

Sistemas Embarcados e suas aplicações na agricultura *IOT*: revisão bibliográfica

Embedded Systems and their applications in agriculture IOT: bibliographic review

Victor Emanuel Almeida*

16 de junho de 2021

Resumo

Tendo em vista a crescente quantidade de novas tecnologias na área de internet das coisas, este trabalho tem como objetivo observar as mais eficientes e mais utilizadas nas pesquisas de ponta.

Falar de parte do matérias e métodos

Após entender conceitos basilares da área, pode-se separar o *IOT* em 3 camadas, percepção, comunicação e aplicação. Sendo assim na camada de percepção observou-se uma grande gama de sensores, principalmente para a medição de variáveis relacionadas ao solo e ao ar. Após listar os sensores utilizados nas pesquisas avalia-se seus benefícios e seus casos de uso. No que se refere a camada de comunicação, apresentou-se dois importantes protocolos de comunicação, LoRaWAN[™] e BLE, bem como suas vantagens e desvantagens. Por fim estudou-se aplicações práticas de sistemas que transformam os dados coletadas em informações úteis, dessa forma tornando a agricultura de precisão prática.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, Internet das coisas, Sensores.

*“Estudante de Ciência da Computação na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Foz do Iguaçu-PR, Brasil.” <<http://www.unioeste.br/>>

Abstract

Escrever resumo

Keywords: Precision agriculture, Internet of things, Sensors.

1 Introdução

A agricultura de precisão combina o uso de informação e tecnologia para garantir as melhores práticas agrícolas^[1], dessa forma para aplicação deste conceito, é necessário obter uma visão geral das tecnologias usadas nas pesquisas de ponta por todo o mundo, sendo esse o objetivo desta revisão bibliográfica.

Para atender este objetivo primeiramente pesquisou-se os conceitos básicos e dúvidas relacionados a internet das coisas, enumerados na seção 2, sendo:

1. O que é *IOT*? Seção 2.1.
2. Por que usar *IOT* na agricultura? Seção 2.2.
3. Qual a estrutura *IOT*? Seção 2.3

Tendo respondido a estas perguntas, as seguintes seções do artigo discorrem sobre cada uma das camadas enumeradas na seção 2.3, descrevendo cada uma das tecnologias observadas nas pesquisas e listando suas vantagens desvantagens e casos de uso, sendo divididas da seguinte forma. Na seção 4 observa-se os sensores utilizados para medir as principais variáveis que influenciam a agricultura de precisão. Já na seção 5 lista-se. Por fim na seção 6.

2 Definições

Antes de abordar as principais tecnologias, bem como os principais e mais atuais estudos relacionados a *IOT*, faz-se necessário elucidar alguns pontos.

2.1 O que é IOT

O termo *Internet of Things (IOT)*, em português internet das coisas foi elaborado pelo britânico, Kevin Ashton, em 1999^[2] e se refere de forma geral a uma rede que conecta diversas “coisas” a internet, através de software, com o objetivo de trocar informações^[3], tais “coisas” podem ser sensores, microcontroladores ou até mesmo objetos que nunca imaginamos tais como geladeiras, televisores, entre outros.

2.2 Por que usar IOT na agricultura

Segundo Tzounis et al.^[2] A agricultura é um dos setores que deve ser altamente influenciado pela internet das coisas pela necessidade de eficiência na gestão de recursos bem como o amadurecimento das técnicas de agricultura de precisão, conceito de gestão agrícola criado no início dos anos 1980^[4], que seria a arte e ciência de usar tecnologia avançada para aumentar a produção agrícola^[1].

Sendo assim a agricultura de precisão necessita das últimas tecnologias da área somado a muita computação para obter medições não invasivas em tempo real de forma rápida, precisa e confiável de diversas variáveis como (monitoramento do solo, do ar, da água, das plantas, dos animais, da irrigação...) ^[5] e para obter previsões apoiando assim a tomada de decisão, tais previsões serão abordadas na seção 6 e as medições precisas e confiáveis na seção 4.

