



FÁBIO OLIVEIRA DE PAULA

**SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE MAQUINÁRIO
AGRÍCOLA BASEADO EM INTERNET DAS COISAS**

LAVRAS – MG

2018

FÁBIO OLIVEIRA DE PAULA

**SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE MAQUINÁRIO AGRÍCOLA BASEADO
EM INTERNET DAS COISAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Automação, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Bruno Henrique Groenner Barbosa
Orientador

Prof. Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato
Coorientador

Prof. Dr. Sérgio de Oliveira
Coorientador

Prof. Dr. Giovani Bernardes Vitor
Coorientador

LAVRAS – MG

2018

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

de Paula, Fábio Oliveira.

Sistema de gerenciamento de maquinário agrícola baseado em
Internet das Coisas / Fábio Oliveira de Paula. - 2018.

102 p. : il.

Orientador(a): Bruno Henrique Groenner Barbosa.

Coorientador(a): Carlos Eduardo Silva Volpato, Sérgio de
Oliveira, Giovani Bernardes Vitor.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Agricultura de Precisão. 2. Sistema Embarcado. 3. Internet
das Coisas. I. Barbosa, Bruno Henrique Groenner. II. Volpato,
Carlos Eduardo Silva. III. de Oliveira, Sérgio. IV. Vitor, Giovani
Bernardes.

FÁBIO OLIVEIRA DE PAULA

**SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE MAQUINÁRIO AGRÍCOLA BASEADO
EM INTERNET DAS COISAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Automação, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 21 de Setembro de 2018.

Prof. Dr. Bruno Henrique Groenner Barbosa	UFLA
Prof. Dr. Wilian Soares Lacerda	UFLA
Prof. Dr. Edgar Campos Furtado	UFSJ

Prof. Dr. Bruno Henrique Groenner Barbosa
Orientador

Prof. Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato
Co-Orientador

Prof. Dr. Sérgio de Oliveira
Co-Orientador

Prof. Dr. Giovani Bernardes Vitor
Co-Orientador

**LAVRAS – MG
2018**

Dedico esse trabalho aos meus pais José Geraldo e Eliete, com todo meu amor e gratidão, por tudo que fizeram por mim ao longo de minha vida. Desejo poder ter sido merecedor do esforço dedicado por eles em todos os aspectos, especialmente quanto à minha formação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus e à Nossa Senhora das Graças por me dar forças e me permitirem chegar até aqui.

Ao meu orientador, Dr. Bruno Henrique Groenner Barbosa, pela excelência na orientação, pelos ensinamentos passados e pelo apoio fundamental na minha formação profissional. Agradeço também pela amizade, tempo e paciência dedicados a mim em todos os momentos.

À toda minha família, meus pais José Geraldo e Eliete, e irmãos Vitor e Ananda, pelo suporte e base fundamental na minha vida.

À minha esposa Gabriela, pelo amor, carinho, por estar sempre presente e pelo maior presente que a vida nos deu, nosso filho Raul.

Aos professores Dr. Sérgio de Oliveira, Dr. Giovani Bernardes Vitor e Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato, meus co-orientadores, pelo apoio e conhecimentos passados, assim como aos professores Dr. Edgar Campos Furtado e Dr. Wilian Soares Lacerda por disporem a participar da banca examinadora.

À UFSJ/CAP, especialmente o Departamento de Mecatrônica e Telecomunicações (DETEM) e aos técnicos do Campus Alto Paraopeba, especialmente aos amigos e padrinhos Tiago, Erimar, Alison e Bira.

Aos amigos que contribuíram nesse projeto Gustavo, Delorme, Diego Andrade e Andrey. E ao Adalberto, servidor do DCC, pelo apoio técnico.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Automação (UFLA) e professores deste programa, pela oportunidade concedida e ensinamentos compartilhados, e à turma 2016/2.

*"Se eu não for por mim, quem o será?
Mas se eu for só por mim, que serei eu?
Se não agora, quando?
(Hilel)*

RESUMO

A estimativa de crescimento da população mundial e o conseqüente aumento da produção de alimentos é um grande motivador em se otimizar processos agrícolas. Para isso, a Agricultura de Precisão (AP) busca reduzir a quantidade de nutrientes e outros insumos utilizados, aumentando a qualidade e a produtividade das culturas sem acréscimo de área cultivada. Com os avanços da instrumentação eletrônica e de sistemas embarcados tem sido possível progredir de modo acelerado os desenvolvimentos da AP. Com isso, ferramentas da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) e plataformas digitais de gerenciamento, que antes eram restritas a centrais de grande processamento, hoje migram para sistemas menores e distantes de grandes centrais, chegando ao mercado agrícola. Ferramentas como *Internet of Things* (IoT) e o *Robot Operating System* (ROS) são capazes de integrar diversos sistemas, sensores e atuadores. Elas possibilitam o monitoramento das variáveis do sistema, a comunicação entre todas as unidades que houver na máquina e implementos, a comunicação com servidores remotos, e ainda o controle de qualquer atuador que houver nesse sistema. Assim, esses sistemas podem constituir uma excelente ferramenta para a Agricultura de Precisão. Esse trabalho trata da implementação da infraestrutura de uma rede sem fio capaz de integrar o maquinário agrícola e instalações rurais à sede da empresa rural e à um servidor remoto. Trata também do desenvolvimento de um sistema embarcado modular para máquinas agrícolas, capaz de coletar dados sobre o funcionamento do conjunto trator-implemento através de sensores específicos para cada parâmetro, exibir informações para o operador do maquinário e enviar informações para o gestor da empresa rural. Esse sistema permite ainda a troca de informações gerenciais entre o gestor da empresa rural e o operador. Todos os seus elementos são de código aberto para redução de custo e maior difusão e alcance para produtores e outros desenvolvedores. A utilização de um computador embarcado em um trator permitiu expandir em grande escala o poder de processamento de dados coletados no maquinário. A arquitetura, constituída por camadas, tornou o sistema modular, o que agregou versatilidade tanto ao desenvolvimento quanto à utilização do produto. Os resultados dos testes de comunicação entre as camadas atestam que o sistema atende à proposta e garante plena integridade dos dados e excelente velocidade de comunicação.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. Gestão Agrícola. Sistema Embarcado. Instrumentação.

ABSTRACT

A major motivator in optimizing agricultural processes is by estimating world population growth and the consequent increase in food production. For this, Precision Agriculture (PA) seeks to reduce the amount of nutrients and other inputs used, increasing the quality and productivity of crops without adding cultivated area. Through advances in electronic instrumentation and embedded systems, it has been possible to accelerate PA developments. As a result, Information and Communication Technology (ICT) tools and digital management platforms, which were used to be restricted to large-scale processing plants, now migrate to smaller systems far from large power plants, reaching the agricultural market. Tools like Internet of Things (IoT) and Robot Operating System (ROS) are capable of integrating various systems, sensors and actuators. They allow the monitoring of system variables, communication between all units in the machine and implements, communication with remote servers, and control of any actuator in that system. Thus, these systems can be an excellent tool for Precision Agriculture. This work presents the implementation wireless network infrastructure capable of integrating farm machinery and rural installations to the farm headquarters and to a remote server. It also deals with the development of a modular embedded system for agricultural machinery, capable of collecting data during the operation of the tractor-implement assembly through specific sensors for each parameter, displaying information to the machinery operator and sending information to the farm manager. This system also allows the exchange of management information between the farm manager and the operator. All of its elements is open-source for cost reduction in order to diffuse and reach producers and other developers. The use of a computer embedded in a tractor allowed a large scale expansion of the processing power of data collected on the machinery. The architecture, made up of layers, made the system modular, which added versatility to the development and use of the product. The results of the communication tests between the layers attest that the system meets the proposal and guarantees full data integrity and excellent communication speed.

Keywords: Precision agriculture. Agricultural Management. Embedded system. Electronic Instrumentation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Esquemático demonstrativo da ISO 11783	25
Figura 2.2 – Conector da ISO 11783	26
Figura 2.3 – Popularidade do termo “ <i>Internet of Things</i> ” ao longo do tempo	29
Figura 2.4 – Artigos publicados sobre IoT	30
Figura 2.5 – Análise de Demanda x Capacidade de desenvolvimento x Oferta (tamanho do círculo) para os desenvolvimentos em IoT	33
Figura 2.6 – Comunicação MQTT	34
Figura 2.7 – Exemplos de computadores de placa única atuais	37
Figura 2.8 – Módulo NodeMCU	39
Figura 2.9 – Módulo LoRa	40
Figura 2.10 – Painel de monitoramento típico de um FMIS	42
Figura 3.1 – Diagrama da rede e elementos	45
Figura 3.2 – Arquitetura de integração entre o sistema embarcado do maquinário agrícola e o FMIS	47
Figura 3.3 – Pirâmide da arquitetura do sistema	48
Figura 3.4 – Instalação dos <i>encoders</i> no trator	51
Figura 3.5 – Configuração dos tratores para ensaio de tração	52
Figura 3.6 – Instalação do fluxômetro	53
Figura 3.7 – Impemento Semeadora/Adubadora	54
Figura 3.8 – <i>Layout</i> da semeadora	56
Figura 3.9 – Sensor óptico reflexivo	56
Figura 3.10 – Duto de aplicação dos insumos	58
Figura 3.11 – Destaque de alocação do duto na semeadora	59
Figura 3.12 – Diagrama com representação da metodologia para detecção de se- mentes	60
Figura 3.13 – Esquemático dos sensores da semeadora	60
Figura 3.14 – Placas dos circuitos impressos do sensor da semeadora	61
Figura 3.15 – Diagrama com representação da metodologia para medição de nível do reservatório.	61
Figura 3.16 – Inclinação considerando dois eixos	62
Figura 3.17 – Esquemático da central	65

Figura 3.18 – <i>Layout</i> da placa impressa da central	66
Figura 3.19 – Protótipo da central pronto para instalação no trator	66
Figura 3.20 – Esquema do ensaio de latência entre CAC e CPL	67
Figura 3.21 – Diagrama da comunicação dos dados	68
Figura 3.22 – Analisador de Espectro	70
Figura 3.23 – Vista aérea do campus da UFLA	71
Figura 3.24 – Esquemático do receptor LoRa	73
Figura 3.25 – <i>Layout</i> do receptor LoRa	73
Figura 3.26 – Receptor LoRa construído	74
Figura 4.1 – Distribuição dos dados do teste de latência da comunicação entre Camadas	77
Figura 4.2 – Distribuição dos dados do teste de latência da comunicação entre CPL e ROS	78
Figura 4.3 – Tela do aplicativo da Camada de Supervisão Local	79
Figura 4.4 – Curva Frequência X Intensidade	80
Figura 4.5 – Ensaio em região com obstáculos	81
Figura 4.6 – Ensaio em região aberta	82
Figura 4.7 – Tela inicial do FMIS	83
Figura 4.8 – Tela principal do FMIS para monitoramento de tratores	84
Figura 1 – <i>Datasheet</i> do LoRa	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Parâmetros a serem monitorados	50
Tabela 3.2 – Especificação do Acelerômetro	61
Tabela 4.1 – Análise estatística da comunicação entre Camadas CAC e CPL	76
Tabela 4.2 – Análise estatística da comunicação entre CPL e ROS	77
Tabela 4.3 – Custo dos materiais	85

LISTA DE SIGLAS

ADC	<i>Analog-to-digital converter</i>
AP	<i>Agricultura de Precisão</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CoAP	<i>Constrained Application Protocol</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung (German Institute for Standardization)</i>
ECU	<i>Electronic Control Unit</i>
FMIS	<i>Farm Management Information Systems</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HTTP	<i>Hyper Text Transfer Protocol</i>
I ² C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IHM	<i>Interface Homem-Máquina</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
M2M	<i>Machine-to-machine</i>
MQTT	<i>Message Queue Telemetry Transport</i>
NMEA	<i>National Marine Electronics Association</i>
OASIS	<i>Organization for the Advancement of Structured Information Standards</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RFID	<i>Radio-Frequency IDentification</i>
ROS	<i>Robot Operating System</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SBC	<i>Single Board Computers</i>
SD	<i>Secure Digital</i>

SE	Sistema Embarcado
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
T-ECU	<i>Tractor Electronic Control Unit</i>
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UART	<i>Universal asynchronous receiver/transmitter</i>
UE	União Européia
UFLA	Universidade Federal de Lavras
VT	<i>Virtual Terminal</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivos específicos	16
1.2	Estrutura do trabalho	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Agricultura de Precisão	18
2.2	Instrumentação Eletrônica na Agricultura de Precisão	19
2.3	Sistemas Embarcados	22
2.4	Normatização de Sistema Embarcado em Máquinas Agrícolas	24
2.4.1	DIN 9684	24
2.4.2	ISO 11783	25
2.5	Internet das Coisas	28
2.5.1	Protocolo de Comunicação MQTT	33
2.6	Plataformas de desenvolvimento	36
2.6.1	Computadores de Placa Única	36
2.6.1.1	Raspberry Pi	37
2.6.2	NodeMCU	38
2.7	Tecnologia LoRa	39
2.8	Desempenho de rede	41
2.9	Sistema de Gerenciamento da Informação Agrícola	41
2.10	<i>Robot Operating System (ROS)</i>	43
3	MATERIAIS E MÉTODOS	45
3.1	Arquitetura da Rede	46
3.1.1	Camada de Aquisição e Controle (CAC)	48
3.1.1.1	Módulo da patinagem	51
3.1.1.2	Módulo de consumo	52
3.1.1.3	Módulo do implemento	54
3.1.1.4	Módulo de navegação	58
3.1.2	Camada de Supervisão Local (CSL)	63
3.1.3	Camada de Processamento Local (CPL)	63
3.1.3.1	Validações para comunicações entre Camadas CAC e CPL	67

3.1.3.2	Validação para a comunicação entre CPL e ROS	68
3.1.4	Camada de Telemetria (CT)	69
3.1.4.1	Validação para a Camada de Telemetria	70
3.1.5	Camada de Supervisão Geral (CSG)	72
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
4.1	Camada de Aquisição e Controle	75
4.1.1	Módulos da Patinagem e Consumo	75
4.1.2	Módulo da Semeadora/Adubadora	75
4.1.3	Módulo de Navegação	76
4.2	Camada de Processamento Local	76
4.2.1	Ensaio para validação da comunicação entre Camadas CAC e CPL .	76
4.2.2	Ensaio para validação da comunicação entre CPL e ROS	77
4.3	Camada de Supervisão Local	79
4.4	Camada de Telemetria	80
4.4.1	Analisador de Espectro	80
4.4.2	Alcance do sinal	80
4.4.3	Teste de perda de dados	82
4.5	Camada de Supervisão Geral	82
4.6	Custos do sistema	83
5	CONCLUSÃO	86
	REFERÊNCIAS	89
	APENDICE A – Raspberry Pi	98
	ANEXO A – <i>Datasheet</i> LoRa	99

1 INTRODUÇÃO

A Agricultura de Precisão (AP) é um conceito moderno de gestão de sistemas de produção agrícola que utiliza técnicas digitais para monitorar e otimizar os processos de produção agrícola. Uma das grandes preocupações em se otimizar processos agrícolas é pela estimativa de crescimento da população mundial, e o conseqüente aumento da produção de alimentos, em 70% até o ano de 2050 (ONU, 2017; SHAOUTI et al., 2015). Para isso, a AP busca reduzir a quantidade de nutrientes e outros insumos utilizados, aumentando a qualidade e a produtividade das culturas sem acréscimo de área cultivada. Sendo assim, a obtenção e processamento de informações detalhadas e georreferenciadas sobre as áreas de cultivo auxiliam na definição de estratégias de manejo mais eficientes.

A instrumentação, como ramo da engenharia que trata da medição, monitoramento e controle de variáveis, pode ser aplicada em sistemas de automação de máquinas e equipamentos agrícolas e de coleta de dados dos sensores do trator, do implemento (por exemplo, máquinas de colheita, pulverizadores, etc.), de sensores na lavoura, informações climatológicas, dentre outros.

Com o contínuo avanço da eletrônica, o aumento da densidade de circuitos integrados e o movimento crescente de produtos de prototipagem, os sistemas embarcados têm se tornado ferramentas cada vez mais poderosas e com maior capacidade de processamento. Com isso, ferramentas da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), que antes eram restritas a centrais de grande processamento, hoje migram para sistemas menores. Atualmente, a TIC tem sido amplamente utilizada em todos os campos da agricultura e promovem o desenvolvimento da modernização agrícola.

São diversos os trabalhos de sistemas embarcados na área agrícola. Incluem dispositivos de coleta de informações do maquinário agrícola, como parâmetros referentes ao desempenho do maquinário; do meio de cultivo, como parâmetros referentes ao ar, ao solo, etc (TALAVERA et al., 2017); georreferenciamento com GPS/DGPS (GALANTE; GARCIA, 2014; KESKINA; SAY, 2006); temperatura e umidade ambiente (ZHANG; MA; YANG, 2016); intensidade da luz, dentre outros; além de sistemas de gerenciamento de dados (DU et al., 2016; ZHU et al., 2016; ZHANG et al., 2016; MAIA; INAMASU; POTO, 2016) e comunicação (IBAYASHI et al., 2016; JULA; SUNDARARAJAN; OTHMAN, 2014).

As tendências futuras das TICs, no contexto da agricultura de precisão, caminham para a integração de equipamentos agrícolas, sistemas de informação e automação de processos e operações agrícolas, computação ubíqua e em nuvem, aplicações geoespaciais, sistemas de suporte a decisão, protocolos e normas de produção. As plataformas digitais que gerenciam as informações agrícolas, também conhecidas como Sistemas de Gerenciamento da Informação Agrícola (*Farm Management Information System* - FMIS), que integram diversos elementos agrícolas da empresa rural, têm ganhado relevância e visibilidade (INAMASU et al., 2016).

Dentro desse cenário, a Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) é considerada o próximo passo da Internet, onde objetos inteligentes podem conectar-se à rede global, permitindo que pessoas e coisas se conectem a qualquer hora, em qualquer lugar, utilizando algum tipo de rede e protocolos padrões de comunicação para utilizar algum serviço. A aplicação de IoT no sistema de produção agrícola já ocorre, por exemplo, na análise de correlação entre a informação estatística da cultura e informações sobre o ambiente agrícola, utilizando sensores, que embasa a análise das condições atuais de clima, solo e planta dos agricultores, pesquisadores e autoridades governamentais, e prevê a colheita futura (LEE; HWANG; YOE, 2013; NGUYEN et al., 2013).

Neste mesmo contexto, o *Robot Operating System* (ROS), conjunto de bibliotecas e ferramentas que auxiliam na construção de aplicações para robôs, também é capaz de integrar diversos sistemas, sensores e atuadores e tem maior aplicabilidade dentro da engenharia de controle e robótica, sobretudo na área industrial. Em uma época em que a robótica cresce na área agrícola (TABILE; INAMASU; PORTO, 2008; SOUSA et al., 2014), o ROS ganha importância e visibilidade também no meio agrícola.

Nos sistemas agrícolas há uma norma específica que trata da comunicação e controle em tratores, denominada ISO 11783. Essa norma especifica uma rede serial de dados para controle e comunicação em tratores agrícolas ou florestais e implementos montados, semimontados, rebocados ou autopropelidos (ISOBUS, 2010). Diferentemente desse e outros protocolos proprietários, que só fornecem comunicação entre máquinas e implementos agrícolas, a IoT juntamente com o ROS possibilitam o monitoramento das variáveis do sistema, a comunicação entre todas as unidades que houver na máquina e implementos e, estendendo à uma arquitetura de rede, permite a integração com sistemas de gerenciamento da informação agrícola, e ainda o controle de

qualquer atuador que houver nesse sistema. Podem constituir assim, uma excelente ferramenta para a Agricultura de Precisão.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho trata da implementação da infraestrutura de TIC aplicada ao meio agrícola capaz de realizar o monitoramento e controle em tempo real das variáveis monitoradas no maquinário agrícola e em instalações rurais permitindo a troca de informações entre o gestor da empresa rural e o operário.

Dessa forma, o trabalho contempla desde o desenvolvimento de um sistema embarcado modular para máquinas agrícolas capaz de coletar dados sobre o funcionamento do conjunto trator-implemento (também denominado conjunto motomecanizado) utilizando sensores específicos para cada parâmetro e de exibir informações para o operador da máquina até enviar informações para o gestor da empresa rural.

De forma a obter redução dos custos, maior difusão e alcance entre produtores e desenvolvedores, objetivou-se utilizar apenas elementos de baixo custo no sistema proposto. Pretendeu-se que o sistema embarcado desenvolvido fosse instalado e utilizado em máquinas agrícolas de baixo custo que não possuíssem quaisquer tipos de instrumentação ou central eletrônica.

Além de foco comercial, esse sistema é aplicável em programas educacionais e de pesquisa, devido sua base sólida em instrumentação.

1.1.1 Objetivos específicos

Para atingir os objetivos gerais supra citados, este trabalho teve os seguintes objetivos específicos:

- Implementar um servidor local e rede sem fio;
- Implementar uma central eletrônica embarcada no trator, que na infraestrutura da rede desempenhará função de *gateway* entre a máquina e a rede da propriedade rural;
- Definir os melhores protocolos de comunicação dos elementos intra maquinário e maquinário-empresa rural;

- Desenvolver módulos periféricos para coleta de informações sobre a máquina, como patinagem, consumo de combustível, contagem de sementes, dentre outros.
- Desenvolver aplicativo para *smartphone* Android para interface homem-máquina (IHM);
- Desenvolver *software* para gerenciamento do maquinário e da empresa rural.

1.2 Estrutura do trabalho

O capítulo 2 apresenta o referencial teórico, onde é abordado inicialmente os conceitos de Agricultura de Precisão (AP). Posteriormente é apresentado o tema Instrumentação Eletrônica e aplicações de sensores em AP e o tema Sistemas Embarcados, desde uma visão geral às tecnologias atuais. Em seguida, são apresentadas as normatizações para máquinas agrícolas, com conceitos importantes para esse desenvolvimento. Ao final desse capítulo, são abordados os temas Sistema de Gerenciamento da Informação Agrícola (FMIS), Internet das Coisas (IoT) e *Robot Operating System* (ROS). No capítulo 3 são apresentados os materiais e métodos que foram utilizados no desenvolvimento do sistema embarcado e rede de sensores. Além disso, são apresentadas também as técnicas de validação às quais o sistema foi submetido. No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos desse sistema com a Prova de Conceito, assim como os produtos gerados por essa pesquisa. Ao final, é apresentado no Capítulo 5 uma visão geral do desenvolvimento, os pontos positivos e negativos desse sistema e sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo traz uma revisão bibliográfica a respeito, inicialmente de Agricultura de Precisão. Na sequência, são apresentados os conceitos de Instrumentação Eletrônica e Sistemas Embarcados e algumas aplicações na agrícola. É apresentada a normatização atual de desenvolvimento de sistemas embarcado para máquinas agrícolas e o conceito e aplicações de Sistema de Gerenciamento da Informação Agrícola. Ainda neste capítulo são apresentadas ferramentas que auxiliarão o desenvolvimento desse trabalho, como Internet das Coisas, protocolos de comunicação e técnicas para mensurar o desempenho de redes e *Robot Operating System*.

2.1 Agricultura de Precisão

Estima-se que até o ano de 2050, a população mundial chegue a 9,8 bilhões de pessoas (ONU, 2017). A fim de manter-se a população crescente, a produção mundial de alimentos precisa ter um aumento de 70% (SHAOUTI et al., 2015). A previsão para esse crescimento imenso torna necessária a gestão de práticas agrícolas. Uma dessas práticas é a agricultura de precisão, também conhecida como manejo sítio-específico, que pode reduzir significativamente a quantidade de nutrientes e outros insumos utilizados ao mesmo tempo, aumentando a qualidade e a produtividade das culturas sem acréscimo de área cultivada, tornando-se um negócio ainda mais lucrativo.

Agricultura de precisão (AP), segundo Pierce e Nowak (1999), é um conjunto de princípios e tecnologias aplicados no manejo da variabilidade espacial e temporal associada à produção agrícola, objetivando aumentar a produtividade das culturas e a qualidade ambiental. Na prática, isso envolve a obtenção e processamento de informações detalhadas e georreferenciadas sobre as áreas de cultivo agrícola, visando definir estratégias de manejo mais eficientes, em especial, o uso racional de insumos.

Segundo European Union (2016), AP é um conceito moderno de gestão agrícola que utiliza técnicas digitais para monitorar e otimizar os processos de produção agrícola. Em vez de aplicar a quantidade de fertilizantes no campo agrícola, ou alimentar uma grande população de animais com quantidades iguais de alimentos, a AP mede as variações nas condições dentro do campo e adapta sua estratégia de fertilização ou colheita de acordo com as necessidades do talhão. Do mesmo modo, a AP avalia as

necessidades e condições dos animais e otimiza a alimentação, com foco em cada animal. Os métodos de AP prometem aumentar a quantidade e a qualidade da produção agrícola ao usar menos insumos (água, energia, fertilizantes, pesticidas, etc). O objetivo é reduzir custos e o impacto ambiental e produzir mais e melhores alimentos.

No Brasil, a AP foi introduzida há aproximadamente três décadas e apresenta grande potencial de aplicação na produção de grãos e culturas perenes (RESENDE et al., 2010). Como exemplo de aplicação da AP, Reis, Machado e Bisognin (2007) apresentam testes realizados em uma semeadora de arroz variando a rotação e demais parâmetros de regulação dos dosadores. Em seu experimento, utilizou dosadores do tipo rotor acanalado reto e helicoidal e rotor dentado. Notou-se que a variação da rotação entre 15 e 30 rpm afetou significativamente a precisão. Tal informação permite ao produtor manusear o equipamento dentro das faixas de operação de maneira otimizada.

2.2 Instrumentação Eletrônica na Agricultura de Precisão

A instrumentação é o ramo da engenharia que trata do projeto, fabricação, especificação, montagem, operação e manutenção dos instrumentos para a medição, alarme, monitoramento e controle das variáveis do processo industrial (RIBEIRO, 1999).

