



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**WILLIAN VIRGÍLIO DOS SANTOS SILVA**

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA ROBÓTICO  
PARA PLANTIO AUTOMATIZADO DE VEGETAIS UTILIZANDO AGRICULTURA  
DE PRECISÃO E VISÃO COMPUTACIONAL**

**FORTALEZA**

**2024**

WILLIAN VIRGÍLIO DOS SANTOS SILVA

DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA ROBÓTICO  
PARA PLANTIO AUTOMATIZADO DE VEGETAIS UTILIZANDO AGRICULTURA DE  
PRECISÃO E VISÃO COMPUTACIONAL

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Engenharia Elétrica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Elétrica. Área de Concentração: Sistemas de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Gonzalez Nogueira.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- S584d Silva, Willian Virgilio dos Santos.  
Desenvolvimento e análise experimental de um sistema robótico para plantio automatizado de vegetais utilizando agricultura de precisão e visão computacional. / Willian Virgilio dos Santos Silva. – 2024.  
57 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2024.  
Orientação: Prof. Dr. Fabrício Gonzalez Nogueira.  
Coorientação: Prof. Dr. Bismark Claire Torrico.
1. Agricultura de precisão. 2. Visão computacional. 3. Internet das coisas. 4. Computação na nuvem. 5. Farmbot. I. Título.

CDD 621.3

---

WILLIAN VIRGÍLIO DOS SANTOS SILVA

DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA ROBÓTICO  
PARA PLANTIO AUTOMATIZADO DE VEGETAIS UTILIZANDO AGRICULTURA DE  
PRECISÃO E VISÃO COMPUTACIONAL

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Engenharia Elétrica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Elétrica. Área de Concentração: Sistemas de Energia.

Aprovada em: xx/xx/xxxx.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Fabrício Gonzalez Nogueira (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Bismark Claire Torrico (Co-orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Guilherme de Alencar Barreto  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Adunias dos Santos Teixeira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Agradeço a Deus, minha família, esposa e filhos, minha mãe, meu orientador, e demais colegas dentro do programa de mestrado, por ter me dado forças nessa jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

À Instituição Funcap, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Prof. Dr. Fabrício Gonzalez Nogueira, pela excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Dr. Bismark Claire Torrico e Prof. Dr. Victor Hugo Costa de Albuquerque pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos colegas da turma de mestrado, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

“A persistência é o menor caminho do êxito”.  
(Charles Chaplin)

## RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um robô de agricultura de precisão , utilizando como base a documentação do *farmbot*, capaz de gerenciar áreas de vegetais, frutas rasteiras e leguminosas dentro de uma cultura de vegetais. Ele utiliza visão computacional e processamento baseado em nuvem, e através da tecnologia de comunicação Transporte de telemetria por enfileiramento de mensagens (MQTT) da rede Internet das coisas (IoT), que, por meio de um aplicativo web, um gêmeo digital coordena atividades de plantio como semeadura, controle de ervas daninhas e irrigação em um canteiro elevado de cultivo de vegetais onde o robô físico está instalado. Uma análise dos métodos de visão computacional para detecção automática de ervas daninhas sob diferentes condições e objetos estranhos é apresentada. De acordo com os resultados experimentais e os cenários de experimento. Ao final serão apresentadas algumas propostas de melhorias, teóricas, para reduzir a detecção falsa objetos estranhos como ervas daninhas no canteiro.

**Palavras-chave:** agricultura de precisão; visão computacional; iot; computação na nuvem; gêmeo digital; farmbot; consumo eficiente.

## **ABSTRACT**

This work presents the development of a precision agriculture robot capable of managing vegetable, berry, and legume patches within a vegetable crop. It utilizes computer vision, Internet of Things (Iot) cloud-based processing, which, through an online webapp a digital twin coordinates planting activities such as sowing, weed control, and watering in a real vegetable crop raised bed where the physical robot is installed. An analysis of the computer vision methods for automatic weed detection under different conditions and artifacts is presented. According to experimental results, by the experiment scenarios, some computational theoretical improvements are proposed in order to reduce false detection of weeds such artifacts in the raised crop bed.

**Keywords:** precision agriculture; computer vision; iot; cloud computing; digital twin; farmbot; efficient consumption.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Canteiro de hortaliças montados em locais abertos. . . . .	16
Figura 2 – Sistema robótico desenvolvido, montado no canteiro de plantas, em diversas perspectivas. . . . .	19
Figura 3 – Principais componentes do sistema robótico desenvolvido. . . . .	20
Figura 4 – Conexões dos eletrônicos mapeando a localização do robô. . . . .	21
Figura 5 – Canteiro de hortaliças com sistema de drenagem. . . . .	22
Figura 6 – Peças plásticas, feitas em impressora 3D. . . . .	23
Figura 7 – Detalhes dos principais elementos que compõe a estrutura do robô. . . . .	24
Figura 8 – Placa de Circuito Impresso (PCB)s <i>farmduino</i> , <i>Arduino Mega 2560</i> e <i>Ramps shield 1.4</i> com drivers. . . . .	25
Figura 9 – Sensores de umidade de solo, original e genérico. . . . .	27
Figura 10 – Motor original , com <i>encoder</i> acoplado. . . . .	28
Figura 11 – Bombas de vácuo, com filtro Interferência eletromagnética (EMI) integrado no topo da bomba, o outro com o filtro colocado em area externa e ligado por fiação. . . . .	29
Figura 12 – Visão da base da Ferramenta de montagem universal (UTM). . . . .	30
Figura 13 – Câmera boroscópica fixada na ponta do braço do eixo Z. . . . .	31
Figura 14 – Sensor de Umidade do Solo Montado na UTM e no solo. . . . .	32
Figura 15 – A esquerda a ferramenta semeadora já na direita é o dispenser das sementes. . . . .	33
Figura 16 – Ferramenta de regagem montada na UTM. . . . .	34
Figura 17 – Ferramenta Ferramenta eliminadora de erva daninhas montada na UTM. . . . .	35
Figura 18 – Parte do sistema é integrado na nuvem ( <i>webApp</i> e <i>openfarm.cc</i> , já o <i>farm_os</i> e o <i>firmware</i> são integrados no hardware do robô . . . . .	36
Figura 19 – Interface de usuário para operação e monitoramento. . . . .	37
Figura 20 – Plataforma <i>onshape</i> , na figura ao lado uma visão explodida da ferramenta UTM. . . . .	38
Figura 21 – Perfil do farmbot no <i>github</i> . . . . .	39
Figura 22 – Cronograma dos regimes de regagem para todas as plantas. . . . .	40
Figura 23 – Alteração do espectro de cor. . . . .	41
Figura 24 – O sensor de solo está montado na baia de ferramentas. . . . .	42

Figura 25 – O software para escolher uma cultura a ser plantada no canteiro. A ferramenta semeadora pega a semente e a deposita no solo. . . . .	43
Figura 26 – O mapeamento das ervas daninhas no gêmeo digital. . . . .	43
Figura 27 – Ervas daninhas marcadas com um círculos vermelho, já os verdes indicam as sementes que foram plantadas. . . . .	44
Figura 28 – As ervas daninhas estão marcadas com um círculo vermelho, enquanto os pontos verdes indicam onde as sementes foram plantadas. . . . .	46
Figura 29 – As ervas daninhas estão marcadas com um círculo vermelho, enquanto os pontos verdes indicam onde as sementes foram plantadas. . . . .	46
Figura 30 – As plantas de salsa crescidas, observe o solo escuro, indicando um período que há pouca incidência de luz. . . . .	47
Figura 31 – Alterar o intervalo de cores para o intervalo rosa faz com que o Algoritmo de detecção de ervas daninhas (ADED) não corresponda às ervas daninhas reais. . . . .	48
Figura 32 – objetos estranhos distribuídos no solo. . . . .	50
Figura 33 – Detecção de ervas daninhas falsas: as ervas não têm histórico de crescimento nesta área. . . . .	51
Figura 34 – O fluxograma ilustra a estratégia para detectar objetos estranhos integrando novos processos lógicos ao ADED nativo. . . . .	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrilonitrila butadieno estireno
ADED	Algoritmo de detecção de ervas daninhas
API	Interface de Programação de Aplicações
CC0	<i>Creative commons</i>
CO2	Dióxido de carbono
EMI	Interferência eletromagnética
IoT	Internet das coisas
LiDAR	<i>Light detection and ranging</i>
MIT	Instituto de Tecnologia de Massachusetts
MQTT	Transporte de telemetria por enfileiramento de mensagens
PCB	Placa de Circuito Impresso
PWM	Modulação por Largura de Pulso
SDED	Sistema de detecção de ervas daninhas
UTM	Ferramenta de montagem universal

## LISTA DE SÍMBOLOS

<i>W</i>	Potência elétrica medida em Watts
<i>Vdc</i>	Tensão em corrente continua
%	Porcentagem
°	Ângulos
<i>kg/cm</i>	Quilograma por centímetro
<i>N/cm</i>	Newton centímetro
<i>m</i>	Metro
<i>cm</i>	centímetro
<i>mm</i>	milímetro
<i>GB</i>	GigaByte

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Contextualização</b>	<b>14</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivo do trabalho</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>O SISTEMA ROBÓTICO DESENVOLVIDO</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Visão geral do Robô</b>	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>Detalhamento</b>	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>Detalhes da interligação entre os componentes na estrutura.</b>	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>Detalhamento dos componentes do sistema desenvolvido</b>	<b>22</b>
<b>2.4.1</b>	<i>O canteiro</i>	<b>22</b>
<b>2.4.2</b>	<i>Peças fabricadas em impressão 3D</i>	<b>23</b>
<b>2.4.3</b>	<i>Perfis de alumínio estrutura</i>	<b>23</b>
<b>2.4.4</b>	<i>Juntas de montagem</i>	<b>24</b>
<b>2.4.5</b>	<i>Materiais diversos para montagem</i>	<b>24</b>
<b>2.4.6</b>	<i>Raspberry PI</i>	<b>25</b>
<b>2.4.7</b>	<i>Microcontrolador Arduíno</i>	<b>25</b>
<b>2.4.8</b>	<i>Sistema de alimentação</i>	<b>26</b>
<b>2.4.9</b>	<i>Filtro EMI, supressor de ruídos</i>	<b>26</b>
<b>2.4.10</b>	<i>Conversor DC-DC</i>	<b>26</b>
<b>2.4.11</b>	<i>Sensor fim de curso</i>	<b>26</b>
<b>2.4.12</b>	<i>Sensor de umidade do solo</i>	<b>27</b>
<b>2.4.13</b>	<i>Câmera boroscópica</i>	<b>27</b>
<b>2.4.14</b>	<i>Motores Nema 17 e drivers de acionamento</i>	<b>27</b>
<b>2.4.15</b>	<i>Bomba de vácuo</i>	<b>28</b>
<b>2.4.16</b>	<i>Válvula Solenoide</i>	<b>29</b>
<b>2.5</b>	<b>Periféricos intercambiáveis do robô</b>	<b>29</b>
<b>2.5.1</b>	<i>Base de montagem de ferramenta</i>	<b>29</b>
<b>2.5.2</b>	<i>Câmera Monocular Boroscópica</i>	<b>30</b>
<b>2.5.3</b>	<i>Sensor de Umidade do Solo</i>	<b>31</b>
<b>2.5.4</b>	<i>Semeadora</i>	<b>32</b>
<b>2.5.5</b>	<i>Ferramenta regadora</i>	<b>33</b>

2.5.6	<i>Ferramenta eliminadora de erva daninhas</i> . . . . .	34
2.6	<b>Sistemas de Software</b> . . . . .	35
2.6.1	<i>Farm_os, o sistema operacional</i> . . . . .	35
2.6.2	<i>Firmware, o integrador dos periféricos</i> . . . . .	35
2.6.3	<i>WebApp, o serviço de processamento na nuvem</i> . . . . .	36
2.6.4	<i>O banco de dados das plantas openfarm.cc</i> . . . . .	36
2.6.5	<i>Tecnologia de comunicação do sistema utilizando o MQTT</i> . . . . .	36
2.6.6	<i>Interface web</i> . . . . .	37
2.7	<b>Documentação</b> . . . . .	37
2.7.1	<i>Hardware</i> . . . . .	37
2.7.2	<i>Software</i> . . . . .	38
2.7.3	<i>Desenvolvimento</i> . . . . .	38
2.7.4	<i>Projeto no Github.</i> . . . . .	39
3	<b>TAREFAS AUTOMATIZADAS DO SISTEMA</b> . . . . .	40
3.1	<b>Regimentos de Regagem</b> . . . . .	40
3.2	<b>Alteração do espectro de cores</b> . . . . .	41
3.2.1	<i>Leitura da umidade do solo</i> . . . . .	41
3.3	<b>Mecanismo de semear</b> . . . . .	42
3.4	<b>Deteção de ervas daninhas por meio de visão computacional</b> . . . . .	43
4	<b>RESULTADOS EXPERIMENTAIS</b> . . . . .	45
4.1	<b>O experimento usando simulacros de ervas daninhas</b> . . . . .	45
4.2	<b>Experimento com ervas de folhas verdes</b> . . . . .	46
4.3	<b>Alterar a cor do espectro para encontrar flores de ervas daninhas (experimento com flores serrilhadas cor-de-rosa)</b> . . . . .	47
4.4	<b>Experimento com objetos estranhos.</b> . . . . .	50
5	<b>DISCUSSÃO DOS EXPERIMENTOS</b> . . . . .	52
5.1	<b>ADED não consegue diferenciar entre erva daninha e objetos estranhos</b> . . . . .	52
5.2	<b>A degradação da luz afeta a identificação de ervas daninhas</b> . . . . .	52
5.3	<b>Melhorias propostas ao Sistema de deteção de ervas daninhas (SDED)</b> . . . . .	53
6	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b> . . . . .	55
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	56

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

O problema da segurança alimentar é uma questão complexa que afeta bilhões de pessoas em todo o mundo. Produzir alimentos suficientes para atender à demanda global é um desafio crescente, exacerbado por vários fatores, como mudanças climáticas, alterações nos padrões de chuva, aumento da temperatura e outros fatores ao redor do mundo. Essas mudanças podem reduzir a disponibilidade de água doce, essencial para a agricultura, e impactar negativamente a saúde do solo.

Além disso, a expansão agrícola frequentemente leva ao desmatamento e à perda de biodiversidade, comprometendo os ecossistemas que sustentam a produção de alimentos. O uso intensivo de fertilizantes e pesticidas, por sua vez, pode poluir solos e corpos d'água, afetando a saúde humana e ambiental. A crescente urbanização também pressiona as terras agrícolas, reduzindo o espaço disponível para cultivo.

Aumentar a produtividade e reduzir os custos envolvidos no processo pode ser alcançado minimizando o desperdício nos processos de semeadura e irrigação, e prevenindo o crescimento de ervas daninhas nos campos de cultivo. As ervas daninhas agem como parasitas, consumindo a água e os nutrientes destinados às plantas cultivadas próximas.

Um exemplo primordial é o uso racional de insumos facilitado pelas tecnologias de agricultura de precisão. O uso racional de insumos para cultivo é um elemento crítico na redução dos custos de produção e na preservação dos recursos naturais, como a água. A agricultura é responsável por aproximadamente 70% do consumo de água doce do mundo (FAO, 2017). Consequentemente, a gestão da água é muito importante e deve ser executada de forma eficiente.

Portanto, para manter e aumentar os níveis de produção de alimentos, a agricultura está expandindo cada vez mais suas pesquisas em novas tecnologias de plantio. Uma área significativa é a robótica em agricultura de precisão, que ajuda a mitigar desafios como o crescimento populacional, a escassez de mão de obra qualificada em agronomia e a urbanização acelerada. Ao automatizar tarefas comuns de trabalho, como preparação do solo, semeadura e controle de pragas, essas tecnologias robóticas reduzem a dependência de mão de obra humana e aumentam a eficiência, garantindo práticas agrícolas mais sustentáveis (Oliveira, Moreira, Silva, 2021).

Muitos projetos envolvem a navegação de robôs por cultivos de áreas abertas usando

vários tipos de mecanismos de locomoção, como rodas, esteiras ou até mesmo pernas. Cada um desses mecanismos possui um algoritmo específico e complexo, geralmente um sistema complexo, com hardware caro e vários sensores como unidades inerciais, giroscópios, acelerômetros, dispositivos ultrassônicos, *Light detection and ranging* (LiDAR) e outros, tudo para determinar a posição relativa do robô e navegar pelos campos abertos (Yang, Wang, Meng, et al., 2023).

O processamento de imagens é um componente crucial utilizado pelos sistemas de visão computacional em agricultura de precisão. Através da aquisição de imagens usando uma câmera, essas imagens são então processadas por computador para extrair e classificar informações, como a detecção de doenças em plantas, culturas ou frutas. A detecção de ervas daninhas, por exemplo, pode ajudar a reduzir o consumo de herbicidas e água fresca, não apenas porque as ervas daninhas consomem água para crescer, mas também porque os herbicidas precisam ser misturados com água fresca. Essas tecnologias ajudam os agricultores a detectar problemas cedo e aplicar intervenções direcionadas, aumentando o rendimento e reduzindo o desperdício (Thakur, Venu, Gurusamy, 2023).

Segundo Shorewala, et al. (2021) é proposto um método voltado para determinar a densidade de ervas daninhas calculando a proporção de pixels identificados como ervas daninhas em relação ao número total de pixels em uma área de cultivo dada. Essa metodologia permite o mapeamento preciso e a distribuição de ervas daninhas dentro dos campos de cultivo. Tal precisão permite práticas de manejo direcionadas, incluindo a aplicação de herbicidas especificamente nas áreas afetadas por ervas daninhas (Slaughter, Giles, Downey, 2018). Ao focar tratamentos apenas onde necessário, essa abordagem reduz significativamente as perturbações ao solo e às plantas, diminuindo os custos associados ao uso de pesticidas e ao consumo de água e aumentando a sustentabilidade agrícola geral.

