

Validação de uma rede de sensores sem fio aplicada à fruticultura irrigada do vale do São Francisco**Validation of a wireless sensor network applied to the irrigated fruitculture of the valley of São Francisco**

DOI:10.34115/basrv4n5-002

Recebimento dos originais: 04/08/2020

Aceitação para publicação: 03/09/2020

Alexandre José Ferreira Neves Cavalcanti

Graduação em andamento em Licenciatura em Computação

Instituição: IFSERTAO-PE

Endereço: Rua Maria Luiza de Araújo Gomes Cabral, S/N, João de Deus Petrolina/PE - Brasil

E-mail:ajfnc@hotmail.com

Felipe Pinheiro Correia

Doutorando em Engenharia Elétrica

Instituição: UFBA

Endereço: Rua Prof. Aristides Novis, 02, Federação- Salvador

E-mail:felipe.correia@ifsertao-pe.edu.br

Josilene Almeida Brito

Doutora em Ciências da Computação

Instituição: IFSERTAO-PE

Endereço: Rua Maria Luiza de Araújo Gomes Cabral, S/N, João de Deus Petrolina/PE - Brasil

E-mail:josilene.brito@ifsertao-pe.edu.br

RESUMO

O aumento populacional e a crescente demanda por alimentos, promove proporcionalmente um aumento da produtividade, das áreas de plantio e conseqüentemente, o crescimento de áreas irrigadas, produzindo um alto consumo de água e em alguns casos, desperdício pela falta de uma agricultura de precisão. Desta forma, com os atuais avanços tecnológicos das redes de sensores sem fio é possível utilizar essa tecnologia em diversas aplicações na área agrícola, visando potencializar a redução custos, manutenção e aumento da produtividade agrícola. Neste contexto, a pesquisa teve como objetivo desenvolver e validar a aplicação da uma rede de sensores sem fio RSSF para monitoramento remoto de umidade de solo em plantações de fruticultura irrigada, em uma estação terrestre por meio de comunicação sem fio para controle de irrigação de precisão. Para tanto, modelou um experimento baseado nos achados da literatura, compreendendo inicialmente testes em laboratório para identificação, calibração dos recursos da RSSF para em seguida, a testagem em campo numa plantação de Fruticultura irrigada, onde permitiu o posicionamento e configuração dos dispositivos, do software para verificação, inicialização da coleda de dados por meio da RSSF. Os resultados obtidos com o experimento evidenciaram valores positivos de robustez no modelo para aplicação nas culturas de Fruticultura irrigada da região do São Francisco.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão, RSSF, dados, irrigação.**ABSTRACT**

The population increase and the growing demand for food, proportionally promotes an increase in

productivity, in the planting areas and, consequently, the addition of irrigated areas, producing a high consumption of water and in some cases, dismissal due to the lack of precision agriculture. In this way, with the current technological advances in the wireless sensor resources, it is possible to use this technology in several applications in the agricultural area, aiming to enhance the cost reduction, maintenance and increase of agricultural productivity. In this context, the research aimed to develop and validate the application of a wireless sensor network RSSF for remote monitoring of soil moisture in irrigated fruit plantations, in a land station through wireless communication for precision irrigation control. . To this end, he modeled an experiment based on the findings of the literature, initially comprising laboratory tests for identification, calibration of the resources of the RSSF and then field testing in an irrigated Fruit plantation, where he allowed the positioning and configuration of the devices, the software for verification, initialization of data collection through the RSSF. The results obtained with the experiment showed positive values of robustness in the model for application in irrigated fruit crops in the São Francisco region.

Keywords: Precision Agriculture, WSN, data, irrigation..

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial e a possibilidade de escassez d'água estão exigindo uma melhor eficiência na produção agrícola dos países. O desperdício de água no processo de irrigação sem controle adequado é um problema que pode ser resolvido com a utilização das Redes de Sensores sem Fio – RSSF, que podem propiciar o gerenciamento dos recursos hídricos e aumentar a produtividade da fruticultura irrigada, a partir da coleta de dados sobre a umidade do solo em tempo real, fazendo um mapeamento da umidade da área de plantio, indicando os locais com níveis de umidade abaixo do estabelecido, em m³/hectare, especificado para um determinado plantio e período do ano.

A integração de tecnologias de informação e controle nos processos agrícolas é conhecida como Agricultura de Precisão (PA). Para obter a maior otimização e lucratividade, a PA adapta técnicas agrícolas comuns às condições específicas de cada ponto da cultura, aplicando diferentes tecnologias: sistemas microeletromecânicos, RSSF, sistemas de computadores e máquinas aprimoradas (GEBBERS, 2010). A aplicação correta desse método garante resultados satisfatórios (MULLA, 2013).

Redes de sensores sem fio fornecem monitoramento, aquisição e armazenamento de vários parâmetros medidos. O dado armazenado pode ser aplicado na formulação de estratégias de controle e otimização da produção agrícola (KRISTOFFER et al., 2016).

Contudo, os crescentes custos da irrigação aliados à maior produção agrícola justificam a utilização da tecnologia RSSF, bem como o seu reduzido custo de implantação e manutenção. De acordo com a pesquisa de (IBRAHIM et al., 2015), os testes mostraram que em comparação com irrigação periódica, a irrigação automática, que utiliza redes de sensores de fio, tem uma economia considerável, dependendo da cultura.

Neste contexto, de acordo com (CAMPECHE, 2019), o grande desafio da Agricultura de Precisão é a comunicação da grande quantidade de dados obtidos no campo. Esses tipos de redes podem ser

utilizados em um grande conjunto de aplicações, como por exemplo no monitoramento ambiental para agricultura irrigada por exemplo.

A aplicação da agricultura de precisão tem se mostrado uma estratégia adequada para aumentar a produtividade, permitindo o uso racional de insumos e reduzindo os impactos ambientais causados pelas praticas agrícolas. Atualmente, os insumos são utilizados de forma variável, visando atender as necessidades específicas de cada localidade, otimizando o processo produtivo. Entretanto, é necessário caracterizar a variabilidade dos atributos químicos e físicos do solo por meio de uma amostragem representativa de tais variações [Costa et al. 2014].

Gradativamente a agricultura de precisão vem sendo aplicada de fato no campo através do potencial de uso das RSSF. Sua aplicação promove um papel importante em atividades de monitoramento do clima e do ambiente, com um poder maior de detecção de pragas, irrigação, análise de solo e disponibilizando mapas de produtividade em tempo real.

Sendo assim, com o desenvolvimento de rede de sensores sem fio – RSSF para monitoramento de umidade de solo de áreas externas a partir de uma eficiente comunicação sem fio, com baixo custo de energia, eventualmente, tem-se um importante recurso tecnológico para melhoria dos processos na agricultura de precisão, onde as informações coletadas em tempo real, podem reduzir consideravelmente o desperdício de água utilizado na irrigação convencional.

