

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**JOEL HENRIQUE RAMBO**

**VEÍCULO ELÉTRICO AGRÍCOLA COMANDADO VIA CONTROLE REMOTO**

**São Leopoldo**

**2022**

JOEL HENRIQUE RAMBO

**VEÍCULO ELÉTRICO AGRÍCOLA COMANDADO VIA CONTROLE REMOTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, com ênfase em Controle e Automação Industrial, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientador(a): Prof. Dr. João Olegário de Oliveira de Souza

São Leopoldo

2022

Dedico este trabalho de conclusão a todos que me auxiliaram e apoiaram durante a minha graduação, em especial, minha esposa e família.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por guiar meus passos conduzindo minha trajetória ao rumo correto e por me abençoar com saúde e perseverança para concluir este trabalho.

Aos meus pais, pelo apoio e incentivo aos estudos, procurando sempre me fazer obter bons resultados.

A minha esposa, por todo o incentivo, ajuda, paciência pela minha ausência em vários momentos em que estava me dedicando a execução deste trabalho e por suavizar minhas ansiedades e preocupações.

Ao meu orientador Dr. João Olegário de Oliveira de Souza por toda a dedicação e paciência que teve comigo durante este período, sempre sanando minhas dúvidas e apontando melhorias de forma muito eficiente e rápida.

## RESUMO

A maior parte dos alimentos consumidos no Brasil vem da agricultura familiar e esta também representa uma fatia significativa do produto interno bruto do país. Porém, esta atividade ainda exige muito esforço físico dos agricultores devido à pouca oferta de tecnologia acessível no mercado, existem poucos equipamentos que realmente facilitam o dia a dia do trabalhador agrícola. Tendo em vista este cenário, o objetivo deste trabalho é desenvolver um veículo elétrico de baixo custo capaz de auxiliar pequenos agricultores em tarefas diversas, como transporte de ferramentas, transporte de produtos e pulverização de plantações, permitindo a redução dos danos à saúde dos trabalhadores e aumentando a capacidade produtiva da propriedade. O veículo é controlado por meio de um controle remoto e sua estrutura é composta por quatro rodas, chassi, motores, sensores e uma central de controle. Um microcontrolador instalado junto à estrutura do robô, na central de controle, é responsável por receber os comandos oriundos do controle remoto, fazer o tratamento dos dados e executar as ordens conforme necessidade do operador. A execução do projeto ocorreu de forma planejada e os resultados obtidos foram satisfatórios. Algumas possibilidades de melhorias foram identificadas e descritas para serem implementadas posteriormente.

**Palavras-chave:** Veículo Elétrico Agrícola. Controle Remoto. Pulverizador. Ambiente Agrícola.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pulverizador costal manual .....	19
Figura 2 – Pulverizador costal à bateria .....	20
Figura 3 – Pulverizador tratorizado .....	20
Figura 4 - Veículo Autônomo para Tratamento de Culturas .....	23
Figura 5 – Robô capinador .....	24
Figura 6 - Plataforma Autônoma e Sistema de Informação.....	24
Figura 7 – Robo Aurora .....	25
Figura 8 – Agribot.....	26
Figura 9 – Comparação dos sistemas de comunicação móvel e estação base. ....	29
Figura 10 – Laço de histerese .....	31
Figura 11- Arquitetura interna de um microcontrolador genérico .....	34
Figura 12 – Arduino Uno .....	35
Figura 13 – <i>Shield</i> de isolamento para motores .....	37
Figura 14 – <i>Shield</i> Ponte H .....	37
Figura 15 – Lavouras alvo .....	38
Figura 16 – Robô de carga.....	39
Figura 17 – Robô pulverizador .....	39
Figura 18 – Diagrama de blocos do veículo .....	40
Figura 19 – Sistema com coroas e correntes.....	41
Figura 20 – Motorredução Imobras .....	42
Figura 21 – Driver ponte H BTS7960B.....	42
Figura 22 – Ligação série .....	43
Figura 23 - Regulador de tensão LM2596 .....	44
Figura 24 – Placa fotovoltaica utilizada .....	45
Figura 25 – Regulador de carga.....	46
Figura 26 – Sistema de direção.....	47
Figura 27 – Conjunto do controle remoto .....	49
Figura 28 – Módulo NRF24L01 + PA + LNA .....	50
Figura 29 – Motor de Passo .....	51
Figura 30 – Driver motor de passo .....	52
Figura 31 – Arduino Mega ADK.....	52
Figura 32 – Posição do sistema de controle .....	53

Figura 33 – Motobomba .....	54
Figura 34 – Sensor Ultrassônico .....	55
Figura 35 – Ligação dos periféricos do veículo .....	56
Figura 36 - Ligação dos periféricos do controle remoto .....	56
Figura 37 – Funções do controle remoto.....	57
Figura 38 – Montagem do Chassi .....	59
Figura 39 – Pintura.....	59
Figura 40 – Montagem do sistema de tração .....	60
Figura 41 – Pontos de fixação dos motores .....	61
Figura 42 – Montagem do sistema de direção .....	62
Figura 43 – Montagem do sistema de freios .....	63
Figura 44 – Montagem do sistema de pulverização .....	65
Figura 45 – Suporte dos bicos aplicadores .....	66
Figura 46 – Bico pulverizador.....	66
Figura 47 – Montagem do sistema de controle .....	67
Figura 48 – Montagem do controle remoto .....	68
Figura 49 – Montagem da placa fotovoltaica.....	70
Figura 50 – Montagem completa frente.....	70
Figura 51 – Montagem completa trás.....	71
Figura 52 – Voltímetro e Amperímetro .....	76
Figura 53 – Teste de deslocamento .....	79
Figura 54 – Teste de pulverização .....	80
Figura 55 – Teste de colheita.....	80

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Plantação ao ar livre .....	21
Fotografia 2 - Plantação em ambiente controlado.....	22

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diferentes versões da plataforma Arduino .....	36
Tabela 2 – Características do motor .....	41
Tabela 3 – Características do driver BTS 7960B .....	43
Tabela 4 – Características do LM2596.....	44
Tabela 5 – Características da placa fotovoltaica .....	45
Tabela 6 – Características do controlador de carga.....	46
Tabela 7 - Características motor .....	48
Tabela 8 - Características motor de passo.....	51
Tabela 9 – Características da Motobomba.....	54
Tabela 10 – Velocidade.....	72
Tabela 11 – Pressão .....	74
Tabela 12 – Vazão .....	75
Tabela 13 - Consumo do sistema de tração.....	77
Tabela 14 - Consumo do sistema de freio.....	78
Tabela 15 - Consumo do sistema de Pulverização .....	78
Tabela 16 – Custos .....	83

## LISTA DE SIGLAS

AM	Amplitude Modulada
BMS	Battery Management System ou sistema de gerenciamento de bateria
CC	Corrente Contínua
DORT	Doenças Osteomusculares Relativas ao Trabalho
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FM	Frequência Modulada
GPS	Global Position System ou Sistema de Posicionamento Global
I2C	Inter-Integrated Circuit ou Circuito Inter-integrado
LNN	Low Noise Amplifier ou Amplificador de Baixo Ruído
MDP	Medium Density Particleboard ou painel de partículas de baixa densidade
OIT	Organização Internacional do Trabalho
OLED	Organic Light Emitting Diode ou Diodo Orgânico que Emite Luz
PA	Amplificador de Potência
PID	Proporcional, Integral e Derivativo
PVC	Polyvinyl Chloride ou Policloreto de Vinil
PWM	Pulse Width Modulation ou Modulação por Largura de Pulso
RAM	Random Access Memory ou Memória de Acesso Aleatório
RF	Rádio Frequência
ROM	Read-Only Memory ou Memória Somente de Leitura
RPM	Rotações Por Minuto
SPI	Serial Peripheral Interface ou Interface Periférica Serial
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter ou Receptor/Transmissor Universal Assíncrono
ULA	Unidade Lógica e Aritmética
WLAN	Wireless Local Area Network ou Rede Local sem Fio

## LISTA DE SIGLAS

A	Ampere
Hz	Hertz
k	Quilo
l	litro
m	Metro
M	Mega
m/l	Metro por litro
m/s	Metro por segundo
ml/s	Mililitro por segundo
mm	milímetro
PSI	Pounds per Square Inch ou libra por polegada quadrada
V	Volt
W	Watt

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Tema .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 Objetivos .....</b>	<b>14</b>
1.2.1 Objetivo geral .....	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
<b>1.3 Justificativa.....</b>	<b>15</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Agricultura familiar .....</b>	<b>17</b>
2.1.1 Agrotóxicos e saúde dos agricultores.....	17
2.1.2 Agricultura e doenças osteomusculares.....	18
2.1.3 Equipamentos agrícolas para aplicação de defensivos.....	19
2.1.4 Estrutura agrícola .....	21
<b>2.2 Robótica .....</b>	<b>22</b>
2.2.1 Tecnologias já desenvolvidas.....	23
2.2.2 Motores de corrente contínua.....	26
2.2.3 Comunicação por rádio frequência.....	27
2.2.4 Sensores .....	29
2.2.5 Microcontroladores .....	32
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>38</b>
<b>3.1 Funcionamento do robô .....</b>	<b>38</b>
<b>3.2 Sistema de tração.....</b>	<b>40</b>
<b>3.3 Sistema de Alimentação .....</b>	<b>43</b>
<b>3.4 Sistema de direção.....</b>	<b>47</b>
<b>3.5 Sistema de controle remoto .....</b>	<b>48</b>
<b>3.6 Sistema de frenagem .....</b>	<b>50</b>
<b>3.7 Sistema de controle .....</b>	<b>52</b>
<b>3.8 Sistema de pulverização.....</b>	<b>53</b>
<b>3.9 Diagramas e Conexões.....</b>	<b>56</b>
<b>4 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO .....</b>	<b>58</b>
<b>4.1 Chassi.....</b>	<b>58</b>
<b>4.2 Montagem do sistema de tração.....</b>	<b>60</b>
<b>4.3 Montagem do sistema de direção.....</b>	<b>61</b>

4.4 Montagem do sistema de freios.....	63
4.4 Montagem do sistema de pulverização.....	64
4.6 Montagem do sistema de controle.....	67
4.7 Montagem do controle remoto.....	68
4.8 Montagem do sistema de alimentação do veículo.....	69
4.9 Montagem completa.....	70
5 TESTES REALIZADOS E RESULTADOS OBTIDOS.....	72
5.1 Teste do sistema de tração.....	72
5.3 Teste do pulverizador.....	74
5.4 Teste do controle remoto.....	75
5.5 Consumo e autonomia do veículo.....	76
5.6 Imagens.....	79
6 DISCUSSÃO.....	81
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
6.1 Trabalhos futuros.....	85
REFERÊNCIAS.....	87

## 1 INTRODUÇÃO

A robótica está sempre em constante avanço e sendo inserida nos mais variados ramos do mercado. Avanços e pesquisas em tecnologias tem por objetivo melhorar e facilitar o cotidiano das pessoas em vários aspectos. Segundo Barbosa Filho (2017), a tecnologia pode ser vista como o conhecimento adquirido ao longo da história voltado para resolução de problemas, assim, não existe tecnologia melhor ou pior, atual ou antiga, simples ou complexa, existe apenas aquela que é capaz de fornecer a solução necessária para cada caso concreto.

O setor agrícola também vem acompanhando gradativamente estes avanços, laboratórios especializados garantem constantes melhorias em sementes e fabricantes de maquinários entregam equipamentos cada vez mais eficientes e inteligentes. Porém, estes avanços exigem grande investimento e em sua maioria não são adequados para pequenas propriedades, que é o caso da agricultura familiar, dispendo de poucas ferramentas, mecanização simplificada e acesso restrito a informações técnicas, onde as atividades necessárias para o desenvolvimento da propriedade dependem da força de trabalho de todos os membros da família, geralmente com jornadas longas e condições de trabalho inadequadas (BARBOSA FILHO, 2017).

Um exemplo de atividade danosa à saúde dos trabalhadores rurais é a aplicação de defensivos agrícolas, muitas vezes feita sem os devidos equipamentos de proteção individual. A utilização de veículos não tripulados controlados de forma remota surge como uma forma de diminuir a exposição destes trabalhadores à estas substâncias tão prejudiciais à saúde. Como exemplo é possível citar os drones que são aeronaves não tripuladas, que podem realizar com maior precisão e segurança as atividades geralmente realizadas pela aviação agrícola (BARBOSA FILHO, 2017).

O desenvolvimento de um robô/veículo pode ser chamado de multidisciplinar, pois engloba conhecimentos das mais variadas áreas da engenharia como, mecânica, elétrica e computação. Isto porque é necessário integrar todos os componentes eletrônicos, sensores e atuadores de forma que haja uma comunicação entre máquina e operador eficiente e precisa (ROMERO et al, 2014). Uma maneira simplificada de unir operador, máquina e periféricos é por meio de microcontroladores, estes são capazes de comandar o sistema por meio de um programa pré-definido. Segundo Almeida et al. (2016), a utilização de

microcontroladores facilita o desenvolvimento de equipamentos, pois, com um único componente, é possível desenvolver aplicações bastante complexas.

## **1.1 Tema**

Segundo Barbosa Filho (2017), a OIT (Organização Internacional do Trabalho) classifica a agropecuária como uma das atividades com os maiores índices de acidentes no mundo. Além dos acidentes com tratores e equipamentos agrícolas, há também a questão da exposição aos agrotóxicos, ao intenso deslocamento manual de cargas em posturas inadequadas, ritmos muito intensos de trabalho sem pausas para descanso.

Com a finalidade de amenizar alguns dos problemas citados acima, o desenvolvimento de um veículo agrícola elétrico de pequeno porte pode auxiliar trabalhadores rurais em várias atividades. Devido à sua estrutura compacta e capacidade elevada de carga, ele possibilitará o transporte de produtos colhidos dentro das lavouras, tornando o serviço mais leve e rápido. Um sistema de pulverização também poderá ser acoplado ao veículo, como se trata de um sistema controlado remotamente, o usuário poderá efetuar a pulverização da plantação à uma distância segura e desta forma não estará exposto aos defensivos.

Outra característica importante no desenvolvimento do projeto é o custo. Este precisa ser reduzido, pois o público-alvo em geral costuma ter receio em fazer grandes investimentos que não trazem retornos imediatos.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Projetar e construir um veículo elétrico de baixo custo comandado por controle remoto capaz de auxiliar trabalhadores agrícolas em suas atividades rotineiras.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- a) Analisar o ambiente no qual o veículo atuará;
- b) Levantar as dimensões exatas do chassi;

- c) Implementar uma estrutura física (chassi) que se adapte facilmente aos locais de trabalho;
- d) Desenvolver um algoritmo de controle para o veículo.
- e) Estabelecer a comunicação sem fio entre controle remoto e máquina;
- f) Adaptar os atuadores e periféricos ao chassi;
- g) Inserir o sistema de direção e frenagem ao veículo;
- h) Efetuar testes de performance.

### **1.3 Justificativa**

A maior parte dos trabalhos agrícolas exige um esforço físico intenso o que a longo prazo prejudica a saúde dos trabalhadores. Manuseio de cargas pesadas, longos períodos em posições inadequadas e extensas jornadas de trabalho são alguns exemplos de atividades que podem ocasionar doenças osteomusculares. Isto sem falar da constante exposição a produtos químicos agressivos ao corpo.

O presente trabalho procura desenvolver um veículo que possa servir de apoio à trabalhadores agrícolas, ramo em que o autor deste trabalho atua. Com a utilização do veículo em questão, os trabalhadores rurais terão uma alternativa relacionada ao carregamento de cargas dentro das lavouras, além de um sistema de pulverização controlado à distância.

Esta ideia surgiu devido a constantes problemas osteomusculares identificados em trabalhadores rurais, que atuam em áreas próximas à residência do autor deste trabalho, principalmente em pequenas propriedades, onde o trabalho ainda é efetuado, em sua maior parte, de forma manual. O mesmo problema é visto na aplicação de defensivos agrícolas, onde, além de problemas osteomusculares decorrentes do peso excessivo dos pulverizadores costais, ainda existe o fator da exposição aos produtos químicos que a longo prazo causa danos à saúde dos trabalhadores.

Tendo em vista que este projeto procura atender uma classe de trabalhadores que não dispõem de altos valores para investimentos, que é o caso dos agricultores familiares, o veículo é implementado a partir de componentes simples, de fácil acesso e baixo custo, o que reduz significativamente o valor final do equipamento.

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica que engloba as áreas pertinentes e necessárias para o entendimento deste trabalho. O capítulo 3 é

responsável por descrever a execução do projeto e todos os periféricos que compõem o sistema. O capítulo 4 exhibe o processo de montagem do protótipo e o capítulo 5 apresenta os testes destas montagens. Algumas discussões pertinentes ao trabalho são descritas no capítulo 6 e por fim o capítulo 7 mostra as conclusões provenientes da execução do projeto.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Este capítulo apresenta o resumo de fundamentos necessários para a compreensão e execução do presente trabalho. Tendo como base autores específicos de cada área abordada no decorrer do projeto além de dados de consultas públicas retirados do site do governo.