Outro ponto relevante é a detecção da umidade do solo e outros parâmetros ambientais, como temperatura, umidade e níveis de Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Neste campo, as tecnologias de IoT são atraentes, utilizando informações de sensores para um sistema inteligente de tomada de decisões (David, Anand, Martin, 2020). A partir dos dados de IoT, os sistemas agrícolas podem aumentar significativamente a eficiência no uso da água. Esta integração de tecnologia facilita o controle preciso da irrigação, garantindo que os recursos hídricos sejam utilizados de forma ótima e sustentável (Keswani, Mohapatra, Mohanty, et al. 2019).

Lançado em 2016 por uma equipe de engenheiros de uma startup baseada na Califórnia, o Farmbot representa uma tecnologia inovadora que utiliza algoritmos avançados de

visão computacional para plantio preciso (FARMBOT, 2023) . Este sistema é projetado para automatizar o processo de plantio de leguminosas, vegetais de raiz e frutas de crescimento rasteiro, aumentando significativamente a produtividade, sendo altamente escalável, tornando-o adequado para diversas áreas de plantio, desde pequenos canteiros de jardim até extensos terrenos e estufas . Esta escalabilidade ajuda na conservação de água, redução de custos de mão de obra e otimização do uso de outros recursos vitais (Murcia, Palacios, Barbieri, 2021). Pesquisadores e estudantes ao redor do mundo implementaram com sucesso plataformas baseadas no FarmBot, utilizando a documentação de código aberto fornecida (Moscoso, Sorogastúa, Gardini, 2018).

A Figura 1 apresenta dois exemplos de robôs *FarmBot* com 2 duas diferentes opções de montagem em canteiro externo, utilizando piquetes e blocos de concreto (Figura 1a) e laterais com tabuas (Figura 1b). Além da montagem do canteiro utilizando madeira há a possibilidade de instalar os trilhos sobre estruturas de piquetes, o que torna uma opção interessante para canteiros abertos. De fato o que limita o comprimento do canteiro será apenas o tamanhos das tubulações e conexões de mangueiras, além do tamanho disponível do terreno em si.

Figura 1 – Canteiro de hortaliças montados em locais abertos.



Fonte: Elaboração do autor. Fotos tiradas do site: <https://farm.bot/blogs/news/its-time-for-farmbot-express-and-genesis-max>

## 1.2 Objetivo do trabalho

Esta dissertação tem como objetivo principal o desenvolvimento, montagem e análise experimental de um robô baseado no FarmBot, equipado com capacidades para plantio, irrigação e detecção de ervas daninhas.

De forma específica, tem-se como objetivos a experimentação de diferentes cenários que introduzem objetos estranhos na cultura, a fim de avaliar a eficácia dos algoritmos de visão computacional usados no sistema de detecção de ervas daninhas (SDED). Dada a experiência

de um conjunto de testes experimentais, são propostas melhorias a serem implementadas nos algoritmos de detecção de ervas daninhas (ADED) a fim de reduzir o número de falsas detecções.

## 2 O SISTEMA ROBÓTICO DESENVOLVIDO

### 2.1 Visão geral do Robô

Este capítulo descreve o projeto e montagem dos componentes eletrônicos e eletromecânicos integrados ao sistema desenvolvido. O robô possui uma estrutura de robô cartesiano com 3 graus de liberdade (coordenadas X, Y e Z) e acionamento baseado em motores de passo. As trajetórias de movimento são realizadas automaticamente dado o plano de tarefas definidas pelo usuário no software de planejamento e monitoramento de atividades. Essas definições são realizadas em uma plataforma de internet baseada em nuvem.

Dentre as tarefas que o robô tem capacidade de realizar, destacam-se: aquisição de imagens, monitoramento de umidade do solo, detecção e erradicação ervas daninhas ao redor das plantas, rega automática e automação de semeadura de sementes.

### 2.2 Detalhamento

A Figura 2 refere-se a imagens do robô, em diferentes perspectivas, montado no canteiro de cultivo de vegetais. Na Figura 2a mostra o robô montado por completo, em cima do canteiro. O canteiro possui dimensões de 1 m de largura, 1,5 m de comprimento e 30 cm de altura. O *frame* do robô é inteiramente construído com perfis de alumínio estrutural do tipo *V-slot*. A estrutura é montada sobre trilhos, também de alumínio estrutural, e move-se por meio de rolamentos. Os movimentos do eixo X são executados por dois motores *NEMA 17*, acoplados a correias dentadas *GT2* que se estendem pelo comprimento do canteiro, sendo fixadas nas extremidades dos trilhos. Na figura 2b é possível perceber detalhes como as peças de plástico que funcionam como capa, protegendo as estruturas sensíveis à chuva, como os motores, o braço central referente ao eixo Z. A Figura 2c é uma foto, em perspectiva oblíquá do robô. Destaca-se nela o pórtico principal da estrutura. A Figura 2d é uma foto das ferramentas estacionadas em um suporte na parte inicial do canteiro.

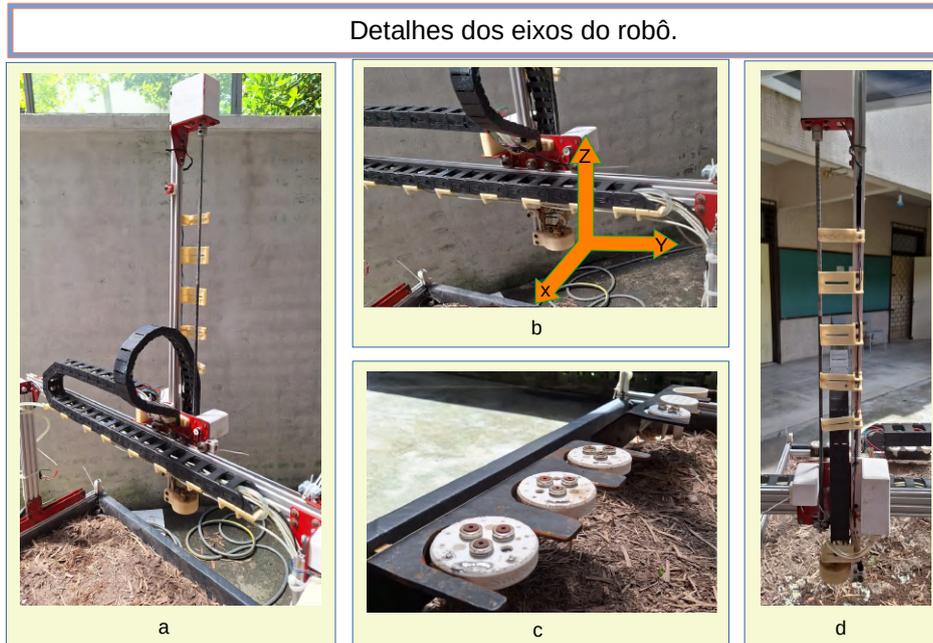
Figura 2 – Sistema robótico desenvolvido, montado no canteiro de plantas, em diversas perspectivas.



Fonte: Elaboração do autor. Fotos tiradas na Universidade Federal do Ceará (2024, Laboratório GPAR).

Os principais componentes do robô são ilustrados na Figura 3. O braço do eixo Z desloca-se por um pórtico no eixo Y, que se movimenta sobre trilhos ao longo do canteiro, no eixo X. Diversas ferramentas em formato de ponteiras podem ser acopladas ao suporte do braço, sendo utilizadas para funções como plantio de sementes, irrigação, aplicação de herbicidas e detecção de características do solo.

Figura 3 – Principais componentes do sistema robótico desenvolvido.



- a – O braço deslizante do eixo Z é montado na viga principal (eixo Y) e, em seguida, montado nos trilhos na lateral do canteiro de cultivo (eixo X).  
 b – As setas demonstram os três eixos (X, Y e Z) nos quais a cabeça da ferramenta pode se mover.  
 c – As ponteiros são armazenadas nos slots do suporte de ferramentas, no início do canteiro.  
 d – O braço do eixo Z de uma visão perspectiva.

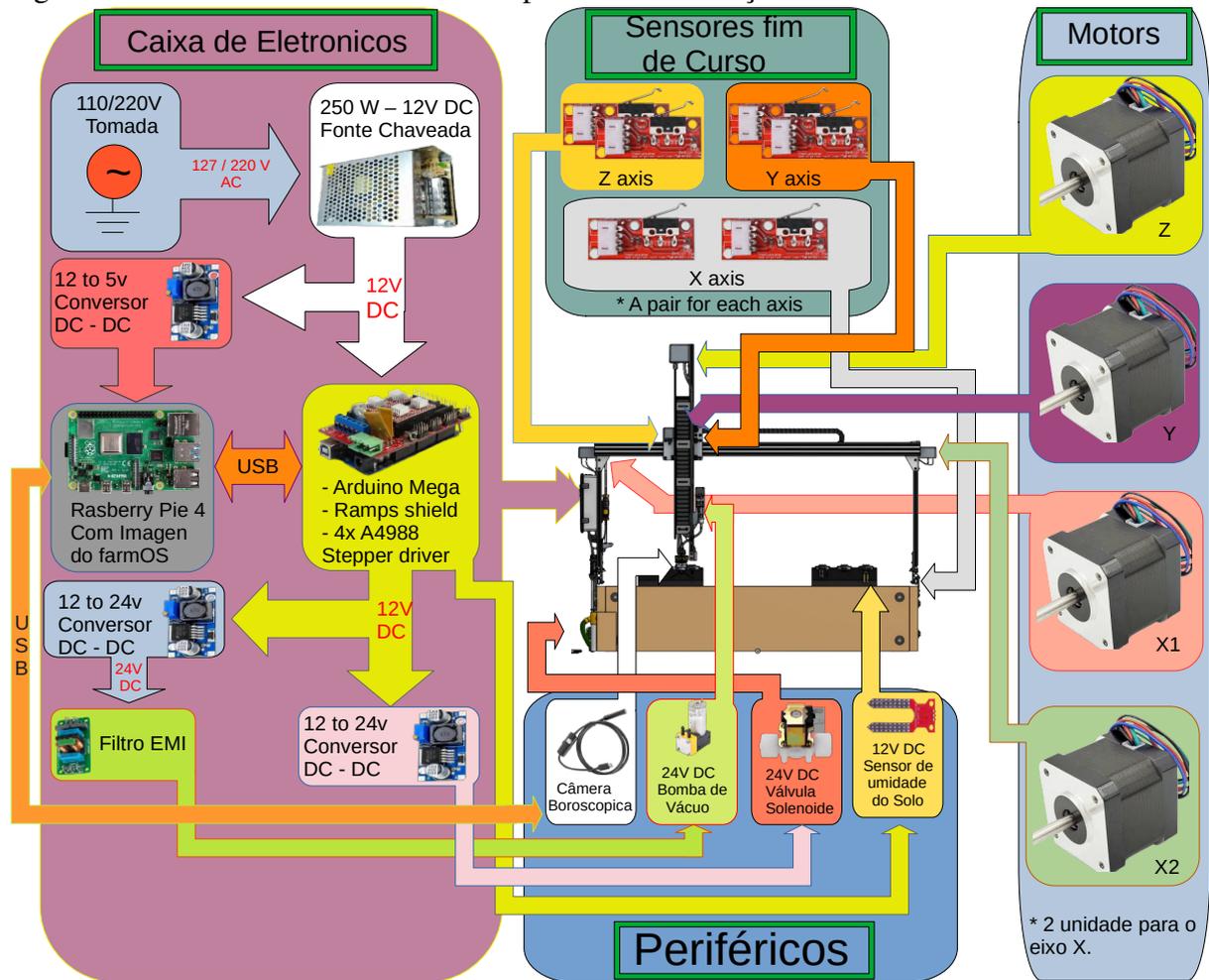
Fonte: Elaboração do autor. Fotos tiradas na Universidade Federal do Ceará (2024, Laboratório GPAR)

Embora esse tipo de sistema de acionamento de movimento em trilhos não seja recomendado em agricultura de precisão para grandes áreas de campos abertos, esse sistema se torna relevante para automação do manejo de canteiros de pequeno porte, que cada vez mais vêm conquistando espaço no mercado *indoor*.

### 2.3 Detalhes da interligação entre os componentes na estrutura.

Um diagrama de blocos dos componentes do sistema é apresentado na Figura 4. Uma placa *Arduino Mega* é utilizada como a placa-mãe do robô com o objetivo de controlar os motores e ler os sensores. Ela está equipada com um *shield Ramps 1.4* e quatro *drivers* de motores de passo. Uma fonte de alimentação de 250W e 12Vdc fornece energia suficiente para os componentes eletrônicos, motores e periféricos, como a bomba de vácuo e uma válvula solenoide. Ambos os periféricos utilizam um conversor amplificador DC-DC para elevar a voltagem para 24Vdc.

Figura 4 – Conexões dos eletrônicos mapeando a localização do robô.



Fonte: Elaboração do autor. (2024)

Um *Raspberry Pi*, com uma imagem de software baseada em Linux instalada no cartão de memória *microSD*, gerencia a comunicação com o gêmeo digital na internet, transmitindo comandos para os motores e periféricos. O *Raspberry Pi* e a placa *Arduino Mega* são conectados via interface USB. O *Raspberry Pi* é alimentado diretamente através dos pinos *GPIO 4* e *6* com 5 Vdc, fornecidos pelo conversor redutor DC-DC diretamente da fonte de alimentação, enquanto o *Arduino Mega* é alimentado com 12Vdc conectados ao *shield Ramps 1.4* diretamente da fonte de alimentação. Uma câmera boroscópica é usada para adquirir imagens e o processamento é feito através do *Raspberry Pi*.

Nas próximas subseções serão apresentados detalhes sobre cada um dos elementos utilizados na plataforma robótica.

## 2.4 Detalhamento dos componentes do sistema desenvolvido

### 2.4.1 O canteiro

Todo a parte física da montagem deste projeto, para este estudo em específico, foi instalada em cima de um canteiro de hortaliças, porem o robô é versátil, sua montagem pode ser feita em outros locais, não necessariamente sobre tabuas de madeira. Em locais abertos pode-se colocar pequenos piquetes, distanciados a cada 1,5 m de distancia em média, permitindo que cubra áreas mais extensas.

O canteiro para este projeto foi construído em madeira em um local com teto de vinil, tem comprimento de 150cm ,900 cm de largura e 30 cm de altura, sobre rodas para facilitar a movimentação no patio do laboratório. A Figura 5 tem 4 imagens de diferentes etapas da montagem do canteiro: A primeira etapa (Figura 5a ) é a montagem do canteiro; em seguida ( Figura 5b ), é colocada uma manta impermeabilizante; logo após, é preenchida com argila expandida e uma manta filtrante (Figura 5c ) que funciona como separador entre o solo e as pedras; também é instalada uma caixa de inspeção que serve como dreno de água (Figura 5d ). Esse recurso proporciona um espaço vazio para acumular água caso o canteiro seja regado em excesso, evitando que degrade o solo com infestação de fungos e redução dos níveis de oxigênios adequados para as plantas. Sobre as laterais do canteiro foram parafusados perfis de alumínio estruturado 20x20mm quer servem como trilhos para a estrutura do pórtico.

Figura 5 – Canteiro de hortaliças com sistema de drenagem.

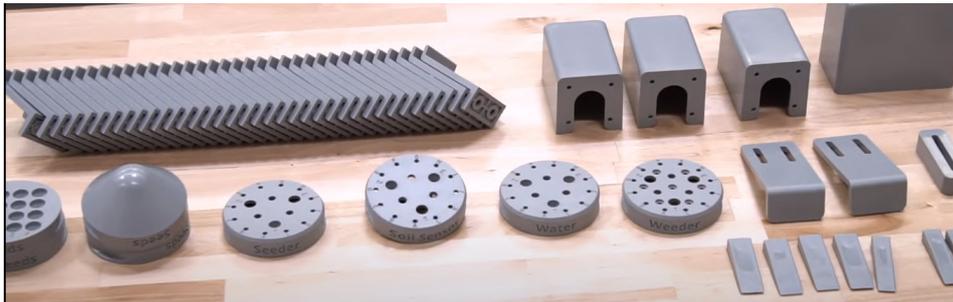


Fonte: Elaboração do autor. Fotos tiradas na Universidade Federal do Ceará (2024, Laboratório GPAR).

### 2.4.2 Peças fabricadas em impressão 3D

As peças plásticas do robô ( Figura 6) foram impressas em uma impressora 3D, utilizando filamento plástico do tipo Acrilonitrila butadieno estireno (ABS), o que garante boa rigidez estrutural e longevidade. Esse material é frequentemente utilizado em projetos destinados ao uso externo, pois suporta intempéries climáticas, como as altas temperaturas típicas da região de Fortaleza, no Ceará.

Figura 6 – Peças plásticas, feitas em impressora 3D.



Fonte: Elaboração do autor. *Frame* retirado do vídeo, do site oficial projeto *farmbot* : <https://genesis.farm.bot/v1.7/bom/plastic-parts>

Todas as peças plásticas não fazem parte estrutural de suporte do robô; elas são utilizadas apenas como cobertura (capa) para proteger componentes sensíveis contra respingos de água da chuva, tais como motores e bomba de vácuo, além de serem usadas para outras funções, como dispenser de sementes e as ferramentas do robô, como a regadora e a semeadora.

### 2.4.3 Perfis de alumínio estrutural

O *frame* principal do robô é montado em perfil *v-slot* de alumínio estrutural anodizado, com perfis de 20x60mm, usados nas partes da estrutura referente aos eixos X e Y e 20x20mm referente ao eixo Z. Os perfis para montagem das colunas, que iram correr sobre o eixo X, têm um tamanho fixo de 500mm, já para o eixo Z, o tamanho fixo é de 1000mm. O comprimento do perfil para a montagem do pórtico, referente ao eixo Y, varia dependendo do projeto, porém é importante considerar que os canteiros não devem ter uma largura muito extensa devido ao estresse mecânico das juntas de conexão, além de dificultar a colheita e o manuseio das plantas no centro. Portanto é recomendado no máximo 3000mm para o tamanho do perfil do pórtico, proporcionando 1500mm de margem de trabalho das extremidades ao centro.

