

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CÂMPUS EXPERIMENTAL DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

LETÍCIA BARBOSA FIDANZA

SISTEMA DE COMUNICAÇÃO PARA REDE DE SENSORES SEM FIO APLICADA AO
CONTROLE AMBIENTAL

SÃO JOÃO DA BOA VISTA
2018

LETÍCIA BARBOSA FIDANZA

**SISTEMA DE COMUNICAÇÃO PARA REDE DE SENSORES SEM FIO APLICADA AO
CONTROLE AMBIENTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita
Filho" como requisito para obtenção de título de
Bacharel em Engenharia de Telecomunicações.

Orientador: Profº Dr. André Alves Ferreira

Coorientador: Profº Dr. José Augusto de Oliveira

SÃO JOÃO DA BOA VISTA

2018

Fidanza, Letícia Barbosa

Sistema de comunicação para rede de sensores sem fio aplicada ao controle ambiental / Letícia Barbosa Fidanza. -- São João da Boa Vista, 2018.
66 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso – Câmpus Experimental de São João da Boa Vista – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Orientador: Prof. Dr. André Alves Ferreira

Bibliografia

1. Detectores 2. Fazendas 3. Internet 4. Monitoramento ambiental 5. Redes de sensores sem fio 6. Sustentabilidade 7. Telecomunicações

CDD 23. ed. – 621.382

Ficha catalográfica elaborada pela [Biblioteca-BJB](#)

Bibliotecário responsável: João Pedro Alves Cardoso – CRB-8/9717

LETÍCIA BARBOSA FIDANZA

**SISTEMA DE COMUNICAÇÃO PARA REDE DE SENSORES SEM FIO APLICADA AO
CONTROLE AMBIENTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita
Filho" como requisito para obtenção de título de
Bacharel em Engenharia de Telecomunicações.

Orientador: Profº Dr. André Alves Ferreira

Coorientador: Profº Dr. José Augusto de Oliveira

Data de aprovação: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA:

Profº Dr. André Alves Ferreira
Orientador/UNESP-SJBV

Profº Dr. Marcelo Luís Francisco Abbade
UNESP-SJBV

Profº Dr. Rafael Abrantes Penchel
UNESP-SJBV

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, ao meu pai Renato, à minha mãe Sirley, à minha avó Maria e aos meus irmãos Leonardo e Lara.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a *Deus*, fonte da vida e da graça. Agradeço a minha *família* pela confiança, por compreender minha ausência sempre apoiando todas as minhas decisões e não medindo esforços para fazer tudo quanto era possível para que eu pudesse chegar até aqui.

Aos meus orientadores, *Prof.Dr. André Alves Ferreira* e *Prof.Dr. José Augusto de Oliveira* por acreditarem no meu potencial, por me proporem desafios e mostrarem os melhores caminhos. Exemplos de profissionais e de pessoas que desejo seguir.

Aos técnicos *Marcelo Jorge* e *Mirian* por não medirem esforços para ajudar, me acompanhando em todos os processos de desenvolvimento, executando muito mais que suas funções. Por acreditarem tanto em mim, profissionais que admiro e amigos que levarei por toda a vida.

Aos meus amigos, por estarem sempre comigo e me sustentarem nas horas mais difíceis. Por me proporcionarem os melhores anos da minha vida, pela cumplicidade e por serem tão únicos e especiais, com eles a caminhada foi muito mais fácil. Em especial agradeço a *Larissa*, *Jéssica*, *Melissa*, *Welerson* e *Allan*, por me ajudarem a ser quem sou, por acreditarem em mim quando eu mesma já não conseguia, me desafiaram a ser melhor todos os dias.

Ao *João* pela ajuda na Biblioteca Unesp Câmpus São João da Boa Vista.

Aos *professores* e *funcionários* da Unesp Câmpus de São João da Boa Vista por contribuírem para a minha formação.

“Tudo que está no plano da realidade já foi sonho um dia”
(LEONARDO DA VINCI)

RESUMO

O conceito de Internet das Coisas (*Internet of Things*-IoT) propõe a conectividade como agente das rotinas diárias, facilitando no gerenciamento das tarefas. No ambiente de produção agrícola, por exemplo, o uso da IoT promove inúmeros benefícios no controle e na manutenção das tarefas no campo. Com o aumento da população mundial torna-se necessário o uso de mecanismos, afim de otimizar a produtividade e previsibilidade no processo produtivo. Nesse contexto, as Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) são ferramentas utilizadas para controle ambiental na lavoura. A automação da produção agrícola e o monitoramento são necessários para rápidas tomadas de decisão, aumento da produção agrícola, além da economia de recursos naturais, evitando-se desperdícios com a irrigação e a perda de produção pelas condições climáticas. As maiores dificuldades encontradas são o desconhecimento quanto à aplicação das tecnologias no setor agropecuário, à infraestrutura e à interoperabilidade com outros sistemas de controle para automação do meio rural. Dessa maneira, este projeto tem o intuito de implementar uma solução escalável e aplicável, tanto para o pequeno, quanto para o grande produtor. Por meio do levantamento dos principais aspectos relevantes na implementação da tecnologia no campo e da construção de uma RSSF capaz de adquirir dados como temperatura e umidade, processar e transmitir ao usuário em uma interface que facilite as tomadas de decisões e controle sobre sua plantação, a baixo custo e de forma sustentável, levando em conta as condições do ambiente estudado e o impacto técnico e ambiental da implementação dessa solução.

PALAVRAS-CHAVE: Internet das Coisas. Sensores. Rede de Sensores Sem Fio. Monitoramento ambiental. Fazenda Tropical 4.0. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The Internet of Things (IoT) concept proposes connectivity as an agent of daily routines, making it easier to manage tasks. In the agricultural production environment, for example, the use of IoT promotes numerous benefits in control and maintenance. With the increase of the world population it becomes necessary the use of mechanisms, in order to optimize the productivity and predictability in the productive process. In this context, Wireless Sensor Networks (WSNs) are tools used for environmental control in the field. The automation of agricultural production and monitoring are necessary for rapid decision-making, increasing agricultural production beyond saving natural resources, avoiding waste with irrigation and loss of production due to climatic conditions. The greatest difficulties encountered are the lack of knowledge about the application of technologies in the agricultural sector, the infrastructure and the interoperability with other control systems for rural automation. In this way, this project intends to implement a scalable and applicable solution for both the small and the large producer. Through the survey of the main relevant aspects in the implementation of the technology in the field and the construction of an WSN capable of acquiring data such as temperature and humidity, to process and transmit to the user in an interface that facilitates the decision making and control on its planting, down cost and in a sustainable way, taking into account the conditions of the studied environment, the technical and environmental impact of the implementation of this solution.

KEYWORDS: Internet of Things. Sensors. Wireless Sensor Network. Environmental monitoring. Tropical Farm 4.0. Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Áreas específicas de planejamento da IoT no Brasil	15
Figura 2	Rede de comunicações na fazenda digital	19
Figura 3	Funcionalidades presentes em uma Rede de Sensores Sem Fio	29
Figura 4	Imagem do formulário de pesquisa <i>Survey</i> disponibilizado online.	34
Figura 5	Arquitetura básica do nó componente da RSSF	35
Quadro 1	Microcontrolador Arduino Nano	37
Quadro 2	RTC	37
Quadro 3	Módulo nRF24L01+	38
Quadro 4	Sensor LM35	39
Figura 6	Circuito regulador de tensão	40
Figura 7	Ligações feitas no Top e Botton da PCB, respectivamente na imagem	43
Figura 8	Impressão da PCB	43
Figura 9	Fluxograma de funcionamento do nó sensor da RSSF	44
Figura 10	Protótipo nó sensor	45
Figura 11	Fluxograma de funcionamento do nó central da RSSF	46
Figura 12	Protótipo nó central	46
Figura 13	Pipes de comunicação	48
Figura 14	Estrutura do pacote enviado	49
Quadro 5	Principais fatores para manutenção de uma plantação	50
Figura 15	Importância da iluminação, temperatura e umidade para uma plantação	51
Figura 16	Uso de tecnologias de automação no campo	52
Figura 17	Soluções propostas para automação do campo	53
Figura 18	Análise do cenário de desenvolvimento sustentável no campo usando a ferramenta matriz F.O.F.A	54
Figura 19	Nós central (COM10) e Sensor (COM12) em estado de espera	56
Figura 20	Transmissão de informações pelo nó sensor	57
Figura 21	Recepção de informações pelo nó central	58
Figura 22	Interface Spyder de linguagem <i>Python</i> para de aquisição de dados	59
Figura 24	Snapshot do recebimento do último pacote de dados	60
Figura 25	Controle de temperatura durante o dia	60
Figura 23	Snapshots dados aqisitados pelo nó sensor e Recebidos pelo nó central	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IoT	<i>Internet of Things</i>
RSSF	Rede de Sensores Sem Fio
MEMS	<i>Micro Electro Mechanical Systems</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
M2M	<i>Machine-To-Machine</i>
DoS	<i>Denial of Service</i>
DEP	<i>Data End Point</i>
DIP	<i>Data Integration Point</i>
MANET	<i>Mobile Ad hoc Network</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
FOFA	Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças
RTC	<i>Real Time Clock</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SS	<i>Slave Select</i>
MOSI	<i>Master Out Slave In</i>
MISO	<i>Master In Slave Out</i>
SCK	<i>Serial Clock</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
SCL	<i>Slave Clock</i>
SDA	<i>Slave Data</i>
ISM	<i>Industrial Scientific and Medical</i>
GFSK	<i>Gaussian Frequency Shift Keying</i>

FSK	<i>Frequency Shift Keying</i>
ESB	<i>Enhanced ShockBurst</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Definição do problema	13
1.2	Objetivo	13
1.2.1	Objetivos Específicos	13
1.3	Justificativa	14
2	TECNOLOGIA E SUSTENTABILIDADE	17
2.1	Evolução tecnológica da agricultura	17
2.1.1	Agricultura Digital: Agricultura 4.0	18
2.1.1.1	Potencial de aplicação da IoT no ambiente rural	19
2.2	Sustentabilidade na agricultura	20
2.2.1	Limitação de recursos naturais	21
2.2.2	Impacto sobre a agricultura familiar	21
2.2.3	Uso e ocupação do solo	21
2.2.4	Uso de agrotóxicos e nutrientes químicos	22
3	CONVERGÊNCIA DE REDES DE COMUNICAÇÃO EM AMBIENTES IN- TELIGENTES	23
3.1	Princípios da Internet das Coisas	23
3.1.1	Objetos inteligentes	23
3.1.2	Blocos básicos de construção da IoT	24
3.2	Comunicação <i>Machine-To-Machine</i>	25
3.2.1	Desafios na comunicação M2M	26
3.3	Rede de Sensores Sem Fio	27
3.3.1	Modelo funcional de uma RSSF	28
3.3.1.1	Estabelecimento da Rede	29
3.3.1.2	Manutenção	30
3.3.1.3	Sensoriamento	30
3.3.1.4	Processamento	31
4	MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1	Pesquisa de levantamento de informações	33
4.2	Desenvolvimento da Rede de Sensores Sem Fio	34
4.2.1	Unidades básicas dos nós sensores	34

4.2.1.1	Unidade de Processamento	35
4.2.1.2	Unidade de Comunicação	38
4.2.1.3	Unidade de Sensoriamento	39
4.2.1.4	Unidade de Energia	39
4.2.2	Meio físico de transmissão	40
4.2.2.1	Modulação GFSK	40
4.2.2.2	Banda de frequência	41
4.2.2.3	Canais de RF	41
4.2.2.4	Taxa de transmissão	41
4.2.3	Funcionamento do sistema	41
4.2.4	Desenvolvimento do protótipo	42
4.2.4.1	Nós sensores	43
4.2.4.2	Nó central	45
4.2.5	Topologia de Rede	47
4.2.5.1	Protocolo de comunicação	47
4.2.5.2	Estrutura do pacote de dados	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
5.1	Tratamento dos dados pesquisa <i>survey</i>	50
5.2	Verificação do funcionamento do protótipo construído	55
5.3	Aquisição e tratamento dos dados	58
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	63
	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT), pode ser definida como uma extensão da Internet em que os objetos adquirem capacidade de conexão, comunicação e processamento de informações. A conexão com a rede mundial de computadores possibilita o acesso remoto a objetos, ou seja, “a Internet das Coisas permite que pessoas e coisas possam se conectar a qualquer hora, em qualquer lugar, com qualquer coisa, utilizando qualquer caminho, rede ou serviço” (PEREIRA; CARVALHO, 2017). Esses mesmos objetos passam a ter capacidade de prover serviços, atuando de forma autônoma. A partir das novas funcionalidades atribuídas aos objetos, provenientes da IoT, inúmeras são as possibilidades de suas aplicações na indústria, saúde e agricultura, por exemplo. Por outro lado, também surgem desafios técnicos que devem ser explorados para a disseminação das aplicações práticas (SANTOS et al., 2016). As potenciais aplicações da IoT na agricultura abrangem inúmeros cenários, nos quais o conceito de conectividade e previsibilidade estão diretamente relacionados com a necessidade do ambiente de produção, no qual as respostas das plantas ao clima são de extrema importância para a precisão nas tomadas de decisões, a fim de otimizar a produtividade e a qualidade no cultivo agrícola (TZOUNIS et al., 2017).

A produção agrícola está inserida em um contexto de crescente produtividade e competitividade devido ao aumento populacional. Com a necessidade do desenvolvimento de pesquisas e aplicações no setor da produção de alimentos, tem-se nos ambientes controlados, a identificação e monitoramento de quais os elementos externos que mais interferem na produção. Dessa maneira, o controle obtido a partir de dados coletados leva à prevenção de pragas e doenças, por exemplo, e ainda influenciam diretamente na diminuição do uso de insumos agrícolas e redução de resíduos, proporcionando uma produção sustentável que reflete em maior qualidade dos produtos, durante o ano todo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2014) . Quanto maior o número de variáveis de controle, maior a complexidade do sistema que proporciona uma melhor caracterização do ambiente em que problemas podem ser tratados pontualmente, sendo esse o maior desafio da pesquisa. Tem-se então, uma tomada de decisão mais rápida em relação a aumento de produção e minimização dos impactos e desperdícios no campo, e certa no quesito de atacar diretamente questões características de cada propriedade, a partir do uso de ferramentas tecnológicas como as Redes de Sensores Sem Fio (RSSF).

As RSSFs foram promovidas por meio da convergência de três principais tecnologias sendo elas os microprocessadores, os sistemas de comunicação sem fio e os sistemas micro eletromecânicos (do inglês, *Micro Electro Mechanical Systems* - MEMS ¹). É função da RSSF o monitoramento e controle do ambiente em que este sistema está inserido, podendo ser constituído por milhares de “nós

¹ TORRES, Henrique. **Embarcados**. 2014. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/mems/>>. Acesso em: 17 set. 2018

sensores”(LOUREIRO et al., 2003). Dessa forma, este trabalho propõe a integração de uma rede de comunicações, onde cada nó é responsável pelo monitoramento e comunicação com um ponto específico na rede, como uma maneira de otimizar e ampliar o controle do produtor sobre sua área de plantio.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Nesse contexto, evidencia-se a necessidade de estabelecer a interface entre os sistemas de produção no campo e a tecnologia. A otimização na realização de atividades no campo é obtida no sentido do acesso amplo às informações, por meio do desenvolvimento de meios que provenham maior conhecimento a respeito do ambiente rural, facilitando assim a tomada de decisão e o uso sustentável dos recursos dentro da cadeia produtiva do agronegócio. Busca-se o gerenciamento modular, com ações que visam um manejo voltado para as características específicas de cada propriedade, baseados em dados obtidos pelo uso da IoT.

1.2 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é implementar e analisar a comunicação entre os nós de uma RSSF, com o intuito de obter informações de monitoramento de uma área rural.

1.2.1 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo deste trabalho, pode-se estabelecer os seguintes objetivos específicos para pesquisa:

- Identificar fatores e variáveis que são importantes para a sustentabilidade ambiental de um sistema de agricultura 4.0;
- Implementar uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) capaz de adquirir dados de temperatura e umidade, processar e transmitir dados a uma central de fácil acesso ao usuário;
- Desenvolver uma solução ao pequeno produtor tanto no quesito econômico, com uma solução de baixo custo, quanto na ampliação do uso de tecnologias para controle, com economia dos recursos hídricos, melhoria do tratamento do solo e aumento de produtividade;
- Implementar a solução na forma de protótipo para análises reais;
- Possibilitar a interoperabilidade com outras redes de controle por meio da IoT.

1.3 JUSTIFICATIVA

A agricultura, no panorama geral está diante de diversos desafios. Tendências globais estão diretamente relacionadas com a segurança alimentar, pobreza, sustentabilidade global dos alimentos e sistemas agrícolas. São quatro os principais aspectos que norteiam as demandas futuras da agricultura mundial sendo eles a demografia e escassez de recursos naturais (CLERCQ; VATS; BIEL, 2018).

Analizando o setor específico da agricultura tem-se um cenário de aumento do consumo e consequentemente necessidade do aumento produtivo. Espera-se um aumento populacional de 33%, em comparação aos 7,6 bilhões de outubro de 2017 (CLERCQ; VATS; BIEL, 2018). Dessa maneira, há um aumento da demanda por alimentos, pois o crescimento econômico é lento, de 50% em relação à produção agrícola de 2013 (CLERCQ; VATS; BIEL, 2018). Os consumidores hoje atribuem um valor significativo aos alimentos frescos, de alta qualidade e uso reduzido de insumos agrícolas, o que impõe aos produtores um estabelecimento de nível de qualidade para se produzir com rapidez e de forma a garantir a segurança alimentar.

