, cresceu mais de seis vezes, atingindo 236 milhões, enquanto a área plantada apenas dobrou. (SOUSA; LOPES; INAMASU, 2014).

Figura 10 –Agricultura 3.0



Fonte: (ZAPAROLLI, 2020)

O destaque da agricultura no Brasil ocorre por diversos fatores, primeiro pela grande extensão territorial do país, junto a disponibilidade de áreas agricultáveis, água, calor e luz, e segundo aos investimentos em pesquisas agrícolas, políticas públicas favoráveis e apoio dos agricultores (EMBRAPA, 2018).

Apesar do Brasil se destacar por ter uma geografia propícia a produção agrícola, há diversas intempéries que dificultam alcançar nos cultivos a produção esperada. Desta forma, pode-se pontuar que tanto fatores previsíveis ou imprevisíveis, podem afetar drasticamente a produção final. Os fatores imprevisíveis, são aqueles que não se podem conter ou esperar, por exemplo, alterações climáticas ou, fatores previsíveis, aqueles considerados pertencentes a cultura, como época de plantio, preparo e análise do solo, densidade de plantas, ocorrência de plantas daninhas/pragas e o tipo de irrigação (EMBRAPA, 2018).

Todos os dois fatores mostram como a agricultura é uma atividade instável e de risco, mas que estes podem ser analisados e seus pontos negativos mitigados através de técnicas de agricultura mais adequadas para cada situação (ZAMBON et al., 2019).

A agricultura de precisão e a agricultura digital vem com o intuito de auxiliar o produtor nestas questões e a dar a ele maior controle e autonomia de suas plantações. Esses novos conceitos de agricultura surgiram com a revolução 4.0, representando uma grande oportunidade para considerar a variabilidade e as incertezas que envolvem a cadeia produtiva agroalimentar (ZAMBON et al., 2019).

Nas últimas décadas os setores agrícolas dos países desenvolvidos obtiveram altos índices de produção pelo seu desenvolvimento tecnológico, assim como os países em desenvolvimento, que se aproximaram da produtividade destes grandes polos industriais, com tendência de contínuo crescimento (OLIVEIRA, 2017).

2.2.1 AGRICULTURA 4.0

A evolução da Agricultura 4.0 ocorre em paralelo com a quarta revolução industrial, também conhecida como indústria 4.0, que visa a manufatura futura e representa um novo pilar no controle e organização das atividades fabris de grande valor. Essa revolução 4.0 na agricultura significa a interação interna e externa combinada das operações agrícolas, disponibilizando informações digitais em todas as fases dos processos agrícolas (ZAMBON et al., 2019). A partir desta análise vamos primeiro explorar do que se trata a revolução 4.0 e sua influência na agricultura e indústria.

A indústria 4.0 iniciou na Alemanha com o intuito de aumentar a competitividade da sua indústria manufatureira, esse novo conceito combinou inovações já existentes com uma visão tecnológica do futuro e modificou rapidamente a estrutura do mercado de trabalho e as especialidades de seus profissionais. Essa indústria está intimamente ligada à inteligência de máquina, interligando tecnologia de informações com comunicação para melhoria dos processos industriais (I-SCOOP, 2021).

A nova indústria de ser caracterizada em 5 pontos:

- 1) Automatização a um novo nível
- 2) interligação do mundo físico com o digital
- 3) Indústria fragmentada em etapas por produtos inteligentes
- 4) sistemas de controle com realimentação
- 5) customização de produtos

A indústria 4.0 alterou o modo como as empresas produzem e aperfeiçoou a forma de distribuição de seus produtos, Figura 11, com a introdução de sistemas de aprendizagem de máquina, automação, IA, TI, computação em nuvem, digitalização dos processos industriais, uso da eletrônica, de sensores avançados e softwares embarcados (ROBLEK; MEŠKO; KRAPEŽ, 2016).

Figura 11 – Indústria 4.0



Fonte: (I-SCOOP, 2021).

Esse arsenal de ferramentas trazem melhorias na produção, eficiência e respostas em tempo real dos processos, dão indícios para manutenções preditivas, abrem portas para a auto-otimização de melhorias de processo e, acima de tudo, um novo nível de eficiência e capacidade de resposta aos clientes que antes não era possível de serem coletadas (IBM, 2020). Todas essas tecnologias foram aplicadas também no campo, levando ao surgimento de ferramentas que auxiliam o produtor rural, uma delas é a AP.

A Agricultura de precisão (AP), pode ser definida como (EMBRAPA, 2018):

“Uma estratégia de gestão que utiliza as tecnologias da informação para trazer os dados de múltiplas fontes e apoiar as decisões relacionadas com a produção vegetal.”

De uma forma mais simplista, a AP busca a produtividade no campo considerando a diversidade que há nele, ela une práticas agrícolas com ferramentas de tecnologia, como a automação. Suas etapas consistem em coletar, analisar e interpretar dados, criar soluções, aplicá-las e depois ver o resultado de todo o processo (BASSOI et al., 2019; EMBRAPA, 2018).

Nas fazendas a agricultura de precisão já tem seu lugar, a prática conseguiu ressignificar o modo de produzir alimentos, objetivando a sustentabilidade do agronegócio,

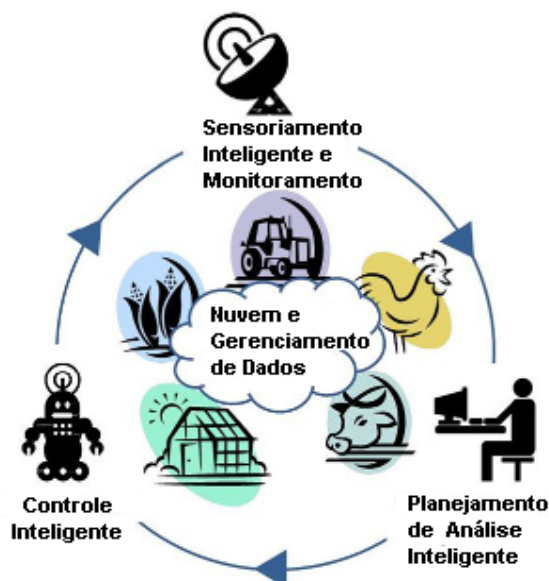
por meio da eletrônica embarcada e sistemas computacionais complexos. As informações geradas pelos sistemas eletrônicos implementados nas máquinas dão ao produtor a capacidade de gerenciar de forma mais eficiente os processos agrícolas (FILHO; CUNHA, 2015).

Pode ser considerada ferramenta de AP qualquer equipamento que cumpra estas especificações e auxilie na gestão da lavoura, como sensores, drones, ferramentas de análise, entre outros (EMBRAPA, 2018).

A Agricultura 4.0 também chamada de Agricultura Digital (AD), inteligente, ou como muitos estudiosos falam dos sistemas de fazendas conectadas/ Smart Farming, esse novo conceito agrícola é baseado no conteúdo digital, em gerar inovações, que englobam a agricultura de precisão, IoT, robótica, sensoriamento remoto, big data e biotecnologia, com o intuito de obter uma maior eficiência na produção, otimização da qualidade, menor impacto ambiental e menor risco a integridade física humana durante todo o ciclo produtivo (VALLE; KIENZLE, 2020).

O conceito das fazendas conectadas é ilustrado na Figura 12. Observa-se que o homem tem o papel de programar, analisar e planejar as atividades/ processos que são necessários a se realizar, há dispositivos inteligente, como o robô, recebendo instruções do que fazer e sensores que captam dados a todo instante que são repassados ao coordenador de todas as atividades, pode-se observar que todo o processo está conectado a internet, com seus dados e informações salvos na nuvem para que se possa gerenciar e analisar de forma correta e instantânea cada umas das informações coletadas do meio (WOLFERT; GE; BOGAARDT, 2017).

Figura 12 – Agricultura Inteligente



Fonte: (WOLFERT; GE; BOGAARDT, 2017)

O sistema que a imagem mostra é o cyber físico, onde produtos e meios de produção podem se comunicar pois estão na mesma rede, esse sistema permite a criação de novas formas de se produzir e de otimização em tempo real (I-SCOOP, 2020).

Umas das principais tecnologias que tornou possível este avanço é o IoT (Internet of Things) ou no português, a Internet das Coisas. O conceito do IoT é relativamente antigo, surgido em 1999, e simples, a conexão entre objetos e computadores pela internet. Ashton imaginou uma realidade onde objetos do cotidiano que utilizassem uma identificação RFID (Tecnologia de Identificação por Radiofrequência), fossem conectados à internet sem fio e controlados por computadores, tal conceito, hoje, se aplica a todos os setores da indústria, inclusive na agricultura, com foco principal na redução de custos em qualquer etapa do processo de produção alimentar (LENNIY, 2021).

A Internet das Coisas é a peça fundamental tanto das fazendas conectadas quanto das fábricas inteligentes. Máquinas no chão de fábrica, máquinas do campo, como colheitadeiras e tratores, ou novos sistemas de irrigação, adubação e fertilização são equipadas com sensores que possuem uma identificação, um IP, permitindo tanto comunicação máquina máquina como máquina homem por dispositivos que se conectam a internet. Essa interação entre diversos dispositivos geram um enorme e valiosa quantidade de dados, informações que são analisadas de diversas formas (IBM, 2020).

As empresas que optam pela utilização das tecnologias do Iot integrando dispositivos inteligentes, seja através dos sistemas de RFID, redes de sensores sem fio, nuvem computação ou aplicativos, agregam a si a boa gestão dos seus conhecimentos, operando com sistemas de inteligência artificial que coletam dados e fornecem informações para diversas áreas, como manutenção preditiva e otimizações de produção (ROBLEK; MEŠKO; KRAPEŽ, 2016).

A Big Data por sua vez, é uma ferramenta de processamento de dados extremamente potente, com ela é possível analisar grandes e complexas quantidades de dados e aplicar em diversos ramos da agricultura. A big data é utilizada tanto na AP quanto na AD, sistemas como GPS, GIS e VRT obtêm dados de diversas natureza em tempo real, como do ar, clima, solo, crescimento da safra, custo de mão de obra e até mesmo de equipamentos. Com a coleta destes dados e seu gerenciamento de forma correta, podem ser analisadas diversas soluções objetivando maior produtividade com o menor custo e uso de recursos, bem como oferecer aos produtores um direcionamento para as tomadas de decisões de seus cultivos (SANDEEPANIE, 2020).

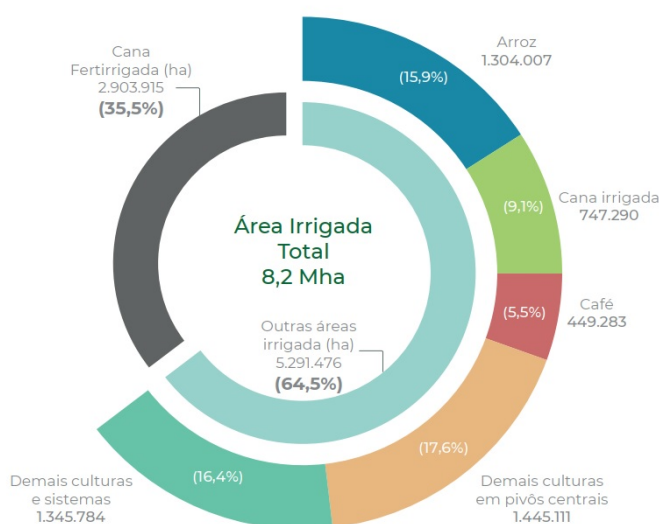
Essa gama de novas ferramentas tecnológicas, que surgiram a menos de 10 anos, desempenharam e desempenham um papel importante no crescimento da indústria agrícola, a

transformação é clara e contínua, iniciada com a revolução 4.0 e já transitando para a 5.0, mostra sua permanência no mundo futuro e garante a quem as implementa evolução e crescimento em todos os processos de sua cadeia produtiva, através do Iot e da computação cognitiva (ZAMBON et al., 2019).

2.3 IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA

De acordo com a ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021), o Brasil possui 8,2 milhões de hectares de área total irrigada, distribuídas em diferentes tipos de plantações, ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Área equipada para a irrigação no Brasil - 2019

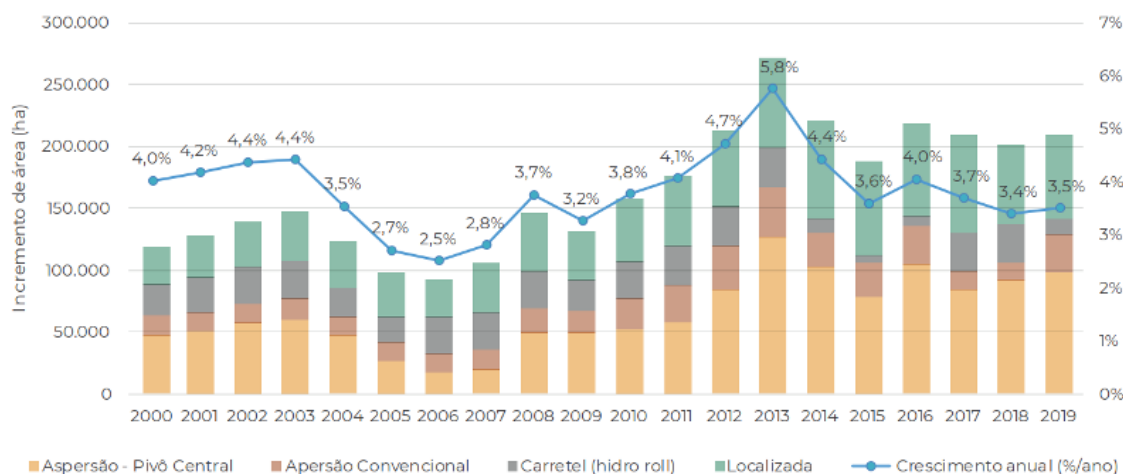


Fonte: (ANA, 2021)

A irrigação fornece a água de forma artificial para suprir o que não é fornecido pelas fontes naturais, visando o pleno desenvolvimento das culturas. Cada cultura necessita de uma quantidade de água durante seu desenvolvimento e de acordo com o clima local. Esses parâmetros, em conjunto com a eficiência do método/sistema, são utilizados para estimar o quanto de água é necessário captar em mananciais superficiais ou subterrâneos (ANA, 2021).

No Brasil, pode-se notar recordes de crescimentos contínuos nos últimos anos, Figura 14, vê-se um crescimento de 66% de área irrigada mecanizada, a produção saltou de 130 mil para 216 mil hectares em 19 anos (ANA, 2021).

Figura 14 – Irrigação Mecanizada - Incremento Anual - Brasil



Fonte: (ANA, 2021)

Nas plantações em diversas épocas do ano, a irrigação manual ou mecanizada é essencial para os cultivos e para o sucesso da safra, entretanto, os sistemas de irrigação comuns não são eficientes, cerca de metade da água que seria destinada à planta toma outros fins, seja por escoamento, levada pelo vento ou evapora pela incidência de raios solares (LENNIY, 2021).

Logo, a irrigação inadequada resulta em prejuízos, tanto a aplicação de pouca água ou muita água faz com que a produção não alcance o seu nível desejado. As principais perdas diretas ao agricultor são pelo desperdício de fertilizantes, que serão levados pela água em excesso; o aumento do custo da produção, visto que será preciso um maior consumo de energia para bombeamento da água; as doenças provocadas por fungos e falta de aeração nas raízes (resultado do acúmulo de água), fato esse que inibe o desenvolvimento da planta; perdas indiretas para a sociedade, pois muitas vezes a perda de fertilizantes por lixiviação resulta no carreamento dos fertilizantes para o lençol freático, podendo causar contaminação de fontes de água naturais; entre muitas outras perdas (GUIMARÃES, 2011).

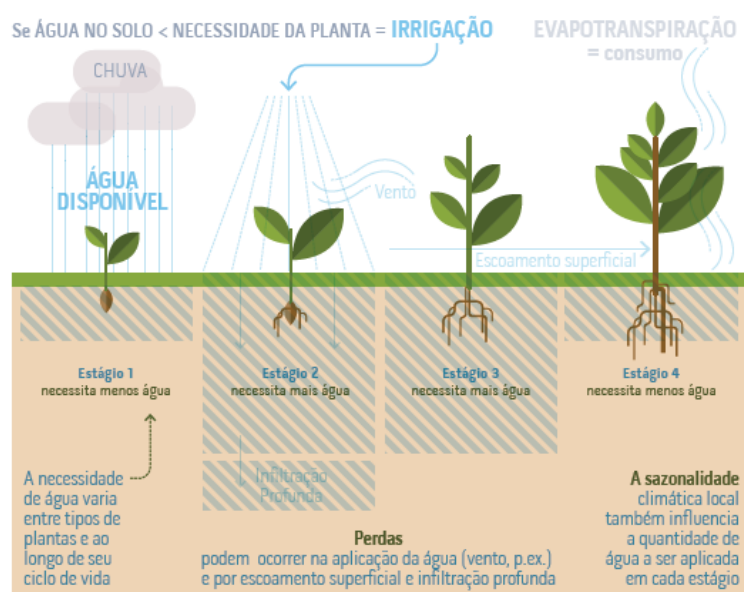
Já a irrigação de forma assertiva, é uma manobra importantíssima para a manutenção das plantas no solo, principalmente nas épocas de seca, em que há uma redução significativa na produtividade e aumento do desgaste do solo (SANTORO, 2020). Segundo pesquisadores da Embrapa (2018), além das épocas de seca, outro fator que causa grande preocupação aos produtores rurais são as variações climáticas, difíceis de se prever e que fragilizam as plantações, tornando a agricultura uma atividade arriscada, por não se ter controle sobre os

elementos que a envolvem. O lado positivo é que, por mais que as culturas sejam vulneráveis à variabilidade, o indivíduo, a espécie em questão possui uma uniformidade genética, causando pouca variabilidade espacial, garantindo um padrão no tratamento da plantação analisada (EMBRAPA, 2018).