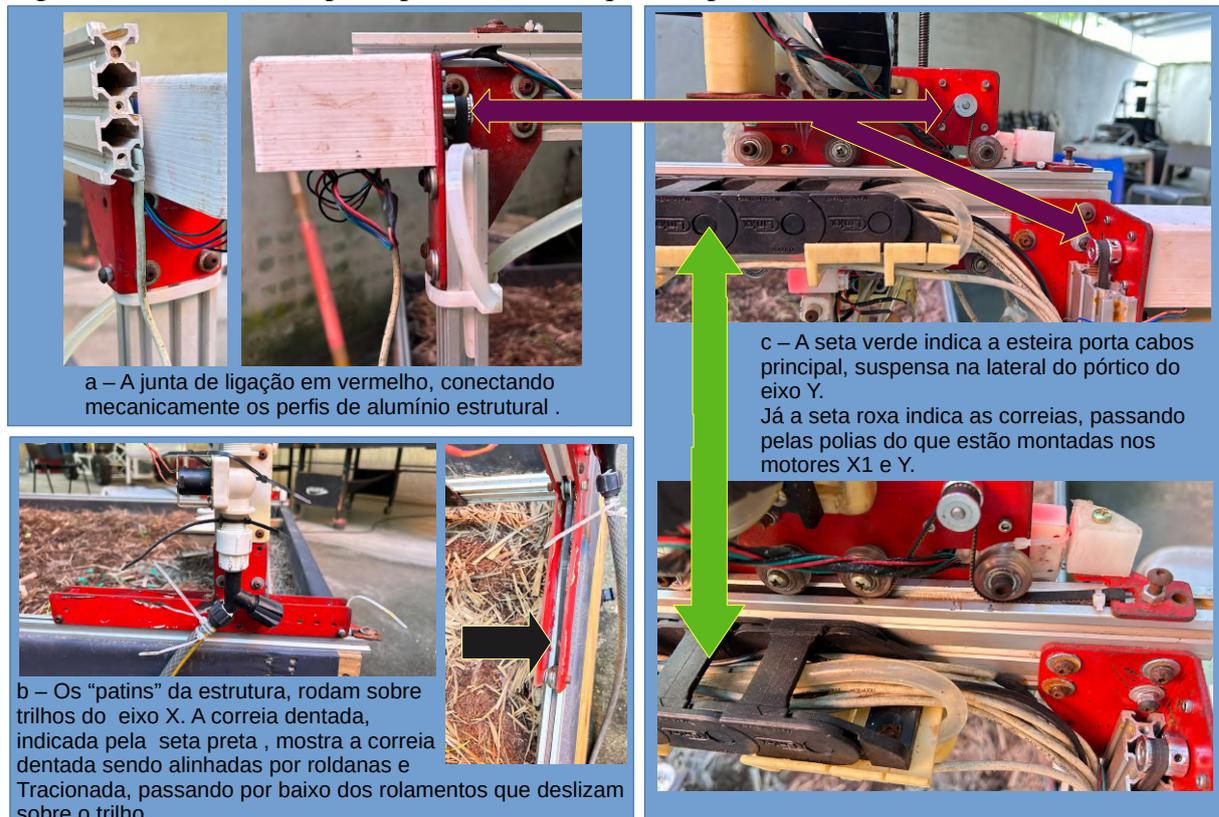
#### 2.4.4 Juntas de montagem

AS juntas de montagem na versão original são feitas em placas de alumínio 6061 de 5mm de espessura, contudo a montagem do projeto referente a esta monografia foi utilizado aço 3,8mm , pintada para evitar oxidação, afim de reduzir custo com usinagem e frete de entrega.

#### 2.4.5 Materiais diversos para montagem

Os elementos montados no robô ( Figura 7 ). As estrutura de alumínio são conectados utilizando juntas metálicas, confeccionadas em aço e pintadas de vermelho ( Figura 7a) . Para manter as tubulações e fiação organizadas foram usadas esteiras porta cabos . Na estrutura em cima do eixo X é colocada sobre a correias GT2, responsável por tracionar os motores X1 ,X2 e Y ( Figura 7b e c). Ela deve ser posicionadas entre as roldanas e o trilho. Tanto as esteiras e as correias tem o comprimento variado, de acordo com o tamanho do projeto.

Figura 7 – Detalhes dos principais elementos que compõe a estrutura do robô.



Fonte: Elaboração do autor - Fotos tiradas na Universidade Federal do Ceará (2024, Laboratório GPAR)

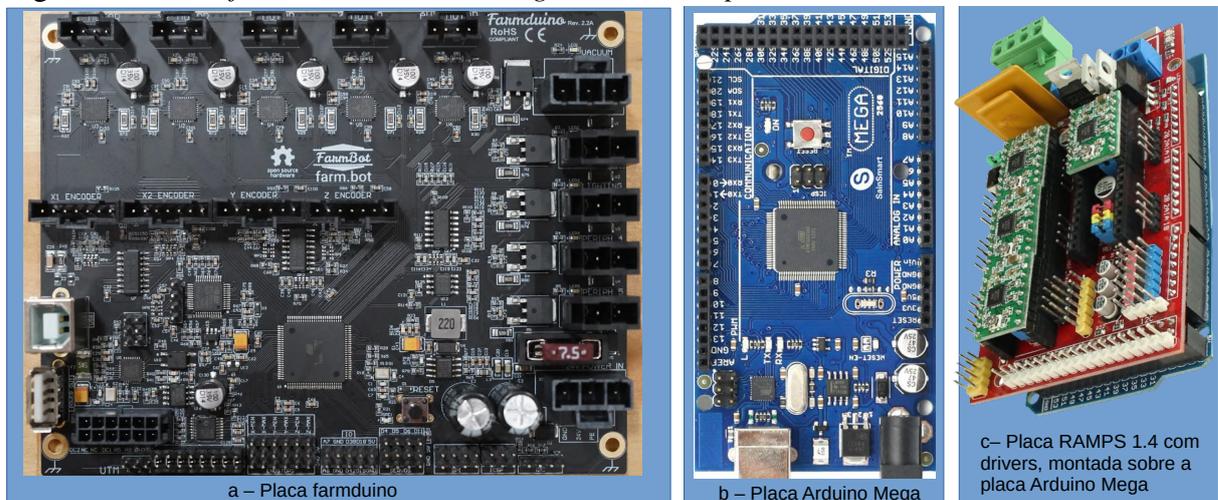
### 2.4.6 Raspberry PI

A Raspberry PI é o computador principal do sistema. O modelo escolhido para este projeto foi a *Raspberry PI 4 B+* com processador da família *ARM Cortex-A72* e 8 GB de memória RAM, esse *hardware* garante um excelente desempenho para rodar a imagem do *farm\_os*.

### 2.4.7 Microcontrolador Arduíno

A placa arduino é a placa-mãe integradora entre atuadores e o computador Raspberry PI. Originalmente, o *farmbot* utiliza uma placa mãe chamada *farmduino*, uma placa baseada no processador *atmega2560*, onde comporta a entrada lógica e alimentação dos atuadores, sensores e a maioria dos outros componentes eletrônicos do robô. O *Arduino Mega 2560* tem o mesmo processador da placa original do projeto, de tal forma pode-se utiliza-lo para substituir a placa original, reduzindo o custo referente a taxa de importação cambial e frete internacional, uma vez que a placa *farmduino* é proprietária e somente está a venda no site oficial do *farmbot*, diferente da placa *Arduino Mega 2560* que já tem um mercado consolidada na área de pesquisa e projetos, com preços acessíveis aos desenvolvedores. Para este projeto foi colocado o uma placa *RAMPS shield 1.4*, que é uma placa extensora dos contatos da placa *Arduino Mega 2560*, facilitando a montagem dos periféricos e *drivers* na placa. É possível notar na Figura 8 a diferença física entre as placa *Farmduino* (Figura 8a), junto com a montagem da placa *RAMPS* (Figura 8c) sobre a placa *Arduino Mega 2560* (Figura 8b).

Figura 8 – PCBs *farmduino*, *Arduino Mega 2560* e *Ramps shield 1.4* com drivers.



Fonte: Elaboração do autor. Fotos tiradas da internet, a foto do *farmduino* foi tirada do site oficial do projeto *farmbot*: <https://farm.bot/products/v1-6-farmduino>

#### **2.4.8 Sistema de alimentação**

A alimentação principal do sistema é feita com fonte chaveada de 250 W e 12 Vdc de saída. o consumo do sistema é baixo, sendo viável colocar um sistema de energia fotovoltaico de baixa potência, com bateria de pequeno porte.

#### **2.4.9 Filtro EMI, supressor de ruídos**

As interferências eletromagnéticas causam ruídos no sinal de entrada, o que pode afetar o bom funcionamento de alguns tipos de aparelhos, como é o caso da bomba de vácuo. Por este motivo, o filtro EMI, composto por capacitores e bobinas indutoras, deve ser utilizado na entrada da alimentação da bomba de vácuo. Sem ele, a bomba oscila demasiadamente, o que resulta na falha em segurar corretamente as sementes na ponta da agulha.

#### **2.4.10 Conversor DC-DC**

A fonte de alimentação principal fornece uma tensão de 12 Vdc constante, porém a bomba de vácuo e a solenoide exigem uma tensão de 24 Vdc, enquanto o computador *Raspberry Pi* tem uma alimentação de 5 Vdc. O uso de uma fonte de alimentação separada para cada nível de tensão exigiria aumentar o tamanho da caixa de eletrônicos, a fim de comportar o tamanho dos novos componentes, além de aumentar o calor dentro dela. Esse aumento de temperatura pode prejudicar o bom funcionamento de outros componentes externos, como o próprio *Raspberry Pi*. O conversor DC-DC consegue solucionar esse problema através do chaveamento por controlador Modulação por Largura de Pulso (PWM), mantendo diferentes níveis de tensão, sem aumentar significativamente o tamanho da caixa de eletrônicos ou aumentar o calor final. Os conversores DC-DC apresentam dois tipos: o *Buck*, que reduz a tensão, e o *Booster*, que aumenta em relação ao valor de tensão de entrada.

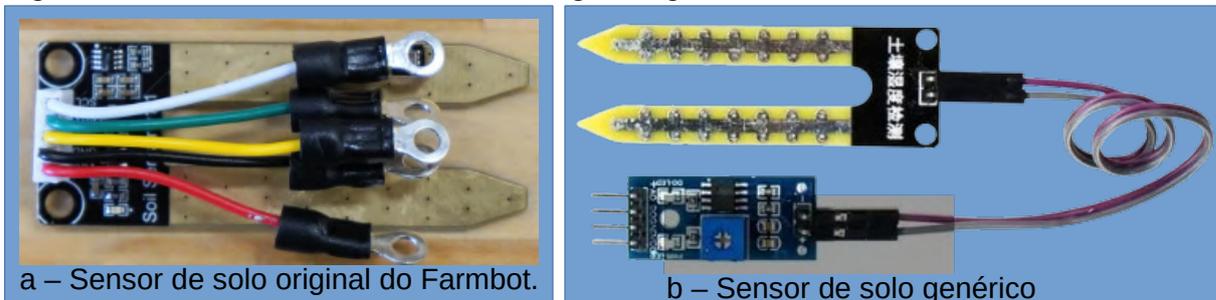
#### **2.4.11 Sensor fim de curso**

Este tipo de sensor é uma opção viável, barata e abundante no mercado, substituindo o *encoder* original do motor que equipa o robô. Dessa forma, ele permite que as extremidades da estrutura principal sirvam como batentes, mantendo o controle básico das dimensões do canteiro e evitando que o robô ultrapasse o número de movimentos necessários para executar as tarefas.

#### 2.4.12 Sensor de umidade do solo

O sensor de umidade mede a resistência do solo através da injeção de corrente, utilizando uma certa tensão de 5Vdc, dissipada entre suas garras e o solo. O modelo usado neste estudo é comumente empregado em projetos de automação de jardinagem, similar ao original da documentação do *Farmbot*. A única diferença reside na montagem do invólucro, em que o modelo genérico possui a eletrônica separada por um chicote elétrico da garra. Percebe-se na Figura 9 a diferença física entre as duas PCB a utilizada na documentação do *Farmbot* (Figura 9a) e a genérica (Figura 9b).

Figura 9 – Sensores de umidade de solo, original e genérico.



a – Sensor de solo original do Farmbot.

b – Sensor de solo genérico

Fonte: Elaboração do autor. Fotos tiradas da internet, a foto do sensor 1 foi tirada do site oficial do projeto *farmbot*: <https://genesis.farm.bot/v1.5/Extras/bom/electronics-and-wiring#soil-sensor-pcb>

#### 2.4.13 Câmera boroscópica

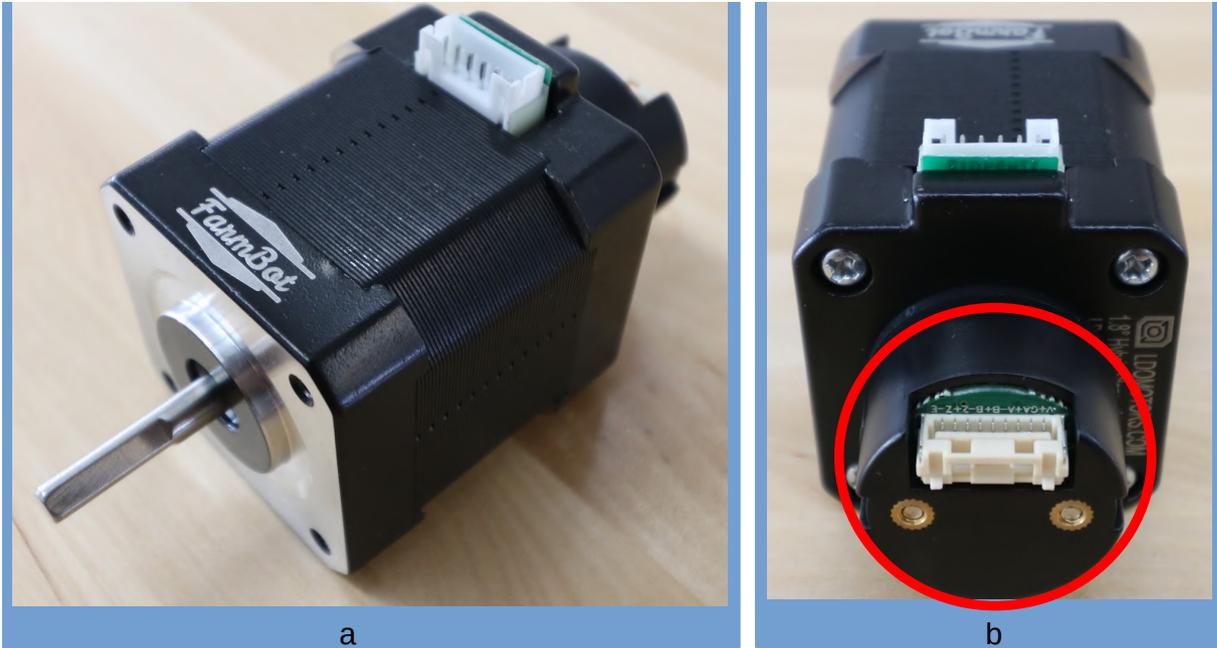
A câmera boroscópica é do tipo auto-foco, mais eficiente que a de foco fixo que esta retratada na documentação original. A sua aplicação será melhor detalhada mais afrente neste documento.

#### 2.4.14 Motores Nema 17 e drivers de acionamento

O projeto *Farmbot* originalmente utiliza motores Nema17 (Figura 10a), já com *encoders* acoplados (Figura 10b), sendo eles somente vendidos diretamente no site oficial do projeto *farmbot* é tendo um alto custo para o projeto. Eles são responsáveis por controla o movimento da estrutura no canteiro dos motores, que direciona a ferramenta para as coordenadas programadas. Contudo, há uma solução viável para reduzir custos e simplificar o sistema, com a aquisição de motores Nema17 genéricos, de boa qualidade, porem sem *encoders*, estes foram facilmente substituídos por sensores de fim de curso. Esta substituição representa uma solução custo-efetiva, conforme implementado neste estudo.

Resolução de 200 passos, duas bobinas, atuando como duas fases, com ângulo de cada passo de  $1.8^\circ$  e torque de 5 kg/cm ou 49,03 N/cm.

Figura 10 – Motor original , com *encoder* acoplado.



