



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
TELECOMUNICAÇÕES**

CLEITON DA SILVA MARINHO

**REDE DE SENSORES SEM FIO DE BAIXO CUSTO PARA
MONITORAMENTO DE PARÂMETROS AMBIENTAIS VOLTADA À
AGRICULTURA FAMILIAR**

**FORTALEZA
2019**

CLEITON DA SILVA MARINHO

REDE DE SENSORES SEM FIO DE BAIXO CUSTO
PARA MONITORAMENTO DE PARÂMETROS
AMBIENTAIS VOLTADA À AGRICULTURA FAMILIAR

Dissertação submetida à
Coordenação de Pós-Graduação
em Engenharia de Telecomunicações
do Instituto Federal do Ceará, como
requisito parcial para obtenção do
grau de Mestre em Engenharia de
Telecomunicações.

Área de concentração: Sistemas de
Comunicações

Orientador: Prof. Dr. José Wally
Mondonça Menezes

Fortaleza
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M337r Marinho, Cleiton da Silva.
 Rede de Sensores Sem Fio de Baixo Custo para Monitoramento de Parâmetros Ambientais Voltada à
Agricultura Familiar / Cleiton da Silva Marinho. - 2019.
 83 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Engenharia de Telecomunicações,
Campus Fortaleza, 2019.
 Orientação: Prof. Dr. José Wally Mendonça Menezes.
1. Rede de Sensores Sem Fio. 2. Agricultura de Precisão. 3. Agricultura Familiar. 4. Telemetria. I.
 Titulo.

CDD 621.382



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
TELECOMUNICAÇÕES

CLEITON DA SILVA MARINHO

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Telecomunicações, sendo aprovada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará e pela banca examinadora:

Prof. Dr. JOSÉ WALLY MENDONÇA MENEZES (IFCE - Orientador)

Prof. Dr. DANIEL XAVIER GOUVEIA (IFCE)

Prof. Dr. FRANCISCO JOSÉ ALVES DE AQUINO (IFCE)

Prof. Dr. VANDEMBERK ROCHA DE OLIVEIRA (ADECE)

Prof. Dr. Francisco José Alves de Aquino
Coordenador de Pós-Graduação
IFCE - Campus Fortaleza

Dedico este trabalho a Deus e a minha família.

Agradecimentos

A Deus pelo dom da vida e as bênçãos recebidas todos os dias.

Aos meus pais pelo apoio, amor e cuidado dedicados a mim e à minha formação pessoal.

Às minhas irmãs que sempre me apoiam e incentivam em todas as minhas decisões.

Ao meu orientador, Professor Dr. José Wally Mendonça Menezes, por sua paciência e orientações para a realização deste trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, pela infraestrutura e pela oportunidade de realização deste mestrado.

Ao amigo e prof. Jorge Fredericson pela inestimável ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Ao laboratório GDESTTE pelo excelente ambiente de trabalho e pelas amizades construídas nesse período. Um agradecimento especial ao Thiago Mathias pela colaboração na reta final deste trabalho.

Ao amigos de mestrado George Sales, Kilvia Viana, Kélvia Fragoso, Katielle Dantas, Filipe Araripe e Paulo Renato Xavier pelos momentos únicos compartilhados neste período.

Ao meu grande amigo Paulo César Ribeiro da Silva pelo auxílio no momento mais difícil desta jornada.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico, FUNCAP, pelo apoio financeiro parcial.

“Os nossos pais amam-nos porque somos seus filhos, é um fato inalterável. Nos momentos de sucesso, isso pode parecer irrelevante, mas nas ocasiões de fracasso, oferecem um consolo e uma segurança que não se encontram em qualquer outro lugar”.

Bertrand Russell

Resumo

Esta dissertação tem por objetivo implementar uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) para monitoramento de parâmetros ambientais voltados para a agricultura, que seja de baixo custo, tornando-se acessível aos pequenos agricultores da agricultura familiar. As RSSF possuem baixa largura de banda e baixo consumo energético, diferenciando-as das demais redes sem fio, como suas principais características. Uma vez que a literatura é farta quanto ao monitoramento de determinados parâmetros estes deram o início de montagem da rede ao selecionar a temperatura e umidade relativa do ar, umidade do solo, pressão atmosférica detecção de presença de chuva e fluxo d'água como os parâmetros alvos da RSSF. Para garantir o correto funcionamento da rede foram realizados testes em laboratório que consistiram da análise de rede através da medição da intensidade do sinal recebido (RSSI) durante a comunicação entre os nós remotos e o nó coordenador o que permitiu determinar o alcance e a qualidade dos dados recebidos bem como alterar a configuração da potência dos rádios transceptores utilizados objetivando redução de consumo energético. Em campo, foram realizados os testes de coleta e transmissão de dados a partir dos nós sensores remotos instalados em uma horta do Campus Morada Nova do IFCE, verificando-se a qualidade dos dados recebidos, sendo os mesmos armazenados em um servidor local, de onde podem ser acessados e visualizados em uma página web a partir de qualquer *browser*.

Palavras-chave: Rede de Sensores Sem Fio. Agricultura de Precisão. Agricultura Familiar. Telemetria.

Abstract

This dissertation aims to implement a of Wireless Sensors Network (WSN) for the monitoring of environmental parameters aimed at agriculture, which is low cost, making it accessible to small farmers in family agriculture. The WSNs have low bandwidth and low power consumption, differentiating them from other wireless networks, as their main characteristics. Since the literature is abundant in the monitoring of certain parameters, they have started the assembly of the network by selecting the temperature and relative humidity of the air, soil moisture, atmospheric pressure, rainfall detection and water flow as parameters targets of the WSN. In order to guarantee the correct functioning of this network, laboratory tests were performed, which consisted of the network analysis through the measurement of the received signal strength (RSSI) during the communication between the remote nodes and the coordinating node, which allowed to determine the reach and the quality of the received data as well as change the power configuration of the transceiver radios used in order to reduce energy consumption. In the field, the data collection and transmission tests were performed from the remote sensing nodes installed in a garden of the Campus Morada Nova of the IFCE, checking the quality of the received data, being stored on a local server, from where they can be accessed and viewed on a web page from any browser.

Keywords: Wireless Sensors Networks. Precision Agriculture. Family Agriculture. Telemetry.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Abreviações	14
1 Introdução	17
1.1 Motivação e objetivos	19
1.1.1 Objetivo Geral	19
1.1.2 Objetivos Específicos	19
1.2 Produção científica	20
1.3 Organização da Dissertação	20
2 Fundamentação Teórica	22
2.1 Tecnologias Relacionadas à Agricultura	22
2.1.1 Agricultura de Precisão	22
2.1.2 Agricultura Familiar	24
2.2 Rede de Sensores Sem Fio	25
2.2.1 Componentes de Hardware	26
2.2.2 Topologias de Rede	28
2.2.3 Desafios das Redes Sensores Sem Fio	29
2.3 Revisão Bibliográfica	31
3 Materiais e Métodos	36

3.1	Arquitetura	36
3.1.1	Nós Sensores Remotos	37
3.1.2	Nó Sensor Coordenador	44
3.2	Arquitetura do Sistema	45
3.2.1	Serviço Gerenciador de Sensores	47
3.2.2	Serviço de Monitoramento Ambiental	51
3.3	Locais de Teste	52
3.3.1	Laboratório GDESTE	53
3.3.2	Campus Morada Nova	55
3.4	Custos do Protótipo	56
4	Resultados	58
4.1	Range Test RSSI	59
4.2	Perda de Pacotes	62
4.3	Consumo Energético	67
4.4	Coleta de Dados em Laboratório	70
4.5	Coleta de Dados em Campo	71
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	79
5.1	Trabalhos Futuros	79
	Referências Bibliográficas	81

Lista de Figuras

Figura 1	Modelo de ciclo da AP proposto por Linsley e Bauer em 1929.	23
Figura 2	Produtos e produção da agricultura familiar no Brasil	25
Figura 3	Componentes principais de um nó sensor básico	26
Figura 4	Principais desafios das Redes Sensores Sem Fio	29
Figura 5	<i>Layout</i> conceitual de uma RSSF para agricultura	36
Figura 6	Diagrama de blocos das unidades básicas do nó sensor remoto	37
Figura 7	Layout da placa de circuito impresso para a RSSF.	43
Figura 8	Vista 3D do Nó Sensor Remoto da RSSF.	43
Figura 9	Nó Sensor Remoto da RSSF.	44
Figura 10	Layout da arquitetura do sistema de monitoramento agrícola usando RSSF.	46
Figura 11	Formato do quadro <i>API ZigBee Transmit Request</i>	47
Figura 12	Estrutura do campo <i>RF Data</i> do quadro da API utilizada	50
Figura 13	Diagrama de atividades do Serviço de Monitoramento Ambiental da RSSF.	52
Figura 14	Vista interna do Laboratório GDESTÉ localizado no Campus Fortaleza	54
Figura 15	Horta utilizada para teste em campo	56
Figura 16	Gráfico referente à intensidade do RSSI para potência configurada em 100%	59
Figura 17	Gráfico referente à intensidade do RSSI para potência configurada em 50%	60

Figura 18	Gráfico referente à intensidade do RSSI para potência configurada em 25%	61
Figura 19	Gráfico referente a quantidade de pacotes perdidos durante a transmissão para a potência configurada em 100%	62
Figura 20	Gráfico referente a quantidade de pacotes perdidos durante a transmissão para a potência configurada em 50%	63
Figura 21	Gráfico referente a quantidade de pacotes perdidos durante a transmissão para a potência configurada em 25%	64
Figura 22	Gráfico referente a quantidade de pacotes perdidos durante a recepção para a potência configurada em 100%	65
Figura 23	Gráfico referente a quantidade de pacotes perdidos durante a recepção para a potência configurada em 50%	66
Figura 24	Gráfico referente a quantidade de pacotes perdidos durante a recepção para a potência configurada em 25%	67
Figura 25	Gráfico referente a corrente instatânea de alimentação do Nó Sensor Remoto durante 1 minuto de transmissão	68
Figura 26	Disposição da RSSF na topologia Estrela em Laboratório	70
Figura 27	Gráfico da temperatura ambiente monitorada em laboratório	71
Figura 28	Campo de teste para coleta de dados	72
Figura 29	Gráfico da pressão atmosférica medida em campo	73
Figura 30	Bateria utilizada no teste em campo	74
Figura 31	Gráfico dos dados de temperatura coletados em campo	74
Figura 32	Gráfico da umidade relativa obtida em campo	75
Figura 33	Interface Gráfica do Usuário com exibição dos parâmetros monitorados pela RSSF.	76
Figura 34	Turma de alunos do curso Técnico em Informática -IFCE Campus Morada Nova	77
Figura 35	Layout da placa de circuito impresso modificada	78

Lista de Tabelas

Tabela 1	Características técnicas do sensor DHT11	40
Tabela 2	Características técnicas do sensor BMP180	40
Tabela 3	Características técnicas do sensor YL-83	41
Tabela 4	Características técnicas do sensor YL-100	42
Tabela 5	Características técnicas do sensor YF-S201	42
Tabela 6	Lista de Quadros API definidos para o módulo XBee S2B	48
Tabela 7	Tabela de custos da RSSF protótipo para agricultura familiar . .	57
Tabela 8	Consumo energético do nó sensor remoto em termos da potência média	69

Abreviações

AM/PM Ante Meridiem/Post Meridiem

ANATEL Agência Nacional de Telecomunicações

AP Agricultura de Precisão

API Application Program Interface

APS Application Support Sublayer

CBAP Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão

CFTV Circuito Fechado de Televisão

CI Circuito Integrado

COBENGE Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia

CONNEPI Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação

DSSS Direct Sequence Spread Spectrum

EEPROM Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory

FAT File Allocation Table

FFD Full Function Device

GB Giga Bytes

GDESTE Grupo de Desenvolvimento em Sistemas de Telecomunicações e Sistemas Embarcados

GHz Giga Hertz

GNSS Global Navigation Satellite System

GPIO General Purpose Input/Output

GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Position System
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
hPa	hectoPascal
I2C	Inter-Integrated Circuit
ISM	Industrial, Scientific and Medical
Kbps	Kilo bits por segundo
mA	miliampère
MHz	Mega Hertz
MIC	Message Integrity Code
MIPS	Milhões de Instruções por Segundo
mW	miliwatt
NTC	Negative Temperature Coefficient
PAN	Personal Area Network
PSoC	Programmable System on Chip
PWM	Pulse Width Modulation
RAM	Random Access Memory
RF	Rádio Frequência
RFD	Reduced Function Device
RFID	Radio Frequency IDentification
RISC	Reduced Instruction Set Computer
RSSF	Rede de Sensores Sem Fio
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RTC	Real Time Clock

SBESC Sistema Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais

SBRT Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais

SD Secure Digital

SIG Sistema de Informações Geográficas

SMS Short Message Service

SPI Serial Peripheral Interface

USART Universal Synchronous and Assynchronous Receiver Transmitter

VANTs Veículos Aéreos Não Tripulados

WUSN Wireless Underground Sensor Networks

X-CTU XBee Configuration and Test Utility

TCP/IP Transmission Control Protocol/Internet Protocol

INTRODUÇÃO

Novos serviços e novas tecnologias surgem frequentemente, frutos da evolução tecnológica pela qual passamos atualmente. Dentre essas novas tecnologias podemos ressaltar as comunicações sem fio, que permitiram o surgimento de aplicações móveis e que conjuntamente com a microeletrônica permitiram que as RSSF's (Redes de Sensores Sem Fio) se tornassem uma realidade na qual a busca por dispositivos de baixo custo, baixo consumo energético, tamanho reduzido e comunicação sem fio, representam parâmetros importantes para projeto destas redes.

Tais redes são formadas por nós que são constituídos, basicamente, por microcontrolador, memória, transceptor, fonte de alimentação e sensor ou atuador. Estes nós são os responsáveis por ler os parâmetros físicos alvos do monitoramento através dos sensores a eles conectados e transmitir a um nó central da rede esses parâmetros capturados para que possam ser analisados e exibidos, permitindo uma tomada de decisão a partir destes dados.

O grande desafio das redes sensores sem fio é a construção de nós sensores que sejam baratos e de longa duração, dotados de capacidade de comunicação e computação além das capacidades de detecção e atuação com as quais os nós podem ser dotados (KARL; WILLIG, 2007). Existe uma gama variada de cenários nos quais as redes de sensores sem fio apresentam grande potencial para exploração dadas suas características que contemplam mas não somente estes:

- Controle ambiental e mapeamento de biodiversidade;
- Aplicações de auxílio em desastres;
- Edifícios inteligentes;
- Gestão de instalações;
- Vigilância de máquinas e manutenção preventiva;

- Agricultura de precisão;
- Medicina e cuidados com a saúde;
- Logística e telemetria dentre outros.

Ainda segundo Karl e Willig (2007), as aplicações de RSSF podem ser agrupadas em quatro tipos básicos de acordo com as características dos seus dados, a saber: Detecção de Evento, Medições Periódicas, Função de Aproximação e Detecção de Borda e por fim o tipo Rastreamento.

No tipo *Detecção de Evento*, o envio dos dados ao nó coordenador ou sorvedouro se dá quando da detecção de um evento específico por um sensor isolado (evento simples como o limiar de temperatura ultrapassado, por exemplo) ou por vários sensores vizinhos (como na detecção de um gradiente de temperatura) que exigem colaboração entre os sensores tornando o evento mais complexo, enquanto que no tipo *Medições Periódicas* os valores lidos pelos sensores são transmitidos periodicamente, a intervalos de tempo pré determinados de acordo com a aplicação.

A *Função de Aproximação e Detecção de Borda* verifica a mudança de um parâmetro físico e utiliza essa mudança de valor de um local para outro como forma de mapeamento e localização. Já no tipo *Rastreamento*, a fonte de dados é móvel, podendo a RSSF determinar a velocidade e direção através da cooperação entre os nós sensores remotos.

A agricultura familiar tem grande importância no cenário econômico principalmente no que se refere ao nordeste brasileiro onde em muitas das cidades longe das capitais ou dos grandes centros urbanos o comércio destas pequenas cidades, muitas vezes, gira em torno da agricultura familiar. A utilização de métodos tradicionais muitas vezes podem trazer um aumento da produtividade à curto prazo porém trazem, também, o esgotamento dos recursos naturais (SRBINOVSKA *et al.*, 2014) o que pode levar ao fim das culturas em determinadas áreas em que os fatores climáticos e a escassez de recursos financeiros dificultam a manutenção da lavoura. Assim, a utilização de novas tecnologias que auxiliem o produtor a otimizar o uso dos recursos disponíveis faz-se mais que necessária, podendo ser o diferencial a tornar a lavoura autossustentável e rentável além de contribuir com a conservação do meio ambiente. Neste contexto, a utilização de RSSFs fornece uma ferramenta moderna capaz de disponibilizar ao produtor informações que o auxiliem na tomada de decisão com o baixo custo

característico da aplicação, o que possibilita uma implementação com baixo valor de investimento.

1.1 Motivação e objetivos

A possibilidade de proporcionar aos pequenos produtores rurais o acesso a essa tecnologia, capaz de melhorar os aspectos quantitativos e qualitativos relacionados à produção agrícola sem abrir mão das preocupações ecológicas é o principal motivador para o desenvolvimento deste projeto.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é projetar uma RSSF de baixo custo para monitoramento de parâmetros ambientais aplicada à agricultura familiar utilizando o protocolo *ZigBee* capaz de fornecer comunicação sem fio com baixas taxas de transmissão e baixo consumo energético, permitindo assim, o uso de novas tecnologias pelo agricultor familiar.

Ainda nesse trabalho será feita a implementação em hardware e software da RSSF para simulação em laboratório além de testes em campo visando a funcionalidade do protótipo desenvolvido. A RSSF protótipo consistirá de um nó concentrador responsável pelo gerenciamento da rede e por outros cinco nós sensores remotos que realizam as leituras dos parâmetros ambientais e as enviarão ao nó central, onde os dados serão armazenados e enviados a uma interface gráfica para melhor visualização das informações.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Implementar uma RSSF acessível ao agricultor familiar;
- Monitorar parâmetros ambientais do setor agrícola;
- Gerenciar o consumo de água na lavoura;
- Desenvolver uma interface amigável para visualização dos dados;
- Permitir o acesso remoto aos dados sensorizados;

- Desenvolver dispositivos eficientes e de baixo custo;
- Promover inovação e o acesso tecnológico no setor da agricultura familiar.

1.2 Produção científica

A disseminação do conhecimento é de grande importância para o desenvolvimento da sociedade quer seja do ponto de vista cultural, econômico ou social. Visando o compartilhamento do aprendizado obtido durante o desenvolvimento deste trabalho foram publicados dois artigos no Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais (SBrT) nos anos de 2016 e 2017 e um terceiro artigo no ENCOM 2017.

- MARINHO, C. S.; BARBOSA, G. I.; AQUINO, T. A.; SILVA, J. F. M. C.; MENEZES, J. W. **Desenvolvimento de Nós para Rede de Sensores Sem Fio baseado em plataformas Open Source para aplicação no semiárido** XXXIV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais.
- MARINHO, C. S.; BARBOSA, G. I.; AQUINO, T. A.; SILVA, J. F. M. C.; MENEZES, J. W. **Rede de Sensores Sem Fio para Aplicações em Agricultura Familiar** XXXIV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais.
- GALVÃO, Y. D.; MARINHO, C. S.; ANDRADE, A. F.; GOUVEIA, D. X.; SILVA, J. F. M. C.; MENEZES, J. W. **Utilização de RSSF para monitoramento de Qualidade do Ar em Áreas Metropolitana** Encontro Anual do IECOM em Comunicações, Redes e Criptografia 2017.

1.3 Organização da Dissertação

Capítulo 2: Aqui são apresentados a fundamentação teórica e os trabalhos correlatos a partir de artigos e dissertações sobre rede de sensores sem fio e suas aplicações em agricultura.

Capítulo 3: Traz a metodologia e os materiais utilizados neste trabalho com a apresentação da arquitetura de *hardware* e *software* e a descrição dos locais de testes. Ao final deste capítulo tem-se ainda o levantamento dos custos para a montagem do protótipo da rede de sensores sem fio.

Capítulo 4: Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir dos testes realizados em laboratório e em campo.

Capítulo 5: Apresenta a conclusão dos resultados e do trabalho realizado além de apresentar as sugestões para trabalhos futuros.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Tecnologias Relacionadas à Agricultura

Destaque mundial na produção de alimentos e matéria prima, a agricultura brasileira se apresenta, basicamente, de duas maneiras distintas, sendo elas o Agronegócio e a Agricultura Familiar.

O agronegócio se caracteriza pelas grandes extensões de terra e a monocultura, tendo na agricultura de precisão sua principal tecnologia enquanto a agricultura familiar representa, cada vez mais, uma forma social de produção, com reconhecimento da sociedade brasileira pelas contribuições materiais e imateriais, estando presente em todas as regiões do país, com maior ou menor penetração.

2.1.1 Agricultura de Precisão

Surgida em 1929 nos Estados Unidos, a AP (Agricultura de Precisão) teve suas primeiras pesquisas no Brasil realizada nos anos 1990, e ainda hoje, segundo Bernardi *et al.* (2014), é motivo de desconfiança por parte aqueles produtores mais conservadores, enquanto fascina os mais entusiastas.

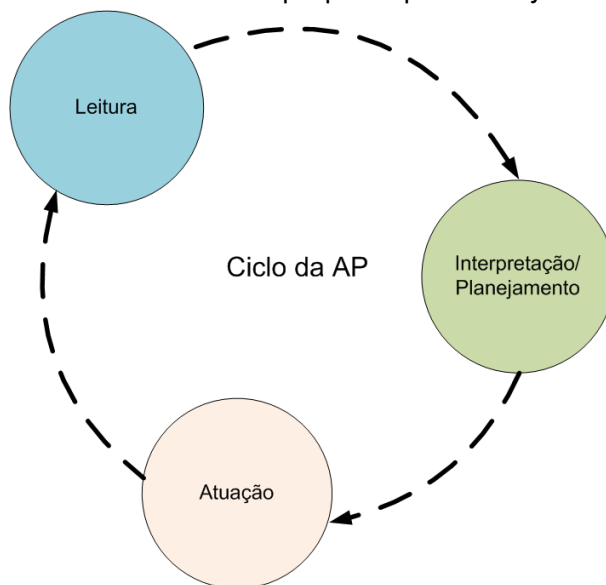
A AP recebeu grande incentivo do governo brasileiro ao instituir em 2012 a CBAP (Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão) quando também, definiu-a como “um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial e temporal da unidade produtiva que visa ao aumento do retorno econômico, à sustentabilidade e à minimização do efeito ao ambiente” (BERNARDI *et al.*, 2014). Em outras palavras, um sistema de gerenciamento no qual a variabilidade da produtividade em uma área agrícola e no tempo é considerada com o objetivo de se obter resultados sustentáveis tanto economicamente quanto social e ambientalmente

Em 1995, com a operacionalidade do sistema GPS (*Global Position System*)

desenvolvido pelos Estados Unidos em 1978 como o primeiro Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), tornou-se possível a instalação de receptores em colheitadeiras, permitindo a associação da produção com a posição geográfica, o que levou ao surgimento das colheitadeiras em 1996 com capacidade de mapeamento da produção, levando ao desenvolvimento acelerado da AP em termos mundiais. Atualmente no Brasil, as colhedoras de grãos que possuem grande capacidade de mapeamento da produção e as aplicadoras de insumo à taxa variada são exemplos de máquinas dotadas com receptores GNSS e as mais conhecidas no mercado para AP.