É notória a evolução da agricultura ao longo dos tempos, entretanto observa-se grande disparidade entre as propriedades rurais, enquanto uma menor parcela trabalha com tecnologias de última geração, todo o resto ainda caminha com práticas rudimentares e /ou com uma pequena mecanização. Observa-se em grandes extensões de terras solos degradadas, pobres em nutrientes, ineficiência na irrigação, uso inadequado de produtos químicos, resultando em plantações que não produzem o esperado ou o que poderia produzir com o uso de técnicas mais modernas, seja por falta de conhecimento ou por falta de investimentos (EMBRAPA, 2018).

O meio rural consome em torno de 80% da água do Brasil, dos quais 67,2% são destinados à irrigação, a Figura 15, mostra de forma ilustrativa a variação da necessidade de água por uma planta durante cada etapa de seu desenvolvimento. Estima-se ainda que por causa de sistemas inadequados de irrigação, pelo menos 40% desta água não é absorvida pelas plantas, dados estes mostram o quanto é necessário ferramentas que auxiliem o produtor rural a solucionar problemas como estes e garantir eficiência e assertividade nas atividades realizadas no campo (EMBRAPA, 2018).

Figura 15 – Necessidade de água da Planta.



Fonte: (SANTORO, 2020)

A imagem mostra o quão variável é a necessidade de água que uma planta necessita durante toda a sua fase de desenvolvimento. Como respostas a essas dificuldades, sistemas automáticos de controle de irrigação, que captam dados do meio por meio de sensores, se tornaram uma ferramenta essencial, proporcionando grande assertividade na distribuição de água nas plantações, garantindo a planta a disponibilidade de água necessária para seu desenvolvimento e contribuindo para o uso eficiente dos recursos hídricos (GUIMARÃES, 2011).

Silva et al (2009) ainda conclui que a AP relacionada com a irrigação tem desempenhado um papel de alta relevância para tornar o produtor rural gestor do seu próprio sistema, trazendo diversos benefícios como: Gestão territorial e uso eficiente da terra, ampliação do poder de informações, aumento de produtividade, monitoramento do desperdício da produção, maior integração cidade campo, redução de custos e aumento da qualidade do trabalho, entre diversos outros pontos positivos.

Uma das soluções analisadas para o aumento da produção alimentar de forma segura e eficiente é o investimento nas tecnologias de automação na agricultura, em primeiro para um maior controle de toda a produção e também pela análise social do mundo em desenvolvimento, onde se observa um eminente êxodo rural, tornando escassa a mão de obra humana nas lavouras. Como a robótica e automação já desempenham um papel expressivo na agricultura, os investimentos nesse segmento se tornam importantíssimos (HACKENHAAR; HACKENHAAR; ABREU, 2015).

Robotizar os processos agrícolas dá ao produtor um maior domínio de todas as variáveis que interferem em sua produção, gera análises mais assertivas, contribui na produtividade e qualidade dos produtos com eficiência e com um menor impacto ambiental (HACKENHAAR; HACKENHAAR; ABREU, 2015). Há vantagens como: redução na compactação do solo, maior uniformidade no tratamento do cultivo e ausência de um operador na implementação de robôs móveis.

Dentre as diversas ferramentas da agricultura 4.0, é predominante nas áreas rurais se optar inicialmente pela irrigação automatizada, com a utilização de sensores que controlam variáveis como tempo, volume de água, fatores climáticos, índices pluviométricos entre outros (LENNIY, 2021). Há diversas formas de irrigar uma plantação, e em cada tipo de cultivo há uma indicação, na presente pesquisa trataremos da irrigação localizada.

A irrigação localizada, transporta a água da fonte até a área a ser irrigada por meio de tubulação, a aplicação da água é direcionada a zona radicular da planta, em baixo volume e com alta frequência, de modo a manter o solo úmido, deixando a área molhada pouco exposta a atmosfera, reduzindo assim a perda de água por evaporação (LUCIETTI 2014). As vantagens deste sistema em relação a outros são entre outros: Menor chance de causar escoamento superficial e erosão do solo; aplicação de água com alta uniformidade e eficiência e apresenta possibilidade de automação (TESTEZLAF; 2017).

A inserção de sistemas automáticos de irrigação no campo gera grandes benefícios, alguns deles são (LENNIY, 2021):

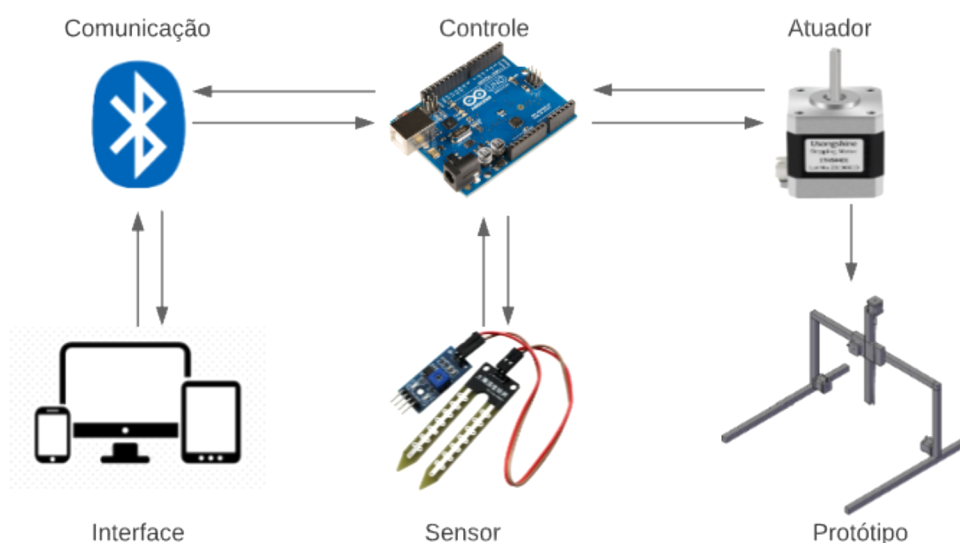
1. Monitoramento assertivo da umidade do solo
2. Economia de água (bem finito)
3. Economia de custo (referente a mão de Obra)
4. Visão unificada de solo, água e nutrientes
5. Anormalidades identificadas com rapidez por Iot
6. Recuperação do solo a longo prazo

Além dos benefícios expostos anteriormente, existem vários outros e todos com uma única finalidade, auxiliar o produtor rural nas suas tomadas de decisões, lhe mostrando a realidade do efeito da irrigação em seus cultivos.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

O sistema desenvolvido segue o fluxograma da Figura 16, nele observa-se a interação dos diversos dispositivos que o compõem.

Figura 16 – Fluxograma de funcionamento



Fonte: (autor, 2021)

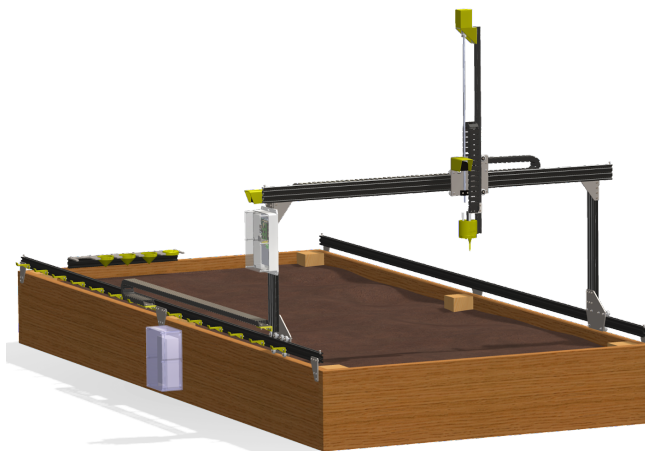
Tem-se por finalidade a movimentação do protótipo através dos atuadores (motores), estes que são gerenciados por meio de uma interface gráfica, respondendo comandos do controlador Arduino, controles esses que são respostas dos dados coletados através do sensor de umidade do solo.

Para o desenvolvimento de um projeto, em especial a construção de um protótipo aplicado a agricultura é necessário analisar diversos fatores, como complexidade e desempenho das atividades propostas, custos, dimensões do protótipo, alimentação elétrica e segurança, além de uma análise sobre a importância do tema para a sociedade, bem como a sua aplicabilidade no campo (HACKENHAAR et al., 2015).

Como vimos, o robô cartesiano já é difundido nas aplicações industriais, muito pela sua baixa complexidade de movimentos, fácil manutenção e boa adaptabilidade a diferentes atividades, mostrando ser uma boa aposta para os trabalhos no campo, visto que seus movimentos em XYZ, podem auxiliar positivamente em quase todas as atividades a serem exercidas numa plantação.

A versão do protótipo que criou-se é em torno de 5 vezes menor que o modelo de inspiração da marca Canadense FarmBot, como visto na Figura 17.

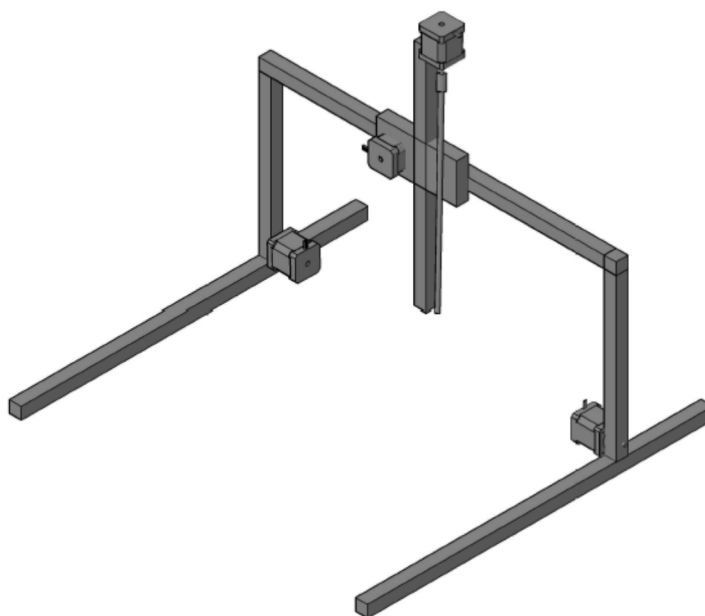
Figura 17 – Modelo FarmBot



Fonte: (FARMBOT, 2021)

Com base no sistema robótico de inspiração, foi desenvolvido um novo modelo de robô cartesiano xyz, a atual proposta foi projetado no software da Autodesk, o AutoCad 3D, projeto que é visto na Figura 18, pela imagem pode-se perceber a similaridade entre os dois sistemas.

Figura 18 – Projeto do Robô Cartesiano



Fonte: (autor, 2021)

O sistema projetado consiste em um robô de coordenadas cartesianas, que se movimenta em alusão aos planos cartesianos X,Y,Z a partir de motores acoplados a cada eixo. Para tornar real este projeto optou-se pela utilização de materiais de longa duração, tornando a estrutura física do mesmo robusta para o garantir ampla aplicabilidade.

O robô cartesiano é composto de diversas peças, em suma, ilustradas e legendadas na Figura 19, há ainda algumas que foram desenvolvidas ao longo do projeto, estas serão identificadas ao longo do texto.

Figura 19 – Componentes Gerais



Fonte: (autor, 2021)

O protótipo foi construído com as peças mostradas e controlado pela plataforma arduino juntamente de um aplicativo de smartphone. De forma simplista, o aplicativo envia uma mensagem por bluetooth para o microcontrolador indicando quais ações o usuário quer que o robô desenvolva, assim o robô percorre por todas as plantas e verifica a umidade do solo de cada uma delas e efetua ou não a irrigação. Os componentes expostos são os responsáveis, cada um com sua função, para que este funcionamento do robô ocorra da forma prevista, para isso é necessário entender e ler os manuais ou datasheets de cada um deles e analisar a melhor forma de calibragem dos mesmos.

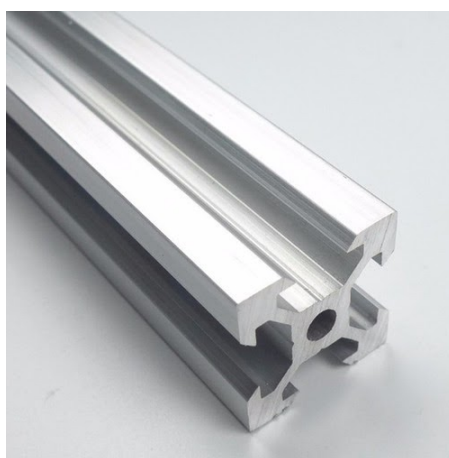
Nas seções subsequentes estará sendo detalhado cada componente utilizado, far-se-á uma breve introdução sobre a teoria acerca dele, como também seus modos de uso e principais aplicações, em muitos será mencionado seus datasheets e configurações padrões, alguns cálculos também serão expostos.

3.1 ESTRUTURA MECÂNICA

3.1.1 PERFIL DE ALUMÍNIO

A parte estrutural do protótipo é desenvolvida por perfis de alumínio estrutural V-slot C Tipo Openbuilds em dimensão 20x20, Figura 20.

Figura 20 – Perfil V-slot OpenBuilds 20x20



Fonte: (autor, 2021).

Estes perfis de alumínio garantem precisão e resistência, por causa de sua anatomia, são ideal para montagem de estruturas de pequeno, médio e grande porte, além de proporcionar facilidade de uso, seu peso é leve e seu design, com os vincos longitudinais, garantem o encaixe de peças, favorecendo diversos tipos de montagens.

3.1.2 POLIAS E CORREIAS

Um dos meios mais antigos de transmissão de movimento é obtido através do acoplamento de polias e correias, observada na Figura 21.

Figura 21– Polias e Correias



Fonte: (Autor, 2021).

As polias são peças cilíndricas, movimentadas pela rotação do eixo do motor e pelas correias. Uma polia é constituída de uma coroa ou face, na qual se enrola a correia. Há dois tipos de polias, a que transmite movimento e força, chamada polia motora e a que recebe movimento e força, chamada polia movida, e ambas fazem parte do sistema de movimentação do robô (POLIAS SCHNEIDER LTDA).

As correias são elementos de máquina que transmitem força e velocidade de uma polia motriz a uma polia movida, por isso é definida como um sistema de transmissão de potência. Elas são empregadas quando se pretende transmitir potência de um veio para o outro a uma distância em que o uso de engrenagens é inviável (CORREIAS SCHNEIDER LTDA).

Existem diversos tipos de correias, a que utiliza-se no projeto, são as correias sincronizadoras. Estas são correias dentadas onde os dentes da correia engrenam nos dentes da polias, sendo utilizadas em acionamento onde requer sincronismo de movimentos e força. As roldanas com rolamentos 625zz V-slot Openbuilds são rolamentos de alta qualidade e que apresentam excelentes rotações e mobilidades para as estruturas. Tornando o movimento mais uniforme.

3.1.3 FUSO TRAPEZOIDAL

O Fuso Trapezoidal, visto na Figura 22, é um sistema de movimentação, como as correias e polias, o conjunto é formado por uma barra roscada, uma castanha e dois mancais para fixação da peça na estrutura de sustentação.

Figura 22– Fuso Trapezoidal



Fonte: (Autor, 2021).

O fuso trapezoidal tem por finalidade transformar o movimento circular gerado pelo eixo de rotação dos motores de passo em movimento linear, cada passo da barra possui 30° de diferença, fazendo com que a castanha se desloque, para cima e para baixo. Este sistema garantirá a movimentação do eixo Z, o movimento ocorre efetivamente pela castanha simples que faz parte do conjunto, ela produz movimentos verticais e a gravidade evitará movimentações irregulares (trepidações) do fuso. Como observação, se optar por utilizar o fuso também nos eixos x ou y, deve usar no sistema uma castanha com anti-folga para melhorar sua atuação e garantir um movimento mais suave.

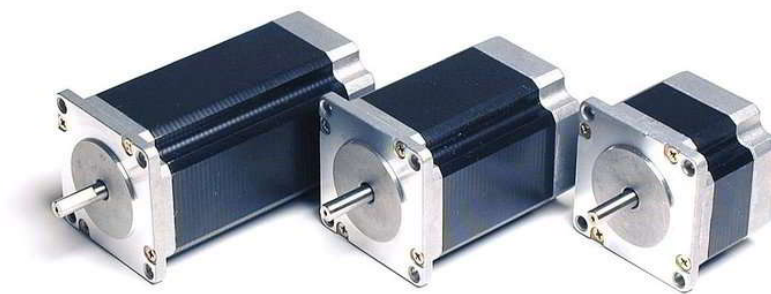
Essa ferramenta possui como vantagens, fácil montagem e manutenção, aplicação para sistemas de diferentes cargas, garantir o não travamento nas paradas e poder ser acionada por diversos dispositivos (Manual).

3.2 COMPONENTES DO HARDWARE

3.2.1 MOTOR DE PASSO

Os motores de passo, como visto na Figura 23, são componentes eletromecânicos que transformam energia elétrica em movimento rotativo por meio de ímãs e indutores em seu interior (FITZGERALD, 2016). A cada pulso o eixo gira um pouco (passo) e fica estável na posição escolhida.

Figura 23 – Motores de Passo



Fonte: (Autor, 2021).