É descrita uma breve introdução a assuntos relacionados a agricultura familiar, tais como, dados gerais e indicativos sobre saúde dos agricultores. Também são abordados temas relacionados à robótica pertinentes a execução do projeto em questão.

### **2.1 Agricultura familiar**

De acordo com a lei número 11.326 da Constituição Federal Brasileira, a agricultura familiar é caracterizada pela produção agropecuária obtida através das atividades rurais de pequenos produtores. Esta mesma lei assegura a atividade de tais agricultores e estabelece suas principais características. Para a atividade ser caracterizada como agricultura familiar, a maior parte renda obtida deve ser através do território rural da família (CASA CIVIL, 2006).

Para que uma propriedade seja caracterizada como produção agrícola familiar, a área utilizada para o cultivo não deve ser maior do que quatro módulos fiscais, tal unidade territorial é estabelecida de acordo com cada município pela Lei número 6.746/79, e pode variar de 5 a 100 hectares.

Segundo dados de 2017 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), divulgados no site do estado do Rio Grande do Sul, dos mais de 365 mil estabelecimentos agropecuários contidos no Rio Grande do Sul, 294 mil foram classificados como de agricultura familiar.

#### **2.1.1 Agrotóxicos e saúde dos agricultores**

De acordo com Rangel, Rosa e Sarcinelli (2011), dois terços de todos os agrotóxicos existentes estão voltados para fins agrícolas tornando assim o agricultor

a pessoa mais suscetível a sua exposição e seus riscos. Como os agricultores estão expostos de forma direta e indireta, eles fazem parte da população mais vulnerável aos efeitos dos agrotóxicos sobre a saúde (Londres, 2011).

Klaassen (2013), citado no site da instituição nacional do câncer (INCA), aponta os principais meios de contaminação e seus sintomas mais comuns, sendo eles, através da pele na forma de irritação, ardência, desidratação e alergias. Através da respiração causando tosse, coriza, dor no peito e dificuldade de respirar. E através da boca originando irritação da boca e garganta, dor de estômago, náuseas, vômito e diarreia.

Tanto o Ministério da Saúde quanto os rótulos e bulas dos agrotóxicos recomendam o uso rigoroso de EPIs (Equipamentos de Proteção Individual) no manuseio e aplicação dos produtos, muitos agricultores, principalmente os pertencentes à agricultura familiar, consideram os EPIs pouco práticos, desnecessários e caros (SAM et al., 2008). Castro e Confalonieri (2005) em uma pesquisa averiguaram que 82,5% dos trabalhadores rurais não utilizam EPIs completos devido ao grande desconforto térmico e pelo entendimento de que os agrotóxicos oferecem pouco risco à saúde humana.

### 2.1.2 Agricultura e doenças osteomusculares

Existe um evidente aumento no número de acidentes, lesões e doenças variadas relacionadas as atividades agrícolas (ALVES e GUIMARÃES, 2012). A agricultura familiar por ser menos avançada tecnologicamente, exige mais esforço físico do trabalhador, o que acarreta vários problemas físicos. Jornada longa de trabalho, intenso esforço físico, carregamento de peso, exposição às mudanças climáticas e uso inadequado de agrotóxico são características que tornam o trabalho rural uma atividade diferenciada das demais (LEITE et al., 2007).

Geralmente as doenças osteomusculares relativas ao trabalho (DORT) ocorrem devido a união de dois fatores, o primeiro é relacionado à sobrecarga do sistema osteomuscular que é causada pela movimentação repetitiva de conjuntos musculares de maneira excessiva, sendo exigido esforço localizado ou não, ou por manter uma postura corporal em uma certa posição por tempo prolongado. O segundo fator trata do curto período para a recuperação das lesões. A ocorrência de

DORT é mais comum quando existe uma necessidade de concentração do trabalhador para realizar as atividades juntamente com uma tensão imposta pela organização do trabalho (LUCCA et al., 2011).

Entre as principais doenças osteomusculares pode-se destacar as inflamações das articulações e ligamentos, dores lombares, cervicalgias e problemas na coluna dorsal. De acordo com Alves e Guimarães (2012), observando as diversas atividades e passos de trabalho de um agricultor é possível concluir que se trata de um serviço extremamente repetitivo, que requer uma atividade manual intensa e muito exigente em termos de postura, fatos que constituem muito risco ergonômico para desenvolvimento de problemas musculoesqueléticas.

### 2.1.3 Equipamentos agrícolas para aplicação de defensivos

São muitos os equipamentos utilizados para aplicação de defensivos agrícolas, Azevedo e Freire (2006) listam alguns equipamentos de acordo com a forma de energia utilizada. O primeiro grupo engloba os equipamentos hidráulicos, onde o líquido é bombeado com pressão, de forma manual ou mecanizada, para um bico e posteriormente é lançado ao ar. Outro grupo é o dos aplicadores pneumáticos, estes geram uma corrente de ar na qual é injetada a calda a ser aplicada. Os autores ainda caracterizam os centrífugos, eletrostáticos e térmicos.

As figuras 1, 2 e 3 apresentam alguns dos principais pulverizadores do tipo hidráulico utilizados em pequenas e médias plantações:

Figura 1 – Pulverizador costal manual



Fonte: Jacto (2021).

O pulverizador costal manual é um exemplo de pulverizador hidráulico onde é utilizada força humana para pressurizar o líquido até a ponteira de aplicação e posteriormente lançar ao ar.

Figura 2 – Pulverizador costal à bateria



Fonte: Jacto (2021).

Utilizando o mesmo método de aplicação do equipamento vistos anteriormente, o pulverizador costal à bateria, tem como vantagem o fato de possuir uma motobomba elétrica alimentada por uma bateria recarregável e assim não necessita de força humana para pressurizar a calda.

Figura 3 – Pulverizador tratorizado



Fonte: Lavrale (2021).

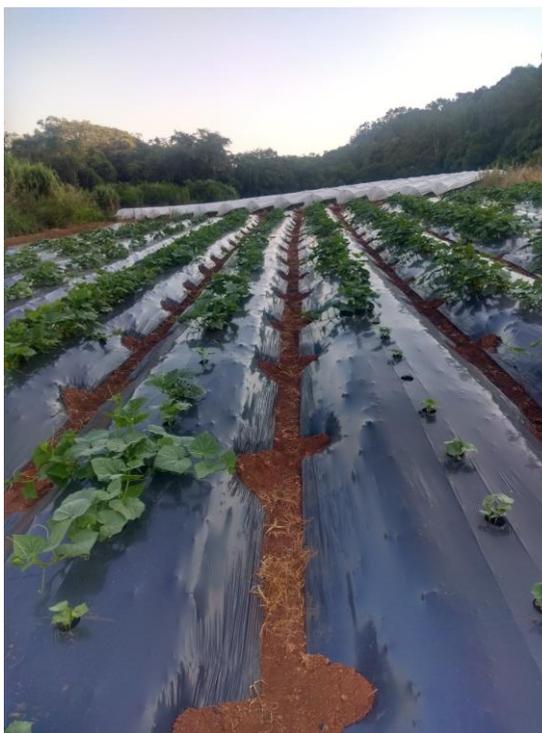
Normalmente acoplado a um trator, o sistema conta com um reservatório, um sistema mecânico para pressurizar o líquido, uma mangueira e uma pistola ou vara para aplicação do produto.

#### 2.1.4 Estrutura agrícola

As estruturas agrícolas que compõem o cenário de estudo para o desenvolvimento deste trabalho englobam dois tipos de produção, a produção ao ar livre e a produção em ambiente protegido. Embora o ambiente protegido seja mais trabalhoso e necessita maior investimento, a produção apresenta maior rendimento e qualidade. De acordo com Purquerio e Tivelli (2006), as estufas auxiliam no problema da alta influência do clima na produção de hortaliças, amenizando o efeito da diferença elevada de temperatura, luminosidade e humidade.

A seguir podem ser vistas algumas fotografias que ilustram estruturas comuns em pequenas plantações. A fotografia 1 mostra uma plantação de pepinos a céu aberto, já a fotografia 2 contempla uma plantação de morangos em estufas do tipo túnel.

Fotografia 1 - Plantação ao ar livre



Fonte: Registrado pelo autor

Fotografia 2 - Plantação em ambiente controlado



Fonte: Registrado pelo autor

Ainda existem outras estruturas muito utilizadas na agricultura familiar, como por exemplo a utilização de estufas de grande porte. Mas estes modelos não se aplicam aos estudos deste trabalho. Para desenvolver um equipamento que possa se locomover nas estruturas apresentadas acima, ainda é necessário abordar alguns temas relacionados à robótica.

## 2.2 Robótica

Romano e Dutra (2002) afirmam que ao longo do tempo, as várias invenções foram fundamentais para a substituição da mão-de-obra humana por máquinas que desempenhassem a mesma função. Ainda segundo os autores, a palavra robô tem sua origem na palavra eslava “robot”, sua tradução pode ser interpretada como “trabalhado forçado”.

Robôs são máquinas capazes de realizar movimentos variados e adaptam-se as necessidades operacionais de tarefas distintas (ROMANO e DUTRA, 2002). De acordo com Tabile et al., (2011), o desenvolvimento de robôs e sistemas autônomos

direcionados ao setor agrícola são os assuntos principais na pesquisa em Agricultura de Precisão da atualidade.

### 2.2.1 Tecnologias já desenvolvidas

Considerando os aspectos que englobam os assuntos abordados, a seguir são apresentados alguns modelos de robôs que já foram desenvolvidos voltados a agricultura, embora os modelos possuam funções distintas, eles servirão de base para o desenvolvimento deste trabalho, pois possuem estruturas semelhantes.

Um projeto a ser destacado é o “*Autonomous Crop Treatment Vehicle*” - Veículo Autônomo para Tratamento de Culturas, apresentado na figura 4, este foi projetado por um grupo de robótica do Instituto de Pesquisa de Silsoe, situado no Reino Unido. Sua aplicação é voltada para a horticultura, onde é capaz de realizar o sensoriamento da superfície do solo obtendo propriedades locais específicas de cada área além de aplicar herbicida para eliminar plantas invasoras (HAGUE et al., 2000).

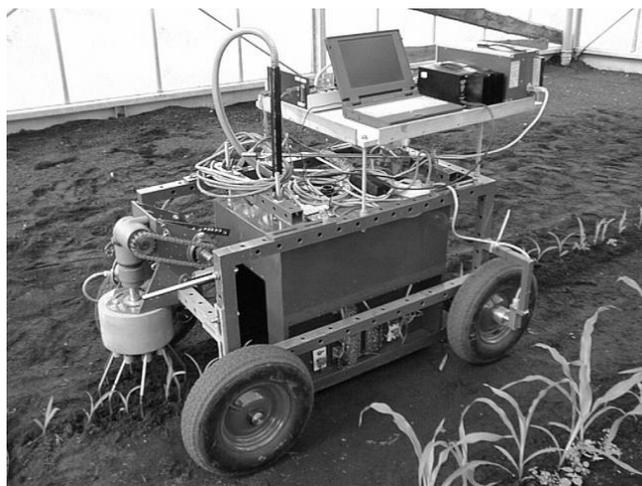
Figura 4 - Veículo Autônomo para Tratamento de Culturas



Fonte: Hague et al. (2000, p. 22).

Na Alemanha, a Universidade de Ciências Aplicadas na cidade de Osnabrück, pesquisadores desenvolveram o projeto do “weedy robot”, robô capinador, que tem como objetivo eliminar plantas invasoras a partir de uma estrutura mecânica (RUCKELSHAUSEN et al., 2006). A figura 5 mostra o protótipo do robô em sua fase de testes.

Figura 5 – Robô capinador



Fonte: Ruckelshausen et al. (2006, p. 179).

Na Dinamarca, o Departamento de Controle e Engenharia e Design da Universidade Técnica da Dinamarca, desenvolveu a Plataforma Autônoma e Sistema de Informação, que é constituído basicamente por um chassi e quatro rodas, como pode ser observado na figura 6, e tem por objetivo realizar atividades gerais dentro de uma plantação rasteira (BAK e JAKOBSEN, 2004).

Figura 6 - Plataforma Autônoma e Sistema de Informação



Fonte: Bak et al. (1995, p. 132).

A figura 7 mostra o robô desenvolvido em Málaga, na Espanha, o veículo autônomo de nome Aurora foi projetado por pesquisadores da Universidade de Málaga, o equipamento tem por objetivo principal realizar a pulverização das plantações dentro de estufas (OLLERO et al., 1995).

Figura 7 – Robo Aurora



Fonte: Ollero et al (1995, p. 2).

No Brasil, com uma parceria entre a Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP), a Unidade de Instrumentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Instrumentação), e a empresa privada Máquinas Agrícolas Jacto S.A., foi desenvolvido o “Agribot”, figura 8, que é uma plataforma robótica capaz de se deslocar em terrenos agrícolas gerais com finalidade de aquisição de dados e pesquisa de novas tecnologias para o sensoriamento remoto para a propriedades agrícolas (TANGERINO et al, 2011).

Figura 8 – Agribot



Fonte: Tangerino et al (2011, p. 2).

Embora ainda não seja possível ver as tecnologias acima sendo comercializadas para utilização em maior escala, é possível notar que existe um grande interesse por parte de pesquisadores para o desenvolvimento de tecnologias voltadas ao setor agrícola. A seguir serão apresentados alguns dos principais componentes utilizados na robótica, estes componentes são fundamentais para o desenvolvimento do robô referente a este trabalho.

### 2.2.2 Motores de corrente contínua

Embora os primeiros sistemas elétricos de potência dos Estados Unidos fossem de corrente contínua, os sistemas de corrente alternada a partir da década de 1890 estavam cada vez mais sendo utilizados (CHAPMAN, 2013). Mesmo assim os motores de corrente contínua (CC) ainda representam uma fração significativa no mercado.

Os motores CC são geralmente utilizados onde a aplicação requer um torque preciso ou acionamento de velocidade específico, como exemplos é possível citar elevadores, transportadores e guindastes (PETRUZELLA, 2013). Também são muito utilizados em carros, tratores e aeronaves (CHAPMAN, 2013).

Os parâmetros mais importantes que caracterizam o motor CC são:

- Velocidade, medida em RPM (Rotações por minuto) refere-se à velocidade de rotação do eixo do motor;

- Torque, tendo como unidade padrão libras-polegadas(lb-pol) ou libra-pé (lb-pé) diz respeito a força de rotação que o motor fornece.
- Potência, normalmente medida em watts, é a taxa na qual o trabalho é realizado. Para comparação, um Hp é aproximadamente igual a 746 Watts. Exemplificando, o levantamento de 15 kg na altura de 1 metro no período de 1 minuto é equivalente a um Hp (PETRUZELLA, 2013).

Em um motor CC, o sentido do campo magnético e o sentido da corrente na armadura definem o sentido de rotação do eixo, se um destes sentidos for alterado, o motor passa a girar para o outro lado. Na prática, é possível alterar o sentido da rotação do eixo do motor simplesmente alterando a polaridade da tensão aplicada.

Segundo Petruzella (2013) e Chapman (2013), a maior vantagem dos motores CC é seu controle simplificado de velocidade, para aumentar a velocidade basta aumentar a tensão da armadura e para diminuir a velocidade basta reduzir a tensão. Outra vantagem do motor CC controlado pela armadura, é que ele é capaz de manter seu torque nominal em qualquer velocidade entre zero e sua velocidade base.

Motores CC são geralmente acionados por dispositivos de partida magnéticos, que fornecem proteção contra sobrecarga e aceleram o motor até sua velocidade nominal, e unidades de acionamento (drive), este, é um dispositivo eletrônico que fornece além da proteção, controle preciso de velocidade, torque, aceleração, desaceleração e sentido de rotação (PETRUZELLA, 2013). A maioria dos motores CC tem velocidade entre 3 e 9 mil rotações por minuto, isso significa que possuem alta velocidade e baixo torque. Na robótica normalmente não é necessária toda essa velocidade, porém geralmente é requerido um valor elevado de torque, para resolver este problema, comumente são utilizadas engrenagens de diferentes tamanhos acopladas ao eixo do motor, com isso é possível manipular a força e o torque que é gerado pelo motor (MATARIĆ, 2014).

### 2.2.3 Comunicação por rádio frequência

Equipamentos que são capazes de receber e enviar informações, são conhecidos como transceptores. O telégrafo foi o primeiro transceptor que existiu. O primeiro aparelho surgiu em 1790, sendo desenvolvido pelo engenheiro francês

Claude Chappe. Em 1795, Francisco Salvá y Campillo, um médico espanhol, tornou-se um dos pioneiros no uso da eletricidade como meio de comunicação, provando que a corrente elétrica poderia servir para a transmissão de dados. Algum tempo depois o italiano Guilherme Marconi, com base nos estudos sobre ondas elétricas do físico alemão Heinrich Rudolf Hertz, demonstra a possibilidade de enviar mensagens sem necessidade de fios ou cabos, dando origem à telegrafia sem fio, muito utilizada em viagens marítimas (AVANZI, 2013).