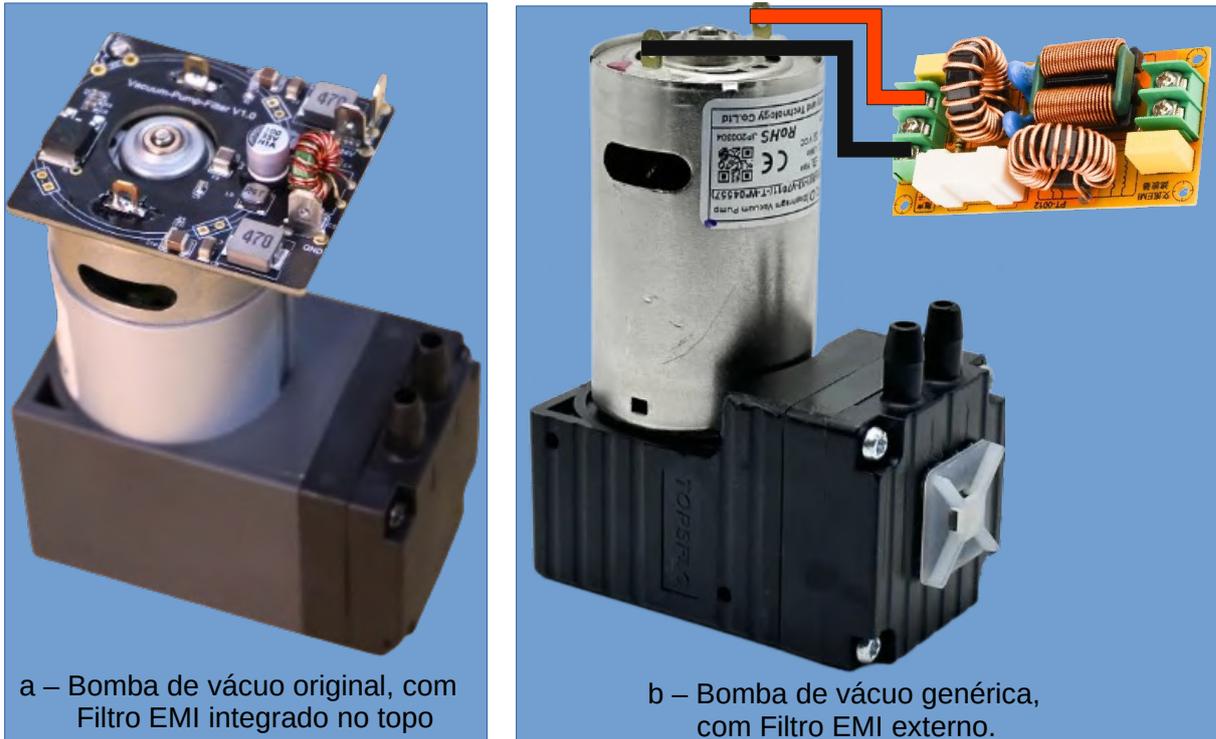
Fonte: Elaboração do autor. Fotos retirada do site oficial do projeto *famrbot*: <https://genesis.farm.bot/v1.7/bom/electronics-and-wiring/motor#>

O *driver* utilizado no projeto é o A4988, que tem capacidade de acionar 1 motor de passo bipolar (2 fases) com até 35 Vdc e com uma corrente de pico de no máximo 2A por bobina.

#### 2.4.15 Bomba de vácuo

Também chamada de bomba de sucção ela é utilizada para aspirar a semente pelo tubo da seringa na ponta da ferramenta semeadora. Ela funciona com a tensão 24 Vdc e potencia de 12 W. A bomba sofre com interferência eletromagnética, que causa ineficiência do sinal de entrada, fazendo que o motor não gire de maneira suave devido a maior vibração do eixo o motor. Para solucionar isso foi integrado um filtro EMI no topo da bomba original(Figura 11a). Para o projeto desta monografia o filtro EMI foi integrado separadamente (Figura 11b ).

Figura 11 – Bombas de vácuo, com filtro EMI integrado no topo da bomba, o outro com o filtro colocado em area externa e ligado por fiação.



a – Bomba de vácuo original, com Filtro EMI integrado no topo

b – Bomba de vácuo genérica, com Filtro EMI externo.

Fonte: Elaboração do autor. Fotos retirada do site oficial do projeto *famrbot*: <https://genesis.farm.bot/v1.7/bom/electronics-and-wiring/vacuum-pump#>

#### 2.4.16 Válvula Solenoide

A válvula solenoide funcional apenas permitindo a passagem da água para o bico da ferramenta de regagem. O modelo adotado no projeto é alimentada por tensão de 24 Vdc.

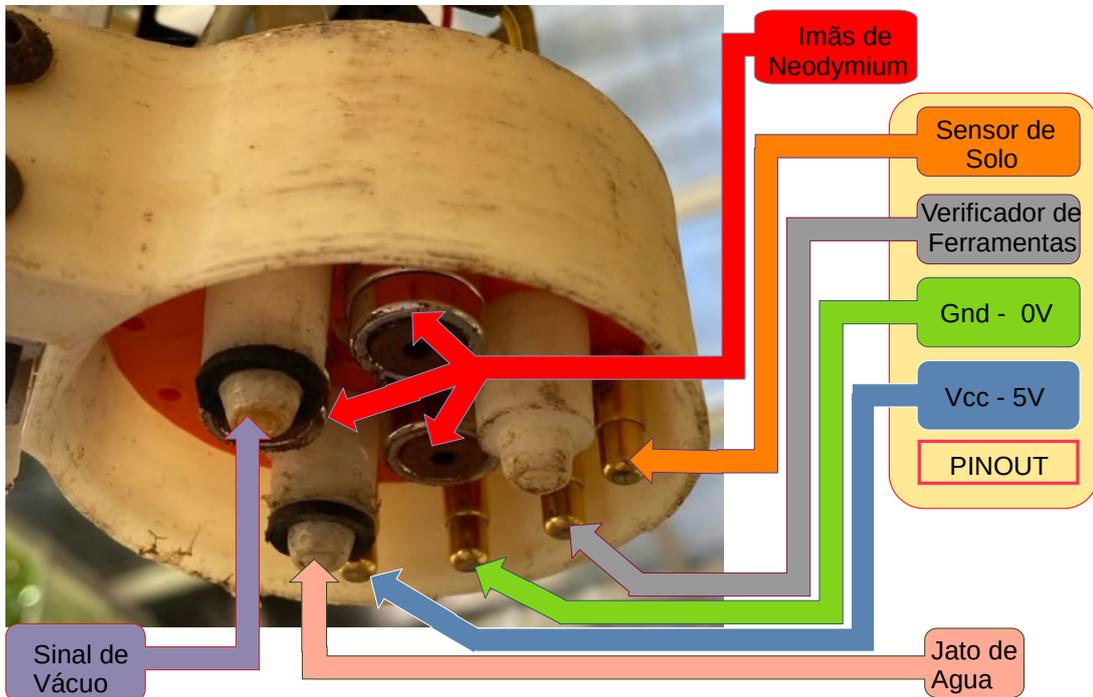
### 2.5 Periféricos intercambiáveis do robô

#### 2.5.1 Base de montagem de ferramenta

A Ferramenta de Montagem Universal (UTM) possui um mecanismo de acoplamento e desacoplamento baseado em três fortes ímãs de neodímio instalados na base desta ferramenta. A conexão elétrica é feita utilizando quatro fios (5V Vcc, Terra, verificação da ferramenta e sensor analógico de solo) conectados a um terminal de pino mola. A verificação da ferramenta é realizada por uma ligação *jumper* entre os contatos de terra e de verificação da ferramenta. Duas tubulações são responsáveis por fornecer vácuo e água para as ferramentas de semeadura e irrigação, respectivamente. É possível notar na Figura 12 os componentes da parte interna da UTM, entre eles os terminais de pino que fazem contato elétrico com as ferramentas, os ímãs em

forma de anel, que fixam as ferramentas à UTM e os tubos de água e vácuo.

Figura 12 – Visão da base da UTM.



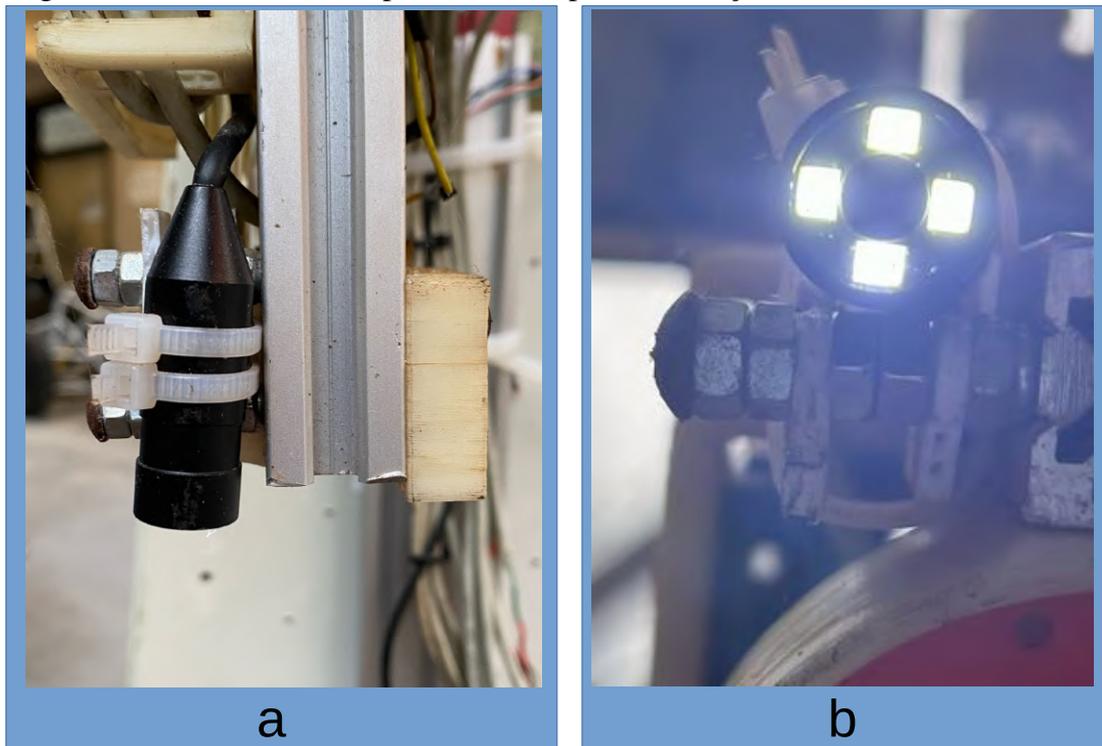
Fonte: Elaboração do autor. (2024) Universidade Federal do Ceará (2024, Laboratório GPAR)

### 2.5.2 Câmera Monocular Boroscópica

O *hardware* original foi atualizado pela substituição da câmera boroscópica de foco fixo, conforme descrito na documentação, por uma versão com autofoco para melhorar a captura de imagens e a identificação de ervas daninhas. Ao abordar essas questões, o estudo visa melhorar a precisão e funcionalidade do SDED.

A câmera boroscópica (Figura 13) usada no robô em duas perspectivas de visão, frontal (Figura 13a) e por baixo, com leds ligados na ponta (Figura 13b). Esta câmera monocular é comumente usada para inspeção de tubulações, mas também é frequentemente empregada como um sensor de visão em alguns sistemas de navegação de visão computacional para robôs agrícolas. Ela oferece o benefício de capturar informações suficientes de cor e textura do ambiente. Além disso, é um dispositivo de baixo custo e baixo consumo de energia (Magalhães, Moreira, Santos, et al.). Essas características podem torná-la mais atraente para pesquisas de baixo orçamento.

Figura 13 – Câmera boroscópica fixada na ponta do braço do eixo Z.



Fonte: Elaboração do autor. Universidade Federal do Ceará (2024, Laboratório GPAR).

O conceito de percepção ativa refere-se ao controle do processo de aquisição de dados em imagens capturadas por sensores ou câmeras. Esta estratégia é projetada para minimizar a perda potencial de dados durante o processo, ajustando vários parâmetros da câmera no momento da captura da imagem para criar os dados, como distorção da lente, comprimento focal e resolução espacial (Magalhães, Moreira, Santos, et al.).

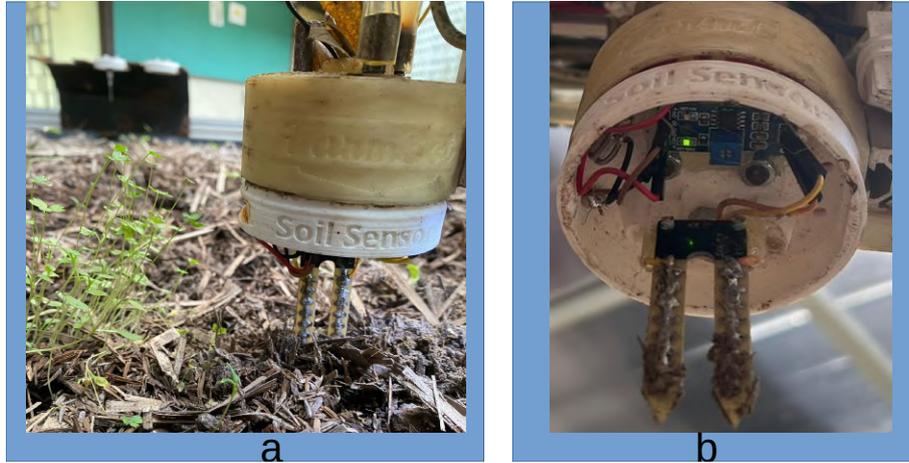
No caso da montagem do robô baseado no (famrbot), a documentação original especifica o uso de uma câmera boroscópica de foco fixo simples de 50 cm, que foi substituída por uma câmera boroscópica com autofocus.

### 2.5.3 Sensor de Umidade do Solo

A variação da umidade do solo é medida por um sensor de resistência elétrica, conforme ilustrado na Figura 14 a e b. A ferramenta consiste em uma garra de sensor de umidade do solo, comumente utilizada em projetos de automação de jardim, e incorpora um *shield Arduino*. A resistência elétrica medida entre as garras de contato com o solo, varia de acordo com a quantidade de água no solo. Assim, quanto maior a quantidade de água no solo, melhor será a condutividade entre as garras de contato, resultando em uma menor resistência. Um sinal analógico é gerado proporcionalmente ao valor medido. Para evitar o desgaste prematuro deste

sensor, ele deve ser limpo após o seu uso, afim de eliminar umidade excessiva em suas ponteiros, evitando a corrosão.

Figura 14 – Sensor de Umidade do Solo Montado na UTM e no solo.

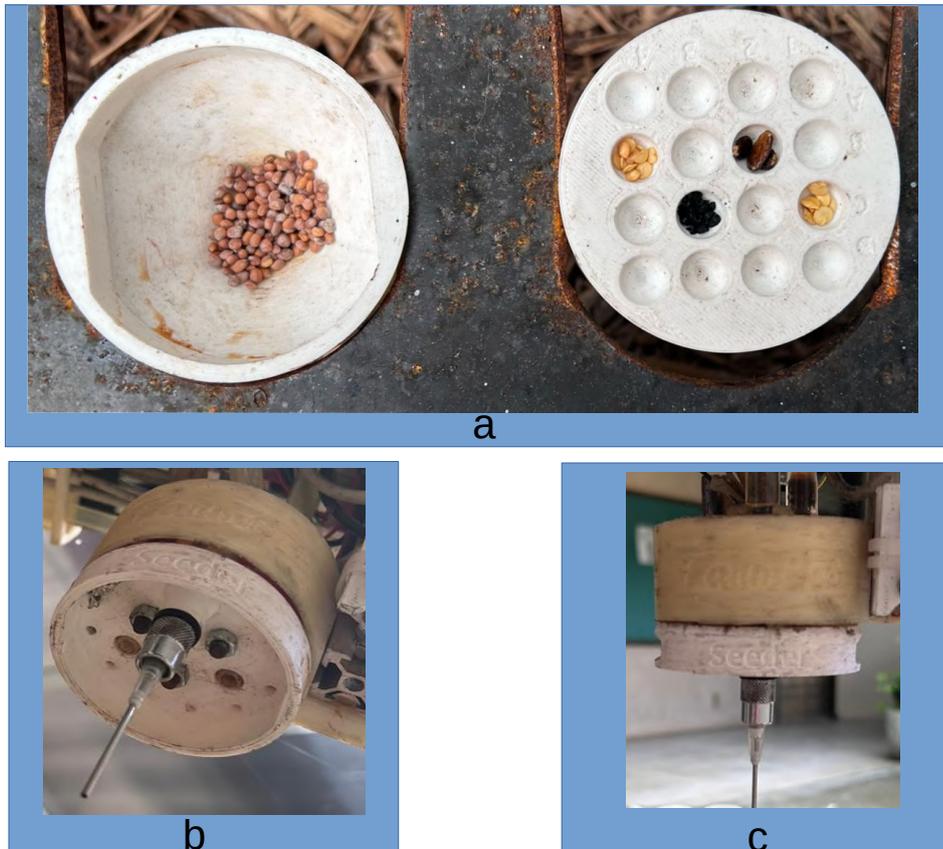


Fonte: Elaboração do autor. Universidade Federal do Ceará (2024, Laboratório GPAR).

#### 2.5.4 Semeadora

A ferramenta de semeadura utiliza uma agulha, e quando a bomba é ativada, cria um vácuo que faz com que a semente fique presa na ponta da agulha. A semeadora (Figura 15), montada no UTM (Figuras 15b e c) e os recipientes de sementes (Figura 15a).

Figura 15 – A esquerda a ferramenta semeadora já na direita é o dispenser das sementes.

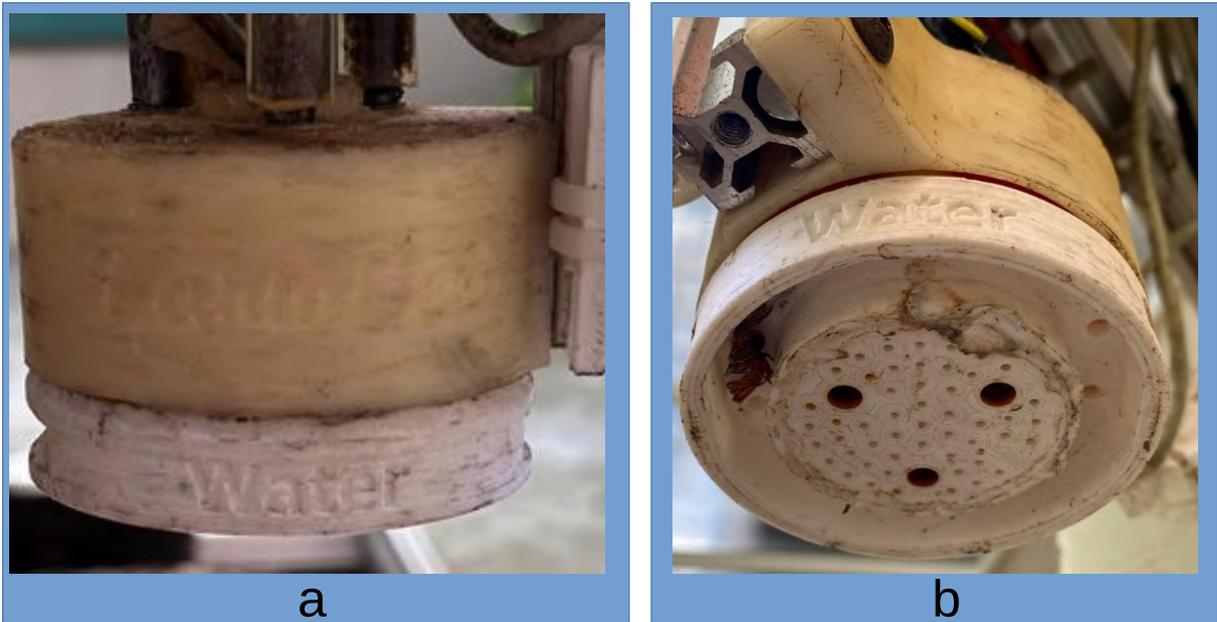


Fonte: Elaboração do autor. Universidade Federal do Ceará (2024, Laboratório GPAR).