A instrumentação pode ser aplicada ao monitoramento e controle de processos e operações e à análise experimental. No monitoramento, o interesse é na medida de diferentes grandezas físicas. No controle, por outro lado, o interesse está em medir grandezas para que se possa fechar uma malha de controle. Também pode acontecer do interesse ser o estudo de problemas que não tenham uma teoria bem definida para explicá-lo ou que sua modelagem seja de grande complexidade. Neste último caso, experimentos envolvendo coletas de dados para posterior análise é uma excelente ferramenta (PINO, 2013).

Seidel (2011) afirma que o desenvolvimento de novos instrumentos e técnicas de medidas elétricas, surgentes em decorrência da revolução industrial no século XIX, trouxe um rápido crescimento das tecnologias aplicadas ao ramo industrial. Diz ainda que isso ficou evidente no final do século seguinte, com o desenvolvimento da eletrônica e dos computadores, que possibilitou seu crescimento paralelo a uma variedade de novos instrumentos e técnicas de medidas.

Sistemas de automação de máquinas e equipamentos (como exemplo, mecanismos de regulação e controladores de fluxo de sementes, fertilizantes e defensivos) e de coleta de dados (como exemplo, sensores de desempenho de aplicadores de insumos, informações climatológicas) não são propriamente dispositivos de agricultura de precisão, pois por si só não permitem o manejo sítio-específico das lavouras. Entretanto fornecem informações importantes para o diagnóstico de fatores de variabilidade nas lavouras e auxiliam na tomada de decisão. Tais informações visam a melhoria do manejo das culturas, facilitam a rotina de trabalho e aumentam a eficiência operacional nas empresas rurais (RESENDE et al., 2010).

Ainda segundo Resende et al. (2010), dentre as principais aplicações da AP no manejo de solo, destacam os sistemas de automação, sensoriamento remoto, sistemas de guia, monitores de colheita, amostragem georreferenciada de solos, mapeamento da fertilidade e aplicação de corretivos e fertilizantes a taxa variável.

Dentre essas aplicações, o monitoramento da patinação, definida como a diferença entre as velocidades de deslocamento teórica e real, normalizada pela velocidade teórica, é uma importante variável a ser observada. Tal efeito ocorre quando a velocidade rotacional das rodas motrizes (velocidade teórica) não é inteiramente convertida em deslocamento (ALONSO, 2016). É proveniente da interação rodado-solo e influencia diretamente o desempenho operacional dos tratores, acarretando redução da eficiência do motor e aumento do consumo de combustível (GOERING et al., 2003; FURTADO JÚNIOR, 2013). Contudo, a patinação não é um fenômeno totalmente indesejado. Ela é fundamental para que a tração aconteça, porém há margens de valores aceitáveis que não devem ser ultrapassados para que não ocorram perdas de aderência e redução da tração dos rodados (LANÇAS; UPADHYAYA, 1997). Segundo a norma OECD (2017), a patinação máxima não deve ser superior à 15% durante o ensaio de tratores agrícolas com rodados pneumáticos. Desse ponto, observa-se a importância em mensurar corretamente a patinação com métodos e sensores apropriados.

A medição da quantidade de combustível consumido é um dos aspectos mais importantes para a avaliação do rendimento de um motor. O consumo horário pode ser obtido pela leitura direta de sensores fluxométricos e pode ser expressa em termos mássico ($kg.h^{-1}$) ou volumétrico ($L.h^{-1}$) (MIALHE, 1996). Uma vez que o gasto de combustível seja considerado uma variável importante na composição dos custos de

uma lavoura, o monitoramento do desempenho do trator é algo de extrema relevância, pois permite otimizar a operação do trator e maximizar a quantidade de trabalho produzido por unidade de combustível consumido (SILVA; BENEZ, 1997; PEREIRA, 1998).

Outro dispositivo do trator que, devido sua alta relevância operacional, recebe constantemente instrumentos de medição é a barra de tração, e a variável monitorada é a força de tração exercida sobre essa barra (LANÇAS; UPADHYAYA, 1997; SRIVASTAVA; GOERING; ROHRBACH, 1996; ZOZ; GRISSO, 2003; YANAI et al., 1999). A barra de tração de tratores agrícolas se caracteriza por ser um elemento específico deste veículo, permitindo o engate de máquinas e implementos que necessitam de tração para realizarem trabalho ou para transporte (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993).

Dentre as vantagens da instrumentação eletrônica em máquinas agrícolas, Mantovani, Leplatois e Inamassu (1999) afirmam que, com a instrumentação eletrônica, de custo razoável, montada no trator e implementos (implementos são, por exemplo, máquinas de colheita, pulverizadores, etc), pode-se ter aquisição automática dos dados, que aumenta a facilidade na realização dos testes, e promove melhorias na obtenção de dados mais precisos medidos no campo. Afirmam ainda que os parâmetros do conjunto motomecanizado (conjunto trator-implemento) que foram instrumentados permitiram descrever completamente o funcionamento do conjunto.

Fazendo uso da instrumentação eletrônica aplicada à equipamentos agrícolas, Montanha et al. (2015) apresentam a elaboração da instrumentação de um escarificador com o uso de extensômetros. Os autores afirmam que o uso de máquinas e tratores agrícolas é requerido para a mobilização do solo e o consumo energético desses equipamentos engloba um dos custos mais elevados nas operações agrícolas das propriedades rurais. Com isso, o ensaio teve a finalidade de verificar a mobilidade do solo de acordo com a variação dos tipos de hastes e das profundidades de trabalho. Concluíram que as variações dos defletores e profundidade não afetaram significativamente nas forças de mobilização do solo.

Alonso (2016) realizou um experimento para determinar a influência da lastragem e pressão de inflação dos pneus de um trator agrícola no desempenho operacional agrícola. Para isso, utilizou de sensores para medição de fluxo de combustível e para

medição de força de tração. Os dados, armazenados em um *datalogger* comercial, foram analisados e comprovaram forte influência da lastragem e fraca influência das pressões do pneus.

Para realizar um estudo energético da operação de semeadura é necessária a determinação da força na barra de tração e do consumo de combustível do conjunto trator-semeadora-adubadora. Com o conhecimento dessas variáveis, diversos parâmetros podem ser levantados, como a potência na barra, o consumo de combustível, dentre outros. Nesse sentido, Martins et al. (2014) mostram que a instrumentação do conjunto torna-se necessária para conhecer e controlar variáveis que influenciam na operação agrícola.

2.3 Sistemas Embarcados

Sistema Embarcado (SE) é o circuito integrado, equipamento ou sistema dotado de alguma capacidade computacional (CUNHA, 2007). Para ser considerado um SE, o sistema deve ser dedicado a um conjunto específico e restrito de tarefas e interagir continuamente com o meio no qual está inserido através de sensores e atuadores (BALL, 2005).

É de longa data a busca para desenvolver sistemas de monitoramento e previsão do desempenho de tratores agrícolas e implementos. Wang e Zoerb (1990), Al-Hamed e Al-Janobi (2001), Sahu e Raheman (2008), Kumar e Pandey (2009) buscam mensurar principalmente as variáveis de consumo, patinagem, inclinação, pressão dos pneus, velocidade, força de tração e utilizar interfaces gráficas amigáveis, vinculadas à bancos de dados, para auxiliar a tomada de decisão do operador e gestor.

Segundo Maia, Inamasu e Poto (2016), é cada vez mais comum a utilização de Unidades de Controle Eletrônico (do inglês, *Electronic Control Unit* - ECU) no setor da agricultura, mais especificamente nos veículos e implementos, acompanhando uma tendência global. Isso contribui para a produtividade, melhora o conforto do operador e torna os veículos agrícolas mais seguros. A crescente utilização de dispositivos eletrônicos possibilitou a obtenção e o compartilhamento de dados entre as ECUs.

O desenvolvimento de um sistema embarcado de baixo custo é apresentado por Correa Junior (2017). O sistema realiza a medição dos índices de patinagem e de consumo de combustível, além do armazenamento local e da comunicação com o

smartphone do operador via *Bluetooth*. Quanto ao método automático proposto para medição do índice de patinação, apresentou a validação estatística que comprova o método. A comunicação com o *smartphone* permitiu o monitoramento das medições em tempo real e o armazenamento em cartão de memória gerou um banco de dados para posterior análise.

O sistema embarcado para máquinas agrícolas proposto por Russini (2009) realiza a medição da rotação das rodas motrizes e as medições da velocidade, consumo e força de tração do trator. Tal sistema realiza a aquisição e armazenamento dos dados. Concluiu que, através dos dados coletados, foi possível determinar o desempenho do trator agrícola.

A coleta de informações do meio de cultivo, tais como ar, solo, dentre outros, é o foco de Zhang et al. (2016). O dispositivo apresentado é capaz de realizar a medição de diversos parâmetros, tais como, o teor relativo de clorofila das folhas da cultura, informações de localização geográfica, temperatura e umidade ambiente, intensidade da luz, dentre outros.

Diversos trabalhos atestam que o alto custo de sistemas embarcados oneram os projetos e isso pode tornar-se um grande empecilho para os pequenos produtores. Como solução, Galante e Garcia (2014) utilizaram o Arduino (plataforma de desenvolvimento *open-source* de baixo custo) associado à um módulo receptor GPS, um sensor de temperatura LM35 e uma unidade de armazenamento de dados. Os dados gerados, importados por um *software* específico, deram origem à um mapa térmico, atestando assim a validade de seu sistema de baixo custo.

Também relacionado à análise de receptor GPS de baixo custo, Keskina e Say (2006) propuseram realizar a estimativa da velocidade de tratores agrícolas. Através da metodologia utilizada, concluíram que esses sistemas GPS atendem a necessidade da agricultura de precisão, sem a necessidade da utilização de receptores GPS caros, que oneraria o sistema completo.

Em alguns trabalhos, o sistema de aquisição de dados é complementado com a telemetria. Apesar da telemetria ser um diferencial sobre a maioria dos projetos recentes, Sarri, Martelloni e Vieri (2017) fazem uso da tecnologia GSM/GPRS para transmissão de dados. O sistema proposto apresenta bom desempenho, porém ressalta-

se que a tecnologia GSM/GPRS não está presente em todos os lugares, o que torna o sistema restrito à certas localidades.

A aplicação da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) na agricultura é uma das áreas-chave de pesquisa em engenharia agrícola moderna. Com o desenvolvimento da eletrônica e tecnologias de comunicação, a nova geração de TI, representado por 3S (GIS, GPS e RS), Internet das coisas, computação em nuvem e *big data*, tem sido amplamente utilizada em todos os campos da agricultura e promovem o desenvolvimento e a modernização agrícola (WANG; WANG; DANG, 2000; DU et al., 2016; CHEN et al., 2012; ZHANG; MA; YANG, 2016; JULA; SUNDARARAJAN; OTHMAN, 2014; ATZORI; IERA; MORABITO, 2010; IBAYASHI et al., 2016; BAILEY et al., 2013; ZHU et al., 2016).

Talavera et al. (2017) apresentam uma extensão e completa revisão do estado da arte da utilização de SE e TIC em todos os campos da agricultura e promovem o desenvolvimento da modernização agrícola. Essas tecnologias são destacadas como a nova fronteira da agricultura e ferramenta fundamental para os avanços.

2.4 Normatização de Sistema Embarcado em Máquinas Agrícolas

As tendências futuras das Tecnologias da Informação e Comunicação no contexto da Agricultura de Precisão caminham para a integração de equipamentos agrícolas, sistemas de informação e automação de processos e operações agrícolas, computação ubíqua e em nuvem, aplicações geoespaciais, sistemas de suporte a decisão, protocolos e normas de produção (QUEIROS et al., 2001). A seguir são apresentados os sistemas embarcados e protocolos de comunicação internacionais desenvolvido especificamente para maquinário agrícola.

2.4.1 DIN 9684

O primeiro esforço internacional para a normalização de sistemas embarcados e comunicação de máquinas agrícolas foi a DIN 9684 - *Agricultural tractor and machinery*, também conhecida como a norma LBS (*Landwirtschaftliches BUS System* - Barramento Agrícola Móvel). De origem alemã, a primeira versão foi concluída em 1997 (AUER-NHAMMER, 2001).

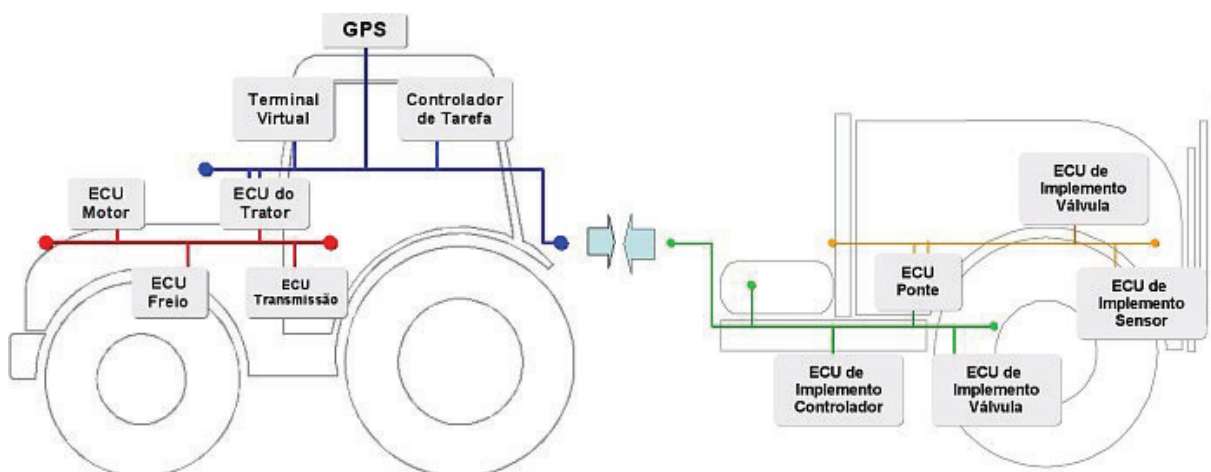
Apesar dos esforços, essa iniciativa não ganhou força, mas serviu para ser base para o desenvolvimento da norma ISO 11783.

2.4.2 ISO 11783

Baseada no protocolo CAN (*Controller Area Network*) e com traços da norma DIN 9684, a norma que ganhou mais força e popularidade para a integração de equipamentos agrícolas é a ISO 11783, também conhecida como ISOBUS. É a norma que especifica uma rede serial de dados para controle e comunicação em tratores agrícolas ou florestais e implementos montados, semimontados, rebocados ou autopropelidos. Seu objetivo é padronizar o método e o formato de transferência de dados entre sensores, acionadores, elementos de controle e unidades de armazenamento e de exibição de informações, sendo estes montados no trator ou parte dele ou do implemento (International Organization for Standardization, 2001).

A Figura 2.1 apresenta um esquemático demonstrativo das *Electronic Control Unit* (ECUs) segundo a ISO 11783, para o trator e o implemento agrícola. A norma propõe que cada ECU, que desempenha uma funcionalidade específica, se conecte ao barramento que permite a troca de informações. Entre o trator e o implemento a norma descreve um conector específico, apresentado na Figura 2.2.

Figura 2.1 – Esquemático demonstrativo da ISO 11783



Fonte: ISOBUS (2010)

O documento que descreve a norma é dividido em 14 partes (PEREIRA, 2008), sendo elas:

- Parte 1: Padrão geral para comunicação de dados embarcados;

Figura 2.2 – Conector da ISO 11783



Fonte: Agritotal (2015)

- Parte 2: Camada física;
- Parte 3: Camada de enlace de dados;
- Parte 4: Camada de rede;
- Parte 5: Gerenciamento de rede;
- Parte 6: Terminal virtual;
- Parte 7: Mensagens de implemento na camada de aplicação;
- Parte 8: Mensagens de trem de força (*power train*);
- Parte 9: ECU do trator;
- Parte 10: Controlador de tarefas e troca de dados com o sistema de gerenciamento da informação;
- Parte 11: Dicionário dos elementos de dados embarcados;
- Parte 12: Serviços de diagnósticos;
- Parte 13: Servidor de arquivos;
- Parte 14: Funções automatizadas.

De acordo com Sousa, Inamasu e Neto (2001), a ECU que representa o trator (conhecida como ECU do trator, *Tractor ECU* ou T-ECU) é um dos requisitos mínimos para operacionalizar uma rede de comunicação em um veículo agrícola. Em seu trabalho, Maia, Inamasu e Poto (2016) desenvolveram uma ECU do trator para ser

utilizada em laboratório como ferramenta de testes para a rede ISO 11783. Para isso, foi realizado o levantamento das mensagens necessárias, a modelagem do *software* embarcado na ECU e a implementação de uma rede ISO 11783. O estudo sobre a T-ECU e o desenvolvimento do simulador da ECU do trator pode ser usado tanto para desenvolvimento de ECU de implementos agrícolas como também para fins didáticos de estudo da rede ISO 11783.

Embora a utilização deste protocolo tenha sido fomentada por associações de normas internacionais de expressão no setor agrícola, como ISO, SAE e DIN, além de empresas de equipamentos agrícolas e outros grupos, ainda é importante reduzir restrições à integração de dispositivos à redes CAN, através de trabalhos que tornem esta tecnologia transparente e orientem o desenvolvimento de dispositivos eletrônicos e rotinas computacionais (SOUSA; INAMASU; NETO, 2001).

Uma ferramenta para o desenvolvimento de equipamentos de acordo com a ISO 11783 é a biblioteca *open-source* ISOAgLib. Sarker, Park e Badarch (2012) descrevem a arquitetura do sistema desta biblioteca baseada na norma ISO 11783 e descrevem o desenvolvimento de programa de aplicação de terminal virtual (*Virtual Terminal* - VT) e uma ECU para trator agrícola. A biblioteca ISOAgLib é um material consistente para desenvolvimento de sistemas de acordo com a ISO 11783. Ela é implementada em linguagem de programação C++ usando orientação à objetos (TUMENJARGAL et al., 2013).

No desenvolvimento de equipamentos padronizados, o cenário brasileiro não tem acompanhado o ritmo dos grandes centros desenvolvedores mundiais. Apesar disso, Sakai e Milhor (2014), apresentaram uma alternativa com o intuito de incentivar o uso da tecnologia ISOBUS e seus benefícios em implementos e máquinas agrícolas. Através de um *gateway* é possível converter diferentes protocolos e utilizar os recursos do trator. A utilização desse conversor ISOBUS é uma alternativa para redução da mão de obra especializada no protocolo, e pretende aumentar o valor agregado de produtos não padronizados e diminuir o atraso tecnológico brasileiro em relação ao desenvolvimento internacional.

Segundo Inamasu et al. (2016), compete às indústrias buscarem consenso no ISOBUS para que seus equipamentos e softwares sejam compatíveis entre eles.

2.5 Internet das Coisas

A Internet das Coisas (do termo em inglês *Internet of Things* - IoT) é considerada o próximo passo da Internet, no qual objetos inteligentes podem conectar-se à rede global, permitindo que pessoas e coisas se conectem a qualquer hora, em qualquer lugar, utilizando algum tipo de rede e protocolos padrões de comunicação para utilizar algum serviço (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010; RAZZAQUE et al., 2016). Segundo Oliveira (2017), a IoT possibilita que quaisquer dispositivos se conectem à Internet e torna-os inteligentes e capazes de coletar e processar informações do ambiente que estão inseridos. A denominação de dispositivos inteligentes, segundo Perera et al. (2014), se dá quando os dados gerados por sensores e dispositivos precisam ser analisados e interpretados dependendo do contexto em que estão inseridos, de preferência sem intervenção humana. A IoT emergiu dos avanços de várias áreas como sistemas embarcados, microeletrônica, comunicação e tecnologia de informações (SANTOS et al., 2016).

Quando a interação homem-computador se torna invisível, ou imperceptível, tem-se a denominação de computação ubíqua. Ela se baseia na integração das TIC com as ações e comportamentos naturais das pessoas. Em sua completude, as pessoas nem notam que estão dando comandos a um computador e recebendo informações dele (LEITE et al., 2014). Sendo assim, a computação ubíqua é considerada como o novo paradigma da Computação para o século XXI. Ela permitirá o acoplamento do mundo físico ao mundo da informação e fornecerá uma imensidão de serviços e aplicações, permitindo a interação entre usuários, máquinas, dados, aplicações e objetos de forma autônoma e transparente, criando a Internet das Coisas (LEITE et al., 2014).

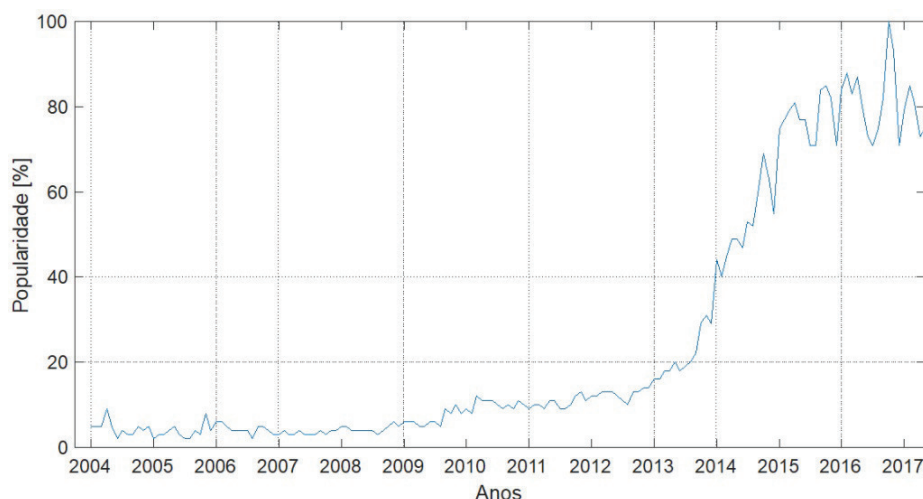
Segundo Kamienski et al. (2016), as "coisas" que compõe a IoT incluem uma grande variedade de dispositivos, como computadores, *smartphones* e *tablets*; sensores e atuadores; e objetos do cotidiano como eletrodomésticos e relógios e até veículos, entre outros. Alguns dos componentes essenciais da IoT são as redes de sensores sem fio, sistemas RFID (*Radio Frequency Identification*) e comunicações M2M (máquina-a-máquina) (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010). Para diferentes ambientes, a IoT fornece diferentes serviços. Por exemplo, uma IoT urbana pode colaborar em áreas como sistemas de transporte e estacionamento, iluminação pública, coleta de lixo, distribuição de água e energia elétrica, dentre outros (ZANELLA et al., 2014).

Kamienski et al. (2016) ainda afirmam que existe vasta literatura disponível sobre essas tecnologias, mas a integração de todas elas em uma rede única traz vários desafios para a Internet das Coisas. As aplicações usam arquiteturas e componentes orientadas a serviço, como serviços web e protocolos como MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*), CoAP (*Constrained Application Protocol*) e HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*).

A revolução que a IoT está promovendo acarreta em fortes mudanças no relacionamento entre pessoas e coisas que estão ao seu redor, transformando segurança, energia, meio ambiente, trânsito, mobilidade e logística. Sobretudo, pela forte influência que vem gerando no meio industrial, a IoT juntamente com computação em nuvem, computação ubíqua e *big-data* desencadearam uma revolução na indústria de tal forma que essas mudanças já não são consideradas como decorrentes da terceira Revolução Industrial. Toda essa transformação inaugura a quarta Revolução Industrial, marcada sobretudo pela utilização de dados provenientes da própria planta industrial (OLIVEIRA, 2017; SANTOS et al., 2016).

Explorando ainda mais a atual difusibilidade da IoT, a popularidade do termo "*Internet of Things*", pesquisado no site de busca Google ao longo do tempo, do ano 2004 até 2017, é apresentado na Figura 2.3 (TRENDS, 2017).

Figura 2.3 – Popularidade do termo "*Internet of Things*" ao longo do tempo

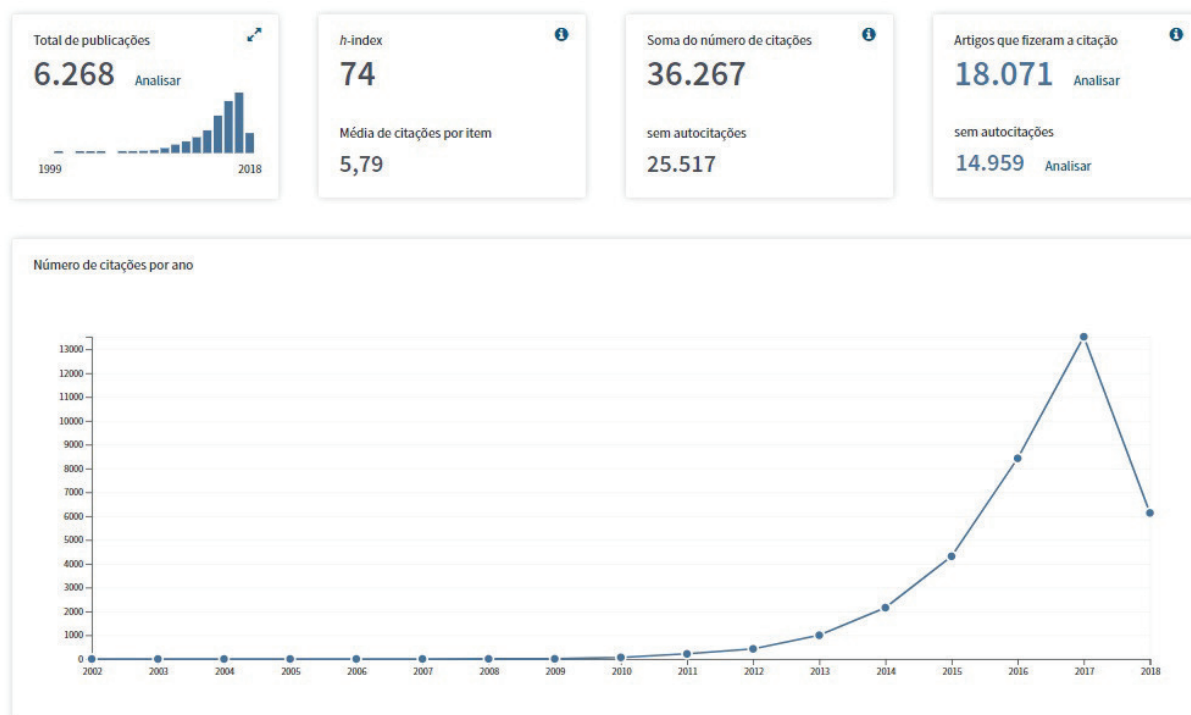


Fonte: Google Trends (2017)

Fazendo um levantamento da quantidade de artigos publicados contendo o termo "*Internet of Things*" em algum tópico, para cada ano de 2000 à 2017 baseado na

Principal Coleção do *Web of Science*, obteve-se o gráfico da Figura 2.4. Observa-se que a tendência é um crescimento exponencial.