O ciclo da AP foi proposto por Linsley e Bauer em 1929 em um boletim de campo experimental da Universidade de Illinois para correção da acidez do solo, que poderia resultar em uma redução de custos de até 40%. A Figura 1 exibe este ciclo no qual, o início da aplicação da AP se dá com a *Leitura*, caracterizada pela obtenção dos dados da área desejada, seguida pela *Interpretação* na qual os dados obtidos na leitura são utilizados para definição do planejamento a ser realizado. Por fim, vem a *Atuação* que se traduz como a execução do planejamento.

Figura 1 – Modelo de ciclo da AP proposto por Linsley e Bauer em 1929.



Fonte: adaptada de Bernardi *et al.* (2014)

Ainda sobre o modelo do ciclo da AP pode-se ressaltar que a *Leitura* é realizada através da utilização dos mais variados tipos de sensores e equipamentos embora muitos destes, tais como sensores de solo sem fio, captura e tratamento de imagens ou detecção de pragas, ainda não sejam amplamente utilizados. As ferramentas SIG (Sistema de Informações Geográficas) e de geoestatística são utilizadas no processo de *Interpretação* das quais se destacam duas soluções por serem, talvez, as mais

utilizadas: *QGIS*, um software mantido por um grupo de voluntários brasileiros e o *Vesper* de apoio à análise geoestatística desenvolvido na Universidade de Sidney.

Além destas tecnologias já citadas também se fazem presentes na AP o uso de VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) ou Drones que são utilizados tanto para coleta de imagens como para aplicação de biofertilizantes, o processamento remoto de imagens tanto dos Drones quanto de satélites que melhoram a cada ano e a tecnologia de semeio como a VRA (*Variable-Rate Application*) que consiste na aplicação de sementes, fertilizantes ou outros produtos químicos em quantidades que variam de acordo com dados coletados de sensores, mapas e GPS.

2.1.2 Agricultura Familiar

Por definição de lei, agricultores familiares são aqueles que praticam atividades no meio rural, possuem área de até quatro módulos fiscais, mão de obra predominantemente familiar, renda familiar proveniente do estabelecimento e gerenciamento do estabelecimento por parentes, estando inclusos também nesta classificação os silvicultores, aquicultores, extrativistas, pescadores, indígenas, quilombolas e assentados da reforma agrária, desde que, assim como os agricultores familiares, também atendam todos os requisitos citados acima (BRASIL, 2006).

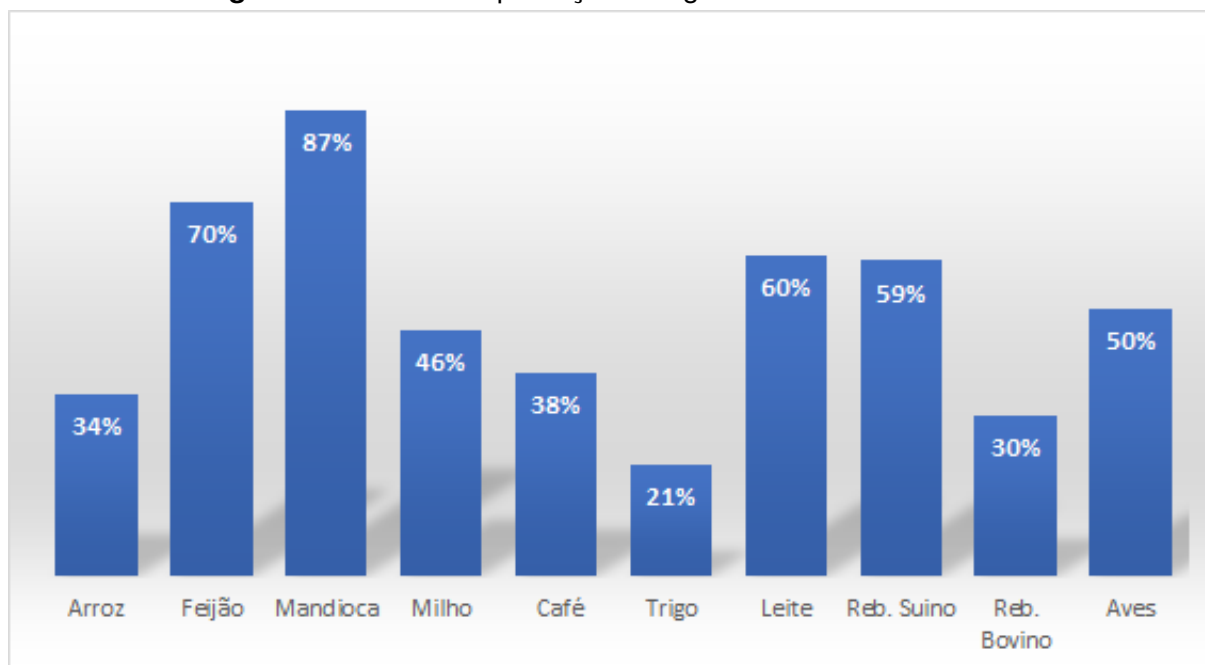
Diferentemente do agronegócio, onde o modelo de gestão e desenvolvimento afasta-se dos meios naturais, fazendo uso de fertilizantes e insumos artificiais, com mão de obra assalariada, monocultura e grandes extensões de terra cuja produção destina-se, principalmente, à exportação, a Agricultura Familiar é fortemente baseada no valor dos recursos naturais em relação ao produto, na mão de obra predominantemente familiar, na diversidade de cultura e na necessidade de terra pouco extensa, sendo sua produção voltada para a subsistência com a comercialização do excedente (VIDAL; SANTOS, 2016).

Ainda segundo Vidal e Santos (2016), embora a terra seja um dos principais fatores de produção tanto para o agronegócio quanto para a agricultura familiar, para este último, a relação com a terra difere do primeiro por ser também a unidade familiar enquanto que para o agronegócio o objetivo é sempre a obtenção de lucro.

A agricultura familiar representa 84% dos estabelecimentos agropecuários do país, o que corresponde a aproximadamente 24% da área agrícola brasileira segundo o senso agropecuário 2006, correspondendo ainda a 34% da receita gerada no campo.

A Figura 2 mostra a relação de alguns dos alimentos produzidos pela agricultura brasileira com a respectiva participação da agricultura familiar na produção nacional.

Figura 2 – Produtos e produção da agricultura familiar no Brasil



Fonte: adaptada de SEAD (2018)

Segundo dados da Secretaria Especial da Agricultura e Desenvolvimento Agrário (SEAD), mostrados no gráfico da Figura 2, a agricultura familiar produz 70% do feijão nacional, 34% do arroz e 87% da mandioca. Do café produzido no país, 38% é oriundo de atividades da agricultura familiar assim como 46% do milho e 21% do trigo. A agricultura familiar responde ainda por 60% de todo o leite produzido no país, além de deter 30% do rebanho bovino, 59% do rebanho suíno e 30% das aves.

Ainda de acordo com SEAD (2018) a agricultura familiar tem um faturamento anual de US\$ 55,2 bilhões valores estes que, por si só, colocam o Brasil entre os 10 maiores produtores de alimentos do mundo, deixando o país na oitava colocação, ficando clara a importância da agricultura familiar brasileira não só para o suprimento interno da demanda por alimento como para impulsionar a posição estratégica do Brasil como produtor mundial de alimentos.

2.2 Rede de Sensores Sem Fio

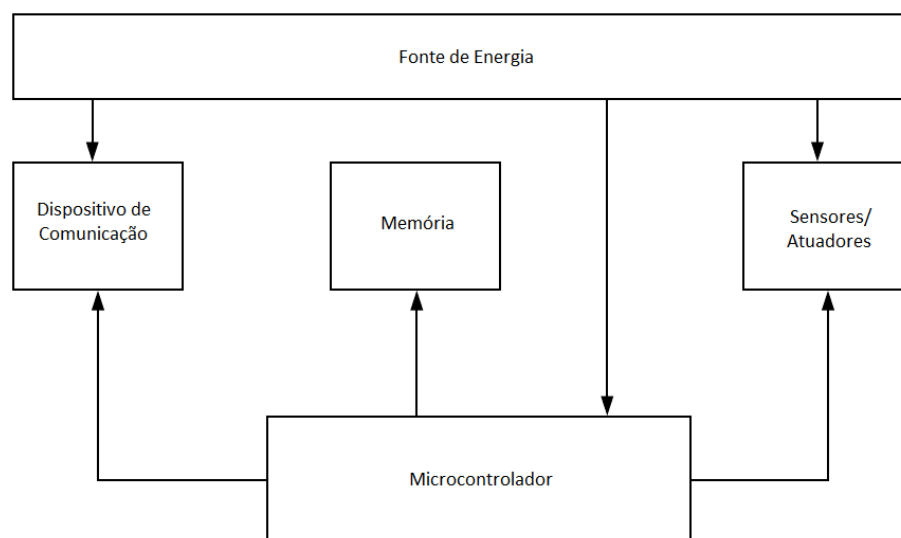
Redes de Sensores Sem Fio são aquelas nas quais tem-se vários dispositivos que se comunicam através de um meio sem fio, sendo alguns destes dispositivos capazes

de interagir com o meio onde se encontram, podendo ainda processar localmente as informações coletadas deste meio (AKYILDIZ; VURAN, 2010).

2.2.1 Componentes de Hardware

A esses dispositivos, dá-se o nome de "Nós" ou "*Nodes*", cuja estrutura de hardware é constituída de cinco componentes principais: Sensores/Atuadores, Memória, capacidade de computação e meio de comunicação além de uma fonte de energia. A Figura 3 mostra os principais componentes de um nó sensor básico.

Figura 3 – Componentes principais de um nó sensor básico



Fonte: adaptada de Karl e Willig (2007)

Nesta figura, tem-se os cinco componentes básicos de um nó sensor e suas interligações, exibidas de forma simplificada e a seguir a descrição de cada componente do nó sensor.

Sensores/Atuadores

O termo sensor é uma designação para dispositivos que tenham a capacidade de transformar uma grandeza física diretamente em outra, sendo classificado em dois tipos: o Analógico, cuja saída pode assumir quaisquer valores em função do tempo, limitados a sua faixa de operação. Já o digital, apresenta dois valores de saída que pode ser zero ou um.

Os atuadores são dispositivos que alteram o estado de algum parâmetro controlado. Ao receber um sinal do controlador, o atuador age, através da conversão de um sinal elétrico em uma grandeza física, para forçar este parâmetro controlado a atingir um novo estado.

Responsáveis pela interface para o mundo real, os sensores e atuadores são os dispositivos capazes de interagir com o meio ambiente podendo observar ou controlar algum parâmetro físico.

Memória

Visa o armazenamento de programas e de dados temporários. Normalmente utiliza-se tipos diferentes de memórias para o armazenamento de programas e dados.

Controlador

É o cérebro do nó sensor provendo ao nó inteligência computacional para a realização de funções ou tarefas. É o controlador quem gerencia os sensores, além de executar diferentes códigos para aquisição ou processamento de dados. A escolha do controlador adequado depende dos critérios de performance e desempenho necessários à realização das tarefas.

Energia

Como em geral não há fonte de alimentação conectada ao nó sensor, é necessário uma forma de energia que supra a demanda do nó sensor, sendo muitas vezes utilizadas baterias para tal finalidade, podendo ainda haver um circuito de recarga com a utilização de painéis solares.

Comunicação

A comunicação entre dois ou mais nós é o que vai caracterizar a existência de uma rede e, quando o canal utilizado é o espaço livre, tem-se uma rede sem fios assim, o dispositivo de comunicação é o que permite ao nó enviar e receber informação através de um canal sem fio.

A forma como estes dispositivos estão organizados em termos de comunicação define a topologia da rede que será o próximo tópico deste capítulo.

2.2.2 Topologias de Rede

Assim como as redes de computadores, as RSSF's permitem diversos arranjos para definição de sua estrutura de rede. Tais arranjos são denominados topologias de rede e são descritos a seguir:

Star

Nesta topologia, a rede é constituída de um dispositivo do tipo FFD (Full Function Device) que exerce a função de nó concentrador e de diversos dispositivos do tipo RFD (Reduced Function Device) ou end devices que se conectam diretamente ao nó concentrador. Toda a comunicação passa pelo nó concentrador não sendo possível a comunicação direta entre os demais dispositivos da rede, sendo esta topologia mais apropriada para aplicações que demandem maior vida útil da bateria.

Mesh

Aqui tem-se uma topologia semelhante a Topologia Estrela com o acréscimo de dispositivos roteadores que proveem mais de um caminho para a tráfego de dados. Estes dispositivos permitem controlar o fluxo da comunicação através da determinação ou alteração da rota por onde a informação trafega bem como permitir que a comunicação entre dois dispositivos ocorra sem que esta obrigatoriamente passe pelo nó concentrador melhorando a confiabilidade da rede.

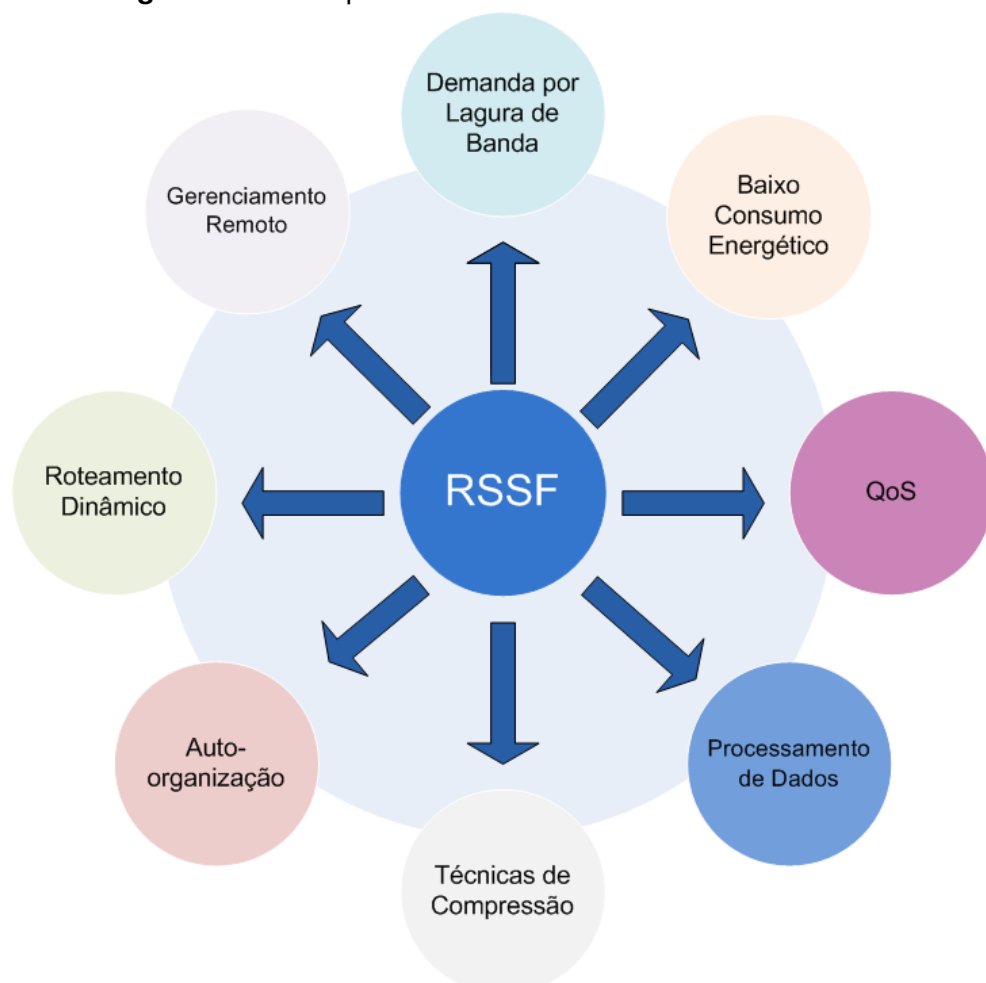
Cluster-Tree

Esta forma de arquitetura é, talvez, a mais vantajosa entre todas até aqui em virtude de permitir uma maior escalabilidade da rede. Com ela é possível criar grupos de dispositivos denominados *Clusters* que podem se comportar como uma sub-rede dentro de uma rede maior, sendo uma combinação das topologias Star e Mesh, o que lhe proporciona a vida útil de uma topologia Star associada a confiabilidade da topologia Mesh.

2.2.3 Desafios das Redes Sensores Sem Fio

Como visto nos tópicos anteriores, a vida útil de um nó sensor em uma RSSF está diretamente ligada a quantidade de energia fornecida ao nó sensor. Assim, quaisquer avanços que forem propostos a estas redes deve-se levar em consideração este critério. A Figura 4 exibe alguns dos principais desafios aos quais as redes sensores sem fios estão submetidos e nos quais muitos estudiosos já veem trabalhando.

Figura 4 – Principais desafios das Redes Sensores Sem Fio



Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Conforme vê-se na Figura 4, são oito os principais desafios das redes sensores sem fio:

Demanda por Banda Larga

Cada vez mais as aplicações demandam maior largura de banda para transmissão das informações desejadas. Aplicações de redes sensores sem fio que transmitam

grande quantidades de dados necessitam, consequentemente de maior largura de banda e como as RSSF possuem largura de banda máxima de 250 kbps estudam-se alternativas para a compensação desta limitação.

Baixo Consumo Energético

Este é o cerne dos desafios das RSSF uma vez que a vida útil da nó e da própria rede depende deste fator. Assim, são estudados técnicas diversas para aplicação nestas redes visando o baixo consumo energético.

QoS

Quality of Service ou Qualidade de Serviço é uma exigência não só para as RSSF mas para quaisquer aplicações que demandem confiança portanto, faz-se necessária a implementação de QoS nas redes de sensores sem fio para garantir o desempenho necessário ao correto funcionamento das mesmas.

Processamento de Dados

A capacidade de processamento de um nó sensor pode proporcionar grandes vantagens às redes sensores sem fio. A diminuição do tempo de resposta a um determinado evento ou a transmissão de resultado pré processado são exemplos de como esta técnica pode ser utilizada.

Técnicas de Compressão

Estas técnicas visam a diminuição do tamanho dos dados a serem transmitidos de forma a necessitarem de menor largura de banda ou menor número de transmissões para o envio completo dos dados.

Auto-Organização

As RSSF são por si só auto-organizáveis mas, o desafio aqui é tornar esta auto-organização ainda mais profunda, com o menor custo energético possível sendo esta uma necessidade latente nas redes *Mesh* nas quais os *Header Clusters* consomem mais energia que os demais nós.

Roteamento Dinâmico

Embora com o roteamento estático seja possível determinar um caminho específico para a entrega de pacotes e consequentemente conhecer o custo energético desta rota a capacidade de auto-organização pode em alguns casos tornar as rotas estáticas impraticáveis ou terem o custo energético elevado desta forma, o roteamento dinâmico pode ser uma solução para economia de energia ao definir a rota de acordo com a configuração atual da rede e levando em consideração o consumo energético que cada rota demanda. A questão então é definir como implementar tal capacidade de processamento sem contudo aumentar o consumo de energia. Por essa razão, diversos protocolos de roteamento já foram criados ou estão sendo estudados buscando o melhor equilíbrio entre processamento e consumo energético.

Gerenciamento Remoto

Alguns autores abordam que em redes muito escalonadas a comunicação entre o nó coordenador e um nó *End Device* pode ser dificultada pela distancia entre estes nós, o que levou os pesquisadores a procurarem soluções que facilitem esta comunicação.

Embora estes não sejam os únicos desafios aos quais as RSSF estejam expostas são, com certeza, os mais pesquisados no momento e os que mais preocupam os pesquisadores e estudiosos do assunto no que se refere ao futuro desta tecnologia.

2.3 Revisão Bibliográfica

Os estudos de viabilidade das redes sensores sem fio, que abrangem tanto o campo da simulação quanto o da implementação são realizados já a algum tempo, seja em ambientes "*indoor*"(como em estufas) ou em ambientes "*outdoor*"(como em vinícolas ou em outras culturas), cujo foco se assemelha ao foco deste trabalho. A seguir cita-se alguns destes estudos.

Moridi *et al.* (2015) desenvolveram uma RSSF para monitoramento de minas na qual, valores de temperatura e umidade relativa do ar são monitorados além da detecção de gases através de leituras a intervalos de 30 minutos, visando garantir a segurança dos mineradores com redução automática do intervalo de leitura para 15

minutos dependendo dos valores lidos pela RSSF.

Kim, Evans e Iversen (2008) propõem o controle e monitoramento de um sistema de irrigação por pivô móvel a partir de parâmetros mensurados por uma RSSF, usando tecnologia *Bluetooth*, a um custo final de USD\$ 1.000,00. Uma RSSF auto-organizável, para monitoramento e interação com o ambiente monitorado através de uma aplicação web, é proposta por Palma *et al.* (2010) na qual uma conexão TCP/IP é utilizada por meio da tecnologia GPRS (*General Packet Radio Service*), tendo sido implementada em três vinhedos e uma estufa.

Hwang, Shin e Yoe (2010) desenvolveram um sistema de monitoramento em 3 camadas baseado em RSSF, permitindo o monitoramento remoto e em tempo real de diversos parâmetros ambientais relacionados à agricultura além da utilização de imagens através de um circuito fechado de TV (CFTV). A viabilidade do uso de RSSF para monitoramento de parâmetros ambientais voltados à agricultura é demonstrada por Awati, Patil e Awati (2012) ao realizarem o monitoramento de temperatura e umidade relativa do ar em ambientes "*indoor*" e "*outdoor*".

Um modelo diferenciado de RSSF, as RSSF Subterrâneas ou do acrônimo em inglês WUSN (Wireless Underground Sensor Networks), é testado por Yu *et al.* (2012) e Ojha, Misra e Raghuwanshi (2015a) que, além de classificarem estas redes em terrestres e subterrâneas, determinaram a viabilidades delas na agricultura, definindo que na faixa de frequência de 400 MHz a perda de pacotes é reduzida tornando a comunicação viável. Ainda neste estudo os autores puderam comprovar que o aumento de 20% da umidade do solo implica em uma perda de pacotes de 30% e que, portanto, ainda existem muitos desafios a serem superados para o desenvolvimento deste tipo de RSSF em comparação com as redes sensores sem fio terrestres.

Hussain *et al.* (2012) desenvolveram uma RSSF para gerenciar o uso de água na agricultura a partir de parâmetros mensurados pela rede, concluindo que o uso desta tecnologia auxilia o fazendeiro a identificar o valor exato dos requisitos necessários à melhoria da produtividade de suas culturas. Ainda no campo de gerenciamento de recursos hídricos Vispute e Kawitkar (2012), desenvolvem um algoritmo em MatLab para determinar a necessidade de irrigação em uma vinícola a partir de imagens capturadas por nós de uma RSSF, comparadas com uma imagem de referência um um Banco de Dados com a qual é determinada o fluxo d'água e assim a necessidade de irrigação.