### 2.5.5 Ferramenta regadora

A ferramenta regadora montada na UTM ( Figura 16a ). Na parte debaixo da ferramenta há um difusor( Figura 16b), que é essencial para evitar que o jato de água atinja diretamente a semente ou que possa danificar partes das plantas, como as folhas dos vegetais.

Figura 16 – Ferramenta de regagem montada na UTM.

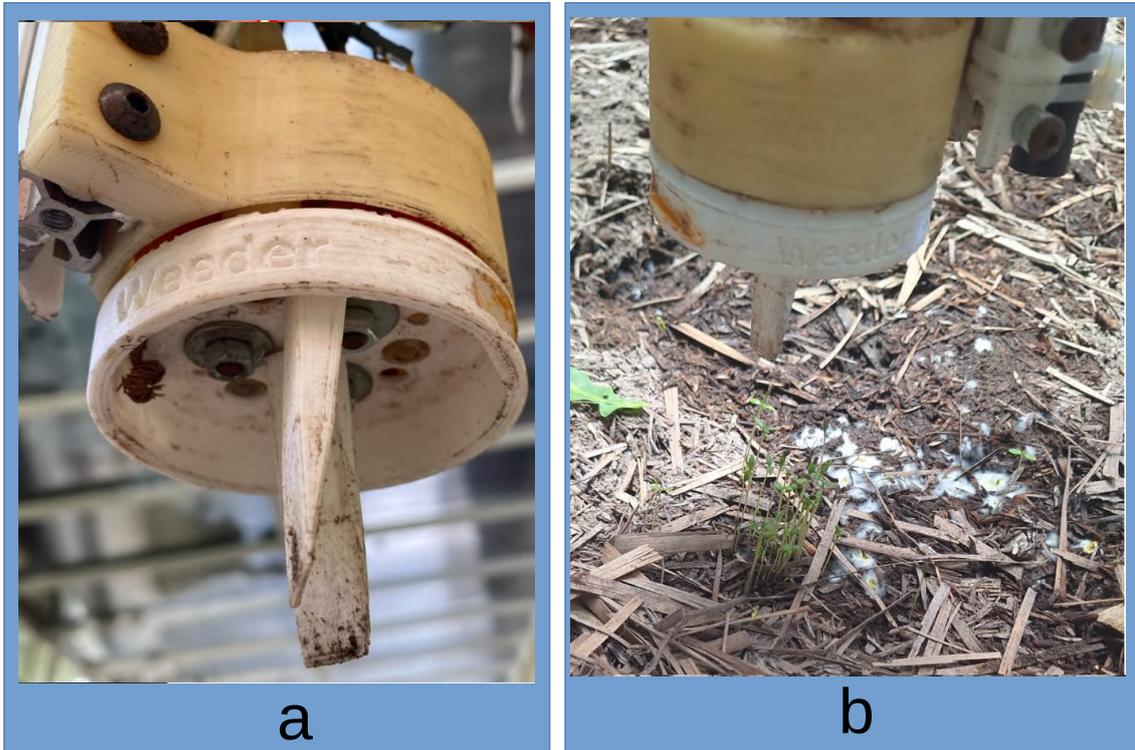


Fonte: Elaboração do autor. 2024

### 2.5.6 Ferramenta eliminadora de erva daninhas

A Figura 17a é uma foto da ferramenta eliminadora de ervas daninhas montada na UTM, que está equipada com dois garfos no fundo. Esses garfos, impressos em 3D, são projetados para eliminar ervas daninhas esmagando-as mecanicamente no solo ( Figura 17b) . Esse método garante que as ervas daninhas não consigam crescer novamente a partir de baixo da superfície do solo.

Figura 17 – Ferramenta eliminadora de erva daninhas montada na UTM.



Fonte: Elaboração do autor. Universidade Federal do Ceará (2024, Laboratório GPAR).

## 2.6 Sistemas de Software

O sistema do robô divide o software em 3 projetos separadamente, cada um é instalado em diferentes camadas do sistema, todos integrados dentro de uma plataforma de repositório de código fonte online o *github*.

### 2.6.1 *Farm\_os, o sistema operacional*

O sistema operacional é uma imagem, escrita na linguagem de programação *Elixir*, modelada para a família de processadores *Cortex* e *ARM*, usada nos modelos do computador portátil *Raspberry Pi*, e instalada em um cartão micro-SD que fica inserido no *Raspberry Pi*.

### 2.6.2 *Firmware, o integrador dos periféricos*

O *firmware* é escrito na linguagem de programação *C++* desenhado para o processador *atmega2560*, nativamente embarcado nos *Arduinos Mega 2560*. Ele é responsável por fazer a troca de mensagens com a Interface de Programação de Aplicações (API) do *farm\_os* responsável pelo comando dos periféricos e motores.

### 2.6.3 WebApp , o serviço de processamento na nuvem

O *webApp* do *farmbot*, é escrito na linguagem de programação *TypeScript*. Ele é responsável por processar as informações que o usuário passa para o gêmeo digital e posteriormente para o *farm\_os* e por fim para o *firmaware* do *farmduino*.

### 2.6.4 O banco de dados das plantas *openfarm.cc*

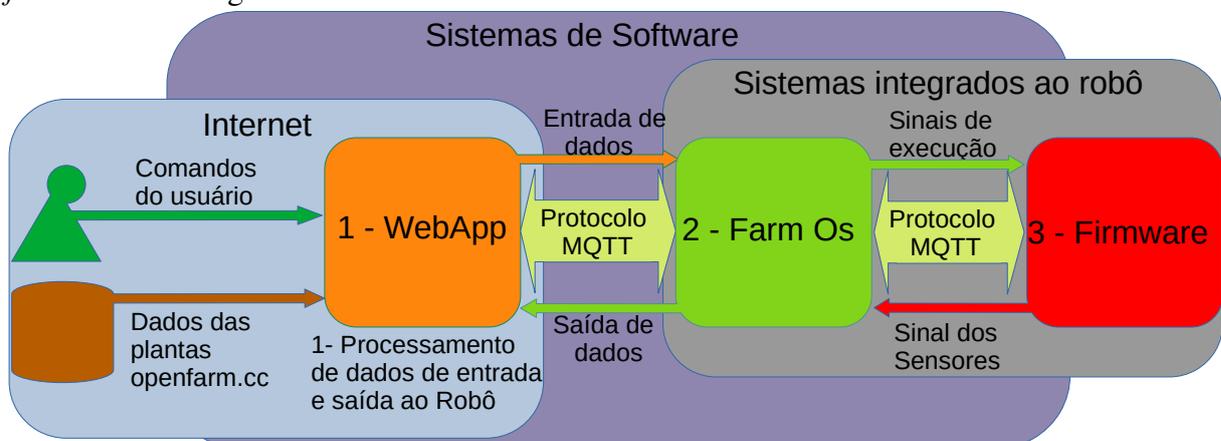
Para coletar informações sobre as plantas, como área de expansão, espaços entre fileiras, requisitos de sol e tempo de crescimento da colheita, o sistema utiliza o *openfarm.cc*, um site onde pessoas de todo o mundo podem compartilhar informações sobre diferentes tipos de plantas e culturas, considerando diversos climas e geologias.

### 2.6.5 Tecnologia de comunicação do sistema utilizando o MQTT

A aplicação web opera em um servidor na nuvem e se comunica com o robô usando um protocolo padrão de rede IoT, chamado MQTT. Os usuários podem criar uma versão de um gêmeo digital do seu canteiro, onde o robô está instalado. Com os parâmetros de configuração completos, os usuários podem comandar o hardware físico do robô.

A Figura 18 demonstra através de um diagrama, o esquema da troca de dados entre o *farm\_os*, *webApp*, *firmware* utilizando protocolo MQTT para troca de mensagens entre as suas APIs, juntamente com o banco de dados *openfarm.cc*.

Figura 18 – Parte do sistema é integrado na nuvem (*webApp* e *openfarm.cc*, já o *farm\_os* e o *firmware* são integrados no hardware do robô).

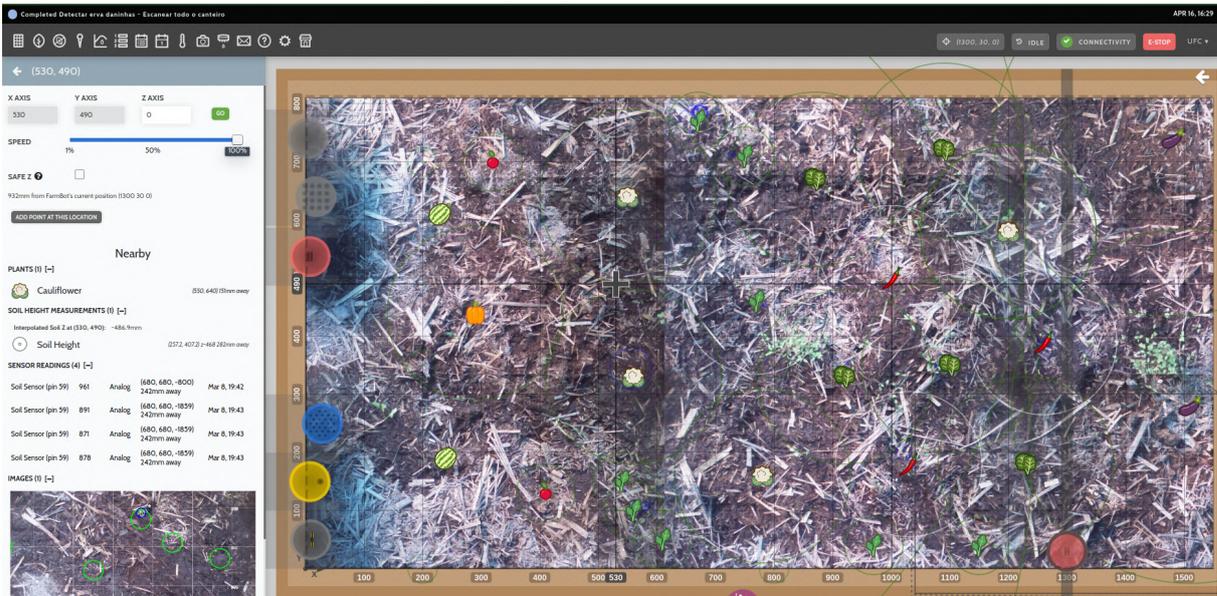


Fonte: Elaboração do autor (2024).

### 2.6.6 Interface web

Um gêmeo digital do robô, com fotos das culturas e representações gráficas das plantas semeadas no solo, é apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Interface de usuário para operação e monitoramento.



Fonte: Imagem da tela - Elaboração do autor. (2024)

O gêmeo digital é rico em detalhes e representa fielmente o canteiro, incluindo: fotos do solo ao fundo, coordenadas laterais, um modelo do local onde as ferramentas são guardadas, marcações das plantas nas coordenadas e identificação das ervas daninhas.

## 2.7 Documentação

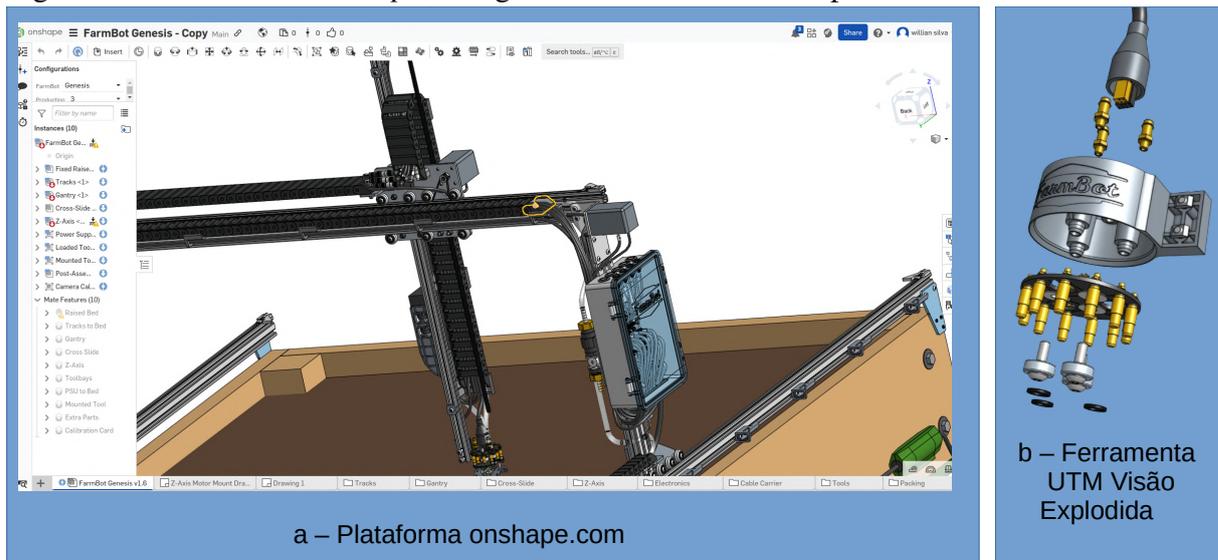
A montagem do robô *farmbot* é acessível a qualquer pessoa, pois ele é baseado nas licenças *Creative commons* (CC0) e Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT). Ambas aderem à filosofia de código aberto, assegurando ao usuário a liberdade de montar e modificar o robô sem necessidade de prévia autorização dos desenvolvedores originais. Para montá-lo, basta seguir a documentação no site : <https://farm.bot/pages/open-source> fornecida pelos desenvolvedores do projeto.

### 2.7.1 Hardware

A documentação de hardware é bem vasta, trazendo como elemento principal a lista de materiais que deveram ser adquiridas ou confeccionadas, como no caso das peças plásticas

que contem arquivos para imprimir, ou das juntas dos perfis estruturais, que contem arquivos contendo folhas de cortes para usinagem das peças metálicas. além de conter instruções digitais de montagem. Para auxiliar o usuário na montagem, um modelo digital em 3D está disponível na plataforma *onshape.com*(Figura 20a ), nela o usuário pode ver todo o robô em perspectivas diferentes, além de isolar peças e detalha-la a vontade (Figura 20b).

Figura 20 – Plataforma *onshape*, na figura ao lado uma visão explodida da ferramenta UTM.



Fonte: Elaboração do autor. (2024) - Imagem da tela so site : *onshape.com* . A imagem da visão explodida foi retirada do site oficial do *farmbot* :<https://farm.bot/pages/hardware>

### 2.7.2 Software

A documentação do software demonstra os aspectos de configuração dos 3 principais softwares presente no robô. Começando pela configuração de rede local, criação de conta e perfil online, e parametrização do robô contendo, entre outros, comprimento dos eixos, localização geográfica, calibrar câmera, etc.

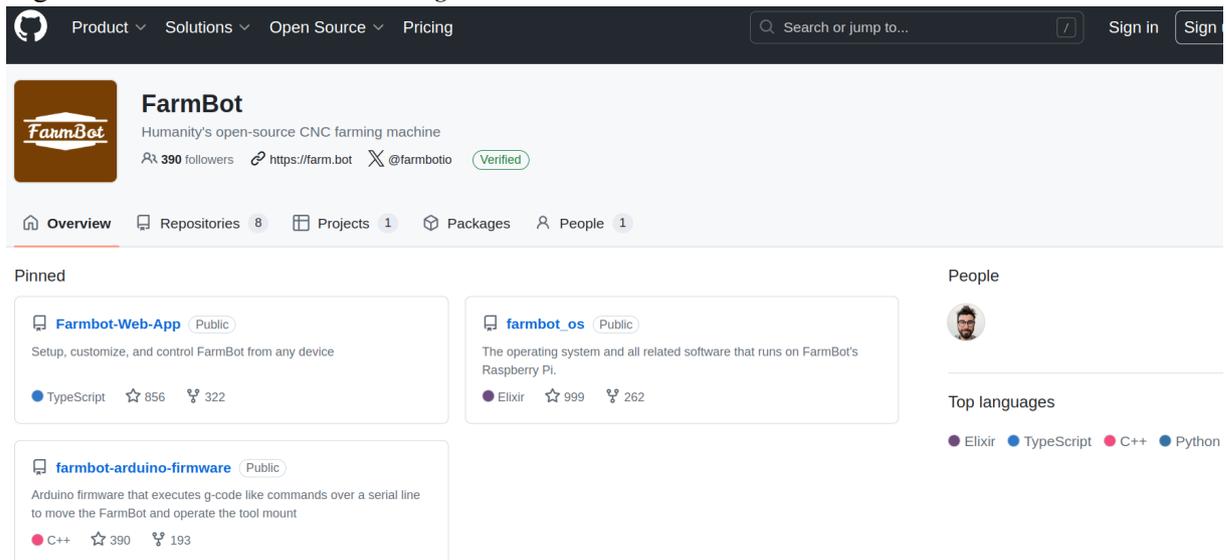
### 2.7.3 Desenvolvimento

A documentação de desenvolvimento traz os aspectos técnicos das APIs que integram os 3 principais softwares do projeto, com suas respectivas bibliotecas, eventos, quais linguagens são usadas etc.