Outro fator importante que torna o setor agrícola tão favorável ao uso de internet das coisas é por serem grandes áreas que precisam de constante monitoramento e controle, nas palavras de Talavera et al.^[5] esses fatores o torna “candidatos ideais”.

2.3 As camadas do IOT

A estrutura do *internet of things* é baseada em três camadas principais^[2]:

- **Camada de percepção:** É uma camada que envolve sensores, hardware e obtém-se dados relevantes a respeito dos fenômenos meteorológicos, biológicos ou físicos tais como temperatura e umidade do solo^[6], do ar^[1], índice de área foliar^[7], quantidade de gás SO₂^[8], PH do solo^[8] entre muitos outros.
- **Camada de comunicação:** Responsável por enviar os dados coletados pela camada de percepção supracitada para outras camadas, quer sejam aplicações que vão analisar tais dados ou para grandes bancos de dados ou até mesmo para serviços na nuvem.
- **Camada de aplicação:** camada a qual trás sentido aos dados coletados pelos sensores, pois é nesse momento que ocorre o processamento dos dados e a apresentação dos mesmos. Nos trabalhos lidos durante a produção desta revisão bibliográfica, essa camada será responsável principalmente por mostrar ao agricultor informações relevantes de forma simples e compreensível, bem como informá-lo qual o melhor momento para plantar^[9], ou em quais lugares da plantação tem doenças^[10].

Bem como uma camada intermediária, sendo ela chamada de **Middleware** a qual facilita a interação da camada de aplicação com a de percepção^[2], fornecendo ferramentas que permitem abstrações em relação a camada de percepção e possibilitando a integração de softwares recentes com o legado^[2]. Um exemplo é na pesquisa de Sawant, Durbha e Jagarlapudi^[11] essa integração foi feita a partir de um *Web processing Service* que padroniza as entradas e saídas e também por diversos serviços para refinar os dados obtidos dos sensores, fazendo assim o pré-processamento das medições, explicado com muitos detalhes na seção 2.2 de seu trabalho.

3 Materiais e Métodos

Perguntar

Tabela 1 – Palavras chaves que se repetem

Ocorrências	Palavra(s) chave
4	wireless sensor
4	precision agriculture
4	internet of things
4	sensor network
2	soil moisture
2	precision viticulture

Tabela 2 – Ano de publicação dos artigos Qualis A

Ano de publicação	Quantidade de artigos
2008	1
2014	1
2015	2
2016	1
2017	4
2018	1
2019	3

4 Sensoreamento (camada de percepção)

Tendo em vista a vasta variabilidade dos sensores utilizados nas diversas pesquisas apresentadas, agregamos os melhores resultados a cerca dos sensores.

4.1 Umidade do solo

A literatura sobre a umidade do solo é muito extensa e está se desenvolvendo rapidamente, tornando difícil apresentar o estado da arte^[12] no que diz respeito à essa variável-chave, sendo essa definida pela água presente no solo^[12], normalmente na parte superior, porém em diversos casos práticos pode-se obter o valor da umidade em diferentes profundidades, visando maior precisão e compreensão de outros fatores meteorológicos, como apresentado no trabalho de [Sharma et al.](#)^[13].

Segundo [Kizito et al.](#)^[6], os métodos mais aceitos para medição da umidade do solo são *time domain reflectometry (TDR)* em português reflectometria no domínio do tempo, caso do sensor TDR CS616^[13], e os métodos que medem a capacitância, sendo esses utilizados pela maioria dos sensores modernos.

Analisando esses sensores o autor supracitado^[6] realizou diversos testes alterando parâmetros como salinidade do solo, condutividade elétrica, temperatura entre outros, com os sensores EC-5 e ECH₂O-TE, chegando a seguinte conclusão, que após a devida calibração medições realizadas a uma frequência de 70 MHz obtém-se dados expressivos, sendo essa a frequência mais eficiente, pois acima dela o gasto energético e eletrônico não

resultam em maior precisão. Sendo assim para cada sensor deve ser achado a frequência ideal de medição na qual o custo é minimizado e a precisão é aumentada.

