

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**EUGÊNIO TEIXEIRA SCHREIBER PIERAZZOLI**

**SISTEMA ELETRÔNICO E  
COMPUTACIONAL BASEADO EM  
INTERNET DAS COISAS PARA  
EQUIPAMENTOS DE AGROPECUÁRIA  
DE PRECISÃO**

**Bagé  
2019**

**EUGÊNIO TEIXEIRA SCHREIBER PIERAZZOLI**

**SISTEMA ELETRÔNICO E  
COMPUTACIONAL BASEADO EM  
INTERNET DAS COISAS PARA  
EQUIPAMENTOS DE AGROPECUÁRIA  
DE PRECISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia de Computação como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Leonardo Bidese de Pinho  
Coorientador: Naylor Bastiani Perez

**Bagé  
2019**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

P615s Pierazzoli, Eugênio Teixeira Schreiber  
Sistema Eletrônico e Computacional Baseado em Internet das  
Coisas para Equipamentos de Agropecuária de Precisão / Eugênio  
Teixeira Schreiber Pierazzoli.

68 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO, 2019.

"Orientação: Leonardo Bidese de Pinho; Coorientação: Naylor  
Bastiani Perez".

1. Smart farm. 2. Controle de plantas invasoras. 3. Redes  
de sensores e atuadores. 4. ISOBUS. 5. Roçadeira química. I.  
Título.

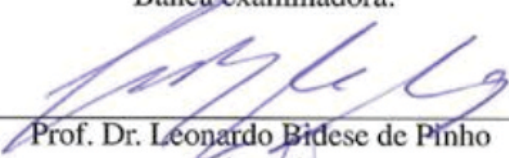
**EUGÊNIO TEIXEIRA SCHREIBER PIERAZZOLI**

**SISTEMA ELETRÔNICO E COMPUTACIONAL BASEADO EM INTERNET DAS COISAS PARA EQUIPAMENTOS DE AGROPECUÁRIA DE PRECISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia de Computação como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

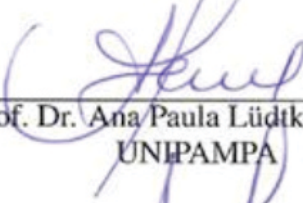
Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 29 de junho de 2019.

Banca examinadora:



---

Prof. Dr. Leonardo Bidesse de Pinho  
Orientador



---

Prof. Dr. Ana Paula Lüdtke Ferreira  
UNIPAMPA



---

Prof. Dr. Érico Marcelo Hoff do Amaral  
UNIPAMPA

Dedico este trabalho ao meu filho, Enzo, que me mostrou o verdadeiro significado da palavra amor e por ser a razão pela qual quero crescer profissionalmente.

## **AGRADECIMENTO**

A Deus em primeiro lugar, agradeço, pois nada disso seria possível se não fosse por sua Graça. Agradeço a todos os professores por me proporcionarem conhecimento. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados, aos quais, sem nominar terão meus eternos agradecimentos. A todos os colegas de curso pelo convívio e pelos momentos de amizade, que fizeram parte desta caminhada até o último momento. A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa. Aos meus pais, Claiser e Belkiss, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. À minha esposa e companheira de todas as horas, Lairem, por estar ao meu lado em mais essa etapa de nossas vidas.

“If I have seen farther than others, it is because I stood on the shoulders of giants.”

— Sir Isaac Newton

## RESUMO

Um dos modelos para se criar fazendas inteligentes é a adoção de práticas de agricultura de precisão. Em particular, nesse cenário de intensificação do uso de tecnologias da informação e comunicação na agropecuária, emerge o potencial de uso de aplicações de IoT como modelo para integrar os sistemas ligados à agropecuária e criar ambiente de fazenda inteligente (*Smart Farm*) usando uma rede de sensores. As projeções de diversas entidades renomadas, governamentais e não governamentais, de diferentes continentes, sugerem que essa é uma necessidade imediata, tendo em vista o crescimento populacional e o aumento na demanda da produção de alimentos de forma sustentável. Dentro deste contexto, mostra-se relevante aplicar esses conceitos na roçadeira química Campo Limpo, desenvolvida pela EMBRAPA, que visa o controle preciso e inteligente da aplicação de defensivos agrícolas, selecionando apenas a vegetação alvo. Para que isso aconteça, são necessários diferentes sensores representando os olhos, ouvidos e outros sentidos, em alguns casos a níveis acima da capacidade humana. A organização e processamento dos dados dos sensores gera as informações para que o processo produtivo ocorra de forma sustentável, mais competitivo e com o menor custo. Para que este conjunto de informações esteja disponível e os controles sejam eficazes, foi usada a padronização da norma ISO 11783 (ISOBUS) que possibilita a comunicação entre os dispositivos agropecuários. Assim, neste trabalho é proposto, implementado e avaliado em escala reduzida um modelo de sistema baseado em ISOBUS para que o implemento tenha acesso a sensores e atuadores próprios para realizar as tarefas necessárias para o seu funcionamento e integração aos do trator e da fazenda por meio da IoT onde os dados gerados pelos sensores podem criar indicadores relativos ao funcionamento do equipamento, qualidade do campo e melhorar as técnicas do uso do herbicida, além de mapear e usar mapeamentos gerados por outros sistemas da *smart farm*.

**Palavras-chave:** Smart farm. Controle de plantas invasoras. Redes de sensores e atuadores. ISOBUS. Roçadeira química.



## ABSTRACT

The need for control and automation to create an intelligent farm through the integration of different systems with the Internet aims to create a precision agriculture (PA) environment. This action is an immediate necessity due to population growth and increasing demand for food production in a sustainable manner. The action is pointed out as a necessity for the future agricultural scenario according to the United Nations, the European Parliament, the Governments, the World Bank, and the National Development Banks. The Internet of Things (IoT) is a general term, where "things" means all that we can add a sensor to measure something and add an IP address to connect to the Internet. One of the fields of IoT application is to integrate farming systems and create an intelligent farm environment using a sensors network. Within the context of precision agriculture, these concepts are applied in the rope wick applicator known as *Campo Limpo*, developed by EMBRAPA, as a case study that aims at the precise and intelligent application of the herbicide, selecting only the target vegetation. For this to happen, different sensors representing the eyes, ears and other senses are needed, in some cases at levels beyond human capacity. The organization and processing of these data generates relevant information so that the productive process occurs in a sustainable, more competitive, and at the lowest cost way. In order for this set of information to be available and the controls to be effective, it is necessary to have standardization such as the use of the ISO 11783 (ISOBUS) for communication among devices. Thus, this work proposes, implements, and evaluates in reduced-scale a system model based on ISOBUS that allows the implement to access sensors and actuators and perform the tasks necessary for its operation and integration to the tractor and the farm through the IoT, where the data generated by the sensors can create indicators related to the operation equipment, field quality, and improved herbicide use techniques, as well as mapping and using mappings generated by other smart farm systems.

**Keywords:** Smart farm. Weed control. Sensor and actuator networks. ISOBUS. Rope wick applicator.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Impacto do IoT em 2025 .....	15
Figura 2	Capa do Método Mirapasto .....	21
Figura 3	Controle de pontos remanescentes com a enxada .....	23
Figura 4	Roçadeira Química Campo Limpo .....	24
Figura 5	Vegetação em duplo extrato .....	36
Figura 6	Ajuste de Altura .....	37
Figura 7	Corda do aplicador de herbicida .....	38
Figura 8	Acelerômetro MPU .....	39
Figura 9	Ultrasonic Ranging Module HC - SR04 .....	40
Figura 10	Sensor de Temperatura e Umidade DHT11 .....	41
Figura 11	Diagrama do CI de Sensor Hall Honeywell .....	41
Figura 12	Exemplo de distúrbios elétricos e correção. ....	42
Figura 13	Exemplo de padronização mostrando o sistema novo e o antigo .....	42
Figura 14	Plataforma de hardware de código aberto (open source) Arduino UNO.....	43
Figura 15	Diagrama em blocos do microcontrolador Atmel ATmega328P.....	43
Figura 16	Módulo de Comunicação CAN com o MCP2515 .....	44
Figura 17	Exemplo da comunicação de múltiplos CIs MCP2515 .....	44
Figura 18	Diagrama em blocos do circuito integrado Microchip MCP2515.....	45
Figura 19	Diagrama do sistema de controle e interações.....	47
Figura 20	Diagrama de um sistema com módulos e a comunicação com o trator por meio do barramento CAN.....	48
Figura 21	Interruptor que ativa o modo de Cruise Control .....	49
Figura 22	Módulos de comunicação com o trator por meio do barramento CAN.....	49
Figura 23	Diagrama dos módulos de avisos por meio do barramento CAN .....	50
Figura 24	Corda saturada, gotejando no ponto mais baixo .....	51
Figura 25	Controle de potência usando um mosfet de canal N e um Arduino .....	51
Figura 26	Diagrama dos módulos de controle e vazão por meio do barramento CAN ..	52
Figura 27	Diagrama do módulo de identificação da altura do pasto.....	53
Figura 28	Mapeamento frontal e lateral permitindo pré-processar a altura média do pasto da linha futura.....	54
Figura 29	Diagrama do módulo de controle da altura da roçadeira química .....	55
Figura 30	Vista frontal do protótipo de sistema de controle .....	58
Figura 31	Testes de medição com múltiplos sensores ultrassônicos.....	59
Figura 32	Comunicação ISOBUS entre os módulos.....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Vazão em mililitros por minuto de acordo com a infestação e velocidade.....	26
Tabela 2	Custos aproximados dos <i>shields</i> disponíveis para o projeto.....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABI-R	Allied Business Intelligence Research
AP	Agricultura de Precisão
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
RTP	Real-Time Protocol
RSSF	Rede de Sensores sem Fio
SIMD	Single Instruction Multiple Data
CAN	Controller Area Network
CiA	CAN in Automation
ECU	Electronic Computer Unity
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEPAGRO	Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Sul
GPS	Global Positioning System
IoT	Internet of Things
LoRa	Long Range Radio
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network
M2M	Machine to Machine
M2H	Machine to Human
MCS	Machine to Smartphone
MCU	Microcontroller Unit Microcontroller Unintror Group Numbers
SC	Sistema de Controle
SoC	System on Chip
SPI	Serial Peripheral Interface

SPN	Suspect Parameter Number
SAE	Society of Automotive Engineers
TI	Tecnologia da Informação
WLAN	Wireless Local Area Network

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 Justificativa .....	15
1.2 Objetivos .....	17
1.3 Metodologia .....	17
1.4 Estrutura do Trabalho.....	18
<b>2 REFERENCIAL TÉORICO-PRÁTICO</b> .....	<b>20</b>
2.1 Método Integrado de Recuperação de Pastagens - MIRAPASTO .....	20
2.1.1 Controle da aplicação do herbicida.....	25
2.1.2 Limitação de Inclinação .....	27
2.2 Tecnologias aplicáveis .....	28
2.2.1 Sensores e Atuadores Necessários para a Roçadeira Química .....	28
2.2.2 Padronização ISO - Comunicação entre tratores, displays, implementos e softwares para gerenciar fazendas.....	30
2.2.3 Microcontrolador (ECU) e a Shield CAN com o MCP2515.....	32
2.2.4 Biblioteca CAN.....	34
2.2.5 Internet das Coisas para Agropecuária .....	34
<b>3 SISTEMA PROPOSTO</b> .....	<b>46</b>
3.1 Controle de Velocidade .....	47
3.2 Vazão por Velocidade.....	48
3.3 Ajuste de Altura .....	51
<b>4 AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL</b> .....	<b>56</b>
4.1 Resultados.....	56
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

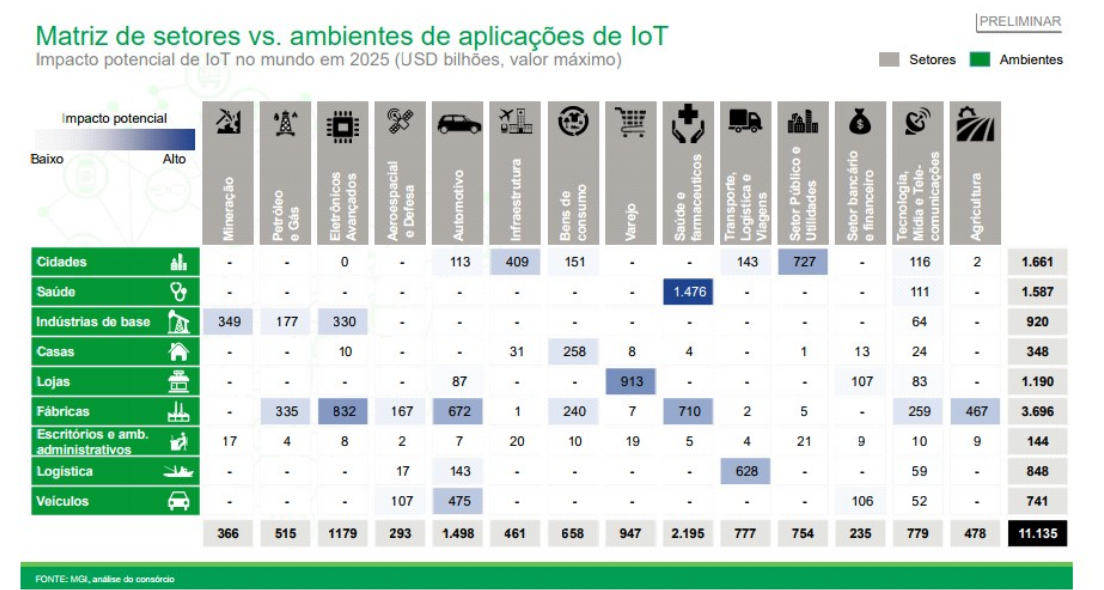
A forma que vivemos representa um desafio para a indústria de tecnologia da informação (TI). Acompanhar e possibilitar a integração de todas as formas de dispositivos eletrônicos por meio da internet, indo de uma cafeteira e uma casa inteira ou os automóveis e todo o ambiente como o pavimento das ruas, postes de iluminação e outras formas de sinalização e controle são necessidades criadas a partir da tecnologia. O uso de redes de sensores e atuadores para acesso remoto através da Internet chamado de *Internet of Things* ou (IoT), permite um controle com integração, eficiência e precisão, além de economia. Basicamente são consideradas três diferentes vias de comunicação entre a IoT, para formar o que é chamado de esfera do IoT: *Machine to machine* (M2M), *human to machine* (H2M) e *machine to smartphone* (M2S), ou outro dispositivo, como por exemplo, um *tablet*. Greengard (2015) cita John Devlin, diretor da *ABI Research* que diz que a Internet das Coisas é uma realidade e o desafio está em fazer todo os itens se encaixarem de uma maneira apropriada.

Um ambiente promissor para a aplicação do IoT é o da agropecuária (na América do Norte e na Europa, o termo *Agriculture* abarca tanto agricultura como pecuária), onde a integração dos itens é chamada de *Smart Farm*. O conceito de fazenda inteligente e agricultura de precisão é o estado da arte do agronegócio, onde não é necessária a presença física do gestor no campo, por englobar o uso de equipamentos que permitem o mapeamento das áreas e monitoramento com uma eficiência ainda maior. Ao mesmo tempo a agricultura de precisão é sustentável porque atende a ideologia da produção eficiente de produtos agrícolas seguros e de alta qualidade, de forma a proteger e melhorar o ambiente natural, as condições sociais e econômicas dos agricultores, seus funcionários, comunidades locais e salvaguarda a saúde e bem-estar.

Em 2016, o Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES) definiu um estudo sobre o impacto da Internet das Coisas no mundo em 2025. O estudo foi realizado por um consórcio de consultores, lançando relatórios e estudos preliminares em 2016 e 2017, chegando a um relatório final em 2018. A função do estudo é criar um plano de ação para o Brasil como observatórios e políticas de incentivo para dar maior prioridade para obtenção de financiamento para os casos onde as empresas emergentes de base tecnológica tem apoio de fundos de investimento, ou apoio de órgãos de fomento como o BNDES conforme descrito no relatório final de 2018. O Plano prevê que os órgãos de governo como o Ministério da Educação (MEC), Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e

Comunicações (MCTIC), Receita Federal (RF), Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) e outros trabalhem em conjunto, seja para formar pessoas qualificadas, seja para favorecer a criação de um sistema de redes como a possibilidade do uso do Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicações Estratégicas (SGDC). A Figura 1 avalia o impacto potencial do IoT no mundo, relacionando os setores e o ambientes. Existe um mercado potencial de 467 bilhões de dólares em 2025, quando relaciona agricultura e fabrica.

Figura 1 – Impacto do IoT em 2025



Fonte: BNDES (2017)

## 1.1 Justificativa

O impacto na agropecuária, justificado pelo desenvolvimento de ferramentas de agricultura de precisão, se dá pela melhora do emprego do insumo, por realizar as tarefas com mais controle, reduzindo os custos operacionais e aumentando a produtividade. Nesse contexto, este trabalho objetiva propor as bases para uma solução viável de um sistema inteligente de gerenciamento e controle de uma roçadeira química seletiva usada para o manejo de plantas invasoras em pastagens. O equipamento faz a roçada química ao aplicar o dessecante no pasto por contato com as cordas umedecidas, a partir da altura ajustada no equipamento.

Por meio de sensores, essa solução permite à máquina obter parâmetros para ajuste em tempo real, podendo inclusive compartilhar dados com outros sistemas de uma *smart*



*farm*. Os dados como a quantidade de herbicida por metro quadrado, temperatura, umidade, geoposicionamento, velocidade de operação, horário, grau de infestação e altura do pasto usados para o controle do equipamento, podem ser usados em estudos futuros, melhoras no modo de funcionamento e paralelamente alimentar outros sistemas, como por exemplo, um outro sistema de aplicação de fertilizantes, que aplique apenas em pontos específicos, como solo pobre.

Embora a roçadeira química descrita seja eficaz no manejo de plantas invasoras, ela depende da percepção do operador sobre o ambiente e da ação desse para o controle das diferentes variáveis do equipamento como o nível de infestação, velocidade de operação e a variação da altura do pasto. Portanto, nota-se uma oportunidade para agregar elementos de controle e automação capazes de aumentar a eficiência e reduzir a dependência de um operador treinado, sujeito aos problemas potenciais decorrentes do contato eventual com herbicidas e outros riscos operacionais aos quais o trabalhador do campo está exposto. Além disso, há um potencial de economia no sistema produtivo, tendo em vista a possibilidade de realização remota do manejo do campo com uma equipe reduzida.