Nas décadas de 1960 e 1970 os laboratórios Bell desenvolveram o conceito de celular, isso fez com que fosse possível fornecer comunicação sem fio para uma população inteira. A partir de 1970 nascia a era da comunicação sem fio, com o desenvolvimento de equipamentos de radiofrequência extremamente confiáveis, e de tamanho reduzido (RAPPAPORT, 2009).

As estações de um sistema de radiocomunicação funcionam através da propagação de ondas eletromagnéticas, estas ondas se estendem no espectro radioelétrico na velocidade da luz. Para que um dado seja enviado de forma correta e completa, faz-se uso de uma onda portadora, esta carrega o conteúdo da mensagem adequando-se as várias relações das quais o meio físico de transmissão é composto. Esta onda portadora é descrita através de três grandezas: amplitude, frequência e fase (AVANZI, 2013).

O sinal eletromagnético a ser enviado por uma onda portadora pode ser modificado antes de ser enviado e posteriormente recuperado por um receptor ou transceptor, esta prática é chamada de modulação. A técnica mais conhecida e a primeira a ser praticada foi a Amplitude de Modulação (AM), esta tem por objetivo variar a potência da portadora em função do sinal de modulação. Outra estratégia é a Modulação da Frequência (FM), esta tecnologia reduziu ao mínimo os constantes ruídos presentes nas transmissões em AM, é muito útil em várias modalidades de comunicação, especialmente a radiocomunicação comerciais (AVANZI, 2013).

A comunicação rádio móvel pode ser classificada em simplex, semiduplex e duplex. O sistema simplex permite comunicação em apenas um sentido. Já os sistemas semiduplex permitem a comunicação nos dois sentidos, apesar de usarem o mesmo canal de rádio. O sistema duplex permite o uso de dois canais simultâneos, isso significa que é possível transmitir e receber ao mesmo tempo (RAPPAPORT, 2009). A figura 9 ilustra uma comparação entre sistemas de

comunicação por radiofrequência, apontando aspectos relevantes como infraestrutura, custo, complexidade do sistema, tipo de serviço e faixa de frequência.

Figura 9 – Comparação dos sistemas de comunicação móvel e estação base.

Serviço	Faixa de cobertura	Infra-estrutura exigida	Complexidade	Custo de hardware	Frequência da portadora	Funcionalidade
Controle remoto de TV	Baixa	Baixa	Baixa	Baixo	Infravermelho	Receptor
Portão automático de garagem	Baixa	Baixa	Baixa	Baixo	< 100 MHz	Receptor
Sistema de <i>paging</i>	Alta	Alta	Alta	Alto	< 1 GHz	Transmissor
Telefone sem fio	Baixa	Baixa	Baixa	Moderado	1 – 3 GHz	Transceptor
Telefone celular	Alta	Alta	Alta	Alto	< 2 GHz	Transceptor

Fonte: Rappaport (2009, p. 12).

A rápida evolução da internet revelou a necessidade de ter acesso a rede de forma rápida e sem uso de cabos. Esta questão foi solucionada com uma outra tecnologia baseada em rádio comunicação muito conhecida nos dias de hoje, a Wireless, também conhecida como WLAN (Wireless Local Area Network - Rede local sem fio), que é uma rede local sem fio que possibilita a navegação na internet em banda larga (RAPPAPORT, 2009).

#### 2.2.4 Sensores

Os sensores são amplamente utilizados na robótica, tanto para aplicações relacionadas a monitoramento dos sistemas que compõem o robô quanto para aquisição de dados que permitem ao robô identificar o ambiente físico no qual está inserido para que seja possível executar ações necessárias à atividade desempenhada. De acordo com Matarić (2014), sensores são dispositivos físicos que possibilitam a um robô interpretar o ambiente físico no qual está inserido, com objetivo de obter informações sobre si e sobre os objetos ao seu redor.

Para que seja possível entender o funcionamento básico de um sensor, é necessário primeiro conhecer um pouco mais sobre os transdutores. Um transdutor, para fins de medida, é capaz de converter uma forma de energia em outra através

de uma relação conhecida. É possível medir pressão fazendo uso de um transdutor que converte a força aplicada pela pressão em uma corrente elétrica proporcional.

O transdutor produz um sinal elétrico em sua saída equivalente a grandeza física que está sendo medida. Já o sensor, como o nome sugere, é a parte sensitiva do transdutor, normalmente o sensor vem acompanhado de uma parte eletrônica que gera o sinal elétrico a partir da grandeza física que está atuando sobre ele (PAZOS, 2002). Com o intuito de facilitar o entendimento, o termo genérico sensor será utilizado para definir o conjunto que engloba a parte sensitiva, o circuito eletrônico e o transdutor.

Os sensores podem ser classificados como analógicos e digitais, no caso dos sensores analógicos, o valor do sinal de saída pode variar ao longo do tempo dentro de sua faixa de operação. Como exemplo é possível citar a temperatura, pressão, umidade, velocidade e distância. Já o sensor digital assume em sua saída apenas dois valores, geralmente são interpretados como zero ou um. Não existem grandezas físicas que se encaixam nestes valores, embora seja possível medir valores analógicos com sensores digitais (PAZOS, 2002).

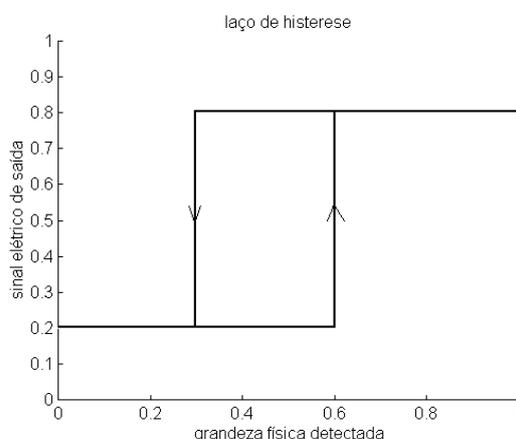
Não é sempre que o sensor atende as características necessárias para um sistema de controle. Geralmente é preciso manipular o sinal de saída antes da leitura na parte de controle, normalmente essa manipulação é feita por um circuito de interface e este produz um sinal que pode ser lido pelo controlador. Um exemplo seria um sensor que produz em sua saída um nível de tensão muito baixo, logo, será necessário o uso de um amplificador, que nesse caso seria a interface utilizada para tornar o dado apropriado para utilização (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2009).

A seguir serão apresentadas as principais características, descritas por Thomazini e Albuquerque (2009) e Pazos (2002), que devem ser observadas para o dimensionamento de um sensor tanto digital quanto analógico:

- Faixa – a faixa ou *range* diz respeito aos níveis de amplitude da grandeza que está sendo medida onde o sensor é capaz de operar na sua precisão especificada.
- Resolução – é definida como o menor incremento da grandeza física medida que é capaz de alterar o sinal de saída do sensor.
- Sensibilidade – é a relação entre o sinal elétrico que o sensor entrega na saída e a grandeza física medida.

- Linearidade – o sensor é definido como linear se ele é capaz de entregar em sua saída uma variação idêntica à variação da grandeza física medida, caso contrário, o sensor é não linear.
- Histerese – ocorre, por exemplo, quando existe uma defasagem entre a curva do sinal de saída entregue pelo sensor ao medir uma grandeza crescente e a curva do sinal entregue quando esta mesma grandeza muda seu estado para decrescente. Para melhor entendimento, esta situação está ilustrada na figura 10.

Figura 10 – Laço de histerese



Fonte: Thomazini e Albuquerque (2009, p. 92).

- Exatidão ou erro – consiste na diferença entre o valor que o sensor entrega em sua saída durante a leitura de uma grandeza física e o valor real desta grandeza.
- Precisão – é a característica relacionada ao grau de repetibilidade da medição que um sensor apresenta.
- Relação sinal/ruído – é a relação entre a potência do sinal entregue e a potência do sinal de ruído, medida quando o sinal de entrada é nulo.
- Resposta em frequência – faixa do espectro que o sensor em questão é capaz de reproduzir.
- Estabilidade – diz respeito a flutuação da saída do sensor, esta flutuação quando muito elevada pode prejudicar a atuação do sistema de controle.

- Velocidade de resposta – é a velocidade que o valor medido pelo sensor alcança o valor real do processo.

Ainda existem mais algumas características importantes a serem observadas como facilidade de manutenção, custo, calibração, dimensões, encapsulamento e vida útil.

Existem vários tipos de sensores, cada um possui uma aplicação específica conforme a grandeza física para qual foi desenvolvido. Para o presente trabalho é importante destacar os sensores de pressão e os sensores de nível.

Os sensores de pressão possuem alguns subgrupos dos quais será abordado apenas o sensor de pressão piezoelétrico. Esse dispositivo utiliza as propriedades do cristal de quartzo, que ao ser deformado elasticamente, produz um potencial elétrico, apresentando um *range* de 100 kHz com linearidade de 1%. O sensor piezoelétrico é normalmente acompanhado de um amplificador eletrônico pois a tensão produzida em seus terminais é muito baixa (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2009).

Os sensores de nível têm a finalidade de controlar substâncias líquidas ou grãos sólidos contidos em reservatórios, por exemplo, silos ou tanques. Podem ser utilizados em níveis fixos ou em medições contínuas. Como os sensores de pressão, os sensores de nível também possuem subconjuntos, que variam de acordo com sua construção e sua utilidade, como exemplos é possível citar os: flutuadores, vibratórios, ultrassônicos, capacitivos, fotoelétricos e à laser.

De acordo com Thomazini e Albuquerque (2009), uma boa opção para projetos é o sensor ultrassônico, pois ele não necessita de contato com a substância a ser medida. Seu funcionamento é baseado na reflexão de ondas sonoras, quando a onda emitida encontra uma barreira, parte dela é refletida, o sensor ultrassônico é capaz de identificar esta onda refletida e com isso estimar o tempo decorrido entre a emissão e a recepção.

#### 2.2.5 Microcontroladores

Os controladores são responsáveis por fornecer o *hardware* e *software* capaz de interpretar comandos ou informações oriundas de dispositivos auxiliares para posteriormente desempenhar funções pré-definidas que realizam a movimentação

do robô. Conforme (MATARIĆ, 2014 p. 49): “Os controladores desempenham o papel do cérebro e do sistema nervoso”.

De acordo com Souza (2005), é possível definir um microcontrolador como um componente eletrônico equipado com uma inteligência programável, capaz de controlar processos lógicos. Essa combinação de *hardware* e *software* também é conhecida como sistema embarcado. Processos lógicos são processos a serem executados baseados em ações lógicas, estes processos dependem dos periféricos de entrada ou saída, ou em alguns casos dos dois. Para que este controle seja possível, é necessário elaborar um código estruturado com as funções a serem desempenhadas e gravá-lo na memória do componente.

Segundo (PEREIRA, 2002 p.18): “programar é fornecer uma sequência determinada de comandos ou instruções para ser executada por uma pessoa ou máquina”. No caso dos computadores, também é possível estipular uma sequência de comandos, ou seja, um programa, para ser executado pela máquina. Esta prática está cada vez mais presente na indústria moderna.

Antes da invenção do microcontrolador, para controlar sistemas ou máquinas era necessário o desenvolvimento de diversos circuitos complexos, e estes, uma vez instalados, não possibilitavam alterações, ou quando possibilitavam eram muito difíceis e custosas (PEREIRA, 2002). Então para realizar eventuais mudanças era necessário desembolsar muito dinheiro ou até mesmo construir um novo sistema de controle. Agora, ao usar dispositivos programáveis, é possível fazer a parte de controle por meio de um programa e com isso, fazer alterações e adaptações se torna muito mais fácil e barato.

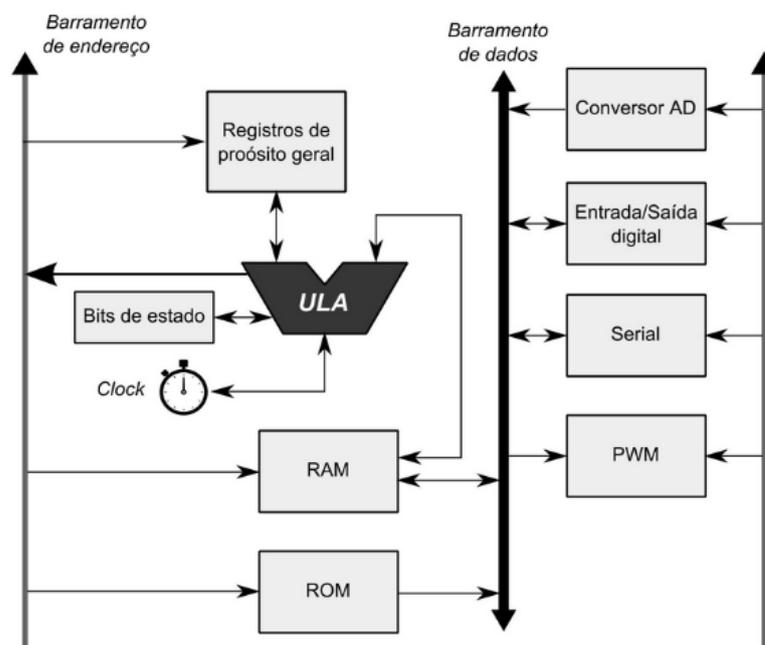
Hoje no mercado é possível dizer que os microcontroladores dominam o setor de produtos eletrônicos. Estão presentes em todos o âmbito comercial, por exemplo em carros, telefones celulares e eletrodomésticos (MOSS et al, 2011). Almeida et al (2016) também aponta alguns exemplos de aplicações de sistemas embarcados como: antenas retransmissoras, controles PIDs (Proporcionais, Integrais e Derivativos) industriais, esteiras transportadoras etc.

A programação de um microcontrolador está ligada à arquitetura do processador, aos tipos de periféricos disponíveis e à maneira que estes componentes estão interligados com os outros circuitos presentes na placa. Para que seja possível implementar um programa que funcione da maneira desejada, é necessário primeiro conhecer o sistema. Embora existam diferentes placas de

diferentes fabricantes, pode-se dizer, de maneira geral, que o modo de funcionamento entre eles é muito similar (ALMEIDA et al, 2016).

Fisicamente um microcontrolador pode ser descrito como um circuito eletrônico que engloba em um único chip a unidade de processamento, as memórias e periféricos de entrada e saída. A figura 11 mostra a arquitetura genérica de um microcontrolador.

Figura 11- Arquitetura interna de um microcontrolador genérico



Fonte: Almeida et al (2016, p. 116).

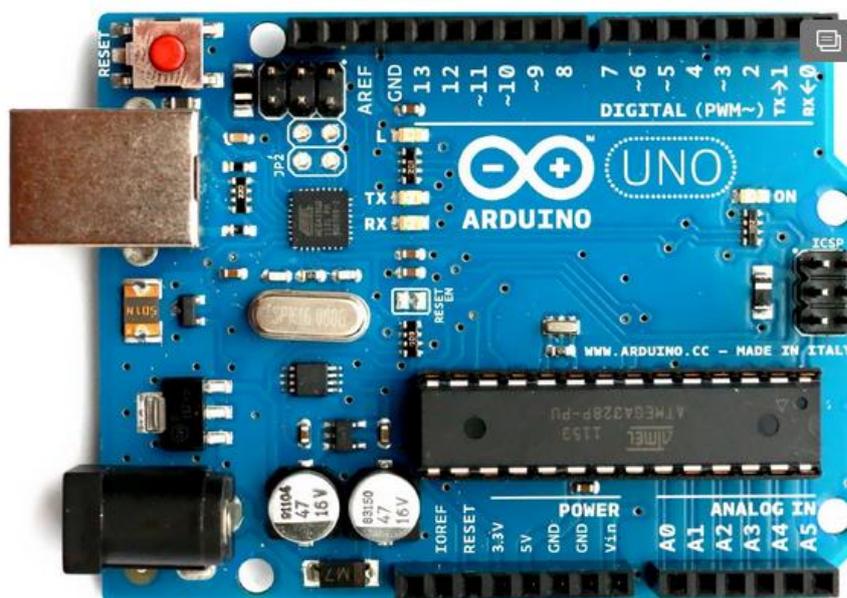
O barramento de dados é utilizado por todos os dispositivos para enviar e receber mensagens, já o barramento de endereços é responsável por fornecer autorização e dizer quem irá ler ou escrever no barramento de dados. O processador, indicado na figura anterior como ULA (Unidade lógica e aritmética), é quem comanda, executa e faz a gestão de todos os recursos disponíveis. As memórias são responsáveis pelo armazenamento dos dados, a memória RAM (*Random Access Memory* - memória de acesso aleatório) precisa de alimentação elétrica para operar, já a memória ROM (*Read-Only Memory* - Memória Somente de Leitura) guarda as informações sem necessidade de alimentação. O *Clock* é quem dá o sincronismo ao sistema (ALMEIDA et al, 2016).

Existem várias plataformas de microcontroladores disponíveis no mercado, Almeida, 2016 cita os seguintes exemplos: NXP ARM Cortex M0+ (Freedom KL05z),

Microchip MIPS PIC32 (Chipkit UNO32) e Atmel ATmega 328 (Arduino Uno R3). Este trabalho terá foco em apenas um deles, o Arduino (ALMEIDA et al, 2016).

