



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI – UNIVATES  
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

**PLATAFORMA IOT DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DE  
CLIMA E AUTOMATIZAÇÃO DO MEIO AGROPECUÁRIO**

Luis Felipe Dal Molin

Lajeado, junho de 2020

Luis Felipe Dal Molin

## **PLATAFORMA IOT DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DE CLIMA E AUTOMATIZAÇÃO DO MEIO AGROPECUÁRIO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, da Universidade do Vale do Taquari – Univates, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Stürmer Wolf

Lajeado, junho de 2020

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais Fernando Dal Molin e Kátia Lanzoni Dal Molin, principais responsáveis por esta etapa concluída.

À minha namorada Shaiane Fin, pelo companheirismo e compreensão e por ter compartilhado desta trajetória comigo.

Aos meus amigos Denner Erthal, Eduardo Caron, Gibran Chiminazzo, Heryk Gasparini, Luan Träsel, Vidal Valério e Vinícius Rockenbach, verdadeiros irmãos que a vida me proporcionou.

Ao meu orientador Prof. Dr. Alexandre Stürmer Wolf, por todo auxílio e pela direta colaboração no desenvolvimento deste trabalho.

## RESUMO

Com a crescente evolução da tecnologia e da indústria, as atividades do meio rural têm passado por um acelerado processo de mecanização, fazendo com que a oferta de trabalho neste setor diminua acentuadamente. Tal processo, mesmo trazendo vários benefícios em termos de melhora na produção, pode gerar dificuldades nas atividades da agropecuária para produtores de médio e pequeno porte, em certos casos onde os mesmos não dispõem do aporte financeiro necessário para aquisição de maquinário, nem possuem a mão de obra qualificada para as atividades, fazendo com que em muitas situações não seja possível atender à demanda desejada. Neste cenário de forte influência tecnológica no campo, a IoT, impulsionada pelo advento da agricultura de precisão, surge como uma alternativa para construção de uma solução de baixo custo e fácil operação, para que pequenos e médios produtores possam dispor de um completo monitoramento de suas áreas de plantio, bem como ter em mãos uma ferramenta para automatização de tarefas corriqueiras inerentes ao agronegócio. O presente trabalho visou a criação de um protótipo IoT que integra uma estação meteorológica para extração dos dados do clima aliado a um equipamento para automação de tarefas como irrigação e aquecimento. Tanto a leitura das informações quanto o controle de acionamento dos atuadores do protótipo ocorrem através de uma aplicação gerenciadora para as plataformas web e *mobile*, de onde também é possível configurar o envio de alertas via SMS, e-mail, aplicativos de mensagens ou notificações de *push*, para o responsável pelo controle da produção. Ao final do projeto, concluiu-se que os estudos sobre os conceitos que envolvem o desenvolvimento de plataformas embarcadas e aplicações para internet e aparelhos portáteis, e a realização do desenvolvimento do protótipo utilizando as tecnologias analisadas, possibilitaram atingir os objetivos e resultados esperados.

**Palavras-chave:** IoT. Clima. Agropecuária.

## **ABSTRACT**

With technology and industry's rising evolution, rural activities have been going through an accelerated mechanization process, resulting in a considerable decrease of job offers in this sector. Such process, even though it brings several benefits when it comes to better production, may also bring difficulties to farming activities for medium and small sized producers, in cases where they lack the financial support necessary to acquire machinery, or the qualified workers for these activities, making it so it isn't possible to attend the desired demand. In this scenario where technology heavily influences rural activities, the IoT, propelled by precision agriculture's advent, arises as an alternative for building a low cost and easily operational solution, so that small and medium producers may have complete monitoring of their cultivation areas, as well as dispose of an automation tool for everyday tasks inherent to agrobusiness. This study aimed to create an IoT prototype that incorporates a weather station, that extracts climate data, to a device for task automation, such as irrigation and heating. Information gathering as well as the prototype's actuators' activation control occur through a management application available for web and mobile, where it's possible to configure notifications delivery through SMS, e-mail, messaging apps or push notification, to the person responsible for production control. At the end of the project, it was concluded that the studies on the concepts that involve the development of embedded platforms and applications for internet and portable devices, and the development of the prototype using the analyzed technologies, made it possible to achieve the objectives and expected results.

**Keywords:** IoT. Climate. Farming.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Funcionamento dos sensores ópticos .....	20
Figura 2 – Comportamento dos termistores conforme variação da temperatura.....	21
Figura 3 – Exemplo de válvula solenoide .....	22
Figura 4 – Exemplo do barramento do protocolo I2C .....	24
Figura 5 – Exemplo do barramento do protocolo SPI.....	25
Figura 6 – Exemplo do barramento do protocolo 1Wire .....	26
Figura 7 – Exemplo de arquitetura cliente servidor .....	27
Figura 8 – Camadas de um provedor de <i>cloud</i> .....	29
Figura 9 – Ciclo do processo de desenvolvimento de software.....	31
Figura 10 – Diagrama do modelo MVC .....	32
Figura 11 – Exemplo de arquitetura de um <i>Web Service</i> REST.....	33
Figura 12 – Exemplo da estrutura de um JSON.....	34
Figura 13 – Arquitetura do sistema, Morijo (2019) .....	36
Figura 14 – Arquitetura do sistema, Souza (2019) .....	37