Mais especificamente, há necessidade de um projeto de sistema computacional que possa ajudar a refinar o funcionamento deste equipamento de agricultura de precisão, que aplica o herbicida por contato no lugar de pulverização, de forma precisa através da coleta, processamento e análise de dados obtidos com a utilização de sensores, atuadores e também usar os dispositivos de geolocalização e velocidade já disponíveis no trator. A roçadeira química apresenta oportunidades para aperfeiçoamento onde um comportamento indesejado é o gotejamento que ocorre quando está desnivelada, isso é causado pelo aumento da pressão no ponto mais baixo e, conseqüentemente, um gotejamento. O ponto onde se aplica excesso de insumo gera desperdício por gotejamento e perda do pasto, enquanto o lado oposto recebe uma quantidade insuficiente. Nesse ponto, a eletrônica e a computação embarcada irão auxiliar por permitir que a operação seja menos dependente da habilidade e experiência do operador, mantendo a máquina dentro dos parâmetros de operação aceitável, aumentando a precisão de aplicação e evitando o desperdício.

Com essa melhoria, espera-se uma produtividade maior no campo manejado. Para tanto, deve-se aplicar recursos de sensores e atuadores para controlar o fluxo do insumo conforme o tipo de terreno, densidade da vegetação alvo, velocidade, temperatura e umidade. Por outro lado, identifica-se a necessidade de criar um ambiente que permita a comunicação entre a roçadeira química inteligente com os outros equipamentos presentes na propriedade rural, constituindo uma *smart farm*. Complementarmente, nota-se que a

pertinência de avaliar o potencial dos protocolos definido pela ISO 11783 e baseado no padrão CAN (ISOBUS), utilizados na comunicação dos equipamentos da indústria, usado na indústria automobilística, naval, aeronáutica e bélica. Como resultado, espera-se contribuir para um ambiente padronizado capaz de produzir conjuntos de dados relevantes sobre estas variáveis de uma propriedade rural, organizada com base em princípios de *smart farm*. Ao mapear a altura do pasto com os dados do sistema de leitura da altura e GPS, é possível gerar estatísticas sobre a altura do pasto, e a eficiência das aplicações seletivas do herbicida de acordo com a vazão aplicada. Esses dados permitem realimentar o sistema e ser usado para estudos de eficiência, documentando a aplicação em andamento considerando a tendência da ampliação de ambientes de IoT, identifica-se a necessidade de estudar, propor e avaliar soluções que estejam em consonância com este novo paradigma computacional.

## 1.2 Objetivos

Considerando o contexto exposto acima, este trabalho foi desenvolvido tendo como objetivo geral "**propor e avaliar um sistema eletrônico e computacional baseado em IoT capaz de aumentar a eficácia de implementos agrícolas**". Para atingir este objetivo, foram elencados os seguintes objetivos específicos, usando a roçadeira química Campo Limpo como estudo de caso:

- Projetar, implementar e avaliar um protótipo de sistema baseado em microcontroladores e sensores para coleta de dados relativos ao GPS, vazão de fluidos, altura, umidade e temperatura, bem como atuadores para ajuste de velocidade, vazão e demais controles de implementos agrícolas, usando uma roçadeira química;
- Propor alternativas para o funcionamento do protótipo em um sistema de IoT; e
- Sintetizar em um documento técnico científico, os referenciais, o processo de desenvolvimento e a discussão sobre os resultados obtidos na execução do projeto, apontando caminhos para trabalhos futuros.

## 1.3 Metodologia

De acordo com o método científico descrito por Prodanov e Freitas (2013), este trabalho possui uma abordagem que utiliza o método hipotético-dedutivo, uma vez que a

partir de um determinado problema, são lançadas suposições, busca-se então por suportes racionais e empíricos, faz-se a coleta, o tratamento e a interpretação destes dados para finalmente obter os resultados, sendo eles positivos ou não.

No que diz respeito aos procedimentos metodológicos, este trabalho se encaixa no método experimental, no qual as principais variáveis que afetam o comportamento do sistema estudado são modificadas em condições controladas e mensurados os resultados a partir de métricas pré-estabelecidas. Com relação aos tipos de pesquisa, o presente trabalho é classificado, quanto a natureza, como pesquisa aplicada, uma vez que busca uma solução para um problema específico, neste caso criar soluções para o equipamento agrícola e integração com outros sistemas.

Em relação aos objetivos, é visto como exploratório, pois visa obter maior entendimento sobre o desenvolver um sistema autônomo de gerenciamento de baixo custo, confiável e eficiente que possibilite a integração em uma *smart farm* e reflita no conceito de Agropecuária de Precisão. Em especial, envolve o estudo do funcionamento da roçadeira química Campo Limpo e dos equipamentos similares, permitindo identificar diferentes sensores e atuadores. Por fim, do ponto de vista dos procedimentos técnicos, a pesquisa adota recursos técnicos de pesquisa bibliográfica e experimental.

#### **1.4 Estrutura do Trabalho**

O restante do trabalho está dividido em quatro capítulos. O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórico-prática do trabalho, destacando aspectos de Agricultura de Precisão, com ênfase em sistemas baseados em pecuária, que demandam tecnologias capazes de aumentar a efetividade do manejo da vegetação. Além disso, detalha o caso de um implemento agrícola — roçadeira química — utilizado para controle seletivo de plantas, o qual possui potencial de aumento na sua eficácia a partir da introdução de um sistema eletrônico e computacional composto por diferentes tipos de elementos sensores e atuadores interagindo por meio de um protocolo padrão de comunicação (CAN), com uma ou mais unidades de controle. Por fim, destaca o potencial de automação dos sistemas de produção agropecuária a partir da adoção do conceito de *Smart Farming* e de Internet das Coisas, tomando como exemplo a operação remota da roçadeira química inteligente neste contexto. O Capítulo 3 detalha o modelo proposto como solução para automação da roçadeira química. Em particular, destaca os conjuntos de sensores e atuadores escolhidos, amparados pela pesquisa exploratória-experimental realizada, para a implementação de

cada um dos subsistemas da solução. O Capítulo 4 expõe resultados de experimentos realizados com parte dos subsistemas, inclusive envolvendo aspectos de redimensionamento dos elementos responsáveis pela circulação e aplicação seletiva do herbicida nas plantas tendo em vista as limitações existentes no projeto atual da roçadeira química. Por fim, o Capítulo 5 apresenta as principais considerações finais sobre o trabalho, incluindo uma discussão sobre as atividades realizadas e trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO-PRÁTICO

Este capítulo visa apresentar uma explicação sobre os assuntos abordados e o estado da arte em equipamentos para aplicação de herbicida em taxa variável. Segundo Pedersen, Lind *et al.* (2017) a chamada tecnologia de aplicação de taxa variável (*Variable-Rate (VR) Application Technologies*), consiste na ideia de “uma gota” de herbicida por erva daninha, no local exato da planta e na quantidade exata. Por muito tempo tem havido interesse em fazer uma dosagem variada de herbicidas. No entanto, a dificuldade geralmente ocorre na obtenção de informações que possam servir de base para definir a quantidade e local. Algumas técnicas usam câmeras e processamento, outras devem identificar o tipo de folha por meio do espectro luminoso medido. O conceito de uma agricultura de precisão (AP) altamente automatizada e científica já era prevista há mais de meio século considerando a velocidade do desenvolvimento da indústria.

A ideia de uma fazenda funcionando com maquinários altamente automatizados pode parecer num primeiro momento estranho e inaceitável até mesmo para os pensadores da comunidade científica. Entretanto, é minha crença que tal desenvolvimento não é apenas possível como o conceito de automação pode ser visto com um desenvolvimento para o futuro da agricultura, especialmente quando se considera o paralelo entre o desenvolvimento da indústria de manufatura e a agricultura. (ZHANG; PIERCE, 2013, p. 8, *apud* MORGAN, 1961, tradução nossa).

### 2.1 Método Integrado de Recuperação de Pastagens - MIRAPASTO

O capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) é uma gramínea da família *Poaceae*, originária da África do Sul, disseminada no Brasil nos anos 50. A planta é considerada uma praga devido a características de agressividade de propagação pela grande geração de sementes, alelopatia — liberação no meio ambiente de metabólitos secundários tóxicos que impede ou atrasa a germinação de outras espécies — a dificuldade do controle que supera todas as invasoras no estado do Rio Grande do Sul. Nascimento e Hall (1978) estudaram sua produtividade em termo de matéria seca e proteína bruta. Em um estudo anterior realizado por Nascimento (1976), este afirma que essa planta forrageira causa perda de produtividade da produção animal, devido o aspecto fibroso, desgastando a dentição dos animais herbívoros. Assim a baixa quantidade de proteínas, alta quantidade de fibras causam o aumento do tempo necessário para que o gado ganhe peso e provoca um grande desgaste nos dentes reduzindo a vida útil do animal, comparado a animais que consomem pastagem nativa.

Figura 2 – Capa do Método Mirapasto



Fonte: EMBRAPA (2015)

A roçadeira Campo Limpo é um dos sete métodos integrados para a recuperação de pastagens que compõe o Mirapasto. Essas ações conjuntas produzem o resultado efetivo para o controle do capim-annoni e, com pequenas alterações, também controlam outras plantas invasoras (PEREZ, 2015). O logotipo do método Integrado de Recuperação de Pastagens - MIRAPASTO ilustrado na Figura 2 mostra o objetivo final da Campo Limpo, ao estratificar o pasto indesejado como oannoni do resto do pasto preferencial e dessecar com o herbicida, seletivamente o pasto mais alto apresentando a coloração amarela aplicando apenas no alvo.

Para recuperar a pastagem, as sete ações do método buscam o controle por meio do estudo das características das sementes e da planta. Especificamente, são características das sementes:

- Pequenas (baixa reserva);
- Grande número;
- Fácil dispersão;
- Duram vários anos quando enterradas.

Em relação às plantas, considera-se as seguintes características:

- Crescimento rápido;
- Exige poucos nutrientes;
- Gera muitas sementes;
- Alelopatia.

A primeira ação recomendada pelo método é não revolver o solo, para evitar enterrar as sementes do capim *annoni*, visto que uma planta pode produzir milhares de sementes e quando armazenadas profundamente podem durar anos. A solução dada é a semeadura direta de pastagem conforme a estação. A segunda ação é não dessecar toda a vegetação com herbicidas não seletivos. Ao deixar o solo exposto, as sementes do capim *annoni* germinam melhor que as plantas forrageiras quando não existe competição. A terceira ação está no monitoramento periódico de estradas, linhas de drenagem da água da chuva, embarcadouros, mangueiras e poteiros de quarentena. É mais fácil e econômico erradicar as plantas infestantes com aplicação seletiva de herbicida no início da invasão. A quarta ação é realizar a quarentena de 8 a 10 dias dos animais adquiridos de outras propriedades ou de áreas infestadas em um poteiro reservado com o pasto alto. Os bovinos têm preferência por consumir as inflorescências e sementes. Nessa condição em média uma planta enraíza no solo com as sementes contidas no esterco, mesmo mesmo quando o capim está escondido no meio da vegetação. A quinta ação é evitar o sobre pastoreio: não permitir que os animais rebaixem o pasto abaixo de 10 centímetros porque as sementes do *annoni* são pequenas e tem pouca reserva, o que limita sua germinação quando a vegetação é densa e alta, salvo a quarta ação. A sexta ação é controlar as plantas adultas com a aplicação seletiva do herbicida por meio da enxada química da Figura 3 e da roçadeira química Campo Limpo da Figura 4. Apenas o capim *annoni* deve ser dessecado. Casos outras plantas ao redor sejam dessecadas as prováveis sementes de *annoni* vão ser favorecidas. A sétima ação é manter a fertilidade do solo para que o pasto denso e alto dificulte o estabelecimento das sementes do capim-*annoni* contidas no solo. Assim, o controle de plantas adultas, a correção da fertilidade do solo, a introdução de espécies de inverno e verão e o controle da oferta do pasto são os pilares do MIRAPASTO.

A enxada química funciona para a aplicação manual de herbicida por contato sem a necessidade de pulverização. O seu uso se restringe a pequenas áreas ou plantas adultas isoladas. É construída com tubos de PVC encontradas no comércio, sendo simples de fabricar. Na Figura 3, a enxada química usa um dos aplicadores de corda presentes na roçadeira Campo Limpo.

A roçadeira química, mostrada na Figura 4, desenvolvida pela Embrapa Pecuária

Figura 3 – Controle de pontos remanescentes com a enxada



Fonte: EMBRAPA (2008)

Sul e lançada em 2008 para o Projeto Campo Limpo, tem a função de aplicar herbicida por contato apenas nas espécies invasoras e outras que causam prejuízo à pecuária permitindo recuperar pastagens degradadas pela presença de plantas indesejáveis como o capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) e o capim-navalha (*Hypolytrum pungens*) além de controlar plantas tóxicas de folha larga como a maria-mole ou flor-das-almas (*Senecio brasiliensis*) e mio-mio (*Baccharis Cordifolia*).

A necessidade de controle efetivo e seletivo de espécies invasoras é baseada em três séries de estudos realizados pelos pesquisadores de fundações e universidades como a Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Sul (FEPAGRO), Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do RS (Emater/RS), Embrapa Clima Temperado, Embrapa Meio Ambiente, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Universidade Federal de Pelotas, Universidade Federal do Pampa, Universidade Federal de Santa Maria, Universidade de Passo Fundo, University of Kwazulu Natal. Os estudos iniciaram em 1970 onde se buscou quantificar a perda as com a suposição da baixa qualidade proteica do capim-annoni. A segunda série de estudos foi focada entender os fatores que possibilitaram que essa gramínea se alastrasse descon-



Figura 4 – Roçadeira Química Campo Limpo



Fonte: GRAZMEC (2015)

troladamente e provar a hipótese de alopatia considerando várias forrageiras ao impedir ou atrasar a germinação. Sua forma de dispersão, o banco de sementes e a viabilidade das sementes após longos períodos, sua resistência a absorção de herbicida. Por último, provados esses dois aspectos indesejados, as pesquisas foram direcionadas para o combate e a busca de ferramentas eficientes, validar as técnicas e mapear. Para a aplicação do herbicida seletivo deve-se estabelecer uma diferença entre as plantas forrageiras e as plantas alvo. Os aplicadores de herbicida da Campo Limpo podem ser ajustados entre 5 e 70 cm de modo que entrem em contato apenas com as plantas indesejáveis e não toquem o pasto. O herbicida é mais eficiente quando as plantas estão em um estado de crescimento ativo, que acontece quando existe umidade no solo e a temperatura não está baixa. Caso o campo tenha plantas lenhosas ou com folhas largas, essas devem ser roçadas previamente para facilitar a absorção do herbicida, o trânsito da roçadeira e não danificá-la. Segundo PEREZ (2010), para estratificar a vegetação em desejada ou rejeitada deve-se aumentar, temporariamente a quantidade de gado em uma área, a fim de consumir as forrageiras

com intensidade para reduzir o vigor e a velocidade da rebrota do pasto, fazendo com que as forrageiras fiquem paralelas ao solo com uniformidade. Após o pastejo intenso, em alguns dias o capim-annoni rebrotará mais rápido e uniforme permitindo que a aplicação seja mais eficiente. A Figura 5 mostra o resultado obtido ao utilizar a roçadeira química nas condições ideais de estrato e com o capimannoni em estado ativo, com uma boa quantidade de folhas verdes. Com a aplicação correta, apenas a vegetação-alvo entra em contato com o herbicida e desseca apresentando o tom amarelo.

### **2.1.1 Controle da aplicação do herbicida**

Além do capimannoni, a roçadeira ajuda no controle de outras espécies indesejadas e tóxicas. Seu funcionamento é baseado em um sistema de tubos umedecidos, por capilaridade, com o herbicida alimentado por uma bomba peristáltica. As cordas são ajustadas na altura ideal para entrar em contato apenas com a vegetação-alvo e preservar as gramíneas baixas. Sua eficiência é comprovada no estudo onde a vegetação era coberta com diferentes espécies e a maioria das plantas daninhas se encontrava em estado de maturação das sementes. A aplicação com corda foi mais eficiente que a pulverização, oferecendo o controle na ordem média de 56% comparado com essa última, gastando menos de 60,75% de herbicida e cobrindo 95,5% menos de volume de solução por área no primeiro protótipo realizado no estudo dos pesquisadores (PRUDENTE; MATUO, 1985).

O uso do herbicida é indicado em litros por hectare, de acordo com o grau de infestação e, para auxiliar, foram geradas tabelas em uma planilha eletrônica com as variáveis da velocidade da roçadeira e do grau de infestação para definir a vazão em mililitros correta. Os parâmetros de funcionamento estão descritos no manual da roçadeira química (GRAZMEC, 2015), criada pelo Dr. Naylor Perez que classifica o grau de infestação entre baixo, médio, alto e muito alto. Já a velocidade de funcionamento recomendada está entre 4 e 7 km/h de acordo com as condições de terreno. A posologia do herbicida glifosato para a calda de 450 gramas por litro é definida pelo fabricante com uma tabela que escalona litros por hectare. A Tabela 1 apresenta o desempenho esperado para a largura de quatro metros da roçadeira química. A bomba é sobre dimensionada com a capacidade aproximada de 1 a 2 litros por minuto o que possibilita estender o uso para outros tipos de herbicida que necessitem de mais vazão ou ampliar a área de cobertura lateral aumentando a largura da roçadeira química de quatro metros para até doze metros dependendo

Tabela 1 – Vazão em mililitros por minuto de acordo com a infestação e velocidade

		Infestação Baixa		Inf. Média		Inf. Alta		Inf. Muito Alta	
		Menor que 30%		30 a 50%		Maior que 50%		50 a 70%	
km/h	m/s	Min. (ml/min)	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
1	0,28	13	17	20	33	37	57	60	93
2	0,56	27	33	40	67	73	113	120	187
3	0,83	40	50	60	100	110	170	180	280
4	1,11	53	67	80	133	147	227	240	373
5	1,39	67	83	100	167	183	283	300	467
6	1,67	80	100	120	200	220	340	360	560
7	1,94	93	117	140	233	257	397	420	653
8	2,22	107	133	160	267	293	453	480	747
9	2,5	120	150	180	300	330	510	540	840
10	2,78	133	167	200	333	367	567	600	933
11	3,06	147	183	220	367	403	623	660	1027
12	3,33	160	200	240	400	440	680	720	1120
13	3,61	173	217	260	433	477	737	780	1213
14	3,89	187	233	280	467	513	793	840	1307

Fonte: EMBRAPA (2015)

da atualização no equipamento.