Esses sensores de umidade que medem a capacitância apesar de seguirem o mesmo princípio de funcionamento, podem variar muito de preço e precisão. Por exemplo, caso seja necessário uma elevada precisão bem como outros dados tais como salinidade e temperatura será utilizado um sensor mais caro como o utilizado por Sharma et al.^[13] para medições precisas o suficiente para agendar irrigação por gotejamento em estufas, tais medições foram feitas com 2 sensores Hydra probes, um a 15 cm de profundidade e outro medindo desses 15 cm até a superfície.

Como já comentado no parágrafo anterior os sensores variam muito de preço e funcionalidades. Sendo assim não existe um sensor perfeito ou universal para todo tipo de projeto, dessa maneira faz-se necessário que se avalie o orçamento bem como as funcionalidades e precisão exigidas, para auxiliar nisso é apresentada a tabela 3. Nessa tabela é apresentado o nome do sensor seguido de seu nível de precisão para 3 variáveis, a temperatura do solo, condutividade elétrica e umidade, por fim cita-se um trabalho no qual é utilizado o sensor.

Tabela 3 – Comparando sensores de umidade do solo.

Sensor	Temp.	Cond. E.	Umid.	Autor
Hydra Probe ¹	$\pm 0,1^\circ \text{ C}$	$\pm 2\%$	$\pm 0,03\%$	Sharma et al. ^[13]
ECH ₂ O ²	$\pm 1^\circ \text{ C}$	$\pm 10\%$	$\pm 3\%$	Kizito et al. ^[6]
EC-5 ³	X	X	$\pm 2\%$	Karimi et al. ^[8]

4.2 Temperatura e umidade do ambiente

4.2.1 LM35

Um sensor analógico de temperatura segundo seu fabricante (Texas Instruments Inc., TX, USA)⁴ é um dispositivo básico criado para medir a temperatura do ambiente, porém no caso da pesquisa de Mesas-Carrascosa et al.^[1], foi utilizado para medir a temperatura do solo, mostrando assim sua versatilidade.

Além de ser um sensor barato e de fácil acesso o LM35 é um dos sensores mais utilizados devido ao fato de produzir um output simples e diretamente relacionado a graus Celsius. Sua saída analógica tem uma certa voltagem que a cada 10 micro volts representam 1° C , sendo assim 350 mV representam 35° C .

4.2.2 DHT11 e DHT22

Dois sensores muito parecidos, que leem tanto a umidade quanto a temperatura do ar, desenvolvidos por (SUNROM, Isanpur Ahmedabad, Gujarat, India) o sensor DHT22⁵

¹ Hydra Probe datasheet: <http://overtechsolucoes.com.br/storage/datasheets/Hydra_Probe_II_Datasheet.pdf>

² ECH₂O datasheet: <https://sndl.ucmerced.edu/files/MHWG/Sensors_and_Loggers/Manuals/ECH2O_TE_TM.pdf>

³ EC-5 datasheet: <<http://www.bjsydz.com/data/Datasheet/EC-5.pdf>>

⁴ LM35 datasheet: <<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>>

⁵ DHT22 datasheet: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>>

apesar de mais caro possui maior precisão, $\pm 0,5^\circ \text{C}$, comparado aos 2 graus de precisão do DHT11, além de possuir maior faixa de valores de leitura e maior taxa de amostragem, por isso foi utilizado na pesquisa de [Morais et al.^{\[14\]}](#).

Já o DHT11⁶, apesar de suas limitações supracitadas, conseguiu atender os requisitos de [Karimi et al.^{\[8\]}](#), dessa maneira detectando condições desfavoráveis em vinhedos tradicionais do sul do Azerbaidjão.

4.2.3 DS18B20

Um termômetro de ambiente desenvolvido pela empresa (Maxim Integrated, San Jose, CA, USA)⁷, esse sensor foi utilizado na pesquisa de [Mesas-Carrascosa et al.^{\[1\]}](#) devido a ser um sensor digital com uma precisão alta, $\pm 0,5^\circ \text{C}$

4.2.4 SHT2x

Uma família de sensores de umidade da empresa (SENSIRION, Staefa ZH, Suíça)⁸, seu diferencial é que produz medições no padrão I²C, permitindo assim múltiplos elementos (escravos), controlados pela mesma porta (SDA e SCL) de um controlador.