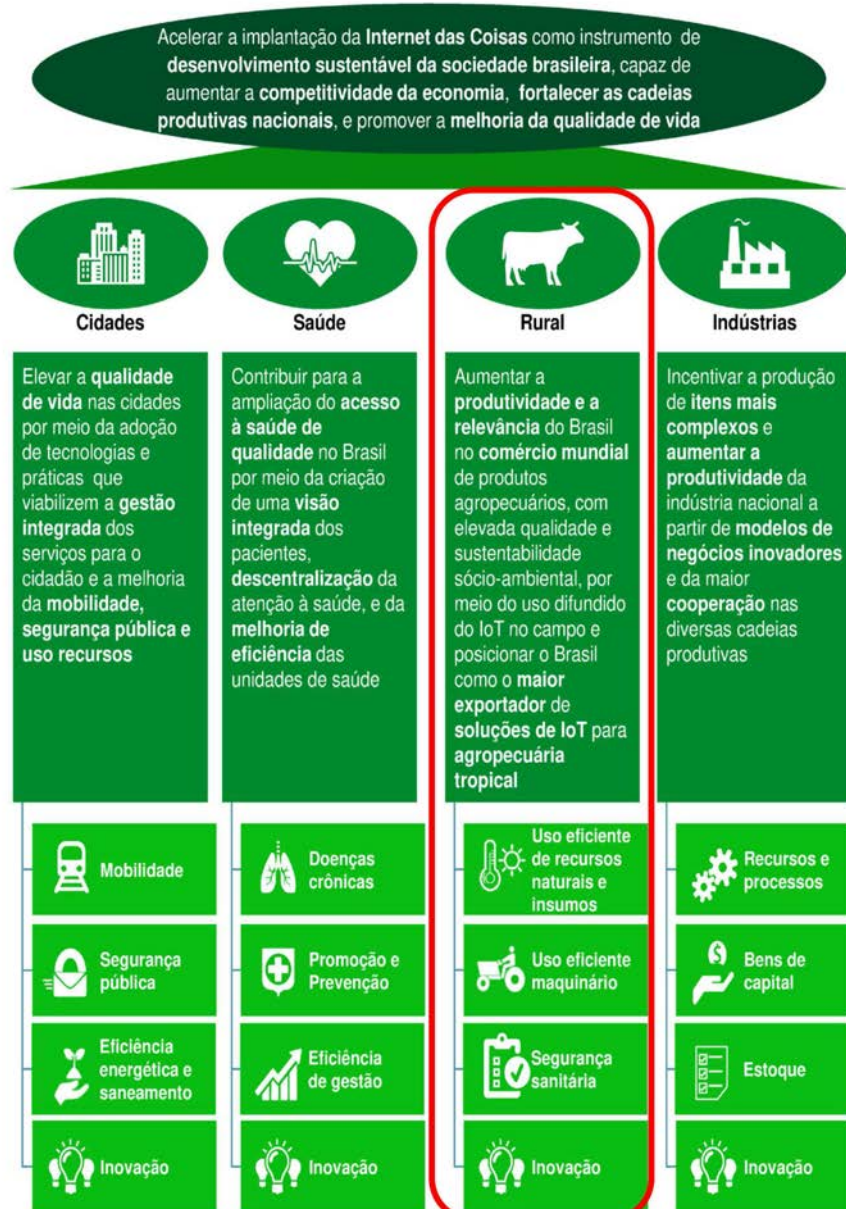
No que se refere aos recursos naturais, terras agrícolas do mundo têm se tornado improdutivas, cerca de 25% das terras agrícolas são consideradas altamente degradadas, sofreram alguma perturbação física, química ou biológica, enquanto outros 44% são moderadamente ou ligeiramente degradadas. Em questão de recursos hídricos, cerca de 40% da população rural mundial vive em áreas com escassez de água (CLERCQ; VATS; BIEL, 2018). Tais limitações de terras e recursos têm influência direta no surgimento de fazendas menores, com menor produção e aumento da pobreza rural. A agricultura nesse cenário pode ser uma causa primária e indireta de degradação das terras agrícolas com a falta de planejamento, erosão do solo, gerenciamento indevido de culturas, uso desequilibrado de fertilizantes e sistemas de irrigação mal planejados.

O uso massivo da IoT propõe revolucionar a economia e o dia a dia da população mundial. O Brasil, com o intuito de refletir tais vertentes da tecnologia, busca nortear este desenvolvimento tecnológico através de medidas diretivas contidas no documento “Relatório do plano de ação – Iniciativas e Projetos Mobilizadores”, resultado do estudo “Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil” (BRASIL, 2017), liderado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), juntamente com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Trata-se de um estudo estratégico para o país no que se diz respeito a IoT e o desenvolvimento tecnológicos em vários setores econômicos como indústria, saúde e agricultura, ilustrado pela Figura 1, esta imagem descreve quais os principais aspectos que serão considerados prioritários para o desenvolvimento da IoT no Brasil, além da motivação e necessidade de cada setor destacando-se a agricultura que proporcionaria um uso eficiente dos recursos naturais, uso eficiente de maquinário agrícola, segurança sanitária e inovação tecnológica para as tarefas do campo. Nesse aspecto, os sistemas aplicados de IoT para agricultura e processamento dos alimentos contribuem para a manutenção e gerenciamento das tarefas agrícolas. O uso cada vez mais disseminado de sensores para determinar condições como temperatura e umidade da plantação, enquanto processadores podem gerenciar tarefas de colheita,

transporte, armazenamento e processamento.

Figura 1 – Áreas específicas de planejamento da IoT no Brasil

Visão do Plano de Ação de IoT para o Brasil



FONTE: Fóruns de engajamento do estudo, discussões com BNDES/MCTIC e análise do consórcio

Fonte: Relatório do Plano de Ação (BRASIL, 2017)

Tendo em vista a necessidade de soluções para o setor agrícola, o plano de ação de IoT para o Brasil no setor rural tem como perspectiva: aumentar a produtividade, a relevância do Brasil no comércio mundial de produtos agropecuários, com elevada qualidade e sustentabilidade sócio ambiental, por meio do uso difundido do IoT no campo e posicionar o Brasil como o maior exportador de soluções

de IoT para agropecuária tropical. Através de ferramentas como uso eficiente de insumos e recursos naturais, uso eficiente de maquinário, segurança sanitária e inovação.

Nesse contexto, evidencia-se a necessidade de estabelecer a interface entre os sistemas de produção no campo e a tecnologia, visando a otimização do tempo de resposta, no sentido do acesso amplo às informações, além de meios que provenham maior conhecimento a respeito do ambiente rural facilitando assim a tomada de decisão e o uso sustentável dos recursos dentro da cadeia produtiva do agronegócio. Por isso esse trabalho busca, de forma prática, implementar efetivamente a comunicação entre os nós de uma rede de sensores para o monitoramento ambiental, de forma que seja adaptável às necessidades dos pequenos e grandes produtores agrícolas. Dessa maneira, obtêm-se modularmente ações dentro da perspectiva de um manejo agrícola baseado no controle das características de solo e gerenciamento com o uso da IoT. Contudo, há um grande abismo teórico e técnico a ser abrangido dentro desta perspectiva, que consiste na implementação e estudo de tecnologias e sistemas de controle com soluções integradas e acessíveis ao pequeno produtor.

2 TECNOLOGIA E SUSTENTABILIDADE

Segundo a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento criada pelas Nações Unidas, “Desenvolvimento Sustentável” é conceituado como o “desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações”, ou seja, da busca do equilíbrio econômico e ambiental (WWF, 2017). A sustentabilidade é um conceito que integra o desempenho econômico, a responsabilidade ambiental e a equidade social.

2.1 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DA AGRICULTURA

De acordo com o CEMA (*European Agricultural Machinery*), (EUROPEAN AGRICULTURAL MACHINERY, 2017), a evolução da agricultura a partir do século XX se deu de maneira gradativa e bem determinada de em cinco fases:

a. Agricultura 1.0

Tem início no século XX, em um sistema de trabalho intensivo na agricultura, porém com baixa produtividade. A produção era suficiente para alimentação da população, caracterizada por pequenas fazendas e cerca de 1/3 da população ativa no processo de produção primário (EUROPEAN AGRICULTURAL MACHINERY, 2017).

b. Agricultura 2.0

Essa fase teve início no fim dos anos 50, conhecida como “A Revolução Verde”, com o uso de técnicas de manejo com o uso de nitrogênio suplementar, pesticidas sintéticos, fertilizantes e máquinas especializadas com o aumento da escala de produção (EUROPEAN AGRICULTURAL MACHINERY, 2017).

c. Agricultura 3.0

Em meados da década de 90 é incorporado ao campo, o GPS (do inglês, *Global Positioning System* - Sistema de Posicionamento Global) para orientação manual, dando início à “Agricultura de Precisão”. O uso de equipamentos com monitores de rendimento, com base em entradas de amostras de solo e localização de GPS. O início da incorporação da telemática aplicada ao monitoramento de máquinas propôs a otimização dos processos logísticos na fazenda. O foco era a redução de custos visando lucratividade e o desenvolvimento de produtos diferenciados. A agricultura de precisão otimizou as operações ao gerir as variações do campo com suas características específicas (EUROPEAN AGRICULTURAL MACHINERY, 2017).

d. Agricultura 4.0

Sua evolução se deu com base em diversas tecnologias como sensores e atuadores elétricos (equipamentos que podem substituir a operação manual das válvulas em diversos locais) melhorados e mais baratos, microprocessadores de baixo custo, comunicação em banda larga, sistemas de armazenamento em nuvem, análise de grande fluxo de dados. Com a Agricultura 4.0 alguns fenômenos foram introduzidos ao sistema produtivo agrícola, a prestação de serviços físicos passa a usar ferramentas não físicas, como algoritmos, para transformar dados em informação agregando valor aos produtos, com o intuito de otimizar, reduzir o risco e a vulnerabilidade de influências externas à produção. Além disso, o surgimento de ecossistemas agrícolas combinando plataformas de dados de diversas fontes, sensores e equipamentos no campo, possibilitou ao agricultor monitorar suas operações. Dessa forma, as tomadas de decisões com base em hipóteses quantificadas aumentaram o resultado financeiro. Nesse sistema, os dados digitais proporcionaram a base da colaboração entre partes do sistema que passaram a oferecer diferentes serviços, a diferentes interessados.

Em vias gerais, a Agricultura 4.0 é um termo referente a Indústria 4.0 já que a evolução se deu de forma paralela à do mundo industrial. A Agricultura 4.0 tornou possível a informação digital no campo, por meio da construção de uma rede de operações agrícolas, proporcionando a comunicação entre parceiros externos, fornecedores e clientes executados eletronicamente, pela transmissão, processamento e análise de dados em sua grande parte automatizados (EUROPEAN AGRICULTURAL MACHINERY, 2017).

e. Agricultura 5.0

Trata-se da próxima evolução da agricultura, com perspectiva de se fundamentar na robótica e na inteligência artificial (EUROPEAN AGRICULTURAL MACHINERY, 2017).

2.1.1 Agricultura Digital: Agricultura 4.0

A “Agricultura Digital” está relacionada tanto com a evolução da engenharia agrícola, da agricultura de precisão e da construção de redes inteligentes. A Figura 2 mostra os vários níveis e fluxos de informações em uma fazenda digital, com ecossistemas de produção conectados por um fluxo contínuo de dados, baseado no conhecimento que permite automação de processos de produção sustentáveis. Devido a complexidade dos processos de produção agrícola, a diversidade de parceiros envolvidos (fornecedores, clientes, contratantes, etc.) e as várias fontes de informação, surgem estruturas complexas de redes de comunicação na agricultura digital.

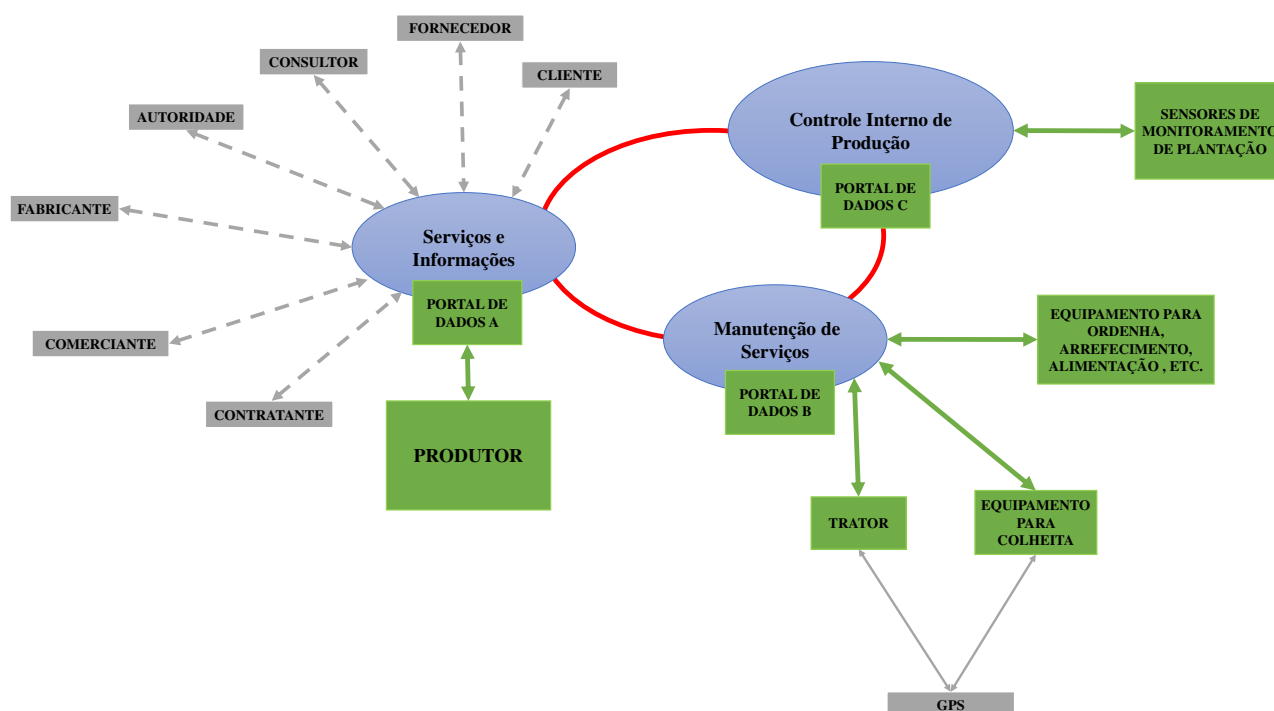
Dois requisitos devem ser atendidos para que a agricultura digital seja possível (EUROPEAN AGRICULTURAL MACHINERY, 2017):

1. Máquinas inteligentes: Capazes de receber, enviar e gerar (utilizando sensores) dados do processo;

2. Máquinas conectadas: Providas de uma interface que permita fluxo de informações entre máquinas, transparente aos parceiros de negócios e organizado acesso às informações.

Os dados gerados, no contexto da agricultura digital, precisam ser gerenciados de forma que se mantenham controláveis e administráveis pelo produtor. Dessa maneira, os portais de dados são ferramentas para o controle, por meio da qual o agricultor direciona e restringe informações mantendo sua "propriedade" dos dados e da sua produção. Os dados tornam o ambiente agrícola mais produtivo e sustentável. Com a transparência e rastreabilidade dos processos produtivos, há uma melhor qualidade dos alimentos, aumento de produção e minimização do impacto ambiental (EUROPEAN AGRICULTURAL MACHINERY, 2017).

Figura 2 – Rede de comunicações na fazenda digital



Fonte: Produção da própria autora, adaptada de (EUROPEAN AGRICULTURAL MACHINERY, 2017)

2.1.1.1 Potencial de aplicação da IoT no ambiente rural

A tecnologia aplicada à agricultura pode contribuir para otimização, racionalização, redução das perdas de produção, e minimização do impacto ambiental causado pelas práticas agropecuárias. Algumas práticas tecnológicas podem ser incorporadas ao ambiente agrícola, tais como (Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações, 2017):

- Monitoramento dos sistemas de produção por meio de detecção e verificação da variabilidade temporal e espacial;
- Controle de qualidade, rastreabilidade e procedência de produtos;
- Minimização de perdas por variações climáticas;
- Otimização de técnicas de manejo do solo;
- Planejamento operacional na gestão de tempo, consumo de insumos (água por exemplo);
- Gestão remota;
- Detalhamento do produto;
- Controle automatizado na qualidade de produção;
- Veículos agrícolas inteligentes e autônomos.

A IoT gera valor a partir de dados extraídos com o sensoriamento do mundo real. Sensores, processadores e memórias ganham avanços em sua capacidade e eficiência, em tecnologias com menor custo que evoluem exponencialmente. Juntamente com sistemas avançados de análise de dados, a IoT é inserida no cotidiano das atividades humanas. Algoritmos, para o processamento de dados distribuídos em tempo real, limitam os sistemas de baixa potência, como redes de sensores. Contudo, no contexto da IoT, tem-se os objetos conectados, com a necessidade de realocação da sobrecarga computacional e com possibilidade de armazenamento em nuvem ou a distribuição entre os dispositivos interligados (TZOUNIS et al., 2017).

2.2 SUSTENTABILIDADE NA AGRICULTURA

A sustentabilidade na agricultura está diretamente associada à estabilidade, dado um conjunto de aspectos ambientais e econômicos. Trata-se da previsibilidade ao se manter uma produção regular ao longo do tempo.

A perspectiva de desenvolvimento sustentável está relacionada com a preservação de recursos renováveis e não-renováveis, a partir de boas práticas de negócios, capacidade de assimilação dos impactos ambientais e consequentemente boa gestão ambiental. Em um cenário de crescimento exponencial da população, com aumento da produção, em contrapartida à limitação dos recursos naturais disponíveis, é necessário o uso de tecnologia propõe uma padronização, afim de atender critérios de qualidade, além de ações que busquem minimizar os impactos negativos das mudanças climáticas no ambiente rural (DUNG; HIEP, 2017).

2.2.1 Limitação de recursos naturais

O setor agrícola é o maior consumidor de água, sendo esse o recurso determinante ao desenvolvimento da agricultura, dessa forma faz-se necessário controle e administração desse recurso a fim de possibilitar um manejo justo, por meio do uso da tecnologia para o benefício do pequeno e grande produtor.

A agricultura consome por volta de 69% de toda a água derivada das fontes (rios, lagos e aquíferos subterrâneos) enquanto que 31% são destinados à indústria e consumo doméstico (PAZ; TEODORO; MENDONCA, 2000).

O uso da IoT pode ocorrer por meio de sensores, adaptáveis a diversas culturas agrícolas, onde o monitoramento ambiental de fatores como temperatura, umidade do solo, fornecem dados suficientes para a atuação de uma irrigação eficiente, evitando-se desperdício de água e proporcionando ações pontuais no gerenciamento e tempo de manejo das plantações.

2.2.2 Impacto sobre a agricultura familiar

Dados gerados pelo último censo agropecuário 2006 do Instituto Nacional de Geografia e Estatística (IBGE) mostram que a agricultura familiar é responsável por cerca de 70% da produção de alimentos e ocupa cerca de 74% da mão-de-obra no campo, com a contribuição de 35% no Produto Interno Bruto do país (CASTILHO, 2006). As diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais são dadas pela Lei Nº 11.326 (BRASIL, 2006).