A aplicação das RSSF nas culturas de fruticultura irrigada da região do São Francisco pode representar uma importante ferramenta para o agricultor elevar a eficiência na sua produção, reduzir o desperdício de água e manter a competitividade com a exportação. Neste contexto, a pesquisa teve como objetivo desenvolver e validar a aplicação de uma rede de sensores sem fio RSSF para monitoramento remoto de umidade de solo em plantações de fruticultura irrigada, numa estação terrestre por meio de comunicação sem fio para controle de irrigação de precisão.

2 DISCUSSÃO TEÓRICA

Em 2003 a National Science Foundation dos Estados Unidos apontou que as RSSFs são uma das seis áreas principais de pesquisa em rede, e a Sociedade Brasileira de Computação (SBC) indicou que essas redes são os maiores desafios em Computação atualmente (LOUREIRO, 2011).

2.1 REDE DE SENSORES SEM FIO

Uma rede de sensores monitora uma série de grandezas como: umidade, velocidade do vento, temperatura, intensidade luminosa, pressão, vibração, distância, direção, vazão e atividade sísmica dentre outras (NAYAK, 2010). Uma RSSF é formada por nós sensores interligados por conexão via

rádio a um nó sorvedouro (sink node). Os nós sensores são responsáveis por obter e processar os dados do meio, o qual eles estão inseridos e enviá-los para uma estação central, que por sua vez agrupa e trata estes dados, gerenciando e controlando a manipulação de dados (SOUSA, 2011).

O Brasil é um dos principais produtores agrícolas do mundo, tendo a agricultura como uma das principais atividades econômica e o carro chefe das suas exportações.

2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A Agricultura de Precisão é um sistema integrador de informações e tecnologias, que visa tratar as variáveis dos fatores espaço e tempo da agricultura para melhorar o rendimento dos cultivos, visando um gerenciamento mais detalhado do sistema de produção agrícola como um todo (EMBRAPA, 2018).

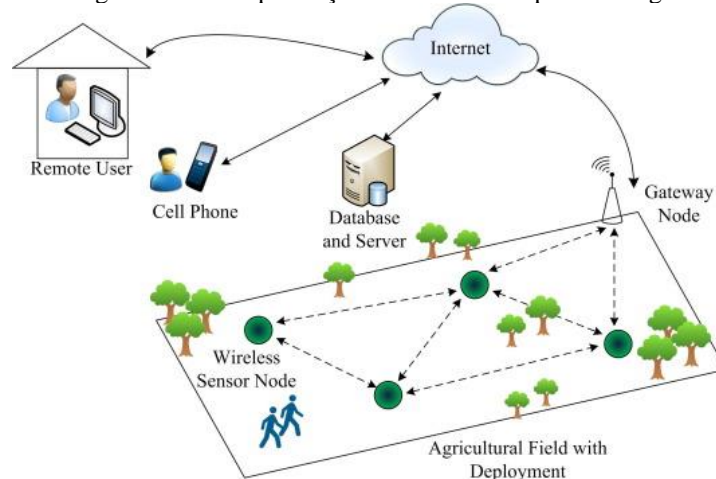
As RSSFs são extremamente adequadas para uso na Agricultura de Precisão, principalmente no Brasil, onde se tem uma das maiores áreas cultivadas, irrigáveis e de elevado potencial de aproveitamento pela agricultura.

O emprego de uma RSSF numa plantação, para monitorar variáveis como mapeamento de solo, de plantas, condições climáticas, temperatura, pressão, umidade do solo, nível de radiação solar dentre outros parâmetros (BOGENA, 2010), têm resultado na otimização de insumos, redução de custos e diminuído o impacto ao meio ambiente (EMBRAPA, 2018), vem ganhando inúmeros artigos científicos, projetos acadêmicos e aplicações práticas.

Um exemplo de RSSFs aplicadas na agricultura de precisão, como o projeto Lofar Agro (BAGGIO, 2005), desenvolvido para monitorar microclimas na plantação de batatas, medindo luminosidade, pressão do ar, precipitação, força e direção do vento, com a finalidade de combater a phytophthora, onde a umidade é fator importante no desenvolvimento da doença.

O protocolo ZigBee é muito utilizado em vários trabalhos como em (ALI, 2010) que é apresentado como um sistema de controle de irrigação de plantações, onde todo o hardware foi todo desenvolvido. Já em (KESHTGARI e DELJOO, 2012) o controle de águas agrícolas através de monitoração de umidade, temperatura e iluminação é feito por framework. A Figura 1 mostra a topologia típica de uma RSSF utilizada na Agricultura de Precisão.

Figura 1: Diagrama de exemplificação de uma RSSF aplicada à agricultura.



Fonte: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169915002379>

2.3 SENSORIAMENTO DE UMIDADE APLICADO À IRRIGAÇÃO

Os modelos climáticos e de predição devem levar em consideração a evolução espaço-temporal da umidade do solo no monitoramento da vegetação. Neste contexto, o mapeamento da umidade do solo pode ser utilizado como ferramenta em várias aplicações, como nos estudos de mudanças climáticas globais, principalmente no estudo da desertificação e da preservação dos organismos vivos sensíveis à umidade do solo, temperatura e luminosidade (MIN-HUI, 2011). A lida da coleta destes dados é geralmente feita através da visita semanal, mensal ou de tempos em tempos de um técnico que obtém poucas amostras espaciais. Sendo este processo muito trabalhoso e impreciso, pois não é obtido a variação temporal e espacial em uma escala razoável. Além de estas visitas perturbarem o habitat, podendo alterar o resultado.

A Agricultura de Precisão visa o gerenciamento avançado de nutrientes, otimizando o uso eficiente pelas plantas, além de minimizar os efeitos ambientais indesejáveis. Estas ferramentas trazem precisão para os sistemas de irrigação ao controlar a umidade do solo, onde os nós sensores interagindo com o microcontrolador, aliados à base de dados de nutrientes, irão determinar a melhor configuração de irrigação em menores zonas e quantidade de água (CANO, 2012).

É de suma importância a avaliação de desempenho da RSSF para se estabelecer o tempo médio de vida da rede, o seu custo de implantação e sua manutenção, sendo os mais importantes o tempo de descarga de bateria, o alcance, a taxa de perda de pacotes e a qualidade do sinal entre os nós.