Apesar das vantagens de tal protocolo utilizado, pode ser difícil padronizar interfaces^[4], principalmente considerando uma variedade de sensores.

5 Rede (camada de comunicação)

Atualmente são implementadas muitas redes de sensores sem fio (RSSF) para auxiliar a agricultura de precisão^[11], sendo assim esses sensores necessitam de comunicação para exportar os dados coletados da maneira mais eficiente, gastando a menor quantidade de recursos de rede e energia^[2]. Essa seção abordará alguns dos principais protocolos que ligam dispositivos *IOT*, sendo eles^[2], Bluetooth Low Energy (BluetoothSmart) e LoRaWANTM, porém existem muitos outros como Zigbee, Sigfox, 3G/4G/5G, 6LoWPAN, entre outros, a escolha para determinado protocolo depende de diversos fatores tais como distância, custo energético, sendo assim existem protocolos melhores para determinadas situações^[14].

5.1 Bluetooth Low Energy (BLE)

5.1.1 Definindo

Assim como o Bluetooth tradicional o BLE é um sistema de comunicação via rádio, porém arquitetado para operar com pouco gasto de energia^[15], Segundo o estudo de [Cho et al.^{\[16\]}](#) chegando ao ponto de dispositivos que possuem baterias do tamanho de moedas operarem por meses. E segundo o site oficial do Bluetooth^[15] o gasto de energia do BLE é de 1% a 50% do Bluetooth clássico dependendo da aplicação.

⁶ DHT11 datasheet: <<http://robocraft.ru/files/datasheet/DHT11.pdf>>

⁷ DS18B20 datasheet: <<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/230838/DALLAS/DS18B20/+Q318W-VCvKlwudHXt.ICv+/datasheet.pdf>>

⁸ SHT20 datasheet: <https://www.sanatzbazar.com/components/com_jshopping/files/demo_products/sensirion_SHT20.pdf>

5.1.2 Vantagens e aplicações

O BLE torna-se uma opção viável para comunicação de curta distância pelo fato de operar com 3 canais^[16] que buscam dispositivos próximos, restabelecendo a comunicação quando encontrados, apesar de possuir no total menos canais que o Bluetooth tradicional, cada canal possui a mesma frequência de transferência, 2.4 GHz, atingindo taxas de transmissão de até 1Mb/s^[2] em distâncias de até 100 metros^[2]. Essas e outras características tornam o Bluetooth Low Energy mais simples e econômico para transferências robustas de dados a curtas distâncias^[16].

5.2 LoRaWAN™

Antes de definirmos o que é LoRaWAN™, suas especificações e aplicações, faz-se necessário que entenda-se o que é LORA®.

5.2.1 Definindo LORA®

É a parte física da implementação, formada por diversas antenas^[17], que se comunicam utilizando a tecnologia de *Chirp Spread Spectrum*^[18] uma tecnologia de comunicação militar adaptada para uso comercial de mais baixo custo^[17] tais antenas possuem alcance de até 15 km em áreas rurais^[19], bem como uma taxa média de duração de bateria de 10 anos^[19].

5.2.2 Definindo LoRaWAN™

É o protocolo de comunicação que utiliza a rede Lora®^[17], arquitetado especificamente para atender aos requisitos da agricultura de precisão, onde muitos sensores geram dados os quais precisam ser analisados^[18]. Os dados coletados chegam ao servidor através de uma rede com arquitetura de estrela^[17], dessa forma a complexidade fica no lado do servidor não no nó, assim reduzindo o custo energético.

Visando atender aplicações diferentes que demandam recursos diferentes esse sistema possui classes^[17], sendo elas:

- **Classe A:** Mais econômica energeticamente, suportada por todos os dispositivos.
- **Classe B:** Menos econômica energeticamente que a classe A, porém mais econômica que a C, tem latência controlada pelo *downlink*.
- **Classe C:** Menos econômica energeticamente, não possui latência na comunicação, o dispositivo não “dorme” e fica escutando continuamente.