Estes componentes são de grande utilidade dentro da engenharia elétrica, devido a sua grande variedade de aplicações e a precisão de seus movimentos. Dentre às suas características construtivas e modos de funcionamento, os motores de passo se apresentam como uma solução eficaz e de custo relativamente baixo para uma grande variedade de máquinas, processos e sistemas automatizados, uma vez que pode ser usado para produzir movimentos rotativos ou lineares, com velocidade e sentido facilmente modificáveis, de acordo com a necessidade dos projetos (FITZGERALD, 2016).

Os motores de passo bipolares são conhecidos por sua excelente relação tamanho/torque: eles proporcionam um maior torque, cerca de 40% a mais, comparativamente a um motor unipolar do mesmo tamanho. Isto se deve ao fato de que quando se energiza uma fase, se magnetiza ambos os pólos em que a fase (ou bobina) está instalada. Assim, o rotor sofre a ação de forças magnéticas em ambos os pólos, ao invés de apenas um, como acontece no motor unipolar (FITZGERALD, 2016).

Como características dos motores de passo temos:

- ☐ Ângulo de rotação proporcional ao número de pulsos aplicados.
- ☐ Velocidade de rotação proporcional à frequência dos pulsos.
- ☐ Sistema aberto sem necessidade de realimentação da posição do eixo.
- ☐ Excelente resposta à aceleração e desaceleração.
- ☐ Erros de posicionamento não cumulativos.
- ☐ Funcionamento excelente em baixa velocidade e elevado torque.
- ☐ Elevado torque de retenção quando energizado.
- ☐ Existência de torque apreciável mesmo quando não energizado.

- ☐ Funcionamento nos dois sentidos de rotação.
- ☐ Paradas prolongadas sem danos ao motor.
- ☐ Ausência de escovas para maior vida útil.

Os motores de passo têm precisão de parada notável e é possível fazer um controle preciso com circuito aberto. O tamanho do pulso irá influenciar diretamente na precisão do controle e no torque do motor. Pulsos maiores resultam em movimentos mais descontínuos e pulsos menores em movimentos suaves. Para aumentar a precisão do protótipo é possível realizar micro steppings com drivers específicos.

O termo micro stepping vem de micro-passo, que é obtido através da energização de duas fases com correntes iguais, que resulta num passo intermediário entre elas, ou na energização de duas fases com correntes diferentes, onde a posição do rotor é deslocada em direção ao pólo mais forte.

O protótipo conta com 4 motores de passo do tipo Nema 17, como o visto na Figura 24, um para cada eixo (X,Y,Z) mais uma para a duplicação do eixo X. O Nema é um motor ideal para aplicações que necessitem de alta precisão no posicionamento, como para projetos de CNC, impressora 3D e correlatos (ADAFRUIT,2020).

Figura 24 – Motor Nema 17



Fonte: (autor, 2021).

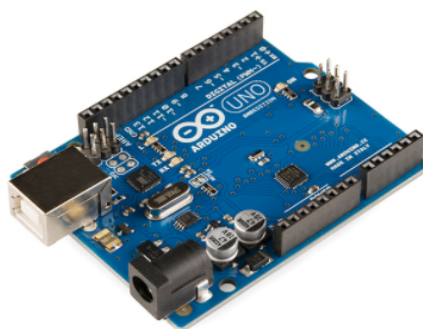
Este motor apresenta movimento suave, controle de velocidade em RPM, torque e uma maior força em baixa velocidade. Como características construtivas tem-se:

- Ângulo de Passo: 1,8°
- Corrente máxima de 1.6 A
- Torque de 0,5 Nm

3.2.3 PLATAFORMA ARDUINO

A plataforma Arduino, vista na Figura 25 pelo arduino uno, que permite a gravação de diversas instruções através da linguagem de programação, detém do ATmega328P, um microcontrolador de arquitetura avançada RISC AVR da Atmel, de alto desempenho, baixo consumo e otimizado para compiladores C (Datasheet Arduino uno).

Figura 25 – Arduino Uno



Fonte: (autor, 2021).

No total, existem 23 entradas / saídas programáveis, para uso geral (GPIO). Estes pinos também podem ser programados para funções alternativas, como comunicação serial, ADC, I2C, etc. Este microcontrolador usa uma arquitetura Harvard, usando memórias e barramentos separados para programas e dados, tem uma memória Flash com 32 Kbytes reprogramável no sistema ou circuito, para o armazenamento do programa, possui também um conversor analógico para digital entre diversas outras funcionalidades (Datasheet). O dispositivo pode ser conectado a LEDs, botões, interruptores, motores, sensores de temperatura, receptores GPS, módulos Ethernet e bluetooth ou a qualquer outro componente externo que emita dados ou possa ser controlado, sendo capaz de ser aplicado numa infinidade de projetos de automação (ARDUINO; 2021).

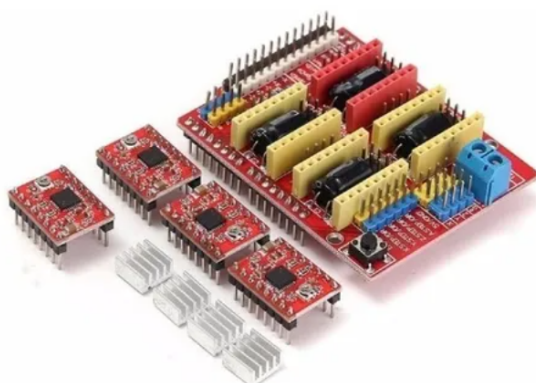
3.2.4 DRIVER E SHIELD A4988

Um dos grandes problemas do controle de pequenos motores é manter o torque em toda a faixa de rotações. A não linearidade do comportamento desses motores dificulta o uso de controles lineares e a solução mais usada consiste no emprego de um controle PWM, e os drivers desempenham esta função, eles convertem os sinais de pulso do controlador em movimento do motor para conseguir um posicionamento preciso.

O Driver em questão tem em sua composição um chip da Allegro A4988, resistores, capacitores e 2 pontes H com transistores FET DMOS. O chip é bem versátil, tem proteção contra curto-circuitos nas saídas e proteção contra excesso de temperatura e permite controlar um motor de passo bipolar de até 2 A de corrente por bobina de saída, suportando uma alimentação de 8 a 35 V (DATASHEET A4988).

Seguindo esta análise, utiliza para o controles dos motores de passo os drivers A4988 juntamente com a sua shield, que é uma placa para encaixe de componente, neste caso a Shield CNC é compatível ao arduino uno e a até 4 drivers, possibilitando uma fácil conexão dos motores e demais eletrônicos, como sensores, bluetooth e entre outros. O conjunto pode ser observado na Figura 26.

Figura 26 – Driver A4988 + Shield



Fonte: (autor, 2021).

No total, o projeto conta com um motor para controlar o eixo Z, um para o eixo Y e dois para controlar o eixo X. O chip em questão possui 5 modos de controle de passo dos motores de passo bipolares, o passo completo e o micro-stepping, que engloba o $\frac{1}{2}$ passo, $\frac{1}{4}$ passos, $\frac{1}{8}$ passos e $\frac{1}{16}$ passos, como observado na Quadro 01.

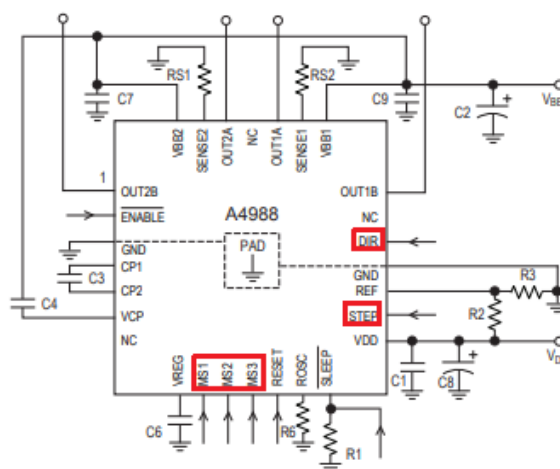
Quadro 01 – Modos de Controle

MS1	MS2	MS3	Microstep Resolution	Excitation Mode
L	L	L	Full Step	2 Phase
H	L	L	Half Step	1-2 Phase
L	H	L	Quarter Step	W1-2 Phase
H	H	L	Eighth Step	2W1-2 Phase
H	H	H	Sixteenth Step	4W1-2 Phase

Fonte: (Datasheet A4988, 2010).

O controle do motor é através de dois pinos do microcontrolador, o STEP (passo) e o DIR (direção), e a possibilidade de micropassos é feita por meios dos pinos MS1, MS2 e MS3, como mostrado na Figura 27 abaixo:

Figura 27 – Esquemático Driver A4988



Fonte: (Datasheet A4988, 2021).

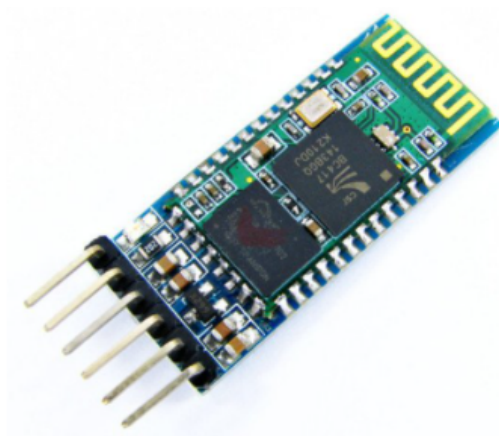
Cada porta exerce uma função específica para o controle do motor, as mais utilizadas são as seguintes:

- ☐ STEP (passo) – Entrada de passo: um sinal com transição de baixo para alto que avança o motor um incremento (passo).
- ☐ DIR – Entrada de direção: Determina a direção de rotação do motor.
- ☐ ENABLE – um sinal baixo ativa os drivers do motor.
- ☐ RESET – um sinal baixo dá um reset no chip, desativando todos os drivers de saída.
- ☐ MS1, MS2 e MS3 – são entradas para selecionar o modo de sequência dos passos (micro stepping), se estas entradas não estão conectadas ao microcontrolador o sistema realiza o passo completo (Full Step).
- ☐ TRIMPOT - Ajuste de Corrente do Módulo Driver A4988

3.2.5 MODULO BLUETOOTH HC-05

O Módulo Bluetooth é um componente eletrônico, como visto na figura 28, desenvolvido para enviar e receber informações via Bluetooth, com um alcance médio de até 30 metros em espaço aberto, ele tem sua própria controladora e a interface serial recebe comandos AT para interação (FELIPEFLOP, 2021).

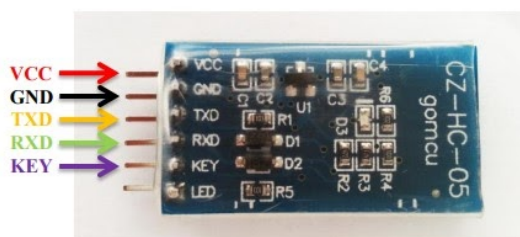
Figura 28 – Módulo Bluetooth



Fonte: (autor, 2021).

O modelo utilizado é o HC-05, cujo funcionamento pode ser em modo mestre e em modo escravo. Ele apresenta seis pinos de conexão e pode desempenhar o papel de slave ou de master. Na figura 29, observa seus pinos de conexão.

Figura 29 – Identificação Portas Módulo Bluetooth



Fonte: (autor, 2021).

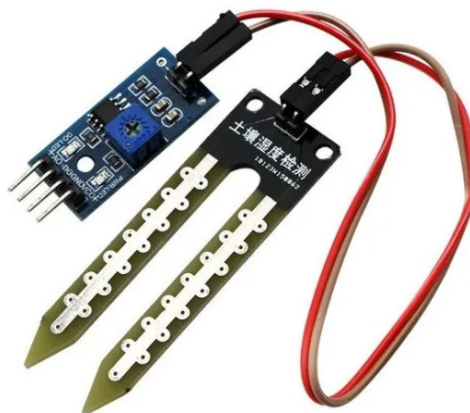
- ☐ Vcc – Pino de alimentação (3.3V – 6V).
- ☐ GND – Ground ou terra (0V).
- ☐ TXD – Transmissor de dados.
- ☐ RXD – Receptor de dados.
- ☐ STATE – Envia sinal alto (5V) quando está conectado em algum aparelho.

O módulo é compatível com o Arduino, permite troca de dados sem fio, TTL transferência transparente de dados entre dispositivos Bluetooth e possui uma antena embutida. Os ajustes de funcionalidade do componente serão operados via comandos AT, que poderão ser acessados pelo monitor serial disponível pela IDE do Arduino (FELIPEFLOP, 2021)..

3.2.6 SENSOR DE UMIDADE DO SOLO

O higrômetro, visto na Figura 30, é um sensor que detecta as variações de umidade no solo.

Figura 30 – Sensor Higrômetro



Fonte: (autor, 2021).

Os sensores são responsáveis por captar as informações do ambiente e as transformar em sinais elétricos que podem ser interpretados pelo Arduino e o higrômetro faz justamente isso, ele coleta dados que são analisados pelo microcontrolador (ADROBÓTICA, 2021).

O datasheet informa as seguintes especificações:

- ☐ Tensão de Operação: 3,3-5v
- ☐ Sensibilidade ajustável via potenciômetro
- ☐ Saída Digital e Analógica
- ☐ Comparador LM393

Este sensor é composto de uma haste que fica em contato com o solo e envia simultaneamente um conjunto de dados para o microcontrolador de acordo com o nível de água detectado pelo sensor. Trata-se de um sensor cuja resistência elétrica varia de acordo com a umidade do solo. Assim, quanto mais úmido estiver o solo, menor a resistência do sensor. Quanto mais seco, maior a resistência do sensor.

3.2.7 ALIMENTAÇÃO

Para fornecer energia aos circuitos eletrônicos utiliza-se fontes de tensão, que além de alimentar o sistema também têm o papel de estabilizar o fornecimento de tensão. Para

escolha da fonte ideal, fez-se uma análise de todos os componentes que devem ser alimentados, como mostra o Quadro 02.

Quadro 02 – Consumo energético

Componente	QTD	Tensão de Op.	Consumo	Consumo total
Arduino UNO	1	7 a 12 V	800mA	800 mA
Shield CNC	1	12 a 36 V	--	--
Driver	4	8 a 36 V	50 mA	200mA
Motor	4	5 a 36 V	2A	8A
Fonte	1	12 V		9A

Fonte: (autor, 2021)

Logo, pode se observar que para a alimentação do sistema, uma fonte de 12V atende perfeitamente, entretanto, utilizamos no projeto uma de 24V, como visto na figura 31, prevendo a adição posterior de novas funcionalidades ao sistema cartesiano.

Figura 31 – Fontes de Alimentação



Fonte: (autor, 2021).

Assim, o projeto conta com uma fonte de 5v para a alimentação da plataforma Arduino e uma fonte de computador com entrada 220v e saída 24 vcc.

3.2.8 VÁLVULA SOLENÓIDE

A válvula solenóide é um dispositivo eletromecânico, com tensão de alimentação de 127/220V, vista na Figura 32 , usado para controle de fluxo de água.

Figura 32 – Válvula solenóide



Fonte: (autor, 2021).

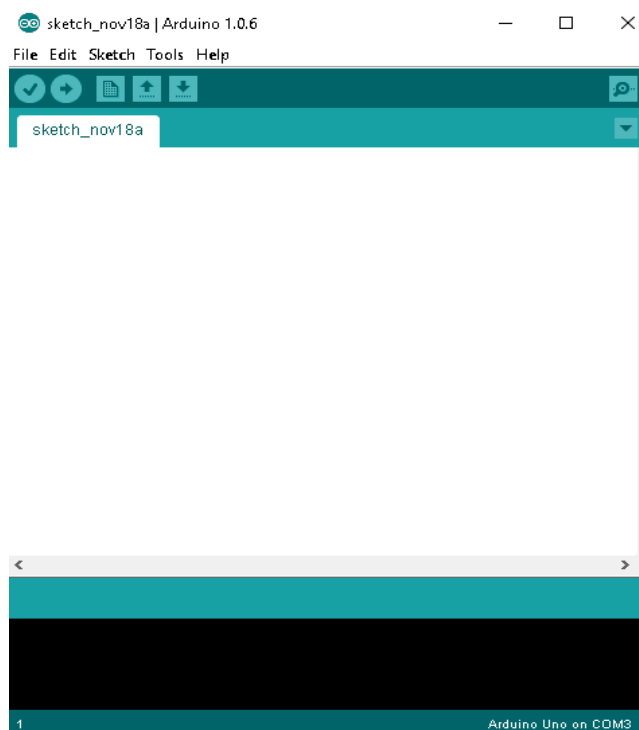
Para fechamento e abertura das válvulas, é aplicada uma tensão (220V) e um pulso de comando vindo do microcontrolador, entretanto, como o microcontrolador não possui a potência necessária para o acionamento da válvula, este manda o pulso para o relé que está conectada à válvula e a aciona, fazendo com que seu núcleo metálico ferromagnético desloque, causando a alteração do estado da válvula, e consequentemente a passagem de água (IRRIGAQUI, 2021).

3.3 SOFTWARE

O software para o projeto de um robô cartesiano se baseia num conjunto de instruções que informam um dispositivo mecânico e um sistema eletrônico para executar atividades de forma autônoma, como controle, loops com feedback, localização de caminhos ou objetos, recebimento e compartilhamento de dados, sendo objetivo principal tornar o objeto inteligente. Para a execução dessas atividades é necessário desenvolver uma programação, ou seja, descrever os procedimentos que devem ser efetuados mediante a ação do controlador (TRONCO, 2017). O protótipo conta com um aplicativo de celular desenvolvido por uma plataforma do MIT que se comunica com o microcontrolador programado na IDE do Arduino, faz-se uma breve explicação sobre os dois métodos.