Mesmo com toda a potencialidade do segmento de agricultura familiar, o grande desafio continua sendo o aumento regular da produção de forma a suprir as necessidades do agricultor que lida com baixos recursos e são muitas vezes impedidos de produzir durante todo ano por falta de alternativas tecnológicas aplicáveis à sua realidade. Nesse aspecto a IoT tem o potencial de suprir essa falta de alternativa tecnológica atuando principalmente no monitoramento adequado dos recursos hídricos e nos controles de temperatura e umidade do solo, para um gerenciamento consciente dos recursos.

2.2.3 Uso e ocupação do solo

Uso e ocupação do solo referem-se à forma de planejamento para o controle da utilização do espaço, a fim de definir as atividades permitidas àquele local. Deve ocorrer sob intervenção do Município ou do Estado, que buscam legalmente a integração entre desenvolvimento e proteção ambiental (CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO MATO GROSSO, 2016).

A avaliação do uso e da ocupação do solo em ambientes rurais é uma ferramenta para o diagnóstico agro-ambiental, para o manejo da propriedade rural, para a tomada de decisão e para gerenciamento da produção agrícola. O uso de tecnologias de automação do campo por exemplo, podem contribuir para a avaliação do impacto econômico, social e ambiental da cobertura da terra (CAVICHOLI et

al., 2009). Se uma maior produtividade é obtida com uma menor área ocupada, menores são os ambientais produzidos.

2.2.4 Uso de agrotóxicos e nutrientes químicos

O uso de tecnologias de automação do campo pode ainda elevar o nível de controle em relação a pragas e doenças. Assim, ao passo que as variáveis de monitoramento são ampliadas, há um aumento da qualidade do produtos produzidos no campo. Com a verificação contínua das necessidades da lavoura, há um menor uso de agrotóxicos e de nutrientes químicos.

3 CONVERGÊNCIA DE REDES DE COMUNICAÇÃO EM AMBIENTES INTELIGENTES

3.1 PRINCÍPIOS DA INTERNET DAS COISAS

A Internet das Coisas (IoT) surgiu a partir do avanço em vários setores como os sistemas embarcados, microeletrônica, comunicação e sensoriamento. A IoT passa a ser compreendida como uma extensão da Internet que proporciona aos objetos a capacidade computacional e de comunicação, pela qual se obtêm conexão com a rede mundial de computadores. Assim, essa conexão atribui aos objetos características tanto do acesso remoto, quanto de provedores de serviços. Tais interfaces de conexão de objetos comuns ampliam as oportunidades de aplicações no âmbito social, acadêmico, rural e industrial. No entanto, tais adaptações ampliam os desafios técnicos de inserção desse novo modo de conectividade (SANTOS et al., 2016).

Com o advento da IoT tem-se uma mudança de conceito em relação à definição de rede de computadores, refletindo a nova realidade tecnológica. Segundo Tanenbaum (TANENBAUM; WETHERALL, 2011) “Rede de Computadores é um conjunto de computadores autônomos interconectados por uma única tecnologia”, sendo essa tecnologia entendida como um conjunto de meios de transmissão (fios, fibra óptica, ar) e por sinais (sinais ópticos, ondas eletromagnéticas), por exemplo. Já em 2014, (KUROSE; ROSS, 2014), abordam o termo “Rede de Computadores” como obsoleto, visto que há uma grande quantidade de equipamentos e tecnologias que fazem uso da Internet, não mais constituída predominantemente por computadores.

Uma definição mais rigorosa de IoT segundo o *European Research Cluster on the Internet of Things* se contextualiza por ser

“[...] uma infraestrutura dinâmica global com capacidades de autoconfiguração, baseada em protocolos de comunicação padronizados e interoperáveis, onde ‘coisas’ virtuais e físicas possuem identidades, atributos físicos e personalidades virtuais, usam interfaces inteligentes e estão integradas de maneira transparente à Rede de informações.” (EUROPEAN RESEARCH CLUSTER ON THE INTERNET OF THINGS, 2014).

Nesse contexto, tanto rede de computadores quanto a IoT possuem a funcionalidade de interconexão, a medida que a rede passa a ser composta não mais só por computadores, mas por outros dispositivos.

3.1.1 Objetos inteligentes

Em seu livro, “O design do dia-a-dia”, Donald Norman (2006) questiona a funcionalidade dos objetos e as bases para sua criação a fim de que satisfaçam as necessidades do usuário: “E se os objetos cotidianos ao nosso redor ganhassem vida?”, “E se pudessem sentir nossa presença, nosso

foco de atenção, nossas ações, e pudessem responder com informações relevantes sugestões e ações?” (NORMAN, 2006).

Dessa maneira, os “Objetos Inteligentes” (*Smart Objects*) estabelecem comunicação com outros dispositivos, ao serem acessados pela rede. Podem ser definidos como

“Objetos capazes de se adaptar, aprender, interagir, memorizar e coordenar esforços com outros objetos: essa é a mudança revolucionária que veremos até o fim dessa década. E serão mais objetos interagindo entre si do que seres humanos – seremos uma minoria comunicativa no planeta” (FLORIDI, 2014).

Nesse contexto, os objetos inteligentes são de extrema importância na evolução da IoT, pelo fato de possuírem capacidade de comunicação e processamento combinados a sensores, o que modifica utilidade de tais objetos. Na IoT, a unidade básica de *hardware* apresentará ao menos uma das seguintes características, (LOUREIRO et al., 2003): a) unidade(s) de processamento; b) unidade(s) de memória; c) unidade(s) de comunicação e; d) unidade(s) de sensor(es) ou atuador(es).

Atualmente, há uma heterogeneidade de equipamentos conectados à grande rede tais como TVs, *Laptops*, automóveis, entre outros. Ao fazer uso dos recursos desses objetos, será possível adaptá-lo ao seu contexto, controla-lo tornando possível assim troca de informações uns com os outros, acesso à Internet e a interação com pessoas. Ao mesmo tempo, novas aplicações surgem, cidades inteligentes (*Smart Cities*), saúde (*Healthcare*), casas inteligentes (*Smart Home*), agricultura (*Floresta tropical 4.0*).

Neste cenário, pode-se ressaltar dois fatores críticos na IoT. O primeiro é a falta de padronização desses objetos, que tornam incompatíveis e impossibilitam a plena conexão entre dispositivos de diferentes fabricantes. O segundo fator se refere à segurança, o grande fluxo de dados possibilita grande abertura que impossibilitam tratar problemas como ataques de negação de serviço (*Denial of Service* – DoS²), por exemplo (PEREIRA; CARVALHO, 2017). Dessa maneira, torna-se essencial cada vez mais definições quanto aos blocos básicos de construção da Iot.

3.1.2 Blocos básicos de construção da IoT

A combinação de diversas tecnologias complementares viabilizando a integração de objetos no ambiente físico ao mundo virtual, resultam na IoT (SANTOS et al., 2016). Dessa forma, os blocos básicos de construção da IoT são:

1. Identificação: Levando-se em consideração a conexão à rede de computadores, os objetos devem ser unicamente identificados a fim de promover a comunicação bilateral(entre centrais e dispositivos e vice-versa).

² F-SECURE, **Denial of Service(DoS)**. 2018. Disponível em: <https://www.f-secure.com/en/web/labs_global/denial-of-service>. Acesso em: 17 set. 2018

2. **Sensores/Atuadores:** Sensores são responsáveis por coletar as informações no ambiente em que estão inseridos, para armazenamento ou encaminhamento desses dados para processamento. Atuadores podem interferir no ambiente em reação aos dados coletados.
3. **Comunicação:** Corresponde às técnicas aplicadas para conectar objetos inteligentes. Estão diretamente relacionadas ao consumo dos objetos, considerado um fator crítico. Algumas tecnologias são WiFi, Bluetooth, IEEE 802.15.4 e RFID.
4. **Computação:** Unidades responsáveis pelo processamento, tais como microcontroladores, responsáveis pela execução de algoritmos locais nos objetos inteligentes.
5. **Serviços:** A IoT pode prover diversas categorias de serviços, das quais pode-se destacar:
 - Serviços de Identificação, com função de mapear Entidades Físicas (EF) (como temperatura, instante de coleta de dados, interessantes ao usuário) em Entidades Virtuais;
 - Serviços de Agregação de Dados que coletam e sumarizam dados obtidos a partir de objetos inteligentes;
 - Serviços de Colaboração e Inteligência atuam sobre os dados obtidos dos serviços de agregação de forma a decidir qual forma de atuação adequada à determinados cenários;
 - Serviços de Ubiquidade tem a função de fornecer os serviços de colaboração e inteligência em qualquer momento ou lugar em que sejam funcionais.
6. **Semântica:** Trata-se da capacidade de se extrair conhecimento a partir dos dados obtidos dos objetos inteligentes.

3.2 COMUNICAÇÃO MACHINE-TO-MACHINE

A IoT é resultado da evolução da tecnologia de comunicação Máquina-a-Máquina (*Machine-To-Machine* -M2M), ou seja, da conexão que permite aplicações de monitoramento remoto e transmissão de dados transparentes ao usuário, agilizando processo e reduzindo custos. Na IoT, objetos “conectáveis” por meio de chips e sensores, geram compartilhamento de dados em sistemas que atingem pessoas, cidades, empresas e governos.

As comunicações M2M surgiram de tecnologias com o intuito de promover uma comunicação autônoma entre dispositivos e equipamentos sem intervenção humana. Dessa maneira, IoT e M2M criam condições de compartilhamento de informação entre dispositivos no ambiente em que estão inseridos, ao mesmo tempo que existe auto-organização das sub redes. A IoT fornece a base para a interligação de várias redes de comunicação M2M promovendo serviços às pessoas.

Dois componentes principais são combinados para definir o conceito básico de uma aplicação M2M sendo eles: *Data End Point* (DEP) e *Data Integration Point* (DIP). O DEP é o dispositivo M2M

dotado da capacidade para recolher, processar e enviar dados. Já o DIP é o dispositivo cliente no final do processo, tem a capacidade de agregar e utilizar os dados requeridos da aplicação. Esse dispositivo é constituído por um servidor.

3.2.1 Desafios na comunicação M2M

Os desafios a serem considerados mais importantes para a realização eficiente das comunicações M2M são custo de implementação, eficiência energética espectral, privacidade e segurança dos sistemas e das aplicações, além da gestão e controle de inserção de dispositivos previstos para integrar a rede (GOUVEIA, 2013):

a. Custo de implementação

O custo de implementação abrange tanto o custo dos dispositivos durante o desenvolvimento da rede como também a sua manutenção. Assim, uma solução de M2M só se torna aplicável à medida que é viável no aspecto funcional e no que tange às necessidades e desejos dos utilizadores finais. Essa solução envolve um estudo profundo do impacto de mercado, assim como os benefícios em detrimento dos custos de implementação.

b. Eficiência energética

Tal quesito é motivado principalmente pelo impacto ambiental causado, pelo desperdício de energia e pela redução de custos associados. Trata-se de adoção de soluções que englobem tecnologias com consumos eficientes, potências reduzidas e maior tempo de vida útil.

c. Eficiência espectral

Pelo fato de inúmeras tecnologias de redes sem fios participarem da estrutura interligada da IoT e nas comunicações M2M, tais tecnologias possuem características próprias de funcionamento, onde centenas de dispositivos são agrupados em redes locais. Dessa maneira, o maior desafio da eficiência espectral diz respeito a interferência espectral e atribuições de canais de ligação de *uplink/downlink* (ascendente/descendente) que suportem o tráfego elevado de pacotes enviados em rajadas.

d. Privacidade e segurança de dados dos sistemas e aplicações

Junção de redes com características distintas levanta questões no que diz respeito a segurança e proteção dos meios de comunicação. A comunicação entre redes de potência reduzida e redes banda larga (*broadband*), necessitam de métodos otimizados de criptografia e sistemas de gerenciamento de chaves para autenticação. As interligações de redes sem fio através da Internet têm como requisito protocolos de segurança. No âmbito da segurança, a privacidade é um dos fatores mais importantes. Tanto para fornecedores como para operadores, deverão obrigatoriamente adotar o compromisso de fiabilidade dos seus serviços, ou seja, tornar possível

a gestão da informação pelos próprios usuários, além de manter políticas de não violação dos direitos desses utilizadores. Trata-se de um conjunto de soluções denominado “*privacy by design*”, no qual os usuários são munidos de ferramentas para gerência de seus próprios dados.

e. Gestão e controle de milhões de dispositivos previstos

Um dos desafios mais complexos é gerir uma rede de dispositivos autônomos e interligados. Os dispositivos apresentam níveis comportamentais de acordo com a aplicação ao qual é associado, e de acordo com os dispositivos que compartilham do mesmo ambiente. A identificação única associada a cada dispositivo, os torna “conscientes” de suas funções e dos demais dispositivos e aplicações. A auto-organização de rede está diretamente relacionada às capacidades de processamento e comunicação da rede, tornando-a mais eficiente conforme o aumento dessas capacidades. Assim, uma solução para esse desafio está voltada para uma organização pautada em grupos de dispositivos, por aplicação ou contexto. Torna-se necessário uma nova geração de processadores de comunicação que gerencie de forma consistente e controlada os dispositivos e suas ligações, além da capacidade de associar suas funcionalidades com os serviços correspondentes.

3.3 REDE DE SENSORES SEM FIO

Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) são sistemas constituídos por “nós Sensores” que atuam de maneira colaborativa para uma determinada aplicação. Os “nós” que formam essa rede são dispositivos autônomos que possuem capacidade de sensoramento, processamento de dados e comunicação. Os nós são arranjados de maneira que haja uma comunicação direta ou indireta, e também de forma que os dados coletados possam ser transmitidos até pontos específicos da rede.

Avanços na área de microprocessadores, microsistemas eletromecânicos e comunicação sem fio têm fundamentado o uso de sensores “inteligentes” em processos físicos, químicos e biológicos, dentre outros. Um “sensor” nada mais é do que um dispositivo intermediador que converte o estímulo do meio físico, como temperatura, umidade, luminosidade, para grandezas elétricas que serão interpretadas e processadas para um maior controle sobre o ambiente. O sensor permite aquisição, leitura e transmissão de informações

De maneira geral, muitas vezes um “sensor” é tratado como um dispositivo de capacidade reduzida constituído de um ou mais sensores capazes de recolher informações do meio em que estão inseridos, processando ou não estas informações e disseminando-as por meio de uma rede. Tais dispositivos são os “nós” da RSSF. Trata-se de vários sensores em um único chip, controlados pela lógica do circuito integrado, adicionado de uma interface de comunicação sem fio. O termo “Sensor Inteligente” está relacionado com chips que possuem um ou mais sensores com capacidade de processamento de sinais e comunicação de dados. Os avanços tendem para a redução do custo de produção e melhorias de capacidade destes dispositivos.

Há vários aspectos contrastantes entre as RSSFs e as redes de computadores tradicionais. As RSSFs têm um grande número de nós distribuídos nos quais trabalha-se com restrição de energia e ferramentas para autoconfiguração, a fim de reajustes a ocasionais problemas como falha de comunicação e inoperabilidade dos nós. Uma RSSF necessita de alto grau de cooperação para executar as tarefas definidas pela rede, dessa maneira tornam-se necessários algoritmos distribuídos como protocolos de comunicação e eleição de um mestre a fim de fundamentar a autonomia necessária à rede.

RSSFs podem ser classificadas como uma especialidade de rede móvel *ad hoc* (MANET – *Mobile Ad hoc Network*). Numa rede tradicional, exemplificada pela Internet, a comunicação entre os elementos computacionais se dá por meio de uma infraestrutura de estações rádio base. Já em uma rede móvel *ad hoc*, os elementos computacionais fazem a troca de dados entre si. Dessa forma, organizacionalmente RSSFs e MANETS são idênticas, com dispositivos que comunicam entre si utilizando enlaces de comunicação sem fio. Porém, enquanto as MANETs têm a função de prover suporte à comunicação entre esses elementos computacionais, as RSSFs assumem uma função colaborativa nos quais os elementos sensores provêm dados, que são processados e enviados.

3.3.1 Modelo funcional de uma RSSF

Segundo Loureiro et al (2003) destacam-se cinco principais atividades nas quais se estabelecem as funcionalidades de uma rede de sensores, como pode ser identificado na Figura 3, sendo elas: o estabelecimento da rede, a manutenção, o sensoriamento, o processamento e a comunicação. Podendo ocorrer simultaneamente com diferentes períodos ativos ao longo do ciclo de vida da rede de sensores. Nota-se também que a manutenção está presente em todos os períodos.

Figura 3 – Funcionalidades presentes em uma Rede de Sensores Sem Fio



Fonte: Produção da própria autora.

3.3.1.1 Estabelecimento da Rede

Independentemente da aplicação o estabelecimento da rede de sensores se dá pela disposição dos nós sensores e a formação da rede. Comumente os nós são lançados sobre a área a ser monitorada, seja de forma aleatória ou ainda a partir da formação de pontos estratégicos de monitoramento constituindo a formação da rede. Primeiramente, os nós podem realizar rotinas de identificação de localização e/ou formação de *clusters* a fim de estabelecimento de comunicação.

As RSSFs são caracterizadas por serem sistemas auto organizados (*self-organizing*) em que os nós sensores podem se organizar de forma não previamente estabelecida, apresentando adaptabilidade em relação às condições de monitoramento do meio, de forma dinâmica em reação a possíveis falhas, degradação do dispositivo, localização dos nós, trocas de tarefas e requisitos de forma a atender a rede. A redundância, consequência da alta densidade de nós, pode ser aproveitada como uma forma alternativa de organização com o objetivo de prolongar o tempo de vida do sistema.

Outro aspecto importante das RSSFs é a localização. Existem sistemas distribuídos nos quais se admite que cada nó sensor é unicamente identificável no contexto da rede. Estes endereços tornam-se parte do pacote afim de identificar fonte e destino. Em sistemas tradicionais, os endereços podem ser utilizados para especificar uma comunicação com outro ponto da rede além de fornecer informação a respeito de rotas alternativas de informações por meio dos nós estabelecidos.

Uma outra estratégia, aplicada a uma rede de sensores em que não há um posicionamento prees-

tabelecido, é a nomeação de dados no lugar da nomeação de nós sensores. Uma grande densidade de elementos torna possível a exploração da redundância da rede afim de aumentar o tempo de vida do sistema adaptando o uso dos nós em função da demanda. Essa redundância pode ser explorada também através de software pela correlação das informações coletadas por diferentes nós sensores, com o intuito de reduzir a redundância de informação que trafegam pela rede.