5.2.3 Vantagens

Apesar de não ser a solução mais barata, comparado ao BLE da seção 5.1, o custo para implantar a infraestrutura tem bom custo benefício^[17], além do fato de tanto o Lora® quanto o LoRaWAN™ possuírem código aberto^{9 10}, reduzindo assim seu custo. Comparando às outras opções de mercado possui um bom alcance, uma boa duração

⁹ Github do LoRa: <<https://github.com/Lora-net>>

¹⁰ Github do LoRaWAN: <<https://github.com/LoraWan>>

de bateria e principalmente é prático para inserção de novos nós e na comunicação com diferentes plataformas^[18].

6 Plataformas de tomada de decisão (camada de aplicação)

Apesar de existir iniciativas que visem plataformas de tomada de decisão mais universais e interoperáveis tais como o mySense^[14] (software livre) e o SenseTube^[11] (software proprietário), a maioria das plataformas de tomada de decisão abaixo tendem a resolver um único problema específico ou servem apenas para pesquisas.

De acordo com a pesquisa de Kath e Pembleton^[9] até onde sabe-se no ano de 2019 não havia nenhuma plataforma ou *framework* que baseando-se na temperatura do solo fornecesse dados dinâmicos para informar em tempo real decisões agronômicas dependentes do solo, tal como momento do plantio, irrigação entre outros.

Considerando essa lacuna do conhecimento, desenvolveu-se uma ferramenta de suporte à decisão da temperatura do solo, “*temperature decision support tool*”, seguindo uma metodologia de cinco passos:

1. Comparação dos dados climáticos e ambientais, conseguindo a variabilidade em larga escala da temperatura do solo.
2. Comparação das temperaturas médias em séries históricas.
3. Comparar variáveis preditoras de clima com as medições realizadas, obtendo previsões.
4. Transformar o sistema para funcionar em tempo real.
5. Investigações a longo prazo.

Com o objetivo de aumentar a precisão utiliza-se nove variáveis preditoras de clima, sendo elas: temperatura máxima, radiação diária, diferença entre temperatura máxima e mínima, taxa pluviométrica, latitude, elevação, conteúdo de água do solo, difusão térmica do solo, dia do ano.

Este sistema foi desenvolvido em Shiny (R), e possui uma alta taxa de predição de 92% de validação cruzada R_2 , RMSE = 1,91, tendência percentual = - 0,01. Com essas taxas de predição pode-se auxiliar os agricultores de algodão a realizarem o plantio no momento certo, classificando o solo como “bom” após três dias com temperaturas acima de 14°C, dessa maneira após utilizar dados de variáveis preditoras supracitadas recomenda-se ou não o plantio.

Outro sistema de apoio à decisão desenvolvido por Trilles et al.^[10], com o objetivo de monitorar vinhedos para encontrar e tratar “míldio” (mofo). O míldio é uma doença fúngica causada pela *plasmopara viticola oomycete*, doença essa que causa muito prejuízo nas vinícolas^[10]. Doença essa muito estudada, sendo assim nessa pesquisa baseando-se nos modelos já existentes de detecção e acompanhamento do fungo, buscou-se a automatização dos mesmos.

O principal modelo utilizado para descobrir qual o momento mais propício de aparecimento do míldio foi o de Goidanich^[20], também chamado de “regra dos três dez” pois quando a temperatura média ultrapassa 10°C, a germinação ultrapassa os 10 cm e o volume de chuva superior a 10 mm, este é o momento propício para uma primeira contaminação da vinha. Sabendo desses dados expostos por Goidanich^[20] percebe-se a necessidade de monitorar três fenômenos, sendo eles: temperatura, umidade e índice pluviométrico, sendo assim precisando de três sensores.

Para desenvolver essa plataforma o autor utilizou o sistema “*Sense Our Environment*” (SEnviro), uma plataforma que utilizando-se de software e hardware livres visa baixar o custo e aumentar a eficiência energética dos sensores^[10]. O SEnviro contém suas funcionalidades melhor explicado em outra pesquisa^[21] e como já citado nessa seção possui todos os códigos fonte disponível ao público no github¹¹

Com a estação concluída iniciou-se os testes, detectando em 96,9% de maneira precisa em que houve o alerta de infecções. Através disso, os agricultores puderam aplicar o tratamento de controle de praga apenas quando necessário, reduzindo assim a quantidade de produtos químicos no solo, a quantidade de horas gastas para verificação e correção de doenças dentro do vinhedo bem como os custos da plantação.