Figura 15 – Arquitetura do sistema, Santos et al. (2019) .....	38
Figura 16 – Arquitetura do sistema, Math e Dharwadkar (2018) .....	39
Figura 17 – Arquitetura do sistema, Saraf e Gawali (2017).....	40
Figura 18 – Arquitetura do produto.....	44
Figura 19 – Placa de desenvolvimento ESP32. ....	45
Figura 20 – Sensor DS18B20.....	45
Figura 21 – Sensor DHT22.....	46
Figura 22 – Sensor FC28 .....	47
Figura 23 – Sensor BMP280 .....	47
Figura 24 – Sensor LDR.....	48
Figura 25 – Sensor UVM-30A .....	48
Figura 26 – Pluviômetro .....	49
Figura 27 – Anemômetro.....	49
Figura 28 – Biruta.....	50
Figura 29 – Módulo relé 5 V de 4 canais.....	51
Figura 30 – Processo de sensoriamento.....	53
Figura 31 – Recipiente de armazenamento dos sensores .....	53
Figura 32 – Processo de funcionamento dos atuadores .....	54
Figura 33 – Recipiente de armazenamento dos atuadores.....	54
Figura 34 – Formulário para criação de regra de acionamento.....	55
Figura 35 – Autenticação via Telegram.....	57

Figura 36 – Formulário para cadastro de regras de alerta .....	58
Figura 37 – Coleções de documentos relacionadas.....	59
Figura 38 – Estufa miniatura construída para testes.....	62
Figura 39 - <i>Dashboard</i> .....	63
Figura 40 – Exemplo de operação dos atuadores.....	64
Figura 41 – Envio de alerta por e-mail .....	65
Figura 42 – Envio de alertas via Telegram.....	66
Figura 43 – SMS e notificação de <i>push</i> .....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes da norma IEEE 802.11 .....	26
Tabela 2 – Comparativo entre os métodos de solicitação HTTP/HTTPS .....	28
Tabela 3 – Comparativo dos trabalhos relacionados .....	41
Tabela 4 – Custos com a elaboração do protótipo .....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CI	Circuito Integrado
CSS	Cascading Style Sheets - Folhas de Estilo em Cascata
CSV	Comma-separated values - Valores Separados por Vírgula
HTML	HyperText Markup Language - Linguagem de Marcação de Hipertexto
HTTP	Hyper Transfer Protocol - Protocolo de Hiper Transferência
HTTPS Seguro	Hypertext Transfer Protocol Secure - Protocolo de Hiper Transferência Seguro
I2C	Inter Integrated Circuit
IAAS	Infrastructure as a Service - Infraestrutura como Serviço
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IOT	Internet of Things - Internet das Coisas
JSON	JavaScript Object Notation - Notação de Objeto JavaScript
LORA	Long Range - Longo Alcance
MISO	Master Input Slave Output
MOSI	Master Output Slave Input
MVC	Model View Controller
NTC Temperatura	Negative Temperature Coefficient - Coeficiente Negativo de Temperatura

OSI	Open System Interconnection - Interconexão de Sistemas Abertos
PASS	Plataform as a Service - Plataforma como Serviço
PIB	Produto Interno Bruto
PTC	Positive Temperature Coefficient - Coeficiente Positivo de Temperatura
REST	Representational State Transfer - Transferência Representacional do Estado
RFID	Radio-Frequency Identification - Identificação de Rádio Frequência
SAAS	Sotware as a Service - Software como Serviço
SCL	Serial Clock - Relógio Serial
SCLK	Serial Clock - Relógio Serial
SDA	Serial Data - Dados Seriais
SPI	Serial Peripheral Interface - Interface Periférica Serial
SS	Slave Select
URL	Uniform Resource Locator - Localizador Uniforme de Recurso
WIFI	Wireless Fidelity - Fidelidade Sem Fio
WLAN	Wireless Local Area Network - Rede Local Sem Fio
XML	Extensible Markup Language - Linguagem de Marcação Extensível

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 Problema a Ser Resolvido e Público-alvo .....	16
1.2 Objetivos .....	16
1.2.1 Objetivo Geral .....	16
1.2.2 Objetivos Específicos .....	17
1.3 Estrutura do Trabalho.....	17
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
2.1 Internet das Coisas .....	18
2.2 Sistemas Embarcados.....	18
2.3 Sensores .....	19
2.3.1 Sensores Analógicos.....	19
2.3.2 Sensores Digitais .....	20
2.3.3 Sensores Ópticos .....	20
2.3.4 Sensores Térmicos .....	20
2.3.5 Sensores de Umidade .....	22
2.4 Atuadores.....	22
2.5 Protocolos de Comunicação.....	23
2.5.1 Protocolo I2C.....	23
2.5.2 Protocolo SPI .....	24
2.5.3 Protocolo 1Wire.....	25
2.6 WiFi (IEEE 802.11).....	26
2.7 HTTP.....	27
2.8 HTTPS.....	28
2.9 Cloud Computing.....	28
2.10 Software .....	30
2.11 Desenvolvimento de Software.....	30
2.12 Aplicação Web .....	31