2.4 TEMPO DE DESCARGA DE BATERIA E REDUÇÃO DE CONSUMO

Pela própria natureza das aplicações de RSSFs seus nós são colocados em locais remotos e de difícil acesso, dificultando a manutenção destes. Quando não é possível a utilização de painéis solares,

são usadas baterias que descarregam com o tempo e com as atividades transmissão de dados e de excitação dos sensores do nó. Como a manutenção é muito custosa e demorada deve-se lidar com o consumo eficiente de energia destes dispositivos. Há a necessidade de se usar um modelo preciso de bateria para se obter com maior precisão uma previsão do tempo de vida de um nó no estudo de tempo de descarga da bateria (SOUSA, 2011).

2.5 ALCANCE E QUALIDADE DO SINAL ENTRE NÓS E ESTAÇÃO BASE

A RSSF é formada essencialmente por sensores, rádios de muito baixa potência e baterias pequenas, cujos nós se comunicam através de RF, tornando a disponibilidade de energia limitada (CAPRILE, 2009).

Nas aplicações de Agricultura de Precisão, a presença de vegetação no caminho da propagação, principalmente na faixa de frequências empregadas pelas RSSFs, causa perdas significativas de sinal devido água no interior das plantas (CAPRILE, 2009) e ao tipo de irrigação.

É importante observar também que o alcance do sinal de rádio entre nós vizinhos sofre uma variação, dependendo do tipo de cultivo e do manejo adotado na fazenda, em função da interferência exercida pelas plantas e umidade.

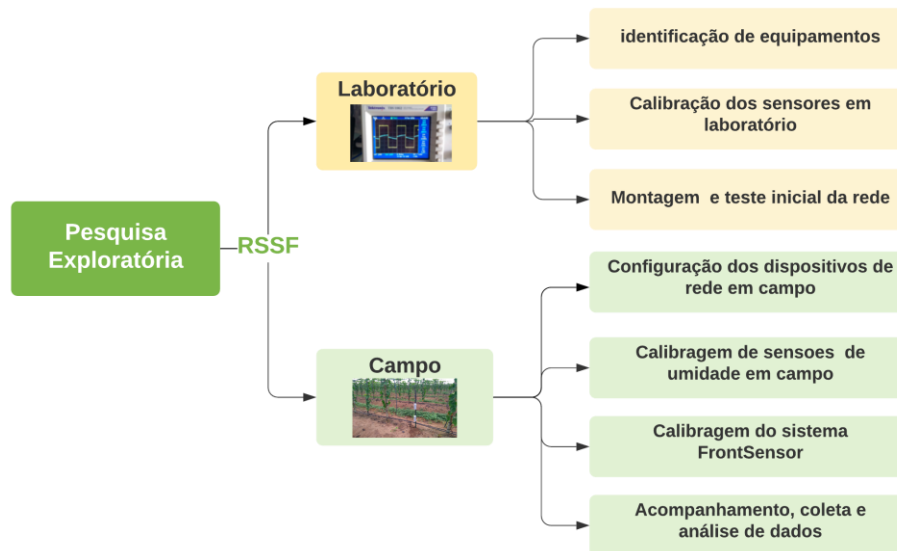
Para a implantação eficiente de uma RSSF é necessário o conhecimento do alcance do sinal de rádio em um ambiente específico (ZHANG, 2004).

A unidade de rádio deve ser instalada em uma altura do solo para evitar a interferência das plantas, mas esta altura não deve ser exagerada, evitando-se, assim, aumento de custos e dificuldades na implantação e manutenção.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada segue as orientações de Gil(2008) para pesquisa exploratória, com o objetivo de observar e avaliar o funcionamento de uma RSSF, para coletar e analisar informações de maneira a construir embasamento para elaboração de um modelo teórico que reflita a realidade. O modelo foi composto por duas etapas, contento o momento de experimentação em laboratório para identificação, calibragem e testagem antes de ir a campo e, testagem em ambiente real, onde permitiu o posicionamento e configuração dos dispositivos e softwares para verificação, inicialização da coleda de dados, conforme destaca a Figura 2.

Figura 2: Etapas de realização do experimento do modelo RSSF



Fonte: O próprio autor

A Figura 2, destaca que para atingir o objetivo de implementar e validar proposta de uma Rede de Sensores Sem Fio – RSSF – que permita coletar dados de umidade do solo em plantações de fruticultura irrigada da região do Vale do Médio São Francisco, deu-se em dois momentos experimentais que foram: inicialmente em laboratório para testes e calibragem e em seguida em campo em uma fazenda.

A seção a seguir descreve os materiais identificados para composição da RSSF para agricultura de precisão.

3.1 MATERIAIS

A composição do RSSF para o monitoramento da umidade do solo foi composto por sensores de umidade e temperaturas, controladores, infraestrutura de fixação, softwares utilizados para interação com os dados manipulados. A Tabela 1, apresenta a lista de materiais utilizados e suas funcionalidades.

Tabela 1: Lista de materiais utilizados na RSSF


| Equipamento | Quantidade | Descrição |
|---|------------|--|
| XBee PRO S2 | 4 | Rádios utilizados para formação da RSSF |
| Protoboard de 400 pinos | 3 | Utilizadas para montar os protótipos dos nós sensores |
| Antena Omnidirecional 2,4 GHz com Conector SMA | 4 | Conectadas aos XBees para aumentar o alcance |
| Sensor de Umidade Watermark 200SS | 1 | Sensor utilizado para medição do potencial matricial de água |
| Sensor de Temperatura NTC 10 k Ω 3950 - Prova D'água do tipo sonda | 1 | Sensor utilizado para mediação de temperatura do solo |
| Sensor de Umidade e Temperatura SHT20 | 1 | Sensor digital utilizado para mediação de umidade e temperatura do solo |
| Xbee Explorer Regulated WRL 11373 Sparkfun | 3 | Realiza a regulação de tensão de 3,3 V, condicionamento de sinal e adaptação para que o XBee encaixe na protoboard |
| Baterias de 6 V e 4,5 ah | 3 | Baterias utilizadas em lâmpadas de emergência para alimentação do circuito |
| Regulador de tensão 7805 | 3 | Adaptar a tensão das baterias para entrar no XBee |
| Conectores para bateria | 6 | Conectar a bateria ao circuito |
| XBee Explorer USB Adapter | 1 | Placa que conecta os XBees ao computador para configuração, leitura e envio de dados e comandos |
| Jumpers Macho-Macho | - | Fios com conectores nas pontas utilizados para interligar componentes na protoboard |
| Jumpers Fêmea-Fêmea | - | Fios com conectores nas pontas utilizados para interligar componentes na protoboard |
| Resistores 1/4 W 10 k Ω | 2 | Resistor de pull-up |
| Caixas Plásticas ABS Impermeáveis | 6 | Caixas para abrigar os circuitos com dimensões 158 x 90 x 60 mm |
| Cantoneiras | 3 | Cantoneiras de ferro para fixar os dispositivos na plantação |

Visando uma boa compreensão do material utilizado na composição da RSSF, as seções seguintes, descrevem em detalhes os os sensores, rádio e controlador utilizados no modelo de monitoramento do solo.