A figura 12 mostra a placa de controle Arduino Uno, criada por Massimo Banzi em 2005, com o intuito de tornar o estudo sobre programação embarcada mais simples e barato (ALMEIDA et al, 2016).

Figura 12 – Arduino Uno



Fonte: Almeida et al (2016, p. 7).

Baseada em um microcontrolador da Atmel, o Atmel ATmega8 que dispõem de 6 entradas/saídas analógicas e 14 entradas/saídas digitais, a placa de controle Arduino não necessita de um gravador dedicado, a gravação do programa é feita através da porta serial, por meio de um programa chamado *Bootloader*, que já vem instalado na memória da placa.

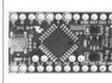
O Arduino faz uso do *framework Wiring*, que é uma plataforma livre para protótipos eletrônicos, assim é possível que outras empresas repliquem e comercializem a placa de forma legal e gratuita. A união da linguagem simplificada, do *framework* livre e da gravação do programa de forma simplificada, permite que a plataforma Arduino seja bastante acessível ao público (ALMEIDA et al, 2016).

O ATmega328 possui 23 terminais de entrada/saída, com 6 canais de entrada analógica e 6 saídas com modulação PWM (*Pulse Width Modulation* - Modulação por largura de pulso), a comunicação serial pode ser feita em UART (Receptor/Transmissor Universal Assíncrono), SPI (*Serial Peripheral Interface* -

Interface Periférica Serial) e I2C (*Inter-Integrated Circuit* - Circuito Inter-integrado). Também possui três *timers* ajustáveis e o *clock* pode chegar a 20 MHz. Outra característica é que ele dispõe de uma memória *flash* de 32 kB, uma memória RAM de 2 kB e uma memória ROM de 1 kB. A tensão de alimentação pode variar de 1,8 até 5,5 V (ALMEIDA et al, 2016).

A plataforma Arduino engloba outras estruturas além do Arduino UNO, embora estes seja o mais conhecido, com diferentes versões e *hardwares*. A tabela 1 mostra os diferentes equipamentos disponíveis no mercado, é possível observar que eles possuem diferentes processadores, pinagens, memória, periféricos e tamanho (STEVAN JUNIOR e SILVA, 2015).

Tabela 1 – Diferentes versões da plataforma Arduino

	Arduino Uno	Arduino Mega2560	Arduino Leonardo	Arduino Leonardo	Arduino Due	Arduino ADK	Arduino Nano	Arduino Mini
								
Microcontrolador	ATmega328	ATmega2560	ATmega32u4	ATmega32u4	AT91SAM3X8E	ATmega2560	ATmega168 (versão 2x) ou ATmega328 (versão 3x)	ATmega168
Portas digitais	14	54	20	20	54	54	14	14
Portas PWM	6	15	7	7	12	15	6	6
Portas analógicas	6	16	12	12	12	16	8	8
Memória	32 K (0,5 K usado pelo bootloader)	256 K (8 K usados pelo bootloader)	32 K (4 K usados pelo bootloader)	32 K (4 K usados pelo bootloader)	512 K disponível para aplicações	256 K (8 K usados pelo bootloader)	16 K (ATmega 168 ou 32 K (ATmega328), 2 K usados pelo bootloader)	16 K (2 K usados pelo bootloader)
Clock	16 Mhz	16 Mhz	16 Mhz	16 Mhz	84 Mhz	16 Mhz	16 Mhz	8 Mhz (modelo 3.3v) ou 16 Mhz (modelo 5v)
Conexão	USB	USB	Micro USB	Micro USB	Micro USB	USB	USB Mini-B	Serial/Módulo USB externo
Conector para alimentação externa	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Tensão de operação	5 V	5 V	5 V	5 V	3,3 V	5 V	5 V	3,3 V ou 5 V, dependendo do modelo
Corrente máxima portas E/S	40 mA	40 mA	40 mA	40 mA	130 mA	40 mA	40 mA	40 mA
Alimentação	7 - 12 V <sub>DC</sub>	7 - 12 V <sub>DC</sub>	7 - 12 V <sub>DC</sub>	3,35 - 12 V (modelo 3,3), ou 5 - 12 V (modelo 5v)				

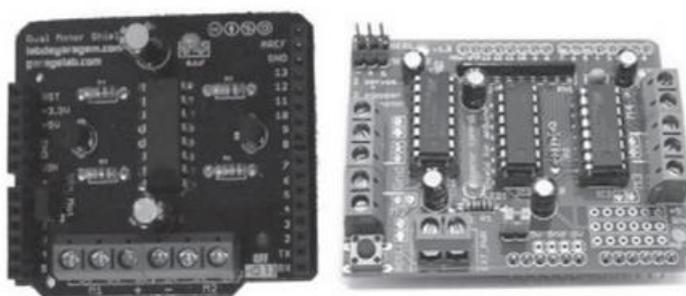
Fonte: Stevan Junior e Silva (2015, p. 125).

Como pode ser observado anteriormente, a tensão e corrente que um microcontrolador pode fornecer é muito baixa, no caso do Arduino a tensão máxima é de 5 V e a corrente é de 40 mA, pois se trata de uma plataforma destinada a controle de processos. Isto significa que um microcontrolador não é capaz de fornecer potencias elevadas, como em casos de acionamentos de motores de médio e grande porte. Segundo Oliveira e Zanetti (2015), normalmente motores apresentam um consumo elevado de corrente elétrica, o que pode vir a danificar as

portas do Arduino caso sejam ligados diretamente, para resolver este problema é comum utilizar circuitos que fazem a isolação de motores das portas da placa e ainda permitem controlar o seu funcionamento.

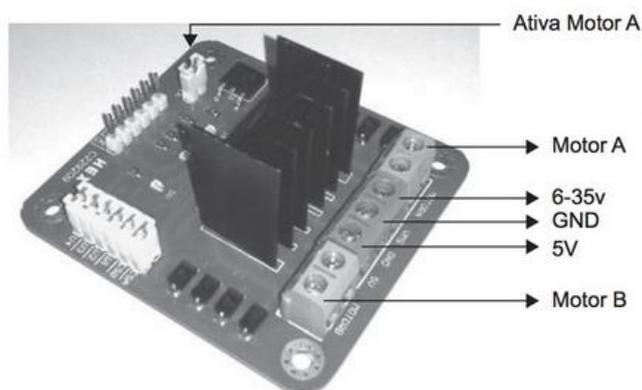
No mercado é possível encontrar várias placas compatíveis com os principais microcontroladores capazes de simplificar o controle de motores, no que diz respeito à velocidade e sentido de rotação. Estas placas também isolam o circuito do motor dos outros circuitos que compõem o projeto. As figuras 13 e 14 ilustram alguns modelos destas placas, que também são conhecidas como *shields* ou *drivers*.

Figura 13 – *Shield* de isolamento para motores



Fonte: Oliveira e Zanetti (2015, p. 192).

Figura 14 – *Shield* Ponte H



Fonte: Stevan Junior e Silva (2015, p. 147).

Devido à padronização da geometria do Arduino e de alguns outros microcontroladores, a pinagem disposta na placa permite o acoplamento direto destas *shields*, dispensando o uso de condutores de interligação. Estes periféricos também adicionam funcionalidades à plataforma (STEVAN JUNIOR e SILVA, 2015).

### 3 METODOLOGIA

A seção anterior proporcionou uma visão geral sobre equipamentos e ferramentas importantes para o desenvolvimento de um robô, além de evidenciar alguns aspectos relacionados à agricultura, como problemas de saúde comuns em agricultores e tecnologias para auxiliar a produção. Estas informações são cruciais para o desenvolvimento deste trabalho. A seguir, é apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento de um robô agrícola capaz de transportar alimentos e materiais diversos. Este mesmo robô, com pequenas adaptações, também pode ser utilizado para a pulverização de lavouras.

#### 3.1 Funcionamento do robô

A estrutura do robô proposto é composta basicamente por um chassi e quatro rodas, o veículo é destinado à pequenas áreas rurais, onde é praticada a agricultura familiar. Ele é capaz de se locomover entre os canteiros das lavouras e sua operação é efetuada por meio de um controle remoto. A figura 15 mostra alguns exemplos de lavouras nas quais o robô pode atuar.

Figura 15 – Lavouras alvo



Fonte: Elaborado pelo autor.

O veículo tem uma altura elevada, de aproximadamente um metro, o que permite que ele se locomova entre as estufas. Para tal, o chassi é composto por dois quadros de bicicleta, estes possuem baixo custo e são facilmente encontrados no mercado. Ele também possui um compartimento de carga capaz de acomodar

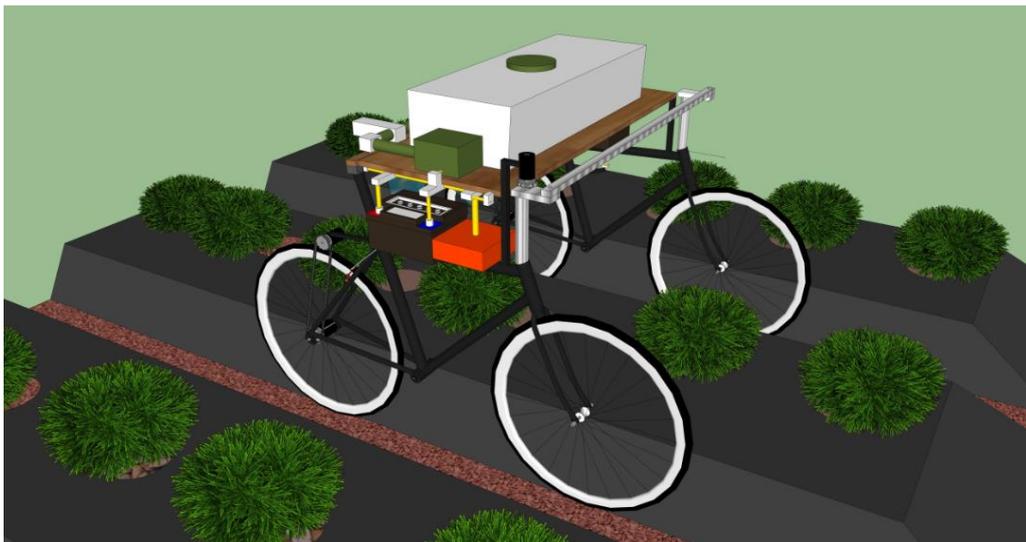
caixas, sacos, entre outros. Na configuração de pulverização, é acoplado um tanque de 50 litros na estrutura, juntamente com uma motobomba e ponteiros de aplicação. A parte mecânica conta com dois motores para o sistema de tração, um para o sistema de direção e um para o sistema de frenagem. A Figura 16 mostra um esboço do robô na sua versão de carga, já a figura 17 demonstra sua versão de pulverização.

Figura 16 – Robô de carga



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 – Robô pulverizador

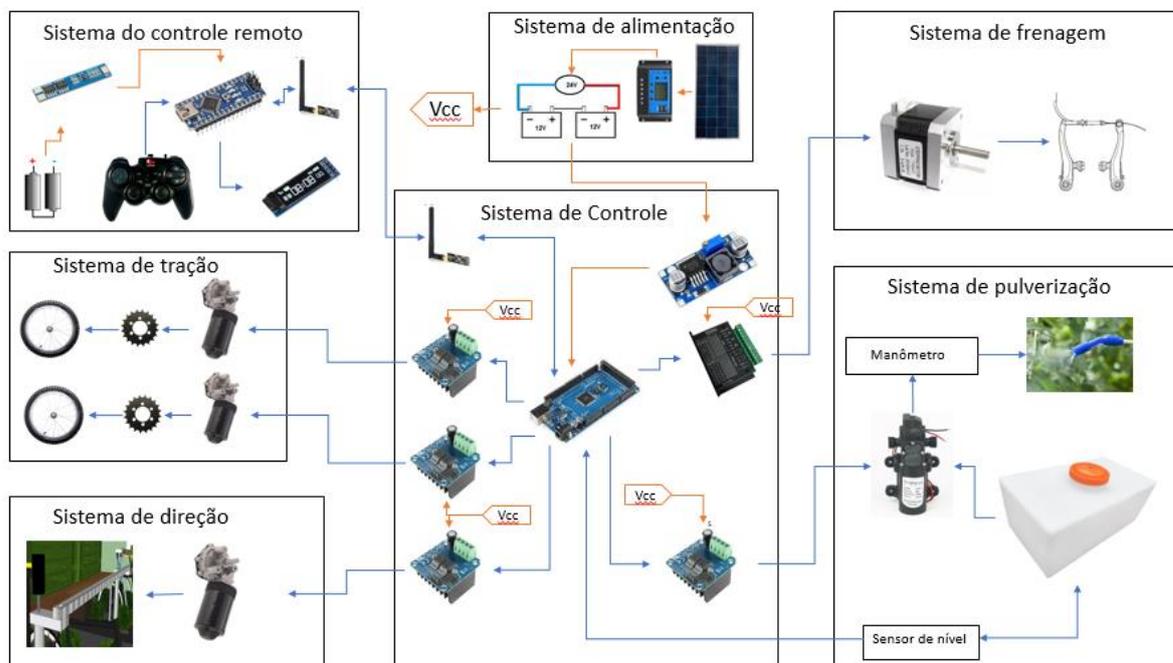


Fonte: Elaborado pelo autor.

As imagens 16 e 17 possibilitam uma visão da estrutura física do veículo embora a versão final ainda conte com algumas alterações e adaptações

necessárias, identificadas durante a etapa de montagem e teste do robô. Na figura 18 é mostrado o diagrama de blocos das partes que compõem o veículo.

Figura 18 – Diagrama de blocos do veículo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas seções seguintes são descritos os blocos de forma separada e detalhada para melhor entendimento.

### 3.2 Sistema de tração

Por se tratar de um veículo destinado a trabalhar em locais com muitos obstáculos próximos ao chão, os motores precisam ficar em uma posição elevada, para que não se choquem com nenhum objeto, por exemplo, os arcos que compõem as estufas. Para isto, foi projetado um sistema de coroa e corrente, o mesmo utilizado por bicicletas, como pode ser visto na figura 19.

Figura 19 – Sistema com coroas e correntes



Fonte: Elaborado pelo autor.

O sistema de tração é composto basicamente por dois motores CC com caixa de redução integrada, também conhecidos como motorreductores, estes possuem um alto torque, porém a velocidade de rotação do eixo é baixa. Os motores em questão são da marca Imobras, seu modelo é o 100401524. A tabela 2 mostra suas principais características.

Tabela 2 – Características do motor

Características elétricas (100401524)	
Tensão Nominal (V)	27
Potência nominal (W)	45
Rotação nominal (rpm)	72
Corrente nominal (A)	4
Corrente máxima (A)	29
Torque nominal (Nm)	6
Torque máximo (Nm)	30
Redução da caixa	63:1
Rotação	Direita e Esquerda
Peso (kg)	1,500

Fonte: Adaptada de Imobras (2019).

Embora o motor utilizado ofereça uma baixa rotação, como o motor não é diretamente acoplado às rodas, é possível utilizar coroas de diferentes tamanhos para adequar o sistema à velocidade pretendida. A figura 20 ilustra o motorreductor utilizado.

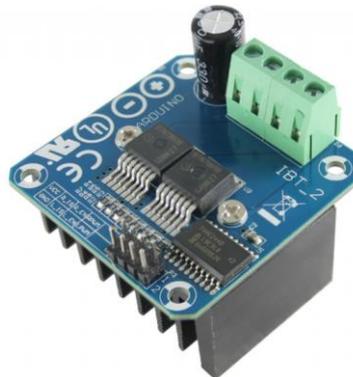
Figura 20 – Motorreductor Imobras



Fonte: Imobras (2019).

O controle do sistema de tração é feito por meio do microcontrolador a partir de comandos oriundos do controle remoto. Para alimentar os motores em questão é necessário fazer uso de um *driver* capaz de suportar a corrente máxima que os motores consomem. O drive adotado é o BTS7960B, este atende ao projeto e ainda possibilita fazer a inversão do sentido de rotação, por se tratar de uma estrutura em ponte. A figura 21 ilustra o componente e a tabela 3 mostra algumas de suas características.

Figura 21 – Driver ponte H BTS7960B



Fonte: Usinainfo (2021).

Tabela 3 – Características do driver BTS 7960B

BTS 7960B	
Tensão de alimentação (V)	0 a 45
Tensão de entrada lógica (V)	0 a 5
Corrente contínua de dreno (A)	Até 40
Corrente de pico de dreno (A)	Até 60

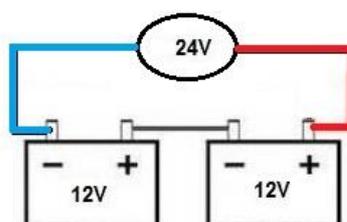
Fonte: adaptada de Infineon Technologies (2021).