Um equipamento similar a roçadeira Campo Limpo usa a dispersão de herbicidas por pulverização após identificar as ervas por meio câmeras e sensores de espectro baseado na reflectância da copa. Segundo Zhang e Pierce (2013), os sistemas de medição de reflectância de dossel de campo são geralmente baseados em sistema de medição multi-espectral, incluindo aquelas voltadas para o gerenciamento de fertilizantes e uma voltada para o manejo de ervas daninhas e empregam relações simples de espectroscopia baseada em infravermelho para diferenciar entre a vegetação e o solo de fundo, assim a diferença entre o infravermelho próximo chamado de *near infrared* - NIR e o infravermelho, permite normalizar e identificar a vegetação ou solo baseado na absorção das diferentes faixas luminosas de cada elemento. O sistema de pulverização não seletivo é indesejável, porque ele aplica o herbicida no pasto nativo próximo e é influenciada pelo vento enquanto a roçadeira Campo Limpo está em um nicho de aplicadores de herbicida que não e não precisa usar sistemas avançados de câmeras para identificar a erva daninha e não sofre com a ação do vento. A sua precisão vem da pré-seleção do manejo do gado que consume o pasto preferencial e rejeita o pasto indesejado como o annoni e outras ervas daninhas. Isso permite criar uma diferença de altura entre o annoni e o pasto nativo, possibilitando que o sistema de cordas com herbicida entre em contato apenas com a vegetação indesejada.

O manual recomenda um intenso manejo do gado e, em seguida, aguardar alguns dias antes de receber a roçadeira para um maior aproveitamento. Assim a altura de operação da roçadeira deve ser ajustada manualmente entre 5 cm e 70 cm conforme a Figura 6 para que as cordas entrem em contato apenas com a vegetação rejeitada.

O segundo ajuste necessário é o controle do motor da bomba peristáltica, onde o controle da vazão dos insumos é realizado com um sistema eletrônico. O sistema de bombeamento é constituído por um controlador de a tensão e um motor cc 12 volts por 36 watts com capacidade máxima de 2 litros por minuto. O sistema alimenta o herbicida nas 68 cordas. No modelo 2019, cada corda conforme a Figura 7 é construída com especificações que permitem acompanhar o movimento do vertical das ervas pelo peso e mantém-se umedecida com a cauda que espalha por capilaridade a partir dos 2 furos de 1 mm nas extremidades . As cordas estão fixas diagonalmente em uma armação com um sistema de altura que cobrem quatro metros de largura.

### **2.1.2 Limitação de Inclinação**

Segundo Mialhe (1980), a análise do equilíbrio estático lateral de tratores agrícolas é importante para o estabelecimento de declividades limites dos terrenos para uso de máquinas agrícolas. Para analisar o nível de inclinação máximo, foram utilizados estudos que simularam o comportamento da estabilidade de um trator, tracionando uma carreta durante a subida e descida de uma ladeira. Foi definido o limite da carga e o ângulo de inclinação em que pode trabalhar o conjunto para não tornar-se instável (ABU-HAMDEH; AL-JALIL, 2004). Segundo o manual GRAZMEC (2015) o equipamento pesa 320 kg e o tanque tem capacidade de 200 litros. Considerando desprezível a dilatação da água para este caso, o peso carregado de 520 kg está abaixo do valor mínimo dos testes onde ocorre o deslizamento lateral a partir de 35 graus com um implemento de duas toneladas. Uma forma de indicar, gerar avisos luminosos e logs da inclinação e por meio do shield MPU9250 que contém um giroscópio, um acelerômetro e um magnetômetro nos 3 eixos como demonstrado na figura Figura 8.

## 2.2 Tecnologias aplicáveis

### 2.2.1 Sensores e Atuadores Necessários para a Roçadeira Química

Conforme a pesquisa bibliográfica realizada, envolvendo aspectos científicos e produtos comercializados por fabricantes nacionais e internacionais, há uma grande quantidade de sensores e atuadores capazes de agregar as funcionalidades desejadas e alcançar um nível controle e sensoriamento que satisfaça um projeto de automação de um implemento agrícola, categoria na qual está inserida a roçadeira química. Em particular, cabe destacar que os mecanismos de automação do sistema precisam de diversas informações para subsidiar o processo de tomada de decisão sobre as ações que devem ser executadas pelos atuadores inseridos em diferentes subsistemas de um implemento agrícola. Além disso, é preciso validar e definir quais valores são aceitáveis e quais subsistemas são críticos e precisam ser duplicados para garantir consistência. Conforme Zhang e Pierce (2013, tradução nossa), “Caso o sistema receba uma informação incorreta, isto irá causar uma falha nas decisões e provocar ações incorretas”. Segundo Saraiva e Cugnasca (1998): a Agricultura de Precisão representa um novo paradigma ao aplicar as entradas para uma taxa variável com o campo ao aplicar somente o efetivamente necessário opondo-se à aplicação homogênea.

Os objetivos desse novo paradigma são: aplicar as entradas em taxa variável dentro do campo, cada ponto recebendo apenas o que é efetivamente necessário (em oposição a uma aplicação homogênea); otimizar o uso de insumos, melhorando a relação custo-benefício; diminuir o excesso de insumos e o impacto ambiental da agricultura. (SARAIVA; CUGNASCA, 1998, tradução nossa).

Para isso, a Agricultura de Precisão deve ser baseada na automação e dependente de sistemas de posição e controles de aplicação variáveis. Além disso, o expressivo número de fabricantes e equipamentos no mercado resulta em problemas quando não existe compatibilidade entre o formato dos dados e os protocolos de comunicação. Os sensores foram agrupados e distribuídos de acordo com a funcionalidade do subsistema como a leitura do pasto, o controle de vazão e a altura do sistema de cordas. A decisão de quais os sensores são necessários para o projeto são baseados na necessidade de solucionar o problema de funcionamento da roçadeira fora das condições ideais além de automatizar a operação e padronizar a comunicação segundo as normas ISO. A conversão de analógico para digital da Roçadeira Química Campo Limpo envolve integrar três sistemas diferentes para possibilitar os controles, de leitura da altura do pasto em relação ao solo, ajuste da

altura das cordas e o controle de vazão dos insumos. Tal item segue as tabelas de acordo com o manual de aplicação do herbicida, onde a vazão pode ser fixa ou ajustada dinamicamente de acordo com a velocidade do trator, o tipo e do grau de infestação. O primeiro é baseado na medição da altura do pasto, onde esses dados podem ser obtidos por meio de um sensor ultrassônico como o presente no módulo HC-SR04 da Figura 9. Este sensor de baixo custo pode ser instalado à frente do trator ou da roçadeira química. O sensor HC-SR04 tem uma precisão de 3 mm e funciona a distâncias entre 2 cm e 400 cm onde o sonar emite pulsos de 40 kHz.

Estes pulsos viajam e velocidade do som e a diferença entre o envio e o retorno definem e distância percorrida onde a velocidade de som padrão é de 340 m/s no ar a uma temperatura de 20° C. Segundo Jeon *et al.* (2011), o uso do sensor ultrassom para detectar ervas daninhas foi eficiente em seu teste de quarenta dias com um sensor ultrassom a prova de água (*LV-MaxSonarWR1, Maxbotix Inc, Brainerd, MN, USA*). Além disso, o seu uso em campo nas diferentes condições provaram a influência da temperatura do ar, precipitação e vento causando uma perda de precisão de 4,21% do sensor especialmente nas temperaturas entre 19 e 35° C. Uma solução de baixo custo para a calibração é o sensor Dht11 de temperatura e umidade conforme a Figura 10 e possui uma precisão de 5% para umidade relativa e 2°C para temperatura segundo o fabricante Aosong Electronics Co. Ltd ([www.aosong.com](http://www.aosong.com)).

Outro sensor necessário é o de efeito Hall, um circuito integrado que varia a sua tensão de saída de acordo com os campos magnéticos externos. Estes são tratados e transmitidos em uma saída linear, dependendo de sua construção e da natureza do circuito eletrônico combinado com o efeito Hall conforme a Figura 11. Os sensores farão a leitura do campo magnético de um ímã anexado ao eixo do motor para controlar o avanço uniforme do sistema de cordas.

Por meio de mensagens CAN, a altura média do pasto será transmitida e as múltiplas medições ou médias podem definir o grau de infestação do setor possibilitando que a Unidade de Controle Eletrônico (*Electronic Control Unit - ECU*) escolha a tabela de vazão e altura adequada ao sistema de cordas da roçadeira química. Segundo Pedersen, Lind *et al.* (2017), os sensores mais usados para medir a velocidade são os receptores GNSS, o radar ou sensores de ultrassom, cuja precisão é menor que 5% para velocidades acima de 3 km por hora e menor que 3% para velocidades maiores. Utilizando um trator compatível com o sistema ISOBUS, as mensagens de velocidade do trator e GNSS são integradas ao barramento e segundo a ISO 11783-7 podem ser obtidas de três formas

diferentes, seja em relação ao solo, calculada pela velocidade das rodas ou de navegação especificada na ISO 11783-3. Os dados são padronizados com resolução e tamanhos diferentes onde os de velocidade usam 2 bytes, os de distância 4 bytes e 2 bits são os que definem a direção. Segundo a ISO 11783, as mensagens prioritárias devem ser enviadas a cada 100 ms para sensores críticos e comandos, e no intervalo de 1 segundo para mensagens de baixa prioridade. Para o controle da bomba peristáltica, o motor será controlado por um módulo driver de ponte H adequado ao consumo do motor de 36 watts ao ao tipo de funcionamento do sistema. Já o controle de altura pode ser controlado por um atuador linear ou uma motorização elétrica substituindo o sistema de macaco mecânico de 650 mm de curso.

### **2.2.2 Padronização ISO - Comunicação entre tratores, displays, implementos e softwares para gerenciar fazendas**

Segundo Laursen *et al.* (2017, tradução nossa), as ferramentas de Agricultura de Precisão estão prontas e precisam de complexas formas de lidar com os dados, elas possuem um fraco sistema de integração e ainda apresentam um retorno insuficiente do investimento. A solução para esse problema, apontado por diversos autores, é a padronização da comunicação e o formato das mensagens entre diversos fabricantes em um padrão mundial como o barramento *Controller Area Network* (CAN), desenvolvido pela BOSCH como multimestre em um sistema de *broadcast* especificado para no máximo 1 megabit por segundo. Ao contrário das redes tradicionais como USB ou Ethernet, o CAN não envia grandes blocos de dados ponto-a-ponto de A para B sob a supervisão de um controlador central e sim várias pequenas mensagens por *broadcast* como temperatura ou RPM com consistência em cada nó do sistema.

O barramento CAN é utilizado em vários setores como o industrial, militar, médico, aeronaval e no automobilístico é um dos padrões da indústria segundo a SAE International sendo regulamentando por normas técnicas como J2411, J2284, J1939, ISO 11898, ISO 11783. Além disso, o seu custo, performance e modularidade permitem flexibilizar o design do sistema. O J1939 foi lançado no ano de 2000 mas já teve partes documentadas antes de 1994, como o J1939-11, J1939-21 e J1939-31 substituindo outros padrões mais antigos como os padrões SAE J1708 e J1587. Atualmente praticamente todos os veículos usam o protocolo CAN devido à obrigatoriedade do módulo de diagnóstico OBDII nos Estados Unidos em 1996, já a União Europeia adotou o padrão a partir

de 2001 para veículos comuns, e em 2004 para veículos a diesel. O CAN Bus, entretanto, apenas provê uma ferramenta para comunicação e não uma linguagem que permite operações mais complexas sendo as camadas físicas e de enlace de dados do modelo OSI. Tal escolha se deve pela robustez em ambientes com ruído e, segundo o manual técnico da Volkswagen (AG, 2003), a taxa de erros não detectados equivale a quatro vezes a vida útil de um carro. A Figura 12 exemplifica um distúrbio no sinal elétrico e além disso o protocolo CAN provê sofisticados mecanismos de detecção de erro implementados no CI escolhido, o MCP2515 da Microchip Technology Inc, como CRC usando 15 bits, *ACK, Form, Bit Error, Stuff Error*, Erro de Estado e um contador de erros passivo, limitado ao tamanho de 128, além desse sistema o CI responsável pela comunicação detecta erros no barramento e no nodo, usando uma *flag* composta por seis bits consecutivos dominantes. Para assegurar a integridade do *frame* existe um campo de CRC de 15 bits, segundo o datasheet do MCP2515 (INC, 2019).

A norma SAE J1939 define o padrão de grande parte dos veículos e baseado nela a indústria de tratores e maquinários agrícolas criou a ISO 11783 cuja padronização ainda está em desenvolvimento. Ela define a forma da rede de comunicação de dados serial para tratores e maquinário para agricultura e floresta. A norma ISO 11783 está dividida em quatorze partes:

- ISO 11783-1: *General standard for mobile data communication*
- ISO 11783-2: *Physical layer*
- ISO 11783-3: *Data link layer*
- ISO 11783-4: *Network layer*
- ISO 11783-5: *Network management*
- ISO 11783-6: *Virtual terminal*
- ISO 11783-7: *Implement messages application layer*
- ISO 11783-8: *Power train messages*
- ISO 11783-9: *Tractor ECU*
- ISO 11783-10: *Task controller and management information system data interchange*
- ISO 11783-11: *Mobile data element dictionary*
- ISO 11783-12: *Diagnostics services*
- ISO 11783-13: *File server*
- ISO 11783-14: *Sequence control*



As camadas de rede física, de controle de erros e de dados são gerenciadas pela *shield* Can composta pelo CI MCP 2515. As mensagens de interesse requisitadas ou transmitidas em *broadcast*, seguem os padrões definidos pela ISO 11783-7 que define quais os endereços para cada sistema, formato e intervalo de transmissão. O circuito integrado contém filtros para que as mensagens desejadas sejam armazenadas em um *buffer* e transmitidas para o Arduino do módulo. O objetivo da ISO é padronizar para evitar o uso desnecessário de sistemas redundantes e incompatíveis. A Figura 20 mostra a substituição de seis controles de implementos diferentes de sistemas incompatíveis com o ISOBUS para apenas um display principal e um secundário, simplificando a instalação de novos implementos, reduzindo a quantidade de cabos, simplificando os projetos e diminuindo as chances de defeito ou mal funcionamento.

A norma ISO 11783-7 define a camada de mensagens da aplicação onde é previsto uma comunicação CAN para componente ou grupo de componentes com endereço reservado e uma quantidade de bits definido a sinalização. A norma ISO reserva e padroniza diversos endereços, seja para checar o estado, seja para ativar ou desativar atuadores, como por exemplo, para controlar as luzes de sinal à esquerda do trator e do implemento acoplado, uma mensagem é endereçada para 2367 com 2 bits de dados. Onde, os bits 01 são usados para ativar a sinalização luminosa e os bits 00 para desativar sequencialmente. O comando enviado para 2368 serve para solicitar os dados das luzes de sinal à esquerda do trator e do implemento acoplado. O sistema também prevê mensagens globais de 8 bytes que ativam ou desativam todas as lâmpadas além de parâmetros como a frequência mínima e o intervalo mínimo entre as mensagens como por exemplo 1 segundo entre as mensagens de comandos para as luzes e não mais do que 10 mensagens por segundo para todas as luzes.

### **2.2.3 Microcontrolador (ECU) e a Shield CAN com o MCP2515**

Segundo Ibrahim (2010), um microcontrolador é um computador de um único chip. Micro sugere que o dispositivo é pequeno e controlador sugere que o dispositivo pode ser usado para controlar aplicativos. Microcontroladores são utilizados para automatizar tarefas simples como controlar a temperatura de uma casa ou sistema ou regar o seu jardim quando está seco. Existem diversos microcontroladores e plataformas de desenvolvimento, com diferentes características arquiteturais (tanto RISC como CISC, na sua maioria variando entre 8 e 32 bits), frequência de capacidade de memória, interfa-

ces de entrada e saída analógica e digital. Com base no conhecimento teórico e prático sobre os microcontroladores 8051 e PIC, o Atmel ATmega328P foi escolhido como microcontrolador de referência para o projeto. O Atmel ATmega328P é o microcontrolador usado na plataforma Arduino, conforme ilustrado na Figura 14, permitindo simplificar o processo de prototipação e testes do projeto já que possibilita o desenvolvimento em um curto período de tempo, além da grande comunidade de usuários e desenvolvedores, este modelo de microcontrolador preenche outros requisitos como o preço acessível, documentação e hardware de código aberto.

A placa e o design do Arduino estão licenciados em *Creative Commons*, o que permite a qualquer desenvolvedor usar e adaptar o design ao seu uso, sem a necessidade de permissões ou taxas. Segundo as especificações do *datasheet* do Atmel ATmega328P (2016), ele é um microcontrolador de 8 bits de alta performance e baixo consumo da família RISC, capaz de executar quase 1 MIPS por MHz e desenvolvido para executar a 20 MHz, memória flash de 32 KBytes, 1 KByte de EEPROM, 2 KBytes de SRAM e comunicação por meio de seis portas analógicas 10 bits de resolução e 14 portas digitais, conforme o diagrama em blocos da Figura 15 que mostra o sistema.

Cada ATmega328P se conecta a rede CANBUS por meio de uma *shield* com o circuito integrado de Marca Microchip MCP2515 para comunicação usando as definições do protocolo CAN conforme a Figura 16. Cada nodo é usado para individualizar e processar funções específicas como os sensores de distância ultrassônicos usados para identificar o nível de infestação baseado nas alturas mínimas e máximas do setor formando uma rede mostrada de forma simplificada na Figura 17. A integração do sistema de implemento com o trator permite o acesso às mensagens transmitida em *broadcast* no barramento CAN ou requisitar as mensagens como a posição e a velocidade lida pelo GPS. Outros sistemas como a velocidade das rodas lidas pela ECU do trator também são necessárias para o funcionamento do conjunto devido à necessidade de dosar o herbicida de acordo com a velocidade.

O MCP2515 é a segunda geração de chips de Controlador de Rede que implementa a especificação CAN 2.0B. Ele é capaz de transmitir e receber tanto no modo padrão quanto para o estendido para *frames*. O CI aceita duas máscaras de entrada e seis filtros de que podem ser usados para filtrar mensagens indesejadas reduzindo o aquecimento do MCUs. O diagrama em bloco da Figura 18 exemplifica a pinagem e os módulos do CI e as ligações necessárias com o microcontrolador onde a comunicação é pelo padrão industrial de interface serial (SPI) e também é fornecido uma sinalização de interrupção.