3.1.1 Sensores

O sensor utilizado no projeto foi o Watermark 200SS-5, visto na Figura 3, devido às seguintes características, além de ter sido largamente estudado e testado por diversos autores:


Figura 3: Sensor Watermark 200SS-5.

| MODELO | CARCATERÍSTICAS |
|---|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> ● Faixa de operação: 0 – 200 centibars / kPa; ● Totalmente em estado sólido; ● Precisão linear (abaixo de 50 centibars); ● Não é afetado por temperaturas de congelamento; ● Compensação interna para níveis de salinidade geralmente encontrados; ● Dimensões: 23 x 83 mm |

Fonte: www.irrometer.com

Já o sensor de temperatura de solo que foi usado em conjunto com o sensor de umidade, necessário para compor os parâmetros necessários para se calcular a tensão de água no solo (kPa) através das fórmulas (1), (2) e (4), que pode ser visto na Figura 4, foi o NTC10k, com as seguintes características:


Figura 4: Sensor de temperatura

| MODELO | CARCATERÍSTICAS |
|---|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> ● Faixa de operação de Temperatura: -20°C a 105°C; ● Totalmente em estado sólido; ● Precisão de Temperatura: 1°C; ● Dimensões: 5mm de diâmetro e 30mm de comprimento. |

Fonte: O próprio autor

Foi usado também o sensor SHT10 digital, mostrado na Figura 5, para comparar leituras de percentuais de umidade no solo (%) comparativamente à tensão de água no solo (kPa) lido pelo sensor Watermark 200SS, que tem as seguintes características:

Figura 5: Sensor SHT10 digital usado como referência para comparação com os valores lidos pelo Watermark

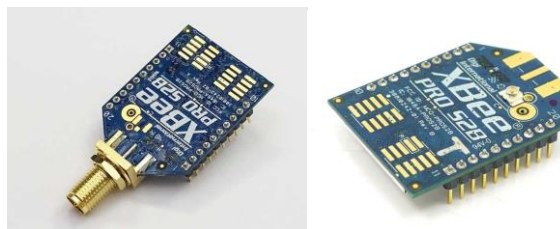
| MODELO | CARCATERÍSTICAS |
|---|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> ● Faixa de operação de Temperatura/Umididade: -40°C a 120°C/ 0 a 100%; ● Totalmente em estado sólido; ● Precisão de Umidade: 4,5%; ● Precisão de Temperatura: 0,5°C; ● Alimentação de: 3 a 5VDC; ● Dimensões: 14mm de diâmetro e 50 mm de comprimento |

Fonte: <https://www.adafruit.com/product/1298>

3.1.2 Rádio

O dispositivo de rádio utilizado na RSSF para transmissão dos dados escolhido foi o XBee Pro ZB S2B, placa de rádio de protocolo ZigBee, que atende aos requisitos do padrão IEEE 802.15.4, e opera na frequência de micro ondas de 2,4Ghz, uma das faixas de frequências não licenciada, de uso liberado pela Anatel, conhecida com faixa ISM (Industrial, Scientific and Medical), mostrados na Figura 6 a seguir.

Figura 6: Dois tipos do mesmo modelo do XBee Pro ZB S2B

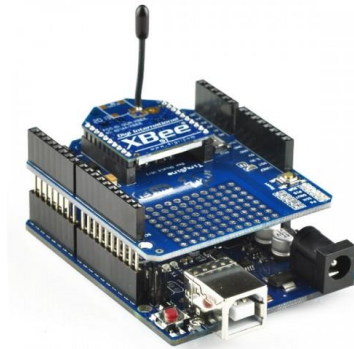


Fontes: <http://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-05802>

3.1.3 Controlador

A placa controladora Arduino Uno R3 ou similar, foi utilizada para: interfacear o sensor e o rádio; realizar o controle da aplicação das tensões alternadas no sensor; calcular a média dos dois valores das tensões obtidas do sensor; ler o valor da tensão do sensor de temperatura LM35H TO-46; coletar temporariamente os dados e enviá-los pelo rádio XBee através da Internet para o banco de dados. Na Figura 7 é mostrado o conjunto rádio controlador conectado por uma placa de interface Shield, com a antena Wire em destaque.

Figura 7: Placa controladora Arduino conectada à placa de rádio Xbee por meio de uma placa adaptadora



Fonte: Store.nerokas.com

Apresentado o material utilizado, nas próximas seções descrevem em detalhes as etapas de experimento do modelo de RSSF em laboratório e a modelagem em ambiente real com seus respectivos processos executados.

3.2 EXPERIMENTO EM LABORATÓRIO

Inicialmente foi realizado a calibração do sensor de umidade baseado na metodologia do (PAYERO, 2012), que consiste em testar o sensor diretamente enterrado no solo, para leitura da tensão de água no solo, baseado na característica de variação da resistência de sensoriamento do dispositivo.

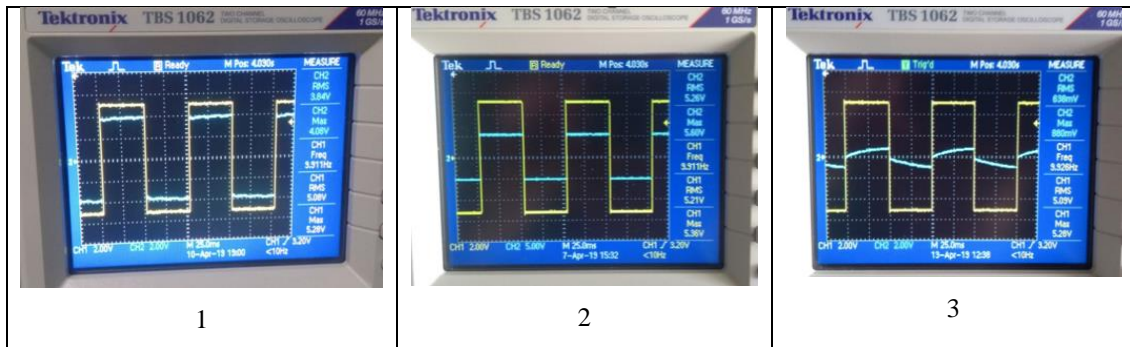
Sendo assim, para realizar a leitura desta resistência, foram aplicados nos seus terminais, tensões de até 5V de forma alternada, ou seja, +5V e -5V, uma exigência do próprio dispositivo, criando uma tensão alternada de onda quadrada de $\pm 5V$ que excita o sensor, que por sua vez devolve uma tensão alternada proporcional à sua resistência que é proporcional à umidade do solo onde ele foi enterrado. Na Figura 8 o sinal de excitação pode ser vista na cor amarela e a do sinal do sensor em azul. Sendo o resultado deste ciclo de medição a média aritmética dos dois valores de resistência obtidos. O resultado é um valor em kOhms que foi aplicado nas fórmulas de (ALLEN, 2000) para a obtenção de valores do potencial de água no solo, dado em kPa:

$$(1) \text{ Para resistência entre 0 e 1 kiloOhms } P = -20[R(1 + 0,0018(T - 24)) - 0,55]$$

$$(2) \text{ Para resistência entre 1 e 8 kiloOhms } P = (-3R - 4,093)(1 - 0,009733R - 0,01205T)$$

$$(3) \text{ Para resistência maior que 8 kiloOhms: } P = -2,246 - 5,239R(1 + 0,018(T - 24)) - 0,06756R(1 + 0,018(T - 24))^2. \text{ (FIGURA XX) destaca o valor indicado na cor amarelo e o resultado do sinal obtido na cor azul.}$$

Figura 8: Resultados dos testes obtidos com sensores de umidade.



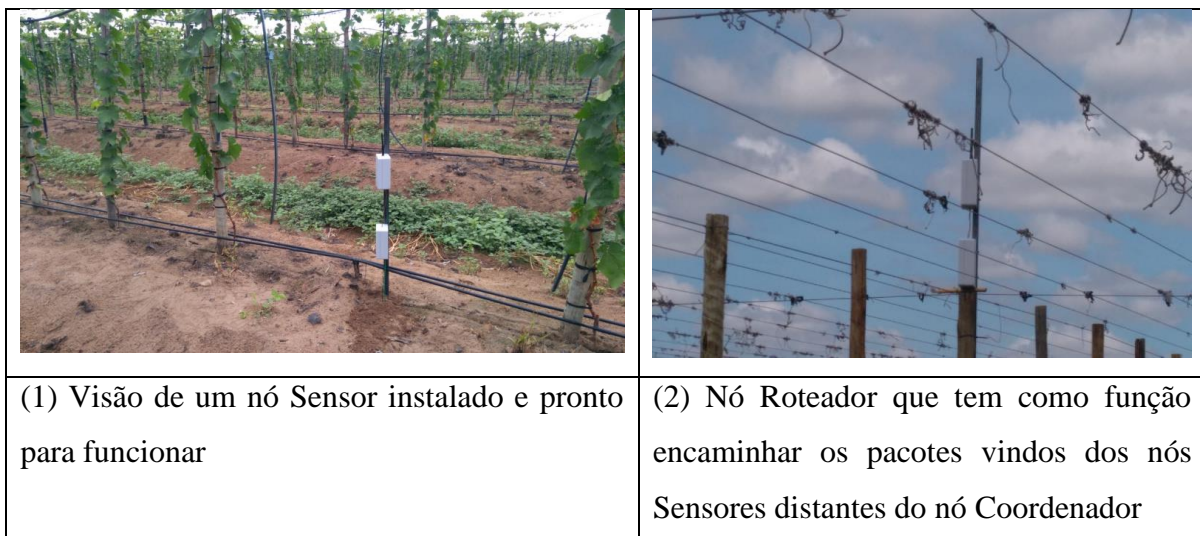
Após resultados precisos em testes no laboratório, deu-se início ao experimento de campo real, que será descrito a seguir.

3.3 EXPERIMENTO EM CAMPO

3.3.1 Configuração e montagem da rede

A montagem da rede em campo, deu-se na fazenda de uva no Núcleo de Irrigação Nilo Coelho N_4, usando uma topologia Mesh, com um nó Coordenador conectado a um Raspberry com acesso à Internet, um nó Roteador e dois nós Sensores, um com o WS200SS e outro com o SHT20, alimentados com baterias (6V de 4,5Ah). Na Figura de 9 podem ser vistos a distribuição dos nós sensores instalados e distribuídos na plantação de uva da Fazenda Vitória.

Figura 9: Fotos da implantação dos nós sensores.

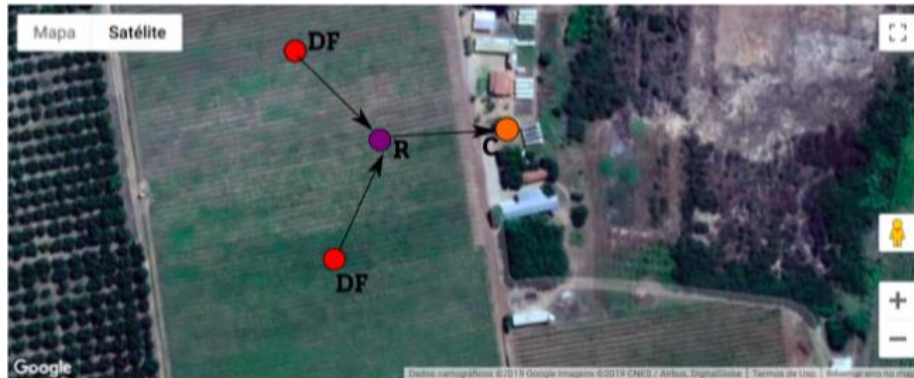


Fonte: O próprio autor.

Vale destacar também que os três tipos de nós sensores, um sorvedouro, que tem o papel de coletar dados dos dispositivos e rede e transmiti-los para o servidor de aplicação; um roteador para

ampliar o alcance entre dispositivos finais e o sorvedouro; e por fim, dois dispositivos finais, ligados aos nós sensores de umidade e temperatura que captam os dados, processam e transmitem ao roteador ou sorvedouro, caso necessite recuperar os dados. A Figura 10 mostra as posições aproximadas onde os sensores foram colocados.

Figura 10: Distribuição dos nós sensores no solo



Legenda: DF nós sensores, R nó roteador e C nó coordenador.
Fonte: próprio autor.

Os dados coletados pelos nós, são enviados para o serviço web- FrontSensor, efetuar a conversão e fazer a comunicação com usuário.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Como descrito na seção metodológica, uma RSSF foi montada com dois dispositivos finais, um roteador e um sorvedouro, onde os dados coletados são enviados para o sistema FrontSensor converter em dados gráficos. A Figura 11 mostra os gráficos de Umidade e Temperatura do solo do nó Sensor Watermark, na interface gráfica do sistema FrontSensor, onde pode ser visto a correlação inversa da temperatura do solo com a umidade do solo ao longo do dia. Com este gráfico o técnico agrícola pode tomar a decisão de irrigar ou não aquele setor monitorado.