3.3.1.2 Manutenção

A atividade de manutenção tem por finalidade prolongar o tempo de vida da rede, aumentar a previsibilidade do sistema e atender a demanda do usuário. Durante a vida útil dos dispositivos da rede, alguns nós consomem níveis de energia que podem comprometer seu funcionamento. Dessa maneira, a manutenção é aplicável em diversos períodos operação da rede, atuando de forma reativa, preventiva, corretiva e/ou adaptativa aos eventos recorrentes. Suas funcionalidades podem ser aplicadas nas demais fases de estabelecimento, sensoriamento, processamento e/ou comunicação.

As funcionalidades de uma rede não se dão de forma ordenada, a topologia lógica nas RSSFs acontecem de forma dinâmica, até mesmo nas redes de nós sensores estacionários, para que haja uma redistribuição de funções em caso de falhas. Dessa forma, os recursos de manutenção devem garantir redundância de soluções a fim de prolongar o período de funcionamento das RSSFs.

3.3.1.3 Sensoriamento

A avaliação das características ambientais estão diretamente associada às atividades de coleta de dados e sensoriamento. Dependendo do tipo de aplicação, tem-se possibilidades de avaliação do evento monitorado a partir da determinação de distância do objeto de monitoramento, interferências na comunicação provenientes do ambiente, especificidades dos dados coletados, volume de informações e frequência de amostragem. Assim como a determinação de áreas de sobreposição de cobertura dos nós, nos quais a intersecção possa resultar em correlação de informações na rede ou influenciar no estado de ativação ou desativação de dispositivos como influência direta.

A suscetibilidade à falhas dos nós sensores pode estar associada a diversos fatores como falta de energia, inoperância temporária ou definitiva de dispositivos, dentre outros. Assim, faz-se necessário que a quantidade de sensores ativos na rede seja suficiente para manter a rede operante e nos mecanismos de prevenção dessas falhas.

a. Coleta de Dados:

A finalidade de uma rede de sensores é fazer o levantamento de informações úteis para uma aplicação específica por meio do processamento de dados a fim de transmiti-los para um ou mais pontos da rede, em que os nós sensores estabelecem meios de conexão com a “Estação Base”. A coleta de informações implica na cobertura dos sensores e a exposição dos sensores em relação a área de estudo. A cobertura envolve aspectos como a Qualidade de serviço (*Quality of Service*

– QoS), ou seja, da capacidade de tratar os diferentes fluxos ou classes de tráfego atendendo às necessidades de cada fluxo, caracterizada por quatro parâmetros principais: largura de banda, atraso, flutuação e perda de dados para a determinação de problemas de cobertura sobre vários aspectos (TANENBAUM; WETHERALL, 2011). Já a exposição é definida como a capacidade comum de observação de um alvo do Sensor. A natureza do Sensor determina as funções de sensoriamento.

b. Sensoriamento distribuído:

As RSSFs fazem uso do sistema de monitoramento distribuído de uma área. Alternativamente o sistema de monitoramento pode ser feito de forma centralizada com o uso de satélite ou radar. No entanto, a alternativa de sensoriamento distribuído se sobressai levando-se em consideração os seguintes aspectos:

- Maior tolerância a falhas utilizando a redundância de dispositivos;
- Maior área de cobertura pela associação colaborativa de pequenos sensores;
- Adaptabilidade do sistema em relação a aplicação, levando-se em conta número apropriado de sensores;
- Reconfiguração de sistema em reação a alguma falha;
- Garantir o funcionamento do sistema de sensoriamento mesmo com a combinação de informações provenientes da reconfiguração da rede;
- Otimizar o desempenho do sensoriamento com sensores de natureza diferente;
- Garantir monitoramento contínuo;
- Capacidade de monitoramento discreto de cada nó e combinação com outros nós;
- Uso de diferentes tecnologias como sensores de pequena distância para monitoramento local;
- Proximidade dos sensores dos objetos alvo.

3.3.1.4 Processamento

O processamento é subdividido em dois tipos sendo eles o de suporte e o de informação.

a. Processamento de suporte:

Trata-se do processamento funcional dos Sensores, relacionado diretamente comunicação e manutenção de rede. Envolve o gerenciamento das atividades que fazem uso de protocolos, por exemplo.

b. Processamento da informação:

Leva-se em consideração os requisitos de aplicabilidade da rede e de funções colaborativas dos nós dentro da rede. Dessa maneira, os dados coletados estarão sujeitos a compressão, correlação, criptografia digital, etc. Além dos estímulos (gatilhos) de coleta de dados, a partir de limites e parâmetros de comparação para cada atividade.

Assim, o processamento de dados dentro da RSSF deve atender aos seguintes requisitos:

- Tolerância a falhas: a topologia de rede deve ser pensada de forma a evitar a perda de informações contidas nos pacotes de dados;
- Escalabilidade: A solução do sensoriamento por meio de uma rede deve atender desde uma escala reduzida da ordem de dezenas e centenas de sensores, como também pode ter uma prospecção de implementação em uma rede de milhares de sensores;
- Característica do Hardware: O proposta para o desenvolvimento de cada nó é que o dispositivo tenha um baixo custo e que a automação seja massiva, ou seja, obter controle da maior área possível a baixo custo;

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A realização deste trabalho se fundamentou em duas etapas distintas: primeiro com a pesquisa de levantamento de dados (pesquisa do tipo *Survey*) e depois com o desenvolvimento efetivo do protótipo de uma RSSF. A primeira etapa ocorreu pelo uso do método de pesquisa *Survey*, de consulta a um grupo de profissionais, por meio de um formulário com perguntas abertas voltadas para o entendimento das necessidades que podem ser supridas com o uso de tecnologias de telecomunicações para o campo. Foram consultados estudantes e engenheiros da área agrônoma, a fim de entender as necessidades e aplicações da automação no campo. Foram obtidos parâmetros e detalhes de projeto fundamentais para a segunda etapa de desenvolvimento do protótipo. A segunda etapa ocorreu com o desenvolvimento de um protótipo RSSF para aplicação prática.

4.1 PESQUISA DE LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES

Nesta etapa foi estruturado, com o auxílio da plataforma *Google Forms*, um questionário distribuído online, com perguntas aplicáveis a profissionais da área agrônoma, com o título de “Tecnologias de sustentabilidade e automação no campo”, Figura 4. Este questionário foi distribuído pontualmente a grupos de pesquisa acadêmicos e industriais que estão diretamente envolvidos com os problemas e com a realidade do manejo do campo. Foram consultados 9 profissionais com faixa etária entre 21 e 51 anos, possibilitando assim uma avaliação de experiências em suas fases distintas de evolução e com visões diferentes em relação à agricultura e seus desafios.

Dentre as instituições aos quais os profissionais estavam vinculados pôde-se identificar:

- Fundação Educacional de Itupeva
- Epagri - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
- Unesp - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- UFLA - Universidade Federal de Lavras

Além de perguntas básicas para identificação do perfil do entrevistado, o questionário foi organizado com base em sete perguntas específicas com possibilidade de respostas abertas e que pudessem servir de fomento para implementações e embasamento técnico de interesse do projetos. As perguntas feitas foram as seguintes:

1. “Quais os principais fatores (tais como umidade, iluminação, temperatura, entre outros) que você considera importantes para a manutenção de uma plantação?”

2. “Qual a importância da temperatura, iluminação e umidade em uma plantação? Explique.”
3. “Pensando em um sistema de monitoramento automatizado de uma plantação, qual seria o intervalo de tempo (segundos/minutos/dias/meses) para o acompanhamento ideal de uma cultura? Se possível exemplifique.”
4. “Você acha importante o uso de tecnologias de automação no campo? Por que?”
5. “Você faz uso de alguma tecnologia de automação relacionada ao processo de produção agrícola? Se sim, qual tipo de tecnologia? Explique um pouco sobre ela.”
6. “Nesta perspectiva de tecnologias de automação na agricultura, quais seriam as principais soluções para gerar-se um avanço no agronegócio brasileiro?”
7. “Você acha possível o desenvolvimento sustentável no campo? Explique.”

Figura 4 – Imagem do formulário de pesquisa *Survey* disponibilizado online.

PERGUNTAS RESPOSTAS 9

Tecnologias de sustentabilidade e automação no campo

Este formulário tem o objetivo de conhecer as principais necessidades do manejo do solo para a busca de alternativas tecnológicas e sustentáveis.

Fonte: Produção da própria autora.

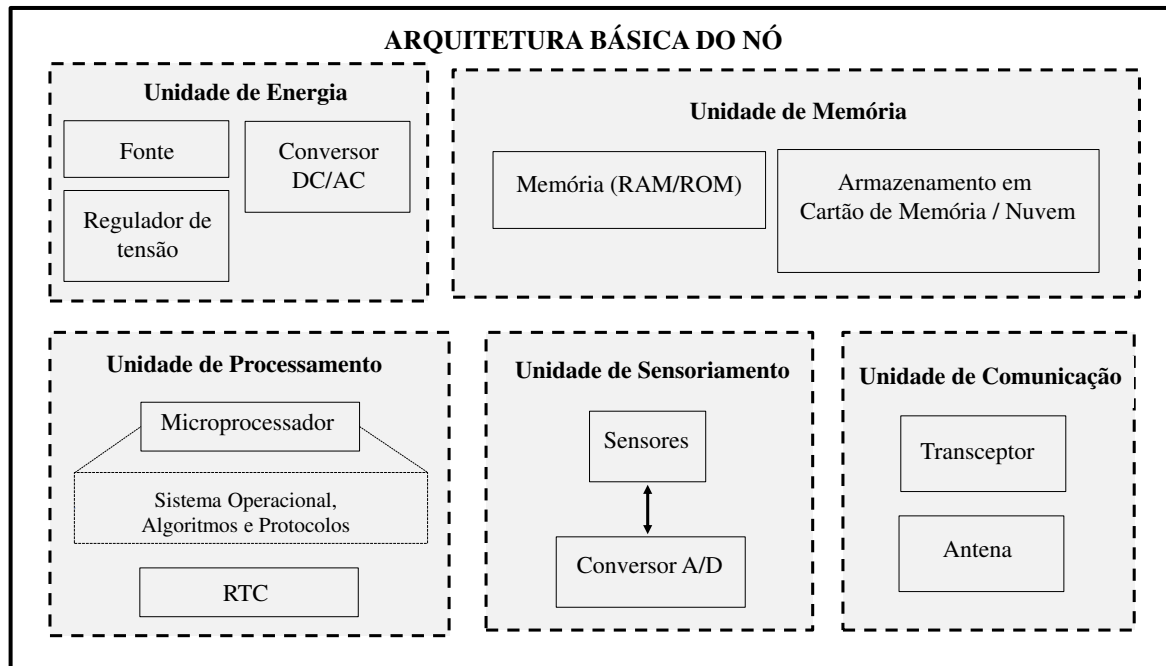
4.2 DESENVOLVIMENTO DA REDE DE SENSORES SEM FIO

Nesta etapa do projeto, levando-se em consideração as informações obtidas pela entrevista, identificou-se a necessidade de um sistema adaptável às condições do agricultor e da implementação de uma tecnologia de baixo custo. Atendendo a esses requisitos foi desenvolvido o sistema de comunicações da RSSF.

4.2.1 Unidades básicas dos nós sensores

Pensando-se na arquitetura de uma RSSF, tem-se a divisão em cinco unidades básicas que constituem os nós da rede, Figura 5 que podem ser analisadas e otimizadas modularmente:

Figura 5 – Arquitetura básica do nó componente da RSSF



Fonte: Produção da própria autora.

4.2.1.1 Unidade de Processamento

Gerenciadora dos processos desde a aquisição dos dados, envio e recepção de informações. Neste projeto, a unidade de processamento é composta por um microcontrolador Arduino, com a funcionalidade de receber os comandos dos sensores e encaminhar as informações para a transmissão via RF, e também o *Real Time Clock* (RTC), elemento que possibilita a sincronização das tarefas de cada Nó da rede.

1. Microprocessador Arduino

Para a gestão dos processos foi utilizado o Arduino, uma plataforma de desenvolvimento com um microcontrolador Atmel. O Arduino é programável via *Integrated Development Environment*, ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) utilizando linguagem baseada em C/C++. O Arduino, utilizado na sua versão Nano, foi escolhido especificamente por ser uma versão voltada para a criação de protótipos, por possuir pequenas dimensões e também por ser facilmente acoplado a *protoboards* e placas de circuito impresso.

a. Memória

Nos controladores Arduino existem três tipos de memória (ARDUINO, 2018b):

- Memória Flash: Espaço do dispositivo onde ocorre o *Bootloader*, onde o programa feito na IDE do Arduino (*sketch*) precisa ser gravado para execução após um *Reset* (*boot*) carregando o software recebido pela serial (*loader*) (QUADROS, 2011). Para o Arduino Nano tem-se um espaço de 32 KB, dos quais 2 KB são reservados ao *bootloader*.
- Memória SRAM: Memória onde ocorre a manipulação das variáveis durante a execução do *sketch*, memória de acesso aleatório estático. Trata-se de uma memória volátil, onde a suspensão de energia implica na perda dos dados armazenados. No Arduino Nano 2kB são reservados para a memória SRAM.
- Memória EEPROM: Utilizada para armazenamento de informações a longo prazo, com espaço disponível de 1kB no Arduino Nano.

b. Entradas e saídas

Podem ser utilizadas como entradas e saídas cada um dos 14 pinos digitais do Arduino Nano utilizando as funções *pinMode()*, *digitalWrite()* e *digitalRead()*, cada pino fornece/recebe no máximo 40mA com um resistor *pull-up* interno. Alguns pinos ainda possuem funções específicas:

- Serial: São os pinos 0 (RX) e 1 (TX) utilizados para receber e transmitir dados seriais, respectivamente.
- Interrupções externas: Pinos 2 e 3, configurados para disparar interrupções com alterações da borda de subida ou de descida do pulso.
- *Serial Peripheral Interface*(SPI), método de comunicação para interconexão de dispositivos mestre (próprio microcontrolador) e escravo (módulos acoplados), para essa comunicação são utilizados os pinos 10, 11, 12 e 13. O pino 10 (SS - *Slave Select*) é utilizado para ativação/desativação de dispositivos específicos. O pino 11 (MOSI - *Master Out Slave In*) é utilizado como linha mestre de comunicação para envio de dados aos periféricos. O pino 12 (MISO - *Master In Slave Out*) proporciona o envio de dados do escravo ao mestre. Já o pino 13 (SCK - *Serial Clock*), é responsável pela sincronização de dados gerados pelo do mestre (ARDUINO, 2018c).
- *Pulse Width Modulation* (PWM) corresponde aos pinos 3, 5, 6, 9, 10 e 11, variam seu valor médio em uma forma de onda periódica. A função *analogWrite()* permite operação com uma onda quadrada, *duty cycle* especificado na função. (SOUZA, 2014).

c. Especificações técnicas

No Quadro 1 estão as especificações técnicas a respeito do microcontrolador Arduino Nano, utilizado neste projeto.

Quadro 1 – Microcontrolador Arduino Nano

Parâmetros	Caracterização do microcontrolador
Microcontrolador	Atmel ATmega328
Tensão recomendada	7 a 12 V
Voltagem de operação (nível lógico)	5 V
Pinos digitais input/output	14 (dentre eles 6 podem ser saídas PWM)
Pinos entrada analógica	8
Corrente contínua por pino I/O	40 mA
Memória Flash	32 KB (2 KB para o bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Dimensões	18 x 45 mm

Fonte: Informações adaptadas (ARDUINO, 2018a)

2. Relógio de Tempo Real

O *Real Time Clock*, Relógio de Tempo Real (RTC), é o elemento que possibilita o sincronismo de tempo das rotinas realizadas pelos nós da rede. Possui uma fonte de energia acoplada para manter o funcionamento regular e corretos valores de data e hora, de forma que a ausência de energia seja suprida, podendo utilizar baterias comuns (CR3032) ou recarregáveis (LIR2032) (MADEIRA, 2017).

O RTC utilizado no desenvolvimento deste projeto é o RTC DS3231. Trata-se de um relógio de alta precisão, baixo custo e baixo consumo de energia. Tal módulo possibilita a obtenção de informação a respeito de segundos, minutos, horas, dias, meses, anos, realizando ajustes automáticos de meses com menos de 31 dias e anos bissextos.

a. Especificações técnicas

O RTC DS3231 utiliza o protocolo de comunicação I2C, com dois pinos de comunicação: SCL (*Slave Clock*), clock de saída para o mestre, e SDA (*Slave Data*) dados de saída para o mestre (SILÍCIO, 2018). As informações técnicas sobre o RTC são dadas no Quadro 2.

Quadro 2 – RTC

Parâmetros	Caracterização do RTC
Tensão de operação	3.3 a 5 V
Corrente	1.5 mA
Chip de memória	AT24C32
Interface de comunicação	I2C
Pinos de comunicação com o microcontrolador	SDA(A4) ; SCL (A5); VCC (5V); GND
Dimensões	38 x 22 x 14 mm
Fonte de alimentação	Bateria CR2032 ou LIR2032 (recarregável)

Fonte: Informações adaptadas (FILIPEFLOP, 2017)

4.2.1.2 Unidade de Comunicação

A unidade de comunicação consiste na interface que possibilita a troca de informações entre os pontos da rede. Neste projeto foi utilizado módulo RF nRF24L01+. Trata-se de um transceptor, dispositivo que incorpora tanto elementos de recepção quanto de transmissão do sinal, desenvolvido com base no chip da *Nordic Semiconductor*, utilizado em aplicações sem fio (*wireless*).

a. Informações técnicas

Projetado para atuar na banda ISM (do inglês, *Industrial Scientific and Medical*). Trata-se de uma banda de frequência livre de 2.4 GHz a 2.525 GHz. O módulo transceptor nRF24L01+ possui 128 canais disponíveis para comunicação. Em conjunto com o transceptor, faz-se necessário o uso de antenas para irradiação do sinal. Para este projeto foi usado um módulo que possui uma antena *patch* impressa em sua estrutura, que pode atingir um alcance de até 100m em campo aberto (NORDIC SEMICONDUCTORS, 2006), este foi utilizado no nó central, supondo este estático. O modelo utilizado no projeto foi o módulo nRF24L01+PA+LNA, que possui amplificador de potência (PA) e *Low Noise Amplifier* (LNA), utilizado para os nós Sensores, dada sua mobilidade e distanciamento do nó Central.