Figura 2.4 – Número de artigos publicados tendo o termo “*Internet of Things*” como tópico para cada ano de 2002 à 2017 baseado na Principal Coleção do *Web of Science*



Fonte: Web of Science (2018)

Avanços tecnológicos recentes abriram o caminho para o desenvolvimento e oferta de serviços avançados para as partes interessadas no setor agrícola. Kaloxyllos et al. (2014) afirmam que está em andamento uma mudança de paradigma de ferramentas proprietárias e monolíticas para sistemas abertos baseados na Internet, hospedados em nuvem, que permitirão uma colaboração mais efetiva entre as partes interessadas.

A aplicação da IoT no sistema de produção agrícola já ocorre, por exemplo, na análise de correlação entre a informação estatística da cultura e informações sobre o ambiente agrícola, utilizando sensores, que embasam a análise das condições atuais de clima, solo e planta dos agricultores, pesquisadores e autoridades governamentais, e prevê a colheita futura (LEE; HWANG; YOE, 2013).

A empresa japonesa *Fujitsu* desenvolveu um sistema capaz de monitorar os passos de um rebanho de vacas através de uma tornozeleira. Esse sistema conta os passos do animal e, através de uma rede local de transmissores e receptores, envia os dados à um *gateway* que, por sua vez, envia-os à nuvem. Após a análise desses dados,

concluiu-se que o início do período de fertilidade das vacas é identificado por uma longa caminhada em um curto período e que o momento ótimo para inseminação artificial se dá 16 horas após essa longa caminhada. Concluiu-se ainda que, se inseminada pouco antes do momento ótimo, a probabilidade maior é de obter uma cria fêmea, ou se inseminada pouco depois desse momento, a probabilidade maior é de obter uma cria macho. Com posse dessa informação, é possível maximizar os lucros, sobretudo em propriedades rurais produtoras de laticínios (LTD, 2016).

A logística dos produtos agropecuários, que tem ciclo de vida curto, é fator essencial para a competição empresarial. Através da tecnologia de RFID (*Radio-Frequency Identification*), que consiste em etiquetar e rastrear qualquer produto, inclusive de origem vegetal ou animal, vislumbram-se aplicações de controle de estoque e distribuição controlada de produtos. Com isso, é possível acompanhar os produtos em todas as etapas da cadeia de distribuição e, caso ocorra algum tipo de contaminação, eles poderão ser rastreados, a fim de verificar sua origem, contribuindo, desta forma, para a segurança alimentar, nutrição e saúde, promovendo o desenvolvimento sustentável da agricultura moderna (NGUYEN et al., 2013).

European Union (2016) cita que a AP vem sendo empregada em propriedades rurais em toda a Europa e está ajudando cada vez mais os agricultores em seu trabalho. Porém, os métodos dependem principalmente de uma combinação de novas tecnologias de sensores, tecnologia de navegação e posicionamento por satélite e da Internet das Coisas. Por isso, o trabalho citado tem o objetivo de conscientizar os deputados do Parlamento Europeu sobre o atual estado da arte da AP, possíveis desenvolvimentos para o futuro, preocupações e oportunidades sociais e opções políticas para os legisladores europeus.

Kaloxylou et al. (2012) citam que a última tendência em sistemas de gerenciamento de propriedades rurais devem passar a operar pela Internet, ao invés de utilizar *softwares* complexos e não flexíveis. Por meio de um exemplo operacional de um sistema de gerenciamento que aproveita as novas características que a "Internet do Futuro" oferece, utilizam módulos genéricos de *software* e *hardware* como base para o desenvolvimento de módulos especializados relacionados à agricultura.

Quanto à percepção pública da AP, uma grande preocupação dos especialistas na área é a questão da imagem da AP e da agricultura futura que, no discurso público,

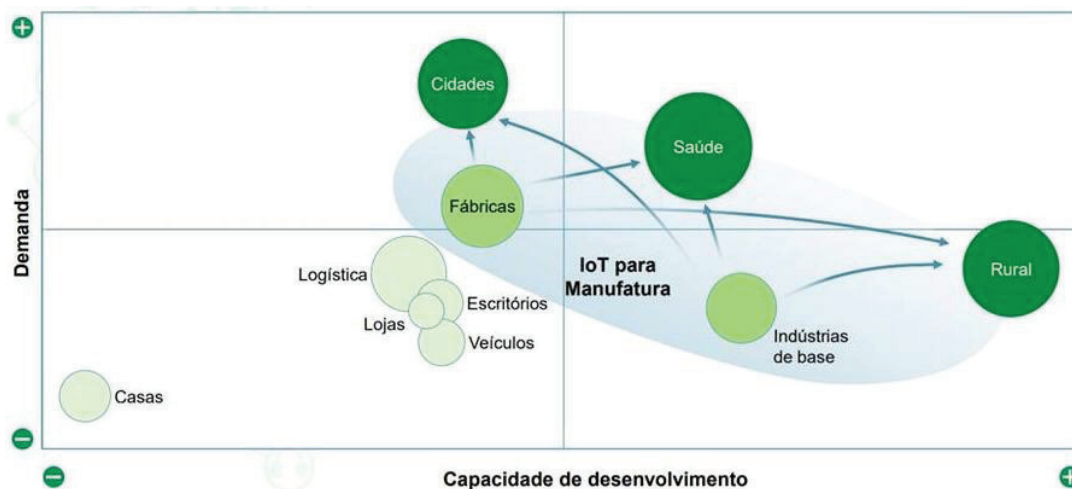
parecem ser dominadas pela ideia de uma propriedade rural transformada em uma "sala de controle" com muitos monitores de computador e um agricultor que toma as decisões "gerenciando a propriedade rural por trás dessas telas". O que falta à essa imagem é a possibilidade de que as novas tecnologias não são apenas em larga escala e dispendiosas. Elas podem também ser "lentas e precisas, menores e baratas", conforme descrito pelos especialistas. Por exemplo, enquanto hoje a maioria das máquinas para plantação, irrigação ou colheita precisam ser controladas pelos agricultores, existe uma certa quantidade de tempo (por dia) que essas máquinas podem operar. Isso pode mudar através da autonomia dos sistemas. Se o maquinário se torna autônomo, eles podem ter mais tempo (dia e noite, por exemplo) para executar as mesmas tarefas, mas de forma mais precisa e talvez até mais lenta.

Além disso, enquanto muitas pessoas imaginam grandes máquinas e robôs que operam a propriedade rural, já se vê, por exemplo, disponíveis tecnologias que empregam *drones* em versões pequenas e relativamente baratas. Além disso, nem todas as formas de AP devem ser baseadas em máquinas. Especialmente nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, encontram-se diversos exemplos de práticas de AP baseadas na utilização dos dados (Internet das Coisas, análise de dados), sendo que as tarefas de plantio, colheita e irrigação continuam sendo realizadas por pessoas. Existe, portanto, uma necessidade de transmitir melhor as imagens alternativas de agricultura futura no diálogo público, ao mesmo tempo que enfatiza seu potencial para propriedades rurais menores (European Union, 2016).

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) realizou e concluiu no último ano (2017) o estudo que traça o plano de ação para a IoT no Brasil. Esse estudo aponta que a agropecuária (assim como toda área rural) se destaca com grande visibilidade. De acordo com as prioridades do desenvolvimento de IoT no Brasil, ainda apesar da baixa demanda, a área rural apresenta maior capacidade de desenvolvimento (Figura 2.5).

Segundo o Censo Agro 2017 realizado pelo IBGE, considerando os anos entre 2006 e 2017, houve um crescimento de quase 50% do número de tratores em propriedades rurais apontando a grande mecanização agrícola. Houve também um enorme crescimento do acesso à internet, indo de 75 mil para 1,4 milhão, o que corresponde à um aumento de 1790% (IBGE, 2018).

Figura 2.5 – Análise de Demanda x Capacidade de desenvolvimento x Oferta (tamanho do círculo) para os desenvolvimentos em IoT



Legenda: Círculo em cor verde escuro representa a frente prioritária. Círculo em cor verde claro representa a frente mobilizadora.

Fonte: Consórcio BNDES (2017)

São diversos os protocolos de comunicação que podem ser utilizados em aplicações de IoT. Por ser um protocolo de mensagens leve, o MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) é amplamente adotado e foi desenvolvido para dispositivos com tenham algumas restrições (MQTT, 2017).

2.5.1 Protocolo de Comunicação MQTT

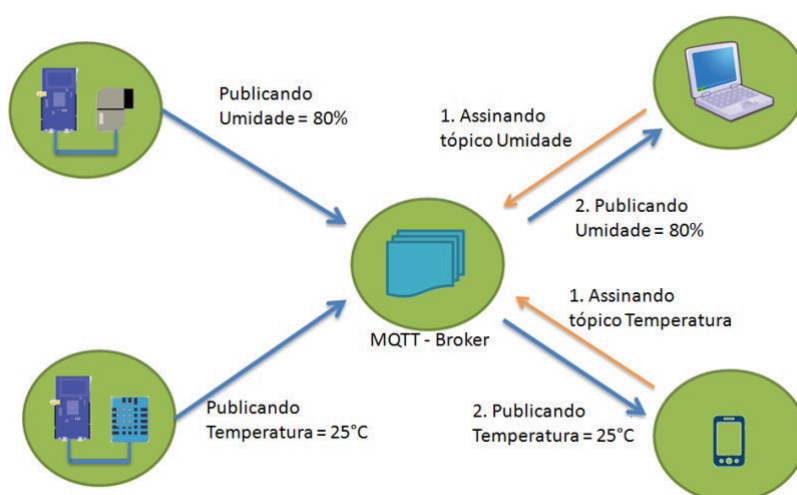
O protocolo de mensagens MQTT foi projetado para um baixo consumo de banda de rede e requisitos de *hardware* sendo extremamente simples e leve. O MQTT foi desenvolvido pela IBM e Eurotech e foi projetado para enviar dados através de redes intermitentes ou com baixa banda de dados, para isto o protocolo foi desenvolvido em cima de vários conceitos que garantem uma alta taxa de entrega das mensagens. Esses princípios tornam o protocolo ideal para a Internet das Coisas, onde a largura de banda e energia da bateria são requisitos de projeto. A segurança dos dados se dá com a utilização de um nome de usuário e senha. Técnicas de segurança adicionais podem ser adicionadas por aplicativo de criptografia de dados, mas isso não é algo embutido do protocolo, a fim de mantê-lo simples e leve (MQTT, 2017). Em 2014, o protocolo MQTT se tornou um padrão OASIS (certificado de padrão internacional que

leva o nome da própria organização - *Organization for the Advancement of Structured Information Standards*) (OASIS, 2014).

O protocolo MQTT utiliza o paradigma de comunicação *publish/subscribe* para a troca de mensagens. Esse paradigma utiliza um dispositivo central que intermedia toda a comunicação. Esse dispositivo intermediário, também conhecido como *middleware*, no caso do MQTT, é chamado de *broker*. O *broker* é responsável por receber, enfileirar e reenviar as mensagens recebidas dos *publishers* para os *subscribers*. O *publisher* é responsável por se conectar ao *broker* e publicar mensagens. O *subscriber* é responsável por se conectar ao *broker* e receber as mensagens que ele tiver interesse. A Figura 2.6 apresenta um esquemático da dinâmica de comunicação do protocolo MQTT.

O paradigma de comunicação utiliza o conceito de tópicos para transmitir e receber as mensagens, onde cada mensagem é enviada por um determinado tópico. Diferente de outros protocolos de mensagem, o *publisher* não envia a mensagem diretamente ao *subscriber*, mas sim ao *broker*. O *publisher* envia a mensagem para o *broker* em um determinado tópico. O *broker*, como dito anteriormente, é responsável por receber a mensagem do *publisher* e fazer uma pré-filtragem das mensagens e enviá-las para os *subscribers* que estiverem registrados em um determinado tópico.

Figura 2.6 – Comunicação MQTT



Legenda: O círculo central representa o *broker*. À esquerda, os dispositivos representados por círculos representam os *publishers*. Os círculos à direita representam os dispositivos *subscribers*. As setas representam os tópicos.

Fonte: Adaptação de AmebaIoT (2017)

O modelo de referência *Open Systems Interconnection* (OSI), desenvolvido pela ISO como um modelo para a arquitetura de um protocolo de comunicação de dados entre dois dispositivos, define sete camadas (TANENBAUM, 2003). São elas:

1. Física
2. Enlace de dados
3. Rede
4. Transporte
5. Sessão
6. Apresentação
7. Aplicação

O protocolo MQTT corresponde à camada de mais alto nível, isto é, a camada de Aplicação. Funciona através do TCP/IP, que correspondem às camadas de Transporte e Rede, respectivamente (TANENBAUM, 2003).

Quanto à qualidade do serviço de entrega de mensagens, o MQTT suporta três qualidades de níveis (MQTT, 2017), sendo eles:

- QoS = 0: significa que no máximo uma entrega será realizada. A mensagem é entregue de acordo com os recursos da rede subjacente. Nenhuma confirmação de recebimento é enviada pelo receptor e nenhuma repetição é realizada pelo remetente. O receptor recebe a mensagem uma vez ou não a recebe.
- QoS = 1: significa que pelo menos uma entrega será realizada. Essa qualidade de serviço garante que a mensagem chegue ao receptor pelo menos uma vez, mas há uma probabilidade de duplicação de mensagens do lado do receptor. Se o remetente não recebeu do *broker* a confirmação de entrega da mensagens, ele envia a mensagem novamente. Após a mensagem duplicada ser recebida pelo *broker*, o último a envia novamente para todos os receptores.
- QoS = 2: significa que exatamente uma entrega será realizada. Esta é a mais alta qualidade de serviço. É usado quando nem a perda nem a duplicação de mensagens são aceitáveis.

Se a qualidade do serviço escolhida for 1 ou 2, todos os *subscribers* que estão inscritos em um determinado tópico, que se desconectarem por algum motivo, receberão todas as mensagens assim que estiverem conectados novamente.

Para coletar dados sobre o campo para análise contínua e para o desenvolvimento e implantação de tecnologia inteligente para o setor agrícola buscando a melhoria da sustentabilidade ambiental e agrícola, e melhoria na rastreabilidade das culturas, Pooja et al. (2017) propõem um sistema baseado em IoT que utiliza o MQTT como protocolo de comunicação. Pooja et al. (2017) consideraram o MQTT como um protocolo leve e muito flexível para o uso no controle e monitoramento de parâmetros ambientais. Propuseram que para um produto final, os dados ambientais fossem apresentados ao usuário de uma maneira mais amigável por meio de gráficos interativos.

2.6 Plataformas de desenvolvimento

Para Alves et al. (2013), as plataformas de desenvolvimento são ferramentas de prototipagem eletrônica de custo acessível e flexível. Estas plataformas são uma base funcional para o desenvolvimento de sistemas. A complexidade destas plataformas variam de acordo com a aplicação à qual se propõem. Podem ser classificados em sistemas microprocessados, como os computadores de placa única, ou microcontrolados, como o NodeMCU.

2.6.1 Computadores de Placa Única

Um computador de placa única (também conhecidos por *Single Board Computers* - SBC) é um computador completo construído sobre uma única placa de circuito, com microprocessador, memórias volátil e não-volátil, pinos de entrada e saída (GPIO), barramentos e outros elementos funcionais de um computador. Os SBCs foram feitos para uso em sistemas de prototipagem e/ou desenvolvimento, para sistemas educacionais ou para uso como computadores embarcados.

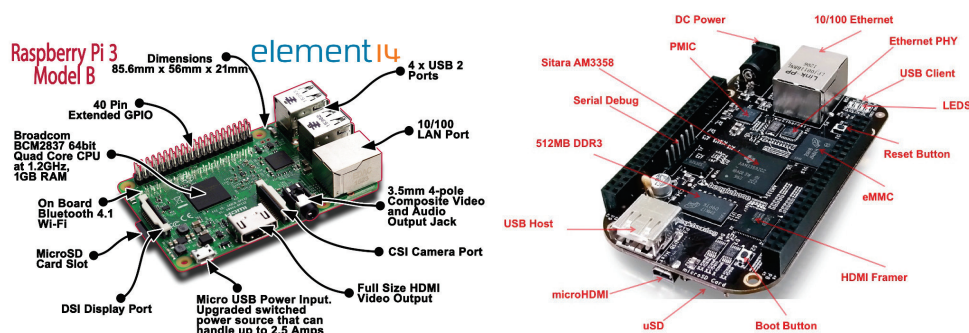
Ao contrário de um computador pessoal de mesa (computadores *desktop*), computadores de placa única não possuem *slots* de expansão para memórias e acréscimo de periféricos. Possuem *hardware* enxuto para atender a propósitos específicos. Existem ainda os computadores em módulo. Estes são um tipo de computador de placa única que se conecta a uma placa de suporte ou base para expansão do sistema.

Os SBCs tornaram-se possíveis devido ao aumento da densidade dos circuitos integrados. Uma configuração de placa única reduz o custo total do sistema reduzindo o número de placas de circuito e eliminando conectores e circuitos de *driver* de barramento que, de outra forma, seriam utilizados.

Os computadores de placa única oferecem uma plataforma embarcada "pronta para uso", permitindo o desenvolvimento de qualquer produto a partir de sua configuração. Isto reduz o tempo e custo de projeto, considerando que o desenvolvimento é realizado diretamente sobre o produto final. No entanto, SBCs apresentam duas grandes limitações. Em primeiro lugar, estas plataformas não podem ser modificadas para acomodar processadores mais recentes já que a CPU e os periféricos estão integrados em uma única placa. Em segundo lugar, não é possível personalizar um SBC, uma vez que tanto o processador quanto os periféricos estão permanentemente atrelados ao projeto do *hardware* (TORADEX, 2017).

Dois exemplos de computadores de placa única, amplamente difundidos no mundo, são o Raspberry Pi, que atualmente está na versão 3 modelo B, e a BeagleBone, que fornece placas para tipos específicos de aplicação, como é o caso da BeagleBone Black. Ambas são apresentadas na Figura 2.7 com a indicação de seus elementos de *hardware*. Mais detalhes do Raspberry Pi são apresentados na subseção 2.6.1.1.

Figura 2.7 – Exemplos de computadores de placa única atuais



Fonte: (a) RaspberryPi (2017) e (b) BeagleBone (2017)

2.6.1.1 Raspberry Pi

O Raspberry Pi é um computador de placa única desenvolvido no Reino Unido pela empresa *Raspberry Pi Foundation* para promover, inicialmente, o ensino básico da informática nas escolas e nos países em desenvolvimento (CELLAN-JONES, 2011).

O modelo e a ideia originais tornaram-se muito mais populares do que o previsto, extrapolando o mercado-alvo e chegando, inclusive, à aplicações em robótica.

De acordo com a empresa desenvolvedora, mais de 5 milhões Raspberry Pis foram vendidos antes de Fevereiro de 2015 (em apenas 3 anos, desde o lançamento em 2012), tornando-se o computador britânico mais vendido (GIBBS, 2015). Até 2017, em 5 anos de lançamento, haviam sido vendidas 12,5 milhões de unidades (Raspberry Pi Foundation, 2017).

O modelo mais recente é o Raspberry Pi 3 modelo B é composto por um microprocessador *Broadcom BCM2837B0 quad core* de 64 bits, 1,4 GHz de *clock* e 1 Gb de memória RAM. Possui módulos *Bluetooth* e *Wi-Fi* embutidos e *slot* de cartão de memória SD para armazenamento do Sistema Operacional para sistemas Linux. Quanto aos conectores contêm 1 porta HDMI, 4 portas USB 2.0, 1 porta RJ-45 para *Ethernet* e barramento GPIO (General Purpose Input/Output - Pinos de Entrada/Saída para Propósitos Gerais) de 40 pinos.

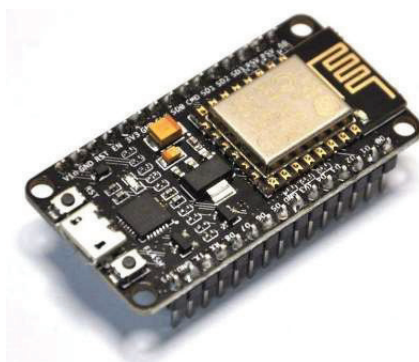
2.6.2 NodeMCU

NodeMCU é uma plataforma *open source* que tem sido muito utilizada em projetos de Internet das Coisas. Nativamente, ela utiliza a linguagem de *script* Lua, mas permite a programação através da IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino (NODEMCU, 2017).

É um ambiente completo de *hardware* e *software* para prototipagem IoT constituído por uma placa controladora, composta de um módulo ESP8266, 10 GPIOs operando no nível de tensão de 3,3V e uma entrada analógica operando em 1,8V. Dentre as vantagens em relação à outras plataformas, pode-se citar o baixo custo, o suporte integrado para rede *Wi-Fi*, o tamanho reduzido da placa e baixo consumo de energia. Já entre as desvantagens, também em relação às outras plataformas, cita-se a pinagem reduzida e a documentação escassa. A Figura 2.8 apresenta o módulo NodeMCU.

Como se trata de uma placa de desenvolvimento *open-source*, todos os elementos da plataforma NodeMCU, tais como, documentação, esquemas eletrônicos e *software*, estão disponíveis de forma gratuita e, como o nome já diz, são de código aberto.

Figura 2.8 – Módulo NodeMCU



Fonte: NodeMCU (2017)

2.7 Tecnologia LoRa

As redes *Low Power Wide Area Networks* (LPWAN) têm sido muito empregadas na Internet das Coisas por suas características de pouco uso de banda, longo alcance de cobertura e baixo consumo energético. Dentre as tecnologias implementadas para esse tipo de rede está a tecnologia LoRa (*Long Range Radio*), gerida pela associação *LoRa Alliance* (COSSINI, 2016). A Figura 2.9 apresenta módulos LoRa e a antena utilizada.

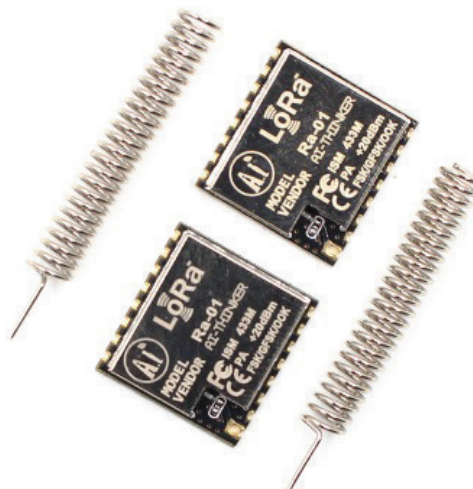
Como dito, a tecnologia LoRa destaca-se pelo longo alcance e essa é uma característica fundamental para muitas aplicações de Internet das Coisas. Em áreas urbanas, seu alcance é de 3 à 4 km. Já em áreas rurais o alcance é superior à 12 km (ALLIANCE, 2017).

O LoRa utiliza a técnica de modulação do sinal de rádio por espalhamento espectral, onde o sinal original é espalhado no campo da frequência (ALLIANCE, 2017). A utilização dessa técnica resulta no aumento da robustez do sinal à interferências externas.

A arquitetura do sistema e os parâmetros de comunicação utilizados pela tecnologia LoRa podem ou não serem definidos pelo protocolo LoRaWAN. Os detalhes de funcionamento, segurança, qualidade do serviço, ajustes de potência e os tipos de aplicações são implementados por este protocolo (COSSINI, 2016). Se utilizado o protocolo LoRaWAN, a comunicação pode ser realizada entre qualquer sistema LoRa, porém a não utilização desse protocolo não onera o desenvolvimento, apenas restringe ao sistema no qual está sendo utilizado.

A informação no LoRa é inserida várias vezes espalhada no espectro. Isso permite que, se por ventura existir interferência em uma pequena banda do espectro,

Figura 2.9 – Módulo LoRa



Fonte: Alliance (2017)

ainda assim o receptor consiga reconstituir a informação. Isso gera a alta sensibilidade e é um dos fatores que permitem a longa distância (ALLIANCE, 2017).

Qualquer produto que utilize rádio frequência deve ser certificado na ANATEL. Se o módulo já for certificado pela ANATEL e se o produto final utilizar esse módulo, então a certificação do produto final na ANATEL é simplificada. Por outro lado, se no produto final for utilizado um *hardware* novo, com rádio e demais componentes, então é preciso fazer a certificação completa, obedecendo as regras de potência máxima, dentre outras.

Segundo Associação Brasileira de Internet das Coisas (2017), a Anatel aprovou em junho de 2017 uma modificação importante no procedimento de medição da Densidade Espectral de Potência. Esta mudança visava avaliar adequadamente a modulação LoRa. Até então, a medição em vigor atendia adequadamente a todas as técnicas de modulação tradicionais, onde a distribuição da potência acontece por geração de harmônicos, mas gerava um valor artificialmente alto para canais modulados em LoRa, onde acontece uma varredura em frequência em cada um dos canais. A aprovação da mudança passou a permitir que tais equipamentos sejam certificados e operem em potências compatíveis com o que já se pratica no exterior, como na Austrália, dando ao Brasil condição de igualdade com os países de vanguarda em Internet das Coisas.

2.8 Desempenho de rede

A norma RFC 2544, de abrangência internacional, propõe e define os testes utilizados para descrever e comparar as características de desempenho dos dispositivos conectados à uma rede. Para a avaliação de dispositivos de comunicação, a norma propõe testes de desempenho que visam quantificar o desempenho do equipamento em diferentes cenários de utilização (BRADNER; MCQUAID, 1999).

Dentre esses testes destaca-se o teste de latência, que diz respeito ao tempo total que o último bit de um pacote de dados demora para ir da origem ao destino.