O sistema cartesiano, como visto no tópico anterior, utiliza o controlador da plataforma Arduino UNO, dessa forma o desenvolvimento e gravação de códigos de programa no microcontrolador é realizado através do software de código aberto Arduino IDE, identificado na Figura 33, este que permite um ambiente de trabalho em tempo real (ARDUINO, 2021).

Figura 33 – IDE Arduino



Fonte: (autor, 2021).

O ambiente de desenvolvimento do Arduino (IDE) utiliza como linguagem de programação a linguagem em C, possui funções de verificação de código e um monitor serial, que é possível enviar e receber informações na forma de texto. Algumas funções básicas desse ambiente são (ARDUINO,2021):

digitalRead() : Lê o valor de um pino digital especificado, que pode ser HIGH ou LOW.

pinMode(): Configurar como um pino de entrada ou de saída.

for(): usado para repetir um bloco de código.

digitalWrite(): Aciona um valor HIGH ou LOW em um pino digital.

pinMode(): Configura o pino especificado para funcionar como uma entrada ou saída.

analogRead(): Lê o valor de um pino analógico especificado.

delay(): Pausa o programa por uma quantidade especificada de tempo.

loop(): repetir consecutivamente enquanto a placa estiver ligada.

#define: dar um nome a um valor constante

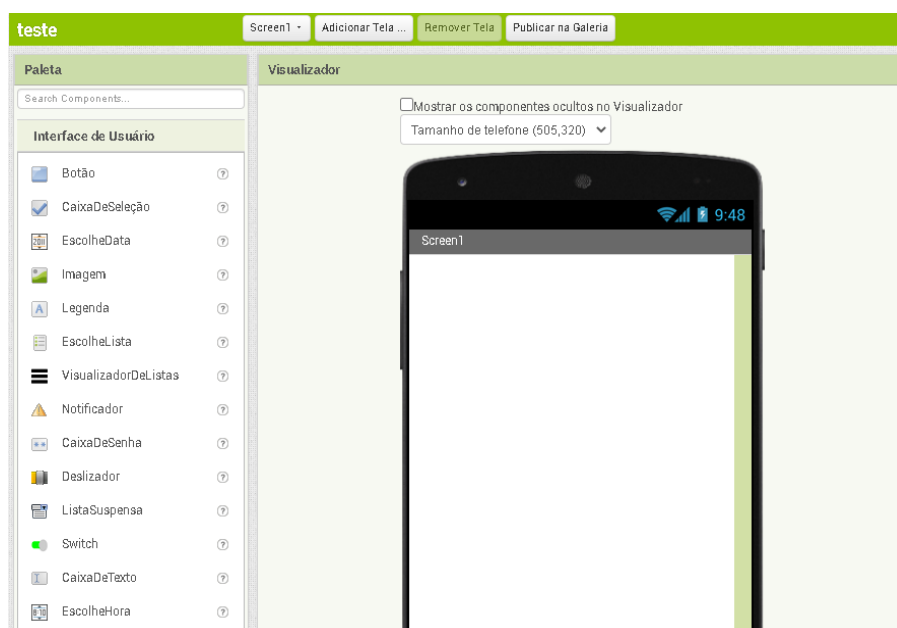
A partir destes comandos uma infinidade de códigos podem ser desenvolvidos.

O protótipo também contará com o controle através de um aplicativo de celular, desenvolvido num ambiente de programação visual intuitivo, o App Inventor, mantida pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT) (APP INVENTOR,2021). O App Inventor é

uma ferramenta de programação que se baseia em blocos, uma plataforma bastante intuitiva e fácil criação, que permite desenvolver aplicativos. O ambiente de desenvolvimento do App Inventor é compatível com os sistemas operacionais e telefones Android.

O projeto do aplicativo é iniciado na primeira tela da plataforma, a tela de Designer, vista na Figura 34, a criação já é feita num espaço delimitado, em formato de smartphone denominado como Screen1, de um lado estarão os menus Components e Properties, enquanto do outro estará a Paleta com os componentes disponíveis para a aplicação.

Figura 34— Ambiente Componentes App Inventor



Fonte: (autor, 2021)

Neste ambiente que se define como será o aplicativo, o desenho da interface que será vista pelo usuário, definição da disposição dos botões e imagens, inserindo fotos, droplists, checkboxes e outros componentes disponíveis para a construção de um programa. Bem como todas as funcionalidade que ele terá, como a conexão via bluetooth, que serve para fazer a conexão Android/Arduino (APP INVENTOR,2021).

A segunda tela é a de Blocks Editor, mostrada na Figura 35, local onde cria de forma interativa os blocos de programação, nesta tela o desenvolvedor especifica como os componentes devem se comportar, em outras palavras, é o momento de associar ações para cada item do aplicativo.

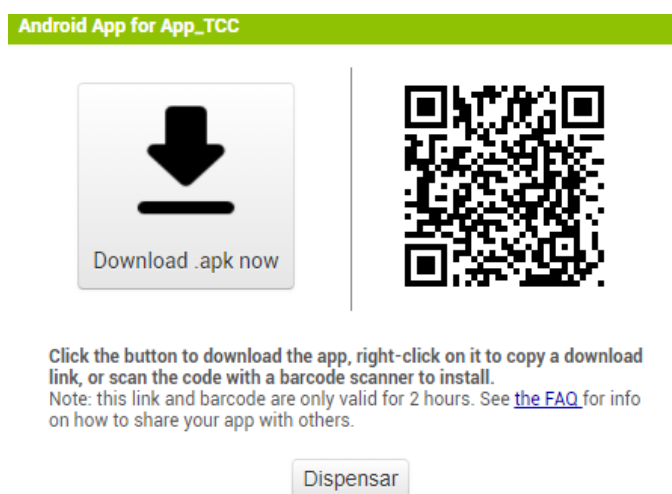
Figura 35– Ambiente Blocos App Inventor



Fonte: (autor, 2021)

Este ambiente funciona como uma programação intuitiva, existem blocos, que são comandos de execução, com diversas funcionalidades. Assim, a combinação de um ou mais comandos forma uma ação completa, resultando no código necessário para realização das atividades que se espera do aplicativo de celular. Ao finalizar a criação do aplicativo na barra superior encontra-se a opção de baixá-lo no celular e o próprio site informa a leitura de QR CODE, Figura 36.

Figura 36– QR CODE App Inventor



Fonte: (autor, 2021)

3.4 ORÇAMENTO

Quadro 03 – Orçamento do Protótipo

Materiais Utilizados	
Perfil estrutural V-slot 20x20	R\$ 105,00
12 Roldanas 625zz V-slot Openbuilds	R\$ 180,00
4 Motores Nema 17	R\$ 290,00
Kit Fuso Trapezoidal Tr8	R\$ 90,00
Polias+correia	R\$ 90,00
Kit Shiel + 4 Drivers A4988	R\$ 80,00
Módulo Sensor Bluetooth Rs232 Hc-05	R\$ 40,00
Arduíno Uno	R\$ 80,00
Módulo Sensor De Umidade Do Solo	R\$ 15,00
Fonte 24 Vcc	R\$ 120,00
Válvula Solenóide	R\$ 40,00
Chave fim de curso	R\$ 9,00
Parafuso Allen sextavado abaulado	R\$ 4,00
Porcas e Arruelas	R\$ 6,00
Total	R\$ 1149,00

Fonte: (autor, 2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O protótipo foi construído em diversas etapas, ao longo desta seção será detalhado este processo. A seção está dividida em 4 etapas para melhor entendimento do leitor dos procedimentos a serem seguidos. Assim:

1ª Etapa - Teste de motores e programação

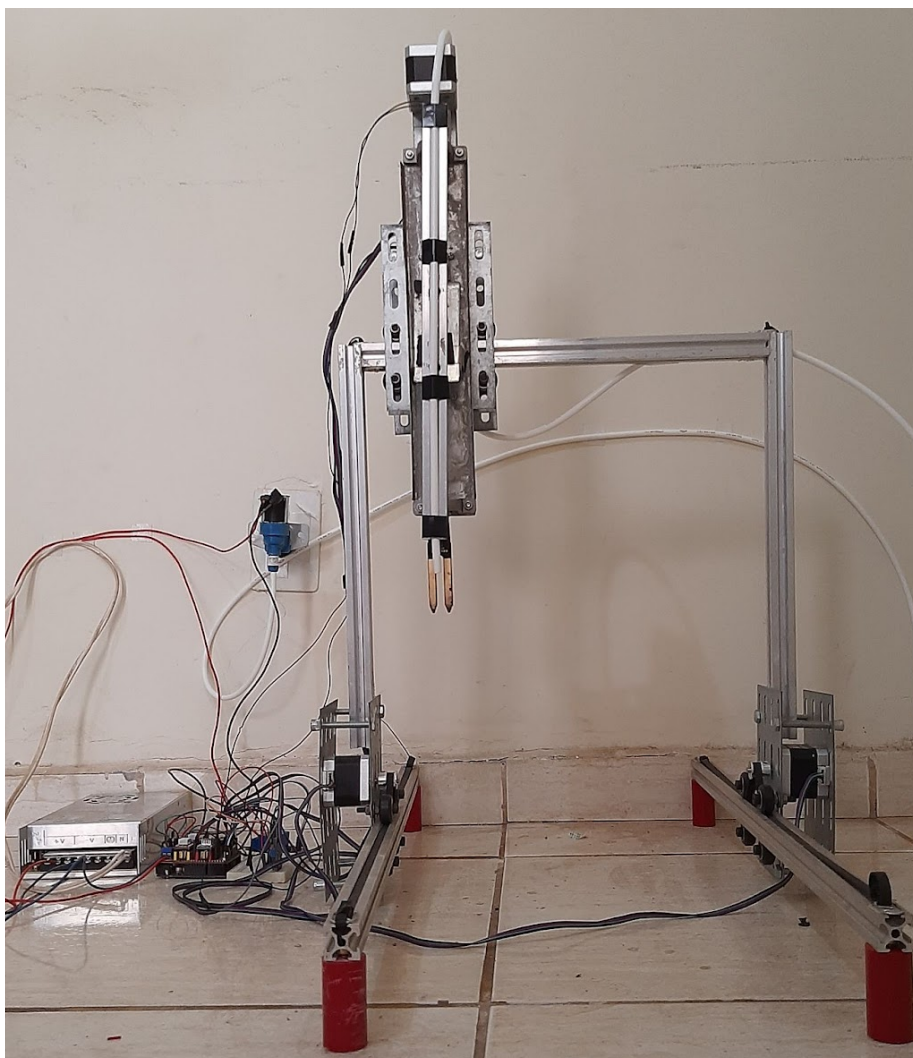
2ª Etapa - Construção do física do Protótipo e teste de motores

3ª Etapa - Implementação da Irrigação

4ª Etapa - Criação do aplicativo

Ao final destas etapas, o protótipo estará como mostra a Figura 38, com estrutura física, sistema de irrigação e sistema de controle em funcionamento.

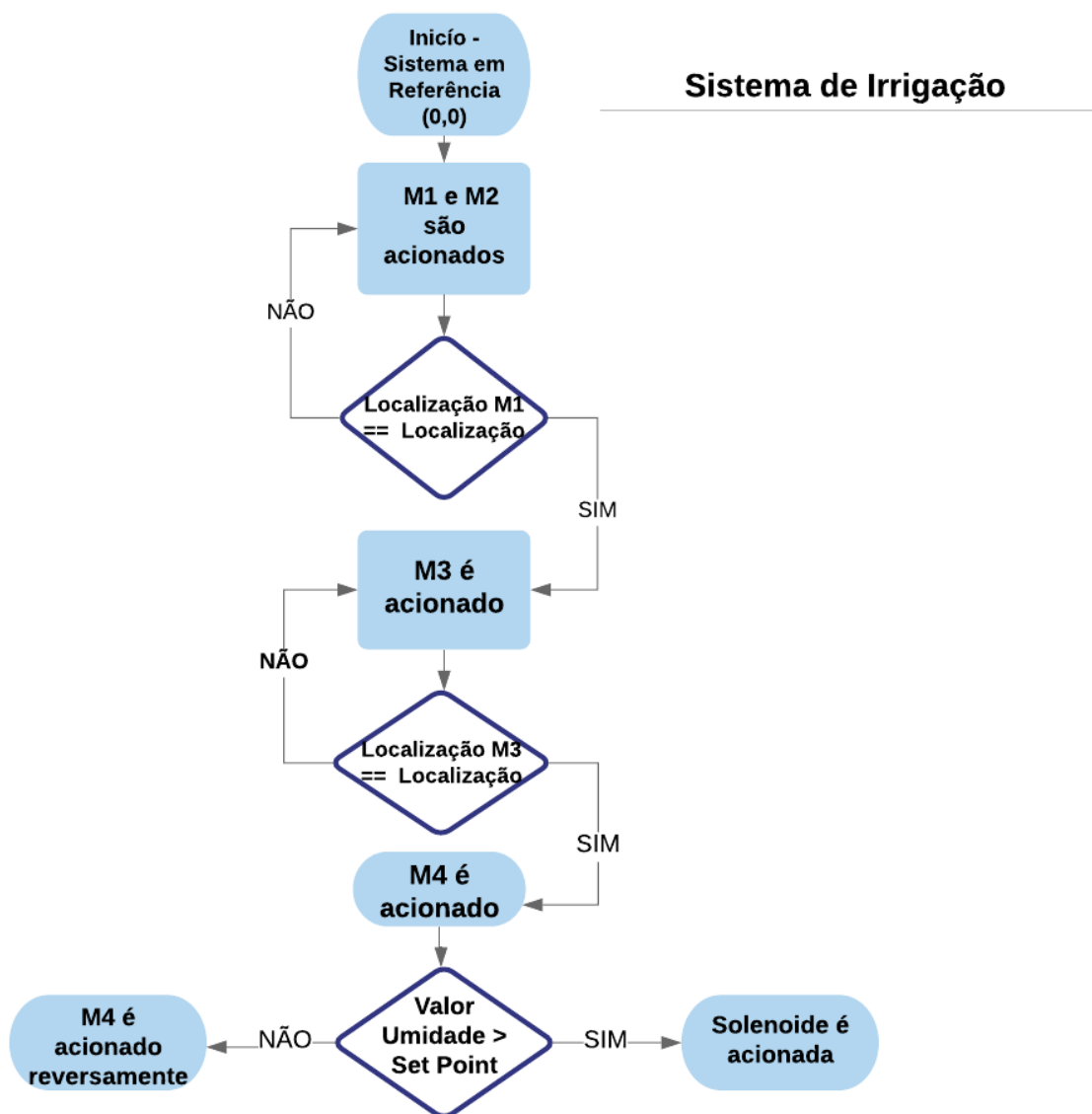
Figura 38 –Protótipo de Robô Cartesiano Final



Fonte: (Autor, 2021).

A princípio o robô cartesiano, seguirá o funcionamento descrito no fluxograma da Figura 37, que é programado para visitar o local das amostras e colher dados automaticamente.

Figura 37 – Fluxograma de funcionamento



Fonte: (Autor, 2021).

- Funcionamento:

O fluxograma da Figura 37, indica como é um ciclo de funcionamento do protótipo, este ciclo funcionará repetidas vezes. No início, o sistema está na referência, o chamado Início (0,0), neste momento os motores M1 e M2, que respectivamente representam os dois motores

do eixo X, são acionados, fazendo com que o robô se desloque pelo eixo X, até encontrar o local indicado na programação “localidade”.

Neste instante, o M3, que representa o motor do eixo Y, é acionado, movimentando pelo eixo Y até encontrar a localização da planta que se deseja irrigar. Ao se posicionar no local indicado, o M4 é acionado, este representa o eixo Z, posteriormente, o sensor de umidade coleta os dados do solo, faz-se a verificação do SetPoint para a irrigação, com opções de ou irrigar ou retroceder o eixo Z, “M4”.

Se o valor estiver abaixo do SetPoint o solo está úmido e não necessita da irrigação, logo, o M3 é acionado, voltando à posição anterior e é acionado o M3, que procura a localização da próxima planta no eixo Y, repetindo o mesmo processo anterior até verificar todas as plantas.

Se o valor lido pelo sensor for acima do SetPoint é sinal que o solo está seco e necessita de irrigação, assim a solenóide é acionada, posteriormente desligada, o M4 é acionado para voltar à posição anterior, o M3 é acionado novamente para ir ao encontro da próxima planta. Repetindo todo o processo.

A seguir serão apresentados todos os passos para que o objetivo final, o protótipo com suas funcionalidades, seja construído.

4.1 PRIMEIRA ETAPA

Esta etapa consiste em controlar os motores através do driver e do microcontrolador.

1) Configuração da tensão de referência do Driver A4988

Os drivers recebem os sinais de pulsos do controlador, realizam o chaveamento e fornecem aos motores a corrente necessária para seu funcionamento. Nestes drivers caso esta corrente ultrapasse um determinado valor, seja por curto circuito ou aquecimento, algumas funções são desabilitadas para a proteção da placa.

Em seu funcionamento interno, o driver compara o valor das tensões dos resistores RS1 e RS2, tensão resultante da corrente que passa pelas bobinas dos motores, com o valor da tensão de referência (V_{ref}), a tensão do potenciômetro, que é definida pelo programador.