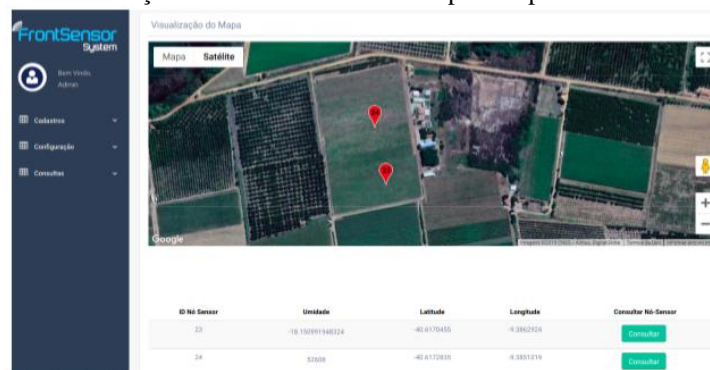
Figura 11: Gráfico de Umidade e de Temperatura de um dia plotado na tela do FrontSensor



Fonte: próprio autor.

Por meio do interface do sistema FrontSensor, pode-se visualizar de forma mais interativa, por meio do mapa do aplicativo, em tempo real a disposição física real dos nós Sensores instalados na plantação.

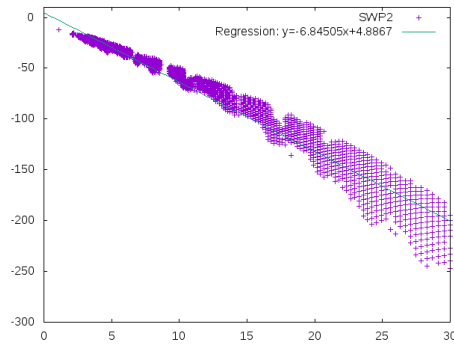
Figura 12: Distribuição dos nós sensores em tempo real pelo sistema FrontSensor.



Fonte: próprio autor.

Destacamos também, resultados obtidos com a calibração do sensor em laboratório, visando a precisão e funcionalidade comparados aos resultados obtidos por (ALLEN, 2000). Para tanto, Foi feito um teste preliminar dos limites máximo e mínimo de umidade com os sensores Watermark e STH10 até a saturação no período de 35 dias até a secagem total. Foram obtidos mais um milhão de linhas de dados com os quais foi possível fazer uma regressão linear precisa de toda a extensão de sensibilidade do sensor. A Figura 13 mostra a reta obtida a partir destes dados, que sinalizaram a boa precisão do sensor, comprovando os estudos dos pesquisadores.

Figura 13: Gráfico com a regressão e a equação da reta traçada a partir dos dados obtidos em laboratório

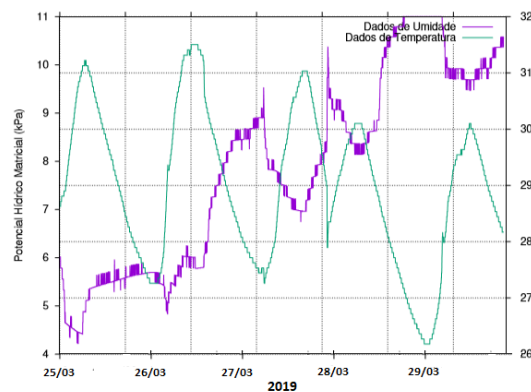


Fonte: próprio autor.

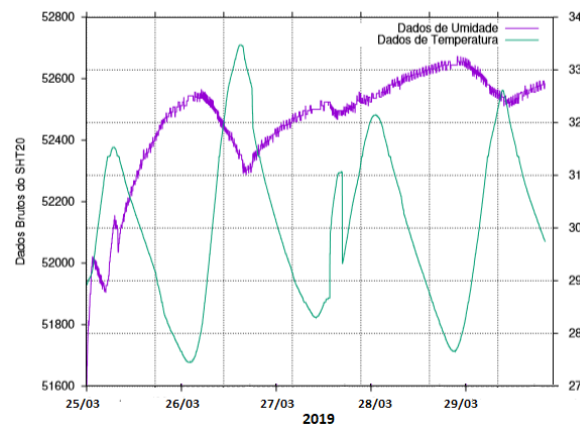
Já o experimento em campo teve duração de quatro dias. O sensor WM200SS teve um comportamento oscilatório com média crescente, em que as variações correspondem ao ciclo de irrigação adotado pela operação da fazenda, mostrado na Fig. 14. O sensor SHT20 (FIGURA 05) apresenta comportamento crescente nos instantes iniciais e, posteriormente, há estabilização da média com oscilações similares ao sensor WM200SS.

O comportamento das leituras de temperatura em ambos os gráficos dos dois tensiômetros foi similar em dados quantitativos e qualitativos, acompanhando os ciclos de temperatura durante os dias e as noites.

Figura 14: Gráfico obtido dos testes com o WM 200SS, linha azul em kPa e o verde em °C.



Fonte: próprio autor.

Figura 15: Gráfico obtido dos testes com o SHT10, linha azul em kPa e o verde em °C.

Fonte: próprio autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho possibilitou a análise de uma RSSF considerando o cenário de agricultura de precisão no vale do São Francisco. Ao compararmos os dados obtidos com (SHOCK, 1998) e (SILVA, 2016), concluímos que RSSF reproduziu de forma similar os resultados dos trabalhos de (SHOCK, 1998), (ALLEN, 2000), (SILVA, 2016) e (PAYERO, 2017). A rede Mesh com XBee também se mostrou robusta, onde os alcances dos rádios atendem as dimensões agrícolas, a taxa de amostragem foi de uma leitura a cada 2 minutos, o que resultou numa duração das baterias de cerca de quatro dias para os nós sensores e de dois dias para o roteador.

Gradativamente a agricultura de precisão vem sendo aplicada de fato no campo através do potencial de uso das RSSF. Sua aplicação promove um papel importante em atividades de monitoramento do clima e do ambiente, com um poder maior de detecção de pragas, irrigação, análise de solo e disponibilizando mapas de produtividade em tempo real. A aplicação das RSSF nas culturas de Fruticultura irrigada da região do São Francisco pode representar uma importante ferramenta para o agricultor elevar a eficiência na sua produção, reduzir o desperdício de água e manter a competitividade com a exportação.

Destacamos também que existem ainda, alguns problemas a serem resolvidos como: acesso à Internet em fazendas e de qualidade de conexão necessária para um bom monitoramento remoto; necessidade de recarga automática das baterias através de painéis fotovoltaicos; como também, necessidade de teste de longa duração, com o acompanhamento de um agrônomo para validar sua aplicabilidade.