Uma das formas de realizar o cálculo de latência, segundo a norma, é fazer com que um pacote de dados de teste seja enviado pelo dispositivo de origem, recebido pelo dispositivo de destino e reenviado, por este último, ao dispositivo de origem. A latência é dada pela metade do tempo decorrido para o pacote de dados sair e voltar ao dispositivo de origem. Segundo Bradner e McQuaid (1999), a unidade que os valores de tempo de latência devem ser apresentados é microsegundos (μs).

Outro teste importante descrito pela norma RFC 2544 é o teste de perda de pacotes de dados. O valor encontrado nesse teste é definido como o número de pacotes de dados que foram transmitidos pela origem e não foram recebidos no destino (BRADNER; MCQUAID, 1999).

2.9 Sistema de Gerenciamento da Informação Agrícola

Segundo Inamasu et al. (2016), a automação agrícola tem sido organizada pela AEF (*Agricultural Industry Electronics Foundation*) que reúne cerca de 140 membros, sendo formado principalmente por empresas privadas e é liderada pelos maiores fabricantes de máquinas agrícolas. Os principais temas indicados pela AEF são a padronização de dados de comunicação e de controle entre tratores e implementos (onde o principal protocolo trabalhado é a norma ISO 11783); padrão para potência elétrica em máquinas agrícolas e padronização de dados e informação de FMIS (*Farm Management Information System* - Sistemas de Informação de Gerenciamento Agrícola).

O sistema FMIS é definido como um sistema de espinha dorsal de todas as demais Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) e da robótica no domínio da solução nos complexos agrícolas, pecuários e florestais. Um modelo conceitual de FMIS

proposto em Nikkilä, Seilonen e Koskinen (2010), Sørensen et al. (2010), Blackmore e Apostolidi (2011) que atendia às expectativas dos principais fabricantes foi adaptado pela AEF como início do processo de padronização. A Figura 2.10 apresenta uma ideia da interface apresentada por um Sistema de Gerenciamento.

Figura 2.10 – Painel de monitoramento típico de um FMIS



Fonte: Faleide (2017)

No Brasil, o movimento das Instituições de Ciência e Tecnologia explorando o assunto é incipiente, entretanto, não é difícil prever também que estarão presentes na medida em que sistemas informatizados avancem no campo gerando grandes quantidades de dados. Observa-se ainda que com o avanço da eletrônica embarcada em máquinas agrícolas, também será inevitável que a própria máquina seja fonte de dados (INAMASU et al., 2016; STEINBERGER; ROTHMUND; AUERNHAMMER, 2009).

Os processos de produção agrícola devem fornecer diversas variáveis de dados provenientes de diferentes equipamentos para serem monitorados por um FMIS. Contemplando a essência da Agricultura de Precisão, o FMIS deve oferecer suporte ao gerenciamento de informações geográficas e ter capacidade de relacionar parâmetros descritivos com informações de solo, atributos biológicos dos cultivos e parâmetros climatológicos (SOUSA et al., 2014; NIKKILÄ; SEILONEN; KOSKINEN, 2010; SØRENSEN et al., 2010).

A arquitetura do sistema proposto por Blackmore e Apostolidi (2011) é baseada na arquitetura orientada a serviços. A principal característica desse tipo de arquitetura é permitir que diferentes editores desenvolvam componentes para o FMIS que possam ser integrados a ele com o uso de nomenclaturas comuns.

O objetivo do FMIS atual é atender às crescentes demandas para reduzir os custos de produção, cumprir os padrões agrícolas e manter a alta qualidade e segurança

dos produtos. Fountas et al. (2015) apresentam uma comparação entre um sistema FMIS acadêmico e um comercial. O FMIS acadêmico apresentou particularidades mais sofisticadas que abrangem a conformidade com aplicativos padrão, captura de dados automatizada, bem como interoperabilidade entre diferentes pacotes de *software*. Por outro lado, o aplicativo FMIS comercial apresentou foco em tarefas cotidianas relacionadas a orçamento e finanças, manutenção de registros, gerenciamento de máquinas e documentação, e funções relacionadas à rastreabilidade, garantia de qualidade e vendas.

2.10 *Robot Operating System (ROS)*

Robot Operating System (ROS) é um *framework*, isto é, um conjunto de bibliotecas e ferramentas *open-source*, que auxiliam na construção de aplicações para robôs. É uma coleção de algoritmos e convenções que visam simplificar a tarefa de criar um comportamento complexo e robusto de robôs através de uma ampla variedade de plataformas robóticas. Suas aplicações vão de *drivers* até algoritmos e ferramentas de desenvolvimento para projetos de robótica complexos (ROS.ORG, 2017).

A principal vantagem da utilização do ROS é a facilidade gerada no desenvolvimento de *softwares* para sistemas robóticos, que viabiliza a reutilização de código e oferece uma interface modular e distribuída (ROS.ORG, 2017).

Moore e Stouch (2016) destacam que estimar a posição exata de um robô móvel é tarefa árdua e requer a fusão de muitos sensores. O *software* que executa a fusão dos sensores deve permitir a inclusão de todos os sensores que houverem na plataforma robótica. O pacote de *software* apresentado em seu trabalho para o ROS contém uma implementação do Filtro de Kalman Estendido (EKF) com suporte a um número ilimitado de entradas com dados provenientes de vários tipos de sensores.

Hax et al. (2012) discutem a viabilidade de usar o *framework* ROS como base para o desenvolvimento de um *middleware* no contexto da Internet das Coisas. Os principais conceitos de IoT e ROS são apresentados e seguidos pelos critérios de avaliação. Segundo eles, após avaliar o ROS como base para desenvolver um *middleware* para IoT concluiu-se que ROS suporta os critérios de instalação e alimentação; a comunicação direta entre nós permite maiores tamanhos de rede; há um gargalo na resolução de nomeação que pode ser resolvido com uma implementação automática de vários mes-

tres; permitem sincronização *multi-master* automática, para permitir várias instâncias de mestres, evitando esse gargalos de comunicação. Esta é uma característica chave, pois existe um número elevado de nós e mensagens esperadas em um ambiente IoT.

De acordo com o conceito de modularidade do sistema ROS, apresentado por Quigley et al. (2009), o ROS revela-se uma poderosa ferramenta para o desenvolvimento de sistemas embarcados.

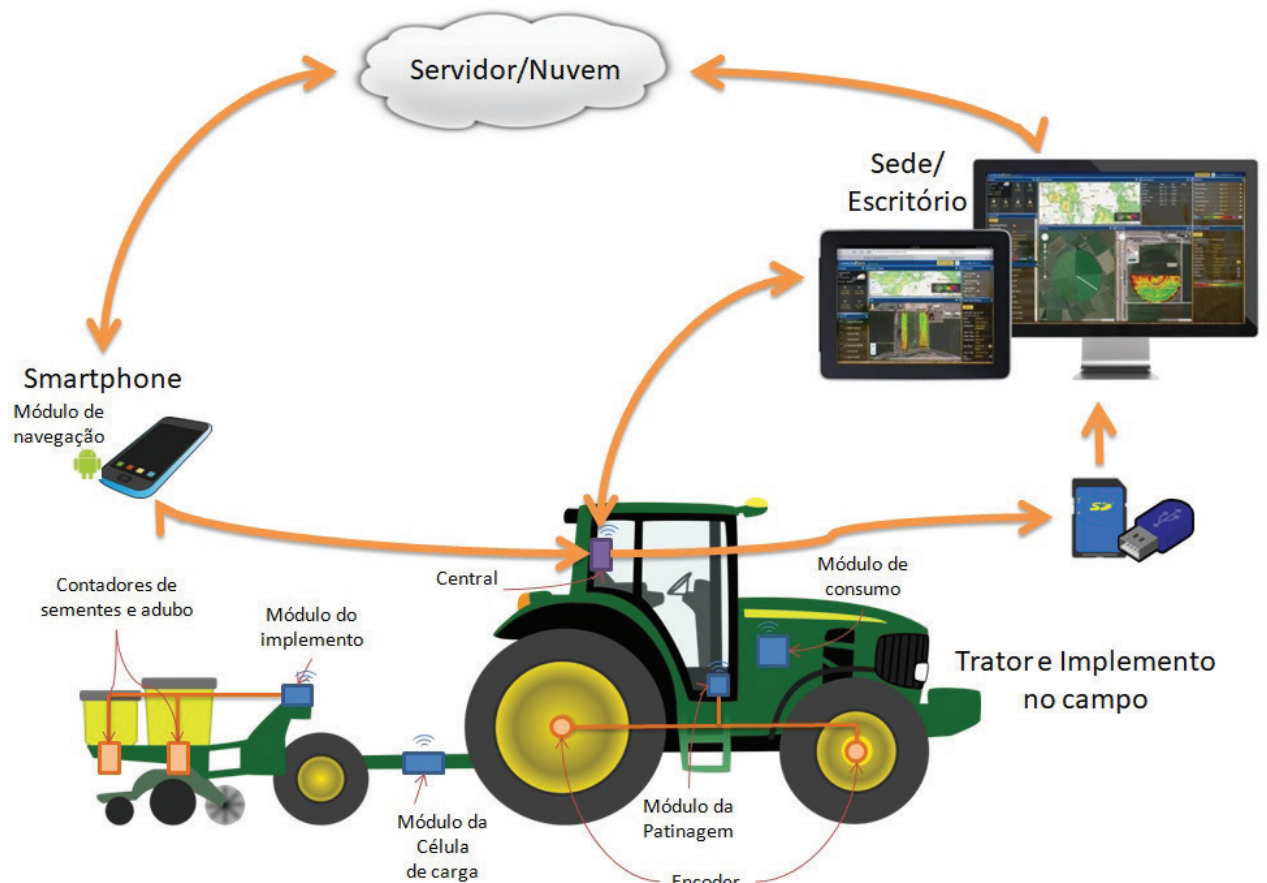
Assim como a IoT, o *Robot Operating System* (ROS) é uma ferramenta capaz de integrar diversos sistemas, sensores e atuadores e tem maior aplicabilidade dentro da engenharia de controle e robótica, sobretudo na área industrial. Em uma época em que a robótica cresce no meio agrícola (TABILE; INAMASU; PORTO, 2008; SOUSA et al., 2014), o ROS também ganha importância e visibilidade nesse meio.

Best et al. (2013) realizaram a classificação da cobertura do solo para favorecer o deslocamento de robôs móveis com a utilização de *Support Vector Machine* e com o algoritmo implementado no ROS. Para o sucesso de seu desenvolvimento, foi utilizada a taxa de amostragem das variáveis de entrada à 20 Hz.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este projeto consistiu na implementação da infraestrutura de uma rede sem fio capaz de integrar o maquinário agrícola e instalações rurais à sede/escritório da propriedade rural baseada nos conceitos de IoT. Consistiu ainda no desenvolvimento de uma central eletrônica instalada no trator capaz de monitorar diversos sensores e controlar atuadores no conjunto motomecanizado (trator-implemento) e interagir com o *smartphone* do operador e com a sede/escritório da propriedade rural. Assim, os elementos dessa rede são a central, os módulos periféricos, o *smartphone* utilizado pelo operador e o computador da sede/escritório da propriedade rural, apresentados na Figura 3.1. Cada elemento dessa rede é detalhado nas subseções seguintes.

Figura 3.1 – Diagrama da rede e elementos



Fonte: Autoria própria

3.1 Arquitetura da Rede

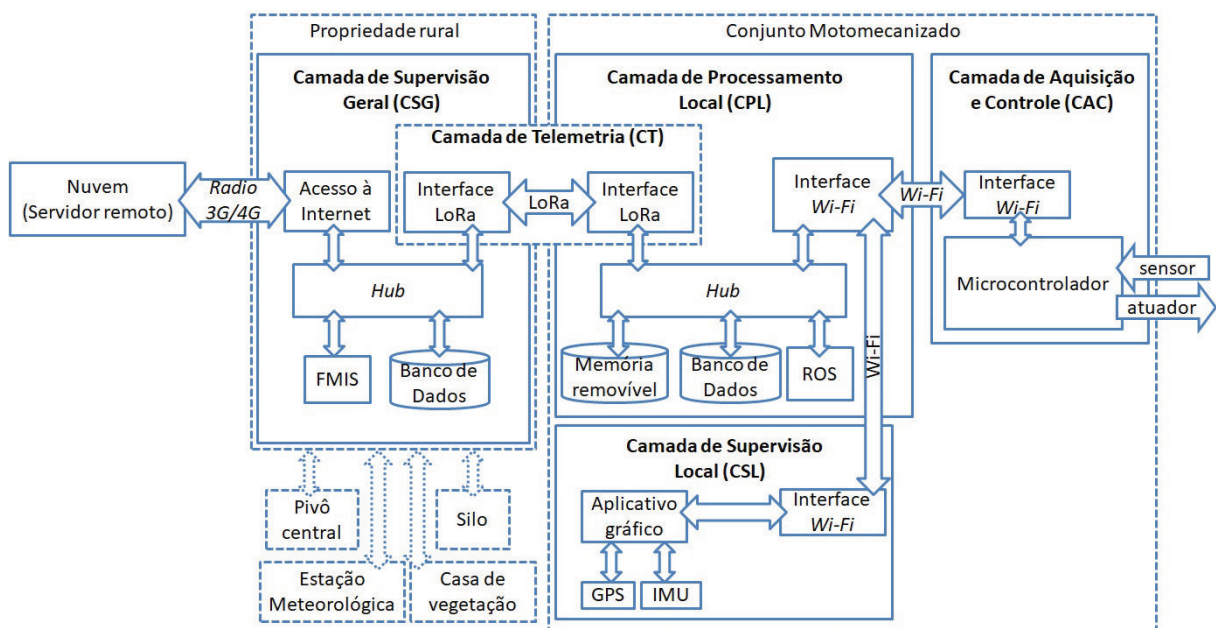
A fim de facilitar a compreensão do sistema, foi adotada uma arquitetura em camadas, apresentada na Figura 3.2, juntamente com os elementos da rede, as interfaces e o fluxo de dados. Na Figura 3.3 essa arquitetura é apresentada em forma de pirâmide, destacando os níveis hierárquicos das camadas. Por meio dessa representação, a integração entre o sistema embarcado proposto para o maquinário agrícola e o sistema de gerenciamento agrícola se torna mais elucidativa.

- Camada de Aquisição e Controle (CAC): é a camada que está ao nível do maquinário. É constituída por módulos periféricos microcontrolados. A aquisição de dados se dá pelo monitoramento de parâmetros específicos do funcionamento e operação do maquinário por meio de sensores. O controle, apesar de não implementado neste trabalho, pode se dar através de atuadores para cada parâmetro da máquina. Esta camada troca informações com a Camada de Processamento Local (CPL) por meio de uma interface *Wi-Fi* local;
- Camada de Processamento Local (CPL): também denominada de *gateway*, é baseada em uma central que, configurada como Ponto de Acesso *Wi-Fi* local, concentra localmente toda a informação do maquinário. Essa camada realiza o processamento dos dados coletados na Camada de Aquisição e Controle (CAC) e pode retornar sinais de controle para os atuadores; realiza o armazenamento dos dados em banco de dados local e em memória removível (*pen-drive*, cartão de memória ou similares); e disponibiliza tais dados para a Camada de Supervisão Local (CSL) via rede *Wi-Fi*. Para processamento e análise complexa de dados, nesta camada está disponível o *framework* ROS, que poderá ser utilizado para desenvolvimento de ferramentas de manipulação de dados e controle de processos. Realiza também a transmissão e recepção de dados entre a máquina agrícola e a sede da propriedade rural através da Camada de Telemetria (CT). Os blocos denominados *Hub* apresentados na Figura 3.2 representam unidades integradoras de dados e podem ser compreendidos como os próprios processadores dos sistemas computacionais das camadas;
- Camada de Supervisão Local (CSL): é a camada de interface com o operador. Recebe os dados provenientes da Camada de Processamento Local (CPL) e os

apresenta ao operador da máquina. Por meio desta camada, o operador pode enviar mensagens e receber diretrizes do gestor da propriedade rural;

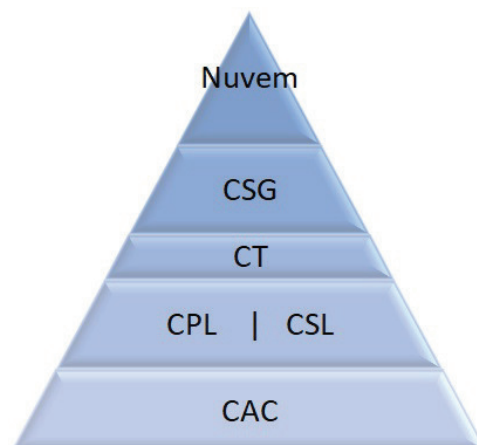
- Camada de Telemetria (CT): é constituída por módulos de rádio frequência de baixa potência e longo alcance, utilizando a tecnologia LoRa e que permite comunicação *full duplex*, onde um dispositivo transmissor e outro receptor podem transmitir dados simultaneamente em ambos os sentidos, isto é, a transmissão é bidirecional. Conecta a Camada de Processamento Local (CPL) à Camada de Supervisão Geral (CSG);
- Camada de Supervisão Geral (CSG): fica localizada na sede da propriedade rural e concentra informações de todo o gerenciamento do maquinário agrícola da propriedade e demais mecanismos e instalações rurais existentes, tais como silos, pivô central, estações meteorológicas, casas de vegetação, etc, que são indicações para possíveis expansões do sistema proposto. Apresenta ao gestor da propriedade de forma gráfica, por meio de *software* próprio, baseado nas linguagens HTML e PHP, as informações coletadas. Envia ordens de serviços aos operadores e envia os dados para a nuvem para acesso remoto, através de conexão à Internet, seja ela via rádio, 3G/4G ou similares.

Figura 3.2 – Arquitetura de integração entre o sistema embarcado do maquinário agrícola e o FMIS: elementos, interfaces e fluxo de dados



Fonte: Autoria própria

Figura 3.3 – Pirâmide da arquitetura do sistema



Fonte: Autoria própria

Da Subseção 3.1.1 à 3.1.5 cada Camada é apresentada de forma mais detalhada.

3.1.1 Camada de Aquisição e Controle (CAC)

A Camada de Aquisição e Controle é a camada de nível mais baixo. Analogamente, em uma planta industrial, ela corresponderia ao nível de chão de fábrica. Ela é composta por módulos periféricos. Os módulos periféricos são dispositivos com baixa capacidade de processamento computacional. Realizam a leitura de sensores e podem realizar o acionamento de atuadores a serem instalados no conjunto motomecanizado.

Cada módulo é dedicado à uma determinada tarefa do conjunto motomecanizado. Assim, podem existir os módulos de consumo, do implemento, da patinagem, do consumo, de navegação, dentre outros. São diversos os parâmetros que podem ser monitorados na máquina agrícola. Nesse projeto, optou-se por monitorar alguns parâmetros para atestar o funcionamento do sistema. Esses parâmetros, as unidades de medida utilizadas, o módulo periférico responsável por esse parâmetro e uma breve descrição são listados na Tabela 3.1. O diagrama da Figura 3.1 apresenta, sobre a figura do trator, alguns desses possíveis módulos.

Foram utilizadas placas de desenvolvimento NodeMCU versão 0.9, devido sua interface *Wi-Fi*. Através dessa interface e configurados como clientes, esses módulos se comunicam à central (ou *gateway*), enviando e recebendo dados utilizando o protocolo de comunicação MQTT. Podem ser alimentados por bateria alcalina ou por cabo proveniente do *drive* de potência da central.

As Subseções seguintes descrevem detalhadamente cada módulo periférico, os sensores utilizados e a forma de obtenção dos parâmetros.

Tabela 3.1 – Parâmetros a serem monitorados

Nome do parâmetro	Unidade	Módulo	Descrição
patinagem	%	Patinagem	Patinagem instantânea que o trator está sofrendo.
consumo	$L.h^{-1}$	Consumo	Consumo instantâneo de combustível.
latitude_gps	° ' "	Navegação	Latitude obtida pelo GPS do <i>smartphone</i> .
longitude_gps	° ' "	Navegação	Longitude obtida pelo GPS do <i>smartphone</i> .
altitude_gps	m	Navegação	Altitude em relação ao nível do mar obtida pelo GPS do <i>smartphone</i> .
velocidade_gps	m/s	Navegação	Velocidade de deslocamento medida por meio do GPS do <i>smartphone</i> .
precisao_gps	° ' "	Navegação	Precisão das medições do GPS do <i>smartphone</i> .
acelX	m/s^2	Navegação	Aceleração do trator no eixo X medida pelo IMU do <i>smartphone</i> .
acelY	m/s^2	Navegação	Aceleração do trator no eixo Y medida pelo IMU do <i>smartphone</i> .
acelZ	m/s^2	Navegação	Aceleração do trator no eixo Z medida pelo IMU do <i>smartphone</i> .
qtd_sementes	unid.	Semeadora/Adubadora	Quantidade de sementes depositadas na operação.
qtd_sementes_min	unid.	Semeadora/Adubadora	Quantidade de sementes depositadas na operação por minuto.
qtd_sementes_ha	unid.	Semeadora/Adubadora	Quantidade de sementes depositadas na operação por hectare.
qtd_adubo	unid.	Semeadora/Adubadora	Quantidade de adubo depositado na operação.
qtd_adubo_min	unid.	Semeadora/Adubadora	Quantidade de adubo depositado na operação por minuto.
qtd_adubo_ha	unid.	Semeadora/Adubadora	Quantidade de adubo depositado na operação por hectare.

Fonte: Autoria própria

3.1.1.1 Módulo da patinagem

Este módulo foi baseado no experimento de Correa Junior (2017). Foram utilizados *encoders* rotacionais sustentados por suportes e com seus eixos acoplados ao centro dos rodados, conforme apresentado na Figura 3.4. Para cada volta completa do eixo, o *encoder* gera em sua saída digital 500 pulsos. A placa Arduino recebe os sinais dos *encoders* e executa o processamento dos sinais. Com a tração dianteira desacionada, considera-se o deslocamento realizado pelos rodados dianteiros como referência de distância real percorrida pelo trator.

Figura 3.4 – Instalação dos *encoders* no trator



A patinagem dos rodados motrizes é determinada pela equação:

$$P = \frac{N_1 - N_2}{N_1} \cdot 100, \quad (3.1)$$

onde P é a patinagem dos rodados motrizes do trator, em porcentagem; N_1 é o número de pulsos na condição sem carga (rodados dianteiros) dentro da parcela durante o deslocamento do trator; e N_2 é o número de pulsos na condição com carga (rodados traseiros) dentro da parcela durante o deslocamento do trator.

Esta abordagem foi validada em Correa Junior (2017). Com a utilização de dois tratores acoplados, sendo um para tração e outro para frenagem, foi medido o tempo e distância decorridos em um percurso, conforme apresentado na Figura 3.5. Tal

medição foi repetida diversas vezes variando a parcela, o esforço do trator de frenagem e o preparo do solo. Foram aplicados os métodos de cálculo de patinagem tradicional (Equação 3.1) e o sistema de medição proposto. Ao analisar os dados gerados por meio de delineamento em blocos casualizados, constatou-se que o sistema proposto é condizente com o procedimento de cálculo de patinagem tradicional.

Figura 3.5 – Configuração dos tratores para ensaio de tração. À esquerda, trator da marca Agrale, utilizado como "freio", sendo arrastado. À direita, trator da marca Valtra utilizado para tração.



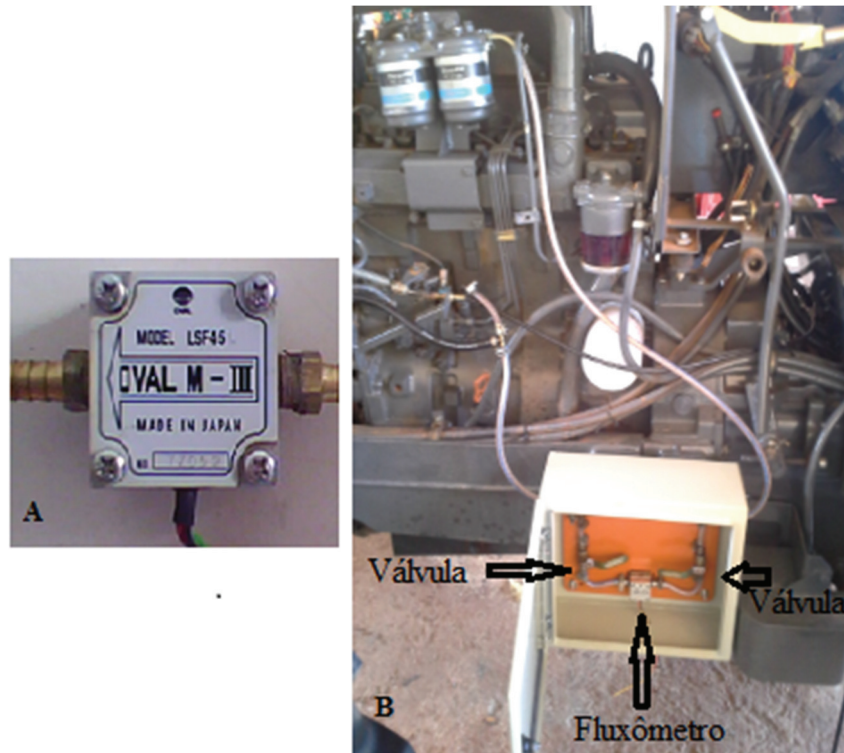
Dessa forma, algumas alterações no módulo proposto em Correa Junior (2017) foram implementadas neste trabalho sem que resultados de validação pudessem ser alterados. Para este trabalho, o Arduino foi substituído pelo NodeMCU devido sua interface *Wi-Fi*, o módulo *Bluetooth* foi retirado pela adoção da tecnologia *Wi-Fi* em substituição à tecnologia *Bluetooth*, e o módulo de cartão SD também foi retirado para realizar o armazenamento dos dados centralizado em apenas um local, na Camada de Processamento Local.

3.1.1.2 Módulo de consumo

O sistema de medição é baseado nos experimentos de Correa Junior (2017), Alonso (2016) e Russini (2009). A medição do consumo foi realizada por meio de um fluxômetro enviando sinais a um Arduino. Para o modelo de fluxômetro utilizado (LSF 45, da marca Oval M-III), quanto maior o fluxo, maior a rotação das engrenagens e maior a quantidade de pulsos digitais na saída.