Optou-se por um modelo de motor cuja alimentação é de 24 VCC, pois assim, existe uma redução significativa nas correntes envolvidas no sistema em comparação aos motores alimentados por 12 V. Duas baterias automotivas do tipo chumbo-ácido são responsáveis por suprir energeticamente o sistema. O próximo tópico aborda com mais detalhes esta questão.

### 3.3 Sistema de Alimentação

Como foi visto anteriormente, o sistema de tração necessita de uma alimentação de 24 V em corrente contínua. Para suprir esta necessidade e com foco no baixo custo, a alimentação é feita por meio de duas baterias automotivas comuns, conectadas em série, conforme figura 22. Outra opção seria utilizar apenas uma bateria aliada com um sistema de elevação de tensão, como por exemplo um conversor *Boost*, porém este iria consumir mais corrente para elevar a tensão, o que reduziria drasticamente a autonomia do veículo, sem contar as perdas energéticas que estes sistemas comumente apresentam.

Figura 22 – Ligação série



Fonte: Elaborado pelo autor.

Estas baterias também são responsáveis por alimentar os outros sistemas disponíveis no veículo, como o sistema de controle, este necessita de uma alimentação que varia de 7 a 12 V. Para fazer a adequação de tensão é utilizado um módulo rebaixador de tensão, o regulador de tensão LM2596, exibido na imagem 23, através de um potenciômetro presente no módulo, é possível ajustar a tensão de saída conforme necessário. A tabela 4 mostra suas principais características.

Figura 23 - Regulador de tensão LM2596



Fonte: Usinsinfo (2021).

Tabela 4 – Características do LM2596

LM2596	
Tensão de alimentação (V)	4,5 a 40
Tensão mínima regulada (V)	1,2
Tensão máxima regulada (V)	37
Corrente máxima (A)	3
Corrente nominal (A)	2

Fonte: adaptada de Texas Instruments (2021).

A utilização de duas baterias aumenta o custo do projeto e o peso do robô, porém, a grande vantagem é a redução nas correntes envolvidas e um aumento na autonomia do veículo. Um sensor resistivo é responsável por informar o nível das baterias ao operador, este sensor envia os dados ao microcontrolador do veículo que por sua vez manda as informações ao microcontrolador do controle. O carregamento destas baterias é feito por meio de carregadores convencionais além da utilização de uma placa solar.

Com o intuito de aumentar a autonomia do veículo, uma placa fotovoltaica, figura 24, foi incorporada ao projeto. Embora fosse possível, pelo espaço físico disponível no veículo, adicionar um maior número de placas, devido ao alto valor do equipamento, apenas uma unidade foi instalada. A partir desta placa é possível analisar melhoras na autonomia do veículo e constatar sua eficácia.

Figura 24 – Placa fotovoltaica utilizada



Fonte: elaborado pelo autor.

A tabela 5 mostra as principais características da placa fotovoltaica utilizada.

Tabela 5 – Características da placa fotovoltaica

Placa RMS100P	
Potência máxima (W)	100
Tensão de circuito aberto (V)	21,58
Tensão em máxima potência (V)	17,4
Corrente de curto-circuito (A)	6,04
Corrente em máxima potência (A)	5,75
Peso (kg)	7,0
Dimensões (mm)	1020 x 670 x 30

Fonte: adaptada de Resun (2022).

Um controlador de carga foi adicionado a esta placa, ele tem a função de gerenciar o controle energético do sistema, através de um controle PWM o componente é capaz de gerar a tensão necessária para carregar as baterias, a

figura 25 mostra o equipamento utilizado e a tabela 6 apresenta suas principais características.

Figura 25 – Regulador de carga



Fonte: solarproengenharia (2022).

Tabela 6 – Características do controlador de carga

Placa RMS100P	
Tensão de operação (V)	12 / 24
Tensão máxima de pico (V)	50
Corrente máxima de carga (A)	30
Potência máxima de entrada (W)	390 (12 V) / 780 (24 V)
Consumo do equipamento (mA)	< 10

Fonte: adaptada de solarproengenharia (2022).

Como o veículo projetado necessita se locomover em vários tipos de terrenos, sendo eles planos ou inclinados, com o intuito de distribuir o peso de forma uniforme as baterias são acomodadas de forma separada, uma de cada lado do robô, isto também garante o melhor uso do espaço disponível e um melhor equilíbrio estrutural.

A alimentação do controle remoto é feita por duas baterias recarregáveis do tipo Lítio-íon e modelo 18650, estas baterias são facilmente encontradas no mercado, possuem um peso relativamente baixo e uma boa capacidade de carga. Cada bateria possui tensão de 3,6 V, são utilizadas duas baterias em série, totalizando 7,2 V, tensão suficiente para alimentar o microcontrolador. Os demais componentes do controle são alimentados diretamente pelo microcontrolador. O carregamento das baterias do controle é feito por uma fonte externa, esta fonte é

conectada a um módulo eletrônico denominado BMS (*battery management system*) que é responsável por fazer o controle de carga, proteção e balanceamento das células do conjunto. O controle também possui um sensor resistivo que monitora o nível das baterias.

### 3.4 Sistema de direção

Para que o veículo possa mudar de rota e fazer curvas é necessário que haja um sistema eficiente de direção, visto que ele tem um grande porte e uma capacidade de carga elevada. Para isto é utilizado o sistema convencional existente nas bicicletas, apenas foi removido o guidão e adicionada uma barra horizontal móvel interligando o conjunto. A movimentação fica por conta de um motor, este é conectado diretamente ao eixo da direção do veículo, conforme é ilustrado na figura 26.

Figura 26 – Sistema de direção



Fonte: Elaborado pelo autor.

Um potenciômetro foi incorporado ao sistema, este tem por objetivo monitorar a posição na qual as rodas se encontram. Esta informação permite ao controle executar alguns comandos que facilitam a movimentação do veículo e garante mais segurança ao conjunto, uma vez que impossibilita movimentações que possam danificar a estrutura do sistema.

Este sistema necessita de um motor com torque elevado, porém não é necessário que tenha alta rotação. É importante que a montagem seja feita de forma consistente, sem folgas, para que os comandos de alteração de direção recebidos do controle remoto sejam executados de forma eficiente. O motor utilizado é semelhante aos motores do sistema de tração, sua única diferença é em relação ao número de RPM. A tabela 7 mostra as principais características do motor.

Tabela 7 - Características motor

Características elétricas (100400524)	
Tensão Nominal (V)	27
Potência nominal (W)	20
Rotação nominal (rpm)	33
Corrente nominal (A)	2,3
Corrente máxima (A)	12
Torque nominal (Nm)	6
Torque máximo (Nm)	30
Redução da caixa	63:1
Rotação	Direita e Esquerda
Peso (kg)	1,500

Fonte: Adaptada de Imobras (2019).

Como pode ser visto na tabela 7, este motor possui apenas 33 rotações por minuto e sua alimentação nominal é próxima à 24 V, tensão fornecida pelas baterias. Para reduzir ainda mais o número de RPM, e assim tornar os movimentos de direção mais lentos e suaves, este motor é alimentado apenas com 12 V. O driver utilizado para alimentar este motor é o BTS7960B, já descrito no tópico anterior. Através do controle de velocidade por PWM disponível neste módulo, é possível ajustar via software a tensão desejada.

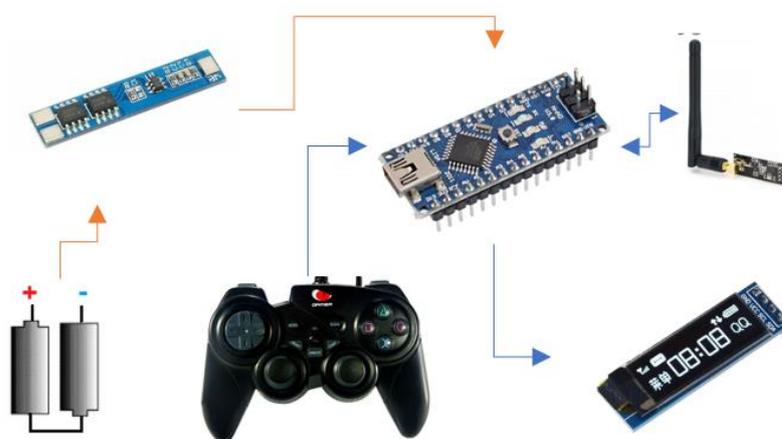
### 3.5 Sistema de controle remoto

O sistema de controle remoto é responsável por conectar o usuário ao veículo, por meio dele é possível acelerar, frear e trocar a direção do robô. Ele

também é responsável por controlar o sistema de pulverização, aumento ou redução da pressão, além de informar alguns valores importantes ao operador, como por exemplo, o nível do reservatório de calda e a pressão de pulverização.

O sistema físico conta com um controle *gamer* comum adaptado para operar em modo sem fio. Para esta adaptação é necessário o uso de um módulo transceptor sem fio. O conjunto também conta com um *display* OLED (*organic light-emitting diode*) de 0,91 polegadas, duas baterias recarregáveis, um módulo redutor de tensão e um microcontrolador. A figura 27 mostra as partes que compõem o conjunto do sistema de controle remoto.

Figura 27 – Conjunto do controle remoto



Fonte: Elaborado pelo autor.

O controle utilizado se trata de um controle usado da marca Leadership que se comunica com o microcontrolador por meio de fios. O microcontrolador adotado para gerir toda a parte de entrada e saída de dados é o Arduíno Nano, suas principais vantagens são seu tamanho reduzido e baixo custo. A interface visual se dá por meio de um *display* OLED, este apresenta baixo custo, tamanho reduzido e baixo consumo de energia.

O sistema de alimentação, já foi descrito anteriormente e conta com duas baterias recarregáveis do tipo Íon-Lítio e um redutor de tensão. A parte da comunicação sem fio, fica por conta do módulo transceptor NRF24L01 + PA (Amplificador de potência) + LNA (Amplificador de baixo ruído), ilustrado na figura 28.

Figura 28 – Módulo NRF24L01 + PA + LNA



Fonte: Baú da Eletrônica (2021).

No total, são utilizados dois módulos transceptores, um fica junto ao controle e outro junto ao veículo, este módulo possui além do transceptor sem fio, uma etapa de amplificação e uma antena. Isto possibilita um maior alcance de transmissão e recepção de dados. O módulo se comunica por meio de ondas de RF (Rádio Frequência), sua faixa de operação está em torno de 2,4 GHz e possui um alcance livre de obstáculos de até 1000 metros de distância.

### 3.6 Sistema de frenagem

O sistema de frenagem utiliza o freio original das bicicletas, que é do tipo *V-Brake*. Este freio é bastante eficiente, apresenta um custo reduzido e atende às necessidades do projeto. O freio é aplicado à roda dianteira do veículo. Em uma bicicleta comum, o freio é acionado manualmente por meio de puxadores fixados ao guidão, como o veículo projetado é controlado remotamente, o acionamento dos freios se dá através de um motor que tensiona o cabo, freando assim o veículo.

Um motor de passo, ilustrado na figura 29, é responsável por fazer o acionamento do freio, estes motores têm como principal característica a precisão, assim é possível acionar os freios de forma que não ocorra nenhum dano aos componentes do sistema. A tabela 8 apresenta as principais características do motor.

Figura 29 – Motor de Passo



Fonte: Wotiom (2022).

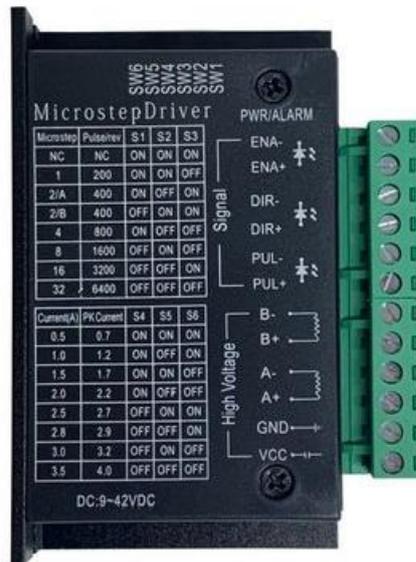
Tabela 8 - Características motor de passo

Ws23-0300-30-4	
Ângulo de passo (°)	1,8
Tensão de alimentação (V)	3,9
Corrente de fase (A)	3
Torque nominal (Nm)	2,9

Fonte: adaptada de WOTIOM (2022).

Este tipo de motor necessita de um *driver* específico para seu correto funcionamento pois possui 4 bobinas internas que precisam entrar em funcionamento de forma sincronizada. Para isso, é utilizado um *driver* específico para motores de passo baseado no *driver* TB67S109A, este componente além de adequar a tensão à faixa necessária também isola o motor da parte de controle, proporcionando uma proteção contra sobrecorrente. Na figura 30 é possível visualizar o componente utilizado.

Figura 30 – Driver motor de passo

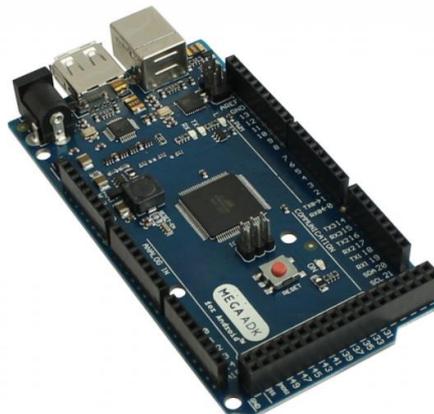


Fonte: Piscaled (2021).

### 3.7 Sistema de controle

O sistema de controle é basicamente o cérebro do robô, ele tem a função de identificar os comandos vindos do controle remoto e executá-los de forma rápida e precisa. Ele é composto basicamente por um microcontrolador, um Arduino Mega ADK, representado pela figura 31, este microcontrolador comanda e gerencia todos os sistemas do veículo por meio dos drivers descritos nas outras seções.

Figura 31 – Arduino Mega ADK



Fonte: Usinsinfo (2021).

Além de fazer o controle dos sistemas, ele também é responsável por fazer a aquisição de dados dos sensores do pulverizador e posteriormente enviá-los ao controle remoto para que possam ser exibidos ao usuário. A comunicação do sistema de controle do veículo com o controle remoto é feita pelo módulo NRF24L01 + PA + LNA, já citado na seção referente ao controle remoto.

Como o sistema de controle é composto por dispositivos frágeis e vulneráveis à água, estes são acondicionados dentro de uma caixa isolada, de forma que permaneçam secos e protegidos. Esta caixa tem uma altura elevada em relação ao solo, e fica na área mais protegida do veículo, junto a uma das baterias, na figura 32 é possível ver a posição da caixa que está sendo representada na cor laranja.

Figura 32 – Posição do sistema de controle



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.8 Sistema de pulverização

Este sistema difere um pouco dos demais, pois se trata de um sistema móvel, ou seja, é possível colocar e retirar o sistema de pulverização do veículo de forma rápida e prática, para isto, o conjunto conta com componentes leves e de fácil manuseio. Os elementos que compõem o sistema são: uma motobomba, um

reservatório com capacidade para 50 litros, sensor ultrassônico para medição do nível do reservatório, manômetro para medir a pressão de aplicação do defensivo agrícola, bicos aplicadores e tubulações.

A motobomba presente no pulverizador é de um modelo muito semelhante às utilizadas em pulverizadores costais à bateria. O modelo conta com um baixo peso, baixo consumo de energia e uma potência que atende ao projeto. Na figura 33 é ilustrada a motobomba utilizada, e a tabela 9 mostra suas principais características.

Figura 33 – Motobomba



Fonte: E SOLAR (2021).

Tabela 9 – Características da Motobomba

Motobomba	
Tensão (V)	12
Potência (W)	80
Pressão de trabalho (psi)	130
Peso líquido (kg)	0,66

Fonte: adaptada de E SOLAR (2021).

Para alimentar corretamente esta motobomba, também é necessário utilizar um *driver*, pois ela requer uma tensão e corrente específica para operar. O *driver* adotado é novamente o já apresentado *driver* ponte H BTS7960B, figura 21. A escolha deste componente se dá devido à disponibilidade e facilidade de uso que ele apresenta, embora seja perfeitamente possível alimentar a motobomba a partir de um *driver* com capacidade muito inferior.

Para os fins agrícolas é interessante o operador ter conhecimento de algumas variáveis, como a pressão em que o defensivo está sendo aplicado e o nível de calda presente no reservatório. Para aferir a pressão de pulverização é feito o uso de um manômetro analógico, que possui uma faixa de operação que varia de 0 a 300 psi. Já o nível de calda do reservatório, é obtido por meio de um sensor ultrassônico posicionado no centro do reservatório, assim, é possível ter uma medida mais próxima da real até mesmo em terrenos inclinados.

O sensor ultrassônico utilizado é do modelo JSN-SR04T, ilustrado na figura 34, a principal vantagem deste componente é o fato dele ser à prova d'água, pois embora o sensor não esteja em contato direto com a água, uma inclinação acentuada ou algum respingo poderia encharcá-lo e por consequência danificá-lo. Porém, ele também apresenta uma desvantagem, ele efetua leituras apenas de distâncias maiores do que 20 cm, o que exige que seja feita uma instalação recuada em, pelo menos, 20 cm em relação ao nível máximo de água do reservatório.