Por meio da análise da perda de pacotes e do RSSI (*Received Signal Strength*

Indicator) Roccia *et al.* (2012) determinaram, em estudo experimental, que a distância e o posicionamento dos nós sensores são cruciais para a viabilidade de RSSF comerciais em diferentes cenários agrícolas, uma vez que a distância adequada entre os nós impactam em todos os indicadores qualitativos do sinal bem como no consumo energético, enquanto que o posicionamento pode causar a queda da intensidade do sinal.

Em (CHAUDHARY; NAYSE; WAGHMARE, 2011) a tecnologia PSoC (*Programmable System on Chip*) é testada como parte de uma RSSF para monitoramento de temperatura e umidade relativa do ar, umidade e pH do solo, além de luminância e concentração de dióxido de carbono em uma estufa de 35x150 metros com plantação de pimenta-da-guiné, com o objetivo de testar uma rede comercial desenvolvida pela empresa *Cypress Inc.* que mostrou-se extremamente confiável, com baixo consumo energético e menor complexidade na qual, a utilização do rádio cognitivo, poderá ser uma solução futura para o aumento do número de parâmetros monitorados pelas redes sensores sem fio que possuem largura de banda limitada.

O potencial das RSSF para a agricultura na Índia é explorado por Awasthi e Reddy (2013) através do projeto de uma rede para monitoramento de umidade relativa do ar, temperatura e umidade do solo cujos dados são coletados em tempo real e salvos e monitorados, enviando mensagem ao fazendeiro via SMS (*Short Message Service*) quando os limites são ultrapassados o que exige do fazendeiro a contratação de um plano de dados para que o envio dos SMS's sejam enviados. Em um outro artigo, Fernandes *et al.* (2013) implementam a família IEEE 1451 em uma rede de sensores sem fio baseada no padrão IEEE 802.15.4/ZigBee com o objetivo de padronizar a aquisição de dados dos mais variados transdutores (sensores e atuadores) uma vez que consideram a padronização crucial para o gerenciamento de dados heterogêneos.

Coates *et al.* (2013) fazem um estudo para atuação de irrigação a partir de uma RSSF comercial com o desenvolvimento de hardware e software personalizados para o sistema de atuação das válvulas que é constituído de um *gateway* de internet com controle e software de comunicação e 34 atuadores que controlam 54 válvulas além de monitorar 6 medidores de água. Mafuta *et al.* (2013) demonstram como um sistema de gerenciamento de irrigação pode ser implementado com a instalação de uma RSSF baseada em ZigBee que utiliza painéis fotovoltaicos e bateria recarregáveis para suprir a necessidade de energia, tornando a rede auto-suficiente. Os dados de temperatura

e umidade do solo, qualidade do link da rede, e nível de tensão da bateria são salvos em um servidor local e também enviados para monitoramento remoto a partir de um nó *gateway* através de GPRS que, além do status das válvulas de irrigação, também transmitem mensagens de erro para um celular. O retorno para este investimento é estimado em um período que varia de 3,5 anos a 4,5 anos segundo os autores.

Abbasi *et al.* (2014) fazem um comparativo entre vários modelos de nós sensores disponíveis no mercado, concluindo que as soluções testadas são muito complexas tendo necessidade de suporte técnico para implementação, elevado custo de aquisição, falta de solução generalizada para diferente problema e serviços. Ainda sobre as pesquisas realizadas, os autores perceberam que a falta de trabalhos acadêmicos que integrem as várias soluções disponíveis reduzindo o impacto das pesquisas realizadas. Navarro-Hellín *et al.* (2015) descrevem o projeto, otimização e desenvolvimento de uma aplicação prática da RSSF para otimização de recursos hídricos em agricultura irrigada através do monitoramento da água no solo e da água de irrigação. Os nós sensores são independentes, sendo dotados de painel solar que fornecem autonomia praticamente ilimitada.

Kubicek *et al.* (2013) abordam os conceitos para implantação de RSSF para agricultura com geo visualização dos sensores culminando com a implementação de uma RSSF para monitoramento de temperatura e umidade tanto do ar quanto do solo. A comunicação entre os nós usa tecnologia RFID (*Radio Frequency IDentification*) de longa distância e os dados da rede são transmitidos a um servidor via GPRS para exploração interativa dos dados em tempo real.

A implantação de uma rede sensores sem fio para AP em uma plantação de tomate foi proposta por KR (2015) que com base na utilização de sensor de umidade do solo fornece dados a um sistema de irrigação. Nikolidakis *et al.* (2015) e Chaudhari *et al.* (2015) também propuseram um controle de irrigação baseado em RSSF na qual cada nó sensor está associado a uma área de plantio, acionando a irrigação apenas nas áreas necessárias enquanto Zulkifli e Noor (2017) otimizaram o consumo de água na irrigação em 50% ao utilizarem um sensor de umidade do solo para determinar o momento adequado para irrigação mantendo os níveis de umidade do solo dentro de valores ideais. Srbinovska *et al.* (2015) também utiliza RSSF para a AP, com o objetivo de obter informações tais como pH e temperatura visando determinar a hora certa da colheita em uma estufa com plantação de pimenta.

Uma solução genérica para implementação de RSSF para agricultura na Nigéria

é proposta por Adebayo *et al.* (2015) cujos dados são armazenados em uma estação base para posterior análise pelo fazendeiro. More e Nighot (2016) e Gondchawar e Kawitkar (2016) implementaram RSSF que além de controle de irrigação também realizam a fertilização e detecção de animais na lavoura. Nabi e Jamwal (2017) e P, S e P (2017) utilizam RSSF's que além do monitoramento ambiental e da gestão hídrica já citados em outros trabalhos também realizam a detecção de pragas e patologias nas plantas em tempo real.

Carvalho *et al.* (2012) que além de usar a RSSF para coletar dados para tomada de decisão de irrigação cita estas redes para aplicações subaquáticas para segurança, sismologia e monitoramento da costa. Assim como Srbinovska *et al.* (2015), Chakane *et al.* (2017) coleta dados do solo e atmosfera para comparar com um banco de dados determinando assim a necessidade de fertilização o momento correto para colheita.

Também voltado à irrigação, Pereira *et al.* (2014) integraram uma RSSF com um sistema de irrigação por pivô central cuja velocidade de rotação do pivô é controlado pela RSSF, aumentando a eficiência do sistema de irrigação. Já Rodrigues (2016) implementou uma RSSF para irrigação de precisão na qual os nós sensores dotados de sensores capacitivos para detecção da umidade do solo enviam a um nó central as informações que servem de base para a tomada de decisão de quando ligar as válvulas, exibindo em um dispositivo Android o *status* das válvulas de irrigação e da bomba de irrigação.

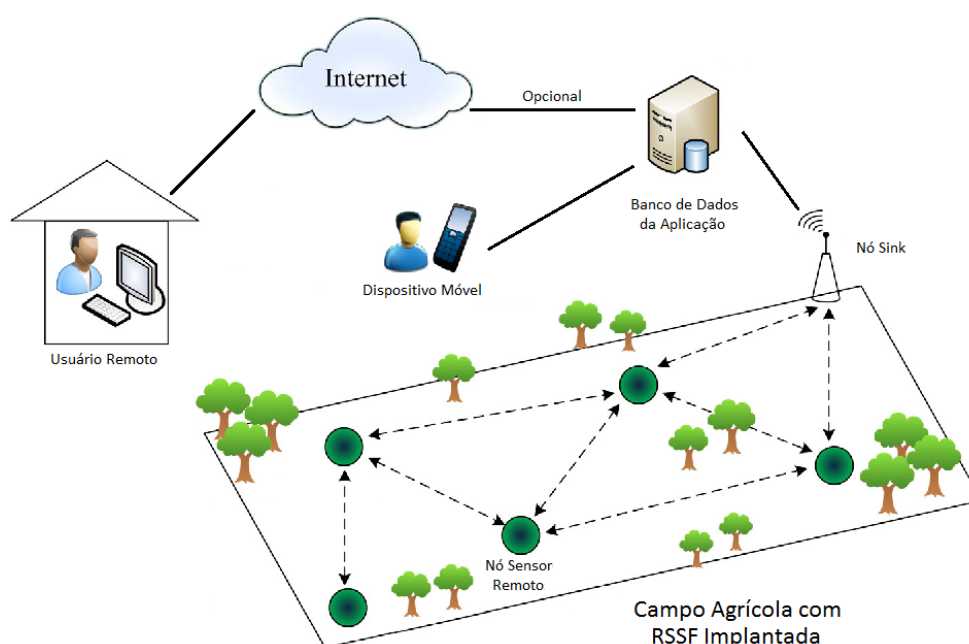
MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é apresentado o processo de desenvolvimento da Rede de Sensores Sem Fio proposta para este trabalho bem como a descrição dos diversos itens que a constituem e as ferramentas e requisitos de configuração.

3.1 Arquitetura

Um layout conceitual para uma rede de sensores sem fio para agricultura pode ser visto na Figura 5 na qual tem-se cinco nós sensores remotos distribuídos pela lavoura e um nó Coordenador identificado como *Nós Sink*. Os cinco nós sensores remotos monitoram os parâmetros ambientais alvos deste estudo sendo eles, temperatura ambiente, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, detecção de presença de chuva e umidade do solo.

Figura 5 – Layout conceitual de uma RSSF para agricultutura



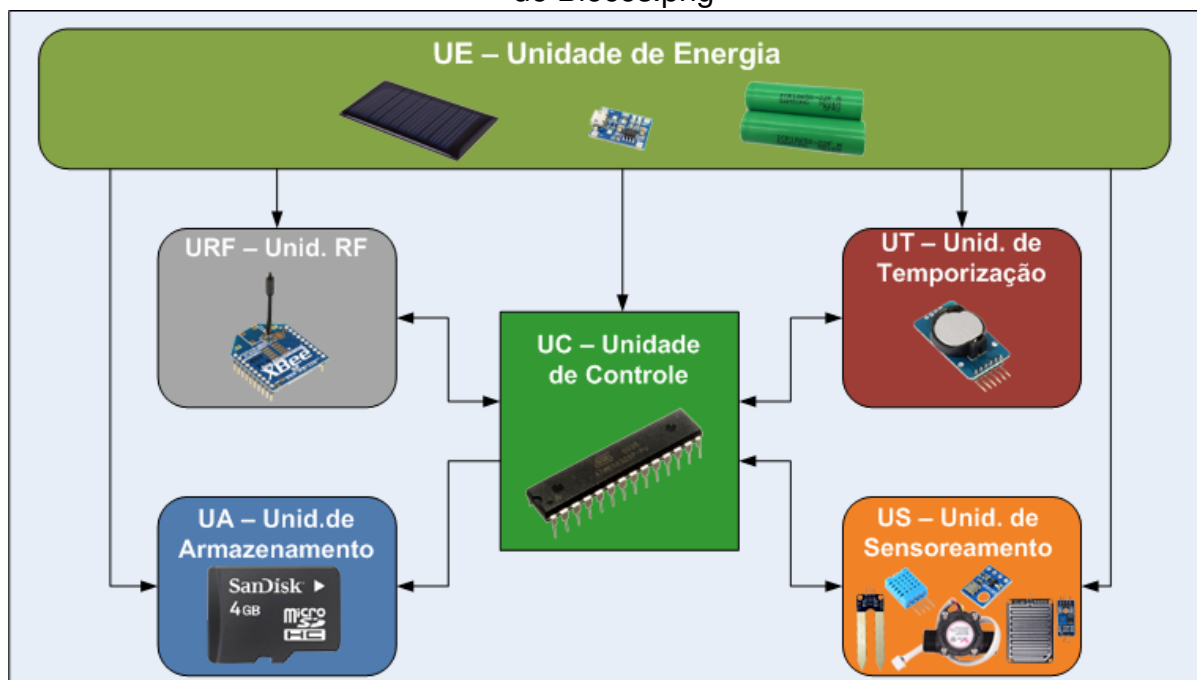
Fonte: adaptada de Ojha, Misra e Raghuwanshi (2015b)

A transmissão desses dados dos nós sensores remotos para o nó sensor coordenador se dá através de comunicação sem fio, utilizando o protocolo 802.15.4 que opera na, faixa de 2.4 GHz, que não requer licença prévia da ANATEL para operação. O nó coordenador processa os dados recebidos, armazena-os no banco de dados da aplicação e exibe as informações em uma interface gráfica amigável.

3.1.1 Nós Sensores Remotos

Os nós sensores remotos são constituídos de seis unidades básicas: Unidade de Controle, Unidade de Armazenamento, Unidade de Temporização, Unidade de RF (Rádio Frequência), Unidade de Sensoriamento e Unidade de Energia. Na Figura 6 é apresentado o diagrama de blocos das unidades básicas do nó sensor remoto e suas interconexões.

Figura 6 – Diagrama de blocos das unidades básicas do nó sensor remoto de Blocos.png



Fonte: autor/PPGET/GDESTE

- **Unidade de Controle (UC)** - composta de um microcontrolador Atmega328p da família AVR de 8 bits da Atmel. Este microcontrolador possui 32 KB de memória RAM (*Random Access Memory*), 1 KB de memória EEPROM (*Electrical-Erasable Programmable Read-Only Memory*) e clock de até 20MHz. Sua arquitetura RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) com um conjunto de

131 instruções permite a realiação de até 20 MIPS(Milhões de Instruções por Segundo) com *clock* de 20 MHz. Dentre os periféricos, este microcontrolador apresenta um conversor analógico-digital de 8 bits, 6 canais PWM (*Pulse Width Modulation*), uma porta serial USART (*Universal Synchronous and Assynchronous Reciver Transmitter*) programável, interface serial SPI (*Serial Peripheral Interface*), interface serial I2C (*Inter-Integrated Circuit*) além de 23 pinos de entrada e saída programáveis. A tensão de operação pode ser configurada entre 1,8 e 5,5 volts, sendo a frequência máxima do *clock* dependente desta tensão. Assim, para uma tensão de alimentação entre 1,8v e 5,5v o *clock* varia entre 0-4 MHz. Com a tensão de operação entre 2,7v e 5,5v tem-se o *clock* entre 0-10 MHz enquanto que a tensão entre 4,5v e 5,5v permite o uso do *clock* em até 20 MHz conforme pode ser verificado na folha de dados deste microcontrolador.

- **Unidade de Armazenamento (UA)** - Constituída por um cartão de memória removível do tipo SD (*Secure Digital*) com capacidade de 4 GB. Este cartão é conectado à placa do nó sensor através de um módulo SDCard que é alimentado com 3,3 volts ou com 5 volts, trabalhando com cartões formatados em FAT (*File Allocation Table*) ou FAT32 sendo a comunicação entre o módulo SDCard e a Unidade de Controle realizada através da interface serial SPI. A finalidade desta unidade é realizar o *backup* local das informações transmitidas como redundância para casos de falha na transmissão dos dados.
- **Unidade de Temporização (UT)** - Representada por um RTC (*Real Time Clock*) ou Relógio de Tempo Real baseado no CI (Circuito Integrado) DS1307 da *Maxim Integrated* que apresenta um baixo consumo energético e alta precisão. Sua alimentação varia de 4,5v a 5,5v e opera entre 0 e 70°C de temperatura. Este RTC trabalha tanto no formato 24h como no formato 12h possuindo indicador de AM/PM (*Ante Meridien/Post Meridien*) sendo os ultimo dia do mês automaticamente ajustado para meses com menos de 31 dias, contando ainda com uma bateria de 3v de longa duração que mantém as configurações de data e hora salvos mesmo quando o RTC não está energizado. A comunicação da Unidade de Temporização com a Unidade de Controle se dá através da interface serial I2C, por onde é coletada as informações de data e hora em que as leituras da Unidade de Sensoriamento foram realizadas.
- **Unidade de RF ou Unidade de Rádio Frequência (URF)** - A comunicação de

dados sem fio se dá através de RF utilizando-se do módulo transceptor XBee S2 da empresa Digi International que implementa o protocolo ZigBee. Possui uma potência de saída de 2 mW (miliwatt) o que segundo a folha de dados do fabricante permite um alcance de 40 metros em ambientes *indoor* e 120 metros em ambientes *outdoor*. Operando na banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) trabalha na faixa de 2.400 a 2.483,5 MHz, apresentando espalhamento espectral do tipo DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) com 16 canais, podendo utilizar as topologias ponto-a-ponto, estrela, árvore e Mesh. Com taxa de transmissão de 250 Kbps (Kilo bits por segundo) possui ainda uma interface serial com taxa de transmissão de dados entre 1.200 e 230.400 bps. Sua tensão de alimentação pode variar entre 2,8v e 3,4v com corrente de operação, durante a transmissão e recepção, de 40 mA quando alimentado com 3,3v, trabalhando em temperaturas que possam variar entre -40°C e $+85^{\circ}\text{C}$.

- **Unidade de Sensoriamento (US)** - O Sensoriamento, ou leitura dos parâmetros monitorados pela RSSF proposta, é realizado por um conjunto de sensores que "sentem"o ambiente monitorado e convertem em sinais elétricos os dados obtidos do meio ambiente. Neste trabalho foram utilizados quatro sensores distintos que juntos fornecem informações de cinco parâmetros importantes para a agricultura sendo eles os sensores: DHT11, BMP180, YL-100, YL-83 e YF-S201, cujas características são descritas a seguir.

Sensor DHT11: Possui um sensor de temperatura que é um termistor do tipo NTC (*Negative Temperature Coefficient*) e um sensor de umidade do tipo HR202 conectados a um microcontrolador de 8 bits de alta performance. Sendo as principais características elétricas: Tensão de alimentação de 3,5 a 5,5 volts; corrente de medição de 0,3 mA e corrente em *standby* de 60 micro Ampères e período de amostragem superior a 2 segundos. É o sensor responsável por realizar a leitura da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar. A Tabela 1. mostra as características técnicas do sensor DHT11.

Tabela 1: Características técnicas do sensor DHT11

Especificação	Valor
Faixa de umidade	20 a 90% UR
Faixa de temperatura	0 a 50 °C
Tensão de Alimentação	3,5 a 5,5 Vdc
Corrente Standby	60 μ A
Corrente medição	0,3 mA
Precisão da umidade	$\pm 5\%$
Precisão da temperatura	$\pm 2^\circ\text{C}$
Tempo de Resposta	2s
Dimensões	23x12x5 mm

Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Sensor BMP180: O sensor digital de pressão atmosférica BMP180 é uma evolução do sensor BMP085 sendo mais econômico e mais preciso que este, abrangendo uma faixa de pressão de 300 a 1100 hPa (hectoPascal) . Além de possuir embutido em sua placa um sensor de temperatura, suas dimensões reduzidas o tornam muito útil em aplicações que exijam pouco espaço. Possui tensão de alimentação de 1,8 a 3,3 volts e comunicação através da interface serial I2C, podendo ainda fornecer dados de altitude. Na Tabela 2. tem-se algumas das características deste sensor.

Tabela 2: Características técnicas do sensor BMP180

Especificação	Valor
Faixa de operação	300 a 1100 hPa
Tensão de Alimentação	1,8 a 3,6 Vdc
Resolução	0,06 hPa
Consumo de corrente	50 μ A
Tempo de Resposta	7,5 ms
Dimensões	14x12 mm

Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Sensor YL-83: É um sensor capaz de detectar a presença de chuva. Com ajuste de sensibilidade através de uma placa que acompanha o sensor,

possui uma saída digital e uma saída analógica, que podem ser usadas simultaneamente, ou uma independente da outra. A saída digital apresenta estado alto com o clima seco e baixo na presença de chuva, podendo-se utilizar a saída analógica em aplicações que exijam maior precisão, bastando para isso conectar a saída do sensor a um conversor AD. A placa do sensor de presença de chuva YL-83 possui um tratamento de níquel para garantir maior durabilidade, melhor condutividade, desempenho e vida útil. Na Tabela 3. tem-se que este sensor opera com uma corrente de 100 mA, sendo alimentado por uma tensão de 3,3 a 5 volts, dentre outras características.

Tabela 3: Características técnicas do sensor YL-83

Especificação	Valor
Saída analógica	0 a 1023
Saída digital	0 ou 1
Tensão de Alimentação	3,5 a 5 Vdc
Consumo de corrente	10 mA
C.I. comparador	LM 393
Dimensões do sensor de chuva	5x4 cm
Dimensões da placa de ajuste	2,1x1,4 cm

Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Sensor YL-100: Projetado para detectar variações na umidade do solo, este sensor é constituído de uma sonda com duas hastes que conduz uma corrente elétrica de uma hasta para a outra através do solo e faz a leitura da resistência por meio de uma placa de controle para determinar o nível de umidade do solo. Nessa placa de controle também é possível fazer do ajuste da sensibilidade assim como no sensor YL-83 e, assim como este, o sensor YL-100 também possui duas saídas sendo uma digital (cujo valor é zero ou um) e a outra analógica (cujo valor da saída varia de 0 a 1023), que permite uma obtenção de dados mais precisa através da utilização de um conversor AD em conjunto com a saída analógica do sensor. Algumas características do sensor YL-100 podem ser vistas na Tabela 4.

Sensor YF-S201: O sensor para medição do fluxo de água YF-S201 possui em seu interior uma turbina contendo um ímã fixado em uma das pás de sua hélice e um sensor de efeito Hall. Seu funcionamento é bem simples: uma vez que a água passa pela turbina, faz a hélice gerar aproximando o ímã, fixado em uma das pás, do sensor de efeito Hall que gera pulsos PWM, proporcionalmente à velocidade de rotação da turbina. Através desses pulsos é possível mensurar

Tabela 4: Características técnicas do sensor YL-100

Especificação	Valor
Saída analógica	0 a 1023
Saída digital	0 ou 1
Tensão de Alimentação	3,5 a 5 Vdc
Consumo de corrente	10 mA
C.I. comparador	LM 393
Dimensões da sonda	6x2 cm
Dimensões da placa de ajuste	3x1,5 cm

Fonte: autor/PPGET/GDESTE

a vazão de água uma vez que cada pulso corresponde 2,5 mm. A Tabela 5 trás um resumo das características técnicas deste sensor.

Tabela 5: Características técnicas do sensor YF-S201

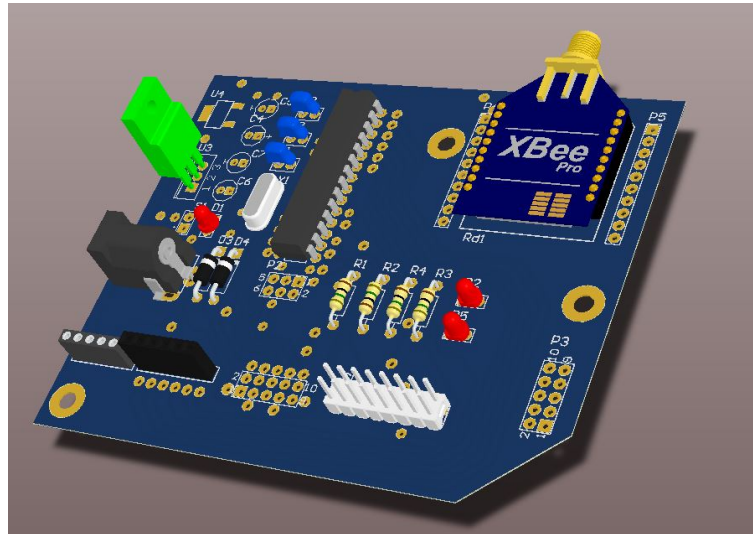
Especificação	Valor
Faixa de fluxo	1 a 30 L/min
Pressão máxima de trabalho	2,0 MPa
Tensão de Alimentação	5 a 24 Vdc
Consumo de corrente	15 mA (5V)
Pulsos por litro	450
Temperatura de trabalho	-25 a 80°C
Dimensão conexão	1/2"
Dimensões externas	2,5"x 1,4"x 1,4"

Fonte: autor/PPGET/GDESTE

- **Unidade de Energia (UE)** - Unidade de Energia que é composta de uma bateria do tipo recarregável MOX referência MO-9V240 de 9V e 240 mAh sendo responsável por alimentar o circuito que converte os 9V fornecidos pela bateria para os níveis de tensão adequados ao correto funcionamento dos diversos módulos e seus componentes. Na versão final do protótipo a bateria recarregável MOX foi substituída por duas baterias recarregáveis SAMSUNG ICR 18650 de 3,7 volts e 2200mAh ligadas em série.