Para a leitura do consumo de combustível, o fluxômetro foi inserido após os filtros de combustível. Todos os retornos do sistema de combustível foram recolocados após o sensor, evitando medições equivocadas, conforme Figura 3.6.

Figura 3.6 – Instalação do fluxômetro



A relação entre fluxo e pulso obedece a razão de 1mL por pulso. Sendo assim:

$$C = \frac{3,6.N_p}{t}, \quad (3.2)$$

onde C é o consumo; N_p é a quantidade de pulsos gerados pelo fluxômetro; t é o tempo decorrido para gerar os N_p pulsos; e 3,6 é uma constante para conversão da unidade. Nota-se que a maneira mais comum de representar o consumo é unidades de volume por unidade de tempo ($L.h^{-1}$).

Esta abordagem foi validada em Alonso (2016). Segundo o autor, esse sensor fornece o valor de consumo de combustível de forma direta. Para a verificação da calibração, Alonso (2016) realizou um experimento prévio para comprovação dos valores fornecidos pelo fluxômetro. Para seu experimento foi construída uma bancada de ensaio em madeira. O objetivo foi avaliar e aferir o fluxômetro durante passagem de combustível pelo sistema.

Em trabalhos de campo, Correa Junior (2017) utilizou esse fluxômetro instalado em um trator da marca Valtra e obteve medições condizentes com Alonso (2016).

Para este trabalho, o Arduino também foi substituído pelo NodeMCU, devido a interface *Wi-Fi*, sem que resultados de validação pudessem ser alterados.

3.1.1.3 Módulo do implemento

Tanto o sistema de gerenciamento quanto o sistema embarcado permitem a utilização de módulos de implementos para quaisquer tipos de implementos que estejam acoplados ao trator. Esses módulos podem desempenhar diversas funções referentes às operações agrícolas, sendo elas: preparo do solo, plantio, cultivo ou colheita, incluindo colheita seletiva.

Para este trabalho foi desenvolvido um módulo para uma semeadora-adubadora de distribuição em 2 linhas da marca Baldan, apresentado na Figura 3.7. O objetivo foi monitorar a quantidade de sementes e adubo presentes nos reservatórios e contar a quantidade desses insumos depositados no solo ao longo da operação de plantio. Assim como todo o sistema, este módulo envia os dados obtidos à Camada de Supervisão Local para avaliação do operador e o alerta sobre obstrução nos tubos condutores.

Figura 3.7 – Impemento Semeadora/Adubadora



Para tornar clara a compreensão do funcionamento da semeadora, a Figura 3.8 apresenta um *layout* com o detalhamento de suas principais partes (GARCIA, 2007).

As etapas do processo de semeadura inicia-se com a abertura do sulco. As sementes devem ser colocada abaixo da superfície do solo para que se tenha uma

germinação adequada. Para isto, o equipamento de semeadura deve possuir um mecanismo para a abertura do solo, ou sulcador, indicado pelo número 5 na Figura 3.8.

Em seguida é realizada a dosagem das sementes, que é considerada uma das principais funções de qualquer semeadora. Existem o sistema de dosagem de linha de precisão, de linha contínua, de fluxo de ar e a lanço. A semeadora utilizada neste trabalho utiliza a dosagem de sementes em linha de precisão, onde a função é selecionar as sementes individualmente do depósito numa taxa predeterminada. Para esse sistema de dosagem, os principais mecanismos são disco dosador, dedos preensores e disco dosador por ar (de pressão e de vácuo). O sistema de dosagem da semeadora utilizada é o disco dosador, indicado pelo número 4 na Figura 3.8.

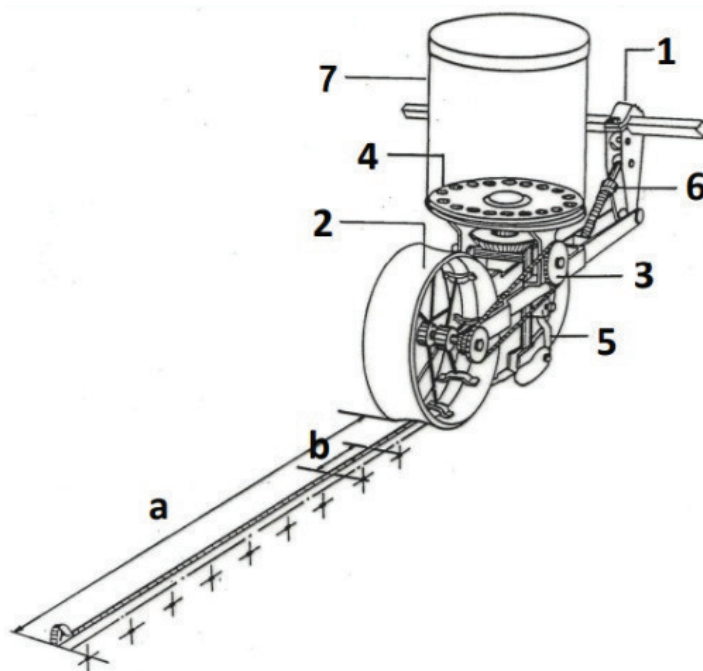
Esse disco possui aberturas (ou células) e gira no fundo do depósito de sementes. Assim que o disco gira, as sementes caem em suas células. Abaixo desse disco, em um ponto específico, há um orifício e, abaixo deste, um duto. Quando a célula com semente alinha com esse orifício, a semente cai, percorre o duto e chega ao solo.

Por fim, a semeadora cobre o sulco para cobrir as sementes. Os principais mecanismos de cobertura do sulco são enxada, chapa, disco ou corrente. Na Figura 3.8, a cobertura do sulco é realizada pelo disco indicado pelo número 2.

Foram implementados três sistemas para detecção dos insumos baseados em sensores ópticos, sendo um reflexivo e dois por obstrução de feixe de luz.

O sistema baseado em sensor reflexivo (aqui abreviado por SRFL), é constituído por um sensor (apresentado na Figura 3.9) capaz de medir a distância entre sua posição e uma barreira por meio da emissão e reflexão de um feixe de luz infravermelho. Foi instalado no duto de aplicação de insumos. Quando uma semente ou adubo (grãos) passa pelo duto de aplicação de insumo da semeadora/adubadora no solo, o sensor detecta a passagem da semente/adubo pela variação da distância medida. Isso gera uma interrupção no microcontrolador do módulo periférico do implemento e sinaliza para a contagem de uma semente/adubo depositada no solo.

O sistema baseado em obstrução de feixe de luz (abreviado por SOFL) é constituído por emissores e receptores alinhados frontalmente para que o feixe de luz do emissor atinja diretamente o receptor. Quando uma semente/adubo passa pelo duto de aplicação de insumo da semeadora/adubadora no solo, ocorre a interrupção do feixe de luz do emissor incidente sobre o receptor. Isso também gera uma interrupção no

Figura 3.8 – *Layout* da semeadora

Legenda: Indicações na Figura: (1) barra porta ferramentas; (2) roda motriz e compactadora; (3) mecanismo dosador; (4) disco horizontal alveolado; (5) sulcador de sementes; (6) regulagem de nível da linha; (7) reservatório de sementes; (a) distância percorrida equivalente a uma volta da roda motriz; (b) distância entre sementes.

Fonte: Adaptação de Gadanha Júnior (2014)

Figura 3.9 – Sensor óptico reflexivo



microcontrolador do módulo periférico do implemento e sinaliza para a contagem de uma semente/adubo depositada no solo.

No SOFL foram utilizados sensores infravermelhos, tanto LED quanto foto-receptores. Foram também instalados 3 pares desses emissores e foto-receptores, para ampliar a área de detecção. A Figura 3.10 apresenta o duto que a semente ou adubo

percorrem em direção ao solo, que tem aproximadamente 40 cm de comprimento. A Figura 3.11 apresenta em destaque o local onde o duto é alocado.

A Figura 3.12 apresenta um diagrama com a representação da metodologia para detecção da semente. Ao centro dessa Figura, tem-se a representação do duto com destaque para uma vista interna. À direita na parte superior tem-se o sensor reflexivo que emite um feixe de luz adentro do duto por um orifício lateral e, ao encontrar-se com uma semente, é refletido de volta ao sensor, incrementando assim, a contagem de sementes. Abaixo, ainda na mesma Figura, tem-se três LEDs que emitem seus feixes de luz também para dentro do duto por meio de orifícios laterais. No lado oposto do duto há três foto-receptores que captam esses feixes. Caso uma semente percorra o duto, algum feixe de luz se interromperá. A ausência do feixe no foto-receptor indica a passagem da semente.

A Figura 3.13 apresenta o esquemático da ligação dos LEDs e foto-receptores e a Figura 3.14 apresenta os sensores, com os emissores e receptores desenvolvidos neste trabalho.

No SOFL, a ligação dos emissores foi feita em paralelo, utilizando 3,3V de alimentação. Os receptores foram ligados em série. Para verificar a eficiência da leitura do sinal dos receptores sem a adição de circuito amplificador, testou-se a utilização das portas digital e analógica da placa. A passagem de insumos pelo tubo deveria interromper o feixe infravermelho e modificar o nível da leitura feita pelo receptor em uma faixa de valores analógicos.

Além da detecção de deposição dos insumos, foi realizada a medição de nível do reservatório de insumos. Para isso foi utilizado um sensor ultrassônico, do tipo HC-SR04. Esse sensor utiliza o tempo decorrido entre a emissão e recepção de pulsos ultrassônicos e calcula a distância entre seu local de instalação e a barreira que gerou a reflexão do pulso. Com a instalação desse sensor na tampa do reservatório, conforme apresentado na Figura 3.15, pretendeu-se medir a distância entre a tampa e a superfície dos insumos do reservatório. Essa distância aumenta de acordo com que o reservatório se esvazia.

Nesse trabalho foi utilizada a placa NodeMCU para leitura dos sensores, processamento dos dados e comunicação com a Camada de Processamento Local.

Figura 3.10 – Duto de aplicação dos insumos



Fonte: Autoria própria

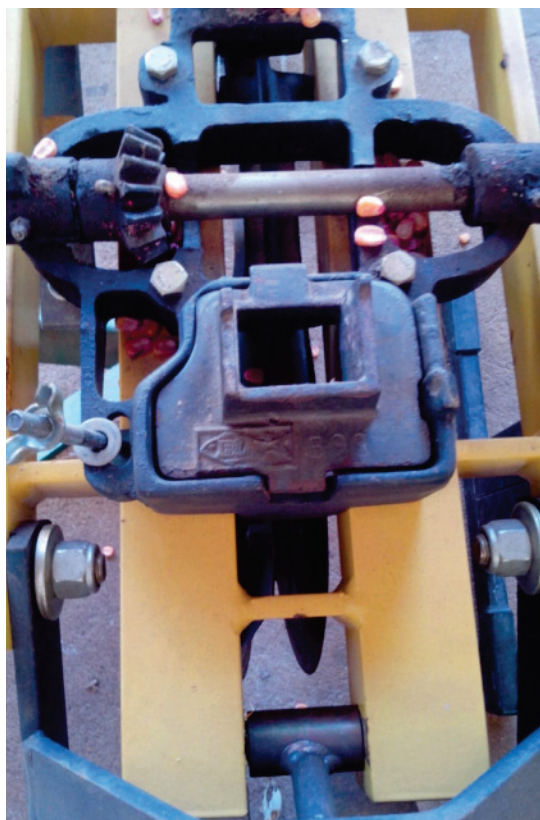
3.1.1.4 Módulo de navegação

O módulo de navegação é responsável pela aquisição da posição geográfica atual por meio de um GPS e da aceleração própria do trator por meio do Acelerômetro de sua Unidade de Medição Inercial (*Inertial measurement unit* - IMU).

Os dados da posição geográfica são importantes, pois, com eles, a Camada de Supervisão Geral é capaz de gerar e acompanhar a trajetória do trator durante a operação em tempo real.

Optou-se por utilizar o *smartphone* com sistema operacional Android que já possua os módulos de GPS e Acelerômetro, além de própria bateria. O *smartphone* permanece ligado executando um aplicativo ininterruptamente durante todo o funcionamento do maquinário. A aquisição dos dados do GPS e do Acelerômetro se dá

Figura 3.11 – Destaque de alocação do duto na semeadora



Fonte: Autoria própria

por meio do mesmo aplicativo da Camada de Supervisão Local (CSL), detalhado na Subseção 3.1.2.

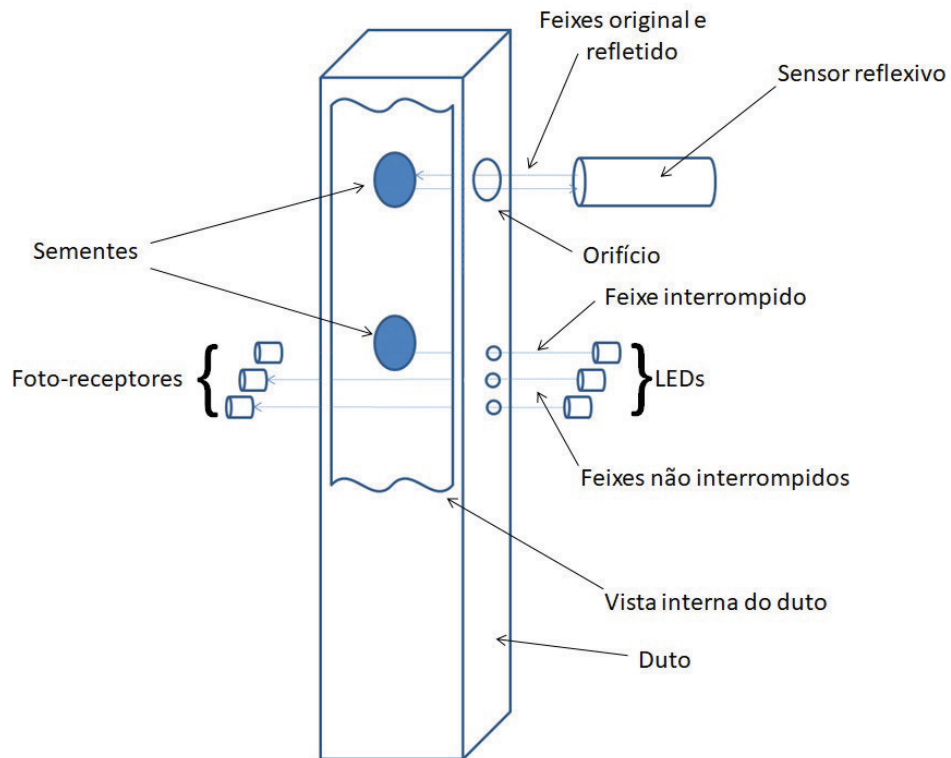
O *smartphone* utilizado foi o Asus Zenfone A501. A especificação do Acelerômetro é apresentada na Tabela 3.2.

A aceleração pode ser tratada como um vetor que indica a orientação do dispositivo, mais precisamente *pitch* (inclinação), *roll* (rotação) e *yaw* (rolagem). Quando aciona-se o Acelerômetro, a aceleração de 1g da gravidade é distribuída entre os três eixos. Com isso, é possível calcular o ângulo do acelerômetro em cada um dos três eixos.

A Figura 3.16 apresenta a geometria cartesiana simplificando o Acelerômetro à uma análise no plano bidimensional. As relações trigonométricas obtidas são apresentadas nas seguintes equações:

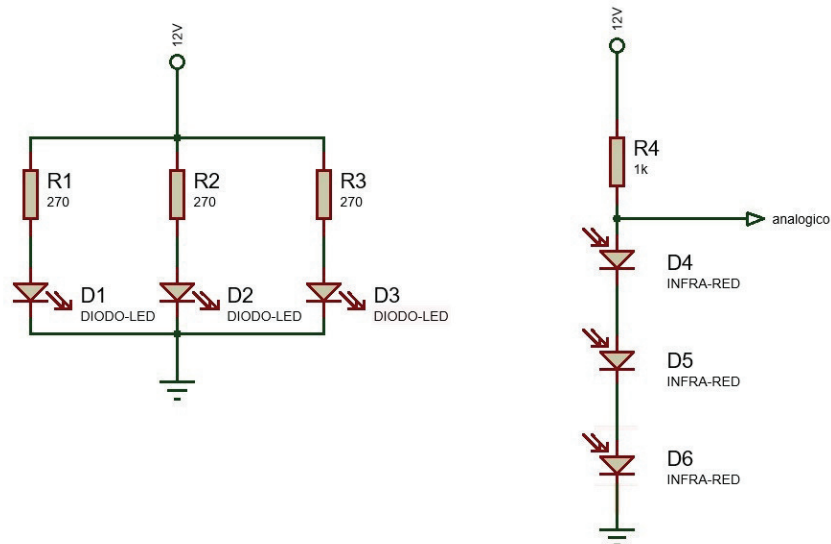
$$\tan \theta = \frac{x}{z} \quad (3.3)$$

Figura 3.12 – Diagrama com representação da metodologia para detecção de sementes



Fonte: Autoria própria

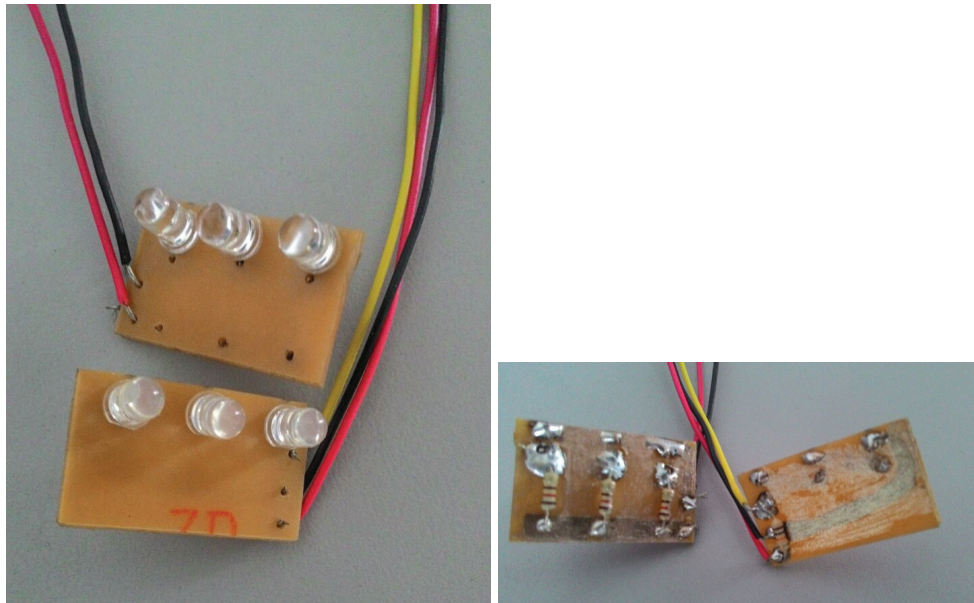
Figura 3.13 – Esquemático dos sensores da semeadora. À esquerda, o circuito para acionamento dos LEDs; à direita o circuito para leitura dos foto-receptores.



Fonte: Autoria própria

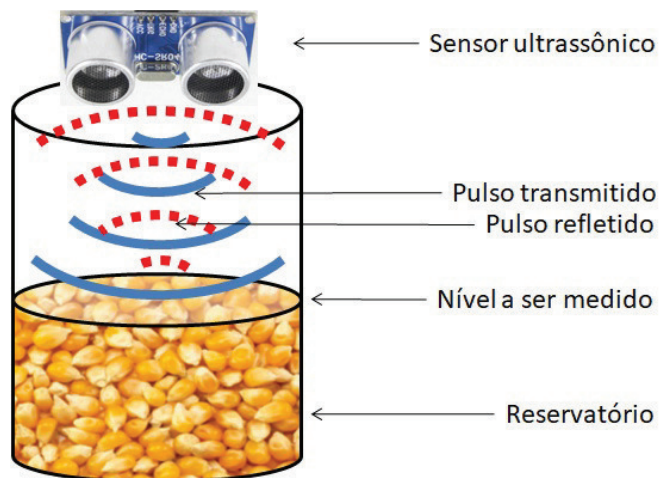
$$\theta = \tan^{-1} \frac{x}{z} \quad (3.4)$$

Figura 3.14 – Placas dos circuitos impressos do sensor: (a) emissores (acima) e receptores (abaixo) frente; (b) emissores (à direita) e receptores (à esquerda) verso.



Fonte: Autoria própria

Figura 3.15 – Diagrama com representação da metodologia para medição de nível do reservatório.

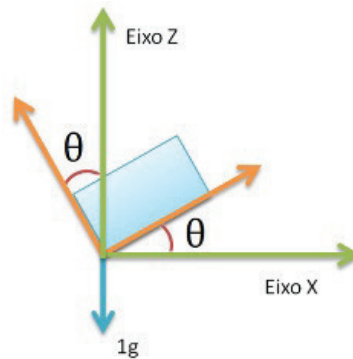


Fonte: Autoria própria

Tabela 3.2 – Especificação do Acelerômetro

Descrição	Valor
Nome	<i>KXTJ9 3-axis Accelerometer</i>
Consumo energético	0,570 mA
Resolução	0,014 °
Range	até $\pm 8,0 g$
Min. Delay	20000 μs

Figura 3.16 – Inclinação considerando dois eixos



Fonte: Adaptação de Sabatini e Genovese (2014)

Para obter a melhor precisão ao medir a inclinação por meio do Acelerômetro, devem-se usar os três eixos para determinar o ângulo. Então, extrapolando a análise do plano cartesiano bidimensional para tridimensional, tem-se a função arco tangente utilizada para calcular o ângulo entre dois eixos, conforme apresentado por:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{x}{\sqrt{z^2 + y^2}} \quad (3.5)$$

Com a Equação 3.5 pode-se calcular o ângulo entre o vetor de gravidade e o eixo X. Dependendo de como o Acelerômetro é colocado na superfície (ou no trator, como neste projeto), o ângulo pode ser denominado como *pitch*, *roll* e *yaw*, por isso, é preciso determinar quais eixos serão considerados.

Neste caso, será calculado o *pitch*, *roll* e *yaw* pelas seguintes equações:

$$Pitch = \tan^{-1} \frac{x}{\sqrt{z^2 + y^2}} \quad (3.6)$$

$$Roll = \tan^{-1} \frac{y}{\sqrt{z^2 + x^2}} \quad (3.7)$$

$$Yaw = \tan^{-1} \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (3.8)$$

3.1.2 Camada de Supervisão Local (CSL)

A Camada de Supervisão Local realiza a interface entre o operador e os parâmetros operacionais do maquinário, isto é, ela consiste da Interface Homem-Máquina (IHM).

Por meio de um aplicativo Android desenvolvido neste trabalho especificamente para esta finalidade, instalado em um *smartphone* e sendo executado interruptamente durante a operação, foi possível receber os dados do funcionamento do sistema em tempo real e instruções gerenciais provenientes da sede da propriedade rural e os exibir ao operador.

O *smartphone* foi configurado como cliente para acessar a rede *Wi-Fi* gerada da Camada de Processamento Local, da qual recebe os dados medidos e processados.

Este aplicativo também é responsável pela aquisição dos dados do GPS e do Acelerômetro, como descrito anteriormente na Subseção 3.1.1.4, compondo o Módulo de Navegação.

Ele foi desenvolvido utilizando o programa *Android Studio*, que é a IDE (*Integrated Development Environment*) oficial para desenvolvimento de aplicativo Android. Este programa é gratuito e utiliza a linguagem de programação Java e os paradigmas da programação orientada à objeto.

Para suprir a energia da bateria do *smartphone*, a central, que é alimentada diretamente pela bateria do trator, fornece saída de tensão de 5V. Assim, o sistema garante manter a carga da bateria do *smartphone* durante a operação.

3.1.3 Camada de Processamento Local (CPL)

Em linhas gerais, a Camada de Processamento Local (CPL) é também conhecida na infraestrutura da rede como central ou *gateway*. É constituída por um computador de placa única com Linux embarcado. Ela gerencia a conexão com os módulos periféricos, centraliza todas as informações do sistema, registra os dados em um banco de dados local e em cartão de memória e os envia à Camada de Telemetria (CT).

Foi utilizado o computador de placa única Raspberry Pi 3, modelo B, por apresentar *hardware* com recursos suficientes para esta aplicação. Sendo assim, foi necessária a utilização de um sistema operacional (SO). O Raspberry Pi opera com o SO gravado em um cartão de memória. O SO mais recomendado para utilização no Raspberry Pi é

o Raspbian, que é uma adequação da distribuição Debian do Linux para o Raspberry Pi. A gravação do SO no cartão foi realizada com a utilização do *software Win32DiskImager* executado em um *notebook* com SO Windows. Com o cartão gravado e inserido, o Raspberry Pi encontra-se pronto para seu funcionamento, faltando apenas alimentá-lo com tensão de entrada de 5V. Mais detalhes sobre o processo de preparação do Raspberry Pi são apresentados no Apêndice A.

A escolha do protocolo que rege a comunicação dentro desse sistema foi uma tarefa criteriosa. Um ponto importante foi não tornar o sistema proprietário, para que houvesse maior aceitação na comunidade acadêmica e no mercado. Com base nisso, foi adotado o protocolo de comunicação MQTT por ser um protocolo bem difundido na comunidade de desenvolvimento. O *broker* MQTT utilizado foi o *Mosquitto* por ser um *software* gratuito e amplamente difundido (YERLİKAYA; DALKILIÇ, 2017).

Por meio da interface *Wi-Fi* do Raspberry Pi 3 configurado como *Access Point*, a Camada de Processamento Local provê uma rede *Wi-Fi* local para o conjunto motomecanizado, à qual os módulos periféricos, também dotados de dispositivos com interface *Wi-Fi*, se conectam como clientes para trocar informações. Assim, conectados à essa rede local e com a utilização do protocolo de comunicação MQTT, os módulos periféricos da Camada de Aquisição e Controle enviam dados do maquinário coletados por meio dos sensores para o *gateway* e o *gateway* envia sinais de controle aos atuadores dos módulos periféricos.