### 2.7.4 Projeto no Github.

Os 3 principais softwares do *farmbot* tem seu código fonte disponibilizado na plataforma *github.com* (Figura 21), com acesso publico. De tal forma qualquer outro desenvolvedor externo a instituição *farmbot.inc* pode copia-lo para sua *userspace* dentro do *github*, estudado e modificar , criando melhorias e adaptações.

Figura 21 – Perfil do farmbot no *github*.



Fonte: Elaboração do autor. (2024) - Imagem da tela so site : *github.com*.

A licença CC0 (para equipamentos e documentação) e a licença MIT (para o programa) permitem que o projeto seja utilizado gratuitamente e sujeito a modificações (Código Aberto) pelo usuário, sem necessidade de consentimento prévio de seus criadores, tanto no hardware quanto no software. O programa inclui um extenso banco de dados com uma coleção de espécies de plantas e características predeterminadas, como a quantidade de água consumida pela planta, colocação específica, umidade ideal do solo, temperatura, entre outras. Também é possível personalizar e adicionar uma espécie nativa da flora local que não esteja previamente registrada.

O código-fonte é aberto e extensivamente documentado, facilitando que os desenvolvedores façam modificações tanto no hardware quanto no software.

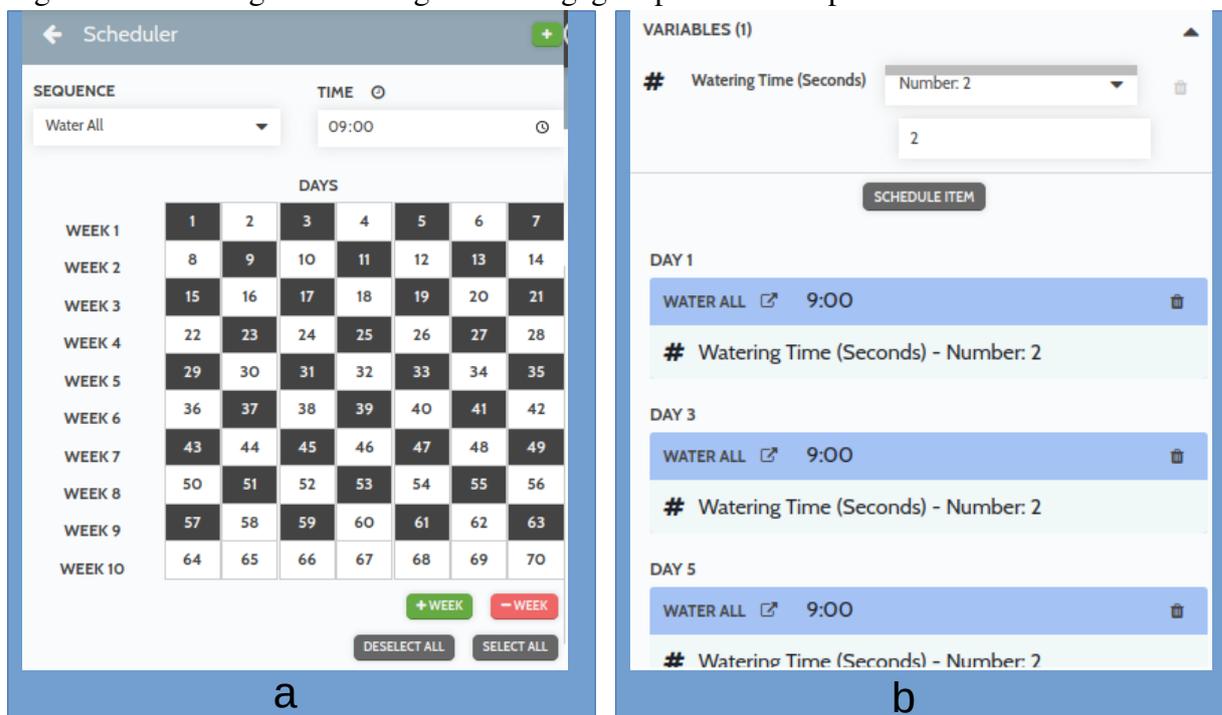
### 3 TAREFAS AUTOMATIZADAS DO SISTEMA

Este capítulo apresenta as principais funcionalidades de automação que o robô é capaz de desempenhar no plantio. Para a implementação real dessas atividades automáticas, o sistema faz uso dos componentes elétricos, mecânicos e *softwares* descritos no capítulo anterior.

#### 3.1 Regimentos de Regagem

Diferentes tipos de plantas têm diferentes quantidades de consumo de água, que incluem as fases de vida de cada espécie. Os regimes inseridos no gêmeo digital podem gerenciar a irrigação em diferentes momentos do dia, com quantidades variadas de água para cada planta e durante todo o ciclo de vida de cada planta no canteiro, resultando em redução do consumo de água. No exemplo demonstrado na Figura 22 os regimes de água para irrigar todas as plantas em 9 semanas por 2 segundos às 9:00 da manhã, e na Figura 22b exibe o resultado que é a agenda gerada após a montagem deste regimento. O regime começa no primeiro dia e termina no dia 63.

Figura 22 – Cronograma dos regimes de regagem para todas as plantas.

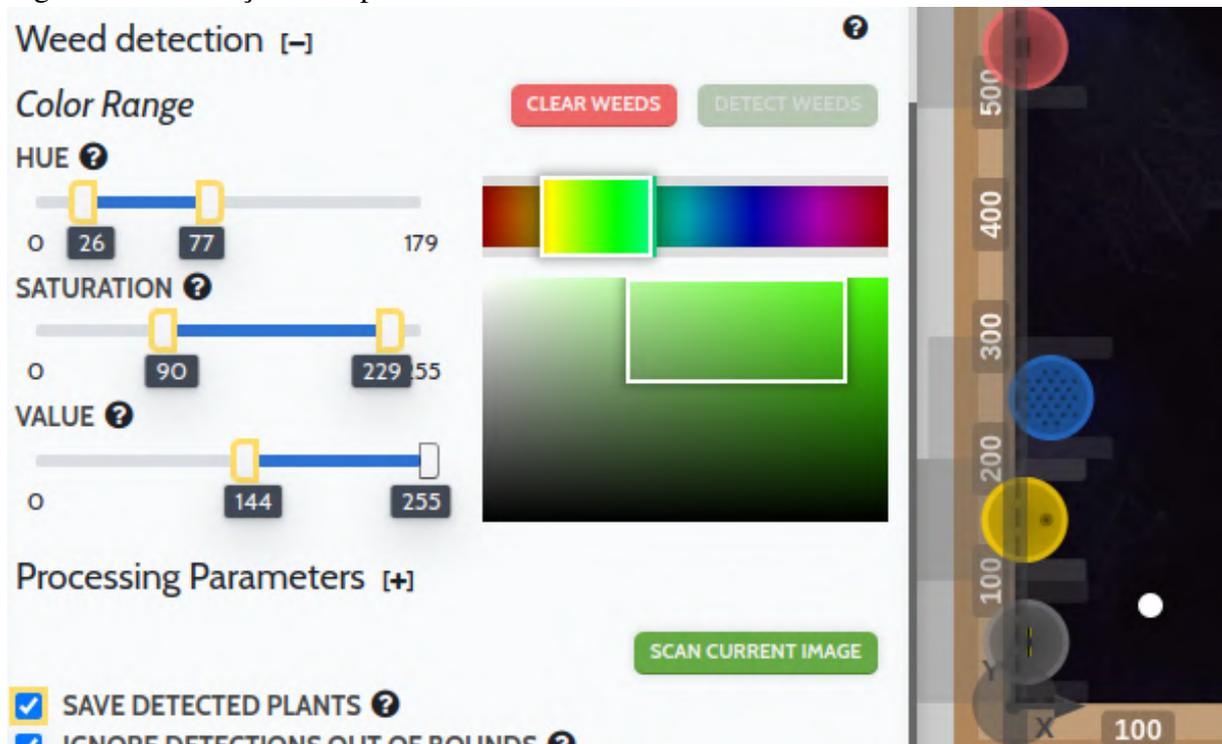


Fonte: Imagem da tela - Elaboração do autor. (2024)

### 3.2 Alteração do espectro de cores

O robô é projetado para ser preciso, utilizando uma câmera boroscópica como seu principal sensor. Ele é capaz de detectar a presença de ervas daninhas ao lado das sementes plantadas por meio de um algoritmo de detecção de borda baseado no espectro de cores, associando-as à posição onde as sementes foram plantadas. O intervalo do espectro de cores ( Figura 23 ) pode ser personalizado para identificar mais precisamente as folhas das ervas daninhas ou até mesmo as flores de ervas daninhas, como a Serralha (*Sonchus oleraceus*), comum na região da América do Sul, que apresenta cores variadas no espectro de amarelo, rosa, roxo e vermelho.

Figura 23 – Alteração do espectro de cor.

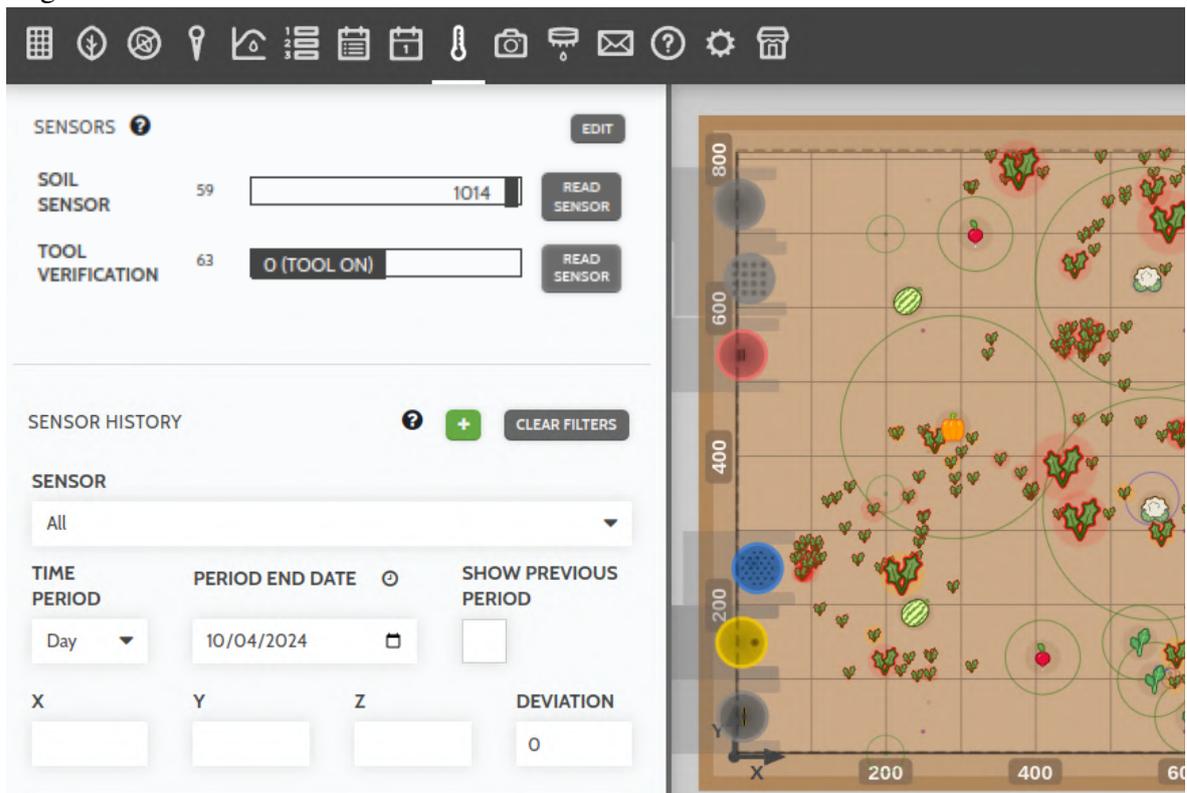


Fonte: Imagem da tela - Elaboração do autor. (2024)

#### 3.2.1 Leitura da umidade do solo

Com o uso de um sensor de umidade, o sistema é capaz de determinar se o solo ao redor da planta está seco e, assim, estabelecer uma sequência lógica para irrigação dessa planta específica. A Figura 24 exibe a leitura do sensor de umidade do solo em 1014 numa escala que varia de 1 a 1024. Um valor alto indica que a resistência do solo é maior, sugerindo que o solo está mais seco. O valor ideal dessa leitura do sensor deveria estar no meio da escala.

Figura 24 – O sensor de solo está montado na baía de ferramentas.



Fonte: Imagem da tela - Elaboração do autor. (2024)

### 3.3 Mecanismo de semear

O mecanismo de sementeira capta uma semente por vez, que é então inserida no solo. Esse processo reduz o uso de sementes para a cultura, diminuindo assim o custo dos insumos. A Figura 25a exibe a opção de cultura escolhida pelo usuário para ser plantada. Na Figura 25b, as plantas que já estão no canteiro são agrupadas, segundo para a Figura 25c a ferramenta de sementeira pegando uma semente e, finalmente na Figura 25d, a ferramenta de sementeira plantando uma semente no solo.

Figura 25 – O software para escolher uma cultura a ser plantada no canteiro. A ferramenta semeadora pega a semente e a deposita no solo.

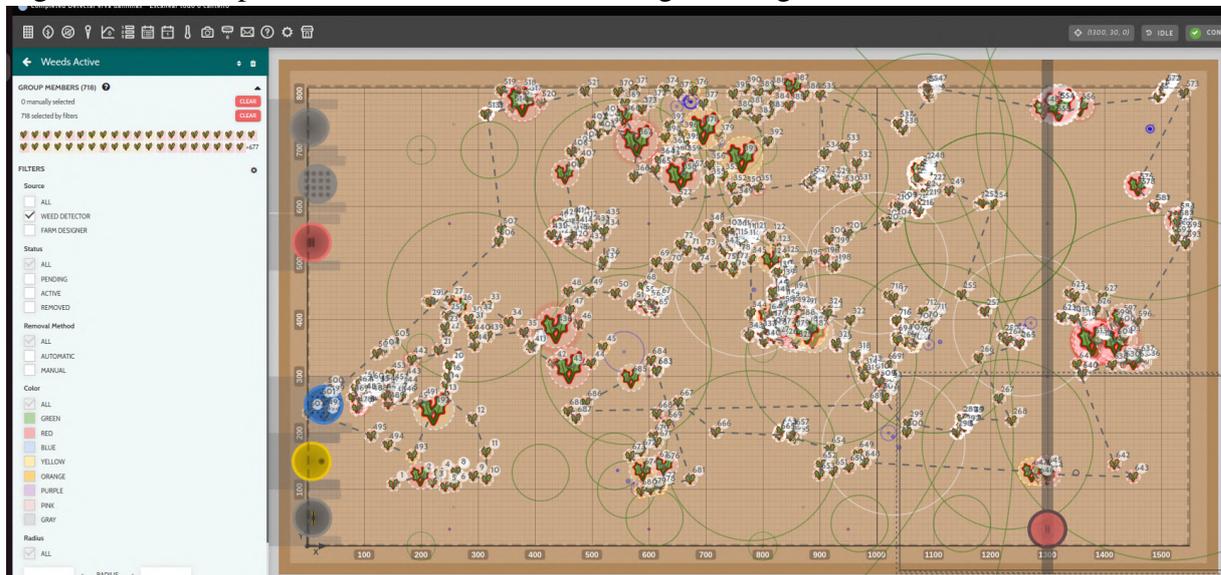


Fonte: Imagem da tela -Elaboração do autor. Universidade Federal do Ceará (2024, Laboratório GPAR).

### 3.4 Detecção de ervas daninhas por meio de visão computacional

As ervas daninhas agrupadas e mapeadas no canteiro ( Figura 26). As ervas são numeradas, começando pelas mais próximas da posição inicial do robô. A linha traçada indica a trajetória que o robô deve seguir para eliminá-las mecanicamente, pressionando-as contra o solo.

Figura 26 – O mapeamento das ervas daninhas no gêmeo digital.



Fonte: Imagem da tela - Elaboração do autor. (2024)

Mesmo quando as ervas daninhas são detectadas, o usuário deve adicioná-las a uma lista para confirmar se foram corretamente interpretadas pelo ADED como ervas daninhas ou não. Esse passo é necessário , mas não é completamente automatizado porque o usuário pode ter plantado sementes manualmente. Após confirmar se é uma erva daninha ou não, o usuário pode

criar uma sequência para eliminar as ervas daninhas usando a ferramenta eliminadora de ervas daninhas.

A Figura 27 exibe círculos verdes nas coordenadas onde as sementes são plantadas já os círculos vermelhos representam ervas daninhas, que nesta imagem são simuladas por folhas.

Figura 27 – Ervas daninhas marcadas com um círculos vermelho, já os verdes indicam as sementes que foram plantadas.



Fonte: Elaboração do autor. Universidade Federal do Ceará (2024, Laboratório GPAR).

## 4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os testes iniciais ocorreram na terceira semana de março de 2024, coincidindo com a conclusão do projeto de construção. Nesse período, o robô havia sido apenas montado, e o solo adicionado ao canteiro, mas ainda não haviam sido semeadas nenhuma semente. Já na primeira semana após a montagem, alguns cultivos foram adicionados ao sistema, e as sementes desses cultivos foram então plantadas no solo.

Posteriormente, sementes de salsa foram plantadas manualmente, mas não foram registradas no sistema como sementes plantadas, afim de simular ervas daninhas no canteiro. O algoritmo nativo não foi modificado nem recompilado, em vez disso, a imagem compilada v15 do farmOS original foi instalada no *Raspberry Pi*.