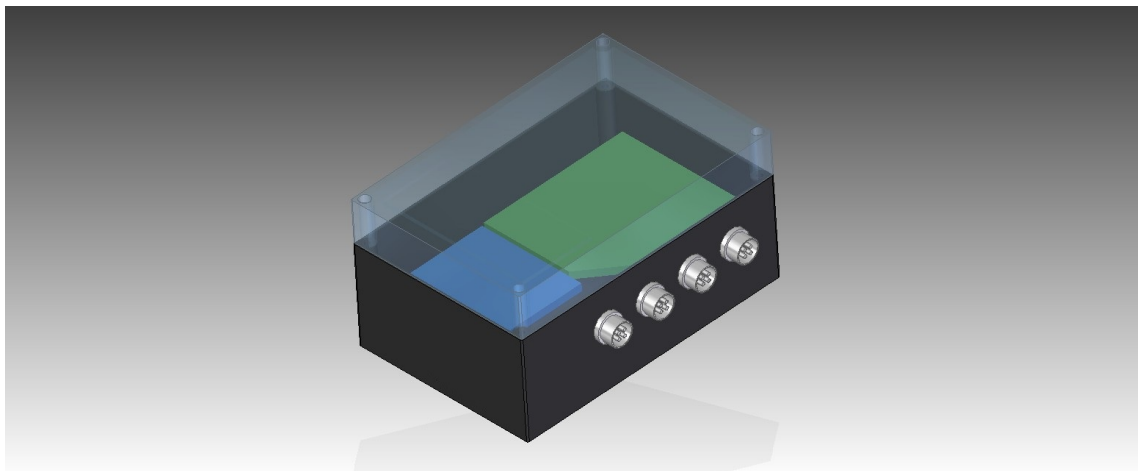
A junção dessas unidade foi feita através da confecção de uma placa de circuito impresso e a acomodação desta em uma caixa de patola com conectores próprios para a ligação dos sensores. A Figura 7 mostra o primeiro *layout* dessa placa.

Com a placa de circuito impresso prototipada a mesma foi acomodada em uma caixa de montagem do tipo patola onde também foram instalados os conectores para

Figura 7 – Layout da placa de circuito impresso para a RSSF.

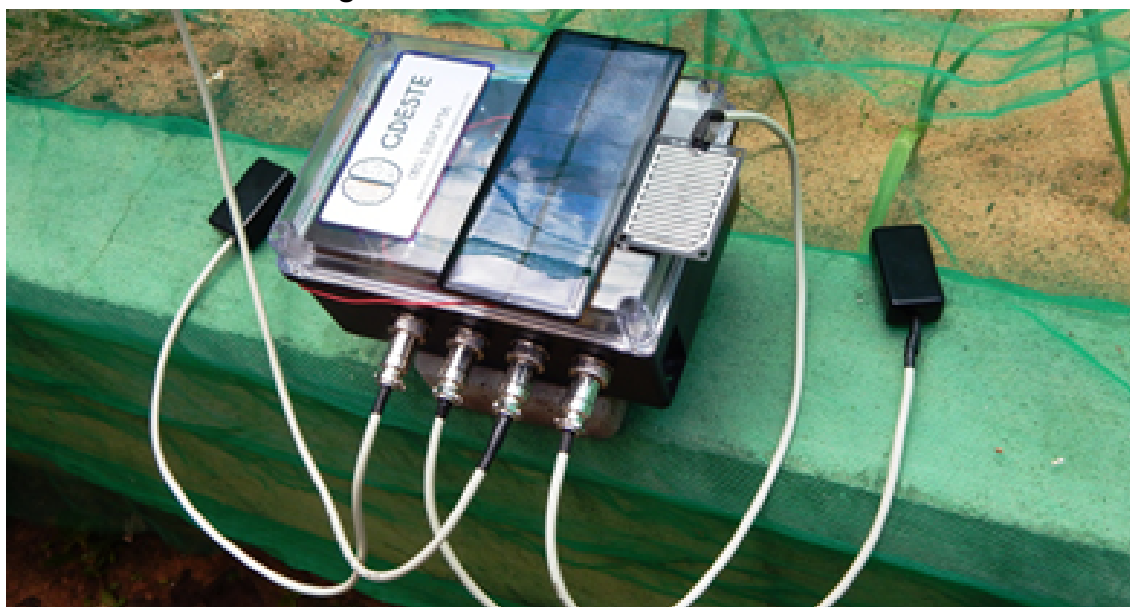
Fonte: autor/PPGET/GDESTE

os sensores. A Figura 8 mostra uma visualização em 3D da caixa de patola com a placa de circuito impresso para os nós sensores remotos com a placa do RTC e os conectores para os sensores.

Figura 8 – Vista 3D do Nó Sensor Remoto da RSSF.

Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Finalizada esta etapa, ainda foram acrescentados o painel solar responsável pela recarga das baterias utilizadas na alimentação do nó sensor. Para controle da recarga das baterias pelo painel solar foi utilizado um módulo carregador de baterias TP4056, ficando o nó sensor conforme mostra a Figura 9 que trás a imagem do nó sensor remoto em sua forma definitiva.

Figura 9 – Nó Sensor Remoto da RSSF.

Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Na Figura 9 é possível ver a caixa de montagem utilizada para acomodação da placa de circuito impresso. Nela também foram acomodados as baterias e o RTC utilizados no projeto. Os conectores circular, também chamados de Mike, conectam os sensores à PCI. Na parte superior da caixa tem-se o adesivo do laboratório GDESTE, onde todo o projeto foi desenvolvido, o painel solar para recarga das baterias e o sensor responsável pela detecção de presença de chuva. As duas caixinhas pretas nos lados esquerdo e direito do Nó Sensor Remoto são os sensores de pressão atmosférica e o sensor de temperatura e umidade relativa do ar.

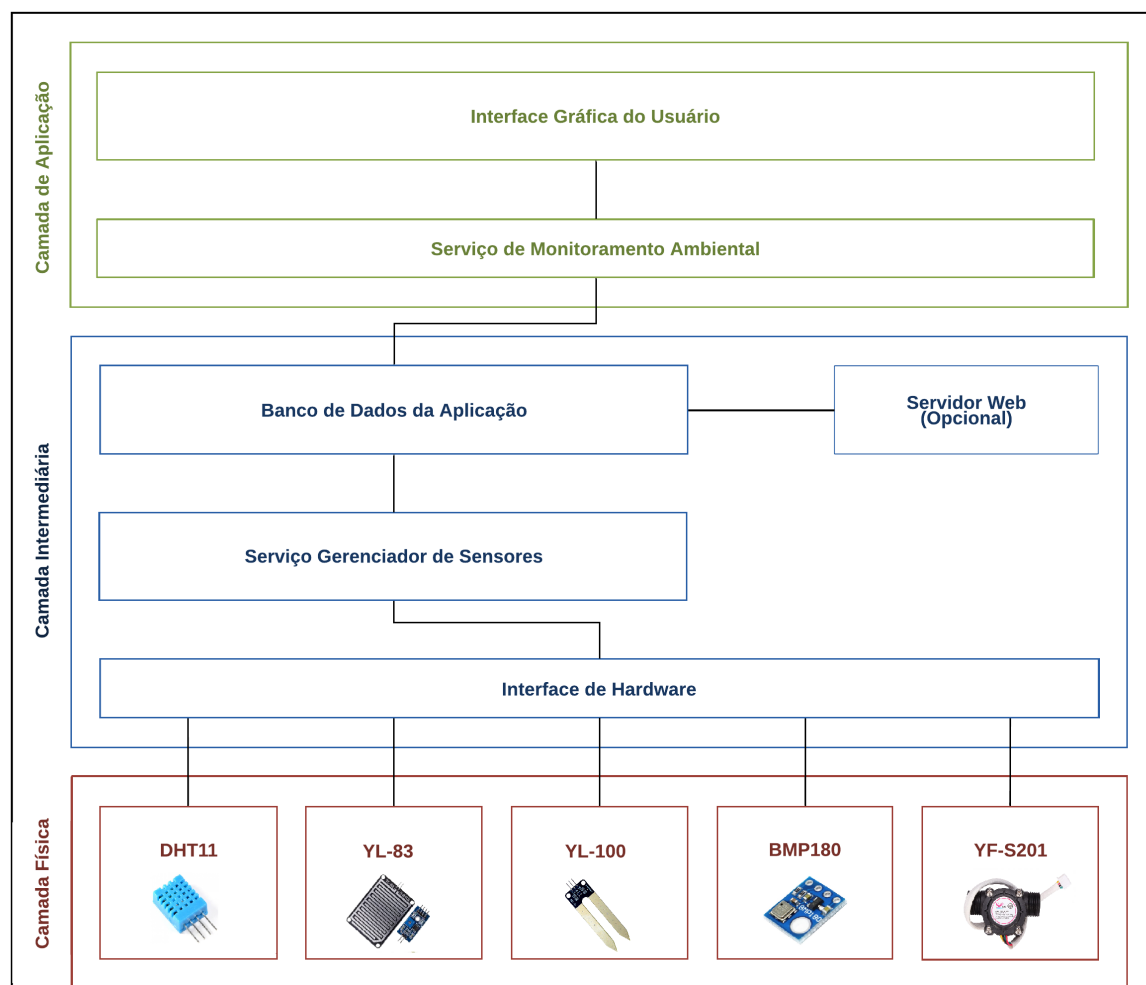
3.1.2 Nó Sensor Coordenador

O nó Coordenador, também chamado de Concentrador, Sorvedouro ou *Sink*, é constituído de um computador de baixo custo do tipo Raspberry Pi modelo 3 rodando o Sistema Operacional Raspbian versão Jessie, cujo desenvolvimento é baseado na distribuição Debian do Linux. Criada em 2016 para substituir a Raspberry Pi 2 modelo B, esta versão é a mais antiga da terceira geração da Raspberry Pi. Em termos de *hardware* vem equipada com processador *Quad Core* Broadcom BCM2837 de 1.2 GHz e 64 bits, 1 GB de memória RAM, 40 pinos de GPIO (*General Purpose Input/Output*), uma saída de vídeo composto, saída estéreo de 4 pólos, 1 saída HDMI (*High-Definition Multimedia Interface*), 4 portas USB 2.0 e um conector de rede *Ethernet*. Nela, estão os códigos para recepção e tratamento de dados dos

sensores remotos, banco de dados da aplicação onde estes dados são armazenados, códigos para geração da interface gráfica do usuário e, conectado a ela, ainda há um cartão de memória de 4 GB para armazenamento extra. A Unidade de RF do nó Coordenador também é constituída de um módulo transceptor XBee S2 com antena *Wire* e potência de 2 mW da empresa *Digi International* responsável pela comunicação entre o Coordenador e os demais membros da rede. É este rádio o responsável por gerenciar a comunicação com todos os demais nós, associando os diversos nós à sua rede formando assim uma PAN - *Personal Area Network* estando conectado à Unidade de Controle através de um adaptador modelo XBee Explorer também da empresa Sparkfun que possui uma saída do tipo mini-USB. A Unidade de Energia deste nó é constituída de uma fonte de 5V/2A que fornece energia à Raspberry através de um cabo USB. Projetado para possuir alimentação a partir da rede elétrica opcionalmente pode ser alimentado por uma fonte alternativa de energia e assim permitir a mobilidade do mesmo embora a ideia inicial do projeto seja de mantê-lo fixo.

3.2 Arquitetura do Sistema

O sistema desenvolvido para gerenciar as informações da RSSF para agricultura pode ser visualizado através do *layout* exibido na Figura 10. que mostra os três níveis da arquitetura do sistema na qual temos na parte mais baixa a camada física onde encontram-se os cinco sensores utilizados na aplicação para aquisição dos dados a serem mensurados pela RSSF.

Figura 10 – Layout da arquitetura do sistema de monitoramento agrícola usando RSSF.

Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Na camada intermediária tem-se o Serviço Gerenciador dos Sensores, responsável inicializar os sensores, coletar e validar os dados lidos além de enviar os dados para gravação no banco de dados da aplicação. Nesta camada ainda tem-se o banco de dados da aplicação onde os valores dos parâmetros mensurados são armazenados e, opcionalmente, o servidor web para permitir o acesso ao sistema de monitoramento da RSSF para agricultura de qualquer local através da internet. Na camada mais alta temos o Serviço de Monitoramento Ambiental que faz a conexão entre o banco de dados da aplicação e a interface gráfica do usuário onde os dados são exibidos de forma clara e simples de forma a facilitar a compreensão por parte do usuário.

3.2.1 Serviço Gerenciador de Sensores

O gerenciador dos sensores é o responsável por inicializar os sensores conectados ao Nó Sensor Remoto, realizar as leituras e transmitir os dados coletados para o nó Coordenador, estando conectado à camada física através da interface de *hardware*. A transmissão dos dados, como já mencionado, utiliza a tecnologia de RF para transportar os dados dos nós sensores remotos ao nó coordenador o que pode gerar um alto consumo energético.

Conforme já mencionado, o protocolo ZigBee permite a utilização dos rádios em dois modos: o AT e o API. Também foi dito que no modo API a transmissão se dá através de quadros que são formatados de acordo com o tipo de mensagem a ser transmitida. Diante disso, ao utilizar o modo API foi adotado o quadro *ZigBee Transmit Request* cuja estrutura pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 – Formato do quadro *API ZigBee Transmit Request*



Fonte: autor/PPGET/GDESTE

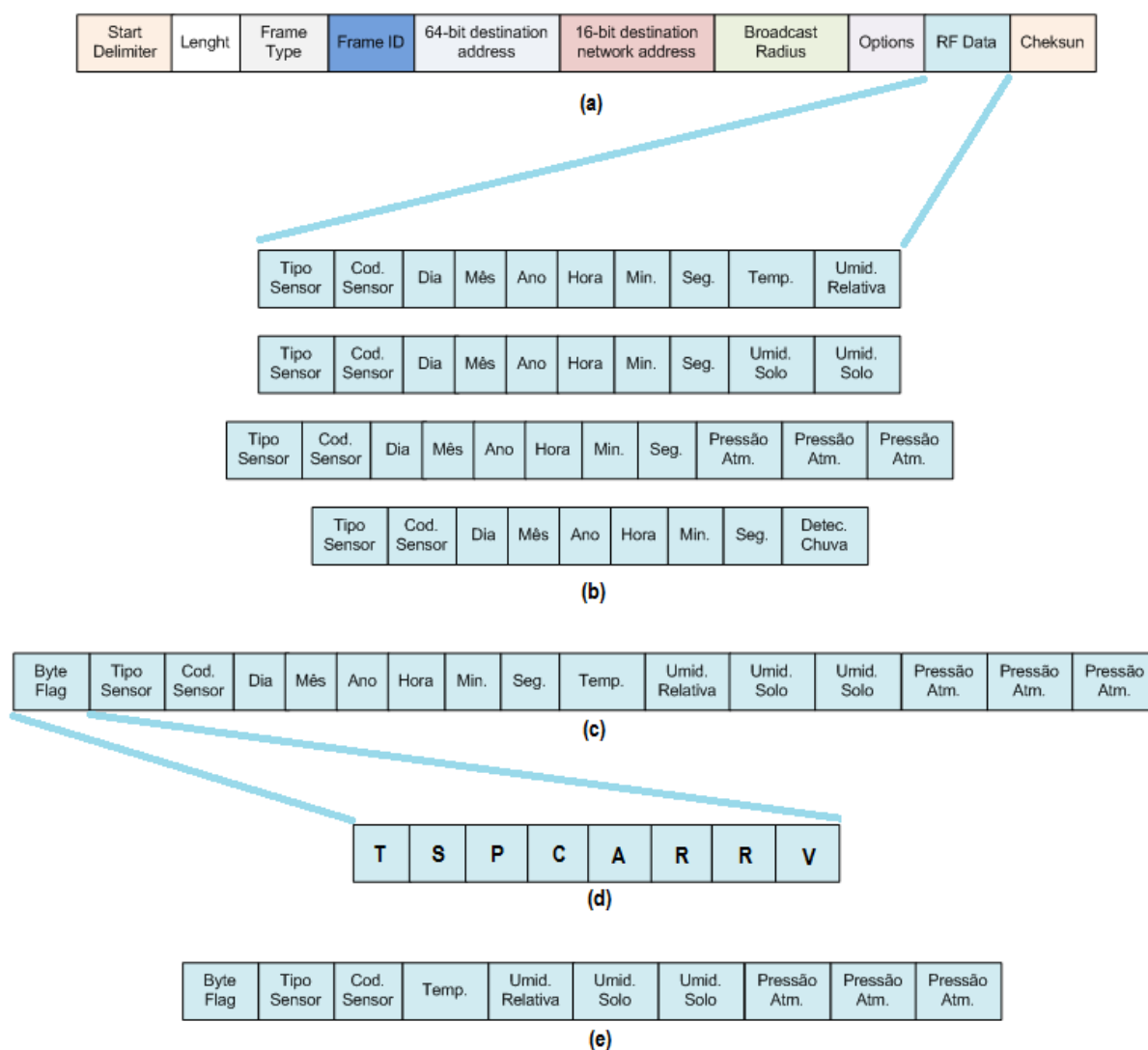
Todo quadro API inicia-se com um byte de *start* que é um número único responsável por indicar o início do quadro de dados, sendo utilizado o número decimal 126, correspondente a 0x7E em hexadecimal, para essa finalidade (FALUDI, 2010). O segundo byte do quadro refere-se à quantidade de bytes entre o campo *Length* e o campo *Checksum*, correspondendo ao tamanho do quadro API. Os campos seguintes são quadros específicos de dados sendo eles: *Frame type* - define o tipo de quadro da API que indica como as informações estão organizadas no campo dados, sendo definidos 18 tipos pela Digi Internationa no Guia do Usuário 2018. A Tabela 6 trás a lista dos tipos definidos para o módulo XBee S2B com seus respectivos *Frame ID* e uma breve descrição.

Tabela 6: Lista de Quadros API definidos para o módulo XBee S2B

Quadro API	Frame Type	Descrição
AT Command	0x08	Usado p/ consultar ou definir parâmetros do dispositivo local.
AT Command – Queue Parameter Value	0x09	Permite que os parâmetros do módulo sejam consultados ou definidos.
ZigBee Transmit Request	0x10	Envia dados como um pacote de RF para o destino especificado
Explicit Addressing ZigBee Command Frame	0x11	Permite que os campos da camada de aplicação Zigbee (endpoint e cluster ID) sejam especificados para uma transmissão de dados.
Remote AT Command Request	0x17	Consulta ou define parâmetros do módulo em um dispositivo remoto.
Create Source Route	0x21	Este quadro cria uma rota de origem no módulo.
AT Command Response	0x88	Envia uma mensagem de resposta de comando AT.
Modem Status	0x8A	As mensagens de status do módulo RF são enviadas do módulo em resposta a condições específicas
ZigBee Transmit Status	0x8B	Envia uma mensagem de status TX, quando uma solicitação TX é concluída.
ZigBee Receive Packet	0x90	Usa esse tipo de mensagem para enviar pela UART pacotes de RF recebidos pelo módulo.
ZigBee Rx Explicit Indicator	0x91	Usa esse tipo de mensagem para enviar pela UART pacotes de RF ZigBee recebidos pelo módulo..
ZigBee IO Data Sample Rx Indicator	0x92	Envia a amostra de I/O de um dispositivo remoto pela UART usando esse tipo de quadro.
ZigBee Sensor Read Indicator	0x94	Envia pela UART pacotes de amostra de sensor recebidos pelo módulo.
Node Identification Indicator	0x95	Quadro recebido com uma mensagem de identificação de nó para se identificar.
Remote Command Response	0x97	Envia uma mensagem de Resposta de Comando Remoto AT pela UART
Over-the-Air Firmware Update Status	0xA0	O quadro Status da atualização de firmware por ar fornece uma indicação de status de uma tentativa de transmissão de atualização de firmware.
Route Record Indicator	0xA1	O indicador de registro de rota é recebido sempre que um dispositivo envia um comando de registro de rota ZigBee
Many-to-One Route Request Indicator	0xA3	O quadro do indicador de solicitação de rota muitos para um é enviado sempre que uma solicitação de rotas de muitos para um é recebida.

Neste projeto, o tipo de quadro utilizado foi o *ZigBee Transmit Request* que possui como identificador o valor 0x10, em hexadecimal. O campo *Frame ID* identifica o quadro de dados UART para o *host* para correlacionar com uma mensagem de reconhecimento subsequente. Se o quadro for definido com 0 nenhuma resposta será enviada. *64-bit destination address* corresponde ao endereço de 64 bits do rádio XBee de destino, sendo o valor 0x0 reservado para o coordenador da rede ZigBee. *16bit Destination Network Address* é o endereço de 16 bits de um dispositivo de destino podendo ser utilizado para o envio de mensagem a um dispositivo específico da rede. O valor 0xFFFE é utilizado quando o endereço de destino é desconhecido ou para o envio de mensagens de *Broadcast*. O campo *Broadcast Radius* determina o número de saltos que uma transmissão *Broadcast* pode realizar. Em *Options* tem-se algumas opções de configurações do quadro tais como desabilitar mensagens de reconhecimento (ACK), habilitar criptografia APS(*Application Support Sublayer*) ou estender o tempo limite de transmissão para este usuário. A habilitação da criptografia APS reduz o tamanho máximo do *Payload* em 9 bytes do quais, 5 são bytes de cabeçalho e os outros 4 são bytes MIC (Message Integrity Code). No campo *RF Data* tem-se os dados, propriamente ditos, que o usuário deseja transmitir ao dispositivo de destino. Por fim tem-se o *Checksum*, este último campo realiza uma soma dos campos entre o *Frame ID* e o *RF Data*, incluindo estes, para verificação de integridade das informações pelo receptor.

Diante deste cenário, foram criados três versões de pacotes nos quais o campo *RF Data* foi alterado visando determinar a melhor relação custo/benefício entre o tamanho do pacote transmitido e a quantidade de energia necessária. A Figura 12 mostra o quadro da API utilizada e a estrutura do campo *RF Data* para cada uma das versões criadas.