A Camada de Processamento Local é também responsável pelo armazenamento dos dados em banco de dados local (SQL) e em memória removível (*pen-drive*, cartão de memória ou similares). Para isso, foi implementado um algoritmo em Python, cliente MQTT, que subscreve todos os tópicos responsáveis em salvar os dados obtidos no banco de dados SQL e em um *pen-drive* conectado a uma das 4 portas USB nativas do Raspberry Pi 3.

Também por meio da rede *Wi-Fi*, o *gateway* disponibiliza todos os dados para a Camada de Supervisão Local (CSL) onde, por meio de uma IHM, o operador do trator tem acesso, de forma gráfica, aos dados dos parâmetros do maquinário (descrito na Subseção 3.1.2).

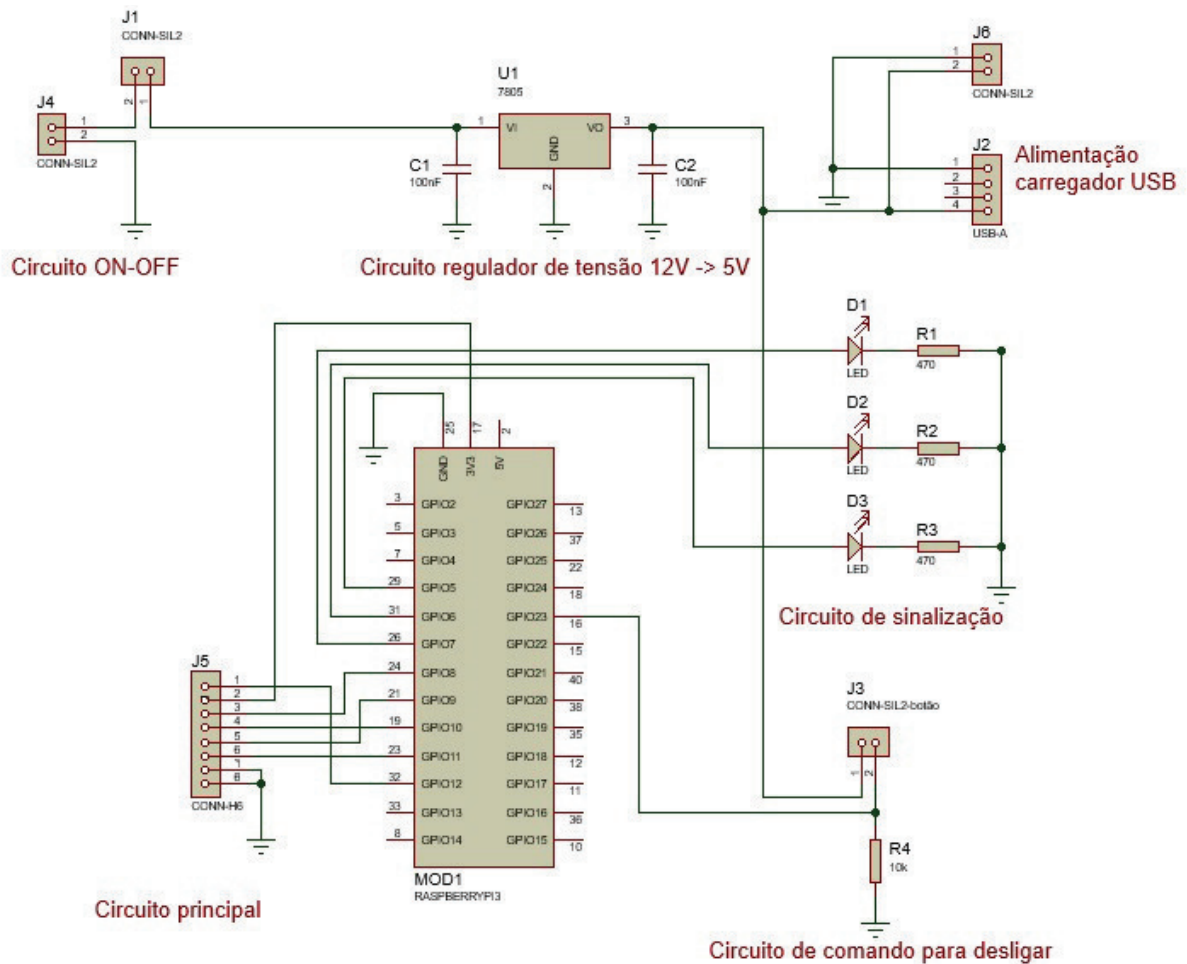
Visando expandir as possibilidades de análise de dados no sistema e permitir cálculos complexos, há o *framework* ROS embarcado na Camada de Processamento Lo-

cal. Foi utilizada a distribuição *ROS Kinetic Kame* que, apesar de não ser a mais recente à época dessa pesquisa, apresenta sólido suporte da comunidade desenvolvedora.

Por meio de um barramento SPI (*Serial Peripheral Interface*), a Camada de Processamento Local se comunica à Camada de Telemetria para trocar informações com a Camada de Supervisão Geral.

A Figura 3.17 apresenta o esquemático eletrônico da central, a Figura 3.18 apresenta o *layout* da placa impressa, de face simples, e a Figura 3.19 apresenta o protótipo da central pronta, todos desenvolvidos neste trabalho.

Figura 3.17 – Esquemático da central

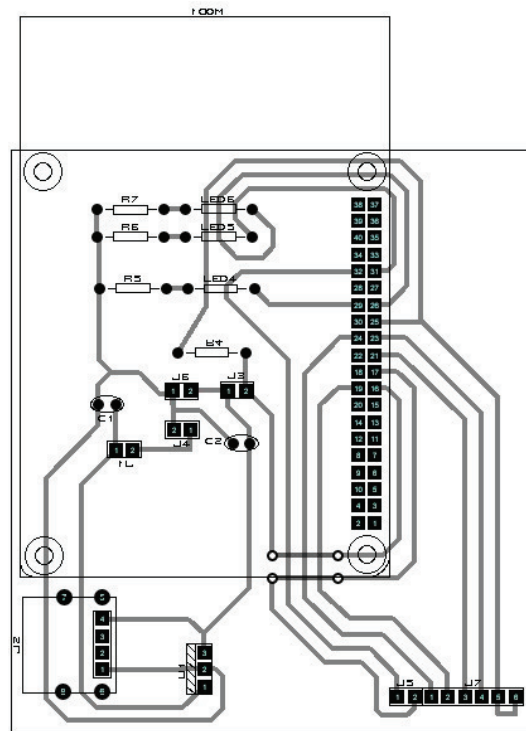


Fonte: Autoria própria

Os ensaios para validação da Camada de Processamento Local realizados neste trabalho se basearam nos testes descritos na norma RFC 2544, com foco no teste de latência (velocidade de comunicação) e no teste de perda de dados.

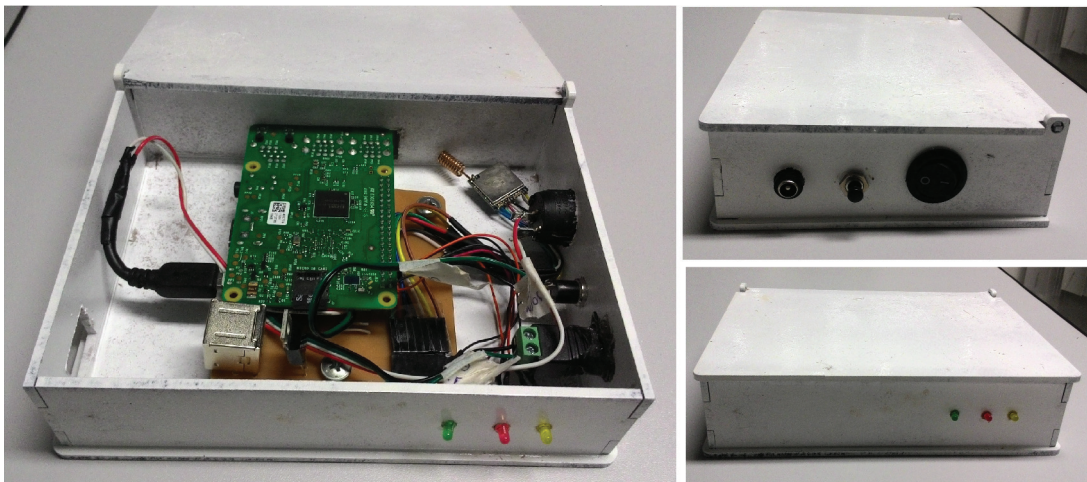
A validação da Camada de Processamento Local foi dividida em duas partes, sendo a primeira para verificação da comunicação entre as Camadas CAC e CPL do

Figura 3.18 – *Layout* da placa impressa da central



Fonte: Autoria própria

Figura 3.19 – Protótipo da central pronto para instalação no trator



Fonte: Autoria própria

sistema e a segunda para verificação da comunicação com o ROS, embarcado na própria central.

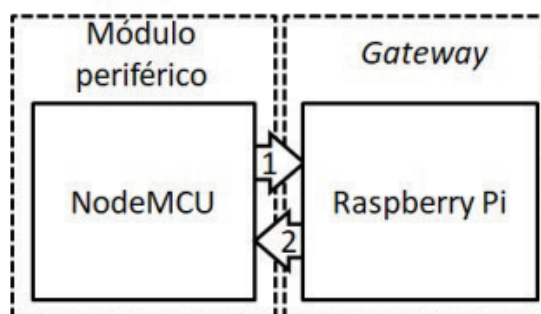
3.1.3.1 Validações para comunicações entre Camadas CAC e CPL

A validação da comunicação entre as camadas CAC e CPL foi realizada por meio de ensaios da velocidade de comunicação entre os dispositivos e se houveram perda de dados, o que acarretaria prejuízo ao processo.

Teste de latência

O ensaio teve por objetivo medir a velocidade de comunicação entre o módulo periférico e a central. Para isso foi enviada uma mensagem de um módulo periférico genérico para a central, indicado pela seta "1" na Figura 3.20. Nesse exato momento iniciou-se a contagem de tempo. Ao receber a mensagem, a central a reenviou ao módulo periférico, indicado pela seta "2". Ao receber o retorno da mensagem, o módulo periférico encerrou a contagem do tempo. Dividindo o valor encontrado por dois, obteve-se o tempo decorrido para envio e recebimento da mensagem. Esse procedimento foi repetido 1500 vezes e a resposta final é a média de todas as medições.

Figura 3.20 – Esquema do ensaio de latência entre CAC e CPL



Fonte: Autoria própria

Como não é estritamente essencial a execução de tarefas em prazos compatíveis com a ocorrência de eventos externos, essa aplicação é dita como *soft real-time*. No entanto, espera-se que a velocidade de comunicação esteja dentro de um limite aceitável para realizar o monitoramento do sistema e, inclusive, seu controle.

Teste de perda de dados

Para verificar se há perdas de dados, um determinado pacote de dados foi transmitido e retransmitido 1500 vezes entre os módulos, seguindo o esquema apresentado

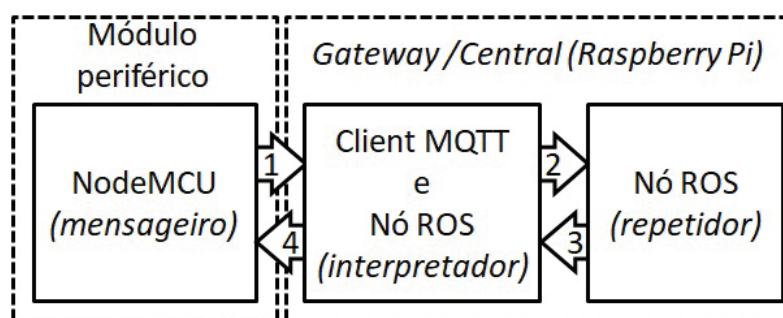
na Figura 3.20. Ao retornar ao módulo que o enviou, a mensagem recebida foi comparada com a mensagem enviada. Diferentemente da tolerância que se tem com o tempo de resposta de um sistema *soft real-time*, nesta aplicação a integridade dos dados é fator imprescindível e não há tolerância para dados corrompidos.

Para garantir que os dados são transmitidos corretamente, foi implementada uma dinâmica de confirmação de conteúdo da mensagem recebida. Quando a mensagem chega ao destinatário, este a reencaminha ao remetente pedindo confirmação do conteúdo da mensagem. Estando correta a mensagem, o remetente retorna uma confirmação positiva ao destinatário. Caso incorreta, o remetente reenvia a mensagem original, e o processo se repete até que se complete 3 tentativas. Caso ainda não obtenha sucesso, a transmissão é cancelada e uma sinalização de erro é disparada.

3.1.3.2 Validação para a comunicação entre CPL e ROS

A validação da comunicação entre a CPL e o ROS foi baseada em de Paula et al. (2018). Sendo assim, foi considerado o caminho percorrido pelo pacote de dados como representado pelo diagrama da Figura 3.21, seguindo a numeração das setas, e contou com a utilização de três algoritmos.

Figura 3.21 – Diagrama da comunicação dos dados



Fonte: Autoria própria

O primeiro algoritmo, executado em uma placa NodeMCU e denominado *mensageiro*, publica uma mensagem em um determinado tópico MQTT e aguarda essa mensagem retornar em um outro tópico MQTT subscrito. O segundo, denominado *interpretador*, subscrive todos os tópicos MQTT e os publicam em tópicos homônimos em ROS, sendo assim, esse algoritmo é também um nó ROS. Ele subscrive ainda um determinado tópico ROS e, quando recebe alguma mensagem por ele, publica-a em um tópico MQTT homônimo. Em outras palavras, qualquer mensagem recebida por

esse algoritmo em MQTT é convertida para o ROS, e vice-versa. O terceiro algoritmo, denominado *repetidor*, é um nó ROS. Ele subscreve um determinado tópico ROS e, quando recebida alguma mensagem, publica-a em outro tópico ROS.

Teste de latência

Utilizando os algoritmos descritos anteriormente, o teste de latência inicia-se com o *mensageiro* que envia uma mensagem por MQTT e inicia um contador de tempo. Essa mensagem é recebida pelo *interpretador* e convertida para ROS. O *repetidor* a recebe pelo ROS e envia de volta ao *interpretador*. Este a converte do ROS para MQTT e envia ao *mensageiro*. Este último, assim que a recebe, encerra o contador. Como a norma especifica a latência como sendo o tempo decorrido para o pacote de dados ir do dispositivo de origem ao dispositivo de destino, o valor de tempo pelo contador obtido foi dividido por dois (ida e volta) para que se obtenha o tempo decorrido apenas durante a ida dos dados.

Para maior confiabilidade, esse procedimento foi repetido 1000 vezes e calculou-se dessas medições a média aritmética e seu erro padrão, o desvio padrão, a variância e o coeficiente de variação.

Teste de perda de dados

Adotando os mesmos algoritmos já descritos, o teste de perda de dados tem a mesma dinâmica do teste de latência. A diferença é que as mensagens enviadas pelo *mensageiro* eram variáveis do tipo inteiro com seus valores incrementados a cada repetição. Com isso, a primeira mensagem enviada assumia o valor "1", a segunda assumia o valor "2" e assim por diante até a última que assumia o valor "1000".

Os dados enviados e recebidos pelo *mensageiro* foram tratados e comparados para observar se houvessem discrepâncias entre eles.

3.1.4 Camada de Telemetria (CT)

A Camada de Telemetria (CT) foi instalada fisicamente junto à Camada de Processamento Local, na mesma placa de circuito impresso. Ela se comunica com o Raspberry da Camada de Processamento Local via barramento SPI. Por meio de módulos

transmissor e receptor de rádio frequência, a Camada de Telemetria troca informações com a Camada de Supervisão Geral, instalada na sede da propriedade rural. A tecnologia de radio frequência utilizada é chamada LoRa, já descrito na Seção 2.7.

3.1.4.1 Validação para a Camada de Telemetria

A validação da Camada de Telemetria foi dividida em duas partes. Inicialmente, verificou-se a dispersão do espectro do sinal do transmissor no domínio da frequência, e em seguida, verificou-se o alcance do módulo utilizado, em campo aberto e com obstáculo.

Análise do espectro de frequência

A recepção do sinal foi verificada por meio da utilização de um Analisador de Espectro *BK Precision 2652A*, com faixa de operação de 50kHz à 3,3GHz, apresentado na Figura 3.22. Como observado no *datasheet* do módulo LoRa, é utilizada a frequência de operação de 915MHz. Sendo assim, o intervalo de operação desse Analisador contém a frequência do módulo LoRa.

Figura 3.22 – Analisador de Espectro



Fonte: BK Precision (2018)

Para o ensaio, além do Analisador de Espectro, foi utilizada uma antena monopolo para frequências na faixa de 500MHz à 2GHz e um adaptador mini BNC/BNC, cujas perdas e ganhos não foram considerados na análise.

Alcance do sinal

A verificação do alcance foi realizada em região com obstáculos e em região aberta, isto é, com linha de visada. Em ambos cenários, foram utilizados dois conjuntos de *hardware*: o conjunto transmissor, com um Raspberry Pi 3 e um módulo LoRa configurado como transmissor enviando uma sequência incremental de números inteiros à cada 1 segundo; e o conjunto receptor, com uma placa NodeMCU e um módulo LoRa configurado como receptor para captar os dados transmitidos.

Manteve-se o receptor LoRa em um local fixo e, afastando o transmissor, registrou-se o local onde a comunicação se interrompia.

O ensaio em região com obstáculos foi realizado no campus da UFLA, na avenida principal, onde há os prédios dos departamentos e diversas árvores de grande porte, conforme nota-se na Figura 3.23. Já o ensaio de alcance com linha de visada foi realizado no Aeroporto Regional da Baunilha, na cidade de Lavras, MG.

Figura 3.23 – Vista aérea do campus da UFLA



Teste de perda de dados

O teste de perda de dados foi realizado juntamente com o teste de verificação de alcance no aeroporto de Lavras. Uma sequência incremental de valores inteiros foi enviada do conjunto transmissor. Ao receber essa mensagem, o conjunto receptor ar-

mazenava os valores para posterior análise. Esses valores foram tratados e comparados para observar se houveram discrepâncias entre eles.

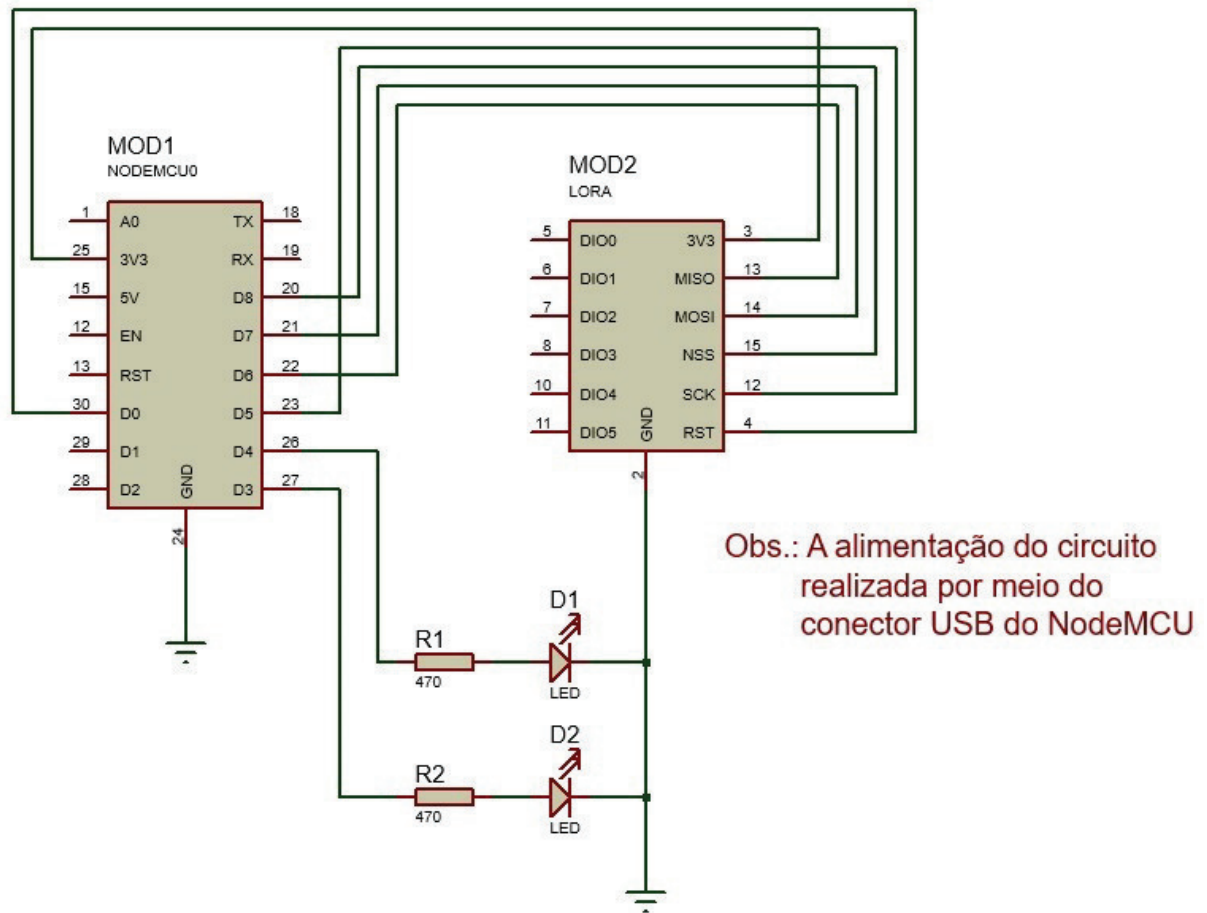
3.1.5 Camada de Supervisão Geral (CSG)

Na sede da propriedade rural, um computador configurado como servidor local permitiu a conexão entre o maquinário e o *software* para gerenciamento do processo agrícola. Quaisquer outras instalações rurais que houverem, por exemplo, silos, casa de vegetação, dentre outras, podem ser implementadas futuramente e conectadas da mesma forma à esse servidor.

Por meio desse *software* específico, o gestor recebe em tempo real os parâmetros de funcionamento de todo o maquinário em operação e envia a eles instruções operacionais. A comunicação entre a central do conjunto motomecanizado e o servidor ocorre por meio de módulos transmissores e receptores de rádio frequência de longa distância.

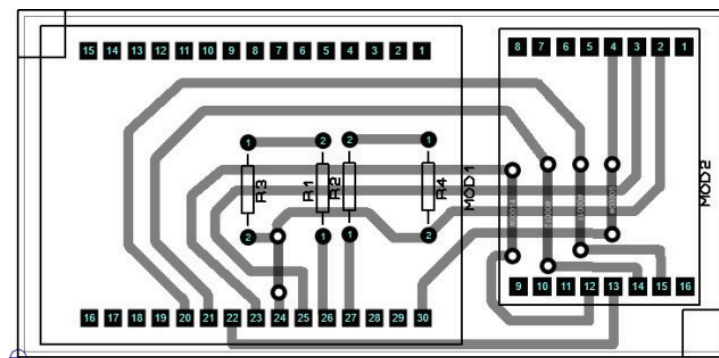
A Figura 3.24 apresenta o esquemático do receptor do sinal LoRa conectado à um NodeMCU, que foram instalados na sede da propriedade rural, a Figura 3.25 apresenta o *layout* dessa placa impressa e a Figura 3.26 apresenta uma foto do receptor concluído.

Figura 3.24 – Esquemático do receptor LoRa



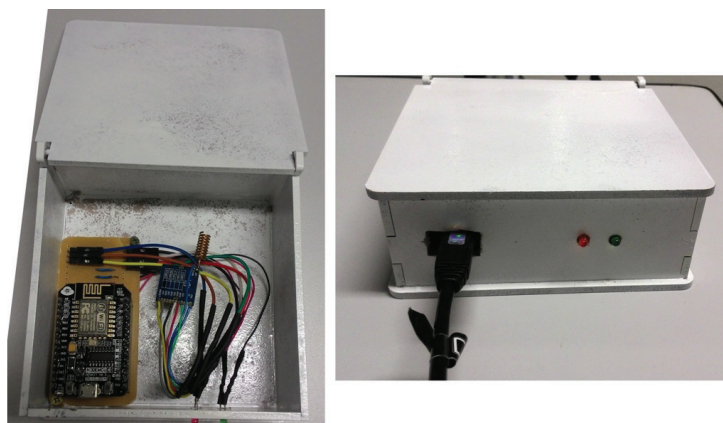
Fonte: Autoria própria

Figura 3.25 – Layout do receptor LoRa



Fonte: Autoria própria

Figura 3.26 – Receptor LoRa construído



Fonte: Autoria própria

Ao receber um novo dado, o NodeMCU, por estar conectado em uma rede *Wi-Fi* na sede da propriedade, envia esse dado à um banco de dados *SQL*.

O *software* de gerenciamento foi desenvolvido baseado em HTML e PHP. Assim, todo o gerenciamento é realizado utilizando qualquer programa de navegação na Internet, sem a necessidade de instalação de qualquer outro *software*. Outra vantagem é o acesso em qualquer dispositivo, como *smartphones*, *tables* ou *notebooks*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com a metodologia apresentada para o desenvolvimento do sistema embarcado da máquina agrícola e do sistema de gerenciamento de dados baseado na arquitetura de camadas (Seção 3.1), as seções seguintes apresentam os resultados obtidos.

4.1 Camada de Aquisição e Controle

Conforme descrito na Subseção 3.1.1, os parâmetros que se pretendeu monitorar do trator por meio dos módulos periféricos foram apresentados na Tabela 3.1. Sendo assim, serão apresentados a seguir os resultados obtidos para os testes realizados em cada módulo.

4.1.1 Módulos da Patinagem e Consumo

Optou-se por desenvolver os Módulos de Patinagem e de Consumo integrados em um mesmo *hardware*, baseando-se no trabalho de Correa Junior (2017). Sendo assim, foram utilizados os ensaios e validações estatísticas do mesmo.

As alterações que foram realizadas no sistema descrito por Correa Junior (2017) em nada alterou a instrumentação da patinagem e consumo. Essas alterações propiciaram que o módulo periférico se conecte à rede *Wi-Fi* da central e envie, via protocolo MQTT, os dados obtidos.

Com isso, os Módulos de Patinagem e Consumo, que antes possuíam pouca flexibilidade na arquitetura do sistema de Correa Junior (2017) passou a integrar um sistema mais amplo e mais versátil.