Como trabalhos futuros, pretende-se realizar um teste comparativo com o tensiômetro agrícola analógico de Bourdon para aferir de forma mais precisa e próxima da realidade dos produtores locais. Uma vez superados tornarão o monitoramento e o controle da irrigação de grandes plantações plenamente viáveis, com uma significativa economia de água.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, M. S. e da Rocha Jr., V. C. *Communication Systems*. Springer, 2005. Ali G. et al. **A framework for development of cost-effective irrigation control system based on wireless sensor and actuator network (WSAN) for efficient water management**. International Conference on Mechanical and Electronics Engineering (ICMEE), 2010.
- ALI, G. et al. **A framework for development of cost-effective irrigation control system based on wireless sensor and actuator network (WSAN) for efficient water management**. International Conference on Mechanical and Electronics Engineering (ICMEE), 2010.
- ALLEN, R. **Calibration for the watermark 200ss soil water potential sensor to fit the 7-19-96 calibration# 3 table from irrometer**. University of Idaho, Kimberley, Idaho, USA, 2000.
- BAGGIO, A. **Wireless sensor networks in precision agriculture**. In: On-line Proc of the Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks (2005).
- BOGENA, H. R. et al. **Potential of Wireless Sensor Networks for Measuring Soil Water Content Variability**. *Vadose Zone Journal* 2010 Soil Science Society of America, Vol.9 (4), p. 1002-1013. November 2010.
- CAMPECHE, Luis F. **Automação na Agricultura Irrigada**. <https://iecom.org.br/encom2019/>. Acessado em 29/11/2019.
- CANO, A. et al. **Automated Soil Moisture Monitoring Wireless Sensor Network for Long-Term Cal/Val Applications**. *Wireless Sensor Network*, Vol. 4, p. 202-209, 2012.
- CAPRILE, S. R. **Desarrollo de aplicaciones con comunicación remota basadas en módulos ZigBee y 802.15.4**. Gran Aldea Editores - GAE, 2009.
- CORREIA, F. P. et al. **Propagation Analysis for Wireless Sensor Networks Applied to Viticulture**. *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2017, Article ID 7903839, 10 páginas, 2017. doi:10.1155/2017/7903839
- CORREIA, Felipe P. **Avaliação de uma Plataforma de Gerenciamento de Redes de Sensores sem Fio Aplicada à Agricultura de Precisão**. 1º Relatório do Doutorado em Engenharia Elétrica. UFBA. 2019.
- COSTA, N. R., Carvalho, M. d. P. e., Dal Bem, E. A., Dalchiavon, F. C., and Caldas, R. R. (2014). *Produtividade de laranja correlacionada com atributos químicos do solo visando a zonas específicas de manejo*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 44(4):391– 398
- EMBRAPA. **Agricultura de Precisão**. Planejamento e gerenciamento de todos os processos da produção. <https://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2>. Acessado em 06/08/2019.
- GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V.I. Precision agriculture and food security. *Science* **2010**, 327, 828–831. [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29] [30] [31] [32] [33] [34] [35] [36] [37] [38] [39] [40] [41] [42] [43] [44] [45] [46] [47] [48] [49] [50] [51] [52] [53] [54] [55] [56] [57] [58] [59] [60] [61] [62] [63] [64] [65] [66] [67] [68] [69] [70] [71] [72] [73] [74] [75] [76] [77] [78] [79] [80] [81] [82] [83] [84] [85] [86] [87] [88] [89] [90] [91] [92] [93] [94] [95] [96] [97] [98] [99] [100] [101] [102] [103] [104] [105] [106] [107] [108] [109] [110] [111] [112] [113] [114] [115] [116] [117] [118] [119] [120] [121] [122] [123] [124] [125] [126] [127] [128] [129] [130] [131] [132] [133] [134] [135] [136] [137] [138] [139] [140] [141] [142] [143] [144] [145] [146] [147] [148] [149] [150] [151] [152] [153] [154] [155] [156] [157] [158] [159] [160] [161] [162] [163] [164] [165] [166] [167] [168] [169] [170] [171] [172] [173] [174] [175] [176] [177] [178] [179] [180] [181] [182] [183] [184] [185] [186] [187] [188] [189] [190] [191] [192] [193] [194] [195] [196] [197] [198] [199] [200] [201] [202] [203] [204] [205] [206] [207] [208] [209] [210] [211] [212] [213] [214] [215] [216] [217] [218] [219] [220] [221] [222] [223] [224] [225] [226] [227] [228] [229] [230] [231] [232] [233] [234] [235] [236] [237] [238] [239] [240] [241] [242] [243] [244] [245] [246] [247] [248] [249] [250] [251] [252] [253] [254] [255] [256] [257] [258] [259] [260] [261] [262] [263] [264] [265] [266] [267] [268] [269] [270] [271] [272] [273] [274] [275] [276] [277] [278] [279] [280] [281] [282] [283] [284] [285] [286] [287] [288] [289] [290] [291] [292] [293] [294] [295] [296] [297] [298] [299] [300] [301] [302] [303] [304] [305] [306] [307] [308] [309] [310] [311] [312] [313] [314] [315] [316] [317] [318] [319] [320] [321] [322] [323] [324] [325] [326] [327] [328] [329] [330] [331] [332] [333] [334] [335] [336] [337] [338] [339] [340] [341] [342] [343] [344] [345] [346] [347] [348] [349] [350] [351] [352] [353] [354] [355] [356] [357] [358] [359] [360] [361] [362] [363] [364] [365] [366] [367] [368] [369] [370] [371] [372] [373] [374] [375] [376] [377] [378] [379] [380] [381] [382] [383] [384] [385] [386] [387] [388] [389] [390] [391] [392] [393] [394] [395] [396] [397] [398] [399] [400] [401] [402] [403] [404] [405] [406] [407] [408] [409] [410] [411] [412] [413] [414] [415] [416] [417] [418] [419] [420] [421] [422] [423] [424] [425] [426] [427] [428] [429] [430] [431] [432] [433] [434] [435] [436] [437] [438] [439] [440] [441] [442] [443] [444] [445] [446] [447] [448] [449] [450] [451] [452] [453] [454] [455] [456] [457] [458] [459] [460] [461] [462] [463] [464] [465] [466] [467] [468] [469] [470] [471] [472] [473] [474] [475] [476] [477] [478] [479] [480] [481] [482] [483] [484] [485] [486] [487] [488] [489] [490] [491] [492] [493] [494] [495] [496] [497] [498] [499] [500] [501] [502] [503] [504] [505] [506] [507] [508] [509] [510] [511] [512] [513] [514] [515] [516] [517] [518] [519] [520] [521] [522] [523] [524] [525] [526] [527] [528] [529] [530] [531] [532] [533] [534] [535] [536] [537] [538] [539] [540] [541] [542] [543] [544] [545] [546] [547] [548] [549] [550] [551] [552] [553] [554] [555] [556] [557] [558] [559] [560] [561] [562] [563] [564] [565] [566] [567] [568] [569] [570] [571] [572] [573] [574] [575] [576] [577] [578] [579] [580] [581] [582] [583] [584] [585] [586] [587] [588] [589] [590] [591] [592] [593] [594] [595] [596] [597] [598] [599] [600] [601] [602] [603] [604] [605] [606] [607] [608] [609] [610] [611] [612] [613] [614] [615] [616] [617] [618] [619] [620] [621] [622] [623] [624] [625] [626] [627] [628] [629] [630] [631] [632] [633] [634] [635] [636] [637] [638] [639] [640] [641] [642] [643] [644] [645] [646] [647] [648] [649] [650] [651] [652] [653] [654] [655] [656] [657] [658] [659] [660] [661] [662] [663] [664] [665] [666] [667] [668] [669] [670] [671] [672] [673] [674] [675] [676] [677] [678] [679] [680] [681] [682] [683] [684] [685] [686] [687] [688] [689] [690] [691] [692] [693] [694] [695] [696] [697] [698] [699] [700] [701] [702] [703] [704] [705] [706] [707] [708] [709] [710] [711] [712] [713] [714] [715] [716] [717] [718] [719] [720] [721] [722] [723] [724] [725] [726] [727] [728] [729] [730] [731] [732] [733] [734] [735] [736] [737] [738] [739] [740] [741] [742] [743] [744] [745] [746] [747] [748] [749] [750] [751] [752] [753] [754] [755] [756] [757] [758] [759] [760] [761] [762] [763] [764] [765] [766] [767] [768] [769] [770] [771] [772] [773] [774] [775] [776] [777] [778] [779] [780] [781] [782] [783] [784] [785] [786] [787] [788] [789] [790] [791] [792] [793] [794] [795] [796] [797] [798] [799] [800] [801] [802] [803] [804] [805] [806] [807] [808] [809] [810] [811] [812] [813] [814] [815] [816] [817] [818] [819] [820] [821] [822] [823] [824] [825] [826] [827] [828] [829] [830] [831] [832] [833] [834] [835] [836] [837] [838] [839] [840] [841] [842] [843] [844] [845] [846] [847] [848] [849] [850] [851] [852] [853] [854] [855] [856] [857] [858] [859] [860] [861] [862] [863] [864] [865] [866] [867] [868] [869] [870] [871] [872] [873] [874] [875] [876] [877] [878] [879] [880] [881] [882] [883] [884] [885] [886] [887] [888] [889] [890] [891] [892] [893] [894] [895] [896] [897] [898] [899] [900] [901] [902] [903] [904] [905] [906] [907] [908] [909] [910] [911] [912] [913] [914] [915] [916] [917] [918] [919] [920] [921] [922] [923] [924] [925] [926] [927] [928] [929] [930] [931] [932] [933] [934] [935] [936] [937] [938] [939] [940] [941] [942] [943] [944] [945] [946] [947] [948] [949] [950] [951] [952] [953] [954] [955] [956] [957] [958] [959] [960] [961] [962] [963] [964] [965] [966] [967] [968] [969] [970] [971] [972] [973] [974] [975] [976] [977] [978] [979] [980] [981] [982] [983] [984] [985] [986] [987] [988] [989] [990] [991] [992] [993] [994] [995] [996] [997] [998] [999] [1000]