7 Considerações finais

Em se tratando de agricultura de precisão, percebe-se neste trabalho que a internet das coisas, em suas diversas camadas, deve melhorar a coleta e interpretação de variáveis relevantes, dessa maneira diminuindo custos e aumentando a produtividade.

Observando cada um dos níveis dos sistemas *IOT*, tem-se que, existem muitos sensores diferentes para medir determinados elementos, cada sensor com suas próprias especificações, estratégias de medição, vantagens, desvantagens, dessa maneira na seção 4, tentou-se listar os sensores mais benéficos, baseando-se no seu uso nas últimas aplicações de ponta, apesar do uso ou não de um sensor depender muitos fatores e não existir um único sensor que seja o melhor para qualquer tipo de uso.

Outrossim, no que se refere a sistemas de comunicação observou-se na seção 5, duas principais tecnologias a LoRaWANTM e o BLE, analisando assim comunicação tanto em curtas como em longas distâncias.

Por fim a seção 6 analisa aplicações que a partir dos dados coletados nas outras camadas, auxiliam o proprietário de área rural a tomar suas decisões. Nesse nível o software é muito específico a cada cenário, porém observa-se o uso de tecnologias que permitem a portabilidade para múltiplos sistemas e máquinas.

¹¹ Github do grupo de pesquisa: <<https://github.com/GeoTecINIT/>>

Referências

- 1 MESAS-CARRASCOSA, F. et al. Open source hardware to monitor environmental parameters in precision agriculture. **Biosystems Engineering**, v. 137, p. 73 – 83, 2015. ISSN 1537-5110. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511015001208>>. Acesso em: 3 de dezembro de 2020. Citado nas páginas 2, 3, 5 e 6.
- 2 TZOUNIS, A. et al. Internet of things in agriculture, recent advances and future challenges. **Biosystems Engineering**, v. 164, p. 31 – 48, 2017. ISSN 1537-5110. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511017302544>>. Acesso em: 3 de dezembro de 2020. Citado nas páginas 2, 3, 6 e 7.
- 3 Chen, S. et al. A vision of iot: Applications, challenges, and opportunities with china perspective. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 1, n. 4, p. 349–359, 2014. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6851114>>. Acesso em: 16 de janeiro de 2021. Citado na página 2.
- 4 LÓPEZ, J. A. et al. Gaia2: A multifunctional wireless device for enhancing crop management. **Agricultural Water Management**, v. 151, p. 75 – 86, 2015. ISSN 0378-3774. New proposals in the automation and remote control of water management in agriculture: agromotic systems. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377414003436>>. Acesso em: 3 de dezembro de 2020. Citado nas páginas 3 e 6.
- 5 TALAVERA, J. M. et al. Review of iot applications in agro-industrial and environmental fields. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 142, p. 283 – 297, 2017. ISSN 0168-1699. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169917304155>>. Acesso em: 3 de dezembro de 2020. Citado na página 3.
- 6 KIZITO, F. et al. Frequency, electrical conductivity and temperature analysis of a low-cost capacitance soil moisture sensor. **Journal of Hydrology**, v. 352, n. 3, p. 367 – 378, 2008. ISSN 0022-1694. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169408000462>>. Acesso em: 3 de dezembro de 2020. Citado nas páginas 3, 4 e 5.
- 7 BAUER, J. et al. On the potential of wireless sensor networks for the in-situ assessment of crop leaf area index. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 128, p. 149 – 159, 2016. ISSN 0168-1699. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169916306585>>. Acesso em: 3 de dezembro de 2020. Citado na página 3.
- 8 KARIMI, N. et al. Web-based monitoring system using wireless sensor networks for traditional vineyards and grape drying buildings. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 144, p. 269 – 283, 2018. ISSN 0168-1699. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169916312558>>. Acesso em: 3 de dezembro de 2020. Citado nas páginas 3, 5 e 6.
- 9 KATH, J.; PEMBLETON, K. G. A soil temperature decision support tool for agronomic research and management under climate variability: Adapting to