4.1.2 Módulo da Semeadora/Adubadora

Os resultados para o sistema SRFL (definido como o sistema baseado em reflexão do feixe de luz) não foram satisfatórios. Menos de 50% das sementes foram detectadas. Percebeu-se experimentalmente que o tamanho das sementes foi um fator importante para a não detecção, onde sementes menores poderiam transitar em uma região não coberta pelo feixe do *laser*. Além disso, a curta distância entre a posição do sensor e a região de queda da semente/adubo foi muito pequena, possivelmente abaixo do

recomendado nas especificações do sensor. O tempo de resposta do sensor também pode ter sido um fator limitante, pois a semente/adubo desloca-se relativamente rápido pelo duto.

Notou-se com os testes do SOFL, utilizando a porta de entrada analógica do NodeMCU, que foi possível detectar pequenas transições de valores de entrada. Cada transição de valores de entrada é associada à passagem de uma semente e realiza-se o incremento em uma unidade de um contador, que conta a quantidade total de sementes que percorreram o duto.

4.1.3 Módulo de Navegação

O Módulo de Navegação é integrado ao aplicativo para sistema operacional Android da Camada de Supervisão Local. É capaz de obter a localização GPS completa, com os dados de latitude, longitude, altitude, precisão da leitura e velocidade, e os dados da Unidade de Medição Inercial de inclinação nos eixos X, Y e Z do trator.

A interface do aplicativo será apresentada na Subseção 4.3.

4.2 Camada de Processamento Local

4.2.1 Ensaios para validação da comunicação entre Camadas CAC e CPL

Para o teste de latência, obteve-se dos valores medidos os parâmetros estatísticos indicados na Tabela 4.1. Assim, o valor médio encontrado corresponde ao tempo médio decorrido entre o envio da mensagem pelo módulo periférico e o recebimento na central (CPL), e seu respectivo erro padrão; o desvio padrão e o coeficiente de variação correspondem à dispersão desses dados.

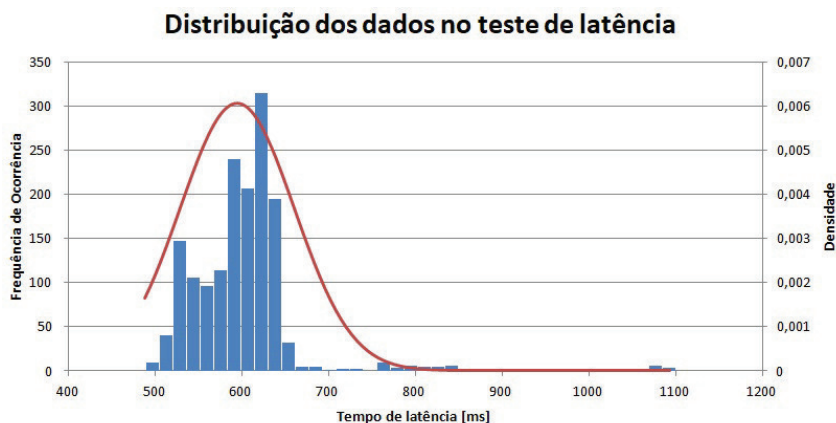
Tabela 4.1 – Análise estatística da comunicação entre Camadas CAC e CPL

Média aritmética	593,721	μs
Desvio Padrão	65,967	μs
Coeficiente de Variação	15,154	%
Erro padrão da média	8,018	μs

A Figura 4.1 apresenta a distribuição dos valores de latência por meio do histograma e densidade de probabilidade. O histograma apresenta a frequência de ocorrência dos valores de latência distribuídos em \sqrt{n} classes, onde n é 1500 referente à

quantidade de amostras. A curva representa a função densidade de probabilidade (FDP) da distribuição.

Figura 4.1 – Distribuição dos dados do teste de latência da comunicação entre Camadas



Fonte: Autoria própria

Quanto ao teste de perda de dados, em nenhuma das 1500 transmissões observou-se discrepância entre a mensagem enviada e a mensagem recebida. Tal feito se deve à consistência da conectividade *Wi-Fi* e a qualidade de serviço de entrega de mensagens do protocolo MQTT, constituindo assim, 100% de integridade dos dados transmitidos.

4.2.2 Ensaios para validação da comunicação entre CPL e ROS

Assim como apresentado na Subseção 4.2.1, os valores medidos para o teste de latência deram origem aos parâmetros estatísticos indicados na Tabela 4.2. Neste caso, o valor médio, erro padrão, desvio padrão e coeficiente de variação correspondem ao tempo médio decorrido entre o envio da mensagem pelo módulo periférico e o recebimento em um nó ROS na central.

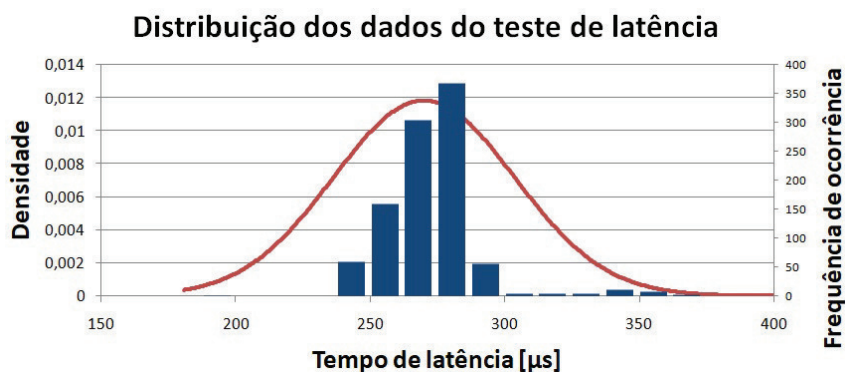
Tabela 4.2 – Análise estatística da comunicação entre CPL e ROS

Média aritmética	270,001	μs
Desvio Padrão	33,686	μs
Coeficiente de Variação	12,476	%
Erro padrão da média	1,065	μs

Por meio do histograma e densidade de probabilidade da Figura 4.2 é apresentada a distribuição dos valores de latência.

A quantidade de classes do histograma é também definida por \sqrt{n} classes, com $n=1000$. A curva contínua representa a função densidade de probabilidade (FDP) da distribuição.

Figura 4.2 – Distribuição dos dados do teste de latência da comunicação entre CPL e ROS



Fonte: Autoria própria

A média encontrada com valor de $270 \mu\text{s}$ de latência permite uma frequência média de amostragem de 3700 Hz. Considerando o tempo de latência médio mais 3 vezes o desvio padrão (que corresponde estatisticamente à 99% dos dados e se aproxima do caso mais crítico) tem-se um tempo de latência de aproximadamente 2700 Hz. Ambas frequências de amostragem atendem à sistemas de controle, como Best et al. (2013), que utiliza a frequência de 20 Hz, e Sa e Corke (2012), que utiliza a frequência de 10 Hz. Nota-se então, que a arquitetura de rede do sistema de instrumentação proposto pode atender à sistemas de controle que utilizam o *framework* ROS.

O fato do sistema de aquisição e comunicação proposto apresentar um tempo de resposta muito mais rápido quando comparado ao tempo de resposta dos sistemas de controle dos trabalhos citados, por exemplo, não prejudica o algoritmo de controle. Pelo contrário, os algoritmos de controle poderão ser projetados livremente sem que o tempo de comunicação seja um gargalo, ou seja, a comunicação não é empecilho para a implementação desses sistemas. Obviamente ao projetar os algoritmos de controle, o sistema como um todo obterá um tempo maior de execução.

Embora a norma RFC-2544 especifique tamanhos padrões de pacotes de dados, onde o pacote mínimo seria de 512 bits, a quantidade de dados transmitidos por pacote no sistema proposto foi de 32 bits. Esse tamanho de mensagem utilizado corresponde à 4 bytes, que é o tamanho de uma variável do tipo *float*, muito utilizado em instrumentação e metrologia.

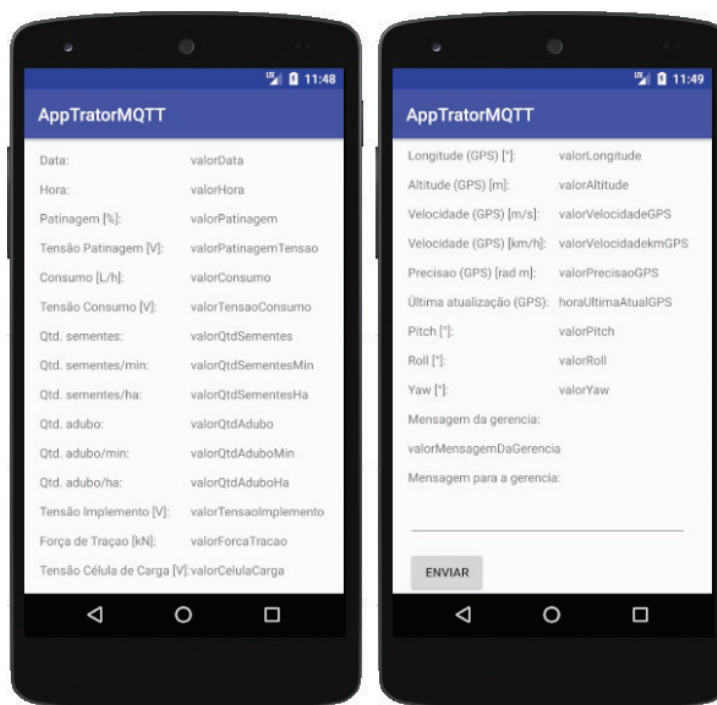
Quanto ao teste de perda de dados, assim como para a validação da comunicação entre Camadas, em nenhuma das 1000 transmissões observou-se discrepância entre a mensagem enviada e a mensagem recebida. Neste caso, isso se deve não somente à consistência da conectividade *Wi-Fi* e a qualidade de serviço de entrega de mensagens do protocolo MQTT, quanto também à qualidade de serviço de entrega de tópicos ROS. Obteve-se assim, 100% de integridade dos dados transmitidos.

4.3 Camada de Supervisão Local

A Figura 4.3 apresenta a tela do aplicativo Android com a interface simplificada para comunicação com o operador.

O aplicativo consiste de apenas uma tela com *layout* tipo *scroll* para rolagem, para facilitar a visualização do operador. Todos os parâmetros monitorados no trator são distribuído em forma de lista, onde à esquerda consta o parâmetro e à direita a medição mais recente daquela parâmetro.

Figura 4.3 – Tela do aplicativo da Camada de Supervisão Local



Fonte: Autoria própria

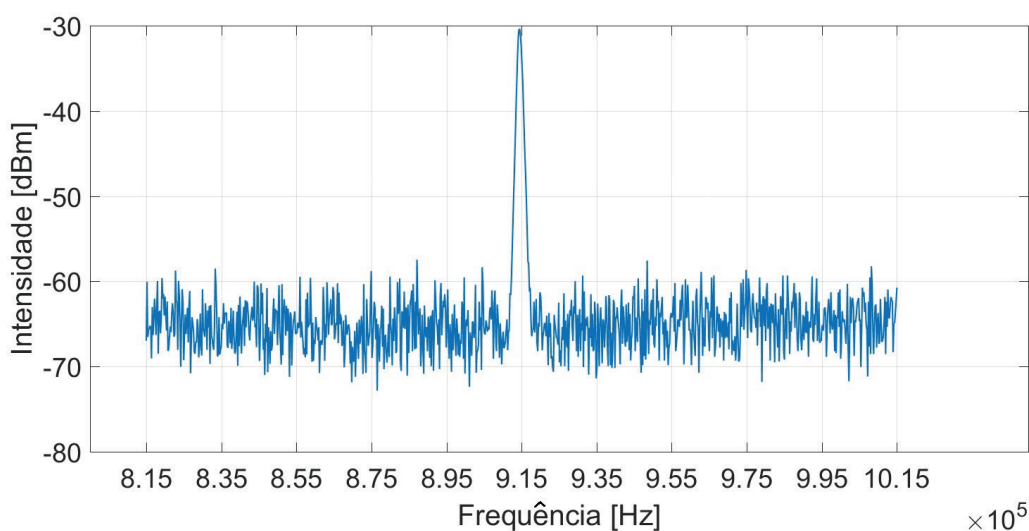
4.4 Camada de Telemetria

Foram realizados dois tipos para avaliação. Com o primeiro pretendeu-se analisar o espectro do sinal transmitido pelo módulo LoRa e com o segundo determinar o alcance do sinal obtido com as configurações do módulo LoRa que foram adotadas. Tais ensaios foram descritos na Subseção 3.1.4.1.

4.4.1 Analisador de Espectro

A análise de espectro gerou, por meio do analisador, o diagrama Frequência X Intensidade apresentado na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Curva Frequência X Intensidade



Fonte: Autoria própria

Por meio da Figura 4.4 observam-se ruídos de intensidade aleatória entre -70 e -60 dBm. Nota-se ainda que, à frequência de 915 MHz, a intensidade captada chega à -32,5 dBm. Como a intensidade do sinal se destaca dentre o ruído, tem-se um sinal de boa qualidade. Tal frequência coincide com a frequência de comunicação deste módulo LoRa indicada no *datasheet* (Apêndice ??).

4.4.2 Alcance do sinal

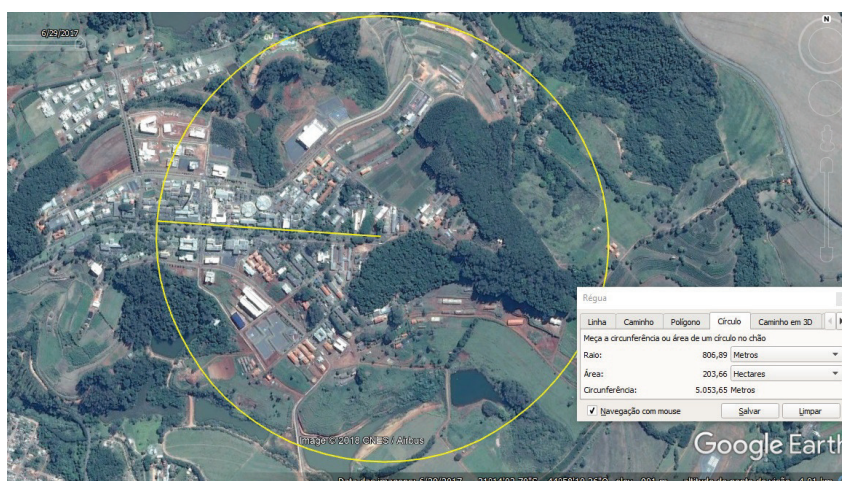
Para verificação do alcance foram realizados dois testes de alcance, sendo eles em região com obstáculos, na avenida principal do campus da UFLA, e em região aberta, no Aeroporto Regional da Baunilha.

Manteve-se o receptor LoRa em um local fixo e, afastou-se o transmissor, registrando o local onde a comunicação se interrompia.

Sendo assim, obteve-se o alcance de 806m em região com obstáculos, registrada no campus da UFLA.

Considerando que a antena utilizada é do tipo omnidirecional, com propagação praticamente uniforme em todas as direções, pode-se considerar esse valor como o raio de uma circunferência com área igual a 203 hectares ou $2,03 \text{ km}^2$. A localização de onde foi realizado esse ensaio, o raio e a circunferência de alcance são apresentados na Figura 4.5.

Figura 4.5 – Ensaio em região com obstáculos



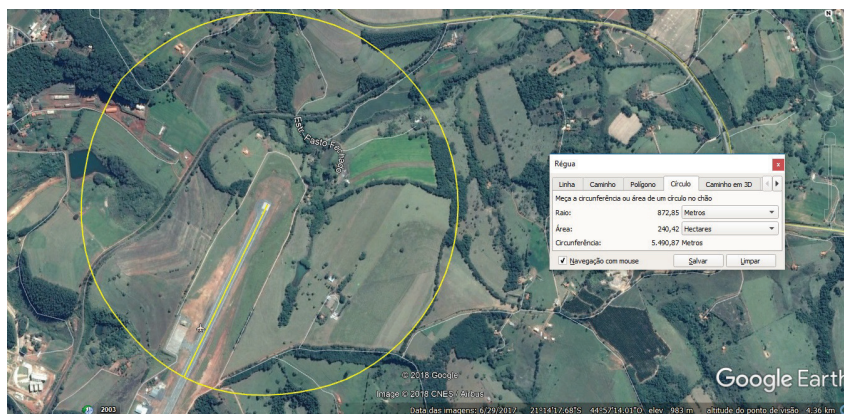
Fonte: Autoria própria

Já por meio do ensaio em região aberta realizado no Aeroporto Municipal da Baunilha, obteve-se o alcance de 872 m.

Assim como para a região com obstáculos, na região aberta obteve-se a área da circunferência para esse valor de raio igual à 240 hectares ou $2,4 \text{ km}^2$. E assim, a localização de onde foi realizado esse ensaio, o raio e a circunferência de alcance são apresentados na Figura 4.6.

Destaca-se, à título de comparação, com este resultado, que a área de alcance encontrada, tanto no ensaio em área aberta quanto com obstáculos, é superior à área do Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária (CDCT) - Fazenda Muquém - da UFLA, que tem 158 hectares. Sendo assim, nota-se que o sistema de telemetria proposto é suficiente para abranger pequenas propriedades.

Figura 4.6 – Ensaio em região aberta



Fonte: Autoria própria

Caso a área de cobertura e o alcance desejados sejam maiores que os valores aqui apresentados, estações repetidoras poderia ser instaladas em locais estratégicos da propriedade rural.

4.4.3 Teste de perda de dados

No ensaio realizado no melhor cenário, isto é, em região aberta, seguindo a metodologia descrita na Subseção 3.1.4.1, obteve-se uma taxa de integridade dos dados de 90% durante movimentação do módulo receptor LoRa dentro da região de alcance. Fixando o módulo receptor no limite da região de alcance, isto é, à 872 m de distância, esta taxa caiu abruptamente para 19% de integridade dos dados.

4.5 Camada de Supervisão Geral

A Figura 4.7 apresenta a tela inicial da página Web para Gerenciamento da Informação Agrícola. A página recebeu o nome de "AgroTI", em alusão à Tecnologia da Informação no Agronegócio. O menu à esquerda apresenta as opções "Tratores", que foi o foco deste trabalho, mas apresenta também as opções "Casa de Vegetação", "Granjas" e "Estações Meteorológicas" como possibilidades de extensão para o sistema e sugestão para trabalhos futuros.

A Figura 4.8 apresenta a página criada para monitoramento do trator com os mostradores utilizados para acompanhar as variáveis instrumentadas do trator. Pretendeu-se criar a interface de uso intuitivo para otimizar o gerenciamento da propriedade. Por meio desta página, os administradores da propriedade rural podem visualizar todos

Figura 4.7 – Tela inicial do FMIS



Fonte: Autoria própria

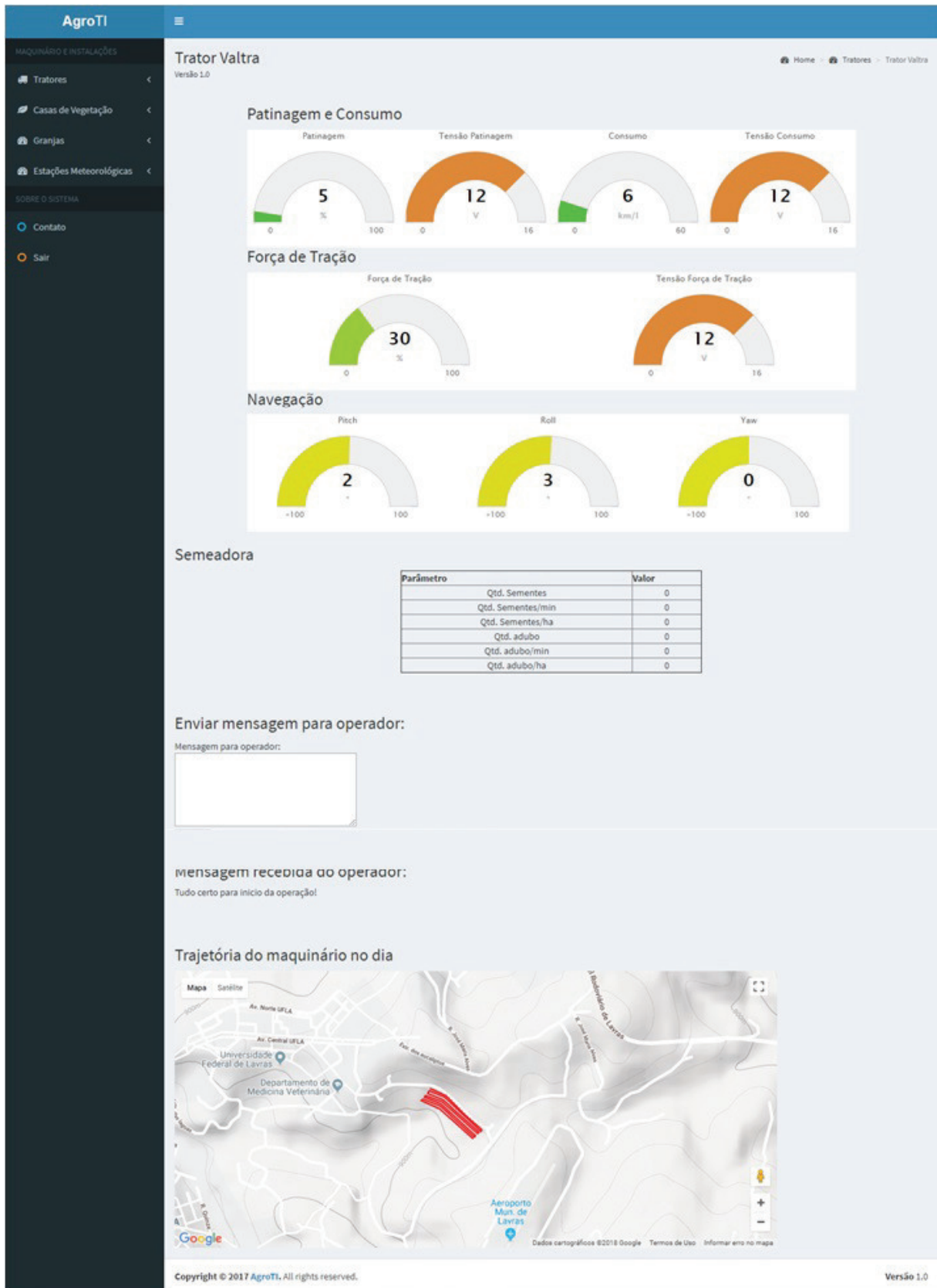
os processos agrícolas em tempo real e obter diagnósticos das operações dos tratores. Torna possível também supervisionar o desempenho dos funcionários em tempo real.

4.6 Custos do sistema

Para a realização deste projeto foram necessários os recursos descritos na tabela 4.3. O custo total do sistema desenvolvido pronto para utilização no trator foi de R\$ 3.060,00. Este valor corresponde aos itens encontrados em lojas de eletrônica no Brasil.

Salienta-se que, de modo geral, o *smartphone* é um item disponível em uma propriedade e corresponde à cerca de 26% do custo total do sistema. Se previamente disponível, esse custo pode ser abatido do custo total. Além disso, os *encoders*, que correspondem à aproximadamente 40% do custo total, poderiam ser dispensados caso o gerente opte por não adquirir o módulo de patinagem. Sendo assim, nota-se que o custo total corresponde ao atual sistema na íntegra e este valor pode ser reduzido dependendo dos módulos periféricos que o gerente pretende adquirir. Tal versatilidade e flexibilidade no custo corresponde à um atrativo a mais para o produtor adquirir este sistema.

Figura 4.8 – Tela principal do FMIS para monitoramento de tratores



Fonte: Autoria própria

Tabela 4.3 – Custo dos materiais

Item	Descrição	Qtd.	Valor Unit.	Valor Total
1	Raspberry Pi 3	1	R\$400,00	R\$400,00
2	NodeMCU	4	R\$50,00	R\$200,00
3	Módulo LoRa	2	R\$90,00	R\$180,00
4	<i>Pen-drive</i>	1	R\$30,00	R\$30,00
5	<i>Smartphone</i> com SO Android	1	R\$800,00	R\$800,00
6	Fluxômetro	1	R\$50,00	R\$50,00
7	<i>Encoder</i> rotativo	4	R\$300,00	R\$1.200,00
8	Bateria 9V	5	R\$10,00	R\$50,00
9	Componentes eletrônicos para a semeadora	–	R\$50,00	R\$50,00
10	Componentes eletrônicos diversos	–	R\$100,00	R\$100,00
Total				R\$ 3.060,00

Fonte: Autoria própria

5 CONCLUSÃO

Com foco na Agricultura de Precisão, apresentou-se o cenário atual das tecnologias embarcadas no maquinário agrícola e destacou-se a relevância das Tecnologias da Informação e Comunicação e, sobretudo, da Internet das Coisas, aplicadas ao agronegócio. Assim, este trabalho visou desenvolver a infraestrutura de uma rede sem fio e um sistema embarcado modular para realizar a instrumentação de máquinas agrícolas.

Para a implementação de análise de dados e leis de controle ou sobre o desempenho do maquinário agrícola é imprescindível a disponibilidade de dados bons e confiáveis. Para isso, contou-se com a implementação do protocolo de comunicação MQTT realizando a comunicação entre módulos periféricos, onde estão os sensores, e a central do sistema, onde está instalado o ROS como *software* de análise de dados.

Dessa forma foi criada uma alternativa a ser instalada no maquinário agrícola que não possui nenhum sistema embarcado, por ser um sistema mais acessível, de aplicação ampla e de menor custo de aquisição.

Quanto às camadas da arquitetura do sistemas, pode-se concluir:

- Camada de Aquisição e Controle:

Foi desenvolvida uma arquitetura descentralizada para a aquisição de dados dos sensores do maquinário. Com a utilização de módulos específicos para cada parâmetro do trator, os parâmetros instrumentados neste trabalho foram a patinagem dos rodados, o consumo de combustível, a quantidade de sementes e adubo depositados no solo e a geolocalização. Depois de adquiridos, estes parâmetros foram transmitidos à uma camada central.