## 2.2.4 Biblioteca CAN

A biblioteca testada no Arduino é provida pelo grupo Seeed-Studio, e sua comunicação é por meio do protocolo *Serial Peripheral Interface Bus (SPI)*. As funções essenciais seguem um padrão como toda comunicação serial, incluindo as funções responsáveis por inicializar, ler dados, escrever dados e checar o status. A inicialização ocorre pelo comando *CAN0.begin*, a leitura dos dados *CAN0.readMsgBuf* incluindo *CAN0.checkReceive* e *CAN0.getCanId*. Para o envio *CAN0.sendMsgBuf* e verificar o funcionamento com *CAN0.checkError*. Ao inicializar, temos o propósito de definir qual a velocidade de comunicação do barramento (baud rate) que varia entre os intervalos de 5 kb/s até 1000 kb/s. No setor automotivo a Volkswagen/Audi define a velocidade de 100 kb/s para sensores secundários de conveniência e controle de entretenimento e velocidade 500 kb/s para sensores que precisam de resposta em tempo real como velocidade, temperatura do motor, rpm, torque e marcha segundo o documento técnico SSP269 (AG, 2003).

## 2.2.5 Internet das Coisas para Agropecuária

Segundo a Associação Brasileira de Internet das Coisas (ABINC), a *Internet of Things* (IoT) não é o nome de uma tecnologia mas sim um termo guarda-chuva que abrange diferentes tecnologias com implicações profundas nos negócios, na cultura e na vida em sociedade de forma geral (ABINC, 2018).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura - FAO, em 2050 a população do mundo deve atingir 9,1 bilhões, 34% maior do que a atual (FAO, 2019). O crescimento da população implica na necessidade do aumento da produtividade de uma forma mais sustentável, flexível e com o custo competitivo.

Mesmo que a demanda total por alimento e ração possa crescer mais lentamente, satisfazer a demanda esperada de alimento e ração exigirá um aumento substancial de 70% na produção global de alimentos até 2050, envolvendo uma quantidade adicional de quase 1 bilhão de toneladas de cereais e 200 milhões de toneladas de carne. (FAO, 2019).

Aumentar a produtividade é uma necessidade urgente e uma das formas é recuperar a capacidade de produção perdida devido à infestação dos campos, além de usar a agricultura de precisão no contexto de uma *smart farm*. Diversas empresas de Tecnologia da Informação e Comunicação com atuação global estão redirecionando suas atividades para

atuar com IoT, principalmente no contexto da Agropecuária, área que recebe o nome de *Internet of Things for Agriculture (IoT4Ag)*. Por exemplo, a American Megatrends, Inc. (AMI), que desde 1985 tem criado e manufaturado soluções de software e hardware para o mercado global de computadores (AMI, 2018), destaca que "várias companhias, universidades e organizações não governamentais já estão inseridas neste admirável mundo novo, testando e aplicando dispositivos e tecnologias revolucionárias que podem mudar para sempre a agricultura e a pecuária"(AMI, 2018, tradução nossa). Dentre os exemplos citados pela AMI estão os tratores autônomos (*Autonomous Tractors*) e as fazendas conectadas (*Networked, Connected Farms*). Em resumo, explicita que os grandes fabricantes de tratores já possuem protótipos prontos para produção capazes de operação autônoma e inteligente, assim como as fazendas, mesmo as mais remotas, são capazes de implantar infraestruturas de comunicação que viabilizam condições de operação em tempo real, de modo que fazendeiros poderão gerenciá-las remotamente e, também, expandir as áreas de produção em regiões consideradas impraticáveis anteriormente (AMI, 2018).

Figura 5 – Vegetação em duplo extrato

(a) Vegetação em duplo extrato



(b) Campo não tratado e campo tratado



Fonte: EMBRAPA (2015)

Figura 6 – Ajuste de Altura



Fonte: GRAZMEC (2015)

Figura 7 – Corda do aplicador de herbicida

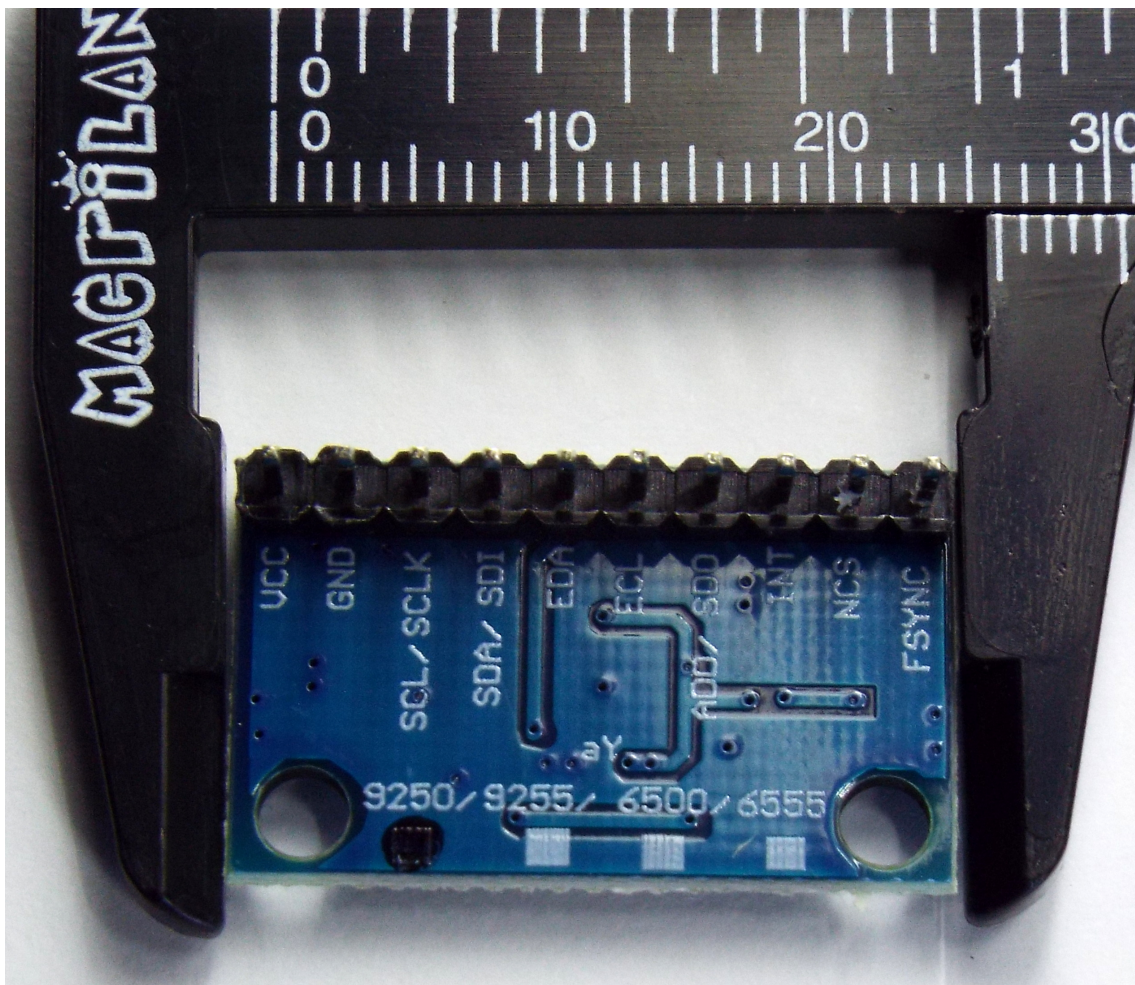
(a) Vista das camadas construção



(b) Vista da estrutura externa da corda



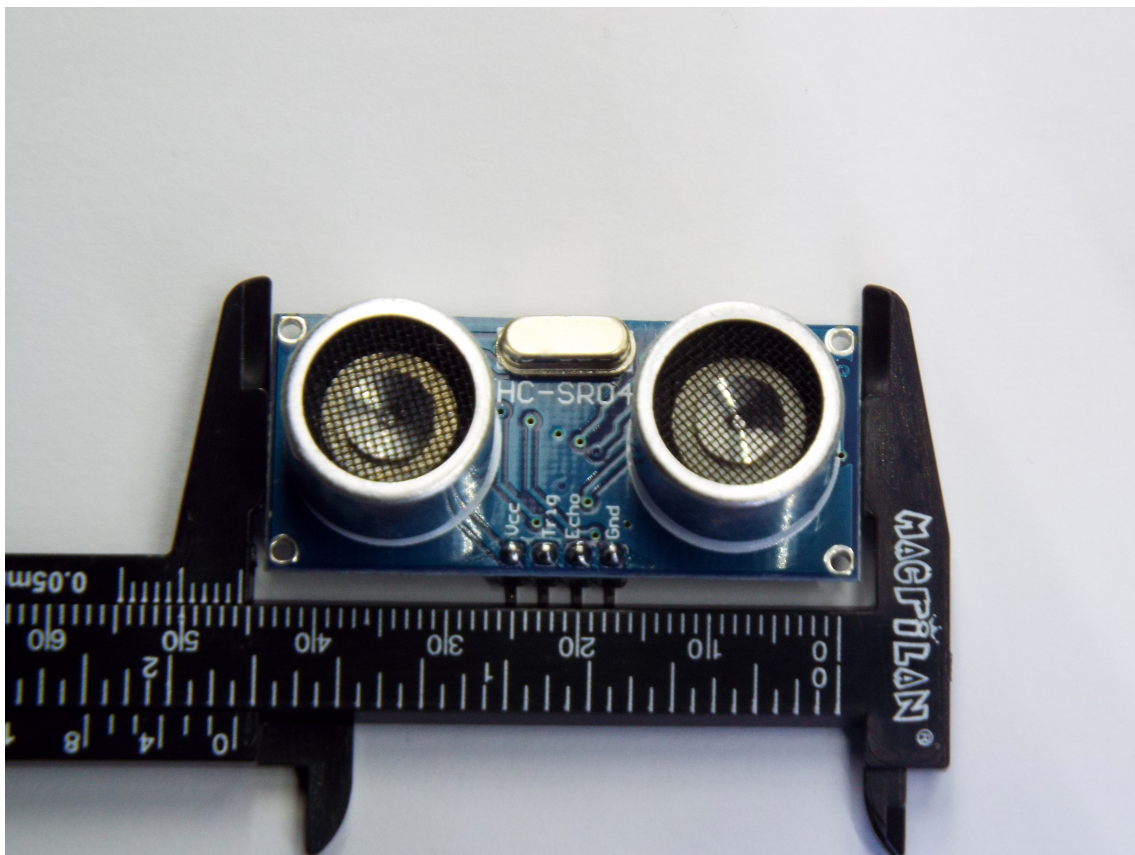
Figura 8 – Acelerômetro MPU



Fonte: Próprio autor (2019)

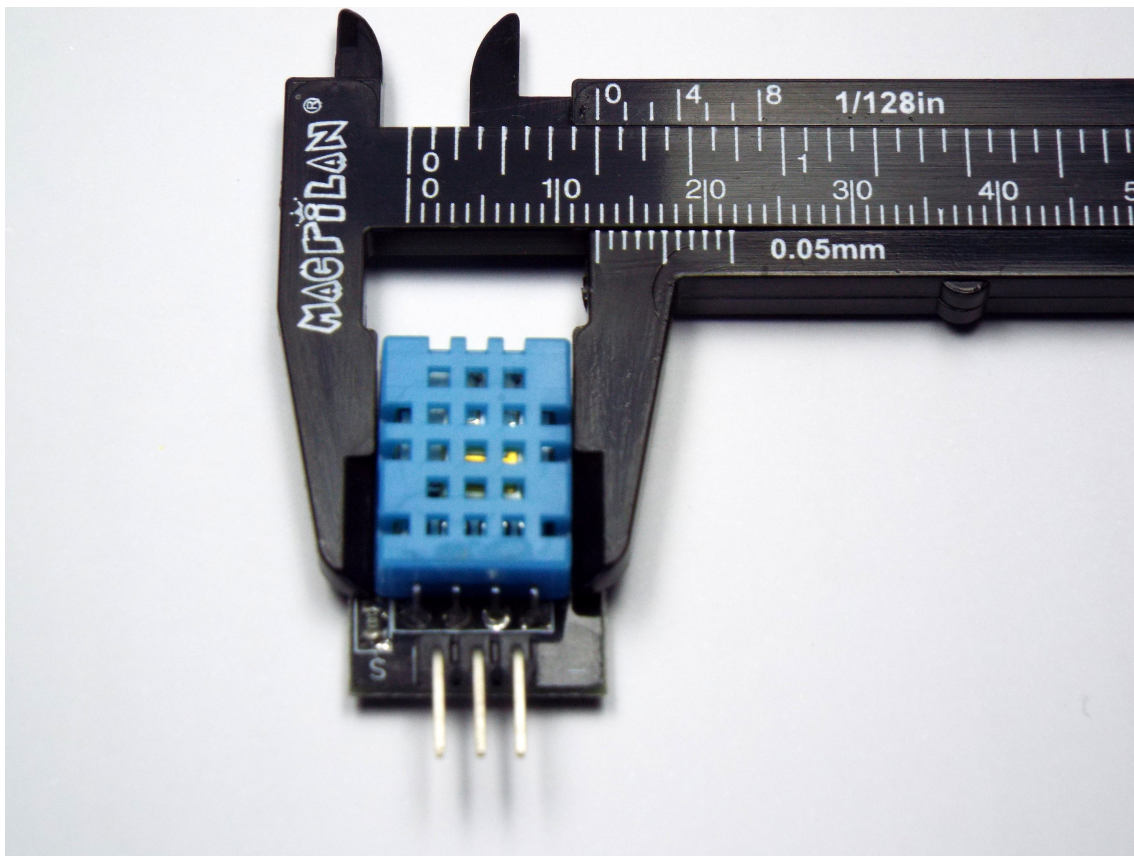


Figura 9 – Ultrasonic Ranging Module HC - SR04



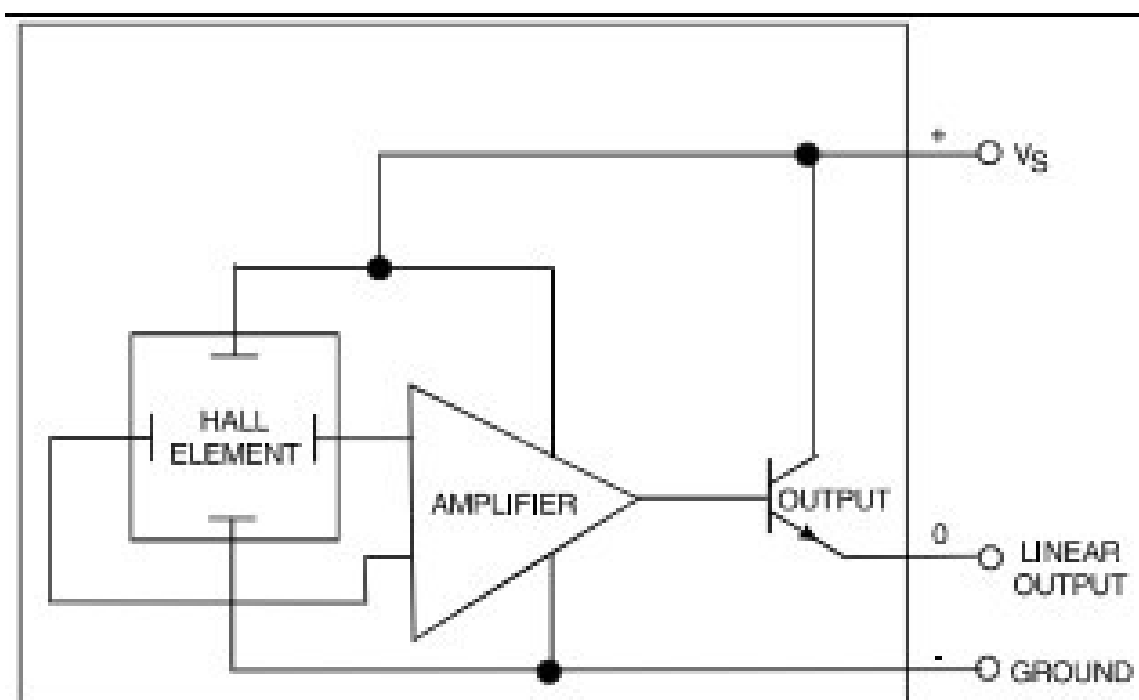
Fonte: Próprio autor (2019)

Figura 10 – Sensor de Temperatura e Umidade DHT11



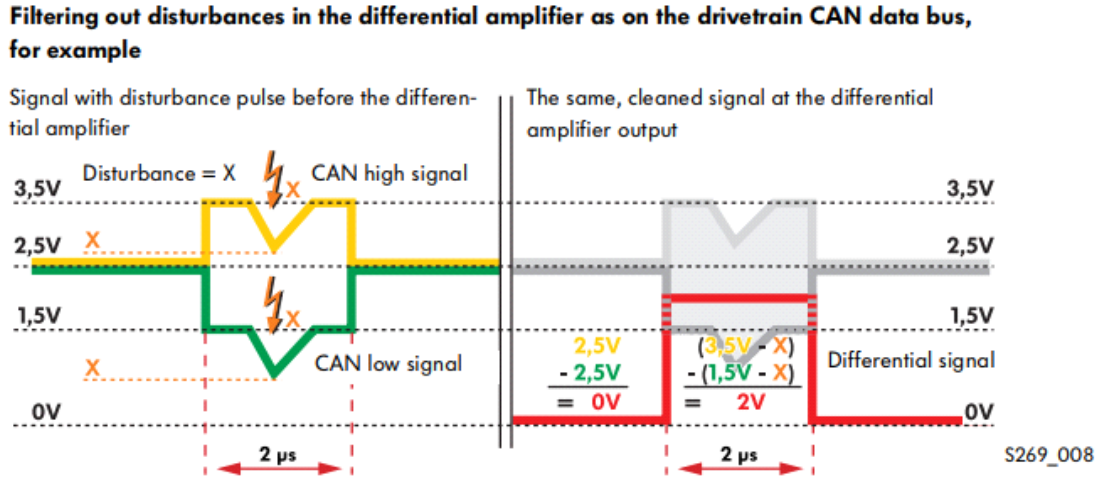
Fonte: Próprio autor (2019)

Figura 11 – Diagrama do CI de Sensor Hall Honeywell



Fonte: Honeywell (2015)

Figura 12 – Exemplo de distúrbios elétricos e correção.