Quadro 3 – Módulo nRF24L01+

Parâmetros	Caracterização do módulo
Tensão	1.9 a 3.6 V (recomendado 3.3V)
Taxas de transmissão	256Kbps, 1Mbps ou 2Mbps
Banda de operação	2.4GHz a 2.525GHz
Número de canais disponíveis	128
Corrente durante a transmissão	11.3mA
Corrente em repouso	900nA
Potência de transmissão	0(máx), -6dBm, -12dBm ou -18dBm
Sensibilidade do receptor	-82dBm a 2Mbps
Capacidade do buffer	1 a 32bytes de dados por vez
Temperatura de operação	-40°C a 85°C
Dimensões	15x29mm

Fonte: Informações adaptadas (NORDIC SEMICONDUCTOR, 2016)

b. Interface de comunicação com o microcontrolador

A interface de comunicação com o microprocessador é a SPI, no qual o módulo transceptor é o escravo e o microprocessador é o mestre, para que haja troca de informações.

A comunicação ocorre pelo barramento SPI do Arduino. utilizando os pinos digitais 9 (CE), 10(CSN), 11(MOSI), 12 (MISO) e 13 (SCK) (HU INFINITO COMPONENTES ELETRÔNICOS, 2006). Tais pinos estabelecem a comunicação entre o processador e o periférico.

4.2.1.3 Unidade de Sensoriamento

A unidade de sensoriamento é a interface intermediadora entre o meio físico e o digital. Por meio dela são adquiridos os parâmetros de controle do sistema, dados de monitoramento e caracterização do ambiente. Neste projeto foi utilizado o sensor LM35 produzido pela *Texas Instruments*.

a. Funcionamento

A variação de tensão de saída (pino V_{out}) é linearmente proporcional à temperatura medida pelo sensor, fazendo uso de uma das entradas analógicas, neste projeto a entrada A0, do microcontrolador para leitura e cálculo da temperatura. O sistema de conversão da temperatura se baseia na leitura do sensor e na conversão do valor lido para um intervalo de 0 a 5 V. A variável processada é do tipo *float*, apresentando valores decimais de temperatura. Seu sinal de saída é de 10mV para cada Grau Célsius de temperatura.

b. Informações técnicas

Devido ao baixo consumo de corrente, $60\mu A$, o aquecimento do próprio sensor é de menos de $0.1^{\circ}C$ ao ar livre. A tensão de operação V_s pode variar de 4 a 30V (TEXAS INSTRUMENTS, 2017). As especificações técnicas deste sensor são dadas pelo Quadro 4. O LM35 apresenta diversos tipos de encapsulamento, sendo o mais comum deles o T0-92 que se assemelha a um transistor.

Quadro 4 – Sensor LM35

Parâmetros	Caracterização do sensor
Tensão de alimentação	4 - 30V
Escala de medição	$^{\circ}C$ (Centígrados)
Fator de escala linear	10 mV/ $^{\circ}C$
Faixa de operação	$-55^{\circ}C$ a $150^{\circ}C$
Baixo aquecimento próprio	0.08 $^{\circ}C$ ao ar livre
Precisão	0.25 $^{\circ}C$ em temperatura ambiente e 0.75 $^{\circ}C$ na faixa de operação

Fonte: Informações adaptadas (TEXAS INSTRUMENTS, 2017)

c. Alimentação

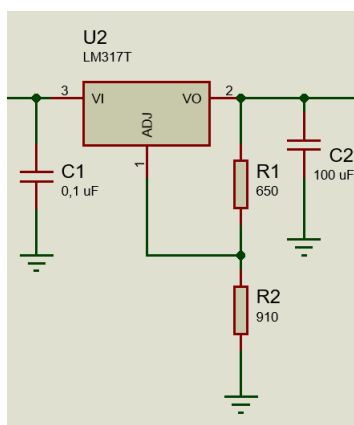
O LM35 pode ser utilizado de duas formas, com alimentação simples ou simétrica. Esta forma de alimentação determinará a escala de saída em modo completo ($-55^{\circ}C$ a $150^{\circ}C$) ou modo básico ($2^{\circ}C$ a $150^{\circ}C$).

4.2.1.4 Unidade de Energia

Responsável pelo fornecimento de energia ao sistema de forma a atender as necessidades básicas de aquisição, processamento e transmissão dos dados, durante o tempo de vida da RSSF.

Para a execução deste projeto, foi necessária uma fonte de energia que permitisse a mobilidade e autonomia dos nós sensores, por isso o uso da bateria LiPo (*Lithium Polymer*), com uma tensão nominal de 7,4V. Dessa maneira, fez-se necessário a utilização de um circuito regulador de tensão, juntamente com o regulador de tensão LM350, pois os pinos de sinal dos dispositivos precisam operar em 3.3V.

Figura 6 – Circuito regulador de tensão



Produção da própria autora.

4.2.2 Meio físico de transmissão

Em um enlace de micro-ondas a propagação das ondas eletromagnéticas até o dispositivo que irá receber o sinal se dá através do espaço livre (DIAS et al., 2016). Os sinais como são fornecidos pelo transmissor não podem ser enviados através dos canais de transmissão. Assim, é necessário a modulação, a fim de modificar esse sinal com uma onda eletromagnética portadora adequada ao canal utilizado.

4.2.2.1 Modulação GFSK

O rádio transceptor nRF24L01+ utiliza a camada física para a transmissão de mensagens por ondas de rádio em modulação GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*). Nesta modulação, os dados são codificados de acordo com a frequência da portadora (determinado pelo canal utilizado no módulo transceptor), de forma análoga à modulação FSK (*Frequency Shift Keying*), com variação da frequência da portadora em função do sinal digital a ser transmitido. No entanto, os pulsos passam por um filtro gaussiano antes de entrar no modulador, afim de suavizar a transição entre os valores dos pulsos. Dessa maneira, a modulação GFSK promove uma melhor eficiência espectral já que limita a largura do espectro modulado (MALBURG, 2004).

4.2.2.2 Banda de frequência

O transceptor nRF24L01+ foi projetado para atuar na banda *Industrial Scientific and Medical*, banda ISM, de 2.4 GHz, uma das partes do espectro eletromagnético destinada ao desenvolvimento Industrial, Científico e Médico. As bandas ISM são faixas de frequência destinadas ao desenvolvimento livre nas quais não há necessidade de licenciamento. Há, porém, estabelecendo-se uma limitação de potência com o sistema operando com uma saída menor do que 125 mW (Agência Nacional de Telecomunicações, 2018).

Muitas tecnologias de grande importância para as telecomunicações operam na faixa de frequência de 2.4 GHz tais como *Bluetooth* e *Wi-Fi*. Dessa maneira, serviços de radiocomunicação operantes nestas faixas de frequência estão sujeitos a interferência resultantes de outras fontes potenciais, já que não existem restrições quanto ao número de transmissores ou protocolos definidos (BEZERRA, 2017).

4.2.2.3 Canais de RF

A frequência do canal RF determina o centro do canal usado pelo transceptor. Dessa forma, a banda de operação do dispositivo vai de 2.400 GHz a 2.525 GHz, a largura de banda do canal é de 1 MHz. A largura de banda do canal varia de acordo com a taxa de transmissão utilizada, a 1 Mbps a largura de banda ocupada pelo canal é de 1 MHz, para 2 Mbps a largura é de 2 MHz. Para garantir que os canais não se sobreponham o uso de canais adjacentes devem obedecer ao espaçamento de 2 MHz pelo menos (NORDIC SEMICONDUCTOR, 2016).

4.2.2.4 Taxa de transmissão

Para a comunicação na rede, um fator muito importante é a taxa de transmissão, o transceptor nRF24L01+ pode ser configurado para 250 kbps, 1Mbps ou ainda 2MBps (NORDIC SEMICONDUCTOR, 2016), uma das vantagens em relação a outros dispositivos de mesma função (tais como *Zigbee*). Uma taxa de transmissão de dados mais alta implica em um menor tempo para a recepção da mesma e ainda uma menor probabilidade de colisão entre mensagens (GIARETTA, 2014), porém, deve-se levar em consideração que taxas mais baixas possuem maior capacidade de alcance. Dadas as condições de comunicação do ambiente rural, onde as distâncias entre a estação de informação e os objetos de monitoramento são relativamente grandes, além dos obstáculos naturais como vegetação e relevo, nesse projeto foram adotadas taxas de transmissão de 250Kbps.

4.2.3 Funcionamento do sistema

O sistema da RSSF é composto por nós sensores (sistemas integrados de dispositivos com a função de adquirir informações, processar enviar), e nó central (sistema integrado de dispositivos com funções de receber, processar e armazenar as informações). Assim, tanto os nós Sensores quanto o nó

central fazem uso da rádio frequência, através do transceptor nRF24L01+, enquanto o monitoramento dos nós sensores é feito por sensores de temperatura LM35, com o intuito de verificar as condições ambientais de uma plantação.

Os nós sensores têm a atribuição de enviar os dados adquiridos do local em que estão instalados com valores de temperatura, ou seja, realiza funções específicas de monitoramento e medição para enviar suas informações ao nó central. Este trabalho busca avaliar a efetividade da chegada dessas informações, assim como a influência dos dispositivos, e o funcionamento aplicado do projeto.

Para o acesso aos dados monitorados, aplicam-se os conceitos de comunicação M2M e IoT propondo a automação do sistema, permitindo ao usuário a otimização de tarefas. Dessa maneira, para implementação das rotinas utilizou-se o monitor Serial da IDE do Microcontrolador.

As rotinas executadas pelos pontos da rede para a realização das tarefas serão apresentadas para a configuração e exibição dos dados.

4.2.4 Desenvolvimento do protótipo

O funcionamento desse projeto se deu com a elaboração de um protótipo para testes de comunicação. Dessa maneira, construiu-se tanto um nó Sensor quanto o nó Central a fim de se obter uma amostra da efetividade na recepção de informações da Rede de Sensores Sem Fio. Em uma placa de circuito impresso PCB (do inglês, *Printed Circuit Board*) as unidades de comunicação (Transceptor nRF24L01+), de processamento (Microprocessador Arduino Nano e RTC), de energia (bateria) e de sensoramento (sensor LM35), foram organizadas de forma que cada componente ficasse na melhor disposição possível. Essa melhor posição foi definida pela necessidade de desenvolvimento de nós sensores, com a menor dimensão possível, vislumbrando baixo custo, escalabilidade e não interferência entre os próprios dispositivos. Para que não houvesse interferência entre as unidades na placa de circuito no momento de transmissão do sinal, foram desenvolvidas 19 versões do protótipo até que a distribuição destes fosse favorável para o funcionamento dos componentes e para que não houvesse comprometimento do sinal enviado. Já que se trabalha em uma frequência de 2.4 GHz, em que o comprimento de onda é da dimensão de centímetros (mesma dimensão da distância entre os componentes da placa). Além do arranjo dos dispositivos, foi pensado um isolamento com barreiras entre cada componente, porém a organização dos dispositivos foi suficiente para não interferência, sendo possível o funcionamento dos nós.

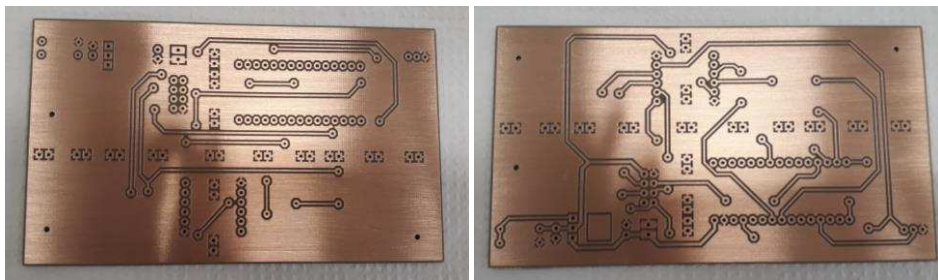
Dessa forma, a fabricação do protótipo envolveu essencialmente o levantamento dos componentes utilizados, a simulação e o projeto de disposição dos elementos, assim como a impressão, limpeza e soldagem dos componentes na PCB.

O arranjo dos dispositivos na PCB são distribuídos em duas faces, sendo elas a face superior, “*Top*”, lado em que onde os dispositivos são colocados diretamente e a face inferior, “*Bottom*”, onde ocorre a soldagem e elementos dissipadores de calor. A Figura 7 representa a placa de circuito impresso impressa pela prototipadora, com as trilhas e arranjo final dos seus componentes, mostrando

a parte inferior e superior das ligações feitas. Para este projeto levou-se em conta as restrições das dimensões físicas dos componentes, com o intuito de minimizar os caminhos de conexão entre os mesmos.

A etapa de impressão da PCB foi feita por meio da prototipadora de circuitos impressos disponível em laboratório, modelo *LPKF Protomat S63*, como mostra na Figura 8, com o processo de impressão da PCB, desgaste do subtrato e furos para a fixação dos componentes na placa.

Figura 7 – Ligações feitas no Top e Bottom da PCB, respectivamente na imagem



Fonte: Produção da própria autora.

Figura 8 – Impressão da PCB



Fonte: Produção da própria autora.

4.2.4.1 Nós sensores

O nó sensor tem como rotina (principais tarefas programadas para serem executadas) a configuração dos periféricos (unidade de sensoriamento, de comunicação e processamento) assim como as interrupções das sub-rotinas. Tais sub-rotinas têm a função de aquisição dos dados do sensor (me-

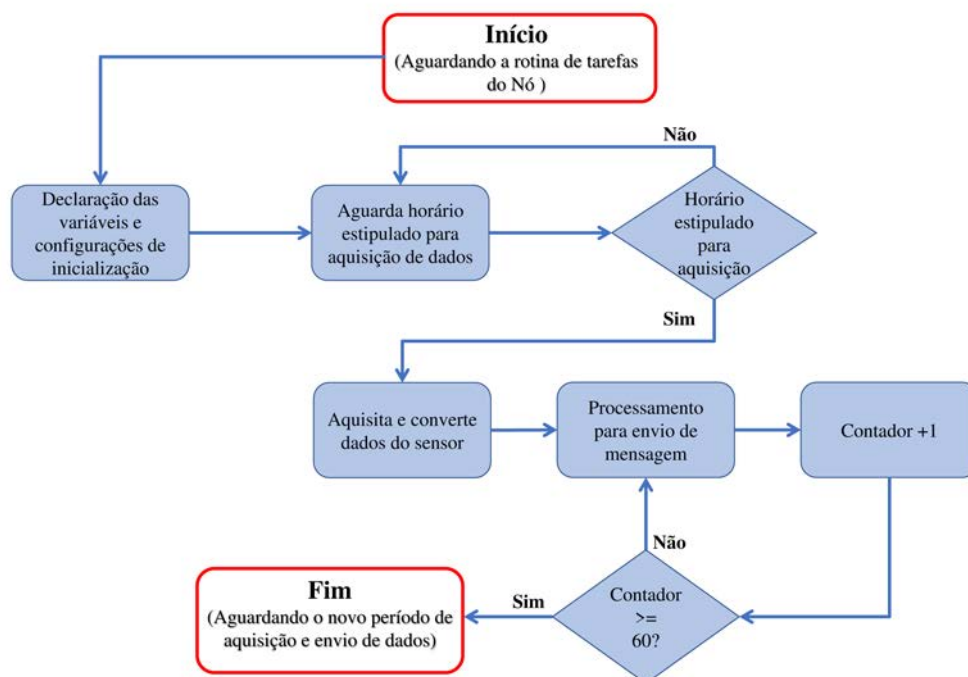
dição de temperatura), e fazer as conversões necessárias para que estes dados sejam enviados ao nó central.

O monitoramento do ambiente rural possibilita que se trace um perfil da área a longo prazo, com intervalos específicos de coleta de dados. Esse sincronismo do nó sensor se dá pelo dispositivo RTC, onde os dispositivos seguem um envio coordenado por intervalos de tempo específicos.

Para maior aumentar a significância estatística, é obtido um conjunto de 60 amostras de forma arbitrária, já que o sistema é adaptável para qualquer intervalo de coleta de dados. O nó sensor foi programado para adquirir informações e enviar durante 1 minuto, no intervalo de 1s, ou seja, 60 pacotes serão enviados do nó sensor para o nó Central. Esses pacotes são numerados de 1 a 60 a fim de que se assegurar uma mesma quantidade de amostragem para comparações periódicas dos dados enviados pelo nó sensor e recebidos pelo nó central.

O fluxograma da Figura 9 representa, resumidamente, o funcionamento da aquisição e monitoramento do nó sensor. A rotina do nó sensor envolve a inicialização das variáveis do sistema e a verificação do horário de aquisição dos dados. A aquisição de dados ocorre por meio da conversão dos estímulos físicos para elétricos no sensor e então é feito o processamento e envio da mensagem. Para cada pacote formado é incrementado um valor no contador, pois cada mensagem possui um número de identificação. Para este sistema, quando o contador atinge o valor de 60 é interrompida as atividades do nó, que volta ao seu estado de espera para nova aquisição no instante estipulado.

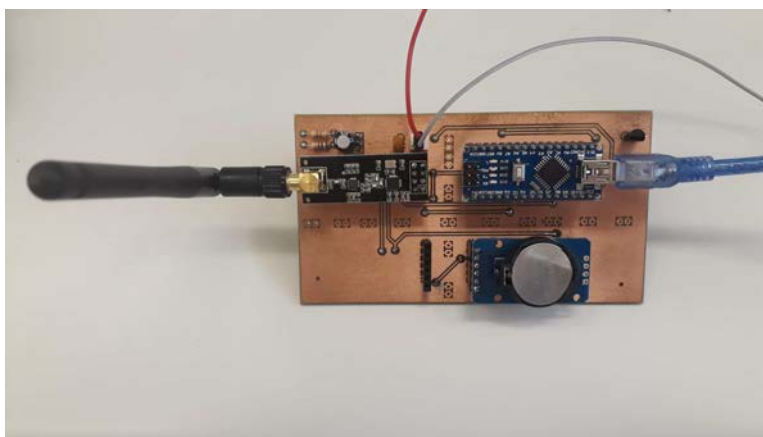
Figura 9 – Fluxograma de funcionamento do nó sensor da RSSF



Fonte: Produção da própria autora.