Figura 12 – Estrutura do campo *RF Data* do quadro da API utilizada

Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Na primeira versão vista na Figura 12b o campo *RF Data* é composto por quatro elementos cujo tamanho varia entre 9 e 11 bytes contendo as seguintes informações: O primeiro byte do campo trás um código para o tipo do sensor de forma a identificar no receptor qual o formato do campo *RF Data* recebido e o parâmetro mensurado, podendo assumir os valores 1, 2, 3, 4 e 5. O segundo byte trás o número do nó sensor estando entre 0-254. Do terceiro ao quinto bytes tem-se as informações de data com dia, mês e ano (com dois dígitos) respectivamente. O sexto, o sétimo e o oitavo bytes trazem as informações de hora, minuto e segundo em que a leitura foi realizada. Os bytes 9, 10 e 11 trazem os valores dos parâmetros mensurados pelo nó sensor, cujo tamanho varia de acordo com o código do sensor. Assim, para o código 1 tem-se dois bytes para transmissão dos valores de temperatura e umidade relativa, para o código 2 também são necessários dois bytes para os valores referentes

à umidade do solo que varia entre 0-1023. Para o código 3 são necessários 3 bytes para a correta transmissão dos valores da pressão atmosférica que são expressos em hPa (*hectopascal*). Por fim tem-se o código 5 que se refere ao valor do sensor de detecção de presença de chuva cujo valor é zero ou um.

Na segunda versão o campo *RF Data* é constituído de 15 bytes, conforme mostra a Figura 12c, descritos a seguir: O primeiro byte, Byte Flag, foi convertido em bits e utilizado como uma *flag* que sinaliza quais parâmetros são transmitidos no campo *RF Data*, de forma que cada bit do primeiro byte é uma informação diferente conforme o seu valor seja 0 ou 1 no qual o valor 0 representa ausência e o valor 1 representa a presença da informação no campo *RF Data*. A Figura 12d, mostra o Byte Flag com os caracteres T, S, P, C, A, R, R, V, que significam respectivamente Temperatura, Solo, Pressão, Chuva, Água, Reservado, Reservado, Valor do sensor de presença de chuva. Este byte assume os valores 240 ou 241 que corresponde aos bits T, S, P e C setados em 1, o bit "A" e os bits Reservados setados em 0 e o bit "V" com o valor lido no sensor de detecção de presença de chuva de forma que se o valor lido pelo sensor for zero o byte assume o valor 240 e se o valor do sensor for 1 o byte assume o valor 241 que correspondem aos valores dos bits convertidos em decimal. O Segundo byte trás o Código do nó sensor que pode assumir os valores de 0-254. O terceiro, o quarto e o quinto bytes trazem a informação de data enquanto o sexto e sétimo e o oitavo trazem o horário da leitura com hora, minuto e segundo, respectivamente. O nono byte trás o valor da temperatura ambiente enquanto no décimo tem-se o valor da umidade relativa do ar. Os bytes 11 e 12 trazem o valor da umidade do solo e os bytes 13, 14 e 15 os valores da pressão atmosférica em hPa.

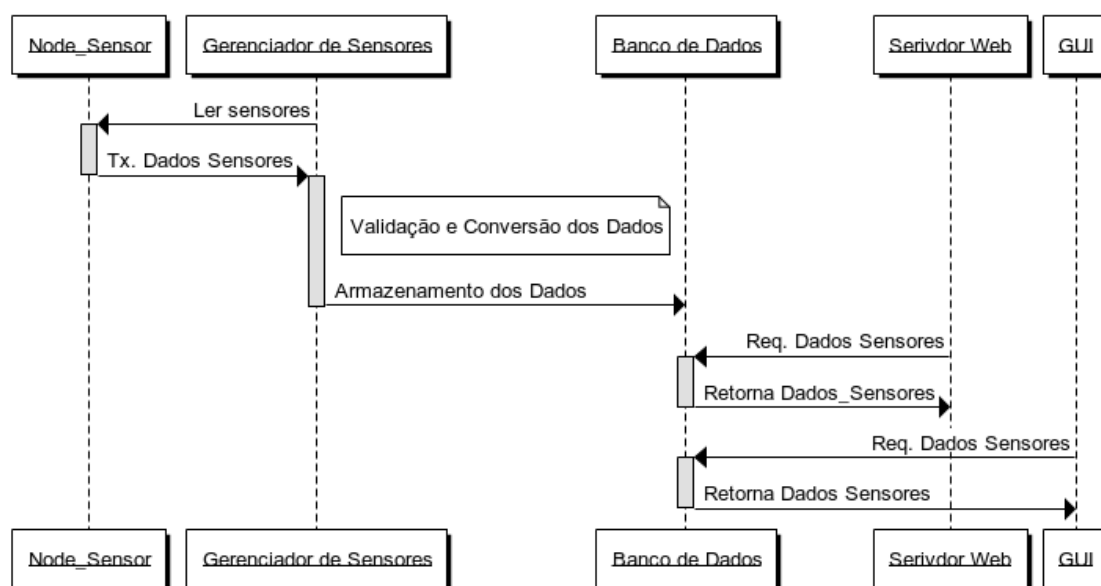
Já as mensagens na versão 3, cuja estrutura pode ser vista na Figura 12e são as mais curtas, por não enviarem a data e hora da leitura, reduzindo o tamanho do campo *RF Data* da versão V2 de 15 bytes para 9 bytes. Esta escolha foi feita baseada nos testes durante o desenvolvimento dos códigos do *firmware* dos nós sensores remotos. Observou-se que a diferença entre o horário da transmissão e o horário da recepção não chegava a 2 segundos o que na prática não representa nenhuma perda para a aplicação escolhida.

3.2.2 Serviço de Monitoramento Ambiental

O serviço de monitoramento ambiental lê os dados dos sensores através do Serviço Gerenciador de Sensores responsável também pela inicialização dos

mesmos. Os dados recebidos dos sensores são validados e convertidos para o formato adequado para gravação no banco de dados da aplicação. Com os dados salvos, estes podem ser exibidos através do servidor web, que pode ser opcional, ou diretamente na interface gráfica de usuário, conforme a Figura 13, onde tem-se o fluxo das atividades no Serviço de Monitoramento Ambiental da RSSF para agricultura proposta neste trabalho.

Figura 13 – Diagrama de atividades do Serviço de Monitoramento Ambiental da RSSF.



Fonte: autor/PPGET/GDESTE

O Diagrama de Atividades do Serviço de Monitoramento Ambiental mostra o fluxo da comunicação entre o banco de dados e o servidor Web, onde ressalta-se que este servidor é opcional não sendo utilizado neste trabalho.

3.3 Locais de Teste

Os testes da rede de sensores sem fio deste trabalho foram realizados em dois ambientes distintos. O primeiro local de teste foi Laboratório GDESTE (Grupo de Desenvolvimento em Sistemas de Telecomunicações e Sistemas Embarcados), que é vinculado ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Telecomunicações (PPGET) do IFCE Campus Fortaleza, onde *firmwares* e protótipos foram desenvolvidos e o segundo ambiente foi em uma horta localizada no Campus Morada Nova do IFCE localizado na cidade de Morada Nova.

3.3.1 Laboratório GDESTE

O laboratório GDESTE foi criado no final do segundo semestre do ano de 2010 por iniciativa de alguns alunos do curso de Engenharia de Telecomunicações e do curso Técnico em Eletrotécnica além de alguns professores do Departamento de Telemática do Campus Fortaleza do IFCE com o objetivo de desenvolver Sistemas embarcados de baixo custo, prototipagem de circuitos impressos, desenvolvimento de sistemas web e Web Design, além do desenvolvimento de aplicações para dispositivos móveis e simulações numérica GDESTE (2016). O laboratório teve suas operações iniciadas em janeiro de 2011 e ao longo desses anos teve o trabalho de seus membros publicados em diversos congressos tais como COBENGE (Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia), CONNEPI (Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação), SBESC (Sistema Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais), SBRT (Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais) dentre outros. Atualmente liderado pelo professor Jorge Fredericson de M. C. da Silva, um dos alunos fundadores do GDESTE e hoje docente da instituição, e com o apoio de outros cinco professores, o laboratório, conta com 28 membros dos cursos superiores de engenharia em telecomunicações e de computação distribuídos nos três turnos, manhã, tarde e noite, e que atuam em três linhas de pesquisas distintas: *Hardware* com o desenvolvimento de sistemas embarcados e prototipagem de PCI's, *Software* desenvolvendo aplicações web e *mobile* além da linha de *Design* com a criação de identidades visuais, logomarcas, produção audiovisual, etc. O GDESTE tem como missão produzir artigos paralelamente ao desenvolvimento de protótipos focados nas áreas de conhecimento em voga no laboratório. Sua visão é tornar-se padrão de excelência na produção científica, bem como no desenvolvimento de soluções tecnológicas e seus valores são o compromisso com o resultado, gerenciamento dos recursos, saúde no ambiente de trabalho, boa comunicação entre as áreas, transparência e ética. A Figura 14 mostra o interior do laboratório GDESTE.

Figura 14 – Vista interna do Laboratório GDESTE localizado no Campus Fortaleza

Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Neste ambiente, o trabalho foi iniciado com a configuração dos módulos *XBee* utilizando o *software* X-CTU (*XBee Configuration and Test Utility*) fornecido pela fabricante dos rádios através de *download* em seu *site* na internet, no qual um dos módulos foi configurado como *Coordinator API* e os outros módulos como *End Device API* cujos conjuntos de funções diferem de acordo com a função que podem exercer na rede. A escolha deste modo de operação foi feita tendo em vista a possibilidade de maior escalabilidade da RSSF sem a necessidade de alterações no código uma vez que desta forma o rádio *XBee* é perfeitamente capaz de gerenciar mais de 65 mil dispositivos em sua rede sem intervenção do usuário.

O passo seguinte à configuração dos transceptores, foi o desenvolvimento dos códigos responsáveis pela comunicação entre os módulos *XBee*, com a transmissão de mensagem de teste do rádio remoto para o rádio coordenador. Finalizada esta etapa, passou-se então para o desenvolvimento dos códigos para leitura dos diversos sensores utilizados pela rede de sensores sem fio. Em seguida, foram acrescentadas as rotinas para leitura do RTC afim de identificar a data e hora em que as leituras eram efetuadas e de gravação dos dados no cartão SD local como *Backup* dessas informações. Nesse ponto, tinham-se os códigos funcionais mas com necessidade de grande espaço de memória o que tornava inviável a aglutinação de todos os sensores

em um único código. Para resolver tal problema foram alterados os códigos de forma a reduzir seus tamanhos e assim ser capaz de juntá-los em um único código para tornar o nó sensor remoto um nó multi sensor.

Uma vez realizado tal procedimento os testes em laboratório puderam ser realizados, cujos resultados são discutidos no capítulo seguinte.

3.3.2 Campus Morada Nova

O Campus Morada Nova do IFCE foi criado em 2012 para ser um campus avançado do campus de Limoeiro do Norte. Localizado na cidade de Morada Nova no bairro Júlia Santiago, o Campus de mesmo nome fica a 165 Km de distância do Campus Fortaleza, na capital cearense, e oferta à comunidade os cursos técnicos em Aquicultura, Edificações, Informática e o de Segurança no Trabalho. Em 2016 o campus Morada Nova se destaca por ser a primeira instituição pública a ofertar cursos de graduação na cidade com os cursos de Engenharia de Aquicultura e Engenharia Civil (IFCE, 2018). Possuindo uma extensa área, o campus conta com dois blocos didáticos onde estão instaladas modernas salas de aula, biblioteca com rico acervo de livros e diversos laboratórios além de um amplo auditório.

A escolha deste campus como local para testes em campo da RSSF desenvolvida, deveu-se basicamente a dois fatores: O contato do professor Jorge Fredericson com esse campus e o fato de haver uma horta implantada pelos alunos e professores do curso de Aquicultura cuja irrigação era realizada com água retirada de tanques com criação de tilápia como forma de estudo do aproveitamento da água proveniente da aquicultura como fonte de alimento na agricultura foi determinante na escolha do local para realização dos testes em campo. A horta consistia de sete canteiros de 7 metros de comprimento por sessenta centímetros de largura dos quais, dois estavam em processo de reformulação não tendo nada cultivado neles. Assim, os cinco sensores remotos foram distribuídos nos cinco canteiros em diferentes distâncias enquanto que o nó coordenador foi instalado na sala dos professores localizada no segundo andar do bloco didático daquele campus. A Figura 15. mostra a horta com o posicionamento de alguns dos nós sensores utilizados no teste em campo da RSSF.

Figura 15 – Horta utilizada para teste em campo

Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Além dos canteiros onde o teste em campo foi realizado, na Fig 15. tem-se o bloco didático, ao fundo, onde o nó coordenador foi instalado e para onde os dados coletados foram enviados.

3.4 Custos do Protótipo

Após definição do protótipo foi feito o levantamento dos custos do projeto e a Tabela 7 trás a relação do material utilizado na montagem da RSSF deste projeto constituída de cinco nós sensores remotos, para os quais foi desenvolvida uma placa de circuito impresso própria, e um nó coordenador baseado em uma Raspberry Pi Modelo B.

A placa de circuito impresso final desenvolvida para os nós sensores remotos da RSSF trás conectores para acréscimo do rádio transceptor XBee e módulo leitor de *SD Card* além de já contar com o circuito para o relógio de tempo real responsável pelo registro de data e hora das leituras dos sensores utilizados. O *layout* final desta placa pode ser visto na Figura 35 que pode ser encontrada no final do capítulo de resultados.

Tabela 7: Tabela de custos da RSSF protótipo para agricultura familiar

Item	Descrição	Qtd	Vr. Unit. (R\$)	Vr. Total (R\$)
1	Caixa Patola com tampa em acrílico	5	26,90	134,50
2	Sensor DHT11	5	15,90	79,50
3	Sensor YL-83	5	14,90	74,50
4	Sensor YL-100	5	9,90	49,50
5	Sensor BMP180	5	21,90	109,50
6	Sensor YF-S210	5	37,90	189,50
7	Conector Circular	20	9,22	184,40
8	Módulo SD Card	5	10,90	54,50
9	SD Card 8GB	6	24,99	149,94
10	Painel Fotovoltaico 5,5v	5	32,78	163,90
11	Módulo Xbee Série 2	6	181,90	1091,40
12	Módulo Carregador de Bateria Lítio	5	6,90	34,50
13	Bateria Recarregável ICR18650 3,7v	10	6,50	65,00
14	Caixa Patola 17x50x27 mm Baloon	10	4,09	40,90
15	PCI (Nó Sensor Remoto)	5	40,00	200,00
16	Kit Raspberry Pi 3 + Fonte + Case	1	350,70	350,70
17	Adaptador Xbee Explorer	1	19,41	19,41
			Total (R\$) =	2.991,65

Pelo exposto na Tabela 7, vê-se que o custo total da RSSF proposta ficou abaixo dos USD \$ 800,00, segundo a cotação do dólar comercial de 14/11/2018 que fechou o dia em R\$ 3,78, e que cada um dos seis nós da RSSF proposta (1 nó coordenador + 5 nós remotos) tem um custo médio de R\$ 498,61, aproximadamente. Em outras palavras, com um investimento de menos de três mil reais, é possível implantar um sistema capaz de auxiliar a tomada de decisão do agricultor, baseada não mais em dados empíricos mas sim, em dados técnicos, cujas atualizações dão-se de forma autônoma.

RESULTADOS

Este capítulo trata dos resultados obtidos a partir dos testes realizados em laboratório e em campo para determinar a viabilidade e funcionalidade da rede de sensores sem fio proposta, sendo eles:

- Em Laboratório:

Os testes em laboratório foram realizados em um ambiente *indoor* com medidas de 4 metros de largura por 7m de comprimento no qual foram instalados 5 nós sensores dispostos um em cada canto do laboratório e o quinto à meia distância entre dois sensores ao longo da parede de maior comprimento. O nó Coordenador foi disposto a meia distância entre os outros dois nós sensores, ficando alinhado com o quinto nó sensor, com cada nó sensor transmitindo seus dados a intervalos de 1s. Este arranjo gerou uma rede com topologia em estrela, a qual foi submetida aos seguintes testes:

Range Test RSSI: Testa a faixa real de RF de forma a determinar a qualidade do link entre dois rádios através da intensidade dos sinais recebidos pelo nó Coordenador vindos de cada nó que constitui a rede de sensores sem fio.

Perda de Pacotes: Durante a realização dos testes de RSSI pacotes foram enviados e recebidos pelos nós da RSSF e com o auxílio do software X-CTU foi possível verificar a perda de pacotes tanto na transmissão quanto na recepção para cada configuração de potência dos rádios remotos.

Consumo Energético: Teste realizado com a finalidade de determinar a quantidade de energia necessária ao funcionamento correto do nó sensor.

Coleta de Dados: Neste teste, a rede foi montada em laboratório e durante 24 horas foram coletados e armazenados os parâmetros pré definidos para monitoramento

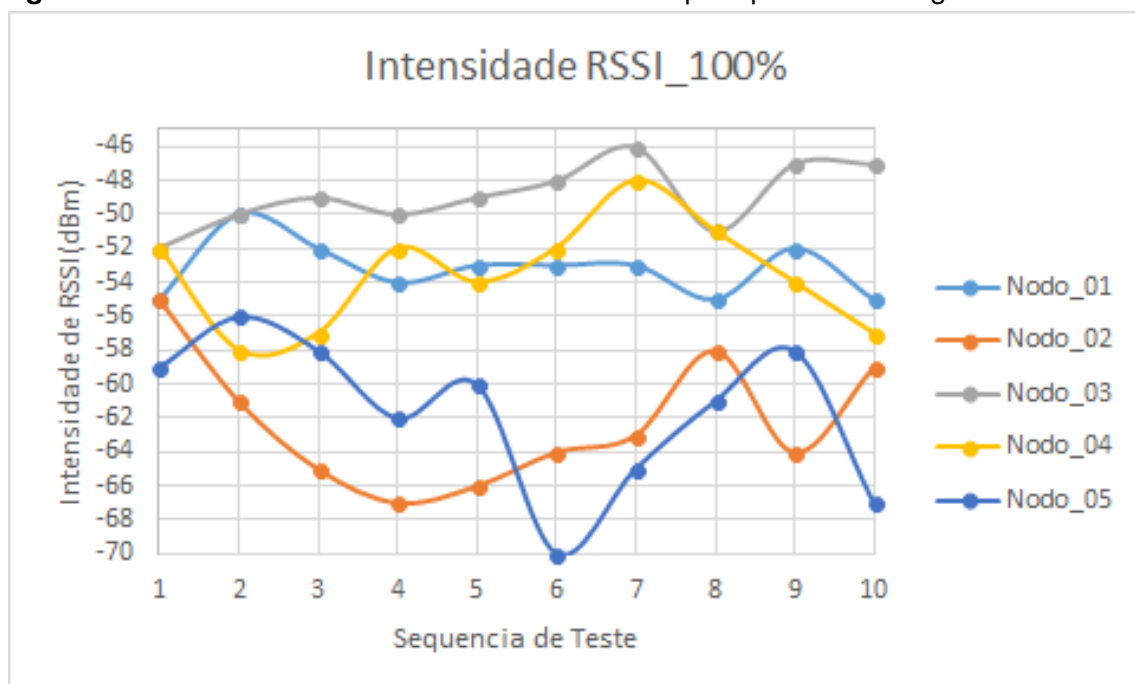
- Em Campo

Coleta de Dados: O teste realizado em campo foi o de coleta dos dados assim, a rede de sensores sem fio foi instalada em uma horta existente no campus Morada Nova do IFCE, e os dados coletados foram armazenados para posteriormente serem analisados.

4.1 Range Test RSSI

O software X-CTU desenvolvido pela Digi International, empresa fabricante dos rádios de comunicação XBee S2 utilizados neste projeto trás, além de ferramentas de configuração, uma série de ferramentas que possibilitam a realização de diversos testes. Dentre os testes disponíveis para as configurações utilizadas tem-se o Range Test RSSI (*Received Signal Strenght Indication*) que mede a intensidade dos sinais recebidos tanto pelo rádio local quanto pelo rádio remoto, bem como determina a perda de pacotes na transmissão e recepção desses rádios. O Range Test para medição do RSSI foi realizado com três configurações diferentes de potência para os rádios da Rede de Sensores Sem Fio. Embora o software X-CTU permita configurar até cinco níveis distintos de potência para o rádio, foram utilizadas apenas três, nas quais os rádios foram configurados como as potências de 100%, 50% e 25%. Em cada teste foram transmitidos 100 pacotes com os testes sendo repetidos 10 vezes para cada configuração de potência.

Figura 16 – Gráfico referente à intensidade do RSSI para potência configurada em 100%

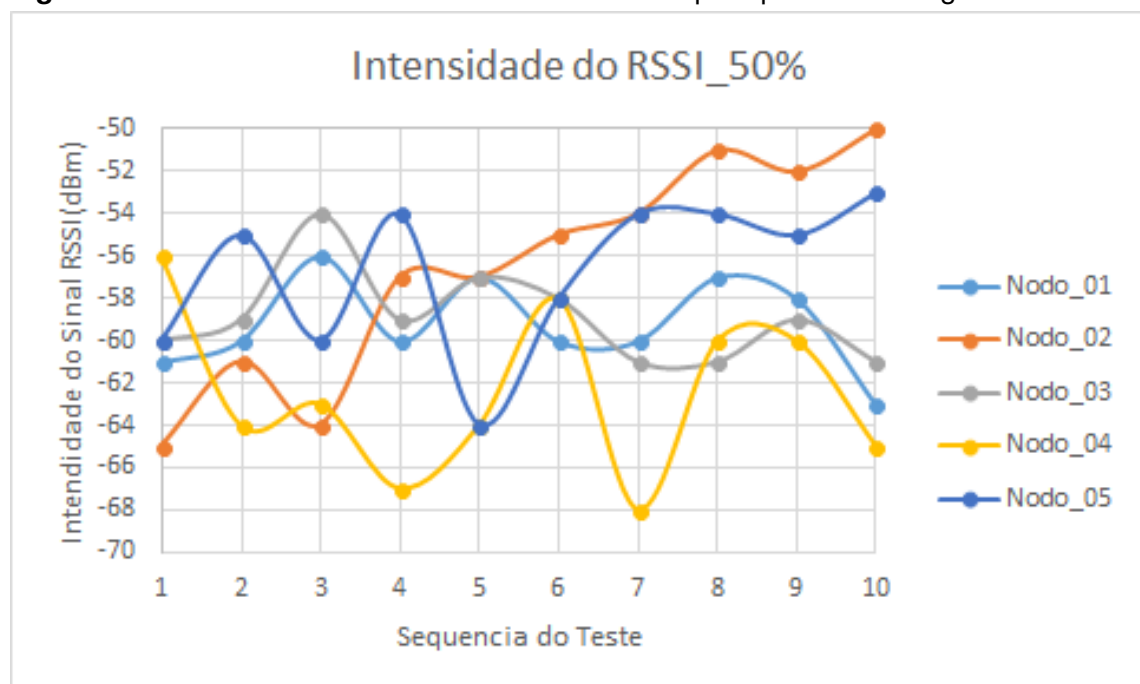


Fonte: autor/PPGET/GDESTE

A Figura 16 trás o resultado do Range Test realizado entre o nó coordenador e os nós remotos da RSSF proposta com a potência configurada para 100%, onde pode-se observar que para esta potência a faixa de amplitude do sinal dos nós remotos variaram entre -46 dBm e -70 dBm sendo o nó identificado como Nodo_05 o que apresentou a melhor sensibilidade alcançando um pico de -70dBm enquanto que nesta configuração o pior nó foi o Nodo_03 cuja sensibilidade variou entre -46dBm e -52dBm de forma que quanto maior a potência do rádio em um ambiente *indoor* em que existam outras redes concorrentes, pior será o desempenho por conta das interferências sofridas por conta destas outras redes.