Figura 34 – Sensor Ultrassônico



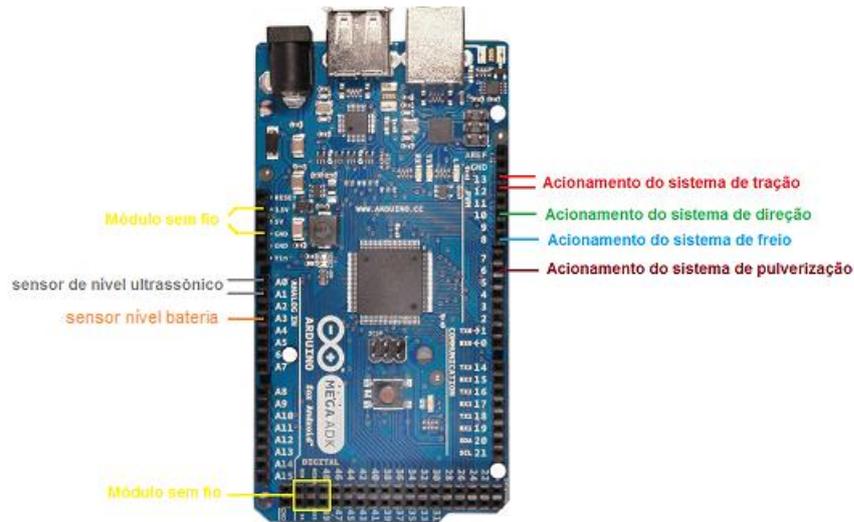
Fonte: Baú da Eletrônica (2021).

Além do sensor, o sistema de pulverização também conta com bicos aplicadores, estes são conectados ao sistema por meio de mangueiras e fixados a estrutura do veículo por meio de encaixes. Os bicos são de plástico rígido, muito utilizados em pulverizadores costais e drones. Possuem um sistema antigotejamento e seu jato é em forma de leque.

### 3.9 Diagramas e Conexões

Esta seção mostra a forma em que os componentes do projeto são conectados às portas do microcontrolador presente no veículo e no controle remoto. A figura 35 se refere ao microcontrolador posicionado junto ao veículo, ela mostra as portas em que cada periférico está conectado.

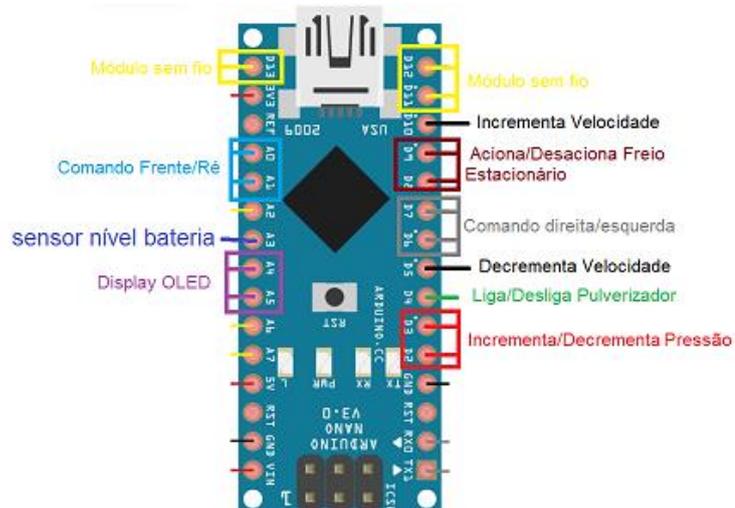
Figura 35 – Ligação dos periféricos do veículo



Fonte: elaborado pelo autor.

No caso do microcontrolador acoplado ao controle remoto, a figura 36 exhibe as portas que recebem os dispositivos presentes no sistema e os comandos oriundos dos botões do controle remoto.

Figura 36 - Ligação dos periféricos do controle remoto



Fonte: elaborado pelo autor.

O controle remoto efetua a interface entre o usuário e máquina, ele recebe os comandos de controle do veículo através de seus botões digitais e analógicos. A figura 37 mostra a função de cada botão utilizado.

Figura 37 – Funções do controle remoto



Fonte: elaborado pelo autor.

A próxima seção contempla a execução do projeto, todas as etapas de montagem e desenvolvimento são apresentadas.

## **4 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO**

Nesta seção são descritas as etapas pertinentes ao desenvolvimento dos sistemas físicos abordados anteriormente. Cada etapa é abordada de forma individual e detalhista para um fácil entendimento do projeto como um todo. Dentre todas as etapas, pode-se destacar as mais importantes como: confecção do esqueleto (chassi) do veículo, adaptação dos sistemas de movimentação, desenvolvimento do sistema de pulverização móvel e elaboração do controle remoto.

### **4.1 Chassi**

Para agilizar a montagem do chassi, foi utilizado como base principal o quadro de duas bicicletas, estas foram interligadas, por meio de tubos metálicos e soldagem. As dimensões do veículo foram projetadas de forma que ele possa se deslocar facilmente entre os canteiros inclusive em locais onde existem estufas baixas. Ficando assim com uma largura de 1,5 metros e altura de aproximadamente 1 metro.

Alguns reforços foram adicionados à estrutura para que esta ficasse mais robusta e resistente, também já foram adicionados os suportes para acomodação das baterias, motores e sistema de direção. A figura 38 mostra como ficou a estrutura montada e soldada.

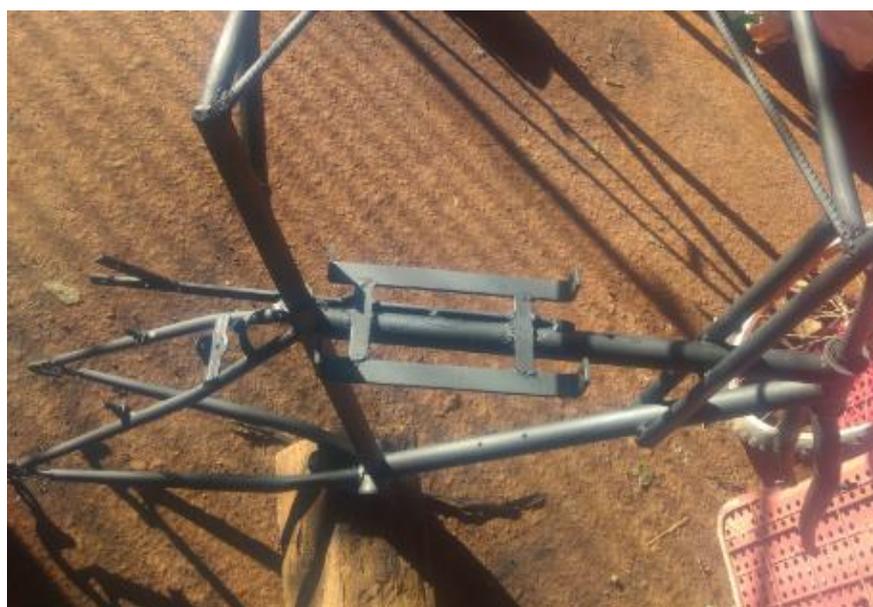
Figura 38 – Montagem do Chassi



Fonte: elaborado pelo autor.

Após a etapa de montagem, a estrutura confeccionada foi lixada e pintada conforme pode ser visto na figura 39.

Figura 39 – Pintura



Fonte: elaborado pelo autor.

Com o chassi finalizado iniciou-se a etapa de montagem dos periféricos como motores, baterias, correntes e comando, como pode ser visto com mais detalhes nas próximas seções.

## 4.2 Montagem do sistema de tração

O sistema de tração é composto por dois motores DC, motores estes que tem grande aplicação na indústria de automação e automotiva, principalmente em limpadores de para-brisa de veículos de grande porte, como caminhões e ônibus. A força gerada pelos motores é transferida para as rodas traseiras do veículo por meio de correntes e coroas retiradas das bicicletas utilizadas na confecção do chassi. A figura 40 mostra a montagem feita.

Figura 40 – Montagem do sistema de tração



Fonte: elaborado pelo autor.

Os suportes para fixação dos motores ao chassi foram feitos manualmente, utilizando metal de sucata, esmerilhadeira, furadeira e uma máquina de solda do tipo MIG (Gás Inerte Metálico) sem gás. A fixação dos motores aos suportes foi feita a parti de três parafusos utilizando pontos de fixação já presente nos motores como pode ser visto na figura 41.

Figura 41 – Pontos de fixação dos motores



Fonte: Adaptado de Imobras (2019).

O sistema de tração é uma parte fundamental do projeto, os motores em conjunto são responsáveis por movimentar o veículo ao longo do trajeto desejado pelo operador em diversos tipos de terreno. Por meio de comandos dados ao veículo pelo controle remoto, é possível alterar a velocidade de rotação dos motores e por consequência alterar a velocidade de deslocamento do veículo tanto para frente quanto para trás. Sua movimentação para os lados, direita e esquerda, fica por conta do sistema de direção do veículo, este é detalhadamente apresentado a seguir.

### 4.3 Montagem do sistema de direção

O sistema de direção é composto por um motor e uma barra móvel que interliga as duas rodas dianteiras do veículo. Esta barra se encontra a uma altura de 1,5 metros do chão, acompanhando a estrutura do chassi. O motor é do mesmo tipo utilizado no sistema de tração, porém com uma taxa de RPM reduzida.

O eixo do motor é acoplado de forma direta ao eixo de rotação de uma das rodas e por meio da barra móvel que interliga o esquema, ambas as rodas se

movimentam de forma sincronizada. Por se tratar de um acoplamento direto, não existem folgas no sistema, proporcionando assim uma resposta instantânea aos comandos do operador. A figura 42 ilustra o esquema desenvolvido.

Figura 42 – Montagem do sistema de direção



Fonte: elaborado pelo autor.

Foi confeccionado um suporte metálico para a fixação do motor no chassi, e novamente por meio de parafusos o motor foi acoplado ao suporte. Este processo requisitou uma precisão elevada, pois o eixo do motor precisa estar alinhado perfeitamente com o eixo girante da roda para que não ocorram danos em nenhuma das partes.

Para melhorar o desempenho do sistema de direção e aumentar sua segurança, a posição das rodas é monitorada através de um potenciômetro, assim é possível informar ao microcontrolador para qual lado o veículo está virando, e com isso reduzir a velocidade do motor de tração referente a este lado, o que facilita o movimento. Também é possível restringir o giro do sistema evitando assim que o veículo vire de forma excessiva, danificando componentes. A seguir é abordada a montagem do sistema de freios do veículo.

#### 4.4 Montagem do sistema de freios

O sistema de freios do veículo representa uma parte muito importante do projeto, pois como existem componentes de peso elevado, como tanque de calda, baterias, motores e qualquer outra carga, o peso do conjunto gira em torno de 100 kg dependendo da configuração utilizada. Logo o sistema de freios precisa ser eficiente pois a resistência que os motores oferecem, não é suficiente para frear o veículo em decidas acentuadas.

Para facilitar e baratear o projeto, foi utilizado o freio presente nas bicicletas que compõem o chassi, este foi fixado de forma convencional à roda da frente do veículo e é acionado por um motor de passo fixado ao esqueleto por meio de um suporte. O cabo do freio está fixado ao motor por meio de uma polia presa ao seu eixo conforme pode ser visto na figura 43.

Figura 43 – Montagem do sistema de freios



Fonte: elaborado pelo autor.

A partir de comandos dados pelo operador, o motor de passo tensiona o cabo acionando assim o freio. Este acionamento pode ser feito em dois estágios, o

primeiro tem o intuito de provocar um baixo atrito entre as rodas e as pastilhas de freio, possibilitando a locomoção do veículo de forma controlada. Já o segundo estágio é responsável por parar o veículo de forma efetiva, para que não seja mais possível movimentá-lo.

Como medida de segurança, visando preservar a integridade dos componentes do sistema de freio, tração e a própria estrutura do veículo, quando o estágio 2 do sistema de freio é acionado, o veículo não pode mais executar nenhuma ação. Quando o sistema de freio é liberado, através de um dos botões do controle remoto, o veículo estará apto a receber novos comandos. A próxima seção mostra a forma de montagem do pulverizador.

#### **4.4 Montagem do sistema de pulverização**

O sistema de pulverização é um pouco diferenciado dos demais, pois ele pode ser removido do veículo, com isso, a utilização do veículo se volta ao transporte de cargas. Para a confecção deste bloco, são utilizados vários componentes dentre eles os principais são um tanque para a calda, um filtro, uma motobomba e bicos aplicadores.

Como base de acomodação dos componentes é utilizada uma chapa de MDP (*Medium Density Particleboard*), embora não seja o material mais apropriado para esta aplicação, pois oferece uma baixa resistência à água, é um material de baixo custo, fácil manipulação e baixo peso, atendendo assim o caráter experimental e demonstrativo do projeto.

O tanque utilizado possui capacidade máxima de 100 litros, mas para este projeto é considerada uma capacidade máxima de 50 litros, visando manter a integridade do veículo em sua fase de testes. Ele é fixado à chapa de MDP por meio de cintas metálicas e pinos, que impossibilitam sua movimentação. No centro do tanque foi instalado um sensor ultrassônico que tem a capacidade de aferir a existência calda no reservatório.

Na saída do tanque existe um registro que auxilia em manutenções, após o registro existe um filtro de linha que tem função de restringir a passagem de impurezas, este é fixado por meio de parafusos diretamente à chapa. Depois do filtro

está localizada a motobomba, esta é fixada ao MDP por meio de parafusos e possui um ajuste de pressão variado de acordo com a necessidade da aplicação.

Para monitorar a pressão gerada pela motobomba, é utilizado um manômetro analógico. Após o manômetro, encontra-se uma derivação do tipo “Y” responsável por distribuir o fluxo de calda aos bicos aplicadores, esta derivação possui um sistema de engate rápido facilitando assim a montagem e desmontagem do conjunto. A figura 44 mostra a montagem do conjunto.

Figura 44 – Montagem do sistema de pulverização



Fonte: elaborado pelo autor.

Os bicos aplicadores estão localizados na parte traseira do veículo, um de cada lado, fixados por meio de suportes confeccionados a partir de tubos de PVC (*Polyvinyl Chloride*), extremamente leves e de fácil manuseio. Os suportes podem ser encaixados rapidamente em engates disponíveis no chassi e possibilitam ajustes de altura e posicionamento dos bicos. Na figura 45 é possível ver como o sistema foi montado.

Figura 45 – Suporte dos bicos aplicadores



Fonte: elaborado pelo autor.

A derivação com o sistema de engate rápido além de proporcionar agilidade ao manuseio, também possibilita a utilização de outros tipos de aplicadores, como por exemplo uma vareta com mangueira para uma aplicação manual, caso seja necessário. Todos os componentes estão interligados por meio de mangueiras devidamente fixadas para evitar vazamentos.

Os bicos aplicadores utilizados são do tipo leque, possuindo uma membrana interna que proporciona uma pulverização livre de gotas e garante uma cobertura uniforme, a figura 46 ilustra o componente utilizado.

Figura 46 – Bico pulverizador



Fonte: elaborado pelo autor.

A seguir é mostrada a montagem do sistema de controle, capaz de gerir todas as funções que o veículo pode desempenhar.

#### 4.6 Montagem do sistema de controle

Conhecido como o cérebro do projeto, o sistema de controle tem como função gerir todos os periféricos do veículo e executar as atividades desejadas pelo operador. Fisicamente ele é composto pelo microcontrolador e por dispositivos auxiliares já mencionados anteriormente, todos acomodados em uma caixa de PVC, devidamente fixados.

Sua posição fica do lado esquerdo do veículo, junto a uma das baterias e ao motor do freio. Como os componentes que ficam no interior da caixa de PVC são extremamente sensíveis principalmente à humidade, uma fina camada de borracha foi inserida entre a caixa e a tampa a fim de aumentar sua resistência à água, com o mesmo intuito a conexão entre os motores e demais periféricos ao controle ocorre por meio de conectores fixados na lateral da caixa, devidamente isolados. A figura 47 mostra a caixa que acomoda o sistema de controle e a posição onde ficou instalada.

Figura 47 – Montagem do sistema de controle



Fonte: elaborado pelo autor.

Como pode ser visto na figura 47, a caixa do sistema de controle conta com uma antena, esta é responsável por garantir o alcance necessário para o projeto e com isso receber os comandos do controle remoto de forma eficiente. A montagem do controle remoto pode ser vista com detalhes no próximo tópico.

#### 4.7 Montagem do controle remoto

O controle remoto é parte fundamental para o sucesso do projeto, caso a conexão dele com o sistema de controle seja perdida, o veículo para de executar qualquer ação que estava sendo realizada e como medida de segurança aciona o sistema de freios.

A construção do controle remoto teve como base a utilização de um controle *gamer* antigo. Para ser possível sua utilização de forma remota, foram adicionados um microcontrolador, um módulo sem fio e baterias. Todos estes componentes foram alocados dentro de uma caixa plástica de tamanho reduzido. Esta caixa foi fixada ao controle por meio de chapas metálicas e parafusos na sua parte inferior.