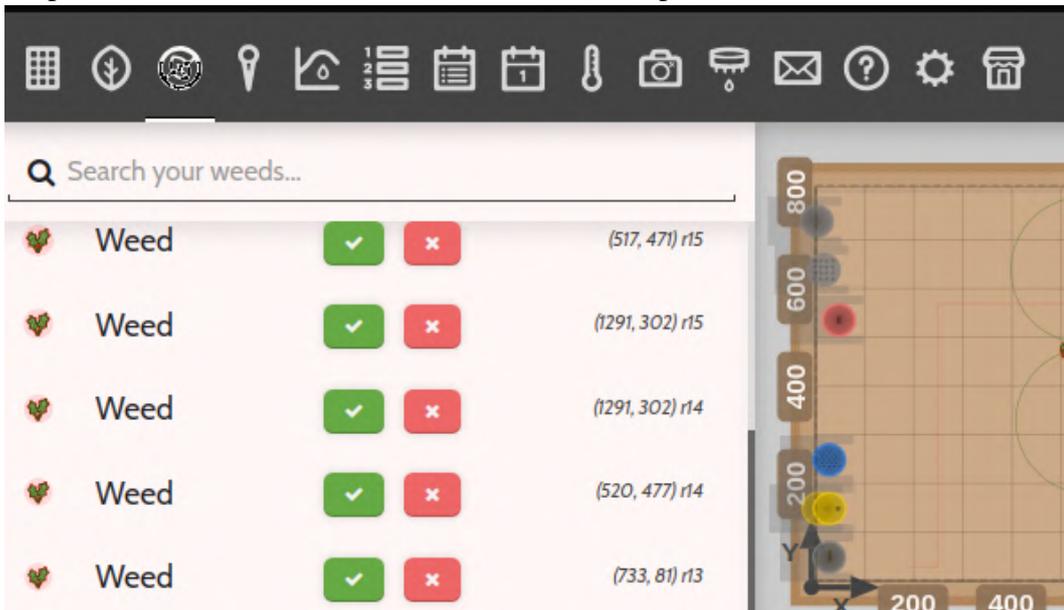
### 4.1 O experimento usando simulacros de ervas daninhas

Para avaliar a eficácia do ADED, 10 folhas verdes foram colocadas entre as plantas semeadas para simular ervas daninhas em crescimento e verificar a precisão com que o robô identificava essas folhas. As folhas verdes simulam perfeitamente as ervas daninhas, pois elas possuem partes verdes, como folhas ou até mesmo o caule. As folhas usadas foram retiradas de outras plantas, mantendo sua cor verde durante todo o período do teste, para assim simular a cor verde natural das ervas daninhas.

O primeiro experimento foi conduzido nas primeiras horas do dia de teste, com a tentativa inicial ocorrendo na luz da manhã cedo, aproximadamente das 7:10 às 7:33. Durante essa passagem inicial, o ADED identificou com sucesso 6 das 10 folhas colocadas artificialmente, além de uma pequena erva daninha que nasceu naturalmente no canteiro. Um teste subsequente foi realizado mais próximo ao meio-dia do mesmo dia, sob luz solar mais brilhante e direta. Neste segundo teste, o ADED melhorou sua detecção, identificando 8 das folhas artificiais e 3 pequenas ervas daninhas reais.

A Figura 28 exibe uma tela de agrupamento de ervas daninhas, onde o usuário pode adicionar ervas daninhas em grupos para futura eliminação.

Figura 28 – As ervas daninhas estão marcadas com um círculo vermelho, enquanto os pontos verdes indicam onde as sementes foram plantadas.



Fonte: Elaboração do autor. (2024).

## 4.2 Experimento com ervas de folhas verdes

Após o teste do primeiro dia, algumas sementes de salsa foram manualmente colocadas no solo para simular pequenas ervas daninhas em crescimento. Em poucos dias, elas cresceram o suficiente para serem detectadas pelo SDED (Figura 29 ). Quando o braço do robô passou sobre esta área na luz da manhã, o SDED as identificou com sucesso como ervas daninhas.

Figura 29 – As ervas daninhas estão marcadas com um círculo vermelho, enquanto os pontos verdes indicam onde as sementes foram plantadas.



Fonte: Elaboração do autor. Universidade Federal do Ceará (2024, Laboratório GPAR).

O segundo teste foi conduzido à luz do dia à tarde. A Figura 30 exibe a foto da segunda passagem do SDED pela mesma região da cultura onde as sementes de salsa foram plantadas. Desta vez, no entanto, o sistema identificou erroneamente a área principal onde as sementes de salsa estavam localizadas como sendo infestada por ervas daninhas.

Além disso, nesta figura, alguns círculos azuis são mostrados dentro do círculo verde. Isso indica que as plantas esperadas estão crescendo na área de semeadura, mas também pode haver um erro de correspondência. Uma erva daninha pode estar crescendo nesta área e, para proteger as plantas semeadas, o SDED não a marca como erva daninha. Isso evita a passagem subsequente da ferramenta de remoção de ervas daninhas sobre esta área.

Figura 30 – As plantas de salsa crescidas, observe o solo escuro, indicando um período que há pouca incidência de luz.



Fonte: Elaboração do autor. Universidade Federal do Ceará (2024, Laboratório GPAR).

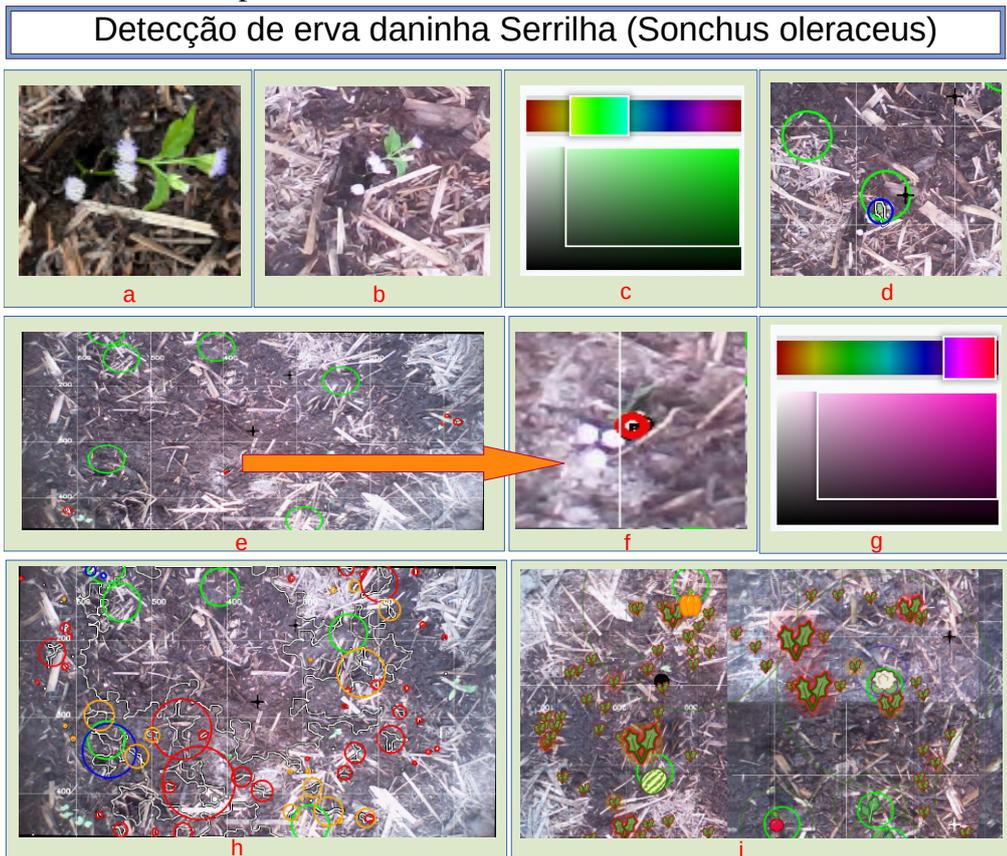
#### 4.3 Alterar a cor do espectro para encontrar flores de ervas daninhas (experimento com flores serrilhadas cor-de-rosa)

Alterar a faixa de cores faz com que o ADED demore mais para detectar ervas daninhas, em comparação com os parâmetros originais do espectro da cor verde. Essa medição não pode ser realizada pelo software original, pois ele não fornece essa funcionalidade. No entanto, usando um cronômetro externo, o tempo de detecção aumenta cerca de 2 a 3 vezes em comparação com o uso do espectro verde. O tempo aumentado necessário para detectar ervas daninhas ao mudar a faixa de cores não deve ser considerado absoluto, na verdade, é mais relativo do que em tempo real. Isso ocorre porque o ADED identifica erroneamente outros objetos na imagem como ervas daninhas.

Neste caso, a faixa foi deliberadamente alterada para o espectro rosa, resultando na detecção de um grande número de ervas daninhas inexistentes no canteiro, a maioria dos quais eram grandes grãos de solo detectados como ervas daninhas. Esse erro na identificação aumenta significativamente o número de interações do ADED nativo, o que, por sua vez, aumenta o tempo de resposta do servidor para processar todas as detecções reais e falsas.

Este experimento utiliza uma flor de serralha, que tem pétalas rosas e é uma erva daninha comum encontrada na região do Ceará, Brasil. O objetivo é determinar se o ADED pode identificar ervas daninhas com base em diferentes espectros de cores, particularmente alterando as configurações de matriz de verde para rosa. Todos esses passos são demonstrados na Figura 31.

Figura 31 – Alterar o intervalo de cores para o intervalo rosa faz com que o ADED não corresponda às ervas daninhas reais.



a – Foto da erva Serrilha tirada por smartphone.  
 b – Imagem de serrilha exibida na tela do sistema.  
 c – Faixa de cor do algoritmo de detecção de ervas definida no espectro verde.  
 d – A daninha erva, dentro do círculo azul, cresceu dentro do círculo verde onde o robô plantou uma semente. Isso fez com que o sistema interpretasse-a erroneamente como a própria semente plantada.

e – A Serrilha é removida de uma área não semeada.  
 f – A serrilha é marcada com um círculo vermelho (indicando-a como uma erva daninha) apenas nas folhas.  
 g – Tentando encontrar a pétala da flor mudando para o espectro de cores rosa/vermelho.  
 h – O sistema faz marcações de círculos irreais  
 i – Isto faz com que o sistema crie muitas ervas daninhas irreais e deixe de identificar as verdadeiras.

Fonte: Elaboração do autor. Universidade Federal do Ceará (2024, Laboratório GPAR).

As variações no número de detecção de objetos nos três testes podem ser atribuídas à exposição da cor causada por variações nas condições de iluminação, que afetam a coloração dos objetos ao longo do dia. Essa variação leva o ADED a identificar algumas plantas, especificamente no caso das flores de serralha, cujo tom rosa se assemelha muito à cor marrom do solo. Essa semelhança nos espectros de cores entre as flores e o solo complica a capacidade do ADED de identificar e diferenciar esses elementos dentro do solo da cultura, aumentando os desafios enfrentados pelo sistema de detecção em reconhecer consistentemente e processar corretamente as informações de imagem sob condições de iluminação variáveis.

Nos três cenários experimentais envolvendo folhas soltas, plantas de salsa e flores de serralha, estes foram detectados como ervas daninhas porque não foram plantados pelo sistema. Nos casos de plantio manual, como com as plantas de salsa, o usuário pode ter plantado as sementes manualmente sem, posteriormente, registrá-las no sistema. Para resolver esse problema, o usuário pode identificar a planta e especificar a data de semeadura para aquela que foi detectada como erva daninha.

No caso das folhas soltas e das flores de serralha, o ADED as detectou erroneamente como ervas daninhas, embora tenham sido usadas para simular ervas daninhas em estágio maduro. Essa situação contraria a lógica de que ervas daninhas não crescem tão rapidamente entre duas passagens do SDED, sugerindo que o ADED tem dificuldades em diferenciar objetos estranhos de ervas daninhas verdadeiras.

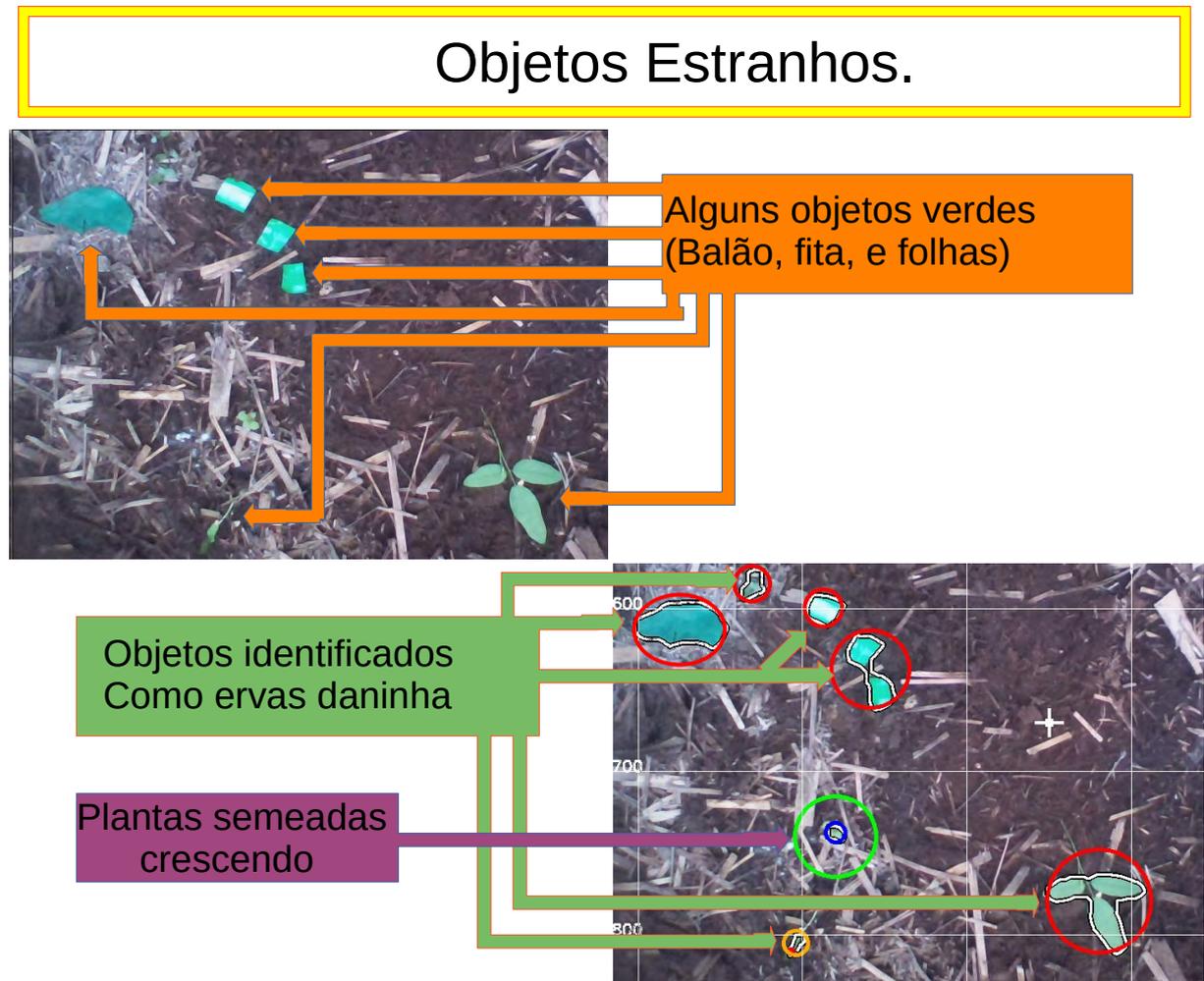
Para confirmar essa incapacidade do ADED de identificar objetos estranhos, alguns objetos da cor verde foram colocados no canteiro e, como esperado, foram detectados como ervas daninhas.

Pode-se inferir que, para melhorar o desempenho do sistema, a faixa de cores deve ser ajustada para o espectro verde. Como a maioria das ervas daninhas tem folhas verdes e, com os planos de semeadura coordenados pelo usuário no sistema, isso é suficiente para determinar se são ervas daninhas ou não.

#### 4.4 Experimento com objetos estranhos.

O teste anterior demonstra que o espectro verde oferece uma melhor chance de identificar ervas daninhas. No entanto, alguns objetos estranhos nesse espectro podem ser confundidos com ervas daninhas reais. A Figura 32 exibe alguns objetos estranhos. Esses objetos podem ser lixo ou insetos de diferentes tamanhos, como insetos ou gafanhotos, todos dentro do espectro verde.