A estrutura final do nó sensor, pode ser vista pela Figura 10 onde estão dispostas as unidades de processamento (Arduino Nano e RTC), de sensoriamento (sensor de temperatura LM35) e alimentação por fonte externa, fixados na PCB.

Figura 10 – Protótipo nó sensor

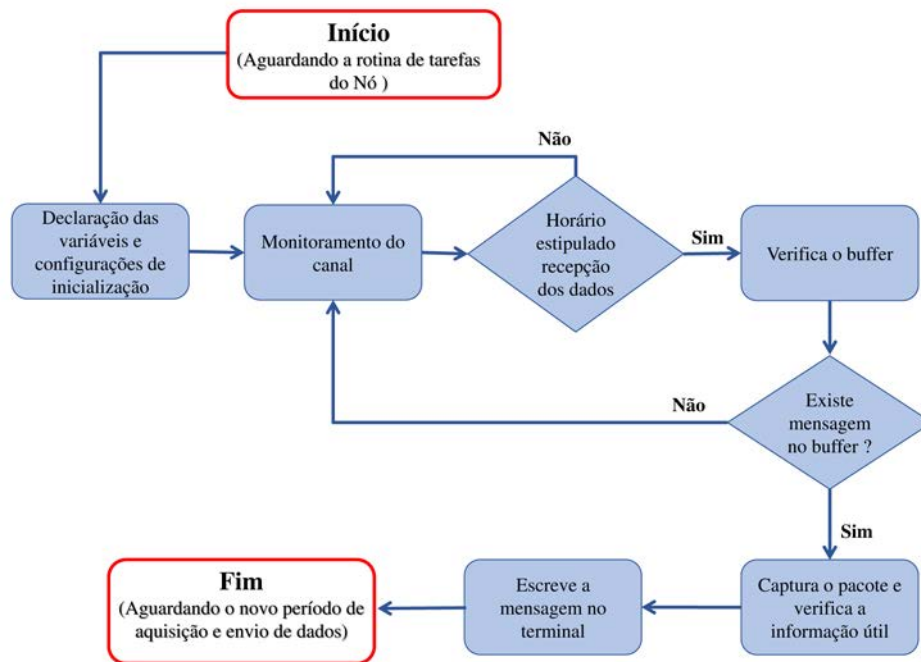


Fonte: Produção da própria autora

4.2.4.2 Nó central

A principal função do nó central da rede é o gerenciamento de tarefas. Após o recebimento dos pacotes, ocorre a função de armazenamento dos dados recebidos. Dessa forma os dados poderão ser analisados pelo operador. A rotina principal configura os periféricos (RTC, transceptor e unidade de armazenamento do cartão SD), e realiza as interrupções necessárias para as sub-rotinas. Ao entrar no *loop*, ciclo de tarefas executadas, é verificado se há algum dado recebido no *buffer*, em caso negativo, registra a inacessibilidade do nó sensor que deveria enviar a informação naquele momento. Por outro lado, se há identificação de recebimento de dados, este é armazenado em um arquivo referente ao nó Sensor com o qual se estabeleceu a comunicação. O fluxograma da Figura 11 esquematiza o funcionamento do gerenciamento do nó Central, que inicializa-se com a declaração de variáveis e fica em estado de monitoramento do canal com a verificação do *buffer*. Se há dados recebidos no *buffer*, essa mensagem é lida e a informação útil, temperatura analisada, é armazenada como um dos parâmetros do gráfico do perfil de temperaturas recebidas. Ao verificar que o *buffer* está vazio, o nó central volta ao seu estado de monitoramento do canal.

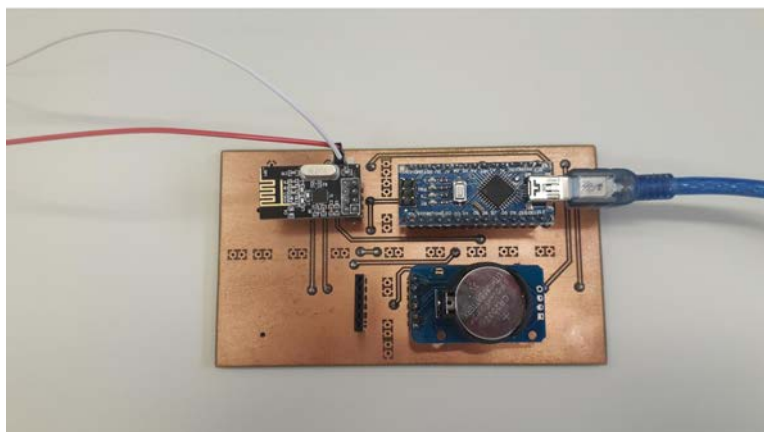
Figura 11 – Fluxograma de funcionamento do nó central da RSSF



Fonte: Produção do própria autora.

Para o nó central, como pode ser vista pela Figura 12 a unidade de sensoriamento é retirada da PCB, já que suas funções são concentradoras das informações recebidas dos demais pontos da rede, é mantido o RTC para sincronismo das tarefas, o transmissor e o módulo Arduino.

Figura 12 – Protótipo nó central



Fonte: Produção da própria autora

4.2.5 Topologia de Rede

A topologia de rede é o layout físico da RSSF proposta, ou seja, como os nós componentes estão dispostos no ambiente a ser monitorado. Pensando-se no ambiente rural como cenário de aplicação deste projeto, leva-se em consideração distâncias variáveis entre a unidade de monitoramento e o objeto a ser monitorado.

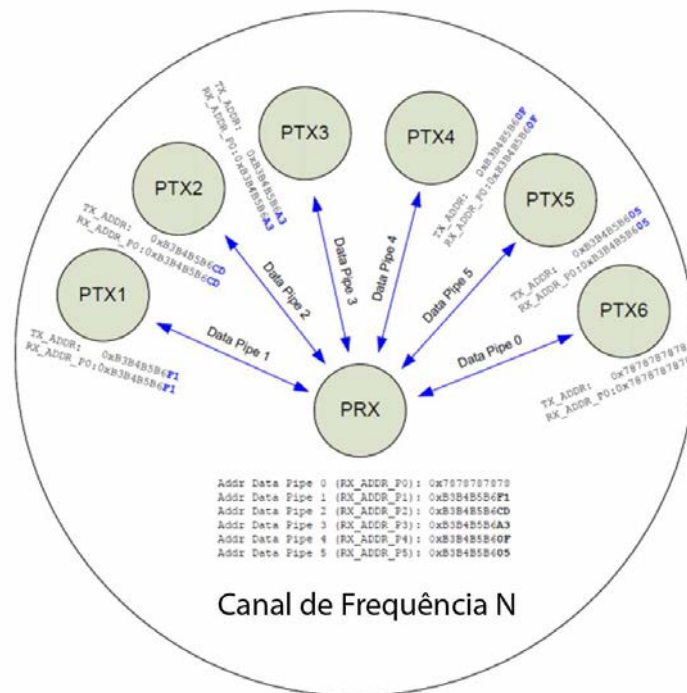
Na topologia em estrela os nós componentes deste arranjo, chamados nós sensores, se direcionam ao nó Central, que detém o controle e supervisão do sistema. Neste projeto tanto a topologia física, de posicionamento dos Nós, quanto a topologia lógica, organização de comunicação, são coincidentes. Desta maneira, o nó central receberá os requerimentos de rede, sendo ele um concentrador de informações com função de solicitar dados aos nós sensores, receber informações, verificar eventuais falhas de comunicação e armazenar os dados recebidos para processamento.

4.2.5.1 Protocolo de comunicação

A opção pelo módulo transceptor nRF24L01+ se deu pelo fato do *hardware* ser de baixo custo, além de suportar uma topologia em estrela com transmissão de dados bidirecional entre transmissores e receptores. Este módulo possui capacidade de “ouvir” até seis transmissores simultaneamente, sem que haja interferência entre eles. Cada Módulo RF nRF24L01+ apresenta seis “Tubos”, chamados *Pipes* de dados que se comunicam paralelamente em endereços lógicos únicos. Para que a comunicação entre transmissor (Tx) e receptor (Rx) ocorra, faz-se necessário que o mesmo endereço seja configurado em ambos os módulos (HU INFINITO COMPONENTES ELETRÔNICOS, 2006).

O módulo nRF24L01+ utiliza o protocolo ESB (*Enhanced ShockBurst*), que possibilita a comunicação bi-direcional de pacotes, com montagem, temporização, confirmação e retransmissão automática de pacotes (HU INFINITO COMPONENTES ELETRÔNICOS, 2006).

Figura 13 – Pipes de comunicação



Fonte: Adaptada de (HU INFINITO COMPONENTES ELETRÔNICOS, 2006).

4.2.5.2 Estrutura do pacote de dados

O envio da informação de um ponto a outro da rede requer um critério quanto às informações associadas, a fim de promover um processamento adequado dos dados recebidos. Assim, o nó central precisa conhecer a origem da informação, qual horário foi adquirido os dados no sistema e qual o valor monitorado. Sendo assim, essas informações são concatenadas em uma só sentença que é enviada do nó Sensor para o nó Central como pode ser visto na Figura 14.

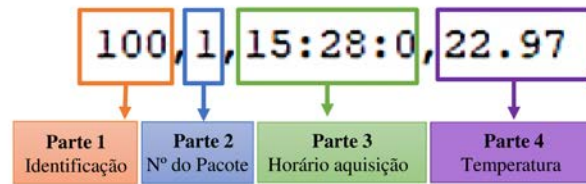
A sentença que será enviada ao nó central é composta de quatro partes: Identificação, número de pacote, horário de aquisição e temperatura. A identificação é o “endereço” do nó, número correspondente ao nó Sensor que está enviando a informação. Assim, a sentença que chega no nó Central fornece a origem da informação dentro da rede, já que cada nó sensor é unicamente identificado e está associado a uma área específica.

A segunda parte da sentença identifica qual o número do pacote enviado. A programação de envio de mensagem é flexível, podendo ocorrer em instantes específicos de tempo (segundos, minutos, horas). Para os testes foram realizados o envio de 60 amostras (pacotes), cada pacote foi enviado em cada segundo.

A terceira parte da sentença é responsável pelo momento de aquisição da leitura, subdivide-se em horas, minutos e segundos, separados por “:”.

A última parte corresponde a carga útil da informação, ou seja, à medida de monitoramento que no caso é representada pela temperatura do nó em questão.

Figura 14 – Estrutura do pacote enviado



Fonte: Produção da própria autora

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 TRATAMENTO DOS DADOS PESQUISA SURVEY

As respostas para cada pergunta do questionário foram avaliadas e filtradas utilizando diferentes ferramentas, buscando-se compreender como a tecnologia pode atender às necessidades do setor da agricultura e promover a sustentabilidade.

• Questão um: Principais fatores para manutenção de uma plantação

Na primeira pergunta do questionário foi avaliado o grau de impacto de cada um dos fatores considerados importantes para a manutenção de uma plantação. Observou-se certa regularidade nas respostas que pode ser organizada por meio do Quadro 5 com base na apresentação de fatores levantados pelos próprios entrevistados, identificando-se as necessidades a serem supridas na agricultura tais como temperatura, iluminação, umidade do solo, fertilidade do solo (nutrientes), compactação, disponibilidade de água, pragas e doenças, umidade relativa do ar, genética e sanidade.

Quadro 5 – Principais fatores para manutenção de uma plantação

Fatores	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Temperatura	++	++	+	+	+		+		+
Iluminação / Radiação	+	++	+	+			+	+	+
Umidade do Solo	+	++	+	+	+		+	+	+
Fertilidade do solo / Nutrientes		+				+		+	
Compactação		+							
Disponibilidade de água / Irrigação		+			+	+			
Pragas e doenças		+						+	
Umidade Relativa do Ar				+					
Genética									+
Sanidade									+

Fonte: Produção da própria autora.

No Quadro 5, o símbolo “+” é considerado como unidade de impacto para cada resposta dos nove entrevistados (R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9). Dessa maneira o “+” é atribuído com base na importância considerada em relação aos demais fatores. Nota-se que os fatores de maior impacto foram temperatura, iluminação e umidade do solo.

• **Questão dois: Importância da temperatura, iluminação e umidade em uma plantação**

A partir das respostas obtidas na entrevista, na segunda pergunta, foi feita uma filtragem das informações para a identificação dos padrões de palavras chave que pudessem relacionar as principais necessidades associadas à temperatura, iluminação e umidade em uma plantação, como pode ser visto na Figura 15. Dessa maneira, o monitoramento de tais fatores tem influência positiva na otimização do sistema.

Figura 15 – Importância da iluminação, temperatura e umidade para uma plantação

NECESSIDADE DE CONDIÇÕES ÓTIMAS DE TEMPERATURA, ILUMINAÇÃO E UMIDADE		
ILUMINAÇÃO	TEMPERATURA	UMIDADE
Desenvolvimento	Condições específicas para cada espécie	Doenças e pragas
Fonte de energia		Melhores condições e épocas de plantio
Fotossíntese	Temperaturas extremas = Danos fisiológicos	Umidade do solo relacionada com a absorção de nutrientes
Crescimento	Metabolismo da planta	
Fotoperíodo (duração do dia)		

Fonte: Produção da própria autora.

Com a iluminação estão associadas condições como o desenvolvimento da planta e fonte de energia, realização do processo de fotossíntese, crescimento e variações de fotoperíodo que necessitam de condições ótimas de acordo com cada cultura.

Já o fator temperatura é um fator crítico que em condições extremas pode causar danos fisiológicos à planta. A temperatura está diretamente relacionada com o metabolismo das plantas e requer condições específicas para cada espécie.

A umidade do ar tem relação direta com o desenvolvimento de doenças e pragas que podem se estabelecer na plantação. As variações de umidade durante o ano podem ainda favorecer diferentes épocas para o plantio, devido a absorção de nutrientes.

Dessa maneira, observa-se que os fatores levantados têm grande impacto no desenvolvimento da planta, necessitando de monitoramento.

• **Questão três: Intervalo de tempo de observação e monitoramento de uma plantação**

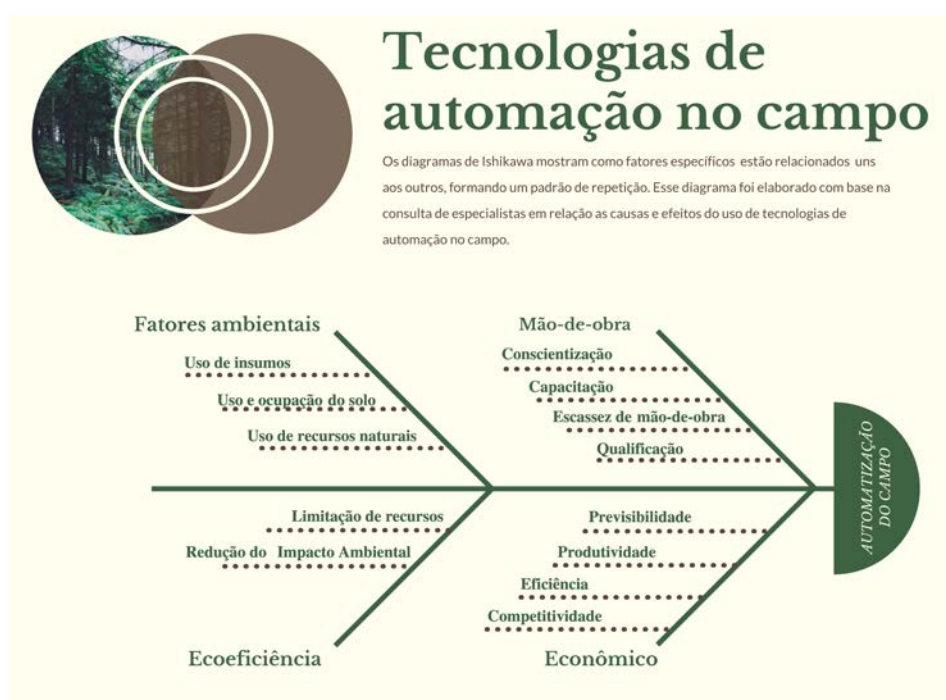
Em relação à terceira pergunta, foi questionado qual o período de tempo necessário para o monitoramento de uma cultura, pensando-se em intervalos de segundos, minutos, dias ou meses.

As respostas não apresentaram um padrão, já que os ciclos das culturas são diferentes. O que pôde-se identificar é a necessidade da elaboração de um sistema de monitoramento adaptável a essas necessidades, portanto deve ser funcional tanto para períodos curtos em intervenções frequentes de otimização de produção agrícola, como também monitoramentos a longo prazo para acompanhamento do desenvolvimento das plantas.

• Questão quatro: Uso de tecnologias de automação no campo

Para o tratamento dos dados obtidos pela pergunta número quatro do questionário foi utilizada a ferramenta de qualidade, o Diagrama de Ishikawa, também conhecido como “Diagrama de Causa e Efeito”(FORTLOGIC, 2016). Dessa maneira foi possível estabelecer a relação entre as principais causas da automação do campo, traçando os pontos problemáticos e oportunidades de soluções para este cenário. As respostas foram avaliadas com base na identificação dos principais conceitos presentes nas respostas dos entrevistados.

Figura 16 – Uso de tecnologias de automação no campo



Fonte: Produção da própria autora.

Pela Figura 16 identificamos graficamente como causas os fatores ambientais, a ecoeficiência, a mão-de-obra e fatores econômicos, que levam a automação do campo. Dentre os fatores ambientais estão o uso crescente de insumos agrícolas e uso e ocupação do solo que requerem monitoramento contínuo, além da escassez de recursos naturais tais como o uso excessivo de água nas plantações, ferramentas de tecnologias no meio rural podem resultar em um uso sustentável. Dessa maneira, a ecoeficiência busca uma produção voltada para a manutenção dos

recursos naturais e redução dos impactos a partir do uso consciente dos recursos nesse cenário com o uso das ferramentas tecnológicas de monitoramento. No que diz respeito a mão de obra, a automação propõe uma maior capacitação e adaptação quanto aos instrumentos utilizados e uma conscientização em relação às necessidades da produção e manutenção dos recursos. Já em relação ao fator econômico, propõe uma maior previsibilidade da produção e consequentemente aumento produtivo e de qualidade dos produtos em uma produção mais eficiente, em termos de diminuição dos recursos utilizados em relação ao produto final obtido.

- **Questão cinco: Uso de tecnologia no campo pelos entrevistados**

A pergunta cinco do formulário busca fazer um levantamento se tecnologias de automação estão sendo aplicadas no ambiente agrícola. Nesse sentido as respostas foram unânimes, nenhum dos entrevistados utilizam alguma tecnologia de automação. Isso evidencia a necessidade de estudos e implementações práticas na área das tecnologias de automação do campo.