Para definir a tensão do V_{ref} utiliza-se a corrente máxima que o motor suporta como base, dado este encontrado no datasheet do fabricante. O ajuste é feito pela equação abaixo através do valor da resistência e da corrente do motor (DEC, 2016):

$$V_{ref} = I_{max} \times (8 \times RS) = 0,8 \times (8 \times 0,1) = 0,64V$$

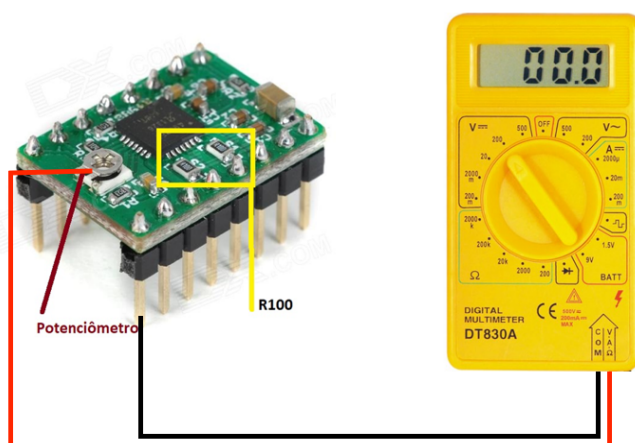
Sendo que:

$$I_{max} = 0,5 \times 1,6 = 0,8 A \text{ (utiliza-se 50\%)}$$

$$RS = 0,1 \text{ ohm (Resistor R1)}$$

Assim, com o auxílio de uma chave de fenda e um multímetro, regula-se o Trimpot para a tensão de 0,64 V, como indicado na figura 39:

Figura 39 – V_{ref} Driver A4988



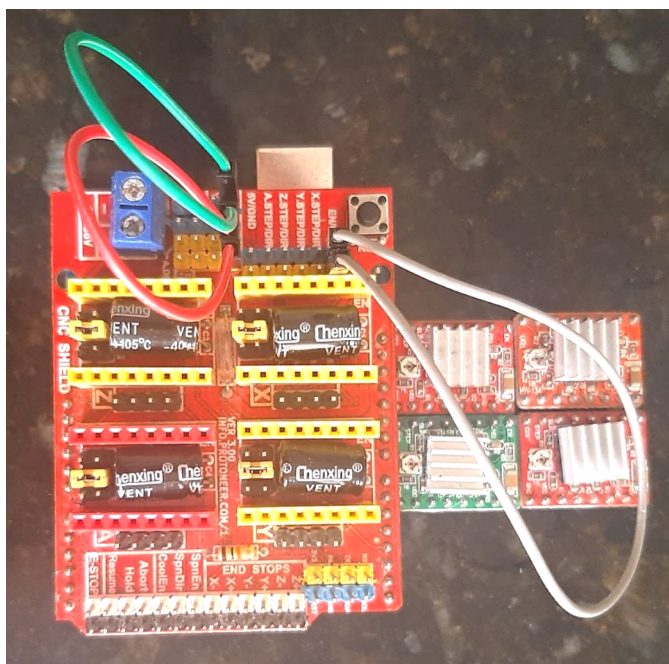
Fonte: (autor, 2021)

2) Configuração na shield

Para maior controle e suavidade no movimento de rotação dos motores, usa-se os micropassos, essa configuração divide os ciclos em etapas menores, o que resulta em maior precisão no posicionamento do motor.

Para o projeto define-se $\frac{1}{4}$ de passos, essa informação pode ser implementada em código, como também fisicamente, neste caso, fez-se pela shield, através de jumpers no pino MS2, como é visto na Figura 40.

Figura 40 – Shield + Driver A4988



Fonte: (autor, 2021).

Além de curto-circuitar o pino MS2 para os micropassos em cada um dos eixos X,Y,Z indicados na placa, também curta-circuita pino que ativa os drivers, a EN/GND, porta que fica ativa em nível baixo e X.STEP/DIR, para indicar que o eixo X terá duplicidade de motor mas ambos receberam o mesmo comando, configurações estas também observadas na Figura 40.

3) Passos do Motor

Para descobrir quantos passos são necessários para o motor Nema 17 realizar uma volta completa, pode-se aplicar o seguinte equacionamento (FITZGERALD, 2016), que possui como parâmetros uma volta completa do eixo (360°) e o Step Degree, o ângulo de passo do motor (dado do datasheet), Logo:

$$SPR = \frac{\text{Angulo}}{\text{Step Degree}} = \frac{360^\circ}{1,8^\circ} = 200 \text{ passos}$$

Portanto, são necessários 200 passos para uma revolução do motor. Os cálculos de passo para os eixos X, Y, Z são demonstrados a seguir e divididos por eixos que usam correias e eixos que usam fusos para sua movimentação, pois para cada caso há um equacionamento diferente.

Eixos que utilizam Correias e polias:

Para descobrir a quantidade de passos por milímetros que o motor deve fazer num sistema de movimentação a base de uma correia GT2 utiliza-se o equacionamento abaixo (DEC, 2016):

$$Passos_{correia} = \frac{Conf \text{ Micropassos} \times 1 \text{ Revolução do Motor}}{Pitch \text{ da correia} \times \text{Dentes da Polia}}$$

onde:

Resolução do motor: 1,8° (200 passos)

Micro passos do driver: ¼

Passo da correia : 2 mm

Quantidade de dentes na polia: 20

Precisão de movimento = 0.05 mm

$$Passos_{correia} = \frac{4 \times 200}{2 \times 20} = 20 \text{ steps/mm}$$

Logo, descobrimos que para um sistema de movimentação de polias e correia andar 1 mm são necessários 20 passos, assim para descobrir o máximo de passos que cada eixos pode atingir multiplica-se pelo comprimento em mm do eixo.

A. Passos para o motor do eixo X (600mm):

$$Passos_{correia} = 20 * 600 = 12000 \text{ steps}$$

B. Passos para o motor do eixo Y (30mm):

$$Passos_{correia} = 20 * 300 = 6000 \text{ steps}$$

Eixos que utilizam Fusos:

Para descobrir a quantidade de passos por milímetros que o motor deve fazer num sistema de movimentação a partir de um Fuso TR 8mm utilizamos o equacionamento abaixo (DEC, 2016):

$$Passos_{fuso} = \frac{Conf \text{ Micropassos} \times 1 \text{ Revolução do Motor}}{Passo do fuso}$$

onde:

Resolução do motor: 1,8° (200 passos)

Micro passos do driver: ¼

Passo da rosca do fuso em mm: 8

Precisão de movimento = 0.01 mm

$$Passos_{fuso} = \frac{4 \times 200}{8} = 100 \text{ steps/mm}$$

Logo, descobrimos que para um sistema de movimentação de fuso andar 1 mm são necessários 100 passos, assim para descobrir o máximo de passos que cada eixos pode atingir multiplica-se pelo comprimento em mm do eixo, como o fuso possui 300 mm, esta é sua amplitude máxima de movimentação.

A. Passos para o motor do eixo Z:

$$Passos_{fuso} = 100 * 300 = 3000 \text{ steps}$$

Estes valores são implementados nos códigos de programação e o trecho do código usado para controle dos motores é visto na Figura 41, a partir dele tem-se o controle total dos motores de passo utilizados na máquina:

Figura 41 – Código Motor

```

void setup() {
  pinMode(StepX, OUTPUT);
  pinMode(DirX, OUTPUT); }

void loop() {
  digitalWrite(DirX, HIGH);
  for(int x = 0; x<200; x++)
  {
    digitalWrite(StepX, HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(StepX, LOW);
    delayMicroseconds(500);
  }
}

```

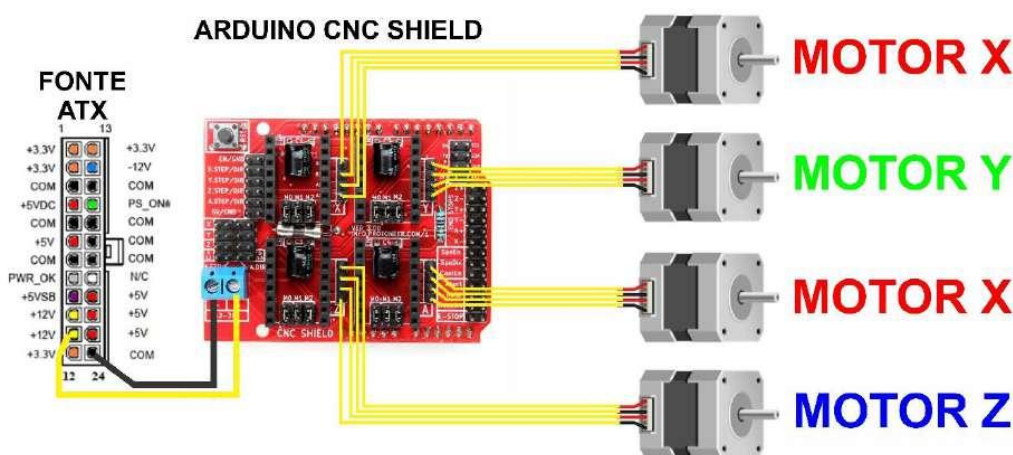
Fonte: (autor, 2021)

As variáveis de saída StepX e DirX são os valores enviados para as portas lógicas do driver A4988, elas fornecem a rotação e direção para o motor, respectivamente. O código funciona num loop até atingir os parâmetros definidos pelo for, este valor representa os steps do motor, dessa forma o código define o quantidade de rotações do motor e como consequência, em que localidade cada amostra estar.

O exemplo acima mostra a lógica para o motor fazer uma volta completa em seu eixo, com um for contanto 200 pulsos. Para os eixo Y e Z, segue o mesmo padrão de código, o que muda para cada eixo é a inserção neste campo dos valores calculados acima.

Neste momento, já é possível testar o funcionamento dos motores alimentando o conjunto shield-driver-arduino e conectando os fios dos motores a placa, como feito na Figura 42.

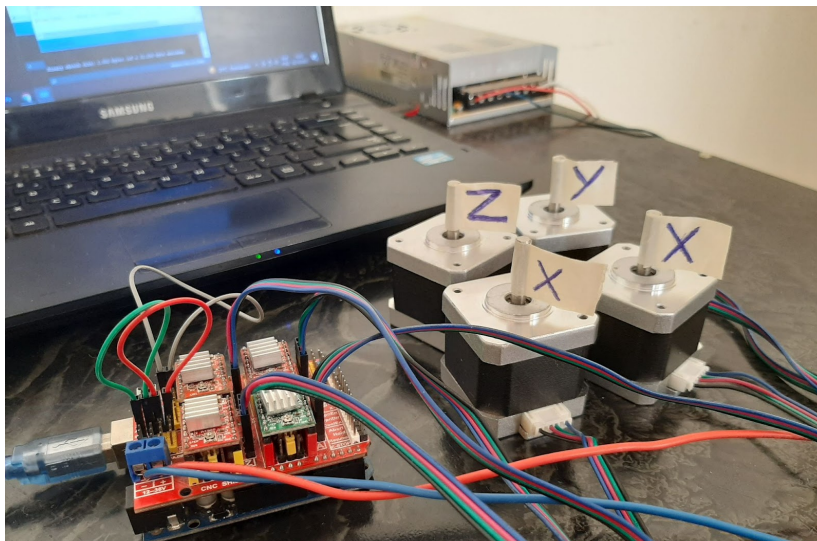
Figura 42 – Montagem do circuito eletrônico



Fonte: (POLASTRINI, 2016).

Agora, visto de forma real, Figura 43, com os motores identificados, para melhor acompanhamento da ordem de funcionamento de cada eixo.

Figura 43 – Testagem de motores



Fonte: (autor, 2021)

Durante o ciclo de funcionamento cada motor entra em funcionamento individualmente, primeiro os eixos X, depois o Y e posteriormente o Z, e esta ordem torna fácil a visualização nos testes dos motores, por isso da identificação em cada um deles na imagem. Com o funcionamento esperado, conclui-se esta etapa.

4.2 SEGUNDA ETAPA

Este é o momento de construção do protótipo, com a aquisição de todos os componentes e ferramentas mecânicas, inicia o processo de desenvolvimento da estrutura e testes, a cada momento é importante verificar o real funcionamento de cada peça.

1) Pórtico:

A estrutura física móvel do protótipo, é chamada estrutura em pórtico e foi projetada a partir de um equipamento industrial utilizado para movimentação de cargas pesadas, o pórtico rolante, visto na Figura 44, muito utilizado em áreas externas, controlado remotamente e construídos por perfis laminados ou vigas caixão sobrepostos a uma plataforma móvel. Na estrutura podemos destacar duas peças, o carro guincho, que é a parte que eleva o objeto, e os

carros laterais, que fazem a movimentação da estrutura em si e garantem o transporte da peça (RIBEIRO, 2011).

Figura 44 – Pórtico Rolante



Fonte: (RIBEIRO, 2011)

Na adaptação para o robô cartesiano, tanto os carros laterais quanto o carro guincho possuem função deslizante. O pórtico do robô cartesiano é composto por 3 perfis de extrusão de alumínio em V-slot 20x20, apoiados em uma espécie de cama de alumínio, como visto na Figura 45:

Figura 45 – Estrutura do Protótipo



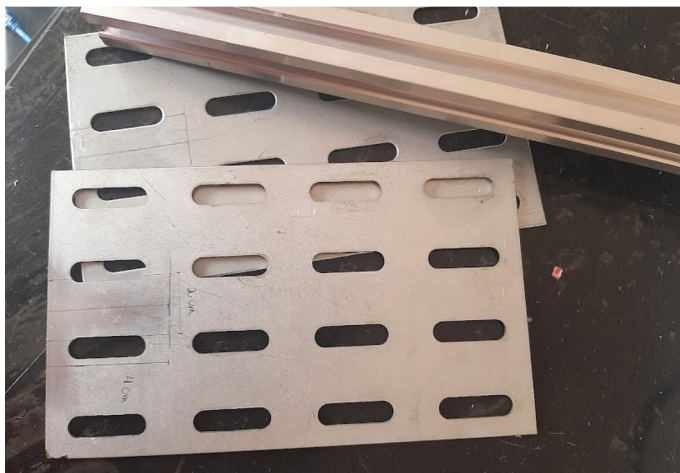
Fonte: (Autor, 2021)

Para a união do pórtico com a base utiliza-se diversos materiais como parafuso, colas e talas, itens serão analisados adiante.

2) Construção da peça que movimenta o eixo X (duplicado)

Com os sistemas de transmissão de movimento definidos contendo o motor, as polias e correia é necessário criar uma estrutura que sustenta estas peças. Para a criação desta estrutura utiliza-se emendas talas para eletrocalhas, Figura 46.

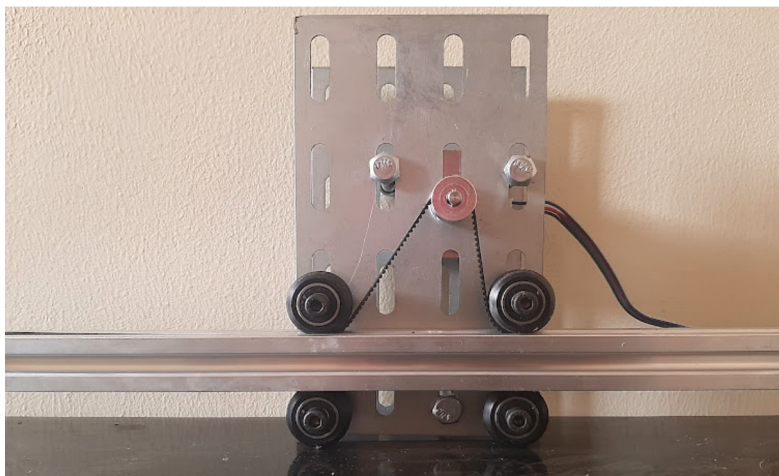
Figura 46 – Tala para Eletrocalha



Fonte: (autor, 2021)

Em sua anatomia, a tala para eletrocalha possui diversas aberturas simétricas, estas que se adaptam bem com a disposição que as polias devem estar, gerando assim uma peça para o sistema de movimentação, que será utilizada nos três eixos, a Figura 47 mostra como foi o resultado da peça individual.

Figura 47 – Estrutura de movimentação dos eixos X.



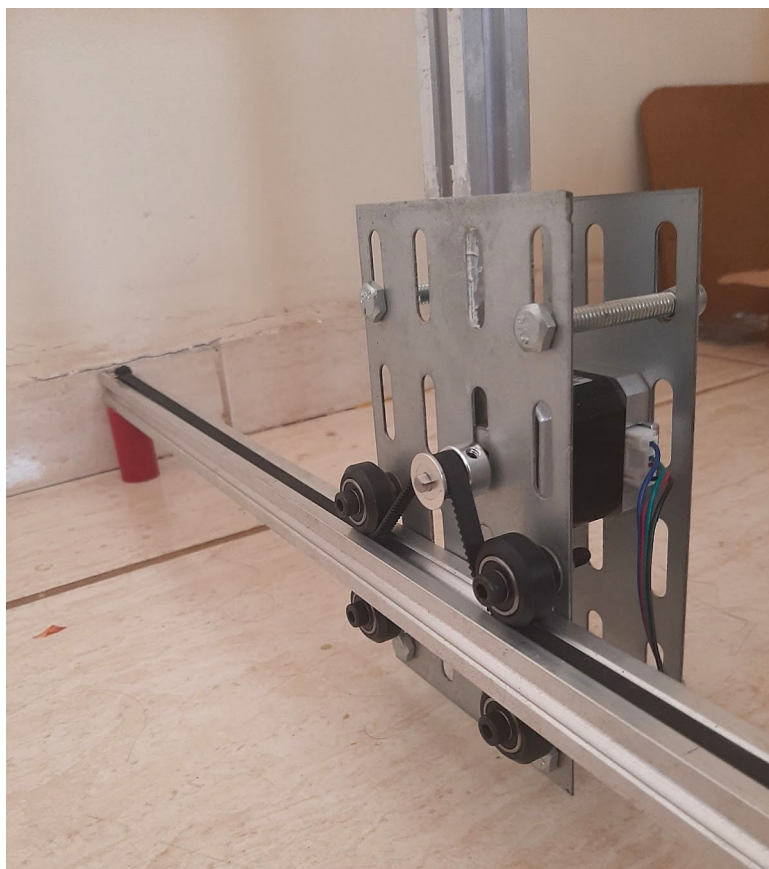
Fonte: (autor, 2021)

Para a construção desta peça foram utilizadas em cada uma:

- ☐ 2 talas para eletrocalha
- ☐ 3 Parafusos, arruelas e porcas
- ☐ 4 Parafusos Allen com suas porcas e arruelas
- ☐ 4 Roldanas OpenBuilds
- ☐ 1 polia redutora
- ☐ 1 correia
- ☐ 1 motor Nema 17

Como visto na figura, a montagem se torna intuitiva, as talas servem de estrutura para o sistema de movimentação e suas aberturas para a passagem das roldanas e polias, os parafusos estão para garantir o fechamento da peça e firmar do motor na parte de trás. A tala frontal é conectada ao pórtico (perfilado 20X20), unindo o corpo do robô e assim garantindo a movimentação de todo o eixo X, visto na Figura 48.