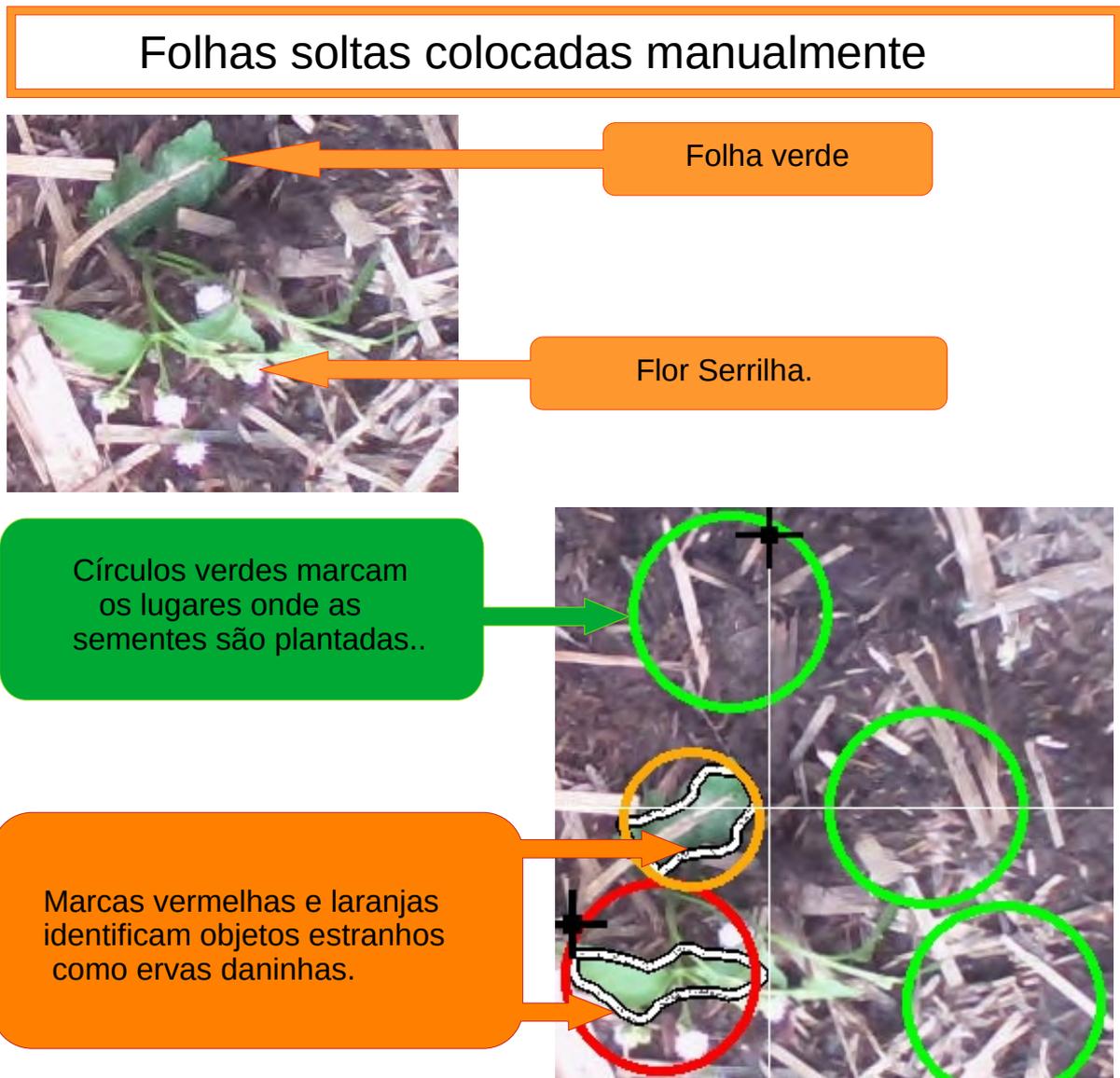
Figura 32 – objetos estranhos distribuídos no solo.



Fonte: Elaboração do autor. Universidade Federal do Ceará (2024, Laboratório GPAR).

Esse experimento envolve colocar algumas folhas soltas e ervas daninhas, retiradas de outro local, no meio do canteiro de vegetais .A ilustração, presente na Figura 33 revela que o ADED não possui a lógica necessária para distinguir entre ervas daninhas e objetos estranhos, como folhas soltas, lixo como tampas de garrafas plásticas ou até objetos em movimento dinâmico, como insetos.

Figura 33 – Detecção de ervas daninhas falsas: as ervas não têm histórico de crescimento nesta área.



Fonte: Elaboração do autor. Universidade Federal do Ceará (2024, Laboratório GPAR).

## **5 DISCUSSÃO DOS EXPERIMENTOS**

A análise dos testes que serão demonstrados neste capítulo ilustra os fatores que podem contribuir para os resultados obtidos, além de uma proposta de melhoria no algoritmo de detecção de ervas daninhas, baseada nos resultados dos testes.

### **5.1 ADED não consegue diferenciar entre erva daninha e objetos estranhos**

As ervas daninhas não começam grandes dentro da cultura; em vez disso, crescem gradualmente a cada dia como qualquer outra planta. Nos primeiros dias de vida de uma erva daninha, apenas partes verdes são visíveis acima da superfície do solo. Essa informação, juntamente com dados iniciais sobre as coordenadas onde essas entidades são encontradas, pode ser utilizada para desenvolver um algoritmo que determinaria se um objeto é uma erva daninha ou um artefato, partindo do princípio de que o artefato aparece inesperadamente nas coordenadas onde anteriormente não havia nada.

Insetos têm menor probabilidade de permanecer na mesma região da cultura por um período prolongado; portanto, eles podem não estar nas mesmas coordenadas entre a primeira e a segunda passagem do SDED. A nova estratégia do ADED também deve determinar se os objetos estranhos são estáticos ou dinâmicos, ajudando a decidir se o robô deve usar as ferramentas de capina para eliminá-los. Se eles forem previamente marcados e não encontrados posteriormente, isso indica que são objetos estranhos dinâmicos.

### **5.2 A degradação da luz afeta a identificação de ervas daninhas**

O setor agrícola enfrenta incertezas na aquisição e processamento de dados devido a uma variedade de fatores, incluindo condições ambientais variáveis, diferentes sensibilidades dos sensores e a imprevisibilidade inerente aos contextos agrícolas. Tais incertezas podem introduzir ineficiências significativas nas operações agrícolas, afetando desde o plantio e a colheita até o manejo de pragas e a alocação de recursos. A capacidade de coletar e interpretar dados com precisão é crucial para otimizar esses processos e garantir práticas agrícolas sustentáveis (Manogaran, Alazab, Albuquerque, et al.).

A degradação da cor causada pelas variações de luz do dia ou até sombras pode ser minimizada substituindo a câmera monocular por câmeras estéreo ou sensores LiDAR, que criam modelos geométricos 3D da cena e dos objetos. Isso supera os problemas com sombras e

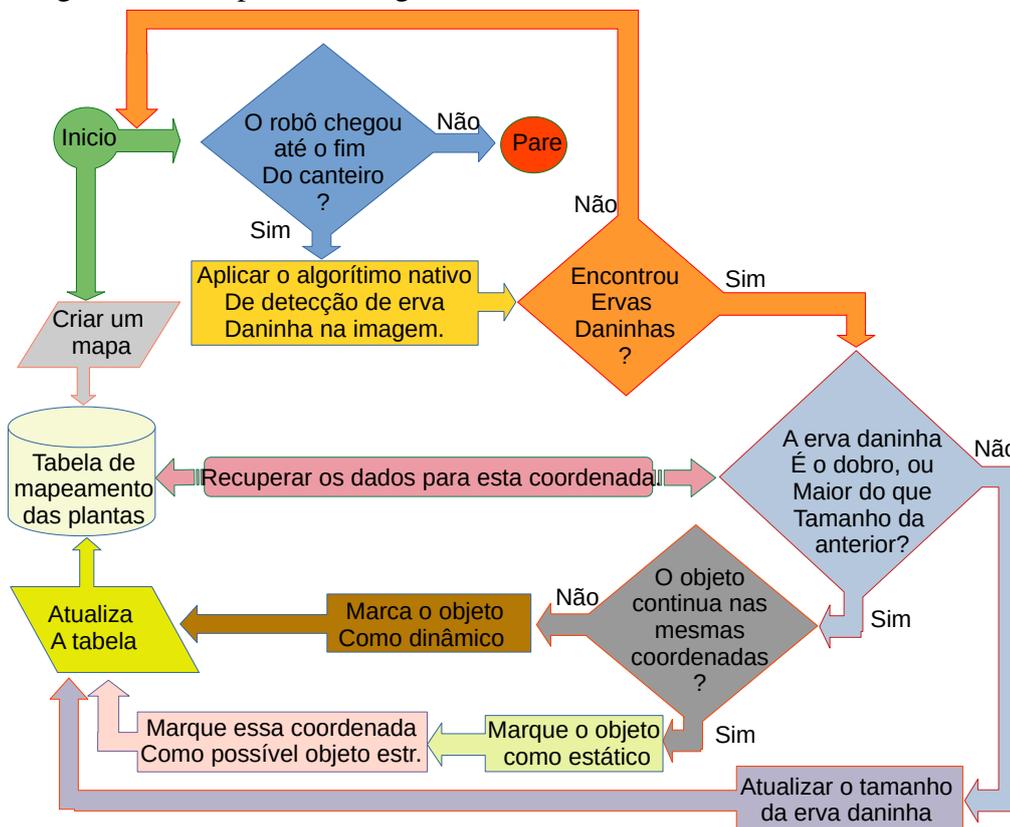
mudanças de textura, permitindo uma melhor distinção entre solo, plantas e objetos estranhos (Kneip, Fleischmann, Berns, 2020). No entanto, como mencionado anteriormente na seção sobre a câmera boroscópica neste artigo, isso pode aumentar substancialmente o custo do projeto.

### 5.3 Melhorias propostas ao SDED

A câmera boroscópica de foco fixo original sempre deve ser calibrada para este foco específico, acima de 50 cm do solo, fazendo com que o braço do eixo Z sempre desça a um ponto fixo que corresponde ao foco da calibração quando o SDED é utilizado. No entanto, este estudo introduz uma melhoria para este robô ao substituí-la por uma versão com autofoco, o que permite uma adaptação rápida para o ADED sem a necessidade de abaixar o braço para focar as plantas.

O fluxograma representado na Figura 34 fornece uma visão geral abrangente da lógica avançada utilizada pela nova estratégia para detectar objetos estranhos dentro de um campo de cultivo. Esta estratégia aprimorada, utilizando o ADED nativo e integrando processos lógicos adicionais, visa aumentar a precisão.

Figura 34 – O fluxograma ilustra a estratégia para detectar objetos estranhos integrando novos processos lógicos ao ADED nativo.



Fonte: Elaboração do autor. (2024)

Para refinar o ADED, adicionando mais processos e mudando a estratégia, pode-se ajudar a distinguir entre ervas daninhas e objetos estranhos, sem custo adicional com aquisição de outros equipamentos extras, mantendo a câmera monocular original.

Inicialmente, o ADED nativo varre as ervas daninhas em imagens tiradas da região inicial com a câmera do SDED, progredindo para regiões subsequentes até cobrir todo o canteiro. Simultaneamente, o algoritmo compila um mapa detalhado do campo de cultivo no banco de dados, incorporando dados da sessão de detecção mais recente. Com cada rodada subsequente de SDED, o banco de dados é meticulosamente atualizado com novos dados, incluindo as dimensões e características dos objetos detectados, observando se são estáticos ou dinâmicos em relação às plantas semeadas ao redor.

O principal método para determinar se um objeto é um artefato envolve comparar o tamanho do raio do objeto naquelas coordenadas com os dados históricos armazenados no banco de dados. Se o tamanho do raio de uma imagem recém-capturada naquela coordenada for pelo menos o dobro do tamanho registrado anteriormente, o objeto é identificado como um artefato. Esse critério de decisão baseia-se no entendimento de que uma planta não pode passar por um crescimento tão rápido de sua fase de mudas ou crescimento inicial para uma fase madura entre duas rodadas consecutivas de SDED. Um aumento significativo no tamanho dentro deste breve período sugere fortemente a presença de um artefato acima do solo.

Ao identificar um artefato, o processo lógico secundário começa, o qual envolve distinguir se o objeto é estático ou dinâmico. Essa determinação é feita avaliando se o artefato aparece consistentemente no mesmo local em imagens consecutivas. Se isso acontecer e for registrado assim no banco de dados, o artefato é classificado como estático. Por outro lado, se sua localização variar entre as imagens, ele é marcado como dinâmico.

## 6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O robô demonstra um potencial substancial para atuar tanto como uma plataforma de desenvolvimento inovadora quanto como uma ferramenta prática de gestão de cultivos. Ele oferece uma ampla gama de oportunidades para os pesquisadores explorarem suas capacidades em profundidade, servindo como base para inúmeros projetos e possibilitando avanços tanto em sua funcionalidade quanto em tecnologias agrícolas mais amplas.

A interface amigável da plataforma a torna atrativa e acessível, facilitando a adoção e utilização por uma ampla gama de usuários. Esta ferramenta de agricultura de precisão permite que os proprietários de cultivos reduzam significativamente seus orçamentos para insumos como água fresca, sementes e herbicidas.

A substituição da câmera boroscópica por um modelo de autofoco, em vez do original de foco fixo, demonstra que o algoritmo contribui para aprimorar a velocidade do processo de detecção de ervas daninhas.

Explorações adicionais e refinamentos por parte dos pesquisadores poderiam melhorar significativamente o robô, por exemplo, aprimorando o ADED. Embora o uso de uma câmera estéreo, em vez de uma monocular, com um algoritmo complexo e hardware mais robusto, possa resolver o problema de detecção de objetos estranhos, acarretaria em um aumento no custo do projeto e exigiria uma pesquisa intensiva sobre o assunto, além de uma grande reestruturação do software, especialmente no ADED nativo.

Adotar uma nova estratégia para identificar objetos estranhos, como folhas soltas entre as plantações e não apenas as ervas daninhas, poderia aumentar significativamente sua eficiência e usabilidade em cenários do mundo real, minimizando as limitações do ADED nativo. No entanto, isso não substitui o algoritmo, de fato, deve-se utilizá-lo como peça central dessa nova estratégia, mantendo o uso de baixo custo da câmera monocular. Resolver esses e outros desafios técnicos permitirá que o robô se torne ainda mais preciso no futuro, aumentando assim sua eficiência e otimizando as práticas agrícolas e os resultados.

o *farmbot* representa um sistema promissor para pesquisa e desenvolvimento em aplicações robóticas para agricultura. Avanços contínuos nessa área podem levar a mudanças inovadoras na forma como a tecnologia é usada para aprimorar a gestão de cultivos e a produtividade agrícola, destacando o papel crítico que soluções robóticas inovadoras desempenham no futuro da agricultura. Espera-se que estudos futuros usem essa plataforma de robô como base para melhorias ou aprimoramentos do próprio robô.

## REFERÊNCIAS

- FAO. **Water for sustainable food and agriculture a report produced for the g20 presidency of germany**. Food and Agriculture Organization of the united nations, Roma, 2017. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=SS1iDwAAQBAJ&lpg=PA6&hl=pt-BR&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>. Acessado em: 12 de Fev. 2024.
- FARMBOT. **Plant Designer**. 2023. Disponível em: <https://my.farm.bot/>. Acessado: 03 de Out. 2023.
- KESWANI, B.; MOHAPATRA, A.G.; MOHANTY, A.; et al. **Adapting weather conditions based iot enabled smart irrigation technique in precision agriculture mechanisms**. Neural Computing and Applications, v. 31, n. 1, p. 277–292, Jan 2019. ISSN 1433-3058. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3737-1>. Acessado em : 11 de Nov. de 2023.
- KNEIP, J.; FLEISCHMANN, P.; BERNIS, K. **Crop edge detection based on stereo vision**. Robotics and Autonomous Systems, v. 123, p. 13, 2020. ISSN 0921-8890. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rob.2019.103323>. Acessado em 30 de Nov 2023.
- MAGALHÃES, S. A.; MOREIRA, A. P.; SANTOS E.N.d; et al. **Active perception fruit harvesting robots — a systematic review**. Journal of Intelligent & Robotic Systems, v. 105, n. 1,p. 14, Mai 2022. ISSN 1573-0409. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10846-022-01595-3> . Acessado em: 02 de Mai 2024.
- MANOGARAN, G.; ALAZAB, M.; ALBUQUERQUE, V. H. C. de.; et al. **Smart sensing based functional control for reducing uncertainties in agricultural farm data analysis**. IEEE Sensors Journal, v. 21, n. 16, p. 17469–17478, 2021. Disponível em : <https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3054561>. Acessado em: 15 de Mar 2024.
- MOSCOSO, C. J. C.; SOROGASTÚA, E. M. F.; GARDINI, R. S. P. **Efficient implementation of a cartesian farmbot robot for agricultural applications in the region la libertad-peru**. In: *2018 IEEE ANDESCON*, Santiago de Cali, Colombia, Ago. 2018, pp. 1-6, Disponível em : <https://www.doi.org/10.1109/ANDESCON.2018.8564607>. Acessado em: 07 Abr. 2024.
- MURCIA, V. A.; PALACIOS, J. F.; BARBIERIE, G. **Farmbot simulator: towards a virtual environment for scaled precision agriculture**. In: TRENTESAUX, D.; BORANGIU, T.; LEITÃO, P.; JIMENEZ, JF.; MONTOYA-TORRES, J.R. (ed.). Service oriented, holonic and multi-agent manufacturing systems for industry of the future. (Studies in Computational Intelligence, vol 987). Proceedings of SOHOMA LATIM AMERICA 2021. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-80906-5\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-80906-5_16). E-Book. Acessado em: 24 de Abr. 2024.
- OLIVEIRA, L. F. P.; MOREIRA, A. P.; SILVA, M. F. **Advances in agriculture robotics: A state-of-the-art review and challenges ahead**. Robotics, v. 10, n. 2, 2021. ISSN 2218-6581. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2218-6581/10/2/52>. Acessado em : 05 de Jan. 2024.

SHIBIN, D.; ANAND, R.S.; SAGAYAM, M. **Enhancing AI based evaluation for smart cultivation and crop testing using agro-datasets.** 2, 149–167. *Journal of Artificial Intelligence and Systems*, 2020. Disponível em : <https://doi.org/10.33969/AIS.2020.21010>. Acessado em 01 Mar. 2024.

SHOREWALA, S.; ASHFAQUE, A.; SIDHARTH, R.; et al. **Weed density and distribution estimation for precision agriculture using semi-supervised learning.** *IEEE Access*, v. 9, p. 27971–27986, 2021. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9350244> Acessado em: 18 de Fev. 2024.

SLAUGHTER, D.; GILES, D.; DOWNEY, D. **Autonomous robotic weed control systems: A review.** *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 61, n. 1, p. 63–78, 2008. ISSN 0168-1699. *Emerging Technologies For Real-time and Integrated Agriculture Decisions*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169907001688>. Acessado em: 14 de Fev. 2024.

THAKUR, A.; VENU, S.; GURUSAMY, M. **An extensive review on agricultural robots with a focus on their perception systems.** *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 212, p. 108146, 2023. ISSN 0168-1699. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169923005343>. Acessado em : 12 de Jan 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Grupo de Pesquisa em Automação Controle e Robótica Departamento de Engenharia Elétrica Universidade Federal do Ceará.** Fortaleza: GPAR - UFC, 2024. Disponível em: <https://gpar.ufc.br/>. Acesso em: 24 Abril 2024.

YANG, Q.; DU, X.; WANG, Z.; et al. **A review of core agricultural robot technologies for crop productions.** *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 206, p. 107701, 2023. ISSN 0168-1699. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169923000893>. Acessado em 05 de Jan. 2024.