- **Questão Seis: Perspectivas para a automação da agricultura**

Na questão seis, os entrevistados discorreram a respeito das perspectivas de automação na agricultura e quais seriam as soluções para que houvesse um avanço no agronegócio brasileiro. A avaliação das respostas proporcionou o levantamento dos aspectos ilustrados na Figura 17 por meio da identificação dos principais fatores discorridos nas respostas abertas.

Figura 17 – Soluções propostas para automação do campo



Fonte: Produção da própria autora.

Em síntese, as questões giram em torno do investimento em pesquisas e desenvolvimento de novas soluções tecnológicas para o setor do agronegócio. Levando em consideração desenvol-

vimento técnico, uso dos recursos naturais, impactos ambientais que podem ser minimizados, otimização de tarefas no campo, capacitação técnica de mão-de-obra e aspectos sociais.

• **Questão Sete: Desenvolvimento sustentável no campo**

Quando perguntados em relação a possibilidade do desenvolvimento sustentável no campo, pergunta sete do questionário, os entrevistados abriram margem para um levantamento estratégico que serve de fundamentação para as principais necessidades do projeto. Assim, foi possível a elaboração da matriz de análise SWOT. O nome SWOT, vem da sigla em inglês *Strenghts* (Forças), *Weaknesses* (Fraquezas), *Opportunities* (Oportunidades) e *Threats* (Ameaças), assim a análise também pode ser conhecida por Matriz F.O.F.A, em português (SEBRAE, 2016).

Figura 18 – Análise do cenário de desenvolvimento sustentável no campo usando a ferramenta matriz F.O.F.A

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO CAMPO ANÁLISE DA MATRIZ F.O.F.A	FORÇAS • Uso racional dos insumos agrícolas; • Conservação e recuperação de áreas degradadas; • Automação de várias etapas do processo produtivo agrícola.	FRAQUEZAS • Capacitação técnica do produtor rural; • Conscientização da necessidade de ferramentas para preservação do ambiente.
	OPORTUNIDADES • Escassez de recursos naturais; • Contaminação ambiental; • Tecnologias aplicáveis a realidade do agricultor; • Tecnologias de baixo custo.	AMEAÇAS • Interesse social e econômico na sustentabilidade; • Equilíbrio entre produção eficiente e sustentável.

Fonte: Produção da própria autora.

Dessa forma, a matriz F.O.F.A é uma importante ferramenta que favorece a análise da elaboração de projetos voltados para o desenvolvimento sustentável no campo, onde as “Forças” e “Fraquezas” são referentes ao ambiente interno e as “Oportunidades” e “Ameaças” se relacionam com o ambiente externo. Pela Figura 18, como “Forças” pode-se destacar o uso racional dos insumos agrícolas, de forma que o monitoramento e controle evitam o uso excessivo destes insumos. A necessidade de conservação e recuperação de áreas degradadas também contribui para o uso das tecnologias de automação no aspecto da necessidade de novas técnicas que favoreçam o uso sustentável do solo. Ao mesmo tempo que a automação de processos produtivos proporcionam o desenvolvimento econômico pela implementação de tecnologias de baixo custo.

As “Oportunidades” estão no contexto em que a agricultura está inserida e nas suas necessidades. Trata-se de um momento em que os recursos naturais se tornam limitados. Dessa maneira há necessidade de soluções alternativas com o uso de tecnologias que sejam acessíveis ao agricultor tanto no aspecto de facilidade de implementação, tecnologias simples, como também em custo de produção.

No que diz respeito às “Fraquezas” tem-se a necessidade de capacitação técnica do produtor rural em relação às novas tecnologias e ferramentas de automação do campo aliando tecnologia a experiência. Além da conscientização dos produtores rurais da necessidade de preservação do ambiente e da aceitação que a tecnologia pode ser uma alternativa viável e aplicável.

Quando se avaliam as “Ameaças” possíveis neste cenário, temos o interesse social em implementar soluções sustentáveis, no que se refere ao retorno econômico e riscos de investimento em tecnologias sustentáveis.

5.2 VERIFICAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO CONSTRUÍDO

Após a construção dos protótipos dos nós e da definição das sentenças enviadas, foi estabelecida efetivamente a comunicação entre o nó sensor e o nó central.

A programação do nó sensor foi desenvolvida em linguagem C++, consistiu em diversos aspectos como importação de bibliotecas, configurações de portas, funções auxiliares, variáveis globais, construção de *arrays* de envio de dados.

O dispositivo RTC localizado nos nós sensores, é responsável pelo sincronismo das funções, estabelece o momento em que o nó central “escuta” o canal de comunicação determinado. Dessa maneira, enquanto o nó sensor se encontrava em modo de espera aguardando o *slot* (intervalo) de tempo de envio das mensagens, o nó central entra em estado de verificação de *buffer*. Para verificação das mensagens recebidas, foi utilizado o terminal serial dos microcontroladores, assim pela Figura 19 a “COM10” recebe os dados de verificação do nó central, enquanto a “COM12” recebe o dados de estado de espera, registrando apenas informações de data e hora.

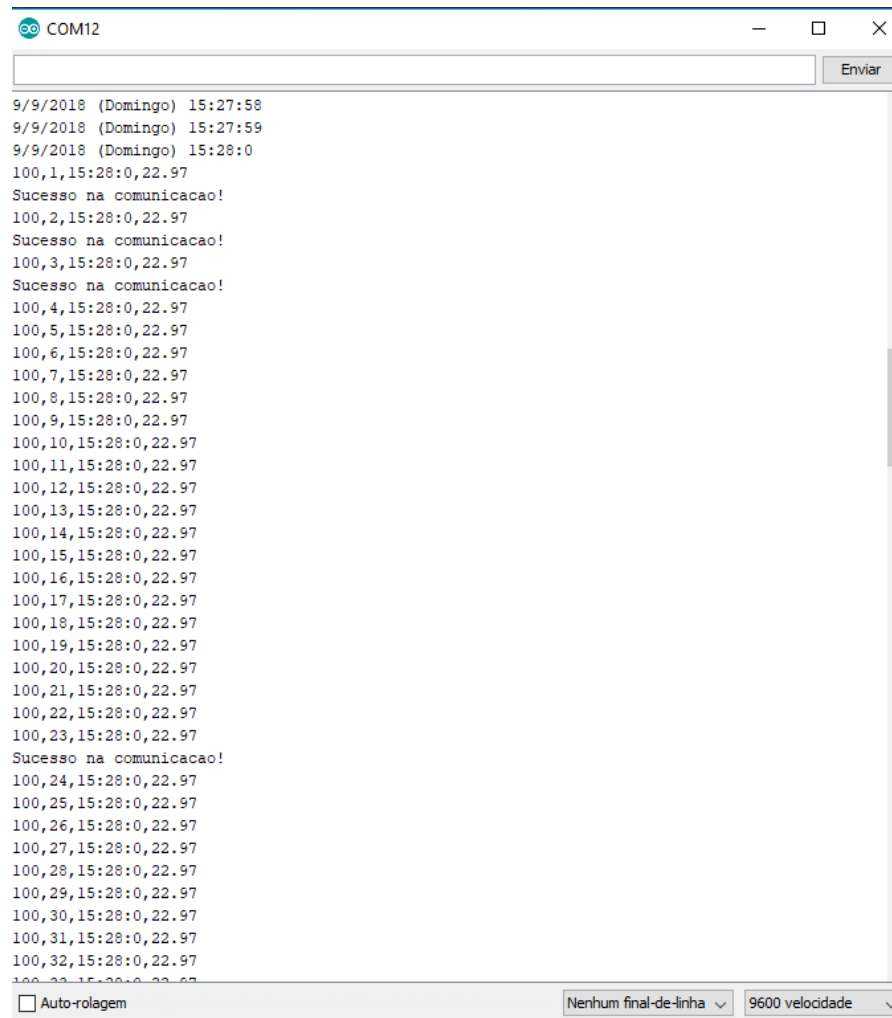
Figura 19 – Nós central (COM10) e Sensor (COM12) em estado de espera

COM10	COM12
Digite 'T' ou 'R'	Inicializando o Nó Sensor! 9/9/2018 (Domingo) 15:26:40
R	9/9/2018 (Domingo) 15:26:41
Verificação de mensagem recebida	9/9/2018 (Domingo) 15:26:42
Verificação de mensagem recebida	9/9/2018 (Domingo) 15:26:43
Verificação de mensagem recebida	9/9/2018 (Domingo) 15:26:44
Verificação de mensagem recebida	9/9/2018 (Domingo) 15:26:45
Verificação de mensagem recebida	9/9/2018 (Domingo) 15:26:46
Verificação de mensagem recebida	9/9/2018 (Domingo) 15:26:47
Verificação de mensagem recebida	9/9/2018 (Domingo) 15:26:48
Verificação de mensagem recebida	9/9/2018 (Domingo) 15:26:49
Verificação de mensagem recebida	9/9/2018 (Domingo) 15:26:50
Verificação de mensagem recebida	9/9/2018 (Domingo) 15:26:51
Verificação de mensagem recebida	9/9/2018 (Domingo) 15:26:52
Verificação de mensagem recebida	9/9/2018 (Domingo) 15:26:53
Verificação de mensagem recebida	9/9/2018 (Domingo) 15:26:54
Verificação de mensagem recebida	9/9/2018 (Domingo) 15:26:55
Verificação de mensagem recebida	9/9/2018 (Domingo) 15:26:56
Verificação de mensagem recebida	9/9/2018 (Domingo) 15:26:57

Fonte: Produção da própria autora

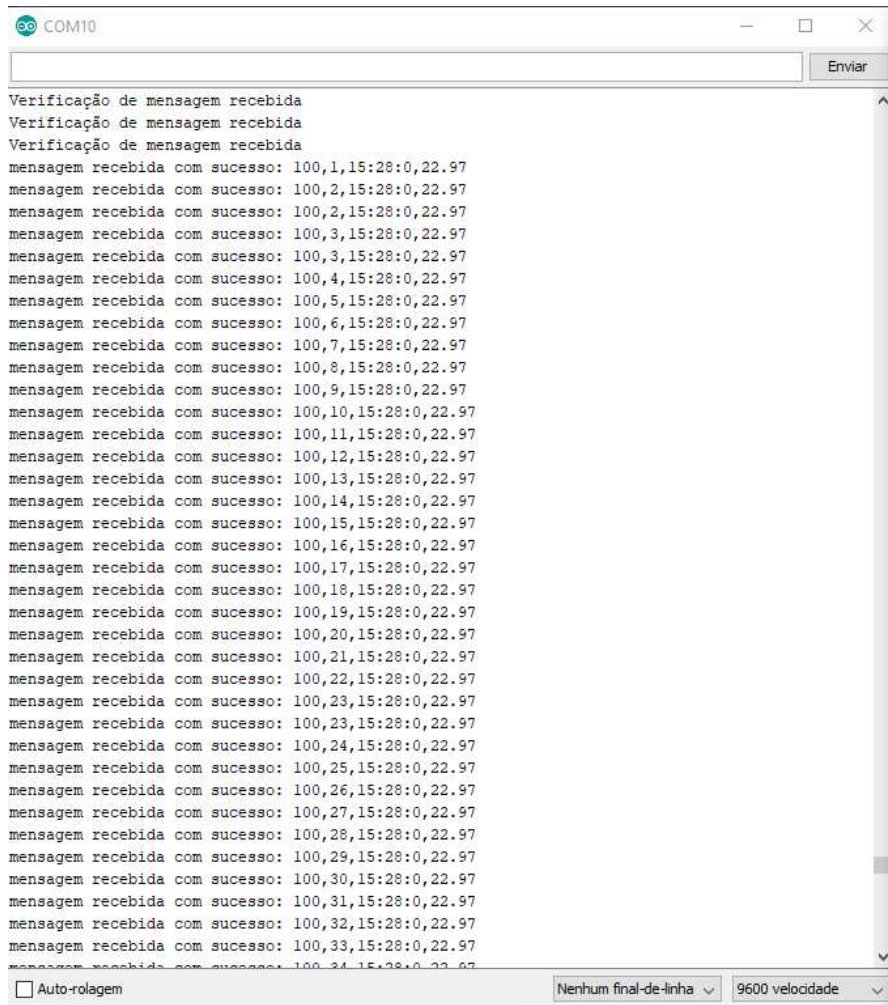
Para os testes foram estabelecidos que a transmissão de pacotes ocorreria em horários específicos ao longo do dia, alterando as tarefas dos nós em momentos de verificação de canal e atividades de aquisição e envio de dados, afim de simular um acompanhamento periódico de dados e uma amostra considerável para avaliação. Dessa maneira, pela Figura 20 temos que antes do horário estabelecido (15 horas e 28 minutos), é obtidos apenas as informações de data e hora, pois o nó sensor se encontra em estado de espera. A partir de então o sistema começa a adquirir os dados, por meio do sensor, e construir o pacote que será enviado ao nó centra. O “Sucesso na comunicação” corresponde à escrita da mensagem e envio pelo transceptor. Ao mesmo tempo em que acontece a recepção do pacote diretamente no nó central Figura 21. A transmissão foi estipulada para a duração de *time slot* de 1 minuto, ou seja, 60 amostras uma a cada segundo.

Figura 20 – Transmissão de informações pelo nó sensor



Fonte: Produção da própria autora

Figura 21 – Recepção de informações pelo nó central



Fonte: Produção da própria autora

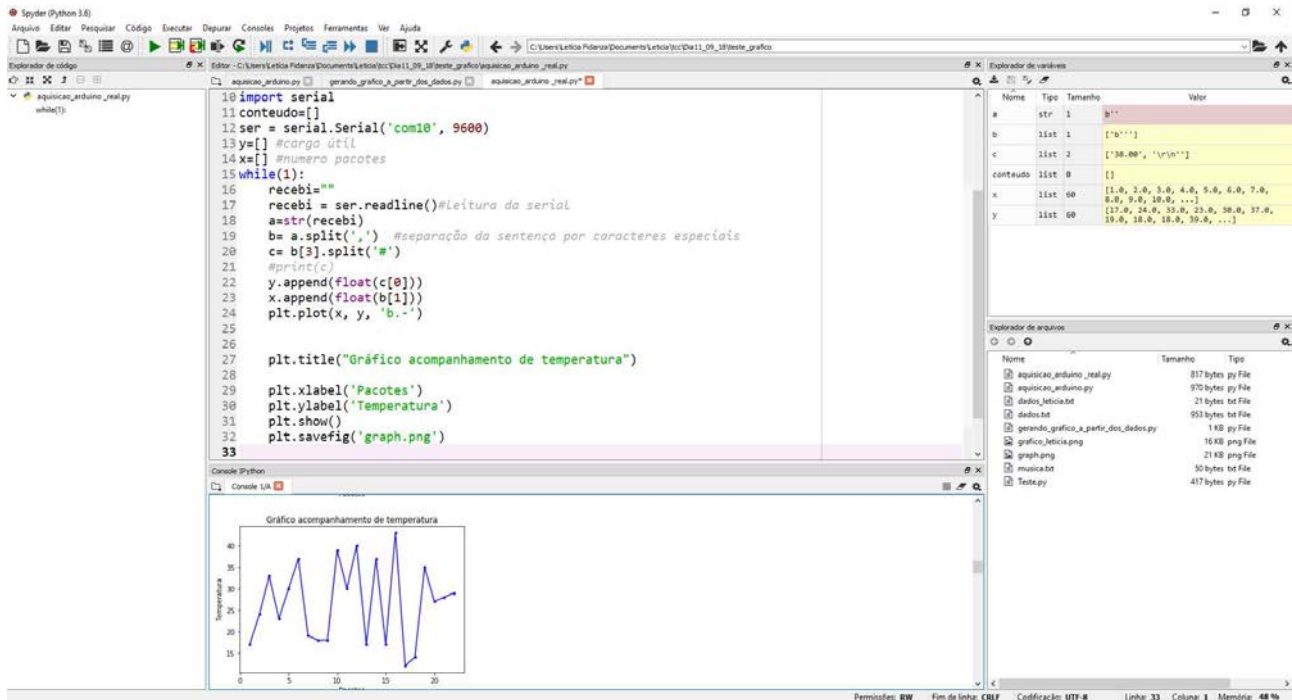
5.3 AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

A necessidade de aquisição de dados por meio de uma interface, que possibilitasse ao usuário uma visualização simplificada dos dados gerados, foi a motivação para o uso da linguagem de programação *Python*. Trata-se de um software livre, plataforma aberta(*open source*), que possibilita livre distribuição e adaptação para diversos fins, além de sua disponibilidade ser gratuita (dataflair:2018).

Neste projeto foi promovida a verificação dos dados recebidos por meio da comunicação serial em tempo real, ou seja, toda a informação recebida pelo microcontrolador pode ser visualizada pelo usuário instantaneamente à recepção (Figura 22). Para cada sentença recebida, foram identificadas as informações relativas à origem da informação (numeração do nó sensor), número de pacote correspondente, momento de aquisição e valor registrado. Para visualização gráfica foi utilizado o número do pacote e a temperatura correspondente ao instante de monitoramento. Dessa maneira, é represen-

tada graficamente a informação de temperatura obtida a partir de cada pacote de informações como mostra Figura 23 na forma de *snapshots*, registro instantâneo, conforme a atualização da porta serial analisada, Serial “COM10”, correspondente ao nó sensor.

Figura 22 – Interface Spyder de linguagem *Python* para de aquisição de dados

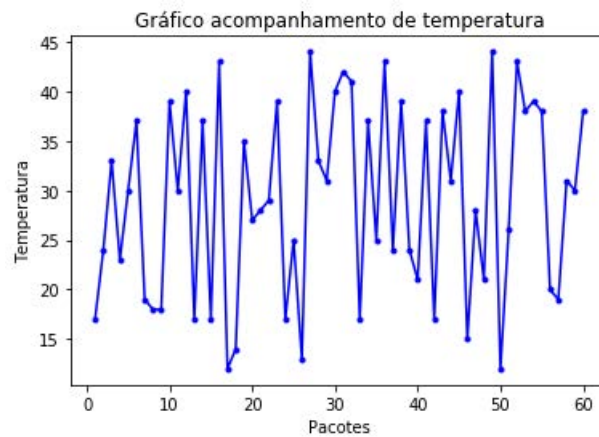


Fonte: Produção da própria autora.