Fonte: Audi;Volkswagen (2003)

Figura 13 – Exemplo de padronização mostrando o sistema novo e o antigo

Instead of using ten different control boxes in the cab, ISOBUS allows the operator to use one display for an entire fleet of implements.

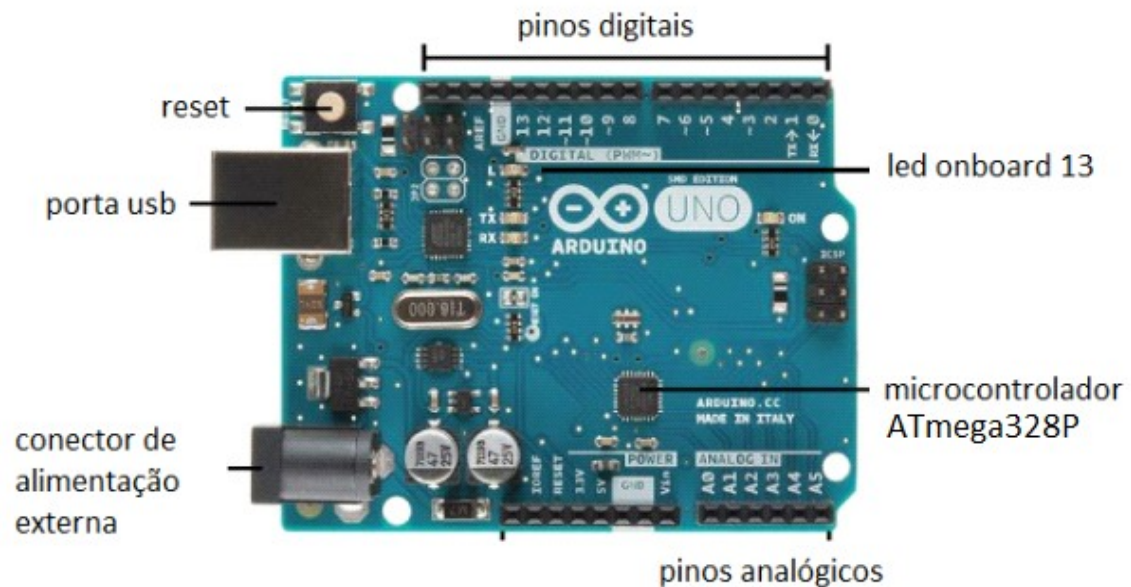


**John Deere Tractor with GreenStar 2630 Display (ISOBUS Compatible)**

**Non-Deere Tractor with Six Different Control Units for Non-ISOBUS Implements**

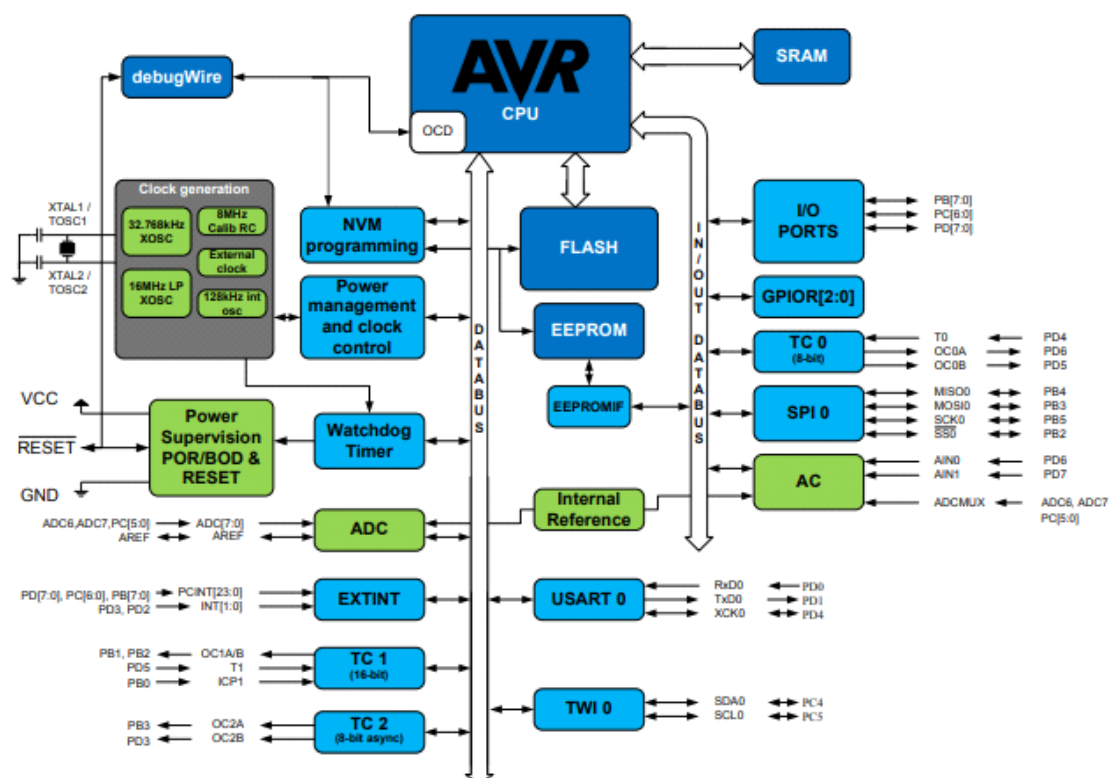
Fonte: JOHN-DEERE (2013)

Figura 14 – Plataforma de hardware de código aberto (open source) Arduino UNO



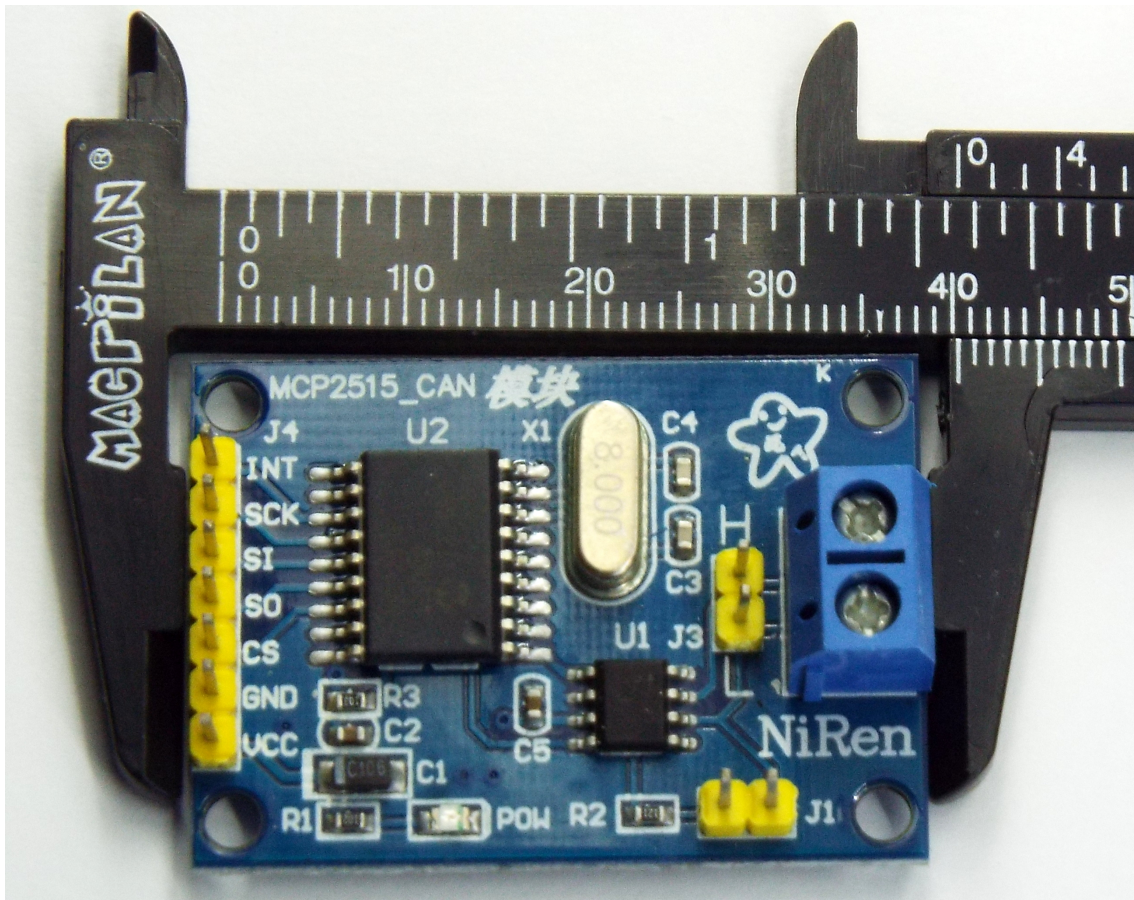
Fonte: Banzi (2011)

Figura 15 – Diagrama em blocos do microcontrolador Atmel ATmega328P



Fonte: Atmel (2016)

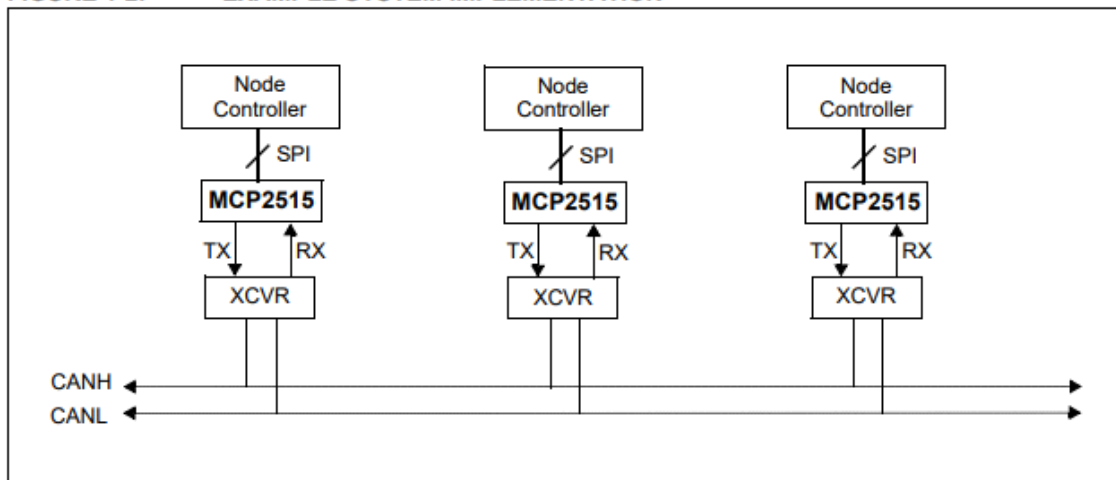
Figura 16 – Módulo de Comunicação CAN com o MCP2515



Fonte: Próprio autor (2019)

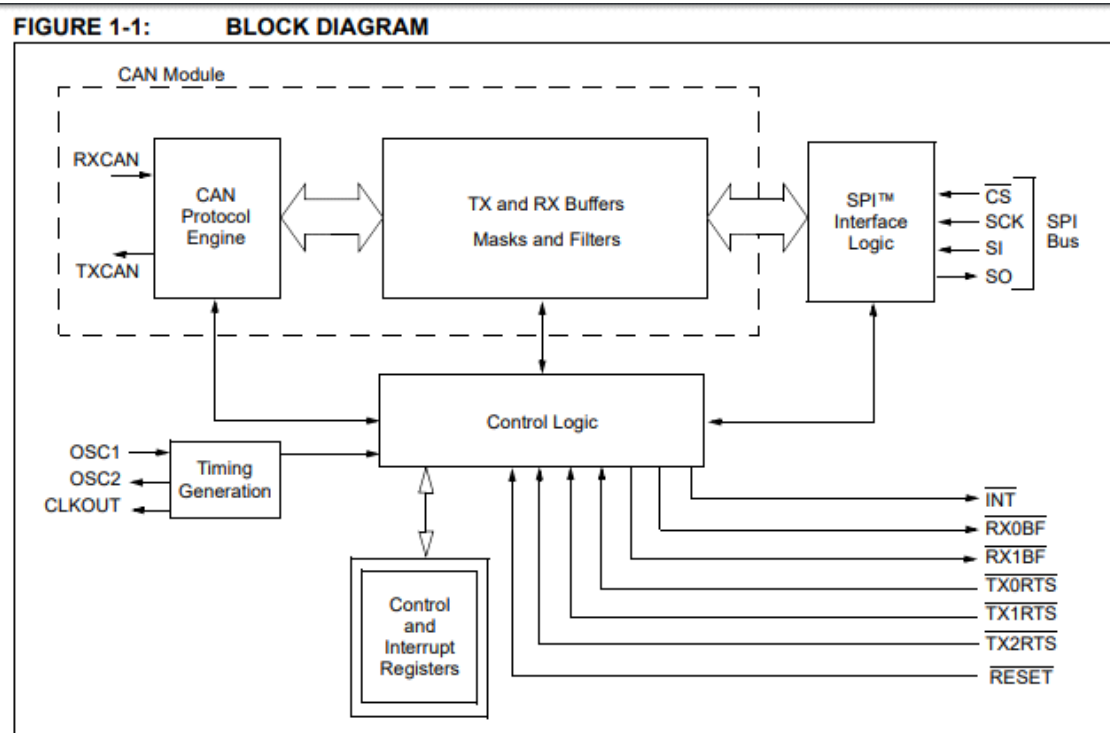
Figura 17 – Exemplo da comunicação de múltiplos CIs MCP2515

FIGURE 1-2: EXAMPLE SYSTEM IMPLEMENTATION



Fonte: Microchip (2007)

Figura 18 – Diagrama em blocos do circuito integrado Microchip MCP2515



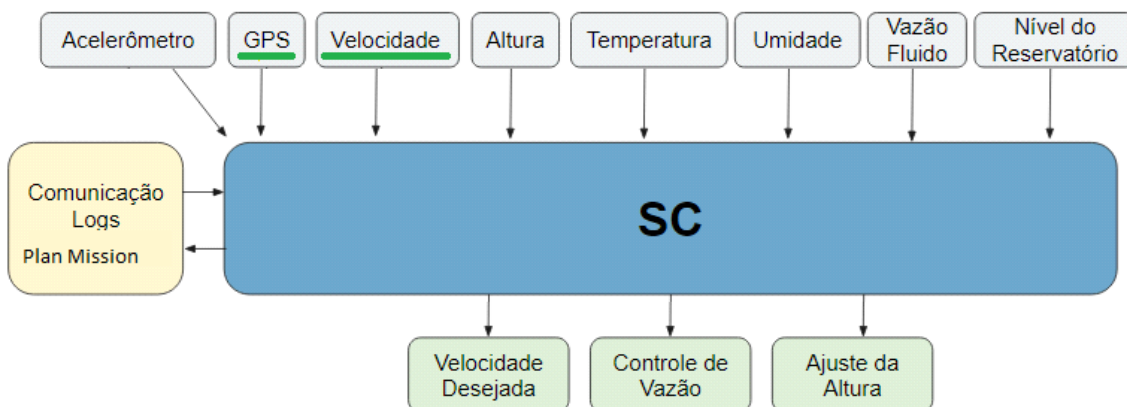
Fonte: Microchip (2007)

### 3 SISTEMA PROPOSTO

Na primeira fase, foram realizadas várias pesquisas para compreender o problema causado pelo capimannoni 2 (*Eragrostis plana* Nees), suas características e onde cada decisão e oportunidade de componentes disponíveis definiram a roçadeira Campo Limpo. O inventor do equipamento, Naylor Perez, foi indagado sobre as escolhas de construção, como: rodas, peso e a robustez do equipamento, características da dispersão do herbicida, periculosidade e as características físicas. Além disso os métodos de aplicação de herbicida por cordas, um método iniciado nos Estados Unidos na década de 1970 e comparado ao método de pulverização de precisão ou setorizado e outras soluções de aplicação de herbicida por contato possui vantagens e deficiências. A pesquisa iniciou com a compreensão do que é o capimannoni e os pontos chave do porquê essa planta tem tanto sucesso reprodutivo comparado às plantas do campo nativo, seus ciclos e propriedades reprodutivas. Também foi pesquisado o impacto da queda de produtividade causado pela infestação comannoni. Sequencialmente, o enfoque foi em agricultura de precisão (AP) onde as vantagens, desvantagens e dificuldades da padronização usando a ISO é necessária e reforçada por autores e pesquisadores da área, para expandir e universalizar o controle com os sistemas existentes e futuros de *smart farm*.

O segundo objetivo, trata do controle e necessidade de precisão da vazão. Para isso é necessário fazer a conversão do sistema de controle de vazão de analógico para digital, criar avisos, controles, padrões de comunicação e as decisões sobre os procedimentos de automação e fluxo de insumos da roçadeira, observando aspectos como qual o custo, viabilidade, robustez e impacto final das escolhas. Perez definiu como um dos limitadores para a eletrificação da roçadeira química o fator econômico baseado em *feedbacks* apresentados nos relatórios da Embrapa em entrevista com os revendedores e em sua expertise. Um estudo publicado em 2015 visitou 1672 fazendas na Holanda e analisou o uso de sistemas de sensores em relação ao tipo e a razão ou não do investimento (STE-ENEVELD; HOGEEVEEN, 2015). O estudo foi voltado para o uso de sensores aplicados diretamente nos bovinos e para testes qualitativos do leite, onde se observou que mais de 70% dos sensores são de construção simples como condutividade elétrica, pedômetros para medir a atividade das vacas adultas e temperatura do leite. Uma das conclusões que os autores chegaram foi que apenas os sensores que tiveram um valor comprovado em reduzir os custos da fazenda foram intensivamente adquiridos. Assim, a seleção dos sistemas de sensores para o implemento em estudo visa não encarecer o equipamento,

Figura 19 – Diagrama do sistema de controle e interações



Fonte: Próprio autor (2019)

buscando a economicidade baseada no princípio de reutilização dos recursos dos diversos sistemas como mostradores, sensores de velocidade, GPSS ao normalizar o sistema com o padrão ISOBUS e explorar uma vasta gama de sensores de baixo custo.