LOUREIRO, A. A. F. **Redes de Sensores Sem Fio. Grandes Desafios** - Computação no Brasil 2006-2016, Maio 2006. Disponível em: <http://www.ic.unicamp.br/cmbm/desafiosSBC/loureirodesensores.pdf>. Acessado em 08/11/2019.

KESHTGARI, M.; DELJOO A. **A wireless sensor network solution for precision agriculture based on Zigbee technology**. *Wireless Sensor Network*, vol. 4, no. 1, pp. 25–30, 2012

KRISTOFFER, O. F.; ISIDRO, M. B.; JON, E. M. G.; SAMUEL, M. G. D.; ROSULA, S. J. R. **Precision Agriculture Monitoring System using Wireless Sensor Network and Raspberry Pi Local Server**. 2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON) - Proceedings of the International Conference, 2016.

MIN-HUI, L. e Famiglietti, S. J. Precipitation Response to Land Sub surface Hydrologic Processes in Atmospheric General Circulation Model Simulations. *Journal of Geo-Physical Research-Atmospheres*, Vol. 116, 2011, Article ID: D05107.

MULLA, D.J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosyst. Eng.* **2013**, *114*, 358–371.

NAYAK, A. e Stojmenovic, I. **Wireless Sensor and Actuator Networks**. John Wile & Sons, New Jersey, USA, 2010.

PAYERO, J.O., Mirzakhani-Nafchi, A., Khalilian, A., Qiao, X. and Davis, R. (2017) **Development of a Low-Cost Internet-of-Things (IoT) System for Monitoring Soil Water Potential Using Watermark 200SS Sensors**. *Advances in Internet of Things*, 7, 71-86. <https://doi.org/10.4236/ait.2017.73005>.

PEREIRA, André. SHOCK, Clinton C. e outros. **Monitoramento da irrigação por meio da tensão da água do solo Ponta Grossa**. Editora UEPG, 2006.

SHOCK, Clinton C. J. Michael Barnum, and Majid Seddig. **Calibration of Watermark Soil Moisture Sensors for Irrigation Management**. Oregon State University, Ontario, Oregon. USA. 1998.

SILVA, J. C. e Silva, A. C. G. C. **Um Diagnóstico das Práticas de Medição de Desempenho Utilizadas pelas Empresas Exportadoras de Frutas do Vale do São Francisco**. *Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica*, [S.l.], n. 32, p. 43-50, dez. 2016. ISSN 2447-9187.

SOUSA, M. P. e Lopes, W. T. A.. **Desafios em Redes de Sensores Sem Fio**. *Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação*. Iecom - Instituto de Estudos Avançados em Comunicações. Vol.1, p. 41-47, 2011.

ZHANG, Z. **Investigation of Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture**. In: 2004 ASAE/CSAE Annual International Meeting, 1 - 4 August 2004, Ottawa, Ontario, Canada. 2004

SITE da ADAFRUIT. <https://www.adafruit.com/product/1298>. Acessado em 15/09/2019.

SITE THERMISTOR. <http://qqtrading.com.my/ntc-thermistor-10k-temperature-sensor-probe>. Acessado em 08/07/2019.