- earlier and more variable planting conditions. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 162, p. 783 – 792, 2019. ISSN 0168-1699. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169918317629>. Acesso em: 3 de dezembro de 2020. Citado nas páginas 3 e 8.
- 10 TRILLES, S. et al. Development of an open sensorized platform in a smart agriculture context: A vineyard support system for monitoring mildew disease. **Sustainable Computing: Informatics and Systems**, 2019. ISSN 2210-5379. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210537918302270>. Acesso em: 3 de dezembro de 2020. Citado nas páginas 3, 8 e 9.
- 11 SAWANT, S.; DURBHA, S. S.; JAGARLAPUDI, A. Interoperable agro-meteorological observation and analysis platform for precision agriculture: A case study in citrus crop water requirement estimation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 138, p. 175 – 187, 2017. ISSN 0168-1699. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169916304082>. Acesso em: 3 de dezembro de 2020. Citado nas páginas 3, 6 e 8.
- 12 ROMANO, N. Soil moisture at local scale: Measurements and simulations. **Journal of Hydrology**, v. 516, p. 6 – 20, 2014. ISSN 0022-1694. Determination of soil moisture: Measurements and theoretical approaches. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169414000328>. Acesso em: 3 de dezembro de 2020. Citado na página 4.
- 13 SHARMA, H. et al. Soil moisture sensor calibration, actual evapotranspiration, and crop coefficients for drip irrigated greenhouse chile peppers. **Agricultural Water Management**, v. 179, p. 81 – 91, 2017. ISSN 0378-3774. Special Issue on Improving Agricultural Water Productivity to Ensure Food Security under Changing Environments Overseen by: Brent Clothier. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377416302487>. Acesso em: 3 de dezembro de 2020. Citado nas páginas 4 e 5.
- 14 MORAIS, R. et al. mysense: A comprehensive data management environment to improve precision agriculture practices. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 162, p. 882 – 894, 2019. ISSN 0168-1699. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016816991831648X>. Acesso em: 3 de dezembro de 2020. Citado nas páginas 6 e 8.
- 15 BLUETOOTH Radio Versions. Disponível em: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/radio-versions/>. Acesso em: 1 de fevereiro de 2021. Citado na página 6.
- 16 CHO, K. et al. Performance analysis of device discovery of bluetooth low energy (ble) networks. **Computer Communications**, v. 81, p. 72 – 85, 2016. ISSN 0140-3664. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366415003886>. Acesso em: 1 de fevereiro de 2021. Citado nas páginas 6 e 7.
- 17 LORA-ALLIANCE. **LoRaWAN What is it?** 2015. Disponível em: <https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/what-is-lorawan.pdf>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2021. Citado na página 7.

- 18 DAVCEV, D. et al. Iot agriculture system based on lorawan. In: IEEE. **2018 14th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS)**. 2018. p. 1–4. Disponível em: <<http://agri.ckcest.cn/file1/M00/02/9C/Csgk0FvuHlmAG4hvAAt6z4aITH0840.pdf>>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2021. Citado nas páginas 7 e 8.
- 19 ADELANTADO, F. et al. Understanding the limits of lorawan. **IEEE Communications magazine**, IEEE, v. 55, n. 9, p. 34–40, 2017. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/1607.08011.pdf>>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2021. Citado na página 7.
- 20 GOIDANICH, G.; GIAVARINI, I.; WILSON, E. O. **Manuale di Patologia vegetale**. [S.l.]: Edizioni Agricole, 1964. v. 2. Acesso em: 10 de dezembro de 2020. Citado na página 9.
- 21 TRILLES, S. et al. Senviro: a sensorized platform proposal using open hardware and open standards. **Sensors**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 15, n. 3, p. 5555–5582, 2015. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/15/3/5555/htm>>. Acesso em: 10 de dezembro de 2020. Citado na página 9.