O sistema de controle (SC) do implemento deve lidar com diferentes entradas de dados providos pelos sensores, tratar e adequar as saídas além de lidar com as especificações e recomendações de funcionamento do implemento como a velocidade ideal de operação. O diagrama da Figura 19 mostra um modelo de sistema ideal para semi automatizar a roçadeira. Dentre as principais entradas estão o GPS, um sensor de velocidade e direção providos pelo trator por meio do barramento CAN, um acelerômetro, sensores ultrassom usados para medir a altura do pasto e ajustar a altura e vazão de acordo esses valores de entrada.

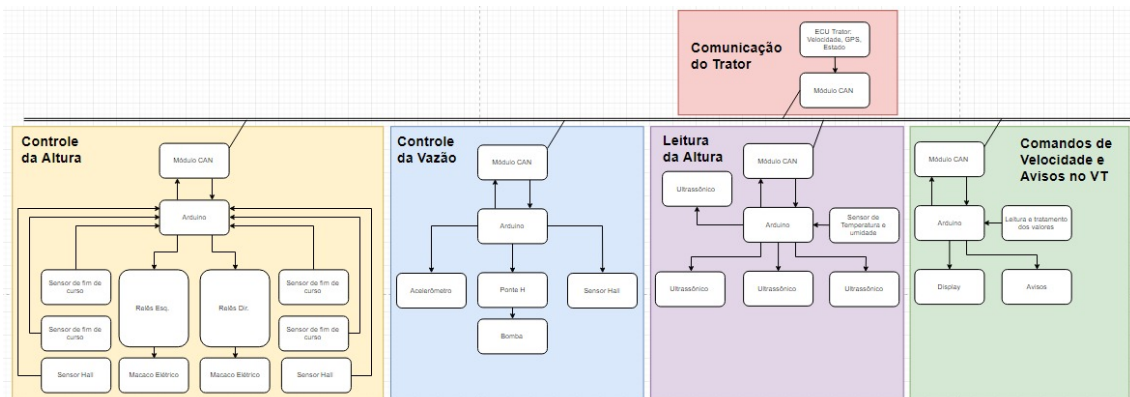
O projeto agrupa e modulariza as funcionalidades conforme a Figura 20, e caso um dos módulos falhe, o equipamento pode continuar funcionando parcialmente, exceto se a falha ocorrer no controle da vazão. Os módulos e a comunicação com o trator por meio do barramento CAN.

### 3.1 Controle de Velocidade

Segundo o manual da roçadeira, a velocidade máxima de operação é de 14 km/h, mas a faixa de funcionamento ideal para que as cordas embebidas com o herbicida entrem em contato por tempo suficiente com a erva daninha está entre 4 e 7 km/h, limitada pelo terreno. A forma padrão de controle da velocidade do trator é o Controle de Cruzeiro (Cruise Control) onde a ECU do trator usa as informações do barramento para manter



Figura 20 – Diagrama de um sistema com módulos e a comunicação com o trator por meio do barramento CAN



Fonte: Próprio autor (2019)

a velocidade de deslocamento uniforme a partir do terminal virtual ou ao acionar um interruptor como o demonstrado na Figura 21.

A padronização do trator permite que o sistema de controle do implemento leia as mensagens de GPS e da velocidade das rodas no barramento simbolizado pela Figura 22 que ilustra a comunicação do trator usando o barramento CAN.

Caso o sistema opere fora das velocidades ideais o sistema de controle envia avisos para o terminal virtual e pode interromper o fluxo de herbicida. A forma evoluída do Controle de Cruzeiro é o modelo Adaptativo (*Adaptive Cruise Control*) onde um acelerômetro de três eixos funciona como um tilt sensor possibilitando automatizar a decisão de reduzir ou aumentar a velocidade baseado em uma contínua vibração excessiva onde o funcionamento de um tilt sensor equivale a um interruptor que é acionado em caso de vibração. O sistema de controle envia o comando da nova velocidade de cruzeiro para a ECU do trator caso o *cruise control* padrão esteja ativo, que poderão ser mostrados em um display do módulo de comandos de velocidade e avisos no terminal virtual. Os requerimentos para esse sistema são um módulo de comunicação CAN, um Arduino, um display, conforme a Figura 23. A saída de avisos de emergência podem ser luminosos ou sonoros.

### 3.2 Vazão por Velocidade

O objetivo do módulo de controle de vazão é ajustar a bomba para a vazão dinamicamente de acordo com a velocidade do trator, e o tipo de infestação. A roçadeira

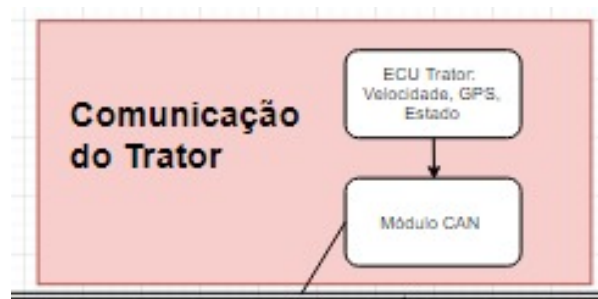
Figura 21 – Interruptor que ativa o modo de Cruise Control



John Deere Cruise Control Kit - LVB25764

Fonte: John Deere (2015)

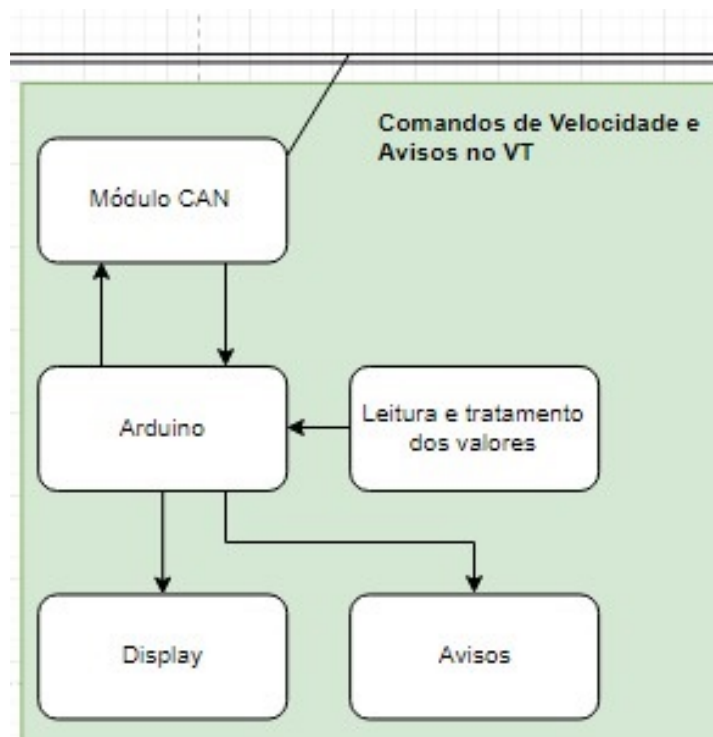
Figura 22 – Módulos de comunicação com o trator por meio do barramento CAN



Fonte: Próprio autor (2019)

química não é limitada a apenas um tipo de herbicida, erva daninha e planta invasora. Prova disso é que segundo (ANDRADE; FONTES, 2015), a roçadeira estudada se mostra exitosa para o controle seletivo de outras ervas daninhas como o capim-navalha (*Paspalum virgatum L.*) em pastagens da Amazônia no relatório da Embrapa Acre (2015). A recomendação de cada herbicida pelo fabricante é dada em faixas de litros por hectare de acordo parâmetros de erva daninha e grau de infestação. Assim, o controle de vazão usará as informações da definição do herbicida e aplicará de acordo com a velocidade mínima e máxima definida para a operação. Uma configuração de vazão inadequada faz com que a corda fique sem herbicida suficiente ou fique com excesso, o pode causar um gotejamento indesejado, como mostra a Figura 24. O sensoriamento das cordas apresenta um desafio

Figura 23 – Diagrama dos módulos de avisos por meio do barramento CAN



Fonte: Próprio autor (2019)

devido à salinidade, acidez da cauda, da mobilidade e choques mecânicos.

Para controlar a bomba peristáltica que bombeia o herbicida será usado um driver ou um mosfet como mostrado na Figura 25, preferencialmente com um circuito isolador dimensionado para suportar a corrente de acionamento do motor controlado pelo ATmega328P por meio da modulação por pulso (PWM).

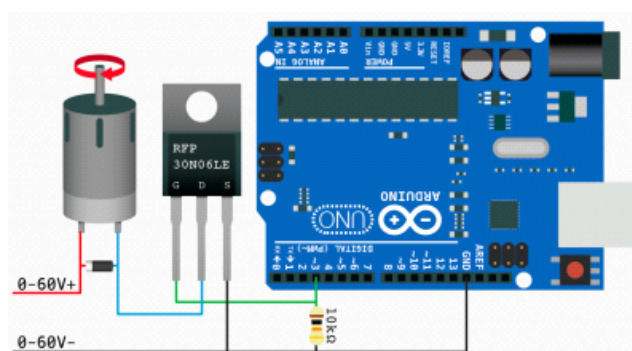
A bomba peristáltica faz com que uma quantidade igual de insumo seja movimentado a cada rotação do motor, mas os motores de escova apresentam um comportamento velocidade não é linear com relação a tensão aplicada. Para controlar com a precisão a rotação do motor o eixo do motor receberá um ímã e o ATmega328P contará as rotações no tempo por meio de um CI de efeito de campo permitindo calibrar o *driver*. O sistema original usa um motor Bosch ligado a um controle analógico que será substituído por uma ponte H controlada pela ECU do controle de vazão. O sistema de bomba peristáltica movida pelo motor apresenta um bombeamento constante e uniforme por rotação, e a rotação é controlada por meio de um sensor hall com um magneto para calibrar o sistema. Por meio do módulo CAN, são enviadas as mensagens periódicas do estado do sistema e da vazão atual conforme a Figura 26. Por meio do módulo também são recebidas as mensagens de velocidade do trator ou interromper quando fora dos parâmetros operacionais

Figura 24 – Corda saturada, gotejando no ponto mais baixo



Fonte: Próprio autor (2019)

Figura 25 – Controle de potência usando um mosfet de canal N e um Arduino



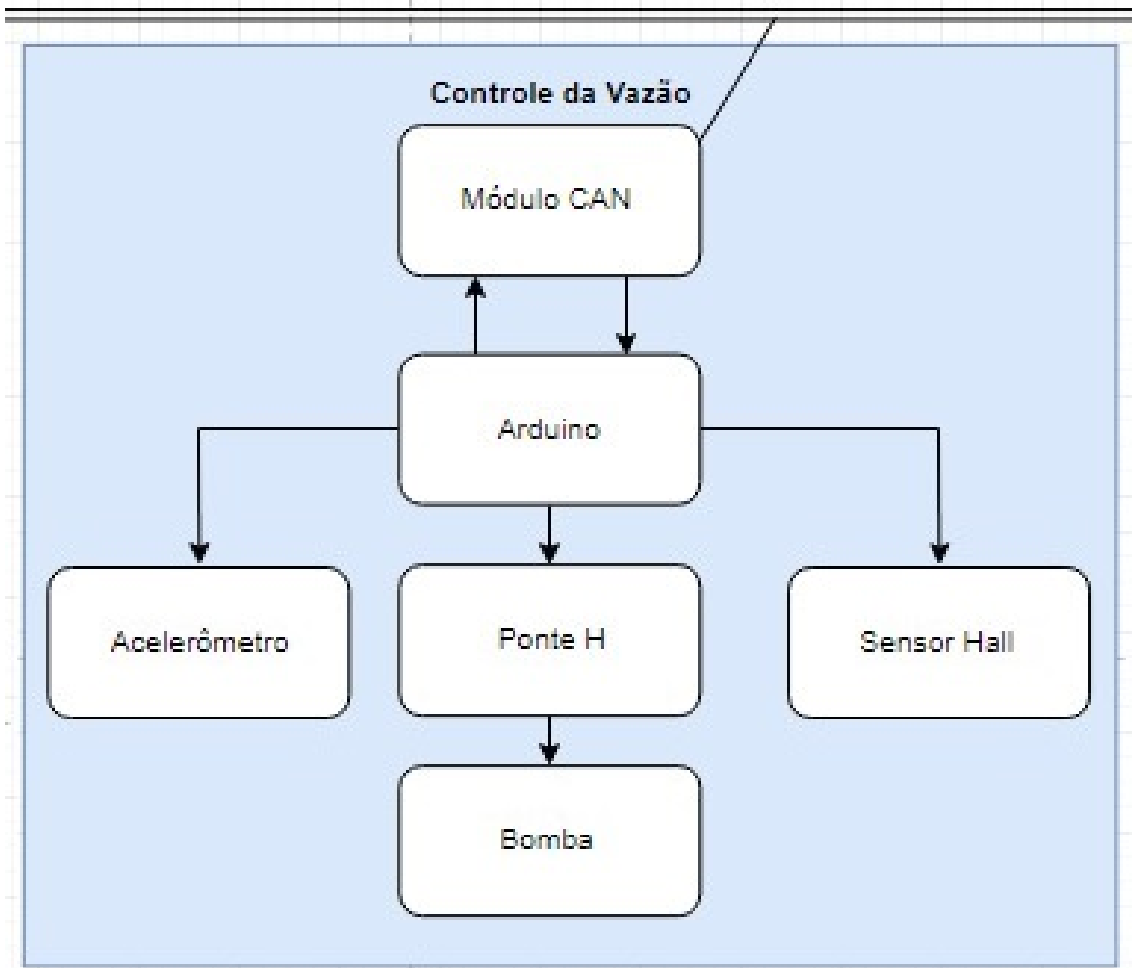
Fonte: Próprio autor (2019)

### 3.3 Ajuste de Altura

O objetivo do módulo de leitura da altura é ler a altura máxima do substrato em diferentes pontos e ajustar o grau de infestação conforme os valores lidos, fornecendo um dos parâmetros para o controle de vazão. A função do sensor de temperatura e umidade é calibrar os sensores ultrassônicos devido ao erro que ocorre com a variação da temperatura, onde os requisitos estão listados nos módulos da Figura 27.

Por meio de sensores de ultrassom é possível medir a altura das ervas, e ajustar com atuadores elétricos a altura da roçadeira. A altura de cada setor e linha pastagem pode diferenciar, então, inicialmente será usada uma altura intermediária para o contato com as cordas. O sistema adicional de ultrassom irá medir a altura do pasto nas linhas de

Figura 26 – Diagrama dos módulos de controle e vazão por meio do barramento CAN

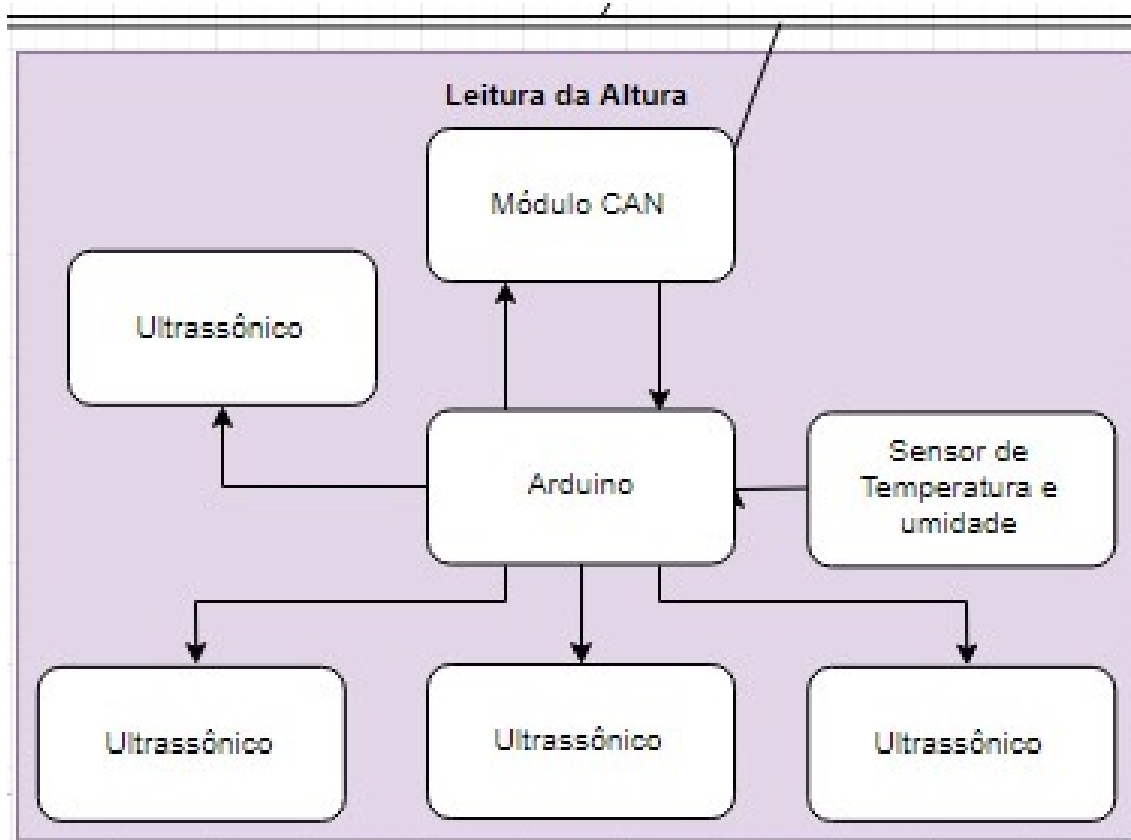


Fonte: Próprio autor (2019)

aplicação laterais para aumentar a precisão e permitir mais tempo para ajustes como foi idealizado na Figura 28, onde as alturas aparecem em uma escala de cor para as linhas com o insumo aplicado e a linha pré-processada. A linha em fase de mapeamento e às linhas futuras também são diferenciadas.

Conjugando-se os sensores de temperatura e umidade tem-se a função de calibrar o sensor de ultrassom devido à grande variação de temperatura durante o dia. A integração futura com outros trabalhos de mapeamento aéreo por meio de VANTs definido o nível de infestação também seria benéfico. Essa integração poderia ser dada por meio do padrão xml que definindo o grau de infestação por setor para a missão. Outra forma de identificar a densidade de massa é o uso de capacitômetro onde o contato identifica a proporção biomassa. Também foram observadas técnicas de espectroscopia que permitem diferenciar o solo a biomassa e segundo Moyo (2016) quando aplicado às cordas pode indicar o estado

Figura 27 – Diagrama do módulo de identificação da altura do pasto



Fonte: Próprio autor (2019)

de saturação.