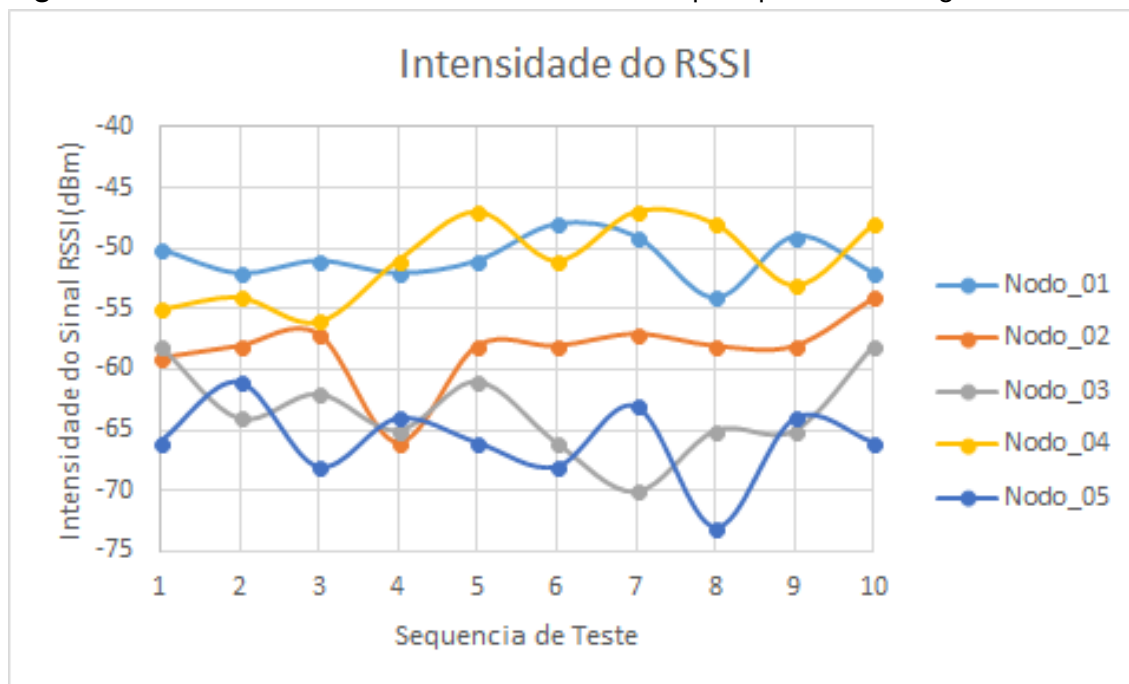
Seguindo com a execução dos testes, foi configurada a potência para o valor de 50% sendo novamente enviados 100 pacotes por teste e repetido o teste dez vezes com a potência neste valor. A Figura 17 mostra o comportamento dos nós remotos para esta configuração.

Figura 17 – Gráfico referente à intensidade do RSSI para potência configurada em 50%



Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Nela podemos observar que o Nodo_04 obteve a maior redução na capacidade de detecção dos sinais se comparada com a configuração anterior, atingindo um pico de -68dBm contra os -58dBm medidos no segundo teste com a potência em 100%, representando uma redução de -10dBm na intensidade do sinal recebido.

Figura 18 – Gráfico referente à intensidade do RSSI para potência configurada em 25%

Fonte: autor/PPGET/GDESTE

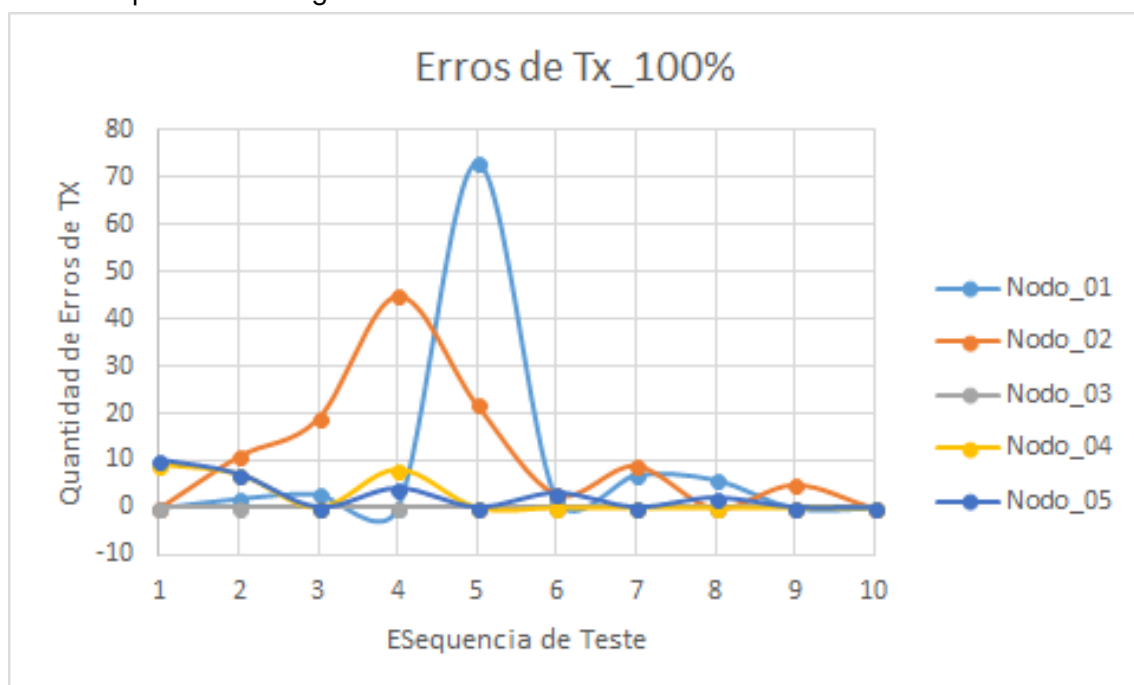
Por fim, foi reduzida a potência dos rádios para 25% para realização do último teste para medição da intensidade do RSSI cujos resultados podem ser vistos na Figura 18. O destaque desta configuração pode ser atribuída a pouca variação da intensidade para um mesmo rádio. Comparados com as medições anteriores, pode-se observar que individualmente os sinais variaram bem menos como é o caso do Nodo_01 cuja variação se deu entre -48dBm e -52dBm.

Diante destes gráficos pode-se concluir que com uma potência menor o sinal do rádio torna-se mais estável do que com a potência máxima. É importante ressaltar que no ambiente de teste havia uma concorrência pelo espectro de 2.4 GHz por parte de outras redes além da rede em teste. Além de um forno de micro-ondas que opera também da faixa de 2.4 GHz, há ainda as redes WI-FI, como a do próprio laboratório, a rede disponibilizada aos alunos e a rede do laboratório vizinho que, também funcionam na frequência de 2.4 GHz. Tal concorrência demonstrou ser menos impactante no desempenho da rede com a potência do rádio ajustada na menor configuração, uma vez que, com o ajuste no menor valor sinais com baixa intensidade não eram detectados, e assim não atrapalhavam as transmissões. Como o alcance é determinado em função da potência então a aplicação é que deve determinar qual a configuração de potência mais adequada de forma a garantir o maior alcance com a melhor performance.

4.2 Perda de Pacotes

Um segundo teste realizado com a RSSF proposta em laboratório foi o teste de perdas de pacote. Durante a realização dos testes de intensidade do sinal RSSI foram monitorados os erros de transmissão (Tx) e recepção (Rx) dos pacotes transmitidos. Como já mencionado foram transmitidos 100 pacotes em cada teste e cada teste foi repetido dez vezes. Ao final de cada teste o software X-CTU apresentou o número total de pacotes perdidos na transmissão e na recepção. A Figura 19 mostra o resultado dos testes com a potência configurada em 100%.

Figura 19 – Gráfico referente a quantidade de pacotes perdidos durante a transmissão para a potência configurada em 100%

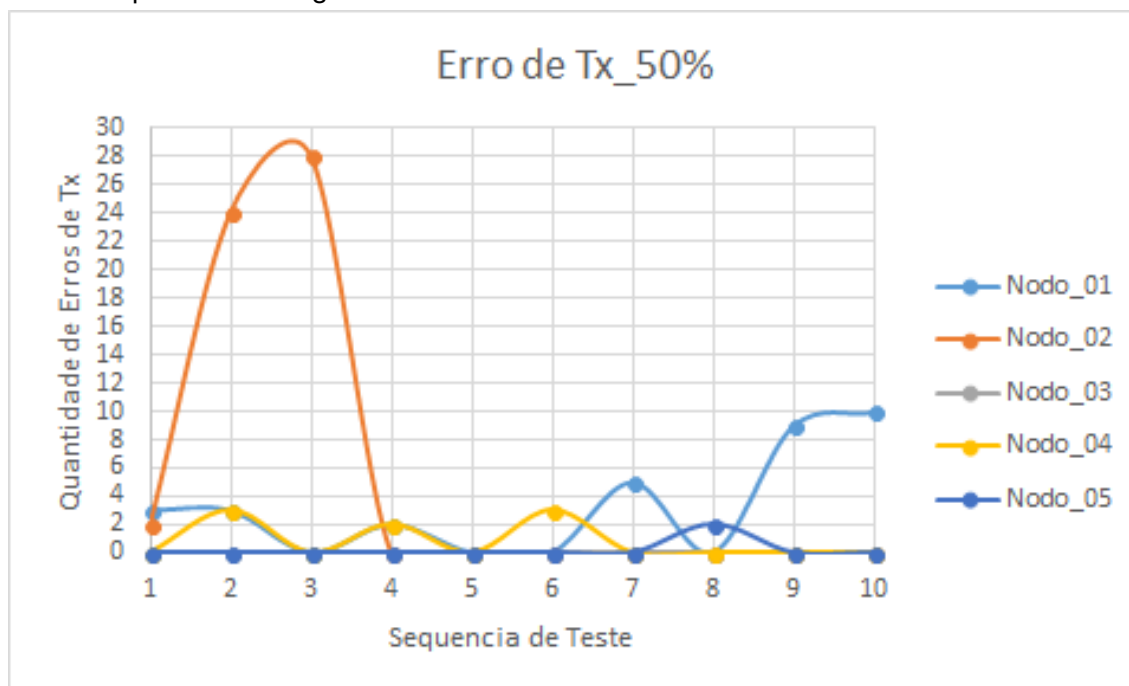


Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Neste gráfico vê-se que os Nós 01 e 02 tiveram picos de 73 e 45 pacotes perdidos respectivamente. Interessante observar que no teste 4 em que o Nodo_02 em que foi registrado o maior número de pacotes perdidos a intensidade do sinal RSSI atingiu o menor valor registrado naquele teste para este nó -67dBm, assim como os outros dois maiores valores de pacotes perdidos (19 e 22) ocorridos nos testes 3 e 5 respectivamente quando os RSSI para estes testes foram -65dBm e -66dBm. Embora este comportamento não se repita para o Nodo_01 a justificativa pode ser em função da quantidade de Nós transmitindo simultaneamente que podem de ter interferido na transmissão dos pacotes mesmo que a intensidade do sinal deste nó com a potência de 100% tenha-se mostrado bastante estável.

A análise seguinte de perdas de pacote deu-se com a potência em 50%. Conforme ocorreu no teste anterior, também foram enviados 100 pacotes durante cada teste e cada teste foi repetido dez vezes. A Figura 20 exibe esses resultados.

Figura 20 – Gráfico referente a quantidade de pacotes perdidos durante a transmissão para a potência configurada em 50%



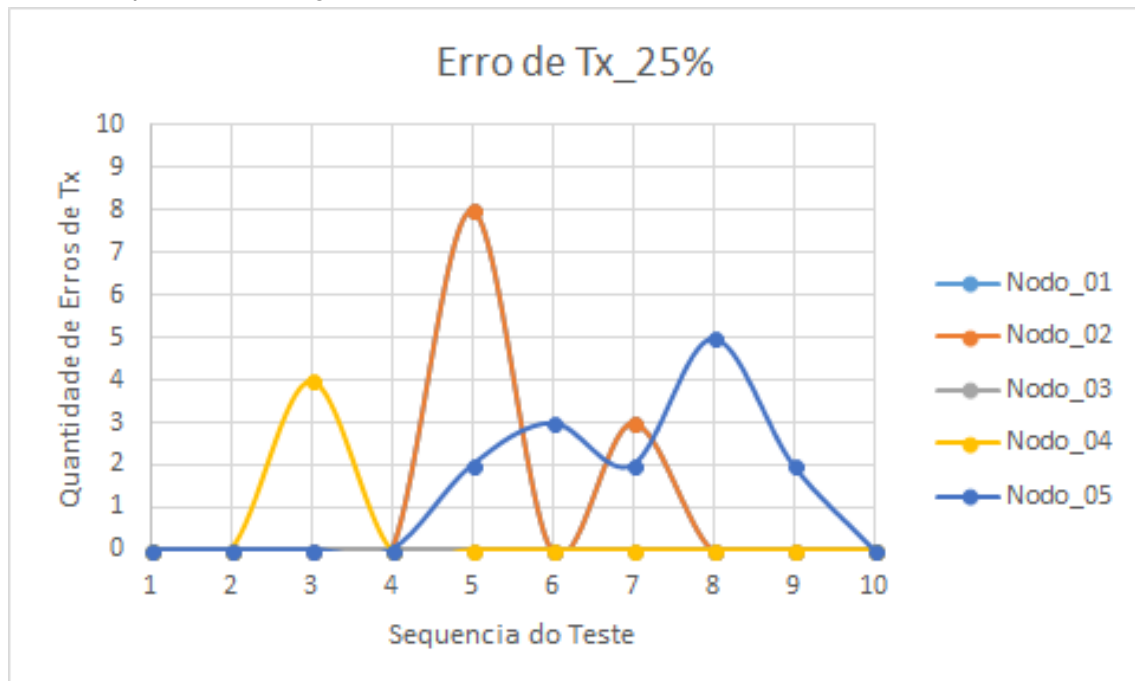
Fonte: autor/PPGET/GDESTE

A redução da potência dos rádios remotos não implicou no aumento da perda de pacote como poderia se supor. Conforme vê-se no gráfico da Figura 20, a exceção foi o Nodo_02 que nos testes 2 e 3 apresentou um elevado número de pacotes perdidos (24 e 28, respectivamente) em comparação com os demais nós da RSSF.

A seguir temos a Figura 21 que exibe os dados referentes a perda de pacotes nas transmissões com a potência dos nós remotos ajustada em 25%.

Esta configuração apresenta a menor taxa de erro de transmissão de pacotes e, embora haja alguma oscilação no gráfico, os valores referentes ao número de pacotes perdidos é bem pequeno. A maior perda registrada foi no quinto teste do Nodo_02 quando foram perdidos 8 pacotes dos 100 pacotes transmitidos.

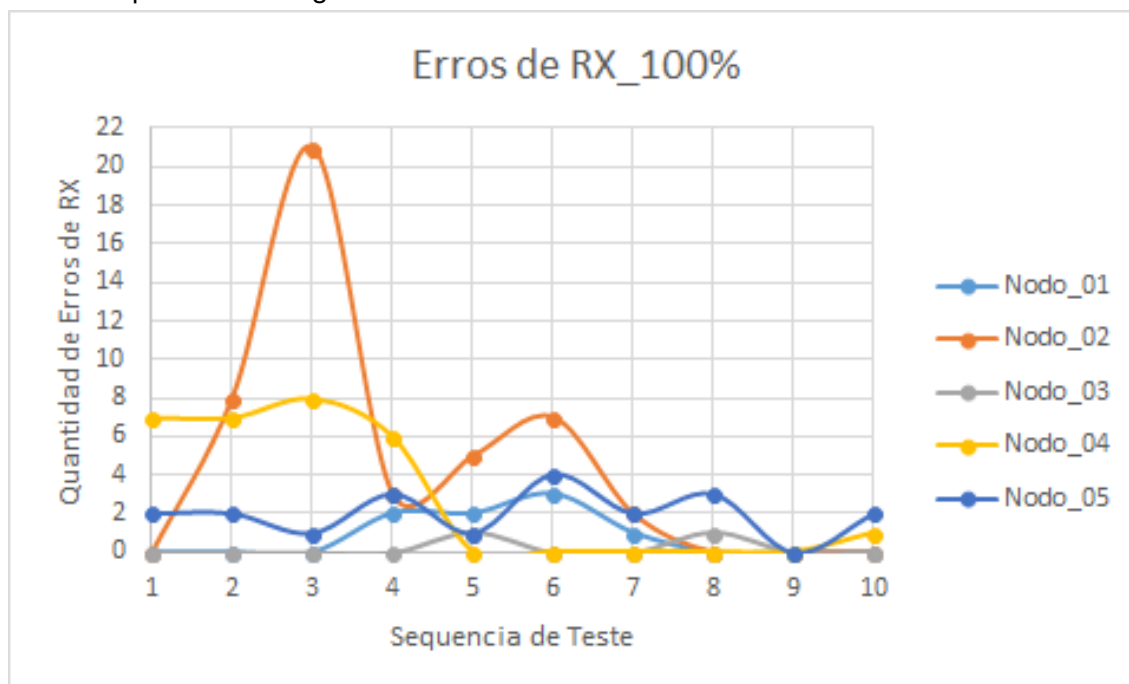
Figura 21 – Gráfico referente a quantidade de pacotes perdidos durante a transmissão para a potência configurada em 25%



Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Concluídos os testes de perda de pacotes na transmissão foram analisados os dados referentes às perdas de pacotes na recepção. Embora a RSSF projetada não possua nenhuma implementação cuja recepção de pacotes seja importante, tal verificação foi feita visando a escalabilidade da rede uma vez que redes com grande número de nós necessitam de dispositivos roteadores para encaminhar os pacotes dos nós mais distantes até o nó Coordenador. Portanto, faz-se necessário garantir que a recepção dos dados não seja prejudicada pela perda na recepção de pacotes. A Figura 22 trás os dados referentes à perda de pacotes na recepção quando os nodos foram configurados com potência de 100%.

Figura 22 – Gráfico referente a quantidade de pacotes perdidos durante a recepção para a potência configurada em 100%

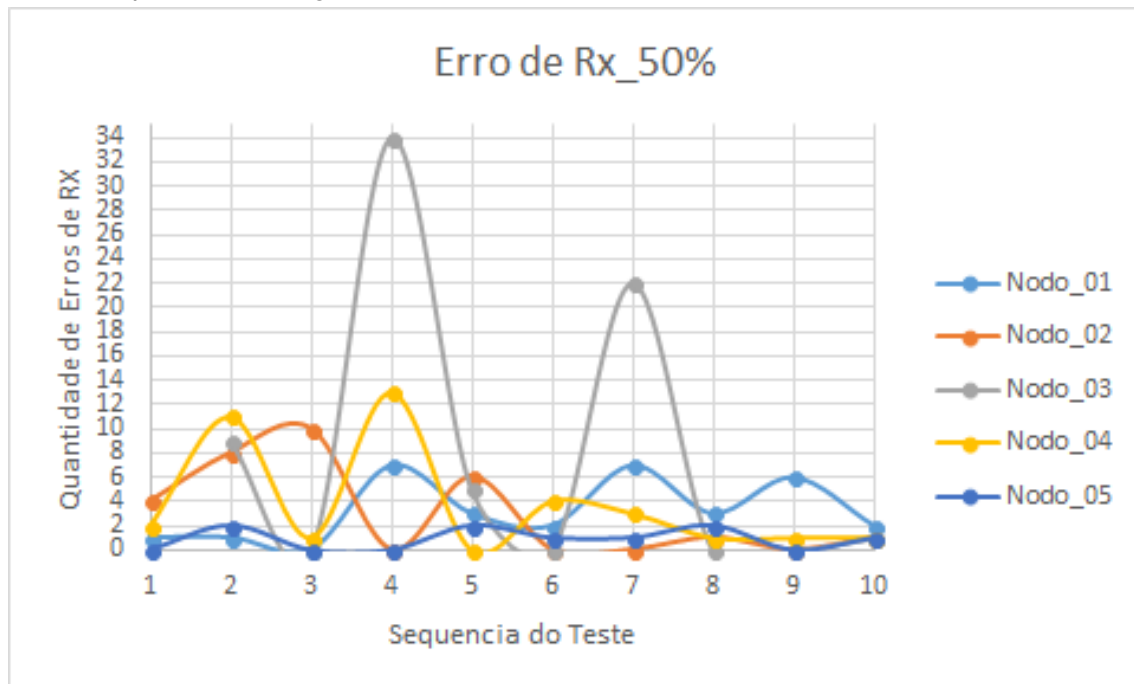


Fonte: autor/PPGET/GDESTE

A interpretação do gráfico de perda de pacotes na recepção para a potência configurada em 100% permite afirmar que três dos cinco nós remotos obtiveram baixa perda de pacotes durante a recepção se comparada com a perda de pacotes na transmissão para essa mesma configuração. O Nodo_03 foi o que apresentou o melhor desempenho uma vez que este só perdeu dois pacotes dentre os mil pacotes recebidos dos dez testes.

O próximo gráfico a ser verificado é o que trata das perdas de pacote na recepção para a potência em 50%. Na Figura 23 vê-se que o número de pacotes perdidos na recepção piorou, apresentando o pior resultado até o momento.

Figura 23 – Gráfico referente a quantidade de pacotes perdidos durante a recepção para a potência configurada em 50%

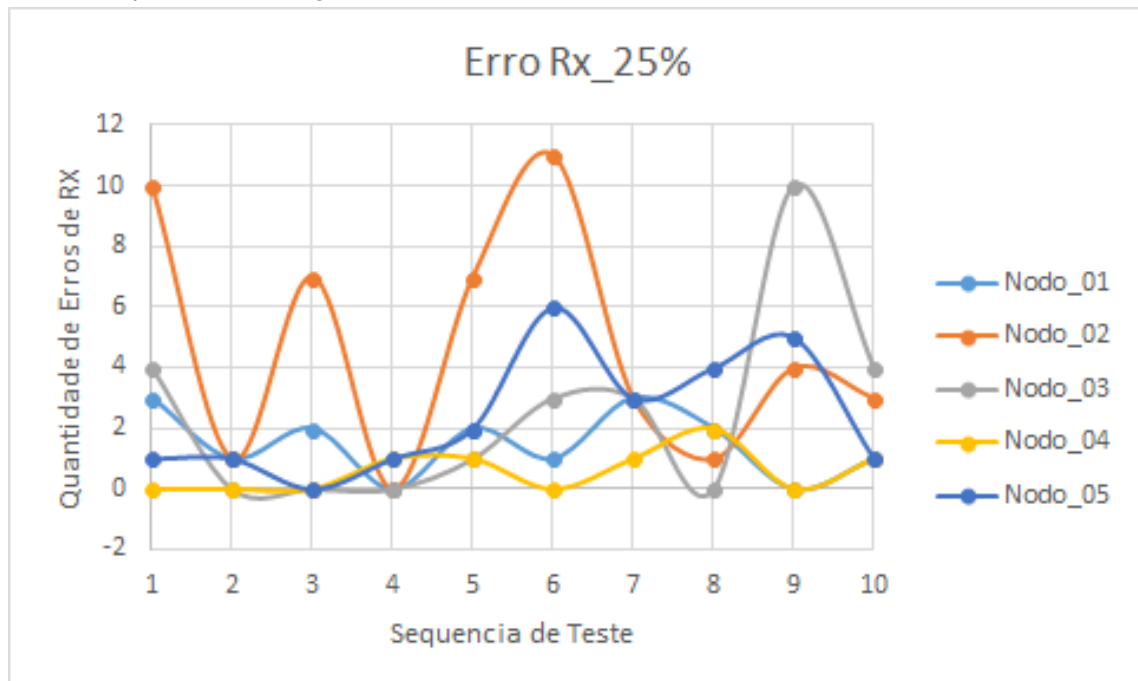


Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Dos mil pacotes enviados durante os dez testes 179 foram perdidos na recepção, o que representa uma perda de 17,9% em relação ao total de pacotes transmitidos, com destaque para o Nodo_03 que sozinho perdeu 71 pacotes, ou seja, 7,1% de todos os pacotes que deveriam ser recebidos.