Foram feitos testes com a geração de temperaturas aleatórias a fim de acompanhar a variação de recepção pelo terminal do usuário, ou seja, levando-se em conta a quarta parte da sentença da Figura 14, ao invés de se fazer a aquisição direta do sensor, o código do nó sensor foi alterado para que se gerassem números aleatórios entre 10 e 42 (simulando variações abruptas de temperatura) para melhor observar tais variações no gráfico. Assim, cada sentença recebida pelo nó central, é dividida e associada a uma matriz pela função `split`, onde a “quebra” da sentença ocorre pelos caracteres especiais, com isso, para se obter os valores de temperatura e número de pacotes de cada sentença, foram necessárias leituras correspondentes da porta serial e que a cada “,” (vírgula) houvesse uma divisão da sentença. Para este tratamento dos dados, foi necessário também inserir caracteres especiais para indicar o início e fim de cada mensagem recebida pelo nó central. Com isso, no nó sensor a sentença foi mantida quanto a estrutura das informações contidas, porém foi inserido o caractere “\$” para indicar início de um pacote e “#” para indicar seu fim.

Após a atualização dos *snapshots*, com o recebimento do último pacote, obteve-se o seguinte resultado Figura 24. O fim da transmissão é determinado pelo nó sensor por meio do dispositivo RTC que determina a duração do tempo de transmissão.

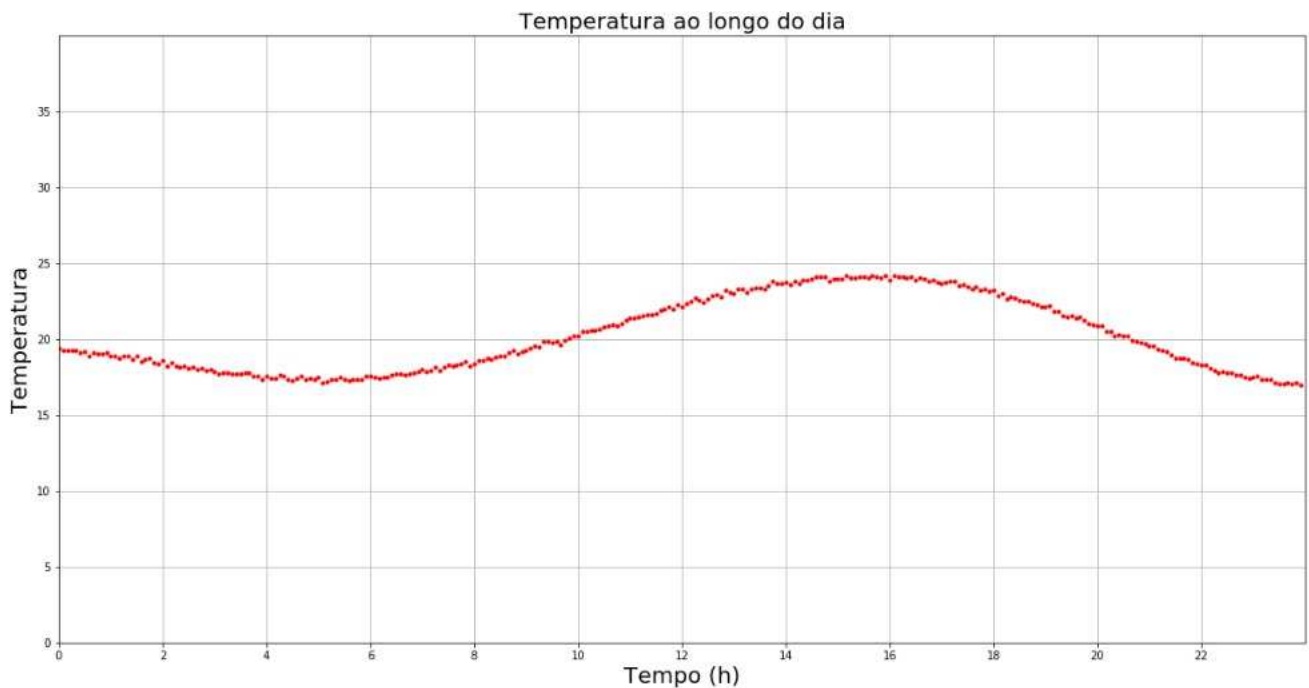
Figura 24 – Snapshot do recebimento do último pacote de dados



Fonte: Produção da própria autora.

Para um monitoramento contínuo os nós sensor e central foram colocados em funcionamento para que os dados fossem adquiridos, transmitidos e processados. A Figura 25 foi obtida pelo registro das variações de temperatura do ambiente ao longo do dia, representadas pelo eixo y, em relação ao tempo de observação, registrado no eixo x. Assim, o sistema é colocado de forma dinâmica e adaptável com possibilidade tanto do monitoramento instantâneo de temperatura, quanto a longo prazo por meio da mudança dos estados de operação dos nós sensores.

Figura 25 – Controle de temperatura durante o dia

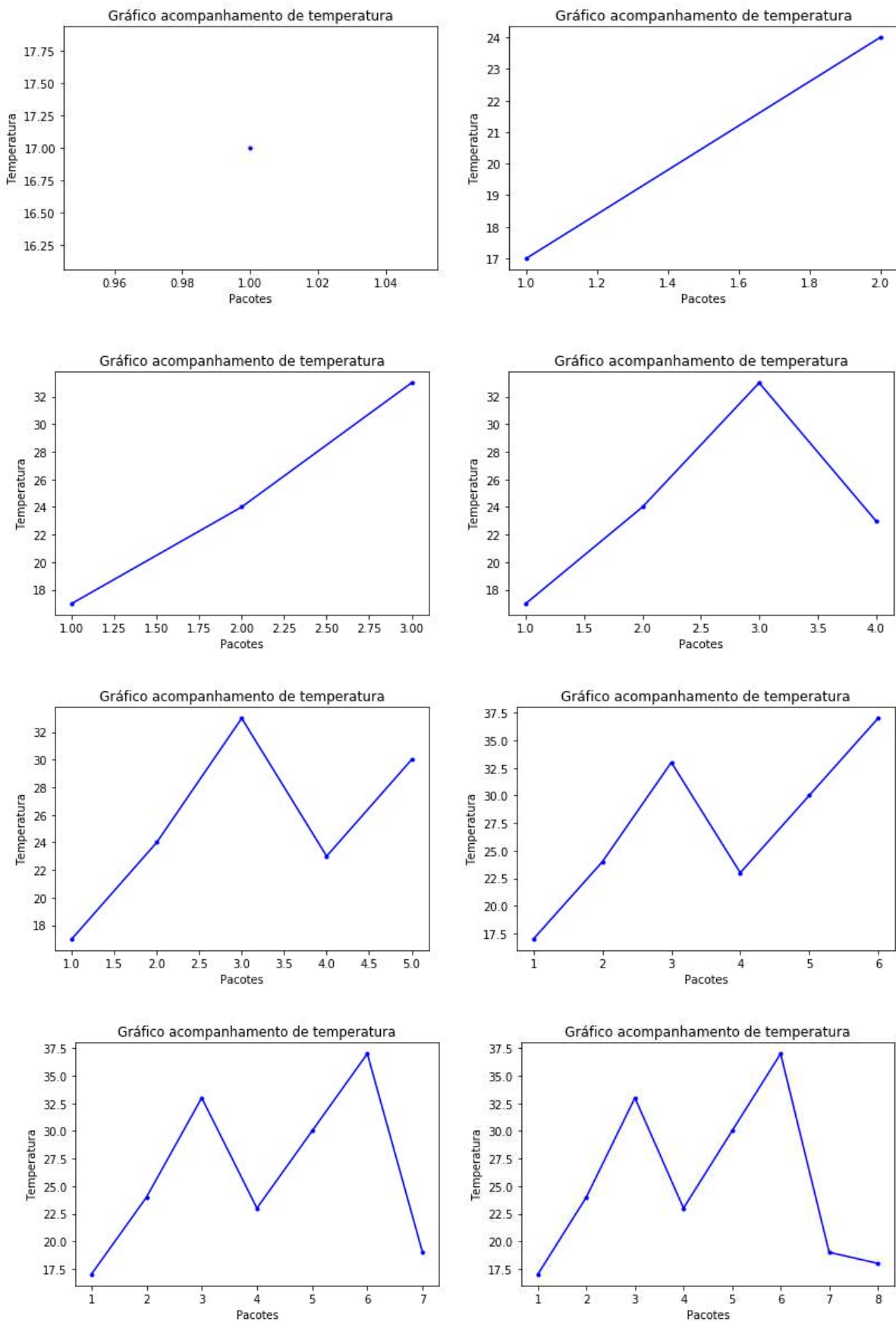


Fonte: Produção da própria autora.

Dada a falta de recursos para a construção efetiva da rede, esse projeto buscou miniaturizar as dimensões de uma rede de sensores real, mostrando a efetividade na comunicação com a transmissão e recepção de informações, com possibilidade de ampliação e escalabilidade no gerenciamento dessa rede, afim de amostrar sua funcionalidade. Sua real implantação em uma escala maior tornaria possível um comparativo para quantificar os impactos positivos de quantidade de água, temperatura ideal de uma plantação e comparação com áreas agrícolas de mesmo porte que não aplicam a tecnologia. Assim foi utilizado somente o sensor de temperatura, já o sensor de umidade replicaria os mesmos procedimentos básicos.

Vale ressaltar que o uso dos dispositivos transceptores nRF24L01+ apresentaram diversas dificuldades em sua implementação no que diz respeito aos picos de correntes durante o processo de transmissão e recepção do sinal, na qual a utilização do regulador de tensão AMS117 não foi possível.

Figura 23 – Snapshots dados aquisitados pelo nó sensor e Recebidos pelo nó central



Fonte: Produção da própria autora.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Uma das principais contribuições deste projeto foi a identificação da aplicabilidade da tecnologia no campo através de uma Rede de Sensores Sem Fio, consultando-se profissionais da área da engenharia e agricultura foi feito um levantamento das reais necessidades e defasagem deste meio. Observou-se que a necessidade do aumento de produção e redução do desperdício dos recursos naturais são motivadores para a implementação de tecnologias de automação e monitoramento do campo, assim como o desenvolvimento de tecnologias flexíveis e adaptáveis. Atentou-se também para a importância do baixo custo de implementação de tais tecnologias afim de obter soluções amplamente difundidas tanto para grandes agricultores quanto para produtores da agricultura familiar. Neste aspecto, a tecnologia surge como ferramenta para promover o gerenciamento dos recursos disponíveis, sendo eles econômicos ou naturais, gerando ainda perspectiva para futuras implementações voltadas para a análise quantitativa dos impactos ambientais que um sistema de monitoramento desse porte pode operar em uma propriedade real.

Em relação a construção do protótipo, a efetividade na comunicação entre o nó sensor e o nó central se torna a primeira etapa da implementação de uma rede completa ao passo que possibilita a ampliação, com a inserção de outros sensores como umidade, de oxigênio, dentre outros, afim de obter-se um maior número de parâmetros referentes ao meio. Quanto ao monitoramento ambiental há uma viabilidade tanto no monitoramento dos parâmetros em tempo real quanto para fins de análises comparativas de longo prazo.

O uso da linguagem *Python* para o tratamento dos dados é uma grande ferramenta que possibilita soluções futuras dentre elas a implementação do aprendizado de máquina (*Machine Learning*), com a possibilidade de implementação de algoritmos inteligentes de clusterização, estabelecimento de níveis ótimos de operação, mecanismos ativos de tomada de decisão, dentre outros cenários para a continuação deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Telecomunicações. **Ato Nº 14448, de 4 de Dezembro de 2017 - Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita**. SEI/ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações, 2018. Disponível em: <<http://www.ncc.org.br/img/Ato%2014448.pdf>>.
- ARDUINO. **Arduino Nano**. 2018. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>>.
- ARDUINO. **Memory**. 2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Memory>>.
- ARDUINO. **SPI library**. 2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Reference/SPI>>.
- BEZERRA, A. W. L. **Redes Wi-Fi I: Medidor de Potência de Antenas Planares na Faixa ISM (2,4 GHz)**. Teleco - Inteligência em Telecomunicações, 2017. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeswifi1/pagina_5.asp>.
- BRASIL. **Lei Nº 11.326, de 24 de julho de 2006**. Presidência da República - Casa Civil - Subchefia para assuntos jurídicos, 2006. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111326.htm>.
- BRASIL. **Produto 8: Relatório do Plano de ação**. Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão; Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações e Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDS), 2017. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/269bc780-8cdb-4b9b-a297-53955103d4c5/relatorio-final-plano-de-acao-produto-8-alterado.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m0jDUok>>.
- CASTILHO, I. **Brasil: 70% dos alimentos que vão à mesa dos brasileiros são da agricultura familiar**. Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário, 2006. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/sitemda/noticias/brasil-70-dos-alimentos-que-v%C3%A3o-%C3%A0-mesa-dos-brasileiros-s%C3%A3o-da-agricultura-familiar>>.
- CAVICHOLI, F. A. et al. Avaliação do uso e ocupação do solo em propriedades rurais para a implantação de práticas conservacionistas. XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2009.
- CLERCQ, M. D.; VATS, A.; BIEL, A. **Agriculture 4.0: The Future of Farming Technology**. [S.l.]: World Government Summit in collaboration with Oliver Wyman, 2018.
- CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO MATO GROSSO. **Lei de uso e ocupação do solo: Você sabe o que é e para que serve?** Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Mato Grosso, 2016. Disponível em: <<https://www.crea-mt.org.br/portal/lei-de-uso-e-ocupacao-do-solo-voce-sabe-o-que-e-e-para-que-serve/>>.
- DIAS, R. R. M. et al. Projeto de enlace de micro-ondas associado a atenuação no espaço livre atmosférica utilizando software comerciais. **XIX CEEL - Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica**, Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

DUNG, L. T.; HIEP, N. T. K. The revolution of agriculture 4.0 and sustainable agriculture development in vietnam. **International Conference Proceedings - Emerging Issues in Economics and Business in the Context of International Integration**, Ministry of Education and Training of Vietnam National Economics University, p. 317–328, 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Agricultura de Precisão - Resultados de um Novo Olhar**. Brasília, DF - Brasil: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; Embrapa Instrumentação; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2014.

EUROPEAN AGRICULTURAL MACHINERY. Digital farming: what does it really mean? **CEMA's Guide to Digital Farming**, 2017.

EUROPEAN RESEARCH CLUSTER ON THE INTERNET OF THINGS. **European Research Cluster on the Internet of Things**. 2014. Disponível em: <http://www.internet-of-things-research.eu/about_iot.htm>.

FILIPEFLOP. **Real Time Clock RTC DS3231**. Loja Filipeflop, 2017. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/real-time-clock-rtc-ds3231/>>.

FLORIDI, L. **Internet of Things: Start Of a Revolution**. 2014. Disponível em: <<https://vimeo.com/77209992>>.

FORTLOGIC, G. **Diagrama de Ishikawa**. Ferramentas da qualidade, 2016. Disponível em: <<http://www.ferramentasdaqualidade.org/diagrama-de-ishikawa/>>.

GIARETTA, M. S. Projeto de uma rede de comunicação sem fio baseada no transceptor nrf24l01+ voltada para sistemas de automação predial. Trabalho de Conclusão em Engenharia de Controle e Automação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2014.

GOUVEIA, P. R. **Convergência de Redes Sem Fios para Comunicações M2M e Internet das Coisas em Ambientes Inteligentes**. Covilhã - Portugal: [s.n.], 2013.

HU INFINITO COMPONENTES ELETRÔNICOS. **Tutorial Módulo Transceptor de 2,4 GHz**. [S.l.], 2006.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Redes de computadores e a Internet: uma abordagem top-down**. São Paulo, São Paulo - Brasil: Pearson, 2014.

LOUREIRO, A. et al. Redes de sensores sem fio. **Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores**, p. 179–226, 2003.

MADEIRA, D. **RTC DS3231 - Registrando data e hora com Arduino**. Portal Vida de Silício, 2017. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/real-time-clock-rtc-ds3231/>>.

MALBURG, M. M. **Trabalho Final de Redes I - Universidade Federal do Rio de Janeiro**. 2004. Disponível em: <https://www.gta.ufrrj.br/grad/04_2/Modulacao/index.html/>.

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações. Identificação dos tópicos de relevância para a viabilização da internet das coisas no brasil. **Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica**, p. 31–48, 2017.

NORDIC SEMICONDUCTOR. **Single chip 2.4 GHz Transceiver**. [S.l.], 2016. Rev. 1.2.

NORDIC SEMICONDUCTORS. **Single chip 2.4 GHz Transceiver**. [S.l.], 2006.

NORMAN, D. A. **O design do dia-a-dia**. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - Brasil: Rocco, 2006.

PAZ, V. P. d. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, DEAg/UFPB, v. 4, n. 3, p. 465–473, 2000.

PEREIRA, C. E.; CARVALHO, F. V. A internet das coisas (iot): Cenário e perspectivas no brasil e aplicações práticas. **VII SRST- Seminário de Redes e Sistemas de Telecomunicações**, Instituto Nacional de Telecomunicações, 2017.

QUADROS, D. **Arduino: O Bootloader**. 2011. Disponível em: <http://dqsoft.blogspot.com.br/2011/07/arduino-o-bootloader_18.html>.

SANTOS, B. et al. Internet das coisas: da teoria a prática. **Livro Texto Minicursos**, XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, p. 1–50, 2016.

SEBRAE. **Planejamento estratégico: Use a matriz F.O.F.A. para corrigir deficiências e melhorar a empresa**. 2016. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/use-a-matriz-fofa-para-corrigir-deficiencias-e-melhorar-a-empresa,9cd2798be83ea410VgnVCM2000003c74010aRCRD>>.

SILÍCIO, P. V. de. **Real Time Clock DS3231 de Alta Precisão**. Portal Vida de Silício, 2018. Disponível em: <<https://www.vidadesilicio.com.br/real-time-clock-ds3231>>.

SOUZA, F. **Usando as saídas PWM do Arduino**. 2014. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/pwm-do-arduino/>>.

TANENBAUM, A. S.; WETHERALL, D. **Rede de computadores**. São Paulo, São Paulo - Brasil: Pearson, 2011.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors**. [S.l.], 2017.

TZOUNIS, A. et al. Internet of things in agriculture, recent advances and future challenges. **Elsevier**, ScienceDirect, p. 31–48, 2017.

WWF. **O que é desenvolvimento sustentável?** 2017. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel/>.