Também foi adicionado um *display*, este tem função de exibir informações importantes sobre o funcionamento do veículo, como nível de bateria, velocidade de movimento e pressão do sistema de pulverização. A figura 48 ilustra o controle remoto finalizado.

Figura 48 – Montagem do controle remoto



Fonte: elaborado pelo autor.

O controle remoto é a única maneira de operação que o veículo possui. Através do botão analógico esquerdo é possível executar o movimento para frente, para trás, para direita e para esquerda. Já o botão analógico direito tem a função de navegação pelo display e acionamento do primeiro estágio do freio.

Os botões direcionais digitais têm a função de incrementar e decrementar a velocidade do veículo. Enquanto os demais botões ficam com as funções de ajuste de pressão, controle do freio e acionamento do sistema de pulverização, como pode ser observado na figura 36.

#### **4.8 Montagem do sistema de alimentação do veículo**

Como o projeto trata de um veículo de grande porte, um sistema de alimentação eficiente faz-se necessário. Para isto, foram adotadas duas baterias do tipo ácido-chumbo de 12 V, as mesmas utilizadas em veículos automotivos. Embora possuam um peso elevado, apresentam um custo-benefício interessante.

Com o intuito de distribuir uniformemente o peso, cada lado do veículo recebeu uma bateria, sendo elas alocadas em suportes previamente projetados. Eletrodutos de PVC foram instalados junto ao chassi, estes têm a função de proteger os condutores elétricos que interligam as baterias e alimentam os periféricos do veículo. As baterias estão conectadas em série e geram, quando totalmente carregadas, uma tensão próxima a 25 V.

Uma placa fotovoltaica foi incorporada ao projeto. Sendo instalada na parte superior do veículo através de um suporte confeccionado com tubos de PVC, como pode ser visto na figura 49.

Figura 49 – Montagem da placa fotovoltaica



Fonte: elaborado pelo autor.

O próximo tópico mostra a montagem final do veículo.

#### 4.9 Montagem completa

As figuras 50 e 51 apresentam o veículo em sua etapa final, pronto para a utilização.

Figura 50 – Montagem completa frente



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 51 – Montagem completa trás



Fonte: elaborado pelo autor.

O próximo tópico mostra os testes realizados além de reportar as impressões obtidas durante a operação do veículo. Também são apontadas possíveis melhorias percebidas.

## 5 TESTES REALIZADOS E RESULTADOS OBTIDOS

Nos tópicos anteriores foi apresentado o projeto mecânico e elétrico do veículo agrícola proposto por este trabalho, o processo de construção dos sistemas foi explicado detalhadamente. Nesta seção é apresentado o desempenho efetivo do veículo quando utilizado em campo. Também são analisados os pontos que necessitam de melhorias. Cada sistema foi analisado de forma separada e sua efetividade posta à prova em situações reais de serviço.

### 5.1 Teste do sistema de tração

O sistema de tração é composto minimamente pelos motores e o movimento gerado por eles é transferida para as rodas por meio de correntes. Através do controle PWM presente no sistema é possível alterar a velocidade de rotações dos motores e assim controlar a velocidade de deslocamento do veículo, valor este que é o principal fator abordado por esta seção.

Por meio de dois botões do controle remoto pode-se selecionar 4 níveis de velocidade. Para identificar a velocidade de cada nível foi delimitado um percurso fixo e cronometrado o tempo que o veículo levou para completar este trajeto. Com estes dados basta dividir o comprimento do trajeto pelo tempo obtido e assim obter a velocidade. A tabela 10 mostra a velocidade medida de cada nível.

Tabela 10 – Velocidade

Nível	Velocidade (m/s)
1	0,17
2	0,27
3	0,38
4	0,6

Fonte: elaborado pelo autor.

A tabela 10 aponta as velocidades obtidas no teste, estas velocidades foram definidas com as velocidades adequadas para a operação do veículo. Os motores têm capacidade de proporcionar velocidades maiores ao sistema, pois a tensão aplicada a eles foi abaixo da tensão nominal, mas para preservar a integridade dos

componentes do veículo, foram adotados os níveis de velocidade mostrados anteriormente.

## **5.2 Teste do sistema de direção**

O principal assunto desta seção é a escolha do motor que é responsável por executar a movimentação direcional do veículo, este motor precisa ter um bom torque e uma velocidade reduzida, isto possibilita movimentos mais precisos. Inicialmente foram testados os motores de passo para executar os movimentos necessários, mas foi constatada a necessidade de um motor com alto torque para conseguir movimentar o sistema.

Após identificar esta necessidade de alto torque, foi constatado que um motor de passo com tal capacidade seria financeiramente inviável para o projeto. Para solucionar este problema, foram feitos alguns testes utilizando o mesmo motor do sistema de tração, testes estes que foram bem-sucedidos quando analisados pelo fator torque, pois devido à caixa de redução presente neste motor, seu torque satisfaz as necessidades do projeto, porém, como o eixo do motor é diretamente acoplado ao eixo de giro das rodas, a velocidade de atuação do sistema ficou muito elevada, impossibilitando manobra precisas.

A partir destas informações, foi adquirido um motor do mesmo modelo do motor de tração, porém com uma rotação muito menor. Enquanto o sistema de tração conta com motores de aproximadamente 80 RPM, o sistema de direção conta com um motor de 33 RPM, faixa esta que pode ser facilmente encontrada no mercado.

Contudo, ainda foi necessário reduzir a velocidade deste novo motor. Para tal, foi novamente utilizada a estratégia do controle por PWM, aplicando a metade da tensão nominal ao motor, foi obtido uma velocidade de giro e um torque satisfatórios para o projeto.

### 5.3 Teste do pulverizador

Na parte do pulverizador foram analisadas duas variáveis importante para a prática de pulverização, são elas, pressão e vazão. Estas duas grandezas permitem um controle completo da aplicação e aumentam a previsibilidade do sistema. A partir da vazão e da velocidade é possível obter valores interessantes para o operador, como por exemplo, quantos metros podem ser pulverizados para cada litro de calda.

A pressão gerada pela motobomba foi medida por meio do manômetro instalado junto ao sistema. Lembrando que a motobomba opera nominalmente a 12 V, mas através do controle PWM é possível alterar a tensão aplicada a ela e por consequência alterar a pressão. Os limites de pressão foram definidos de acordo com os testes realizados, o limite inferior foi definido pela pressão mínima capaz de gerar um leque nos dois bicos aplicadores. Assim como o limite superior foi definido a partir das limitações do sistema estrutural, conexões, mangueiras e encaixes.

A tabela 11 apresenta os resultados obtidos no manômetro variando entre os diferentes níveis possíveis.

Tabela 11 – Pressão

Nível	Pressão (psi)
1	30
2	40
3	50
4	60
5	65
6	70
7	80
8	90
9	95
10	100

Fonte: elaborado pelo autor.

O nível 1 conseguem apenas gerar vazão em um dos dois bicos aplicadores, já os níveis acima de 7, podem ser considerados elevados, pois geram vazamentos

e até rompimento em algumas conexões devida a alta pressão, sendo estas adequadas somente quando utilizados mais de dois bicos.

Para o teste da vazão, foi utilizado um recipiente com capacidade de um litro, este recipiente foi posicionado junto a um dos bicos de forma que não houvesse perda de líquido, com auxílio de um cronômetro, o tempo foi medido para cada nível de pressão. Os níveis muito altos e muito baixos já foram desconsiderados deste teste. A tabela 12 mostra os resultados obtidos.

Tabela 12 – Vazão

Nível	Vazão (ml/s)
2	21,27
3	27,03
4	31,25
5	36,36
6	40
7	43,47

Fonte: elaborado pelo autor.

#### 5.4 Teste do controle remoto

Nos testes referentes ao controle remoto foram observados fatores como alcance, facilidade de operação e consumo. Foram analisadas situações práticas de uso, com relação ao alcance foi possível observar que o controle apresenta um alcance muito maior do que o necessário, sendo que distâncias superiores a 50 metros já tornam a operação pouco precisa devido à falta de detalhes visuais do terreno. Todavia, foi constatado que o veículo ainda responde muito bem em distâncias superiores a 300 metros.

Quanto à operação, devido ao fato de as baterias estarem localizadas na parte frontal do controle, este apresenta um peso maior nesta área e com isso ele possui uma leve tendência de giro. Porém é perfeitamente possível operar o veículo por bastante tempo sem perceber desconfortos. Outro ponto importante é que a escolha estratégica dos botões que movimentam o robô permite que todo seu

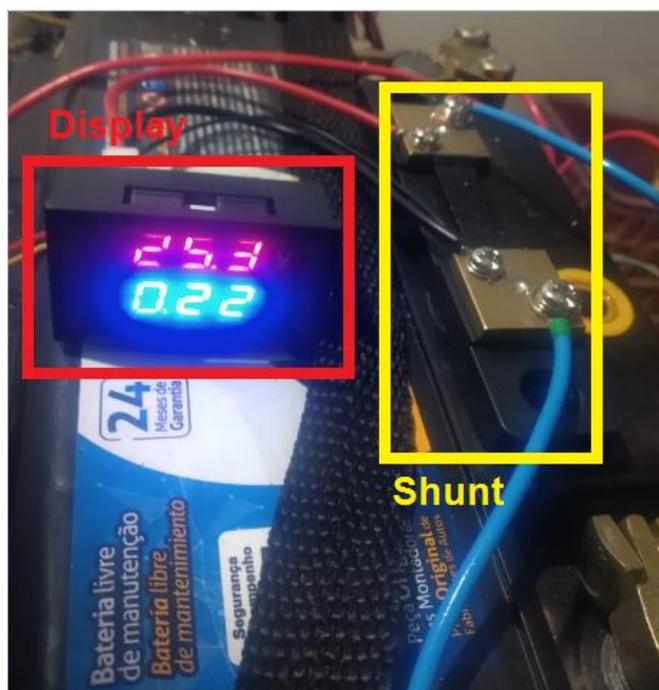
deslocamento possa ser realizado utilizando apenas uma das mãos, o que dá mais liberdade ao operador.

Teoricamente o consumo do controle gira em torno de 40 mA, sendo que o microcontrolador consome cerca de 20 mA, o módulo sem fio consome 12 mA e o *display* 8mA. As baterias utilizadas possuem capacidade de fornecer 2200 mAh, o que dá ao controle, teoricamente, uma autonomia de aproximadamente 55 horas. Na prática foi medido um consumo de 45 mA, e uma autonomia de 40 horas.

### 5.5 Consumo e autonomia do veículo

Para medir o consumo do veículo, um amperímetro e voltímetro foram instalados junto aos cabos alimentadores do sistema, a tensão é obtida diretamente entre os polos positivo e negativo da bateria e a corrente é medida a partir de um resistor *shunt*, instalado em série com o condutor negativo da bateria. As informações são mostradas em um *display*. A figura 52 ilustra o equipamento utilizado.

Figura 52 – Voltímetro e Amperímetro



Fonte: elaborado pelo autor.

Os testes de consumo foram realizados por etapas, conhecendo a necessidade energética de cada sistema é possível constatar o consumo do veículo quando estes entram em funcionamento simultaneamente. O sistema de direção do veículo por apresentar apenas uma velocidade, demanda uma corrente fixa de aproximadamente 1 A, isto considerando o veículo parado, quando em movimento, esta demanda apresenta uma leve redução. Os demais sistemas apresentam variação de demanda de corrente conforme cada configuração, a tabela 13 mostra a corrente que o sistema de tração demanda em diferentes níveis de velocidade, estes testes foram realizados com uma carga de aproximadamente 30 kg, em um piso liso e uniforme.

Tabela 13 - Consumo do sistema de tração

Nível Velocidade	Corrente (A)
1	0,8
2	1,12
3	1,6
4	2,2

Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme pode ser visto na tabela 13, o aumento da velocidade gera uma maior demanda de corrente elétrica, os valores descritos na tabela foram coletados ao observar um regime constante, pois para tirar o veículo da inércia sempre ocorre um pico de corrente. A tabela 14 apresenta os valores encontrados para o sistema de freio.

Tabela 14 - Consumo do sistema de freio

Ação	Corrente (A)
Desenergizado	0
Durante acionamento	0,25
Bobinas energizadas	0,22
Durante desacionamento	0,20

Fonte: elaborado pelo autor.

O sistema de freio apresenta uma baixa variação entre as etapas, na prática estes valores não influenciam muito na autonomia do veículo pois ele é acionado apenas em situações de terrenos muito inclinados. Já o sistema de pulverização apresenta grande variação de acordo com o aumento da pressão, como pode ser visto na tabela 15.

Tabela 15 - Consumo do sistema de Pulverização

Pressão (psi)	Corrente (A)
40	0,43
50	0,66
60	0,89
70	1,2
80	1,53

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir das tabelas de corrente demandada é possível estimar o consumo teórico do sistema de acordo com o cenário desejado, por exemplo, em uma situação de pulverização com uma pressão de 60 psi, velocidade no nível 2,

utilizando o sistema de direção em 60% do trajeto e sem o acionamento dos freios, temos uma demanda de 2,61 Ah. As baterias totalmente carregadas têm uma capacidade de gerar 60 Ah, obtendo assim uma autonomia de aproximadamente 23 horas.

Na prática, com testes amostrais, em uma situação de pulverização em um terreno levemente inclinado e com imperfeições, esta autonomia reduziu para cerca de 15 horas. Valor este que pode ser elevado quando incorporada ao sistema a placa fotovoltaica, esta, em condições de sol pleno, consegue injetar aproximadamente 2 Ah ao sistema. Embora seja um valor relevante, a inclinação da placa com relação ao sol é muito importante, em casos de inclinação desfavorável, onde a placa não recebe a radiação diretamente, foi constatado uma redução drástica na eficiência do sistema.

## 5.6 Imagens

Esta seção apresenta algumas imagens capturadas durante a fase de teste do veículo. A figura 53 mostra o veículo durante o teste de deslocamento.

Figura 53 – Teste de deslocamento



Fonte: elaborado pelo autor.

A imagem 54 mostra o protótipo durante o teste de pulverização.

Figura 54 – Teste de pulverização



Fonte: elaborado pelo autor.

A imagem 55 ilustra o veículo durante o teste de colheita.

Figura 55 – Teste de colheita



Fonte: elaborado pelo autor.

A próxima seção apresenta as percepções que foram obtidas nos testes realizados, além de apontar possíveis alterações que possam complementar o projeto.

## 6 DISCUSSÃO

Esta seção trata da avaliação prática do protótipo, são abordadas questões como integridade do chassi, eficiência da interface homem máquina, análise da eficiência dos sistemas, custo do projeto e melhorias a serem implementadas.

Na parte que diz respeito a estrutura do protótipo, levando em consideração que o chassi foi desenvolvido de forma artesanal e com ferramentas simples, sua robustez pode ser considerada boa, apresentando suportes com encaixe preciso para fixação dos motores e demais periféricos. A instalação de um sistema de suspensão seria um ponto a ser analisado, isto daria mais versatilidade ao veículo principalmente em terrenos irregulares. Idealmente seria necessário a confecção de um chassi próprio para o veículo, porém isto requer alto investimento e muito tempo para execução, o que fica inviável para este trabalho.

Com relação a interface operador e veículo, que se trata do controle remoto mais especificamente, foi constatado uma comunicação com excelente alcance, boa usabilidade, uma vez que é possível controlar todos os sistemas de forma fácil e rápida. Ficando apenas a distribuição não uniforme do peso do mesmo como ressalva, idealmente seria necessário projetar um controle específico para o protótipo, com melhor encaixe às mãos do operador e uma distribuição de peso uniforme de modo que a manipulação do equipamento com apenas uma mão fosse mais agradável.

Visando agora o sistema de direção, é possível afirmar que este cumpre seu papel, conseguindo guiar o veículo de forma aceitável. Para um aprimoramento do sistema seria interessante a utilização de um motor com menor rotação, isto tornaria os movimentos mais suaves e precisos. Em giros mais acentuados, foi observado um arrasto da roda interna, e com isso uma necessidade maior de energia por parte do sistema de tração.

Para reduzir este arrasto, uma lógica de controle foi utilizada, na qual o motor de tração do lado do giro passa a ter uma velocidade menor, isto ajuda no esterçamento do veículo. Outro aprimoramento possível seria a utilização de dois motores independentes ao invés da barra de direção, isto proporcionaria mais liberdade ao sistema e em giros acentuados a roda interna poderia virar mais do que a externa, logo não haveria arrasto.

Na análise do sistema de tração, pode-se perceber que o conjunto ficou bom e que os motores apresentam torque suficiente para deslocar o veículo. Porém seria conveniente realizar testes utilizando pinhões e correntes de dimensões mais robustas, pois alguns movimentos bruscos ocasionaram o desencaixe da corrente do pinhão durante os testes.

Quanto a velocidade, seria possível utilizar uma relação entre o pinhão e a coroa de forma que a velocidade ficasse menor que a configuração atual, visto que não é possível utilizar os motores com a tensão nominal devido a alta velocidade que o veículo atinge. Contudo o controle com 4 níveis de velocidade se mostrou bastante efetivo, tornando o protótipo eficiente em diferentes tipos de situações.