O último teste de perda de pacotes na recepção deu-se com a potência ajustada para 25%, sendo os resultados exibidos no gráfico da Figura 24. Nele houve uma diminuição considerável do número de pacotes perdidos na recepção, totalizando 117 pacotes, que corresponde a 11,7% do total de pacotes. Neste caso o grande vilão foi o Nodo_02 com 47 pacotes perdidos na recepção. Assim como no Range Test RSSI, a coexistência com outras redes operando na faixa de 2.4 GHz durante a realização dos testes levam a concluir que a diminuição da capacidade de recepção de um rádio faz com que este sofra menos interferências dessas outras redes, diminuindo assim a perda de pacotes.

Figura 24 – Gráfico referente a quantidade de pacotes perdidos durante a recepção para a potência configurada em 25%



Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Diante destas análises pode-se concluir que o nível de potência pode ser levado em consideração não só no que se refere ao consumo energético mas também à perda de pacotes quer seja na transmissão, quer seja na recepção. O importante é determinar as reais necessidades da aplicação e ajustar os níveis de potência em relação ao alcance, ao consumo energético e às perdas de pacotes.

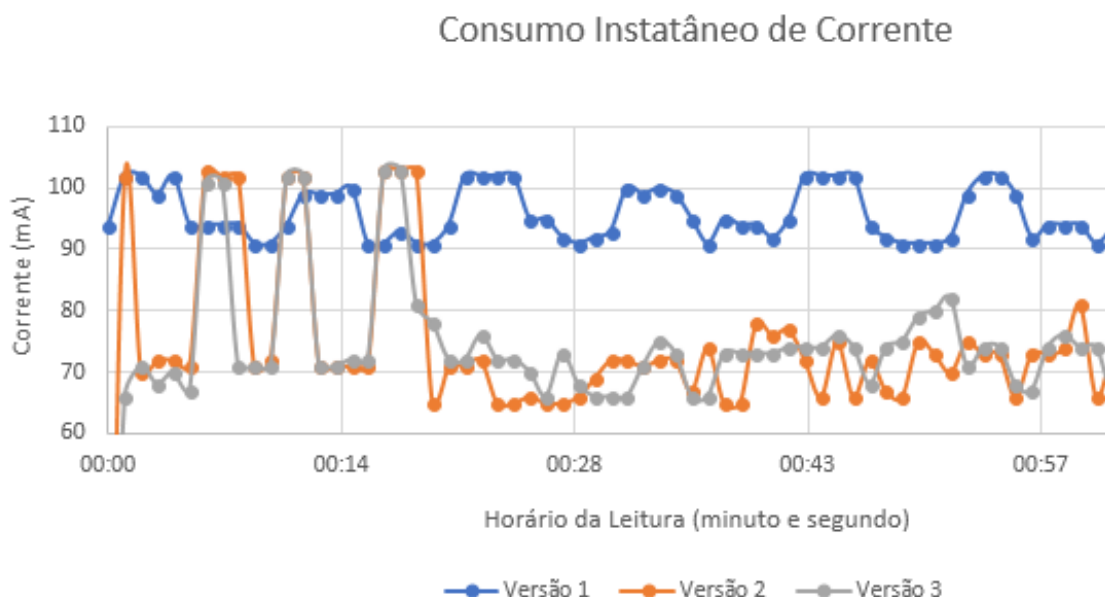
4.3 Consumo Energético

Visando determinar a quantidade de energia necessária ao correto funcionamento dos Nós Sensores, foram realizados testes de consumo energético nos quais um *payload* teve seu tamanho variado e transmitido de forma a determinar o consumo em função do tamanho da mensagem enviada. Durante 10 minutos as mensagens foram transmitidas a intervalos fixos de aproximadamente 1 minuto e a cada segundo deste tempo de medição foram registradas as correntes de alimentação do nó sensor remoto.

Os nós sensores foram alimentados a partir de uma fonte de bancada modelo E3631A da Agilent configurada para fornecer uma tensão contínua de 9 volts com limitação de corrente em 500 mA. A Figura 25 trás o gráfico da corrente instantânea

em função do tempo de transmissão das mensagens nas versões 1, 2 e 3.

Figura 25 – Gráfico referente a corrente instatânea de alimentação do Nó Sensor Remoto durante 1 minuto de transmissão



Fonte: autor/PPGET/GDESTE

O gráfico em azul na Figura 25 representa as leituras de corrente em miliampères das mensagens transmitidas na versão 1. Nesta versão são transmitidos 40 bytes para o envio completo dos parâmetros monitorados, divididos da seguinte forma: 10 Bytes para transmissão dos dados de temperatura e umidade relativa, 11 Bytes para a transmissão da pressão atmosférica, 9 Bytes para envio da detecção de presença de chuva e 10 Bytes para transmissão da umidade do solo. Essa quantidade de informações eleva o consumo energético de forma considerável em comparação com os gráficos em laranja e cinza da mesma Figura, nos quais tem-se a transmissão dos dados nas versões 2 e 3, respectivamente.

A Figura 25 mostra, assim, o comportamento da corrente elétrica de alimentação de um dos nós sensores remotos da RSSF desde o momento que o mesmo é energizado até o regime de funcionamento contínuo. No primeiro instante é possível verificar as oscilações da corrente chegando a valores próximos a 105 mA, quando o nó está ingressando na rede através da funcionalidade de associação dos rádios XBee. Após este período a corrente apresenta uma queda no seu valor de pico, passando a variar menos sendo estes valores diferentes para as versões 2 e 3 das mensagens encaminhadas. Na versão 2 todos os parâmetros monitorados são

agregados em um único *payload* com 15 Bytes que foram transmitidos a intervalos aproximados de 1 minuto. O *payload* da versão 3 possui apenas 9 Bytes e difere da versão 2 por não transmitir os dados de data e hora da leitura, assumindo nesse caso o horário de recebimento da mensagem como sendo a data e hora reais das leituras. Essa metodologia foi adotada em função do atraso entre o envio e a recepção que em laboratório se mostrou irrelevante já que não ultrapassava a casa dos dois segundos. Com o intuito de melhorar o entendimento do consumo de corrente pelo nó sensor remoto foi calculada a potência média durante os dez minutos nos quais o nó foi monitorado assim, aplicando a fórmula para cálculo da potência média, tem-se com maior nitidez a diferença de consumo em cada versão de mensagem transmitida.

$$P_m = \frac{1}{t_n - t_0} \int_{t_0}^{t_n} V(t) \cdot I^2(t) dt, \quad (4.1)$$

Aplicando a Equação 4.1 no nó monitorado tem-se o consumo em termos da potência média conforme mostra a Tabela 8.

Tabela 8: Consumo energético do nó sensor remoto em termos da potência média

Versão	P _m (mW)	-V1(mW)	-V2(mW)
V1	846,97	0,00	-
V2	661,46	185,51	0,00
V3	655,88	191,10	5,59

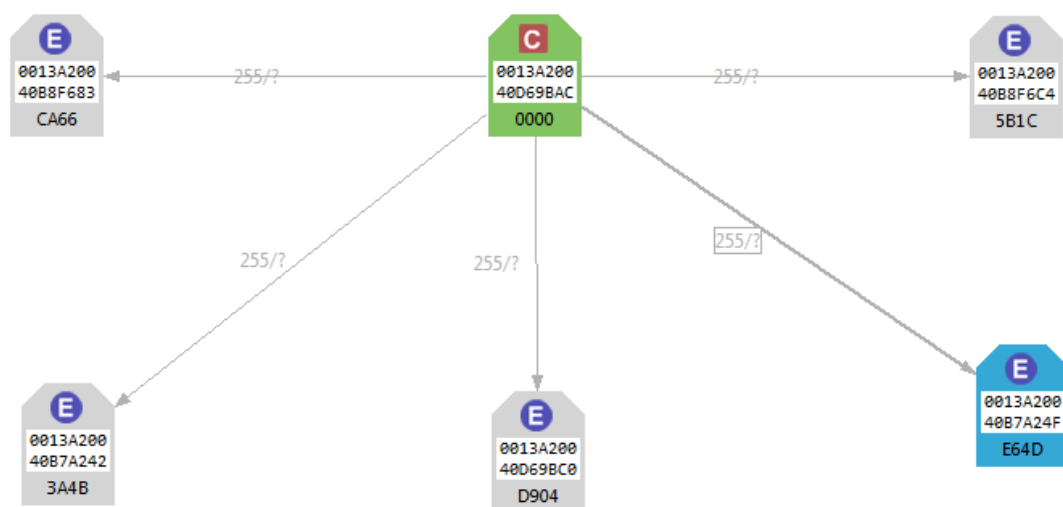
Pela Tabela 8 vê-se que as mensagens transmitidas na Versão 1 geraram um maior consumo energético com uma potência média de 846,97 mW enquanto que as mensagens da Versão 2 demandaram um consumo de 661,46 mW o que representa uma economia de 185,51 mW em relação à Versão 1. Já a transmissão de mensagens na Versão 3 obteve o menor consumo energético valor médio de 655,88 mW resultando em uma economia de 191,10 mW em relação às mensagens transmitidas com a Versão 1 e 5,59 mW se comparada com as transmissões de mensagens na Versão 2, com todas as transmissões realizadas com intervalo aproximado de 1 minuto e tempo total de medição de consumo de 10 minutos.

Desta forma, o dimensionamento da fonte de energia para o nó sensor remoto pode ser determinado a partir da potência média obtida nos testes de energia e do tempo em que o nó sensor permanecerá em operação.

4.4 Coleta de Dados em Laboratório

O último teste realizado em laboratório foi a coleta de dados simulando o funcionamento contínuo da RSSF com duração de 3 dias. Para este teste, a rede foi montada com os cinco nós remotos espalhados pelo laboratório seguindo uma topologia em estrela. A Figura 26 mostra a disposição dos nós sensores remotos e do nó coordenador da rede no laboratório vista pelo software X-CTU.

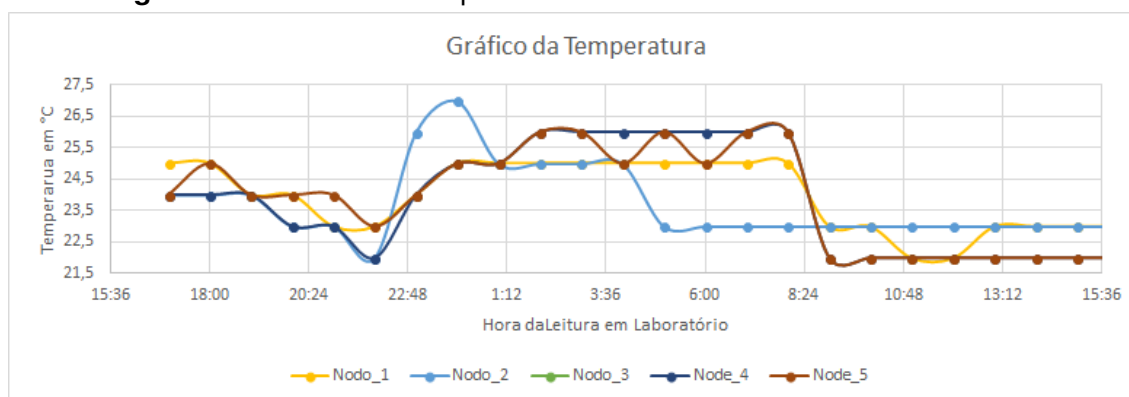
Figura 26 – Disposição da RSSF na topologia Estrela em Laboratório



Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Conforme ilustra essa figura, a rede de sensores sem fio está disposta em uma topologia estrela na qual, todos os nós remotos se comunicam diretamente com o nó coordenador sem necessidade de nós intermediários. Na prática isso acontece pela distância entre os nós remotos e o coordenador ser muito curta uma vez que o *datasheet* do fabricante dos rádios garantem um alcance de até 100 metros em ambientes *outdoors* enquanto que em um teste de alcance obteve-se uma distância de aproximadamente 80 metros.

A Figura 27 trás as leituras de temperatura durante as primeiras 24 horas de monitoramento.

Figura 27 – Gráfico da temperatura ambiente monitorada em laboratório

Fonte: autor/PPGET/GDESTE

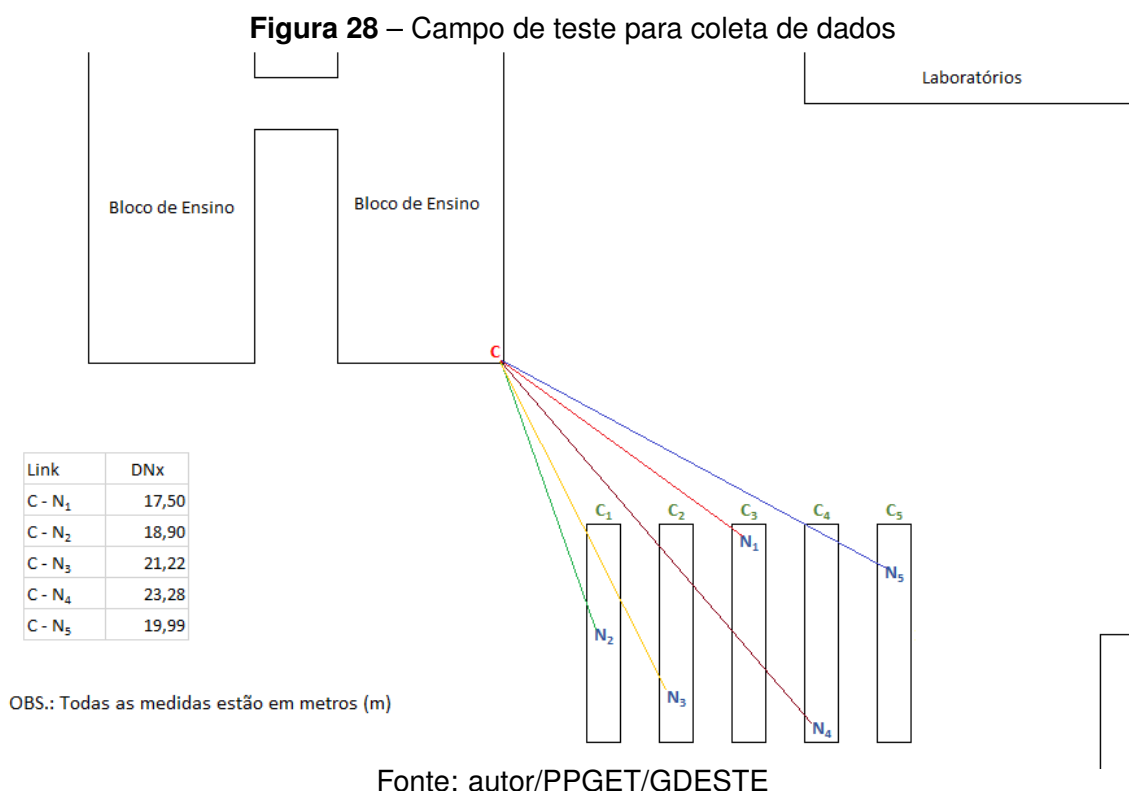
Ela traduz o comportamento do laboratório GDESTE no qual os testes foram realizados. A partir das 22:00 horas a temperatura começa a aumentar, coincidindo com o desligamento do ar condicionado e o fechamento do laboratório quando permanece entre 25 e 27 graus centígrados. Esta condição permanece até às 08:00 horas da manhã do dia seguinte quando o laboratório é reaberto e o ar-condicionado é religado, com as temperaturas variando entre 22°C e 23°C. Algumas oscilações na temperatura são observadas nos horários entre 17:00h e 20:00h mas isso também é fruto da dinâmica do laboratório em função da troca de bolsistas e saídas para lanche quando em consequência destes fatores há o aumento da frequência de abertura e fechamento da porta. Pode-se então concluir que a RSSF proposta está apta a passar por testes em campo uma vez que em laboratório se mostrou consistente com os resultados esperados.

4.5 Coleta de Dados em Campo

Para determinar a viabilidade prática da RSSF proposta bem como identificar possíveis pontos de falha, esta rede foi submetida a um teste de coleta de dados em campo. O cenário escolhido foi o Campus Morada Nova do IFCE, distante 165 Km do Campus de Fortaleza, no qual há uma horta com cinco canteiros no quais estão plantados Coentro, Cebolinha, Couve Manteiga e Cactus, que são irrigados com água proveniente de um sistema de aquicultura que além de fornecer água para irrigação dos canteiros da horta ainda fornece os recursos hídricos para um sistema de aquaponia também existente no campus.

A Figura 28 mostra a localização dos canteiros com os cultivares citados em

relação ao bloco de ensino do Campus Morada Nova. O nó coordenador foi instalado na sala dos professores, localizada no primeiro andar do bloco de ensino enquanto que os cinco nós sensores remotos foram instalados, um em cada canteiro, posicionados de acordo com a Figura 28.

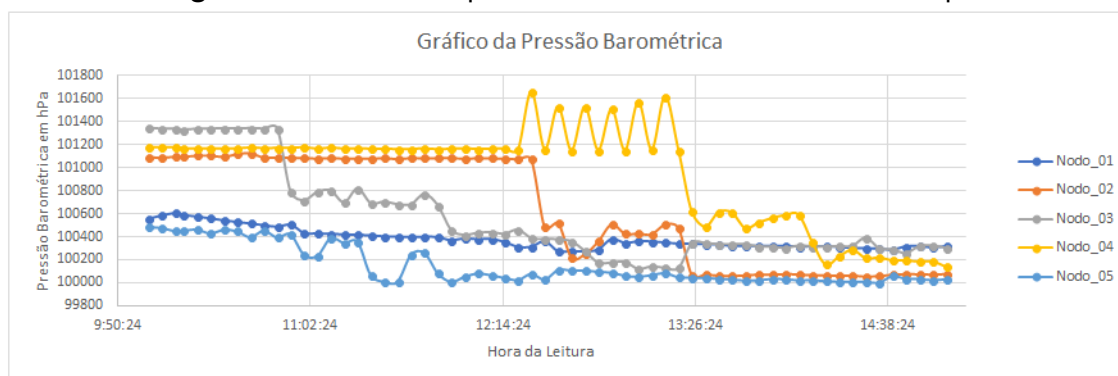


A horta alvo dos testes, é constituída de cinco canteiros identificados na Figura por C_1 , C_2 , C_3 , C_4 e C_5 , tendo cada um a extensão de sete metros de comprimento por sessenta centímetros de largura e 30 centímetros de altura, com espaçamento entre canteiros de setenta centímetros. Os canteiros C_1 a C_3 possuem uma cobertura com tela, de forma a diminuir a incidência dos raios solares nesses canteiros, enquanto que os canteiros C_4 e C_5 são expostos diretamente aos raios solares. Tais dimensões permitem que as distâncias medidas entre os nós sensores remotos e o nó coordenador sejam maiores que as medidas obtidas em laboratório, variando entre 17,50m (ligação entre o Nodo_01 e o Coordenador) e 23,28m (ligação entre o Nodo_04 e o nó Coordenador) ficando ainda bem abaixo das especificações de alcance encontradas no *datasheet* dos rádios XBee S2 da Digi International utilizados neste projeto. Quanto aos cultivares, o canteiro C_1 tem em sua primeira metade uma plantação de Palma e na segunda metade uma plantação de Coentro. O canteiro C_2 é cultivado com Couve Manteiga e Coentro. O canteiro C_4 por sua vez tem o cultivo de Cebolinha e Tomates enquanto que o canteiro C_5 possui em sua totalidade o cultivo

de Cebolinha.

O primeiro problema enfrentado já durante a instalação da RSSF deu-se por conta de mau contato nos cabo de conexão do RTC (Relógio de Tempo Real) com a placa do nó sensor remoto, causando a perda de configuração de data e hora do RTC. Após reconfiguração da data e hora de todos os RTCs, a rede passou a funcionar com a coleta dos dados pelos nó sensores remotos com a devida transmissão para o nó coordenador localizado na sala dos professores no primeiro andar do bloco didático do Campus Morada Nova do IFCE. A Figura 29 exhibe os resultados obtidos das leituras efetuadas.

Figura 29 – Gráfico da pressão atmosférica medida em campo



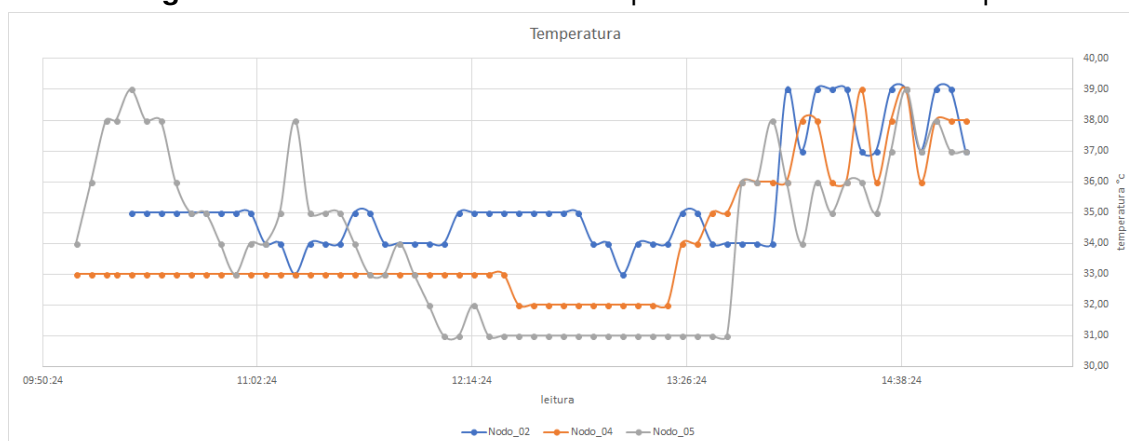
Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Aqui, tem-se o gráfico da pressão barométrica cujo valor decresce à medida que o horário vai passando das 11 horas. com discrepância para o Nodo_04 o qual apresenta uma oscilação para mais nos valores lidos pelo sensor de pressão barométrica. Este comportamento pode ter sido decorrente da alta temperatura a qual o Nodo ficou submetido. Embora a temperatura ambiente nesta ocasião tenha permanecido entre 31 e 32 graus Celsius, a temperatura interna do Nodo atingiu valores elevados que, embora não tenham sido registrados, causaram a deformação da bateria utilizada alimentação do nó sensor. A Figura 30 mostra como ficou a bateria em decorrência da alta temperatura. A substituição da bateria foi efetuada sem o desligamento do nó sensor para não interromper as leituras.