Figura 48 – Eixo X



Fonte: (autor, 2021).

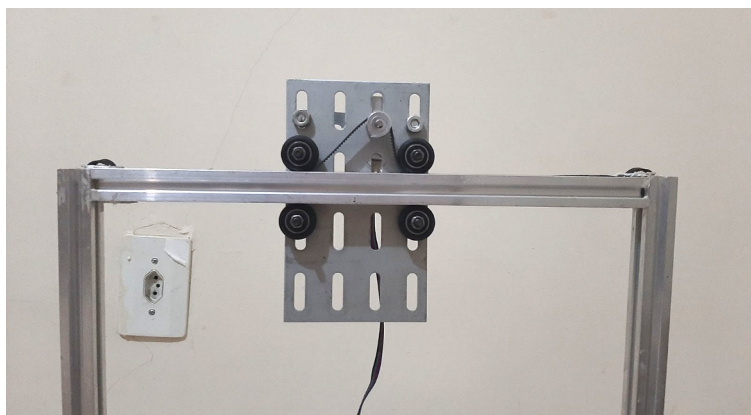
Com a estrutura montada vê-se como as roldanas encaixam perfeitamente nos vincos no perfil, juntamente com a correia, garantindo o deslocamento da peça. Todas as roldanas, superior e inferior, devem estar firmes no eixo, para garantir a boa fixação da peça e a estabilidade do protótipo, visto que este eixo, suporta todo o robô.

Nesta etapa, os motores já foram testados com a programação, agora eles são testados na peça desenvolvida, o construtor deve analisar como está a movimentação da peça sobre o eixo. Ao ligar o motor consegue-se perceber se o movimento está correto, a peça deve se mover suavemente, sem trepidações e percorre toda a extensão do perfil. Caso isso não ocorra deve-se rever os parâmetros da programação, apertos de parafusos e estrutura da peça.

3) Construção do sistema de movimentação para o eixo Y.

A peça do eixo Y é similar a do X, portanto segue-se o mesmo procedimento e a peça resultará em um como a da Figura 49, nesta peça ainda será conectado o eixo Z, mais adiante pontua-se sobre a adaptação da mesma.

Figura 49 – Estrutura de movimentação do eixo Y.



Fonte: (autor, 2021)

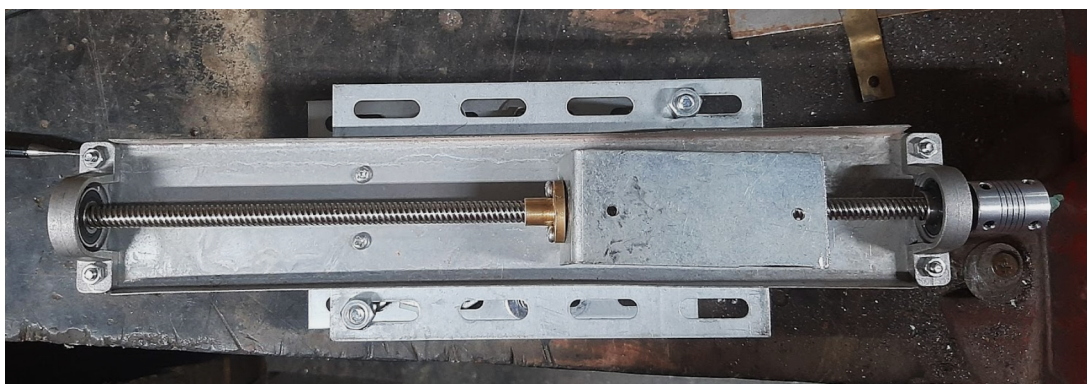
Para a construção desta peça foram utilizadas:

- ☐ 1 talas para eletrocalha
- ☐ 2 Parafusos, arruelas e porcas
- ☐ 4 Parafusos Allen com suas porcas e arruelas
- ☐ 4 Roldanas OpenBuilds
- ☐ 1 polia redutora
- ☐ 1 correia
- ☐ 1 motor Nema 17

4) Construção do sistema para o eixo Z

A peça é considerada de maior complexidade, tanto pela forma da sua movimentação que é na vertical como pelo seu peso, de aproximadamente 2 Kg. O eixo Z se movimenta a partir de um fuso trapezoidal, também conhecido como barra roscada, este objeto é envolto de uma peça chamada castanha, que é responsável por transformar o movimento rotacional que o eixo do motor produz para uma movimento linear. O conjunto do fuso é parafusado através de seus mancais em uma peça de retangular de alumínio e é parafusada na castanha uma peça em L que ficará disponível para a fixação de qualquer peça efetuidora, observado na Figura 50.

Figura 50 – Eixo Z



Fonte: (autor, 2021)

Na estrutura em L parafusa a castanha se instalou um perfil de alumínio, para servir de apoio para qualquer efetuidor que seja necessário acoplar ao sistema, como visto na Figura 51.

Figura 51 – Eixo Z com efetuidor



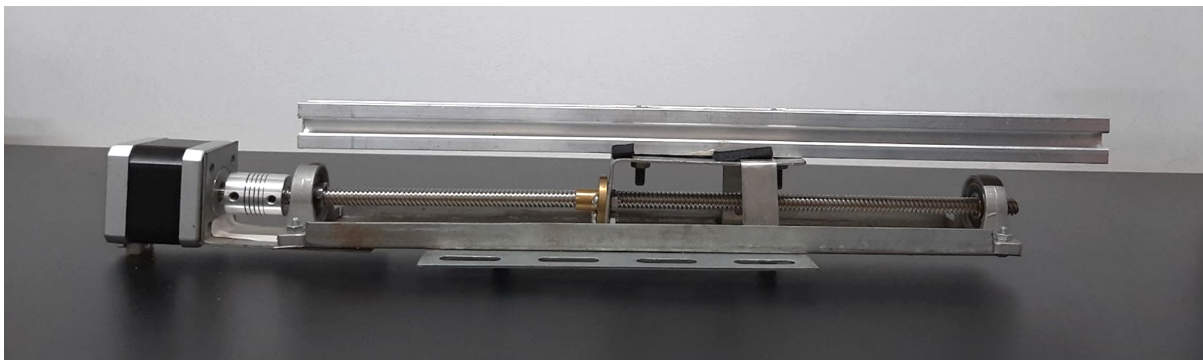
Fonte: (autor, 2021)

Para a construção desta peça foram utilizadas:

- ☐ 1 Fuso trapezoidal Tr8
- ☐ 1 Castanha
- ☐ 2 mancais
- ☐ 1 acoplador flexível
- ☐ 1 talas para eletrocalha
- ☐ 6 Parafusos, arruelas e porcas
- ☐ 1 motor Nema 17
- ☐ Placa de apoio para fixação da estrutura
- ☐ Placa em L parafusada a castanha
- ☐ Placa em L para fixação do motor
- ☐ 1 Perfil 20x20 de 30 cm

Na figura 52, vê-se em outro ângulo a peça:

Figura 52– Estrutura do eixo Z.



Fonte: (autor, 2021).

Neste momento pode-se testar a movimentação do eixo Z com o motor e verificar se a peça atende ao movimento esperado. O eixo deve movimentar 150 mm em ambas as direções de acordo com os passos calculados na seção anterior, que serão no total 3000 passos.

A peça é acoplada ao eixo Y do protótipo, como observado na Figura 53:

Figura 53– Eixos Y e Z.



Fonte: (autor, 2021).

Na figura 54, vê-se em outro ângulo a peça, também já instalada ao eixo Y:

Figura 54– Eixos Y e Z.



Fonte: (autor, 2021)

Ao acoplar a peça Z ao eixo Y, pode ser necessários alguns ajustes, como por exemplo, parafusos para melhor fixação. Testa-se neste momento os motores dos dois eixos e

analisa o desempenho do movimento. Neste momento, a parte estrutural e controle dos eixos do robô está concluída, Figura 55.

Figura 55– Robô Cartesiano X, Y, Z



Fonte: (autor, 2021)

Os testes neste momento devem ser voltados a ajustes necessários à movimentação do robô. Testa-se todos os 4 motores, com devidas paradas e delays analisando o comportamento do movimento.

Pontos a se verificar para prosseguimento das etapas:

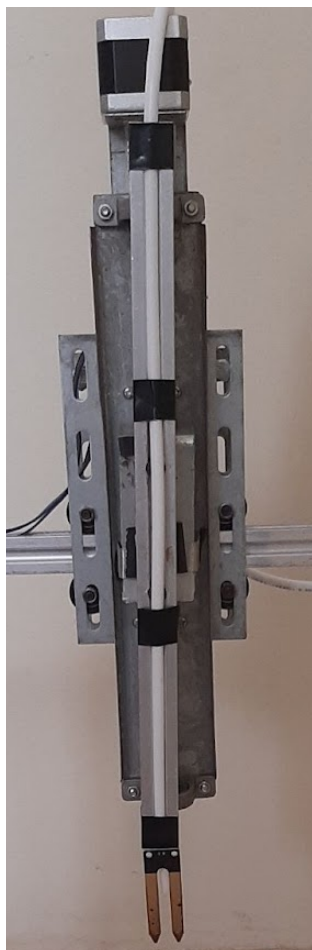
- ☐ Estabilidade dos eixos
- ☐ Fixação dos pés
- ☐ Aquecimento dos drivers
- ☐ Movimentação das Roldanas
- ☐ Tensionamento de correias
- ☐ Passos do Motor
- ☐ Fiações
- ☐ Estabilidade do fornecimento de energia pela fonte

4.3 TERCEIRA ETAPA

Neste momento implementa-se no protótipo o sistema de irrigação automatizada, que compõe-se do Sensor Higrômetro, Relé, Válvula Solenóide e um Mangueira fina.

O sensor higrômetro é instalado na ponta da ferramenta efetuidora, visto na figura 56:

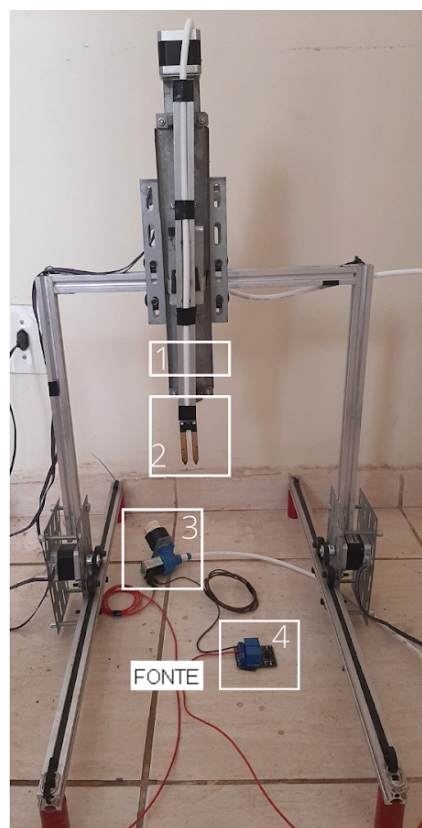
Figura 56 – Sensor no eixo Z



Fonte: (Autor, 2021)

Todo o conjunto do sistema de irrigação é observado e legendado na Figura 57.

Figura 57– Identificação dos componentes

**LEGENDA**

- 1.Mangueira
- 2. Sensor Higrometro
- 3. Válvula Solenóide
- 4. Relé

Fonte: (autor, 2021)

A irrigação automatizada é comandada pelo trecho de código da figura 58, que se baseia numa condicional, se (if) o dado coletado e armazenado na variável “pinSensorA” for maior que o SetPoint definido é acionada a solenóide, se não (else) a mantém inativa.

Figura 58– Código Irrigação

```
Serial.print("  Atuador:");
if (analogRead(pinSensorA) > 700) {
  Serial.println("SOLENOIDE LIGADO");
  digitalWrite(pinSolenóide, HIGH);
  delay(1000);
} else {
  Serial.println("SOLENOIDE DESLIGADO");
  digitalWrite(pinSolenóide, LOW);
  delay(1000);
}
```

Fonte: (autor, 2021).

O código implementado no microcontrolador funciona da seguinte forma: Os dados obtidos do sensor de umidade são lidos através do pino A0 do arduino, uma entrada analógica, este sinal é convertido para digital, através do Conversor A/D contido internamente no arduino, através do pino 8, estes valores são lidos e interpretados pelo código de programação. Quando o sensor detecta valores acima da referência do sistema, o Set point que é de 700, o microcontrolador aciona a válvula solenóide, aplicando tensão sobre ela, isso causa a alteração de seu estado (abertura/fechamento), neste momento será necessário o acionamento de um módulo relé, pois o arduino sozinho não possui a potência suficiente para garantir o funcionamento da válvula, e assim é liberado ou não, o fluxo de água para realizar a irrigação.

O protótipo irá caminhar ao encontro de cada planta para medir a necessidade ou não de irrigação, como mostra o código da Figura 59.

Figura 59– Código Irrigação

```
for(int x = 0; x<200; x++) { // loop for 200 steps
    digitalWrite(StepZ,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(StepZ,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000); // delay for 1 second
Serial.print("  Atuador:");
if (analogRead(pinSensorA) > 700) {
    Serial.println("SOLENOIDE LIGADO");
    //digitalWrite(pinSolenóide, HIGH);
} else {
    Serial.println("SOLENOIDE DESLIGADO");
    //digitalWrite(pinSolenóide, LOW);
}
delay(5000); // delay for 1 second
digitalWrite(DirZ, LOW);

for(int x = 0; x<200; x++) { // loop for 200 steps
    digitalWrite(StepZ,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(StepZ,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
```

Fonte: (autor, 2021).

Pode ser observado pela lógica do código que a irrigação só está apta para acontecer após o eixo Z ser ativado. Dessa forma o eixo Z leva o sensor de umidade para o solo, ele

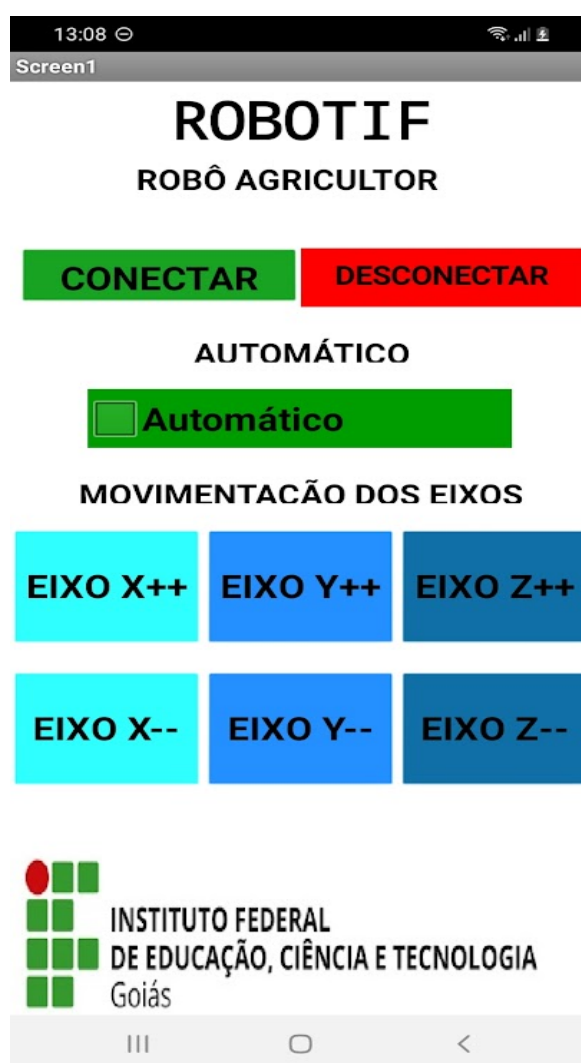
coleta os dados, que já são analisados pela programação e decide ou não pela irrigação e assim o eixo Z volta à posição inicial e o ciclo continua.

O sistema neste momento está conectado ao computador via USB, no próximo tópico ele terá uma comunicação via bluetooth e será comandado por um aplicativo.

4.4 QUARTA ETAPA

Com o robô cartesiano em pleno funcionamento, pode-se iniciar a construção do aplicativo na plataforma do App Inventor. Pode-se observar o aplicativo desenvolvido na Figura 60.