O objetivo do módulo de controle da altura é ajustar e controlar dinamicamente a altura do sistema de cordas da roçadeira química. Para definir o sentido dos motores, são necessários dois relês por motor a fim de alterar a polaridade elétrica do motor e consequentemente o sentido. Para controlar a posição exata, os sensores hall informam cada rotação e pôr os sensores de fim de curso mantém dentro dos parâmetros conforme a Figura 29.

Os requisitos para este módulo são um módulo CAN, uma ponte H com suporte para um motor de 36 watts, um sensor hall, um Arduino UNO ou similar. O giroscópio indica se a inclinação está fora dos parâmetros de operação interrompendo o fluxo de insumo e emitindo avisos no barramento. Uma função secundária do acelerômetro é indicar o excesso de vibração e a necessidade de alterar a velocidade de operação. O controle de acionamento é realizado por meio de dois relês cuja ligação define o comando de avançar ou retroceder individualmente ou simultaneamente.

Na indústria aeronáutica e automobilística existe a tendência de substituir os con-

Figura 28 – Mapeamento frontal e lateral permitindo pré-processar a altura média do pasto da linha futura

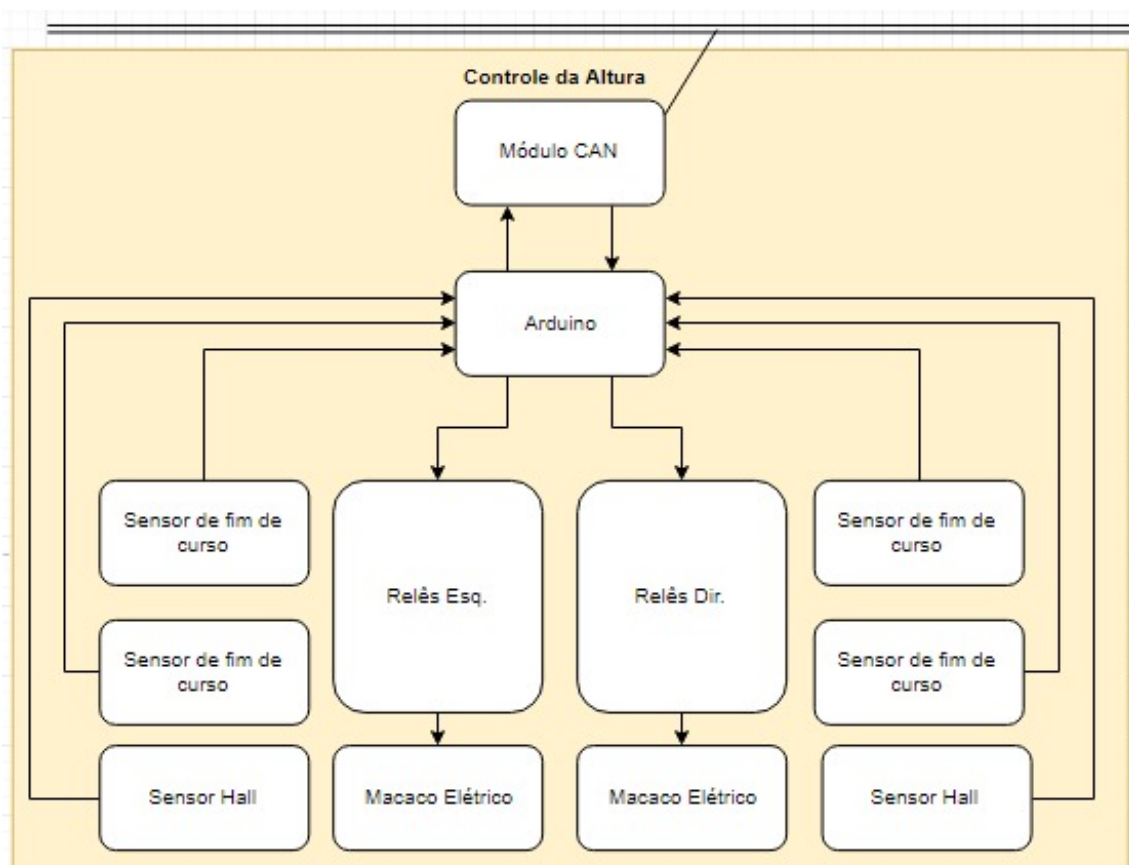


Fonte: Próprio autor (2019)

troles hidráulicos por elétricos e resolver o que são considerados os dois grandes problemas; o impacto ambiental e a relação de custo e eficiência. Ao substituir um sistema hidráulico por um elétrico há uma redução de peso, impacto ambiental e de consumo de combustível.

O atuador considerado mais preciso e robusto é o servo motor mas sua desvantagem está em ser caro e complexo. Uma possibilidade para substituir esse motor e controlador complexo e caro é contar as rotações do motor assíncrono com o uso de um magneto no eixo do motor e um sensor de campo magnético hall. O motor de corrente contínua usado no macaco mecânico é assíncrono, e sua velocidade pode variar devido a vários fatores como tensão elétrica e corrente elétrica do sistema, aceleração ao sair do estado de inércia, forças contrárias ao movimento ascendente ou forças ao movimento descendente e vibração, além do atrito causadas pelo desgaste dos componentes móveis do motor como escovas, rolamentos ou buchas, alteração do peso da carga pela inclinação.

Figura 29 – Diagrama do módulo de controle da altura da roçadeira química



Fonte: Próprio autor (2019)



## 4 AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

Este capítulo apresenta e discute os resultados do trabalho. Inicialmente é mostrado o levantamento de custos dos componentes dos módulos, necessário para analisar o custo relativo à agregação do sistema embarcado proposto em contraste com o preço da roçadeira Campo Limpo, encontrada no mercado por volta de vinte mil reais. Posteriormente são apresentados os resultados dos experimentos desenvolvidos com o protótipo em escala reduzida, construído como prova de conceito.

### 4.1 Resultados

O primeiro resultado que merece destaque é o levantamento de custos e requisitos conforme a tabela 2 (considerando o dólar a R\$ 3,82 em 10/04/2019), tendo em vista a definição da forma de distribuição dos sensores e atuadores necessários para o projeto. A compreensão e a forma de funcionamento da padronização permitem levar o equipamento ao estado da arte e as novas tendências.

Integrar os quase vinte itens, agrega valor ao equipamento por controlar a aplicação do herbicida de largo espectro com precisão, de acordo com as variáveis dinâmicas de funcionamento como: velocidade de operação, nível de infestação, altura e tipo de infestação, onde o hardware e software executam ações para atingir o objetivo principal e os secundários.

Diversos *shields* são usados em cada Arduino, e o estudo de cada *shield* por meio dos *datasheets* dos componentes ou circuitos integrados principais foi necessário para atender os requerimentos e particularidades, seja da alimentação elétrica, como a corrente necessária, a tensão de funcionamento, o tipo de comunicação serial, paralela e sinalização, interrupções, sinais e características como as tolerâncias das faixas de funcionamento e precisão, além das temporizações. Também foram observados os componentes secundários de proteção de circuitos integrados (CI) como reguladores de tensão, isoladores como os acopladores ópticos e outras necessidades para ligação como divisores de tensão ou reguladores.

Os recursos da montagem foram organizados virtualmente no software Fritzing ([fritzing.org](http://fritzing.org)) para distribuir as ligações e disposições conforme as especificações, gerando acima de 60 redes roteadas mostrada na Figura 30, tornando indispensável o autoteste na inicialização do software devido a quantidade de conexões e chances de falha.

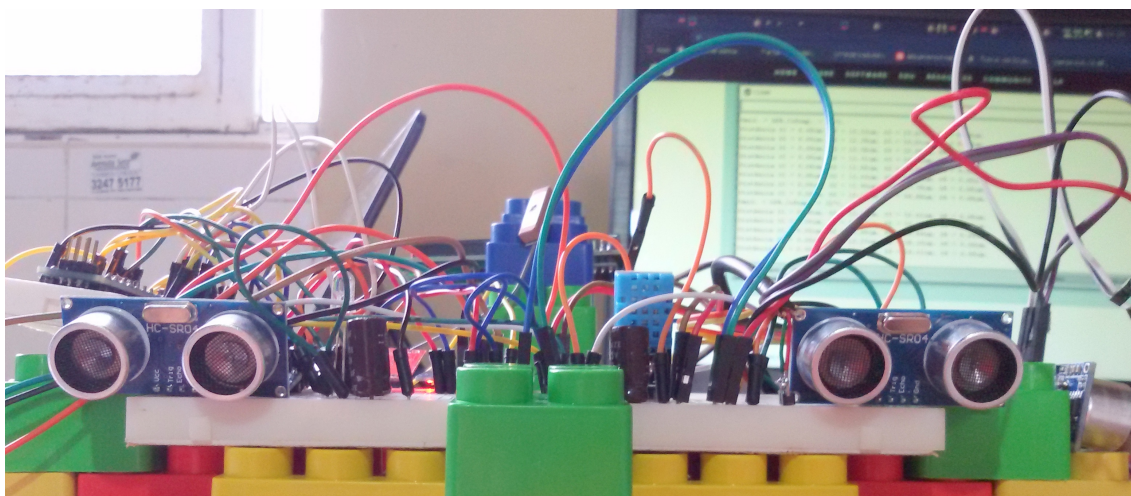
Tabela 2 – Custos aproximados dos *shields* disponíveis para o projeto

<b>Identificação</b>	<b>(v)</b>	<b>(mA)</b>	<b>Custo Unit.</b>
1 Dígito Display 8 Segmentos 5611BH			R\$ 6,00
4 Dígitos Display 8 Segmentos Tm1637			R\$ 13,00
Giroscópio mpu-6050-gy-521			R\$ 19,00
Arduino Nano			R\$ 29,00
Arduino Pro Mini			R\$ 21,00
Arduino Uno			R\$ 29,00
Bluetooth Hc-06	3,3	40	R\$ 26,00
Can Bus Mcp2515 Tja1050	5	5,0	R\$ 11,50
Cartão RC522 RFID Mod. 13.56MHz	3,3	26	R\$ 14,00
CI Arduino Mega 2313			
CI Arduino Uno 328p			
Controlador Ethernet HR911105A	5	180	R\$ 29,00
Detector de Palma LM393	5	50,0	R\$ 11,99
Driver Motor Ponte H 2 L298N	5	3,0	R\$ 20,00
Kit Infravermelho RC Hx1838 - 0018	5	1,5	R\$ 11,90
LDR			R\$ 0,85
LED	1,7	80	
Matriz de Leds	1,7		R\$ 17,00
Micro Servo 9g Sg90	5	1000,0	R\$ 16,00
Módulo de 1 Relê Ky-019	5	71,4	R\$ 13,00
Módulo de 8 Relês SRD-05VDC-SL-C	5	800,0	R\$ 37,00
Módulo Shield Display Lcd 1602 16x02	5	1,5	R\$ 25,00
Módulo Shield Display Lcd 16x2 C/ Modulo I2c	5		R\$ 27,00
Teclado-mcu-4x4-matrix-board-16-chave			R\$ 12,00
Relógio RTC Module rtc-ds1307	5		R\$ 9,00
Sensor de Efeito Hall A3144 A3144e Oh3144e	5	25	R\$ 2,00
Sensor de Nível de Água e Chuva			R\$ 7,00
Sensor de Temperatura e Umidade Dht22 Am2302	5	2,5	R\$ 18,00
Sensor de Temperatura e Umidade Dht11	5	1,0	R\$ 32,00
Sensor Ultrasônico Hc-sr04	5	15	R\$ 11,50
Wireless Transceptor 2.4ghz Nrf24l01	3,3	12,3	R\$ 16,00

Durante a montagem física, cada integração do *shield* com a plataforma foi testada individualmente, e depois ajustada para interagir com os outros *shields* e módulos. Integrar cada módulo e conjunto de sensores apresenta desafios e peculiaridades como o módulo de altura onde cada sensor ultrassônico deve ser acionado individualmente para não gerar interferências e apresentar leituras consistentes como as obtidas em testes na Figura 31.

O Sensor de umidade e temperatura HTC11 tem um intervalo de comunicação recomendado de aproximadamente dois segundos, a partir da temperatura lida do ar ambiente, as alterações na umidade e temperatura são lentas ao longo do dia. Além da

Figura 30 – Vista frontal do protótipo de sistema de controle



Fonte: Próprio autor (2019)

possibilidade de uma melhor calibração do sensor ultrassônico, o controle da temperatura ambiente é relevante para o cenário onde o tipo de insumo tem uma grande variação na viscosidade, onde a viscosidade do ar altera com a temperatura mudando a velocidade do som.

Outra questão é avaliar a precisão do sensor ultrassônico em movimento e atingindo e diferenciando os substratos.

Para o protótipo, o motor de passo oferece o torque e o controle necessário para simular uma vazão como o controle máximo da bomba peristáltica, medindo com exatidão as rotações. Para a dosagem de precisão de produtos químicos, a bomba peristáltica é um sistema onde a ausência de válvulas, vedações e gaxetas reduz o custo da manutenção.

O conjunto da bomba com um motor de passo é uma das possibilidades de controle fino avaliadas, visando aumentar a precisão na dosagem dos herbicidas. Para o sistema atual de um motor de corrente contínua, o torque e a velocidade não linear podem ser controlados com mais eficiência usando um sensor Hall.

Todos os módulos realizaram a comunicação sem falhas, seguindo as definições do padrão ISOBUS, para enviar e receber mensagens pelo barramento CAN. A prioridade de transmissão das mensagens no canal serial, obedece a hierarquia dos IDs para o padrão. Assim, foram definidos IDs na ordem crescente para o módulo de controle geral, do módulo de altura do pasto, módulo de vazão e do módulo de altura do aplicador como demonstrado na saída serial conforme a Figura 32, onde os dispositivos com os devidos endereços IDs enviam uma série de 8 bits para realizar tarefas, requisitar ou indicar o estado.

Figura 31 – Testes de medição com múltiplos sensores ultrassônicos

```

COM9
Distância S1 = 0.00cm. S2 = 170.22cm. S3 = 148.78cm. S4 = 0.00cm.
Distância S1 = 0.00cm. S2 = 170.84cm. S3 = 116.48cm. S4 = 0.00cm.
Distância S1 = 0.00cm. S2 = 170.42cm. S3 = 85.60cm. S4 = 0.00cm.
Distância S1 = 0.00cm. S2 = 19.70cm. S3 = 17.04cm. S4 = 0.00cm.
Distância S1 = 0.00cm. S2 = 115.82cm. S3 = 99.61cm. S4 = 0.00cm.
Distância S1 = 0.00cm. S2 = 169.74cm. S3 = 116.06cm. S4 = 0.00cm.
Distância S1 = 0.00cm. S2 = 168.89cm. S3 = 115.66cm. S4 = 0.00cm.
Umid. = 81%.
Temp. = 25°C.
Distância S1 = 0.00cm. S2 = 168.99cm. S3 = 131.51cm. S4 = 0.00cm.
Distância S1 = 0.00cm. S2 = 169.81cm. S3 = 115.62cm. S4 = 0.00cm.
Distância S1 = 0.00cm. S2 = 169.14cm. S3 = 105.20cm. S4 = 0.00cm.
Distância S1 = 0.00cm. S2 = 168.71cm. S3 = 104.69cm. S4 = 0.00cm.
Distância S1 = 0.00cm. S2 = 169.96cm. S3 = 115.46cm. S4 = 0.00cm.
Distância S1 = 0.00cm. S2 = 169.13cm. S3 = 115.63cm. S4 = 0.00cm.

```

Auto-rolagem  Show timestamp
 Nova-linha
9600 velocidade
Deleta a saída

Fonte: Próprio autor (2019)

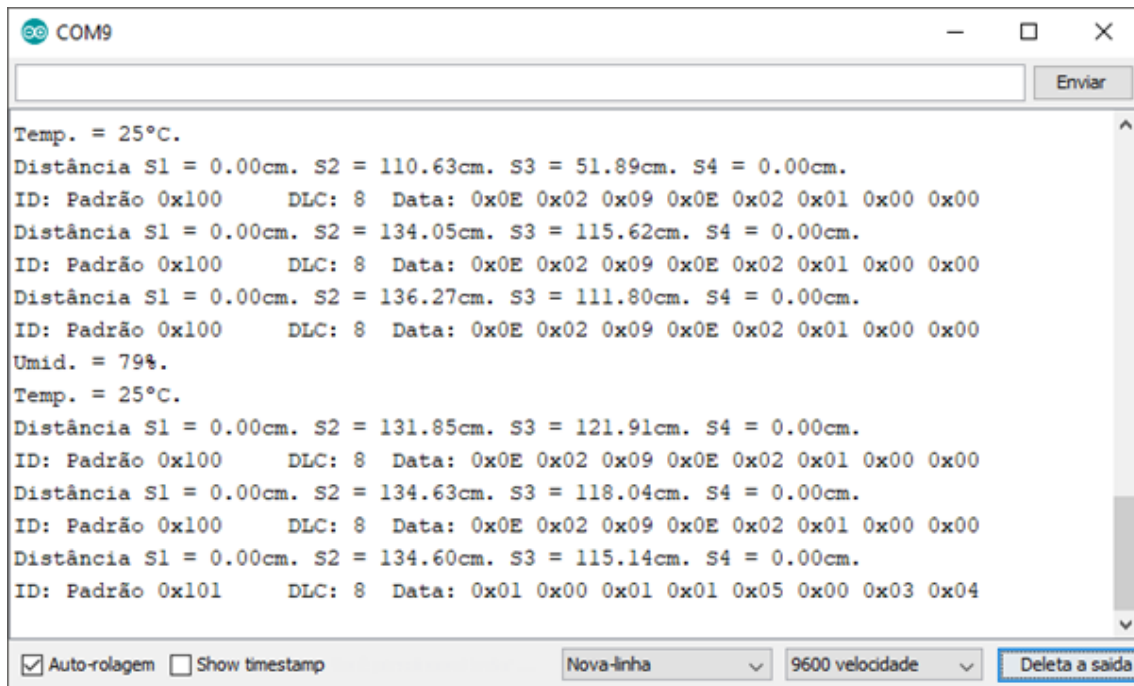
Os IDs de controle do implemento informam o modo *parking* ou *working*, além das velocidades do equipamento ou mudança de direção. Também informam os dados relativos a tarefa como as velocidades e as dosagens.

Foi simulada a montagem no software Fritzing ([www.fritzing.org](http://www.fritzing.org)), visando distribuir as ligações e disposições próximos conforme as necessidades dos *shields* ou componentes, totalizando acima de 60 redes roteadas, uma complexidade que reforçou a necessidade complexidade do autoteste realizado no início do código, reduzindo o tempo para diagnosticar falhas de conexão. Alguns sensores possuem rotinas que indicam o estado de pronto e outras mais complexas que fazem o teste e calibração dos sensores como os MPUs.