Figura 30 – Bateria utilizada no teste em campo

Fonte: autor/PPGET/GDESTE

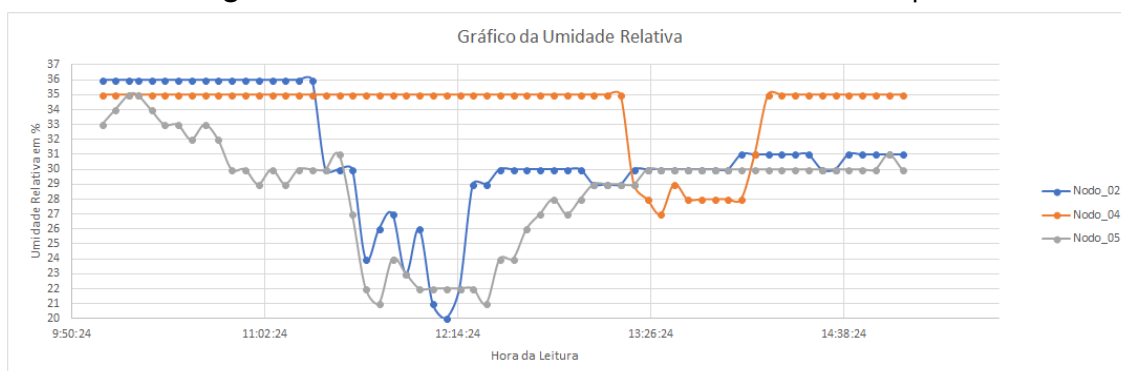
Outras leituras realizadas pela RSSF proposta foram as dos parâmetros de temperatura e umidade relativa do ar. A Figura 31 exibe o gráfico da temperatura entre às 10:00 horas e 15:00 horas quando as leituras foram efetuadas.

Figura 31 – Gráfico dos dados de temperatura coletados em campo

Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Neste gráfico tem-se as informações de temperatura coletadas pelos nós sensores remotos que embora sejam cinco exibe os valores de apenas três nós. Os Nós 01 e 03 não transmitiram os valores referentes à temperatura e umidade relativa do ar, conforme poderá ser visto no gráfico seguinte, devido a problema de mau contato no header da placa de circuito impresso do nó sensor remoto. No Nodo_01 o mau contato impediu a inicialização do sensor de temperatura e umidade relativa DHT11, fazendo com que todas as leituras desses parâmetros ficassem com valor zero. Já o Nodo_03 sofreu uma ruptura do cabo *jump* que interliga o conector circular e o *header* na placa de circuito impresso, também zerando as leituras para esse nó.

Na Figura 32 pode-se observar o comportamento da umidade relativa no Campus Morada Nova durante os testes em campo.

Figura 32 – Gráfico da umidade relativa obtida em campo

Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Conforme mencionado anteriormente, este gráfico não trás as leituras de umidade relativa realizadas pelos Nodos 01 e 03 em função de problemas ocorridos durante os testes. Nele, observa-se que os Nodos 02 e 05 registraram valores de umidade de até 20%, bem menos que os 40% tidos como mínimo recomendado pela OMS mas, traduzindo o comportamento ambiental da região que se caracteriza por clima quente e seco, que nestes testes registrou temperaturas de até 39 graus Celsius e umidade relativa de 20%.

Além dos parâmetros mencionados anteriormente, pressão barométrica, temperatura e umidade relativa, outros dois parâmetros foram monitorados pela RSSF em questão. O primeiro deles foi a detecção de presença de chuva que durante todo o teste não sofreu alteração uma vez que não houve precipitação durante a realização dos testes. O outro parâmetro monitorado foi a umidade do solo que permaneceu sempre úmido em função dos horários de irrigação dos canteiros. Como citado, a horta pertence ao Campus Morada Nova do IFCE em está sendo utilizada para testes de reúso de água da criação de tilápia em cativeiro na agricultura, de forma que não havia como exercer nenhum controle sobre os horários e quantidades de água utilizados na irrigação dos canteiros sob o risco de atrapalhar os testes em andamento neste sentido.

A exibição dos dados recebidos pode ser vista na Figura 33 na qual, temos a tela de um navegador Web com o endereço de *local host* da Raspberry Pi onde a aplicação está rodando. Abaixo da barra de endereços tem-se as logomarcas das instituições envolvidas na pesquisa e que pode ser substituída pelos dados da fazenda ou do agricultor proprietário. Logo abaixo tem-se a denominação da aplicação e por fim os ícones dos parâmetros monitorados distribuídos em uma grade de seis componentes. Da esquerda para a direita, na fila superior tem-se o ícone de temperatura, seguido

do de umidade relativa do ar e por fim o de umidade do solo. Na fila abaixo destes vê-se os ícones de Pressão Barométrica, presença de chuva e fluxo de água. Todos os ícones trazem abaixo de si o nome do parâmetro, o valor ou *status* da última leitura, a data e a hora em que a leitura foi realizada, visualizados um abaixo do outro, proporcionando um visual limpo e de fácil interpretação.

Figura 33 – Interface Gráfica do Usuário com exibição dos parâmetros monitorados pela RSSF.



Ainda no âmbito da exibição dos dados, foram conectados à mesma rede do dispositivo rodando a aplicação da RSSF um *tablet* e um aparelho celular e acessado o endereço de *local host* do dispositivo rodando a aplicação, permitindo a visualização dos dados nestes dispositivos a partir de um navegador web.

Também durante a realização dos testes em campo, houve a apresentação do projeto à turma de alunos do curso Técnico em Informática com a demonstração do funcionamento da rede de sensores sem fio bem como explicação do processo de projeto e implantação de RSSF utilizando ZigBee e a plataforma de desenvolvimento Arduino. A Fig 34 mostra a turma em campo durante a demonstração da RSSF de baixo custo para monitoramento de parâmetros ambientais voltada à agricultura familiar.

Figura 34 – Turma de alunos do curso Técnico em Informática -IFCE Campus Morada Nova

Fonte: autor/PPGET/GDESTE

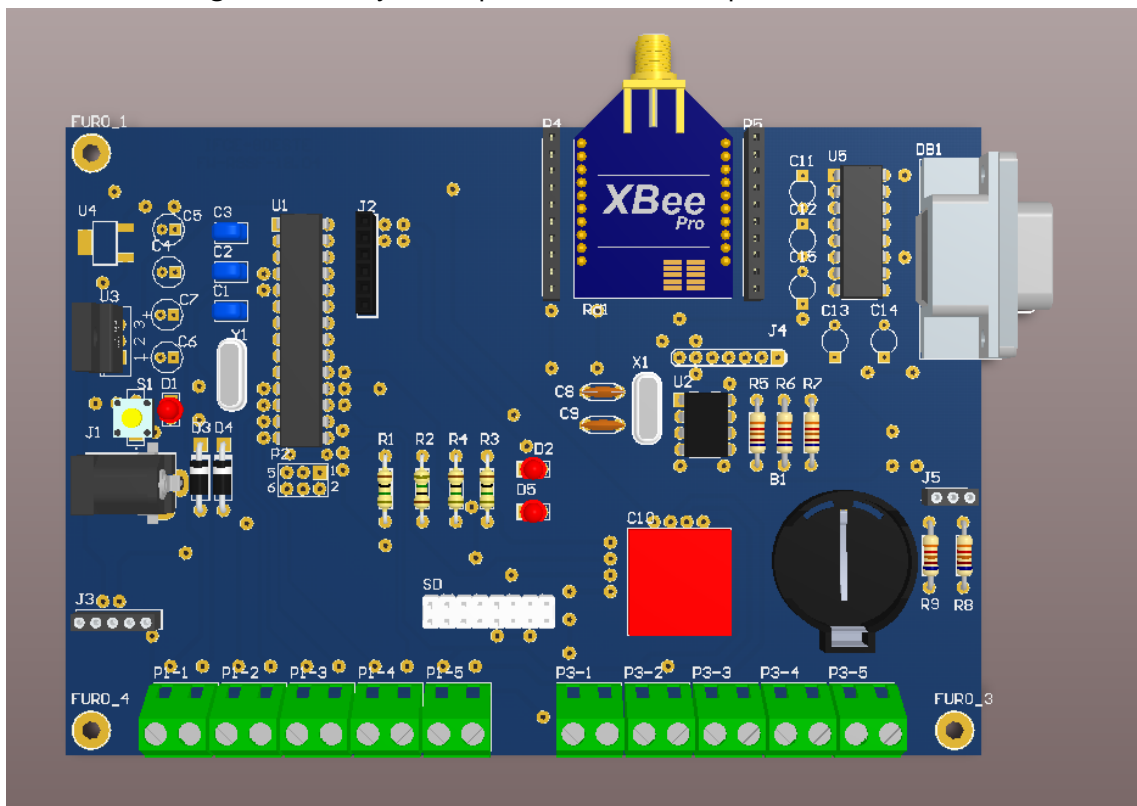
Embora tenham ocorrido problemas que impossibilitaram a leitura de alguns parâmetros por parte de alguns nós sensores remotos, tais problemas não impediram o funcionamento da rede como um todo, de forma que sendo sanados esses problemas a rede passará a apresentar informações mais precisas do ambiente como um todo, o que permitirá a uma tomada de decisão mais acertada em função do completo funcionamento de todos os nós sensores, com um baixo custo de investimento.

Diante da necessidade de resolução dos problemas citados foi desenvolvida uma nova placa de circuito impresso que contemplasse a inclusão de um RTC, baseado no C.I. DS1307, afim de sanar os problemas decorrentes com a perda de configuração dos módulos utilizados uma vez que, o não funcionamento do módulo RTC trava o nó sensor remoto por não poder realizar a identificação de data e hora das leituras realizadas.

Na Figura 35. pode-se ver o novo *layout* da PCI para os nós sensores remotos na qual tem-se além da inclusão do RTC, a substituição dos bornes de conexões, tipo *header* anteriormente utilizados, por bornes tipo KRE que melhoram a conexão garantindo um contato mais seguro e livre de mau contato. Também foi incluído nesta versão um conector DB9 para *debug* e ou configuração do RTC. Assim como nos módulos utilizados, foi incorporada uma bateria de lítio-íon modelo CR2032 para garantir a programação do relógio mesmo quando o nó sensor remoto não estiver

energizado.

Figura 35 – Layout da placa de circuito impresso modificada



Fonte: autor/PPGET/GDESTE

Durante o desenvolvimento deste novo *layout* procurou-se manter as dimensões máximas de forma a utilizar a mesma caixa na qual a placa anterior foi acomodada, evitando a perda de material e tempo na elaboração de uma nova solução bem como a redução dos custos com o novo *layout*.

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A partir do estudo bibliográfico foi observado que os parâmetros de temperatura e umidade tanto do solo quanto do ar são os mais pesquisados e utilizados quando se trata de monitoramento de parâmetros ambientais voltados para a agricultura, sendo assim definidos como os parâmetros alvos deste trabalho. Além destes parâmetros também foram acrescentados os parâmetros de pressão atmosférica e detecção de presença de chuva como configuração final do escopo do nó sensor remoto.

Além dos sensores escolhidos, também foi definida a utilização de painéis solares e baterias recarregáveis como fonte de alimentação dos nós sensores remoto visando maior autonomia do sistema, além da utilização de armazenamento local em cartão SD como forma de *backup* das informações transmitidas, com registro de data e hora das leitura através da utilização de relógio de tempo real.

Os resultados dos estudos realizados mostram a viabilidade da utilização de rede de sensores sem fio para a agricultura familiar por ser de baixo custo, de simples implementação uma vez que os dispositivos constituintes da rede já estão previamente configurados bastando para isto a instalação nos locais desejados, tendo como restrição a distancia entres os nós sensores remotos e o nó coordenador como critério para avaliação destes locais durante a instalação. Os resultados demonstram ainda que a rede testada é confiável tanto no que se refere à transmissão, quanto ao armazenamento e visualização dos dados, permitindo ao pequeno agricultor uma tomada de decisão baseada não somente na experiência mas também em dados técnicos reais.

5.1 Trabalhos Futuros

Como possíveis trabalhos futuros pode-se apontar:

- Implementação de um controle para automação de irrigação a partir dos dados

da RSSF.

- Melhoria da interface gráfica com opção de agrupamento de sensores ou divisão do terreno monitorado em áreas distintas.
- Implementar no sistema de monitoramento as configurações de umidade do solo para as diversas culturas da agricultura familiar possibilitando novas configurações por parte do agricultor familiar de forma simples e inequívoca.
- Implementação da rede de sensores sem fio para agricultura utilizando a tecnologia LoRa para a comunicação dos dados.
- Implementação de alarmes de falhas no sistema de monitoramento da RSSF.

Referências Bibliográficas

ABBASI, Abu Zafar; ISLAM, Noman; SHAIKH, Zubair Ahmed *et al.* A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. **Computer Standards & Interfaces**, Elsevier, v. 36, n. 2, p. 263–270, 2014.

ADEBAYO, S; AKINWUNMI, AO; AWORINDE, HO; OGUNTI, EO. Increasing agricultural productivity in nigeria using wireless sensor network (wsn). **African Journal of Computing & ICT**, v. 8, n. 3, 2015.

AKYILDIZ, Ian F.; VURAN, Mehmet Can. **Wireless Sensor Networks**. 1st. ed. [S.l.]: John Wiley Sons Ltd., 2010. ISBN 9780470036013.

AWASTHI, Anjum; REDDY, SRN. Monitoring for precision agriculture using wireless sensor network-a review. **Global Journal of Computer Science and Technology**, Global Journals Inc., v. 13, n. 7, p. 22–28, 2013.

AWATI, JS; PATIL, VS; AWATI, SB. Application of wireless sensor networks for agriculture parameters. **International Journal of Agriculture Sciences**, Bioinfo Publications, v. 4, n. 3, p. 213, 2012.

BERNARDI, Alberto Carlos de Campos; NAIME, João Mendonça; RESENDE, Álvaro Vilela de; BASSOI, Luís Henrique; INAMASU, Ricardo Yassushi. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. 1. ed. [S.l.]: EMBRAPA, 2014. ISBN 9788570353528.

BRASIL. Lei n. 11.326 de 24 de jul de 2006. **Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais**, jul. 2006.

CARVALHO, Fabrício Braga S de; LEAL, Brauliro G; FILHO, José Valentim dos S; BAIOCCHI, Orlando R; LOPES, Waslon TA; ALENCAR, Marcelo S de. Aplicacoes ambientais de redes de sensores sem fio. **Revista de tecnologia da informação e comunicação**, v. 2, n. 1, p. 14–19, 2012.

CHAKANE, Shital; CHASKAR, Harshada; PATIL, Pranali; SHELAR, Pradnya; GODSE, PDDA. Automated information system for improved crop management. **International Journal of Agriculture Innovations and Research**, v. 5, n. 5, 2017.

CHAUDHARI, Manohar S; JAISWAL, Rahul; BIRHADE, Chandrakant; BHAPKAR, Vishal. Wireless sensor network as a tool for supporting agriculture in the precision irrigation. **Int. J. Adv. Res. Comput. Commun. Eng**, v. 4, n. 2, p. 311–314, 2015.

CHAUDHARY, DD; NAYSE, SP; WAGHMARE, LM. Application of wireless sensor networks for greenhouse parameter control in precision agriculture. **International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)** Vol, v. 3, n. 1, p. 140–149, 2011.

COATES, Robert W; DELWICHE, Michael J; BROAD, Alan; HOLLER, Mark. Wireless sensor network with irrigation valve control. **Computers and electronics in agriculture**, Elsevier, v. 96, p. 13–22, 2013.

FALUDI, Robert. **Building Wireless Sensor Networks: With ZigBee, XBee, Arduino, and Processing**. 1st. ed. [S.l.]: O'Reilly Media, Inc., 2010. ISBN 0596807732, 9780596807733.

FERNANDES, Miguel A; MATOS, Samuel G; PERES, Emanuel; CUNHA, Carlos R; LÓPEZ, Juan A; FERREIRA, PJSG; REIS, MJCS; MORAIS, Raul. A framework for wireless sensor networks management for precision viticulture and agriculture based on ieee 1451 standard. **Computers and Electronics in Agriculture**, Elsevier, v. 95, p. 19–30, 2013.

GDESTE, Grupo de Desenvolvimento de Sistemas de Telecomunicações e Sistemas Embarcados. **Portifólio de Atividades 2011/2015 - GDESTE**. Av. 13 de Maio, 2180 - Benfica - Fortaleza, CE., 2016.

GONDCHAWAR, Nikesh; KAWITKAR, Dr. R. S. Smart agriculture using iot and wsn based modern technologies. **International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering**, v. 4, n. 6, p. 1270–1276, 2016.

HUSSAIN, Rashid; SAHGAL, JL; MISHRA, Purvi; SHARMA, Babita. Application of wsn in rural development, agriculture water management. **International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)**, v. 2, n. 5, p. 2231–2307, 2012.

HWANG, Jeonghwan; SHIN, Changsun; YOE, Hyun. Study on an agricultural environment monitoring server system using wireless sensor networks. **Sensors**, Molecular Diversity Preservation International, v. 10, n. 12, p. 11189–11211, 2010.

IFCE, Campus Morada Nova. **O Campus - Apresentação**. 2018. Disponível em: <https://ifce.edu.br/moradanova/campus_morada/o-campus/>. Acesso em: 12/07/2018.

KARL, Holger; WILLIG, Andreas. **Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks**. Wiley Sons, 2007. ISBN 9780470519233. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=170R-1aZsQYC>>.

KIM, Yunseop; EVANS, Robert G; IVERSEN, William M. Remote sensing and control of an irrigation system using a distributed wireless sensor network. **IEEE transactions on instrumentation and measurement**, IEEE, v. 57, n. 7, p. 1379–1387, 2008.

KR, Anusha P Dr Shobha. Design and implementation of wireless sensor network for precision agriculture. **International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS)**, v. 1, n. 4, p. 521–527, 2015.

KUBICEK, Petr; KOZEL, Jiri; STAMPACH, Radim; LUKAS, Vojtech. Prototyping the visualization of geographic and sensor data for agriculture. **Computers and electronics in agriculture**, Elsevier, v. 97, p. 83–91, 2013.

MAFUTA, Million; ZENNARO, Marco; BAGULA, Antoine; AULT, Graham; GOMBACHIKA, Harry; CHADZA, Timothy. Successful deployment of a wireless sensor network for precision agriculture in malawi. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 9, n. 5, p. 150703, 2013.

MORE, Mr Sunil N; NIGHOT, Mr Mininath. A review of wireless sensor network for agriculture. **International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication**, v. 4, n. 6, p. 110–113, 2016.

MORIDI, Mohammad Ali; KAWAMURA, Youhei; SHARIFZADEH, Mostafa; CHANDA, Emmanuel Knox; WAGNER, Markus; JANG, Hyongdoo; OKAWA, Hirokazu. Development of underground mine monitoring and communication system integrated zigbee and gis. **International Journal of Mining Science and Technology**, Elsevier, v. 25, n. 5, p. 811–818, 2015.

NABI, Firasath; JAMWAL, Sanjay. Wireless sensor networks and monitoring of environmental parameters in precision agriculture. **International Journal**, v. 7, n. 5, 2017.

NAVARRO-HELLÍN, Honorio; TORRES-SÁNCHEZ, Roque; SOTO-VALLES, Fulgencio; ALBALADEJO-PÉREZ, Cristina; LÓPEZ-RIQUELME, Juan Antonio; DOMINGO-MIGUEL, Rafael. A wireless sensors architecture for efficient irrigation water management. **Agricultural Water Management**, Elsevier, v. 151, p. 64–74, 2015.

NIKOLIDAKIS, Stefanos A; KANDRIS, Dionisis; VERGADOS, Dimitrios D; DOULIGERIS, Christos. Energy efficient automated control of irrigation in agriculture by using wireless sensor networks. **Computers and Electronics in Agriculture**, Elsevier, v. 113, p. 154–163, 2015.

OJHA, Tamoghna; MISRA, Sudip; RAGHUWANSHI, Narendra Singh. Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. **Computers and Electronics in Agriculture**, Elsevier, v. 118, p. 66–84, 2015.

OJHA, Tamoghna; MISRA, Sudip; RAGHUWANSHI, Narendra Singh. Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 118, p. 66–84, 2015.

P, Joshi P; S, Kanade S; P, Joshi S. Wireless sensor network for crop field monitoring. **IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering**, v. 12, n. 1, p. 23–28, 2017.

PALMA, D; BENCINI, Luca; COLLODI, Giovanni; MANES, Gianfranco; CHITI, Francesco; FANTACCI, Romano; MANES, Antonio. Distributed monitoring systems for agriculture based on wireless sensor network technology. **International Journal on Advances in Networks and Services**, Citeseer, v. 3, n. 1, 2010.

PEREIRA, Paulo Henrique Cruz; COLOMBO, Alberto; ALENCAR, Marcelo Sampaio de; RABELO, Giovanni Francisco; LOPES, Waslon. Agricultura de precisao com rede de sensores sem fio. **Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação**, v. 4, n. 2, p. 19–27, 2014.

ROCCIA, Clerivaldo; TERUEL, Bárbara; ALVES, Elaine C de S; ARNOLD, Francisco; BRAVO-ROGER, Leonardo; MORETTI, Angelo; GONÇALVES, Marcos S. Experimental evaluation of the performance of a wireless sensor network in agricultural environments. **Engenharia Agrícola**, SciELO Brasil, v. 32, n. 6, p. 1165–1175, 2012.

RODRIGUES, Amnom Amoglia. **IRRIGBLUE: MÓDULO DE CONTROLE E APLICATIVO ANDROID PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2016.

SEAD, Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário. **Agricultura familiar do Brasil é 8ª maior produtora de alimentos do mundo**. 2018. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/sitemda/noticias/agricultura-familiar-do-brasil-é-8ª-maior-produtora-de-alimentos-do-mundo>>.

SRBINOVSKA, M.; GAVROSKI, C.; DIMCEV, V.; KRKOLEVA, A.; BOROZAN, V. Environmental parameters monitoring in precision agriculture using wireless sensor networkss. **Journal of Cleaner Production**, 2014.

SRBINOVSKA, Mare; GAVROVSKI, Cvetan; DIMCEV, Vladimir; KRKOLEVA, Aleksandra; BOROZAN, Vesna. Environmental parameters monitoring in precision agriculture using wireless sensor networks. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 88, p. 297–307, 2015.

VIDAL, Déa de Lima; SANTOS, Daniel Paraguay Alves dos. Realidade territorial de unidades familiares no semiárido brasileiro. **Tempo Social, Revista de Sociologia da USP**, v. 28, n. 1, p. 55 – 83, 2016. ISSN 0370-1573. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/ts/issue/view/8134>>.

VISPUTE, Pankaj Govindrao; KAWITKAR, Dr RS. Matlab implementation of wireless sensor network (wsn) in precision agriculture in rural india. **International Journal of Engineering Research Technology (IJERT)**, v. 1, n. 4, 2012.

YU, Xiaoqing; WU, Pute; HAN, Wenting; ZHANG, Zenglin. Overview of wireless underground sensor networks for agriculture. **African journal of biotechnology**, Academic Journals (Kenya), v. 11, n. 17, p. 3942–3948, 2012.

ZULKIFLI, CZ; NOOR, NN. Wireless sensor network and internet of things (iot) solution in agriculture. **Pertanika Journal of Science & Technology**, v. 25, n. 1, 2017.