Figura 60 – Aplicativo Robô Cartesiano

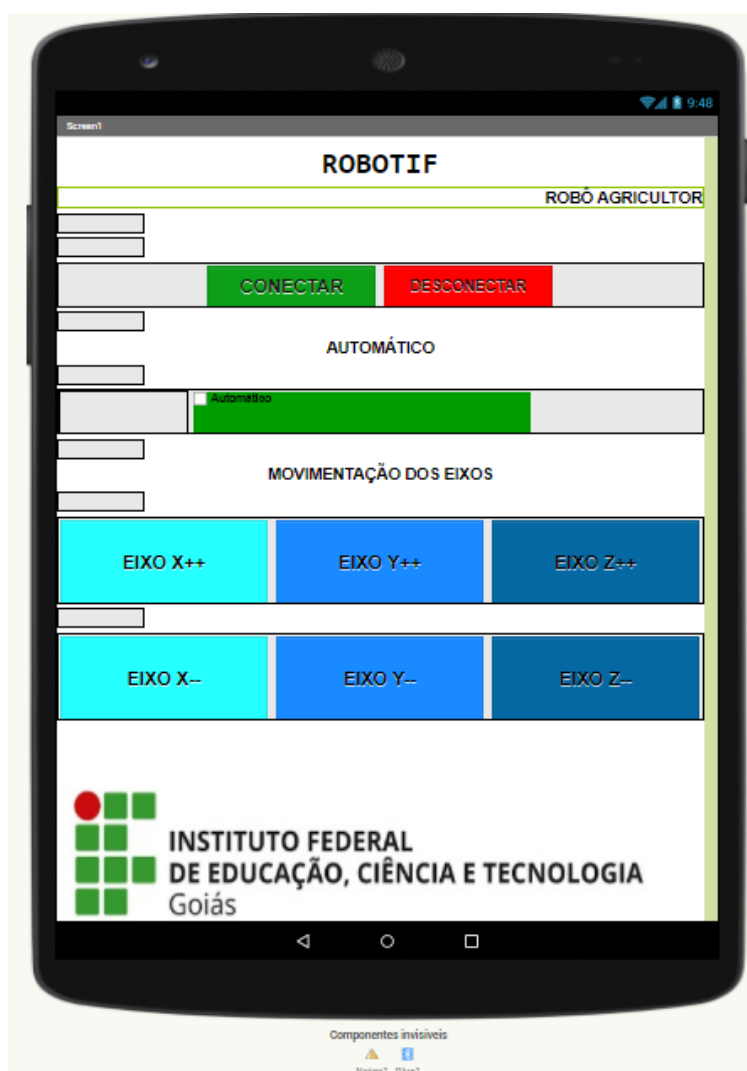


Fonte: (Autor, 2021)

O app funciona através da comunicação serial via bluetooth, desta forma, pode-se controlar o robô cartesiano pelo celular e/ou notebook a uma distância de até 10m. Ele será construído dentro da aplicação de Web da MIT, o APP INVENTOR.

O novo projeto será iniciado na tela de Designer, local onde se adiciona os componentes necessários para a construção do app, no canto direito está a paleta com todas as funcionalidades e no canto esquerdo os componentes selecionados, bem como a sua identificação. A figura 61 mostra o aplicativo com todos os componentes necessários.

Figura 61 – Tela Inicial

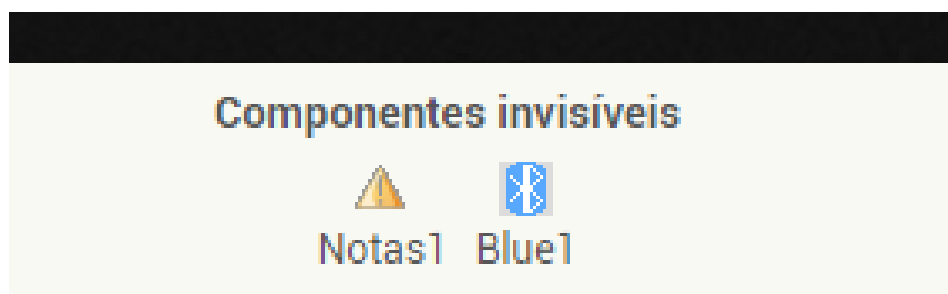


Fonte: (Autor, 2021)

Esta parte inicial da construção do aplicativo é voltada para a sua parte estética, a interface que o usuário verá ao utilizar ele. São inúmeras as funcionalidades disponíveis como imagens, planos de fundos, legendas, botões e caixas de seleção, listas e telas temporizadas.

Dentre os componentes utilizados, estão o bluetooth e o Notas1, visto na Figura 62.

Figura 62– Comunicação

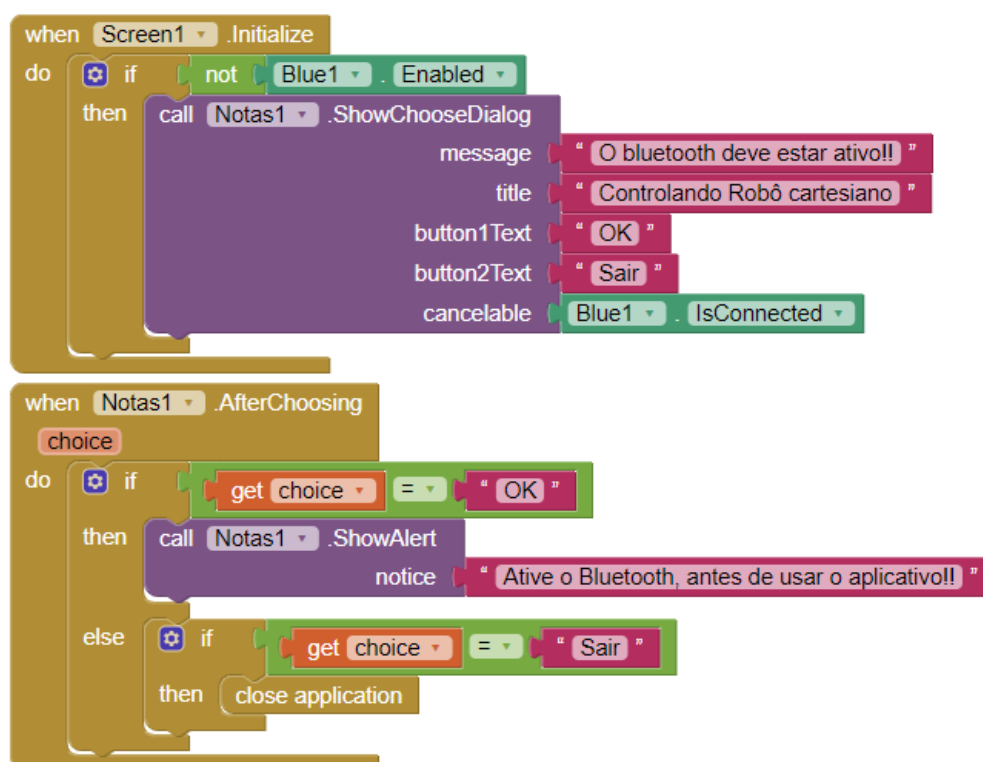


Fonte: (Autor, 2021)

O BluetoothCliente, que está disponível em Connectivity no menu Palette, é utilizado para tornar o projeto realmente funcional, sua função será fornecer uma interface de comunicação Bluetooth ao aplicativo e o componente Notifier terá o papel notificar quando a conexão estiver estabelecida ou houver algum erro.

Após a construção desse layout, migra-se para a tela de edição de blocos. A primeira etapa da construção do app é criar a lógica da conexão bluetooth, a Figura 63, mostra essa etapa.

Figura 63 – Inicialização Bluetooth

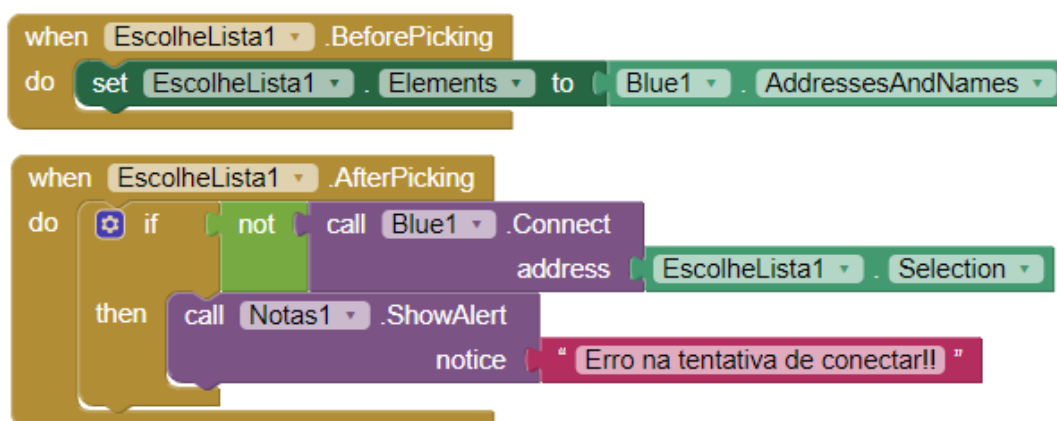


Fonte: (Autor, 2021)

Ao inicializar, o código verifica o bluetooth. Se estiver ativo o sistema já entende. Se não estiver habilitado o usuário recebe a mensagem: “O bluetooth deve estar ativo!!” com opções de “ok” ou “Sair”. Se clicar em “ok” receberá a notificação para ativá-lo e em “Sair” o aplicativo fecha a conexão.

Posteriormente cria uma lista de população, Figura 64, para reconhecer os dispositivos disponíveis para conexão e o usuário possa escolhê-los.

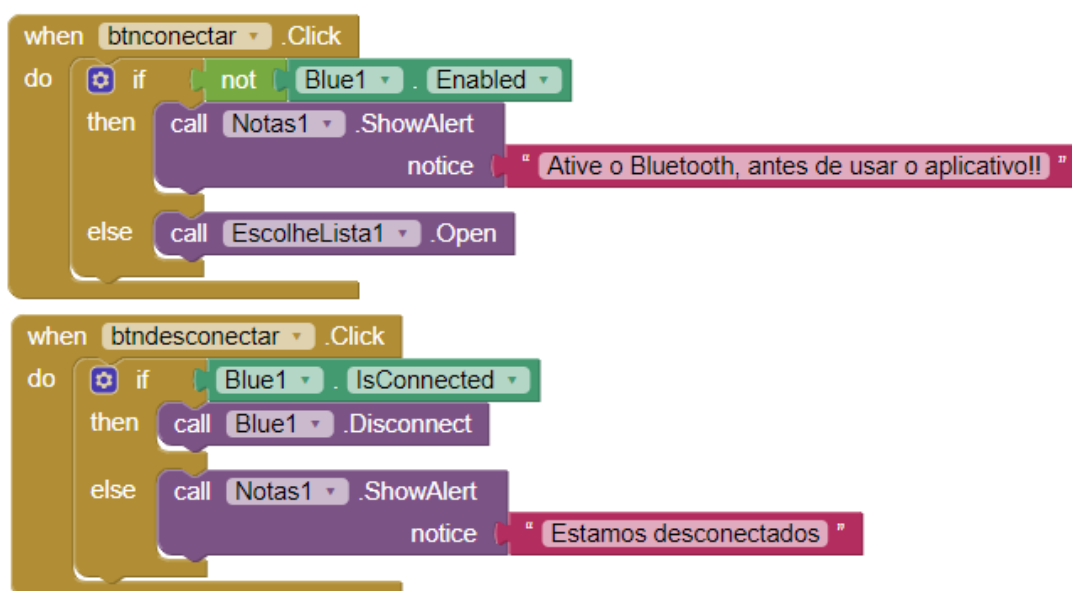
Figura 64 – Pareamento Bluetooth



Fonte: (Autor, 2021)

O primeiro bloco é responsável por carregar a lista de dispositivos próximos e o segundo bloco mostrar a lista ao usuário e efetuar a conexão através do botão de Conectar e Desconectar, visto na Figura 65.

Figura 65 – Conexão e Desconexão Bluetooth



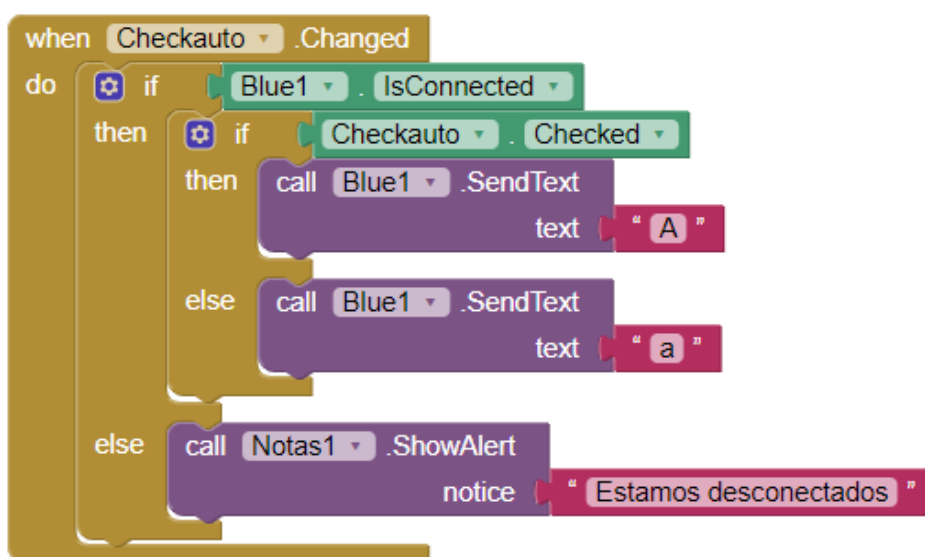
Fonte: (Autor, 2021)

O bloco btnconectar executa a seguinte função: Se o bluetooth não estiver habilitado, irá exibir uma mensagem de alerta e caso esteja habilitado irá mostrar a lista dos próximos dispositivos disponíveis. E o bloco btndesconectar é basicamente a mesma lógica, ocorre primeiro a checagem de conexão, se já tiver conectado a um bluetooth irá desconectar e se não estiver conectado, irá enviar uma alerta.

Neste momento está concluída a configuração do bluetooth, um ponto positivo é que este código é padrão para qualquer aplicação que utilize o bluetooth como comunicação.

Agora deve-se criar a lógica para os botões responsáveis pela movimentação dos eixos do robô cartesiano. Tem-se o botão “Automático”, cuja função é fazer o protótipo verificar de planta a planta a necessidade de irrigação em loop, usa-se um botão check, como visto na Figura 66.

Figura 66 – Botão controle automático

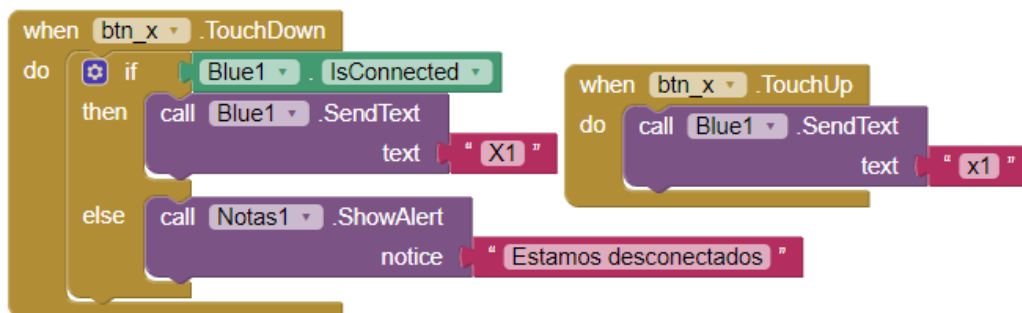


Fonte: (Autor, 2021)

Ao primeiro clicar no botão check, a função que ele desempenha fica habilitada até um segundo clique, em que o botão é desmarcado, desta forma, o protótipo estará verificando as plantas até que haja um segundo clique.

Para coordenar o movimento dos eixos usa-se botões de pressão para a lógica de programação (Figura 67), ou seja, enquanto o botão está sendo pressionado o código implementado está sendo executado e quando o botão não está sendo pressionado nada está sendo executado.

Figura 67– Botão controle eixo X



Fonte: (Autor, 2021)

Com o aplicativo construído, deve ser implementado no código de programação desenvolvido na IDE Arduino os comandos que o app irá enviar para ocorrer a comunicação aplicativo-arduino, como na Figura 68 mostra no void loop a lógica para acompanhar se o arduino está recebendo algo do aplicativo.

Figura 68 – Programação bluetooth

```

void loop()
{
  if (bt.available()) //inicia a leitura
  {
    int inByte = bt.read();
    Serial.println("");
    Serial.write((char)inByte);
    delay(100);
  }
}

```

Fonte: (Autor, 2021)

O código de programação para controle dos eixos será modificado da forma em que não mais controlamos os passos do motor por valores definidos, mas sim mediante a informação recebida do aplicativo, como por exemplo, visto na Figura 69, o que chama-se de teleoperação, onde um operador humano controla cada um de seus atuadores.