Nos testes, os Arduinos Nano e Uno apresentaram comportamento similar, já que eles possuem os mesmos recursos SOC e quantidade igual de ligações, apenas diferenciando no tamanho e na montagem direta na *proto-board*. A única ação necessária na IDE de programação para o Arduino foi selecionar o tipo, entre Nano e UNO e o *bootloader* antigo para o Nano.

Um dos Arduinos Nano que foi definido como a ECU do módulo de controle de vazão, recebeu os *shields* de giroscópio, GPS, comunicação CAN, motor de passo e um LED RGB.

Figura 32 – Comunicação ISOBUS entre os módulos



Fonte: Próprio autor (2019)

Foram avaliados no projeto dois modelos de *shield* de giroscópio, e os dois responderam adequadamente a montagem em relação a medição necessária. O MPU 6050 é um *shield* de baixo consumo que contém um giroscópio, acelerômetro e um termômetro com a sensibilidade de -40 a +85 graus Celsius. Contém três conversores AD de 16 bits, um para cada eixo e funcionam simultaneamente. Também foi testado o *shield* com o MPU 9265, um *shield* que possui um magnetômetro de 3 eixos conforme o *datasheet* 92xx (INC., 2014). Para alternar entre os dois *shields* não é necessário alterar o código, porque usam o endereço I2C 0x68 e a mesma posição de memória para o giroscópio, lida do registrador FIFO de 512kb. É possível usar os dois *shields* simultaneamente alimentando o pino AD0 pinos com 3.3 volts e assim alterar o endereço para 0x69, sendo uma opção caso o projeto da roçadeira tenha alterações como partes independentes. A finalidade dada ao giroscópio foi identificar a inclinação do equipamento, para que o LED RGB funcione como um aviso luminoso das faixas de operação. A leitura dos valores do *shield* é feito por meio da biblioteca *wire* no endereço I2C ajustado, e cada bloco de 8 bits da memória equivale a um dos registradores dos sensores representando um valor em float. A leitura do termômetro é dada em Kelvin e convertida para Celsius e os valores do eixo y são divididos por 180 para obter um valor próximo dos graus. Após a leitura dos valores, uma função faz o controle do LED RGB, acionando cada cor de acordo com

o grau de inclinação definido na variável global e a sensibilidade, relacionada a quantidade de leituras para gerar uma média, fazendo o LED acionar de acordo com o grau de inclinação, seguindo o princípio de uma sinaleira. A mesma função pode controlar de forma analógica uma bomba de alívio de pressão ou interromper a vazão quando fora dos parâmetros recomendados, resolvendo um dos objetivos que é o problema da perda de carga e gotejamento quando a roçadeira está em um ângulo de inclinação lateral acima de 10 graus. Ou o sistema de altura pode definir pequenas diferenças de altura da roçadeira para nivelar o equipamento.

O *shield* de GPS composto pelo circuito integrado GY-NEO6MV2, tem o custo próximo de um Arduino, consumo de 45mA, tensão de 3,3 volts e comunicação a 9.600 bps, para integrar-se ao módulo de vazão, seguindo o manual (BLOX, 2011). O *shield* tem uma EEPROM e bateria, para manter a última posição, hora, data e tornar a inicialização mais rápida. Seu objetivo no projeto foi fornecer a posição, a velocidade de deslocamento do equipamento, horário e data que são parte dos parâmetros para gerar logs e ajustar a velocidade do motor da bomba peristáltica. Este atende ao objetivo proposto, onde após a leitura da velocidade, e caso o equipamento esteja em modo trabalho, a velocidade é usada para gerar avisos caso o equipamento esteja fora da velocidade ideal de operação. Este também é necessário se o trator não tem um sistema ISOBUS, onde é necessário verificar a tabela da missão gerada pelo mapeamento prévio do campo que pode ser armazenada em um cartão SD ou fornecido pela IoT.

No protótipo, foi testado o uso de um motor de passo como uma das propostas de controle fino das rotações. O modelo 28BYJ-48 foi usado para simular a bomba peristáltica, o motor de passo com redução foi utilizado. Ele oferece 300 gf.cm de arrancada e 600-1200 gf.cm de torque. O motor de passo é ajustado para dosar a vazão do insumo conforme a velocidade e grau de infestação. Esse ajuste é calculado recebendo os valores de vazão em milímetro cúbico por metro quadrado de acordo com o percentual de infestação, a velocidade do equipamento e uma variável de ajuste.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho atingiu o seu objetivo geral, caracterizado pela meta de propor e avaliar um sistema eletrônico e computacional baseado em IoT capaz de aumentar a eficácia de implementos agrícolas.

Para atingir este objetivo, foi adotada uma metodologia de projeto dividida em três fases, sendo que a primeira fase (decisória) do trabalho, consistiu na definição do problema de pesquisa e suas delimitações, no levantamento e análise bibliográfica referente aos temas abordados no projeto, como: sensoriamento remoto, sensores aplicados ao controle de vazão, geolocalização e automação de veículos autônomos. O levantamento bibliográfico foi feito através de pesquisas dentro dos acervos digitais de relevância no meio, livros, e-books e sites especializados em microcontroladores, automação e mecânica de fluídos.

O estudo das soluções existentes para o entendimento do problema envolveu duas áreas, sendo a primeira mais ampla, no contexto de agropecuária, relacionada à problemática de controle de plantas invasoras, e a segunda, no escopo de Engenharia de Computação, relativa à introdução de tecnologias capazes de aumentar a eficiência do implemento usado no controle:

Na primeira área (agropecuária), buscou-se identificar qual era a extensão mundial da infestação capim annoni 2 e quais trabalhos foram realizados buscando formas diferentes de controlar a infestação. Cabe destacar que a pesquisa dos trabalhos correlatos reforçou as vantagens da aplicação do herbicida pelo método de cordas comparado a outros. Além disso, identificou-se que apenas um dos equipamentos pesquisados com o princípio similar de funcionamento ao da Roçadeira Química Campo Limpo apresentou características que evitam o gotejamento. Ele usa uma bomba de sucção, e o contato com as plantas acontece em um sistema de rolos.

Na segunda área (engenharia), foi cuidadosamente analisado cada componente do manual e do comunicado técnico da Tecnologia Campo Limpo, onde as características de uso, condições e técnicas estão descritas além da vista explodida que permite a análise minuciosa de cada peça. Definiu-se que as principais melhorias a serem realizadas no implemento, no processo de substituição das soluções analógicas originais, deveriam estar focadas nas necessidades para que o sistema de vazão no aplicador e o sistema de ajuste dinâmico da altura pudessem ser convertidos destes para uma forma digital, com compatibilidade com a norma ISO 11783 que adequa a comunicação CAN para o nicho de

tratores e maquinário para agricultura e floresta. Complementarmente, estudou-se quais componentes poderiam ser usados para evitar um gotejamento, com destaque para sistemas de sucção, bem como soluções apontadas por autores para o futuro da aplicação de herbicida nos moldes de uma *smart farm*, artigos com métodos para aplicar com precisão o herbicida e formas de identificar o nível de infestação.

A partir destes conhecimentos, a segunda fase (construtiva) consistiu na realização de levantamentos de requisitos, incluindo restrições de custos, sucedidos pela identificação de alternativas de sensores e atuadores que poderiam ser empregados na solução. Posteriormente, foi concebido um modelo para o sistema, estruturado como um conjunto de módulos que interagem entre si por meio de um barramento baseado na norma ISO 11783 (ISOBUS). Para verificação qualitativa do seu funcionamento, foi realizada uma implementação de um protótipo envolvendo microcontroladores, sensores e atuadores. Nesta implementação foi adotada a plataforma Arduíno Uno, devido ao seu baixo custo e por ser julgado corretamente dimensionado para as necessidades da unidade eletrônica de controle (ECU) do projeto. Em particular, identificou-se que o desenvolvimento para esta plataforma permite a migração para outras plataformas mais robustas de Arduíno ou a segmentação em várias ECU como sistemas independentes capazes de interagir via ISOBUS.

Com exceção do módulo CAN, giroscópio e GPS, os microcontroladores, sensores e atuadores essenciais já estavam disponíveis restando definir a melhor estratégia para atingir cada objetivo. A complexidade da norma ISO 11783 considerada essencial para a agricultura de precisão por vários autores, foi um gargalo para o desenvolvimento devido aos passos necessários de aproximar o funcionamento do que é exigido. Enviar ou receber comandos por meio do barramento CAN é uma tarefa simples, mas apesar de existir o padrão ISOBUS adotado por todos os grandes fabricantes de tratores e implementos, alguns sistemas ainda não são totalmente compatíveis e precisam ser certificado.

O controle sobre a rede ISO 11783 foi considerado desafiador. Alguns recursos, como o controle de cruzeiro ou a velocidade da PTO, foram considerados bastante simples, do ponto de vista do controle, enquanto os outros exigem mais esforço. O controle de posição do cilindro com válvulas hidráulicas auxiliares pela ISO 11783 foi considerado o problema de controle mais desafiador em um sistema *plug-and-play*.(OKSANEN, 2010, p.6, tradução nossa)

O estudo e os testes de funcionamento do sensor e suas características como a comunicação entre os Arduínos por meio do módulo CAN foram realizados seguindo a compreensão dos exemplos encontrados da Norma ABNT ISO, com base em mensagens com ID para cada módulo, indicando as ações ou informações nas séries de 8 bits das



mensagens, mas sem ter acesso ao documento oficial.

O estudo do problema permitiu analisar e levantar possíveis soluções para o objeto do trabalho, no que diz respeito a um problema identificado na Campo Limpo e em outras máquinas que ocupam o mesmo nicho. A solução proposta de integrar hardware e software permitiram atingir o objetivo principal e os objetivos específicos. Para tanto, a solução desenvolvida foi um sistema construído com três ECU baseadas na plataforma Arduino, as quais dividem as tarefas, isolam possíveis defeitos por serem módulos independentes e podem ser atualizados individualmente.

A terceira fase (redacional) consistiu na análise, validação e escrita dos resultados obtidos nas fases anteriores, tendo ocorrido de maneira concomitante às outras duas fases descritas anteriormente.

Como trabalho futuro, salienta-se a implantação em escala real da proposta na Campo Limpo e em tratores ou outros veículos que permitam a operação remota ou a automação completa, fazendo com que o operador não seja exposto ao ambiente tratado. Além disso a coleta dos dados gerados pelo aplicador como as condições do ambiente de temperatura e umidade, e da aplicação relacionando a velocidade, angulo, altura do pasto e da quantidade de cauda em  $\text{mm}^3$  de cauda por  $\text{m}^2$  pode gerar a informação necessária para realimentar o sistema, melhorando a eficiência e deixando a menor quantidade possível nas plantas alvo e comparar o mapa da aplicação com inspeção local e imagens capturadas por meio de VANT.

Com o controle digital dos sistemas, se inicia o primeiro passo para a automação completa possibilitando o controle não assistido e remoto do equipamento ou múltiplos equipamentos cobrindo missões, além da integração e interface de um terminal virtual com equipamentos como celulares ou tablets, oferecendo um controle de baixo custo para tratores sem o ISOBUS como um trabalho futuro.

Também é uma tendência desejável a integração do IoT por meio de celulares ou tablets e uma interface de controle. No projeto os pinos de TX e RX do Arduino foram reservados para a comunicação por meio de Bluetooth, GSM, ethernet, wifi 802.11, LORA ou outra forma de comunicação de longa distância que seja oportuna. Apesar do Arduino atender as demandas, uma alternativa para a integração final do sistema de IoT é o SOC ESP32, um circuito integrado mais recente, lançado no 2º trimestre de 2016. Ele possui um custo próximo ao do Arduino e diversas características superiores, como o *clock* inicial de 160 MHz, mais memória e diversos sensores integrados. Além disso ele foi desenvolvido com módulos de comunicação bluetooth e wifi 802.11 e instruções de

criptografia em hardware. O ESP32 ainda tem suporte ao protocolo CAN, necessitando apenas um *transceptor* como o TJA1050, responsável pela ligação elétrica do barramento usado e não a *shield* inteira. Como acréscimo ao projeto, é desejável uma interface de pendrive ou cartão de memória contendo os mapas de infestação e armazenar os logs da missão.

Um dos Métodos Integrados do Mirapasto, após o método da Campo Limpo, é o uso da enxada química para tratar os locais remanescentes e dispersos. Especula-se que a criação de um sistema autônomo, com funções equivalentes à de um trator com roçadeira química acoplada, porém em escala reduzida para cobrir agir sobre áreas menores, com movimentação por motorização elétrica ou de baixa cilindrada, poderia receber o sistema criado com poucas alterações e executar essa ação.

## REFERÊNCIAS

ABU-HAMDEH, N. H.; AL-JALIL, H. F. Computer simulation of stability and control of tractor-trailed implement combinations under different operating conditions. **Bragantia**, SciELO Brasil, v. 63, n. 1, p. 149–162, 2004.

AG, V. **Data transfer on CAN data bus II: Drivetrain CAN data bus, Convenience infotainment CAN data bus**. [S.l.], 2003. Available at <[urlhttp://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP269\\_d1.pdf](http://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP269_d1.pdf)>. *Visited in April*, 2018.

AMI, A. M. **Can robots be farmers too? IoT4Ag: AI, IoT and Agriculture**. 2018. <<https://ami.com/en/tech-blog/iot4ag-ai-iot-and-agriculture/>>. Accessed: 2018-06-30.

ANDRADE, C. de; FONTES, J. Biologia e manejo de capim-navalha e capim-capeta em pastagens. **Embrapa Acre-Capítulo em livro científico (ALICE)**, In: IKEDA, FS; INOUE, MH (Ed.). *Manejo sustentável de plantas daninhas em sistemas de produção tropical*, p. 71–102, 2015.

BANZI, M. **Getting Started with Arduino**. 2nd. ed. Sebastopol, CA: Make Books - Imprint of: O'Reilly Media, 2011. ISBN 1449309879, 9781449309879.

BERNARDI, A. d. C. *et al.* **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Embrapa Instrumentação-Livro técnico (INFOTECA-E)**, Brasília, DF: Embrapa, 2014. 596 p., 2014.

BLOX u. **NEO-6 - u-blox 6 GPS Modules Data Sheet**. [S.l.], 2011. Accessed: 2019-05-15.

BNDES. **Estudo - Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil**. 2017. <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-internet-das-coisas-iot/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil>>. Accessed: 2017-08-30.

FAO, F. . A. O. **The State of Food and Agriculture**. 2019. <<http://www.fao.org/3/i0680e/i0680e.pdf>>. Accessed: 2017-08-30.

GRAZMEC. **Manual da Roçadeira Química Campo Limpo**. [S.l.], 2015. Available at <<<http://www.grazmec.com.br/wp-content/uploads/2015/07/MANUAL-CAMPO-LIMPO.pdf>>>. Visited in April, 2018.

GREENGARD, S. **The internet of things**. [S.l.: s.n.], 2015.

HOLDINGS, W. **28BYJ-48 – 5V Stepper Motor Data Sheet**. [S.l.], 2015.

IBRAHIM, D. **SD card projects using the PIC microcontroller**. [S.l.]: Newnes, 2010.

INC., I. **MPU-9250 Product Specification Revision 1.0**. [S.l.], 2014. Accessed: 2019-05-30.

INC, M. T. **MCP2515 Stand-Alone CAN Controller with SPI Interface**. [S.l.], 2019. 94 p.

JEON, H. Y. *et al.* Evaluation of ultrasonic sensor for variable-rate spray applications. **Computers and Electronics in Agriculture**, Elsevier, v. 75, n. 1, p. 213–221, 2011.

LAURSEN, M. S. *et al.* Roboweedsupport-sub millimeter weed image acquisition in cereal crops with speeds up till 50 km/h. **this volume**, 2017.

MIALHE, L. G. Máquinas motoras na agricultura v. 2.2. **EPU: Editora da Universidade de São Paulo**, p. 140–221, 1980.

MOYO, C. *et al.* Spectrophotometric technique for measuring herbicide deposition from wiper applicators. **New Zealand journal of agricultural research**, Taylor & Francis, v. 59, n. 4, p. 412–421, 2016.

NASCIMENTO, A. d. **Caracterização química e digestibilidade do capim annoni (Eragrostis plana, Ness.) comparado com o pasto nativo em diferentes estágios de desenvolvimento. Santa Maria, Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, UFSM. 1976, 67 p.** Tese (Doutorado) — Dissertação de Mestrado (Zootecnia), 1976.

NASCIMENTO, A. d.; HALL, G. Estudos comparativos de capim-annoni 2 (eragrostis planta) e pastagem nativa de varzea da região de santa maria, rio grande do sul. i. características químico-bromatológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 1978.

OKSANEN, T. Closed loop control over iso 11783 network—challenges of plug-and-play. **IFAC Proceedings Volumes**, Elsevier, v. 43, n. 26, p. 203–208, 2010.

PEDERSEN, S. M.; LIND, K. M. *et al.* **Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives**. [S.l.]: Springer, 2017.

PEREZ, N. Campo limpo: controle de plantas indesejáveis em pastagens. **Embrapa Pecuária Sul-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)**, Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2010., 2010.

PEREZ, N. Método integrado de recuperação de pastagens mirapasto: foco capim-annoni. **Embrapa Pecuária Sul-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)**, Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2015., p. 23, 2015.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição**. [S.l.]: Editora Feevale, 2013.

PRUDENTE, R.; MATUO, T. Aplicador de herbicidas com pavios de corda: primeiros resultados de controle. **Planta Daninha**, Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, p. 37–44, 1985.

SARAIVA, A.; CUGNASCA, C. Sistemas para agricultura de precisão: equipamentos e programas. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. Mecanização e agricultura de precisão**. [S.l.: s.n.], 1998. v. 27, p. 159–202.

STEENEVELD, W.; HOGEVEEN, H. Characterization of dutch dairy farms using sensor systems for cow management. **Journal of dairy science**, Elsevier, v. 98, n. 1, p. 709–717, 2015.

SYSTEMS, E. **ESP32 Series Datasheet Version 3.0**. [S.l.], 2019. Accessed: 2019-04-30.

ZHANG, Q.; PIERCE, F. J. **Agricultural automation: fundamentals and practices.**  
[S.l.]: CRC Press, 2013.