No que diz respeito ao sistema de pulverização foi observado um bom desempenho nos testes práticos, os dois bicos aplicadores proporcionam uma boa cobertura à área de pulverização, a motobomba utilizada possui potência mais que suficiente para alimentar o sistema. As informações que o sistema passa ao operador ajudam a definir os melhores parâmetros para o tamanho da lavoura. Um ponto negativo é referente à capacidade de medição do nível de água no tanque, o sensor ultrassônico utilizado não apresenta resultados concisos, principalmente quando existe um nível intenso de agitação, sendo utilizado apenas para verificar a existência de calda no tanque.

Quando o veículo é utilizado para transporte durante a colheita, ele apresenta um ótimo resultado, conseguindo carregar facilmente 40 kg, o que representa uma maior eficiência no processo produtivo, uma vez que acelera a colheita e reduz o esforço realizado pelo produtor.

O custo do projeto também é algo fundamental a ser analisado, embora parte do protótipo foi confeccionado a partir de componentes sucateados, principalmente o chassi, os valores apresentados a seguir foram estipulados de acordo com o mercado de peças novas, isto torna o projeto mais próximo da realidade para uma possível fabricação comercial. A tabela 16 mostra os valores gastos com o projeto.

Tabela 16 – Custos

Descrição	Quantidade	Preço total (R\$)
Quadro bicicleta	2	250,00
Tubo aço 20 mm 6 metros	1	140,00
Roda + Pneu	4	400,00
Corrente	2	32,00
Barra direção 1,5 metros	1	50,00
Freio + Cabo	1	30,00
Motor DC 24 V	3	1000,00
Motor de passo	1	300,00
Driver motor de passo	1	80,00
Driver PWM	4	100,00
Módulo sem fio	2	70,00
display	1	20,00
Microcontrolador	2	160,00
Bateria 12 V 60 A	2	740,00
Módulo conversor buck	2	25,00
Bateria Lítio 3,7 V 2200 mAh	2	30,00
Sensores	4	40,00
Condutores elétricos + conectores	-	30,00
Arrame de solda 1kg	1	80,00
Tubos + conexões PVC	-	100,00
Motobomba	1	150,00
Tanque 100 l	1	400,00
Filtro de linha	1	40,00
Manômetro	1	30,00
Placa fotovoltaica	1	380,00
Regulador de carga	1	60,00
Custo total:		4.737,00

Fonte: elaborado pelo autor.

Analisando a tabela 16 é possível verificar que o custo final do projeto ficou em torno dos R\$ 5.000,00, considerando que se trata de um protótipo em fase inicial e que as peças utilizadas são de qualidade mediana. Realizando todas as melhorias sugeridas e utilizando matérias de primeira linha, pode-se estimar um custo próximo a R\$ 10.000,00, o que ainda seria um valor aceitável considerando a versatilidade do projeto.

Como valor de referência, para comparação é possível citar os drones pulverizadores que desempenham um papel parecido, e seu preço gira em torno de R\$ 100.000,00. Também é possível mencionar os pulverizadores acoplados nos tratores, que tem um custo girando em torno de R\$ 15.000,00.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O desenvolvimento deste projeto proporcionou a união de vários equipamentos, tecnologias e ferramentas para a elaboração de um veículo agrícola totalmente novo, versátil, de baixo custo e sustentável, que tem por objetivo auxiliar pequenos produtores em suas atividades do dia a dia, facilitando e dando mais agilidades aos processos além de gerar benefícios à saúde.

O protótipo foi desenvolvido com foco em uma gama de trabalhadores que possuem um baixo poder aquisitivo e em um setor pouco explorado pela área tecnológica. A incorporação de novas tecnologias no campo tem sido assunto de várias discussões e cada vez mais é necessária para o aperfeiçoamento da prática. Atualmente os altos custos de produção aumentam a necessidade de tratamentos e colheitas das lavouras no tempo certo, isto evita vários prejuízos, e equipamentos que ajudam nestas práticas são sempre muito bem-vindos.

A execução deste projeto comprova que é possível a partir de componentes simples e de custo reduzido, elaborar uma ferramenta extremamente útil, que auxilia em várias etapas de um processo produtivo agrícola. Ainda cabem alguns aprimoramentos do projeto e testes utilizando materiais e componentes diferentes. Contudo, de acordo com os dados apresentados neste trabalho, pode-se afirmar que o protótipo atendeu aos objetivos previstos, sendo capaz de desempenhar todas as tarefas propostas.

Ainda é possível destacar que perante outras ferramentas semelhantes, tais como drones e pulverizadores tratorizados, o veículo desenvolvido apresenta um custo significativamente inferior além de oferecer vantagens como maior capacidade de calda, em relação ao drone, operação de longo alcance, em relação ao pulverizador tratorizado, e ainda a possibilidade de utilização como veículo de carga.

### **6.1 Trabalhos futuros**

Como possíveis trabalhos futuros relacionados ao aprimoramento do veículo desenvolvido, pode se destacar a criação de um chassi específico para o equipamento, que visa atender as áreas de operação do protótipo, possuindo uma suspensão capaz de se adaptar melhor a terrenos irregulares e dar mais suavidade

ao conjunto. Também pode ser implementado um sistema de câmera capaz de proporcionar melhor visualização dos movimentos do robô e do trajeto a longa distância.

Outro ponto interessante seria a utilização de uma lógica de controle aliado ao uso de sensores de proximidade e posicionamento por GPS (Sistema de Posicionamento Global) para realizar atividades como a pulverização de culturas cultivadas em ambientes abertos, como milho e aipim, de forma automática.

Fugindo um pouco do assunto do veículo, mas ainda com relação ao setor agrícola, uma ótima possibilidade de estudo é um sistema de irrigação totalmente automatizado, pois atualmente muitas propriedades possuem sistema elétricos de irrigação, porém todo o processo de alternância entre lavouras ainda é feito manualmente, ocupando assim boa parte do dia do produtor, sendo que em muitos casos existe uma pessoa responsável apenas por esta parte.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. M. A.; MORAES, C. H. V.; SERAPHIM, T. F. P. **Programação de sistemas embarcados**: Desenvolvendo softwares para microcontroladores em linguagem C. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

ALVES, R. A.; GUIMARÃES, M. C. **De que sofrem os trabalhadores rurais?** Análise dos principais motivos de acidentes e adoecimentos nas atividades rurais. Informe Gepec, Toledo, v.16, n.2, p.39-56. Jul/ dez, 2012.

ASCOM EMATER/RS-ASCAR. **Agricultura familiar é desenvolvida em 25% da**

AVANZI, Dane. **Radio comunicação digital**: Sinergia e produtividade. São Paulo: L2M, 2013.

BAK, T.; JAKOBSEN, H. **Agricultural Robotic Platform with Four Wheel steering for Weed Detection**. Biosystems Engineering, v.87, n.2, p.125-136. 2004.

BARBOSA FILHO, A.N. **Segurança do trabalho**: na agropecuária e na agroindústria. São Paulo: Atlas, 2017.

BAÚ DA ELETRONICA. **Módulo NRF24L01 + PA + LNA**. 2021. Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br> > Acesso em 21 out. 2021.

BRASIL. **Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006**. Dispõe sobre as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2006/Lei/L11326.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11326.htm)>. Acesso em: 31 ago. 2021.

CASTRO, J. S. M.; CONFALONIERI, U. **Uso de agrotóxicos no Município de Cachoeiras de Macacu** (RJ). Ciência & Saúde Coletiva, v. 10, p. 473-482, 2005.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. Porto Alegre: AMGH, 2013.

FREIRE, Francisco das Chagas Oliveira; AZEVEDO, Francisco Roberto de. **Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas**. Fortaleza: Embrapa, 2006. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/426350/1/Dc102.pdf>>. Acesso em 28 ago. 2021.

GARCIA, E. G.; ALVES FILHO, J. P. **Aspectos de prevenção e controle de acidentes no trabalho com agrotóxicos**. São Paulo: Fundacentro, 2005.

GONÇALVES, José Sidnei; SOUZA, Sueli Alves Moreira. **Agricultura familiar: limites do conceito e evolução do crédito**. IEA - Instituto de Economia Agrícola, São Paulo, jun. 2005. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=2521>>. Acesso em: 31 ago. 2021.

HAGUE, T.; MARCHANT, J.A.; TILLET, N.D. **Ground based sensing systems for autonomous agricultural vehicles**. computers and electronics in agriculture, v.25, n.1-2, p.11- 28. 2000.

IBGE, **Área rural no RS**. Rio Grande do Sul, 01 de nov. 2019. Disponível em: <<https://estado.rs.gov.br/agricultura-familiar-e-desenvolvida-em-25-da-area-rural-no-rs-aponta-ibge>>. Acesso em 29 ago. 2021.

IMMOBRÁS. **Catálogo Técnico**. 5 abr. 2019. Disponível em: <<https://www.imobras.ind.br/site-2017/pt-br/midia/downloads>> Acesso em 8 out. 2021.

LEITE, B. R. B.; CABRAL, F. P.; SUETT, W. B. **Importância da ergonomia e segurança do trabalho na melhoria das condições de trabalho do trabalhador canavieiro**. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção -ENEGEP. A energia que move a produção: um diálogo sobre integração, projeto e sustentabilidade. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2007.

LONDRES, F. **Agrotóxicos no Brasil: um guia para ação em defesa da vida**. Rio de Janeiro: AS-APTA, 2011.

LUCCA, S. R.; CORTEZ, M. Z.; TOSETTO, T. **A percepção dos trabalhadores sobre os riscos de distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho na produção de rosas**. Revista Espaço Diálogo e Desconexão – REDD. v.4, n.1. Jul/dez. Araraquara, SP, 2011.

MATARIĆ, Maja J. **Introdução à Robótica**. São Paulo: BUCHER, 2014.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. **Agrotóxico**. 24 ago.2021. Disponível em: <<https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/agrotoxicos>> Acesso em 29 ago. 2021.

MOSS, G. L.; WIDMER, N. S.; TOCCI, R. J. **Sistemas Digitais: Princípios e aplicações**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

MOTIONKING. **Datasheet - 7HS4401**. 2021. Disponível em: <<https://www.datasheet4u.com/datasheet-pdf/MotionKing/17HS4401/pdf.php?id=928661>> Acesso em 21 out. 2021.

MXBIKES. **Freio comum de bicicleta**. Disponível em: <<https://www.mxbikes.com.br/blog/qual-diferenca-entre-freios-de-bicicleta>> Acesso em 22 out. 2021.

OLIVEIRA, C. L. V.; ZANETTI, H. A.P. **Arduino descomplicado: como elaborar projetos de eletrônica**. São Paulo: Érica, 2015.

OLLERO, A.; MARTÍNEZ, J.L.; SIMÓN, A.; GÓMEZ-DE-GABRIEL, J.; MUÑOZ, V.F.; MANDOW, A.; GARCÍA-CEREZO, A.; GARCÍA, F.; MARTINEZ, M.A. **The Autonomous Robots for Spraying: Aurora. IARP Conference on Robotics in the Agriculture and the food industry**. Toulouse, France, 1995. Disponível em: <<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.569.4109&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 12 set. 2021.

PAZOS, Fernando. **Automação de Sistemas & Robótica**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2002.

PEREIRA, Fábio. **Microcontroladores PIC: Técnicas avançadas**. São Paulo: Érica, 2002.

PETRUZELLA, Frank D. **Motores Elétricos e Acionamentos**. Porto Alegre: AMGH, 2013.

PISCALED. **Driver Motor de Passo**. 2021. Disponível em: <[https://www.piscaled.com.br/driver-motor-passo-tb67s109aftg-35a-similar-tb6600?utm\\_source=Site&utm\\_medium=GoogleMerchant&utm\\_campaign=GoogleMerchant&gclid=CjwKCAjwwsmLBhACEiwANq-tXOp52LcHoVGALbLNqBeGXsx43heQ9HcN9oxLBIVofUGOUVuf-Hzz3RoCI4oQAvD\\_BwE](https://www.piscaled.com.br/driver-motor-passo-tb67s109aftg-35a-similar-tb6600?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gclid=CjwKCAjwwsmLBhACEiwANq-tXOp52LcHoVGALbLNqBeGXsx43heQ9HcN9oxLBIVofUGOUVuf-Hzz3RoCI4oQAvD_BwE)> Acesso em 22 out. 2021.

PURQUERIO, Luis Felipe Villani; TIVELLI Sebastião Wilson. **Manejo do Ambiente em Cultivo Protegido**. IAC - Instituto Agrônômico, Campinas, 01 Set. 2006. Disponível em: [http://files.rodriroprofessor.webnode.com.br/200000070-13ca814c4a/apostila\\_ambiente\\_protegido.pdf](http://files.rodriroprofessor.webnode.com.br/200000070-13ca814c4a/apostila_ambiente_protegido.pdf). Acesso em: 28 ago. 2021.

RAPPAPORT, Theodore S. **Comunicação sem fio: Princípios e práticas**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

RESUN. **RSM-100P POLY**. 2022. Disponível em: <<https://www.resunsolar.com.br> > Acesso em 16 out. 2022.

ROMANO, V. F. DUTRA, M.S. **Introdução à Robótica Industrial: Aplicação na indústria de manufatura e de processos**. São Paulo: BLUCHER, 2002.

ROMERO, R. A. F.; PRESTES, E. OSÓRIO, F. WOLF, D. **Robótica Móvel**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

ROSA, Ana Cristina Simões; RANGEL, Cássia de Fátima; SARCINELLI, Paula de Novaes. **Uso de agrotóxicos e suas implicações na exposição ocupacional e contaminação ambiental**. Cadernos de Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, 27 out. 2011. Disponível em: <[http://www.cadernos.iesc.ufrj.br/cadernos/images/csc/2011\\_4/artigos/csc\\_v19n4\\_435-442.pdf](http://www.cadernos.iesc.ufrj.br/cadernos/images/csc/2011_4/artigos/csc_v19n4_435-442.pdf)>. Acesso em 29 ago. 2021.

RUCKELSHAUSEN, A.; KLOSE, R.; LINZ, A.; MARQUERING, J.; THIEL, M.; TÖLKE, S. **Autonome Roboter zur Unkrautbekämpfung** *Journal of Plant Diseases and Protection*, p.173- 180 2006.

SAM, K. G.; ANDRADE, H. H.; PRADHAN, L.; PRADHAN, A.; SONES, S. J.; RAO, P. G. M.; SUDHAKAR, C. **Effectiveness of an educational program to promote pesticide safety among pesticide handlers of South India**. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, v. 81, n. 6, p. 787-795, 2008.

SOLARPROENGENHARIA. **CONTROLADOR DE CARGA SOLAR 30A**. 2022. Disponível em: < <https://loja.solarproengenharia.com> > Acesso em 16 out. 2022.

SOUZA, D. J. de. **Desbravando o PIC**: Ampliado e atualizado para PIC 16F628A. São Paulo: Érica, 2005.

STEVAN JUNIOR, S. L.; SILVA, R.A. **Automação e instrumentação com Arduino**: Teoria e Projetos. São Paulo: Érica, 2015.

STMICROELETRONICS. **Datasheet VNH2SP30-E**. 2008. Disponível em: <<http://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Arduino/Shields/10832.pdf> > Acesso em 29 out. 2021.

TABILE, R. A.; INAMASU, R. Y.; PORTO, A. J. V. **Agricultura de Precisão: Um novo olhar**. São Paulo: EMBRAPA, 2011.

TANGERINO, G.T.; GODOY, E.P.; TABILE, R.A.; SANCHES, R.M.; INAMASU, R.Y.; PORTO, A.J.V. **Controle de esterçamento de robô agrícola móvel de quatro rodas guiáveis**. Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. São João Del-Rei, Mina Gerais, 2011.

TEXAS INSTRUMENTS. **Datasheet LM2596 SIMPLE SWITCHER**. 2021. Disponível em: <<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>> Acesso em 8 out. 2021.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais**: Fundamentos e aplicações. São Paulo: Érica, 2009.

USINAINFO. **Driver ponte H BTS7960B**. 2021. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/driver-para-motor/driver-motor-ponte-h-bts7960b-para-motor-dc-de-alta-corrente-43a-4982.html>> Acesso em 8 out. 2021.

USINAINFO. **Regulador de Tensão Ajustável LM2596 DC Step Down**. 2021. Disponível em: <[https://www.usinainfo.com.br/regulador-de-tensao-ajustavel/regulador-de-tensao-ajustavel-lm2596-dc-step-down-para-menos-15v-a-35v-2552.html?search\\_query=modulo+regulador+de+tensao&results=58](https://www.usinainfo.com.br/regulador-de-tensao-ajustavel/regulador-de-tensao-ajustavel-lm2596-dc-step-down-para-menos-15v-a-35v-2552.html?search_query=modulo+regulador+de+tensao&results=58)> Acesso em 8 out. 2021.

WOTIOM. **Motor de Passo NEMA 23 30 kgf.cm / 3,0A**. 2022. Disponível em: <<https://www.wotiom.com/> > Acesso em 16 out. 2022.