Figura 69 – Programação Robô Teleoperado

```

if (inByte=='Z1')
{
  digitalWrite(DirZ, HIGH);
  digitalWrite(StepZ,HIGH);
}
if (inByte=='z1') digitalWrite(StepZ,LOW);
if (inByte=='Z2')
{
  digitalWrite(DirZ, LOW);
  digitalWrite(StepZ,HIGH);
}
if (inByte=='z2') digitalWrite(StepZ,LOW);

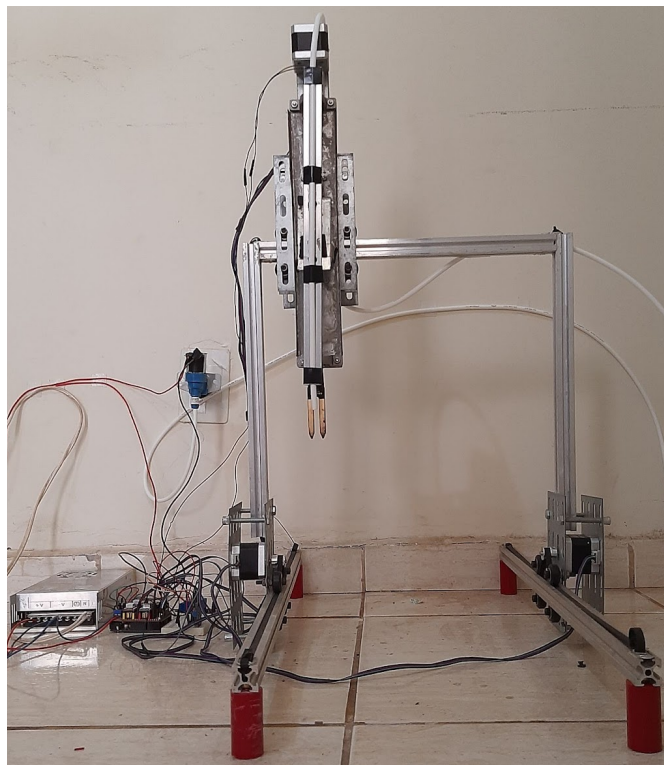
```

Fonte: (Autor, 2021)

Como observado na lógica, enquanto o botão está ativado, o bluetooth envia o sinal através da variável “inByte”, com ‘Z1’, para que continue mandando pulsos para o motor e consequentemente o eixo Z movimenta até que seja desativado o botão, quando o bluetooth envia ‘z1’. O mesmo exemplo se duplica para os demais eixos.

Neste momento, finaliza-se todas as etapas da construção do protótipo de robô cartesiano, e encontra-se um sistema como o da Figura 70.

Figura 70 –Protótipo de Robô Cartesiano Final



Fonte: (Autor, 2021)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa apresenta a construção do protótipo de um robô cartesiano para a aplicação em agricultura, que tem como funcionalidade a irrigação controlada de plantas. O sistema foi idealizado e desenhado no Autocad 3D, constituído de 3 eixos ortogonais que se movimentam nas direções dos eixos cartesianos X,Y e Z. Cada peça foi construída a partir do estudo dos movimentos que eram necessários a serem feitos e aperfeiçoados à medida que os testes eram realizados.

Cada um dos eixos se movimentam da forma idealizada, de forma precisa e assertiva, muito por causa do sistema cartesiano escolhido para esta aplicação, pois é característica de robôs dessa natureza produzirem movimentos exatos. O controle do protótipo através do aplicativo trouxe uma facilidade maior para a aplicação do serviço, vista a larga expansão dos aparelhos celulares no campo, tornando o modelo proposto atrativo e funcional.

A parte do projeto que trouxe maior dificuldade, foi a construção física do robô cartesiano, um pouco por conta da pandemia, que gerou restrições do uso dos laboratórios do Instituto, estes que continham diversas ferramentas facilitadoras para o processo de construção do mesmo, e um pouco pela dificuldade inerente ao processo de se construir algum projeto próprio, mesmo possuindo um projeto inspiração, pois-se está exposto a diversas situações não prevista por conta dos materiais mecânicos.

De início todo o processo de compra de materiais e componentes foi dificultoso, atrasos na entrega por transportadoras e correios, componentes eletrônicos queimados de fábrica, peças não tão regulares em sua anatomia entre outros percalços.

Da construção em si, o que se mostrou mais desafiador, foi o eixo Z. A peça contém diversas sub peças, precisa estar conectada no eixo Y que está suspenso a 300 mm da base, tendo que analisar diversos fatores, como peso e equilíbrio da peça. Entretanto houve sucesso na construção da peça e a mesma executou os movimentos necessários. De modo geral, a construção dos outros eixos são simples, quase que intuitivos.

O software desenvolvido faz com que o protótipo trabalhe como esperado, percorrendo o trajeto necessário ao encontro de cada planta e efetuando a irrigação quando necessário. Os componentes eletrônicos utilizados foram pensados para garantir a estabilidade e robustez durante o funcionamento do robô e proporcionando ao sistema diversas outras implementações futuras.

6 TRABALHOS FUTUROS

Diversas são as possibilidades de aprimoramento do protótipo em questão, a seguir lista-se algumas:

1. Implementar dispositivos visuais, como display LCD, para mostrar continuamente, por exemplo, os valores de umidade do solo.
2. Testar o sistema com outros microcontroladores, como Raspberry PI ou ESP32 que tem a capacidade de proporcionar comunicação sem fio através do Wifi e através do próprio sistema Bluetooth.
3. Conectar o sistema a nuvem, o tornando um objeto IoT, garantindo assim, diversas novas funcionalidades, como a de controle do objeto a qualquer local de distância, acesso a dados em tempo real, bem como alto armazenamento de dados pela tecnologia wi fi. Nesta parte pode se usar ferramentas de desenvolvimento como NodeRed para tornar o objeto um IoT.
4. Adicionar outras ferramentas terminais, além do sensor de umidade, como uma dosadora de sementes, proporcionando ao protótipo mais a funcionalidade de plantar. Também um gancho de pegar, ao eixo Z, podendo adaptá-lo para a colheita programada dos cultivos.
5. Implementar Câmeras RGB ou multiespectrais para controle de pragas, o sistema já utilizado pelos drones que geram imagens que permite diferenciar as plantas saudáveis, as infectadas e como está sendo a proliferação de microorganismos.
6. Adaptá-lo para outras funções, como o sistema é similar ao das impressoras 3D por causa de seus eixos ortogonais, pode ser usado para imprimir objetos em tamanho real, ou utilizado como as máquinas CNC 's, para usinagens de pequenos materiais, gravações de desenhos em materiais como metal e madeira, bastando apenas trocar as ferramentas efetadores, ajustando todo o dispositivo necessário no eixo Z.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arduino UNO. ARDUINO, 2020. Disponível em: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3/>. Acesso em: 12 jan. 2021.

Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada. ANA, 2021. Brasília-DF. Disponível em: <https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/a874e62f27544c6a986da1702a911c6b> Acesso em: 10 fev. 2021.

BARRIENTOS, Antonio et al. **Fundamentos de Robótica.** 1. ed. Madrid: Concepción Fernández Madrid, 1997. p. 327.

BASSOI, Luís Henrique *et al.* **Agricultura de precisão e agricultura digital.** TECCOGS – Revista Digital de Tecnologias Cognitivas, [s. l.], p. 17-36, 20 jul. 2019. Disponível em: https://www.pucsp.br/pos/tidd/teccogs/dossies/2019/edicao_20/teccogs20_dossie01.pdf. Acesso em: 23 fev. 2021.

CALBO, Adonai Gimenez; SILVA, Washington Luiz de Carvalho e. **Sistema Irrigas para Manejo de Irrigação: Fundamentos, Aplicações e Desenvolvimentos.** BRASÍLIA - DF, 20 dez. 2005. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/779586/1/sistemairrigas.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2018.

CARPANEZZI, Leonardo et al. **HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DA MECANIZAÇÃO.** [s. l.], 2016. Disponível em: http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/CxbNYOvf8fSKep0_2018-1-25-14-45-46.pdf. Acesso em: 30 dez. 2020.

MANIPULADOR CARTESIANO ROBÔ GANTRY. **CASSIOLI,** 2021. Disponível em: <https://www.cassioli.com.br/divisao-tire/manipulador-cartesiano-robot-gantry/>. Acesso em: 10 ago. 2021.

CHRISTENSEN, H. I et al. **A Roadmap for US Robotics – From Internet to Robotics 2020.** Edition. Foundations and Trends® in Robotics, vol. 8, no. 4, pp. 307–424, 2021.

COELHO, Pedro Miguel Nogueira. **Rumo à indústria 4.0,** [s. l.], 13 jul. 2016. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/36992>. Acesso em: 2 out. 2020.

CRISTIAN, Cássio. **A invenção da máquina a vapor.** 18 mar. 2021. Disponível em: <https://amantesdaferrovia.com.br/blog/a-invencao-da-maquina-a-vapor>. Acesso em: 26 maio 2021.

DEC, Marlus. **Avaliação e otimização da exatidão geométrica de impressora 3D utilizando medição por coordenadas [DIS]** / Marlus Dec; orientação de Aurélio da Costa Sabino Netto; coorientação de Milton Pereira. – Florianópolis, 2016.

Visão 2030 : o futuro da agricultura brasileira. **Embrapa,** 2018 – Brasília, DF . Disponível em:

<https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Vis%C3%A3o+2030+-+o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a-8cbf-af8e89d62829>. Acesso em: 10 out. 2020.

FARMBOT GENESIS. **FARMBOT**, 2021. Disponível em: <https://farm.bot/>. Acesso em: 3 janeiro 2021.

Módulo Bluetooth RS232 HC-05. **FELIPEFLOP**. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-bluetooth-rs232-hc-05/>. Acesso em: 27 jul. 2021.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY Jr. C.; UMANS, S. D. **Máquinas Elétricas: com Introdução à Eletrônica De Potência**. 6ª Edição, Bookman, 2006.

FILHO, Romeu Soares; CUNHA, João P. A. R da. **Engenharia Agrícola. Agricultura de precisão: particularidades de sua adoção no sudoeste de Goiás** – Brasil, julho/agosto 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n4p689-698/2015>. Acesso em: 26 dez. 2020.

FORNI, Andrea. **ROBÔS. A NOVA ERA: Vivendo, trabalhando e investindo na sociedade robótica do futuro**. [S. l.: s. n.], 2017.

GUIMARAES, V.G. **Automação e Monitoramento Remoto de Sistemas de Irrigação Visando Agricultura Familiar**. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-nº 008/2011, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 81p.

HACKENHAAR, Neusa Maria; HACKENHAAR, Celso; ABREU, Yolanda Vieira de. **Robótica na agricultura**. 1 jun. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1518-70122015110>. Acesso em: 27 jul. 2021.

What is Industry 4.0?. **IBM**, 2020. Disponível em: <https://www.ibm.com/topics/industry-4-0>. Acesso em: 18 maio 2021.

INAMASU, Ricardo Yassushi; BERNARDI, Alberto C. de Campos. **Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar**. Capítulo 1, EMBRAPA, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114258/1/cap-1.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2020.

Plant Science, Robotics, and Data: A Pathway to Carbon Negative. **IRON OX**, 2021. Disponível em: <https://ironox.com/technology/>. Acesso em: 10 ago. 2021.

Válvula Solenóide para Irrigação. **IRRIGAQUI**, 2017. Disponível em: <https://www.irrigaqui.com.br/valvula-solenoid-irrigacao>. Acesso em: 27 jul. 2021.

Industry 4.0 and the fourth industrial revolution explained. **I-SCOOP**, 2021. Disponível em: <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>. Acesso em: 14 ago. 2021.

LENNIY, Dmytro. **Smart Irrigation in Agriculture: How IoT Takes AgTech to the Next Level. Learn how IoT technology transforms conventional irrigation systems into smart**

and highly efficient solutions.[s. l.], 23 dez. 2021. Disponível em: <https://www.intellias.com/smart-irrigation-in-agriculture/>. Acesso em: 18 maio 2021.

LUCIETTI, Donato. **Irrigação das hortaliças**. Nova Veneza - SC, 2014. Disponível em: <http://cultivehortaorganica.blogspot.com/2014/01/irrigacao-das-hortalicas.html?m=1>. Acesso em: 11 fev. 2019.

MATARIC, Maja J. **Introdução a Robótica**. São Paulo: Unesp/Blucher, 2014. v. 1.ed.

MEDEIROS, Valdemar. **Indústria automobilística se reinventa em meio à crise dos semicondutores e traz opções de serviços para o consumidor**. *Automotivo*, [S. l.], 1 set. 2021. Disponível em: <https://clickpetroleogas.com.br/industria-automobilistica-se-reinventa-em-meio-a-crise-dos-semicondutores-e-traz-opcoes-de-servicos-para-o-consumidor/>. Acesso em: 20 out. 2021.

NETO, João Amato. **A indústria de máquinas agrícolas no Brasil - origens e evolução**. *Revista de Administração de Empresas*, 1985. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-75901985000300005>. Acesso em: 23 dez. 2020.

OLIVEIRA, Daniele Lima de. **Impactos do crescimento populacional sobre a produção agrícola de alimentos e demanda dos fatores primários de produção: uma abordagem de blocos econômicos**. [s. l.], p. 1-186, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/bitstream/ufjf/5369/1/danielelimadeoliveira.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2020.

PRETI, Mariana. **O que é a Quarta Revolução Industrial?**[S. l.], 2018. Disponível em: <https://c2ti.com.br/blog/o-que-e-a-quarta-revolucao-industrial-inovacao>. Acesso em: 23 set. 2021.

RIBEIRO, Fernando José Granja. **Dimensionamento de um Pórtico Rolante**. Dissertação do MIEM, [s. l.], 14 jun. 2011. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/61291/1/000148800.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2020.

ROBLEK, Vasja; MEŠKO, Maja; KRAPEŽ, Alojz. **A Complex View of Industry 4.0**, 1 jun. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/2158244016653987>. Acesso em: 24 dez. 2020.

SAATH, Kleverton Clovis de Oliveira; FACHINELLO, Arlei Luiz. **Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil**. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, [S. l.], p. 1-20, 28 jun. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201>. Acesso em: 23 mar. 2021.

SANDEEPANIE, Ishara. **Big Data Analytics in Agriculture**, [s. l.], 15 set. 2020. Disponível em: 10.13140/RG.2.2.25154.81604. Acesso em: 19 nov. 2020.

SANTORO, Marcelo. **Agricultura irrigada ideal e produtiva**. O BLOG DA Logo da Aegro, [S. l.], 18 mai. 2020. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/agricultura-irrigada/>. Acesso em: 19 jul. 2021.

Sensor De Umidade Do Solo Higrômetro. ADROBOTICA Disponível em: <https://www.adrobotica.com/produto/sensor-de-umidade-do-solo-higrometro/>. Acesso em: 27 jul. 2021.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Automação Industrial, Robô Industrial: Robô SCARA: Quando Aplicar?**. [S. l.]. 2019. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/robo-scara/>. Acesso em: 7 jan. 2021.

SILVA, André Pereira da et al. **ASPECTOS E POLÍTICAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA ALEMANHA.** III SINACEN - Simpósio Nacional de Ciências e Engenharias, Anápolis, 17 Jan. 2019. Disponível em: <http://anais.unievangelica.edu.br/index.php/CIPEEX/article/view/2158/1670>. Acesso em: 12 maio 2021.

A Importância da Agricultura. **SLC Agrícola, 2018.** Disponível em: <https://www.slcagricola.com.br/nosso-desafio/>. Acesso em: 12 jan. 2021.

SOUSA, Rafael Vieira de; LOPES, Wellington Carlos; INAMASU, Ricardo Yassushi. **Automação de máquinas e implementos agrícolas: eletrônica embarcada, robótica e sistema de gestão de informação.** Parte IV - Capítulo 11, EMBRAPA, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126970/1/capitulo11-105-14.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2020.

SPONG, Mark W.; HUTCHINSON, Seth; VIDYASAGAR, M. **Robot modeling and control.** [S. l.]: Wiley, 2006. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/11074473/robot-modeling-and-control-livro>. Acesso em: 23 jun. 2020.

Stepper motor - NEMA-17. ADAFRUIT, 2020. Disponível em: <https://www.adafruit.com/product/324>. Acesso em: 27 jul. 2021.

SWART, Jacobus W. **Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas.** CCS e FEEC - UNICAMP, [S. l.], p. 1-28, 2021. Disponível em: <https://www.ccs.unicamp.br/cursos/fee107/download/cap01.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2020.

TESTEZLAF, Roberto. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações.** Campinas, SP: Unicamp/FEAGRI, 2017.

TOFFLER, Alvin. **Artigo – Revoluções industriais: do vapor à Internet das coisas.** In: .. [S. l.], 2000. Disponível em: <https://www.cofecon.org.br/2016/10/13/revolucoes-industriais-do-vapor-a-internet-das-coisas/>. Acesso em: 2 out. 2020.

TRONCO, Mário Luiz. **Robôs Industriais – conceitos, classificação, aplicação e programação.** [S. l.], p. 1-115, 27 mar. 2017. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3265250/mod_resource/content/1/Aula_Rob%C3%B3tica_2017.pdf. Acesso em: 1 jun. 2021.

VALLE, Santiago Santos; KIENZLE, Josef. **Agriculture 4.0 – Agricultural robotics and automated equipment for sustainable crop production**. Integrated Crop Management Vol. 24. Rome, FAO. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/3/cb2186en/CB2186EN.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2021.

ZAMBON, Ilaria *et al.* **Revolution 4.0: Industry vs. Agriculture in a Future Development for SMEs**. [s. l.], 13 jan. 2019. Disponível em: 10.3390/pr7010036. Acesso em: 17 fev. 2021.

ZAPAROLLI, Domingos. **Agricultura 4.0**. Pesquisa FAPESP, [S. l.], p. 1-1, 22 jan. 2020. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/agricultura-4-0/>. Acesso em: 14 jul. 2021.

WOLFERT, Sjaak; GE, Lan; BOGAARDT, Marc-Jeroen. **Big Data in Smart Farming – A review**. [s. l.], 23 jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.023>. Acesso em: 14 jan. 2021.