Esse sistema tornou versátil o desenvolvimento de novos módulos periféricos, uma vez que a base dessa camada mostrou-se estável para aquisição, processamento e transmissão de dados.

- Camada de Processamento Local:

O desenvolvimento do sistema embarcado em um trator proposto neste trabalho expande em grande escala o poder de processamento de dados coletados no maquinário.

Além disso, os resultados dos testes de latência e de perda de dados realizados atestam que o sistema atende à proposta e garante plena integridade dos dados e excelente velocidade de comunicação.

- Camada de Supervisão Local:

Neste trabalho foi apresentada uma alternativa para a falta de informações para o operador sobre o funcionamento do conjunto motomecanizado. O sistema proposto também permite a troca de informações entre máquina-operador-gestor. Foi possível apresentar ao operador os parâmetros de funcionamento do maquinário por meio de um aplicativo instalado em um *smartphone*. De interface simples e intuitiva, o operador tem acesso às informações em tempo real. Pode também receber e enviar mensagens sobre as tarefas operacionais com o gestor da propriedade rural.

- Camada de Telemetria:

Foi implementada a comunicação entre o trator e a sede da propriedade rural sem criar a dependência de redes 3G/4G ou similares. Para isso, verificou-se as tecnologias de rádio frequência atuais. Assim, adotou-se a tecnologia LoRa, principalmente devido seu longo alcance e praticidade na utilização.

Com o desenvolvimento de um módulo de comunicação por telemetria com LoRa habilitados para comunicação bidirecional instalados no trator e na sede da fazenda, obteve-se alcance de 872 metros. Esse valor é inferior ao especificado no *datasheet* devido a sua natureza de baixo custo, porém atende às necessidades as quais esse sistema propõe.

Os resultados do teste de perda de dados realizado atestam que o sistema atende à proposta e garante plena integridade dos dados e excelente velocidade de comunicação.

- Camada de Supervisão Geral:

Em conformidade com os avanços tecnológicos do agronegócio, foi criado um sistema para gerenciamento da informação agrícola capaz de integrar em um único ambiente toda informação da propriedade rural, tanto maquinário quanto construções agrícolas.

Assim, foi proposto e implementado uma página Web hospedada em um servidor local (na sede da propriedade rural) capaz de receber os dados da Camada de Telemetria provenientes de quaisquer fontes na propriedade, sobretudo de tratores, que foi o foco deste trabalho.

Com um interface gráfica clara e intuitiva, a Camada de Supervisão Geral comporta-se como um sistema supervisório industrial permitindo uma visão detalhada do funcionamento e operações de cada unidade agrícola.

Por fim, para trabalhos futuros sugere-se realizar estudos mais aprofundados das tecnologias utilizadas e, sobretudo, expandir a variedade de módulos periféricos, de modo a abranger ainda mais as operações agrícolas realizadas com tratores e ensaios e testes para pesquisas específicas sobre o maquinário. Assim, enumera-se abaixo algumas sugestões e salienta-se que as possibilidades de expansão do sistema não se limitam a essas.

- Módulo periférico da célula de carga para monitoramento da força de tração;
- Estudos avançados da tecnologia de comunicação LoRa e outras tecnologias similares;
- Utilização do ROS para análise dos dados coletados;
- Implementação de um módulo com câmera para detecção de obstáculos e estimativa de velocidade.

Contudo, tal trabalho constitui de um sistema que agrega em produtividade e controle de produção e gestão para o gerente da propriedade, com custo acessível e segue as tendências tecnologias atuais.

REFERÊNCIAS

- AGRITOTAL. **O Padrão ISO11783**. Brasil, 2015. Disponível em: <<http://agritotal.com.br/isobus/>>.
- AL-HAMED, S.; AL-JANOBI, A. A program for predicting tractor performance in Visual C++. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 31, n. 2, p. 137 – 149, 2001. ISSN 0168-1699. Acesso em: 24 set. 2018. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169900001770>>.
- ALLIANCE, L. **LoRa Alliance Technology**. 2017. Acesso em: 06 set. 2017. Disponível em: <<https://www.lora-alliance.org/technology>>.
- ALONSO, D. J. C. **Influência da lastragem e pressão de inflação do pneu de um trator agrícola no seu desempenho operacional trabalhando em solo na capacidade de campo**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Lavras, 2016.
- ALVES, R. M. et al. Uso do *hardware* livre Arduino em ambientes de ensino-aprendizagem. **Jornada de Atualização em Informática na Educação**, p. 162–187, 2013.
- AMEBAIOT. **Ameba Arduino: Use MQTT to upload and listen to data**. Estados Unidos, 2017. Disponível em: <<https://www.amebaiot.com>>.
- Associação Brasileira de Internet das Coisas. **Anatel muda lei para aprovação de redes LoraWan**. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR7011: tratores agrícolas – características e posição da barra de tração**. Rio de Janeiro, 1993.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**, v. 54, n. 15, p. 2787 – 2805, 2010. ISSN 1389-1286.
- AUERNHAMMER, H. Precision farming — the environmental challenge. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 30, n. 1, p. 31 – 43, 2001. ISSN 0168-1699. Acesso em: 24 set. 2018. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169900001538>>.
- BAILEY, D. R. et al. Technical note: In-situ performance and usability of a distributed, wireless sensor network via mesh connectivity at a production container nursery. **Applied Engineering in Agriculture**, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 29, n. 5, p. 779–782, 2013.
- BALL, S. **Embedded Microprocessor Systems: Real World Design**. EUA: Editora MCPros, 2005.
- BEAGLEBONE. **BeagleBone Black**. 2017. Disponível em: <<http://beagleboard.org>>.
- BEST, G. et al. Terrain classification using a hexapod robot. In: **Proceedings of Australasian Conference on Robotics and Automation**. Sydney, Australia: [s.n.], 2013.
- BK Precision. **Series Handheld Spectrum Analyzers Model 2652A**. [S.l.], 2018. Acesso em ste. de 2018.

BLACKMORE, S.; APOSTOLIDI, K. **Futurefarm: Integration of Farm Management Information Systems to support real-time management decisions and compliance of standards Project**. 2011. Final Report. 2011. 41 p. v. 1. Acesso em: 05 set. 2017. Disponível em: <<http://www.futurefarm.eu/>>.

BRADNER, S.; MCQUAID, J. **Request for Comments: 2544 - benchmarking methodology for network interconnect devices**. [S.l.], 1999.

CELLAN-JONES, R. **A 15 pound computer to inspire young programmers**. 2011. Web page. BBC. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/blogs/thereporters/rorycellanjones/2011/05/a_15_computer_to_inspire_young.html>.

CHEN, X. et al. Research of real-time agriculture information collection system based on mobile GIS. In: **Proceedings of the International Conference on Agro-Geoinformatics**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 1–4.

Consórcio BNDES. **Estudo "Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil"**. [S.l.], 2017.

CORREA JUNIOR, D. **Desenvolvimento e validação de um sistema embarcado para monitoramento de operações agrícolas com tratores**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Lavras, 2017.

COSSINI, F. **LoRaWAN: uma rede alternativa para a Internet das Coisas**. [S.l.], 2016. Acesso em: 7 dez. 2017. Disponível em: <<https://www.ibm.com/developerworks/community/blogs/tlcbbr/entry/mp274?lang=en>>.

CUNHA, A. Sistemas embarcados. **Revista Saber Eletrônica**, Editora Saber, Brasil, p. 414, 2007.

de Paula, F. O. et al. Utilização do protocolo MQTT e *framework* ROS na instrumentação de tratores agrícolas. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Automática 2018**. João Pessoa: [s.n.], 2018. v. 1, p. 1–8.

DU, K. et al. Design and implementation of monitoring system for agricultural environment based on WebGIS with Internet of Things. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, Editorial Office of Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, v. 32, n. 4, p. 171–178, 2016.

European Union. **Precision agriculture and the future of farming in Europe**. [S.l.], 2016. Disponível em: <[http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/581892/EPRS_STU\(2016\)581892_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/581892/EPRS_STU(2016)581892_EN.pdf)>.

FALEIDE, N. **What's The Deal With Dashboards? — A Seinfeldian Look At Farm Management Information Systems**. 2017. Disponível em: <<http://www.precisionag.com>>.

FOUNTAS, S. et al. Farm management information systems: Current situation and future perspectives. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 115, p. 40 – 50, 2015. ISSN 0168-1699. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169915001337>>.

FURTADO JÚNIOR, M. R. **Análise operacional de um trator agrícola em função da pressão interna dos pneus e inclinação da linha de tração**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. 126 p.

GADANHA JÚNIOR, C. D. **Máquinas para semeadura**. 2014. Notas de aula de Máquinas e Implementos Agrícolas - LEB/ESALQ/USP. Acesso em jul. 2018. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/disciplinas/Casimiro/leb432/SEMEADORA2014site.pdf>>.

GALANTE, A.; GARCIA, R. Sistema de aquisição de dados de sensores de baixo custo baseado no Arduino. In: **Proceedings of the Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão (ConBAP)**. São Pedro: [s.n.], 2014.

GARCIA, R. F. **Semeadoras agrícolas**. 2007. Acesso em jul. de 2018.

GIBBS, S. **Raspberry Pi becomes best selling British computer**. 2015. Web page. The Guardian. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/technology/2015/feb/18/raspberry-pi-becomes-best-selling-british-computer>>.

GOERING, C. E. et al. Traction and transport devices. In: **Off-road vehicle engineering principles**. Saint Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 2003. cap. 13, p. 351–382. Disponível em: <www.asabe.org>.

HAX, V. A. et al. ROS as a middleware to Internet of Things. **Journal of Applied Computing Research**, v. 2, n. 2, p. 91–97, 2012.

IBAYASHI, H. et al. A reliable wireless control system for tomato hydroponics. **Sensors**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 16, n. 5, p. 644, 2016.

IBGE. **Censo Agro 2017**. [S.l.], 2018.

INAMASU, R. Y. et al. **Portfólio automação agrícola, pecuária e florestal**. São Carlos, 2016. ISSN 1518-7179. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1057988/1/DOC6020161.pdf>>.

International Organization for Standardization. **Tractors and machinery of agriculture and forestry - Serial control and communications data network. Part 4: Network layer**. [S.l.], 2001.

ISOBUS. **Histórico da ISO-11783**. Brasil, 2010. Disponível em: <<http://www.isobus.org.br/>>.

JULA, A.; SUNDARARAJAN, E.; OTHMAN, Z. Cloud computing service composition: A systematic literature review. **Expert Systems with Applications**, Elsevier, v. 41, n. 8, p. 3809–3824, 2014.

KALOXYLOS, A. et al. Farm management systems and the future internet era. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 89, p. 130 – 144, 2012. ISSN 0168-1699. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169912002219>>.

KALOXYLOS, A. et al. A cloud-based farm management system: Architecture and implementation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 100, p. 168 – 179, 2014. ISSN 0168-1699. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169913002846>>.

KAMIENSKI, C. et al. Livro de minicursos SBRC 2016. In: _____. [S.l.]: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2016. cap. Computação Urbana: Tecnologias e Aplicações para Cidades Inteligentes, p. 51–100.

KESKINA, M.; SAY, S. M. Feasibility of low-cost GPS receivers for ground speed measurement. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 54, p. 36–43, 2006.

KUMAR, R.; PANDEY, K. A program in Visual Basic for predicting haulage and field performance of 2WD tractors. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 67, n. 1, p. 18 – 26, 2009. ISSN 0168-1699. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169909000271>>.

LANÇAS, K.; UPADHYAYA, S. Pneus radiais para tratores: guia para seleção correta da pressão de inflação. **Energia na Agricultura Boletim Técnico**, n. 1, p. 1–33, 1997.

LEE, M.; HWANG, J.; YOE, H. Agricultural production system based on IoT. In: **2013 IEEE 16th International Conference on Computational Science and Engineering**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 833–837.

LEITE, M. A. de A. et al. Tecnologias da Informação e Comunicação e suas relações com a agricultura. In: _____. [S.l.]: Embrapa Informática Agropecuária, 2014. cap. Tecnologias emergentes - futuro e evolução tecnológica das AgroTIC, p. 331–350. ISBN 978-85-7035-414-3.

LTD, F. K. S. **Fujitsu Groups Agricultural IoT Challenges**. 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/rap/files/uploads/ESF_Presentations/T_Uchino_Fujitsu_E-Agriculture_Forum_in_Thailand.pdf>.

MAIA, C. M.; INAMASU, R. Y.; POTO, A. J. V. Análise e desenvolvimento de emulador de T-ECU para testes e aplicações didáticas em redes ISO 11783-compatíveis. In: **Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**. [S.l.: s.n.], 2016.

MANTOVANI, E. C.; LEPLATOIS, M.; INAMASSU, R. Y. Automação do processo de avaliação de desempenho de tratores e implementos em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, sciELO, v. 34, p. 1241 – 1246, 07 1999. ISSN 0100-204X.

MARTINS, A. J. M. et al. Desenvolvimento de dispositivos para determinar a força na barra e o consumo de combustível de um conjunto trator-semeadora. **8º Encontro de Ensino e Pesquisa da Universidade Federal da Grande Dourados**, 2014.

MIALHE, L. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba: Fealq, 1996. 722 p. ISBN 9788571330016. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=k2W2ZwEACAAJ>>.

MONTANHA, G. K. et al. Instrumentação de um equipamento agrícola para análise das forças de mobilização do solo em função dos tipos de defletores na haste e profundidades de trabalho. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 30, n. 3, p. 225–231, 2015.

MOORE, T.; STOUCH, D. A generalized Extended Kalman Filter implementation for the Robot Operating System. In: _____. **Intelligent Autonomous Systems 13: Proceedings of the 13th International Conference IAS-13**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 335–348. ISBN 978-3-319-08338-4. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-08338-4_25>.

MQTT. **MQTT community wiki**. [S.l.], 2017. Disponível em: <<http://mqtt.org/>>. Acesso em: 24 set. 2018.

NGUYEN, S. D. et al. Approach for quality detection of food by RFID-based wireless sensor tag. **Electronics Letters**, v. 49, n. 25, p. 1588–1589, December 2013. ISSN 0013-5194.

NIKKILÄ, R.; SEILONEN, I.; KOSKINEN, K. Software architecture for farm management information systems in precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 70, n. 2, p. 328 – 336, 2010. ISSN 0168-1699. Special issue on Information and Communication Technologies in Bio and Earth Sciences. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169909001859>>.

NODEMCU. **NodeMCU: Connect Things easy**. [S.l.], 2017. Disponível em: <http://nodemcu.com/index_en.html>.

OASIS. **MQTT Version 3.1.1 becomes an OASIS Standard**. [S.l.], 2014. Disponível em: <<https://www.oasis-open.org/news/announcements/mqtt-version-3-1-1-becomes-an-oasis-standard>>.

OECD. **CODE 2: OCDE standard code for the official testing of agricultural and forestry tractor performance**. 2017. Acesso em: 18 set. 2017. Disponível em: <<http://www.oecd.org>>.

OLIVEIRA, S. de. **Internet das Coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi**. [S.l.]: Editora Novatec, 2017.

ONU. **World Population Prospects: the 2017 Revision**. Nova Iorque, 2017. Disponível em: <<https://esa.un.org/unpd/wpp/>>.

PEREIRA, J. Balanço energético na implantação da cultura do milho. In: **Congresso Argentino de Ingenieria Rural**. La Plata, Argentina: [s.n.], 1998.

PEREIRA, R. R. D. **Protocolo ISO 11783: Procedimentos para comunicação serial de dados com o Controlador de Tarefas**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2008.

PERERA, C. et al. Context aware computing for the Internet of Things: A survey. **IEEE Communications Surveys Tutorials**, v. 16, n. 1, p. 414–454, First 2014. ISSN 1553-877X.

PIERCE, F.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Adv. Agronomy**, v. 67, p. 1–85, 1999.

PINO, A. V. **Instrumentação e Técnicas de Medidas**. 2013. Apostila da UFRJ.

- POOJA, S. et al. Application of MQTT protocol for real time weather monitoring and precision farming. In: **International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer, and Optimization Techniques (ICEECCOT)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–6.
- QUEIROS, L. R. et al. Análise das possibilidades e tendências do uso da tecnologia da informação e comunicação na agricultura de precisão. In: **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa Informática Agropecuária, 2001. p. 97–108.
- QUIGLEY, M. et al. ROS: an open-source Robot Operating System. In: **Proceedings of the ICRA Workshop on Open Source Software**. [S.l.: s.n.], 2009.
- Raspberry Pi Foundation. **Raspberry Pi: 14 million sold, 10 million made in the UK**. 2017.
- RASPBERRYPI. **Raspberry Pi 3 Model B**. 2017. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org>>.
- RAZZAQUE, M. A. et al. Middleware for Internet of Things: A survey. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 3, n. 1, p. 70–95, Feb 2016. ISSN 2327-4662.
- REIS, A. V. dos; MACHADO, A. L. T.; BISOGNIN, A. Avaliação do desempenho de três mecanismos dosadores de sementes de arroz com vistas à semeadura de precisão. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 3, p. 393–398, 2007.
- RESENDE, I. V. et al. Agricultura de precisão no brasil: Avanços, dificuldades e impactos no manejo e conservação do solo, segurança alimentar e sustentabilidade. In: **Proceedings of the XVIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**. [S.l.: s.n.], 2010.
- RIBEIRO, M. A. **Instrumentação**. Salvador, Brasil, 1999.
- ROS.ORG. **Robotic Operating System**. Stanford, USA, 2017. Disponível em: <<http://www.ros.org/>>.
- RUSSINI, A. **Projeto, construção e teste de instrumentação eletrônica para avaliação do desempenho de tratores agrícolas**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, 2009.
- SA, I.; CORKE, P. System identification, estimation and control for a cost effective open-source quadcopter. **IEEE International Conference on Robotics and Automation**, p. 14–18, 2012.
- SABATINI, A. M.; GENOVESE, V. A. Sensor fusion method for tracking vertical velocity and height based on inertial and barometric altimeter measurements. **Sensors**, p. 13324–13347, 2014.
- SAHU, R.; RAHEMAN, H. A decision support system on matching and field performance prediction of tractor-implement system. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 60, n. 1, p. 76 – 86, 2008. ISSN 0168-1699. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169907001500>>.

- SAKAI, R. M. R.; MILHOR, C. E. Desenvolvimento de conversor ISOBUS para padronização ISO-11783 – Estudo de caso de uma aplicação para monitoramento de plantio. In: **Proceedings of the Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão (ConBAP)**. São Pedro: [s.n.], 2014.
- SANTOS, B. P. et al. Livro de minicursos sbrc 2016. In: _____. [S.l.]: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2016. cap. Internet das Coisas: da Teoria à Prática, p. 1–50.
- SARKER, M. K.; PARK, D. S.; BADARCH, L. Electronic control sensors applications for the next generation tractor based on open source library. In: **Proceedings of the Sixth International Conference on Sensing Technology**. [S.l.: s.n.], 2012.
- SARRI, D.; MARTELLONI, L.; VIERI, M. Development of a prototype of telemetry system for monitoring the spraying operation in vineyards. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 142, p. 248 – 259, 2017. ISSN 0168-1699. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169917306257>>.
- SEIDEL, A. R. **Instrumentação Aplicada**. Brasil: Editora UFSM, 2011.
- SHAOUTI, A. et al. An embedded system for agricultural monitoring of remote areas. In: **Proceedings of the XXI International Computer Engineering Conference**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 58–67.
- SILVA, S.; BENEZ, S. Construção de um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas em ensaios de campo. **Energia na Agricultura**, v. 12, p. 10–citation_lastpage, 1997.
- SOUSA, R. V.; INAMASU, R. Y.; NETO, A. T. **CAN (Controller Area Network): Um Padrão Internacional de Comunicação de Transdutores Inteligentes para Máquinas Agrícolas**. São Carlos, 2001.
- SOUSA, R. V. de et al. Modelo conceitual para sistema de coleta e comunicação automática de dados para máquina e implemento automatizado e para robô agrícola móvel. In: **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Bernardi, A. C. de C. and Naime, J. de M. and Resende, A. V. de and Bassoi, L. H. and Inamasu, R. Y., 2014. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114276/1/cap-11.pdf>>.
- Sørensen, C. et al. Conceptual model of a future farm management information system. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 72, n. 1, p. 37 – 47, 2010. ISSN 0168-1699. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169910000396>>.
- SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E.; ROHRBACH, R. P. Tractor hitching, traction and testing. In: **Engineering principles of agricultural machines**. Saint Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 1996. p. 117–145. Disponível em: <www.asabe.org>.
- STEINBERGER, G.; ROTHMUND, M.; AUERNHAMMER, H. Mobile farm equipment as a data source in an agricultural service architecture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 65, n. 2, p. 238 – 246, 2009. ISSN 0168-1699. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169908002226>>.

TABILE, R. A.; INAMASU, R. Y.; PORTO, A. J. V. Robótica na agricultura de precisão. In: **Agricultura de Precisão: um novo olhar**. [S.l.]: Embrapa, 2008.

TALAVERA, J. M. et al. Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 142, p. 283–297, 2017.

TANENBAUM, A. **Redes de computadores**. Editorial Alhambra S. A., 2003. ISBN 9789702601623. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=d_m3W_Yob8kC>.

TORADEX. **Single Board Computer Customizável**. 2017. Disponível em: <<https://www.toradex.com>>.

TRENDS, G. **Pesquisa do termo "Internet of Things" no Google**. [S.l.], 2017. Disponível em: <<https://trends.google.com/trends/explore?date=all&q=internet%20of%20things>>.

TUMENJARGAL, E. et al. Embedded software and hardware implementation system for a human machine interface based on ISOAgLib. **Journal of Zhejiang University SCIENCE C**, v. 14, n. 3, p. 155–166, 2013. ISSN 1869-196X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1631/jzus.C1200270>>.

WANG, G.; ZOERB, G. A farm tractor driver's information system. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 4, n. 3, p. 191 – 207, 1990. ISSN 0168-1699. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016816999090019L>>.

WANG, X. D.; WANG, H. M.; DANG, A. R. Research on large scale dynamic monitoring of land use with RS, GPS and GIS. In: **Proceedings of the IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium**. [S.l.: s.n.], 2000. v. 5, p. 2134–2136.

WEB OF SCIENCE. **Análise de resultados para a pesquisas contendo o tópico "internet of things"**. 2018. Acesso em: 12 jul. 2018.

YANAI, K. et al. Desempenho operacional de trator com e sem o acionamento da tração dianteira auxiliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, sciELO, v. 34, p. 1427 – 1434, 08 1999. ISSN 0100-204X. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X1999000800015&nrm=iso>.

YERLIKAYA, .; DALKILIÇ, G. Security of message queue telemetry transport protocol. In: **2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–4.

ZANELLA, A. et al. Internet of Things for smart cities. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 1, n. 1, p. 22–32, Feb 2014. ISSN 2327-4662.

ZHANG, J. et al. A portable farmland information collection system with multiple sensors. **Sensors**, v. 16, n. 10, 2016. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1424-8220/16/10/1762>>.

ZHANG, W.; MA, H.; YANG, S. X. An inexpensive, stable, and accurate relative humidity measurement method for challenging environments. **Sensors**, v. 16, n. 3, 2016. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1424-8220/16/3/398>>.

ZHU, W. et al. Data collection for mobile group consumption: An asynchronous distributed approach. **Sensors**, v. 16, n. 4, 2016. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1424-8220/16/4/482>>.

ZOZ, F. M.; GRISSE, R. D. **Traction and Tractor Performance**. Saint Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 2003. v. 27. Disponível em: <www.asabe.org>.

APÊNDICE A – Raspberry Pi

Passo a passo de instalação do Sistema Operacional Raspbian no Raspberry Pi:

1. Preparação do cartão SD utilizando um computador com SO Windows:
 - (a) Baixar a imagem do S.O. Raspbian do site:
<<https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>>
 - (b) Inserir o cartão SD, de pelo menos 8Gb, no PC;
 - (c) Baixar e iniciar o software *SDFormatter*:
<https://www.sdcard.org/downloads/formatter_4/>
 - (d) No software *SDFormatter*, em "*Options*", alterar a opção "*Format size adjustment*" de "OFF" para "ON";
 - (e) Clicar em "*Format*";
 - (f) Baixar e iniciar o software *Win32 Disk Imager*:
<<https://sourceforge.net/projects/win32diskimager/>>
 - (g) No software *Win32 Disk Imager*, selecionar a imagem Raspbian e o cartão onde será gravada a imagem e clicar em "*Write*".
2. Inserir o Cartão SD no Raspberry Pi;
3. Conectar os cabos HDMI, teclado, *ethernet* e, por último, o cabo de alimentação;
4. Por *default*, login e senha são *pi* e *raspberry*, respectivamente;
5. O sistema está pronto para utilização!

Obs.: Futuramente, quando a imagem estiver configurada de modo completo, o software *Win32 Disk Image* pode ser utilizado para gerar uma nova imagem contendo suas modificações. Para isso:

- Abrir o software *Win32 Disk Imager*
- Selecionar o cartão
- Navegar onde se deseja salvar a imagem e escolher uma nome para ela
- Após isso, o botão "*Read*" está ativo. Clicar nele.

ANEXO A – *Datasheet* LoRa

A Figura 1 apresenta a relação das principais características do módulo LoRa utilizado encontradas em seu *datasheet*.

Figura 1 – *Datasheet* do LoRa

KEY PRODUCT FEATURES

- ◆ LoRa™ Modem
- ◆ 168 dB maximum link budget
- ◆ +20 dBm - 100 mW constant RF output vs. V supply
- ◆ +14 dBm high efficiency PA
- ◆ Programmable bit rate up to 300 kbps
- ◆ High sensitivity: down to -148 dBm
- ◆ Bullet-proof front end: IIP3 = -11 dBm
- ◆ Excellent blocking immunity
- ◆ Low RX current of 9.9 mA, 200 nA register retention
- ◆ Fully integrated synthesizer with a resolution of 61 Hz
- ◆ FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa™ and OOK modulation
- ◆ Built-in bit synchronizer for clock recovery
- ◆ Preamble detection
- ◆ 127 dB Dynamic Range RSSI
- ◆ Automatic RF Sense and CAD with ultra-fast AFC
- ◆ Packet engine up to 256 bytes with CRC
- ◆ Built-in temperature sensor and low battery indicator