2.13 Aplicativos Mobile.....	32
2.14 WebSockets .....	32
2.15 Web Services .....	33
2.15.1 REST.....	33
2.15.2 JSON.....	34
2.16 NoSQL.....	34
<b>3 TRABALHOS RELACIONADOS.....</b>	<b>35</b>
3.1 Estudo 1 .....	35
3.2 Estudo 2 .....	36
3.3 Estudo 3.....	37
3.4 Estudo 4 .....	38
3.5 Estudo 5 .....	39
3.6 Comparativo entre os Trabalhos Relacionados.....	40
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>42</b>
4.1 Tecnologias .....	43
4.1.1 ESP32 .....	44
4.1.2 Sensores .....	45
4.1.3 Atuadores .....	50
4.1.4 NodeJs .....	51
4.1.5 React.....	51
4.1.6 MongoDB .....	52
4.2 Procedimentos .....	52
4.2.1 Sensores .....	52
4.2.1 Atuadores .....	54
4.2.2 Alertas .....	56
4.2.3 Banco de Dados.....	58
4.3 Estimativa de Custos.....	59
<b>5 RESULTADOS.....</b>	<b>61</b>
5.1 Dados do Clima.....	62
5.2 Acionamento dos Atuadores .....	63
5.3 Envio de Alertas .....	64
5.4 Dificuldades.....	67
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>70</b>

# 1 INTRODUÇÃO

As atividades do agronegócio, são algumas das principais áreas do setor primário da economia, e responsáveis por produzir boa parte dos chamados recursos primários, que servem de matéria-prima para os setores secundário e terciário da economia. O fato de ser um ramo voltado à produção de matéria-prima, é um dos motivos deste setor levar o nome de primário, além do fato de ser o antecessor dos demais setores existentes na cadeia econômica.

Conforme o Ministério da Agricultura (2017), o setor agropecuário apresentou no ano de 2017 um acumulado de 14,5% de crescimento, a organização acrescentou ainda que o setor teve um percentual de 5,7% de representação no Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil no ano em questão e, junto com as demais áreas abrangidas pelo setor primário, gerou uma participação total de até 24% no PIB.

Contudo, apesar da alta demanda que possui, o setor primário vem diminuindo cada vez mais a oferta de empregos. Segundo Pena (2019), este fato deve-se a um processo de modernização tecnológica que ocorre desde o início da terceira revolução industrial, onde pode-se notar um aumento do uso de novos maquinários e novas técnicas de cultivo e produção.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2019), através da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua, demonstra que no primeiro trimestre do ano de 2019, atividades como agricultura e pecuária compuseram apenas 9,2% do percentual de pessoas ocupadas no mercado de trabalho.

Para Pena (2019), esta baixa procura por mão de obra no setor primário aliado à substituição do homem pela máquina, acaba por gerar uma migração dessa mão de obra para grandes centros em busca de oportunidades principalmente no setor terciário, caracterizando o chamado êxodo rural.

Este processo de gradual transição da mão de obra do homem pelo uso das máquinas, ligado ao surgimento de novos meios mais avançados para realização das atividades do agronegócio, resultou em um termo conhecido como Agricultura de Precisão. Conforme Molin (2002), este sistema tem como característica a coleta de dados referente ao ambiente onde ocorrem as atividades e um posterior gerenciamento destas informações provendo maior assertividade em ações interventivas como aplicação de insumos ou irrigação.

Nos últimos anos devido a este cenário de forte influência tecnológica no meio rural, devido ao advento da agricultura de precisão, um conceito que vem se tornando cada vez mais presente é o da Internet of Things (IoT) ou Internet das Coisas. Este termo foi utilizado pela primeira vez no ano de 1999 por Kevin Ashton, em uma apresentação que tinha o objetivo de otimizar a distribuição de informação sem a interferência do homem fazendo uso da tecnologia de Radio Frequency Identification (RFID) (ASHTON, 2009).

Em resumo, trata-se de uma infraestrutura de rede global, dinâmica e autoconfigurável que faz uso de protocolos interoperáveis para comunicação com objetos físicos e virtuais que usam interfaces inteligentes e podem ser integrados a uma rede de informação (ANTOINE, 2009).

Segundo Manyika *et al.* (2016) até 2025 a IoT irá gerar uma receita que representará até 11% do PIB global, com um valor estimado entre 3,9 e 11,1 trilhões de dólares. Ainda segundo Manyika *et al.* (2016), a quantidade de dispositivos IoT conectados à rede mundial de computadores aumentará de 10 bilhões registrados no ano de 2015 para 34 bilhões até o ano de 2020.

Para Sundmaeker *et al.* (2016), o agronegócio possui na IoT uma poderosa ferramenta que favorece o controle de todos os níveis presentes na cadeia alimentar. As tecnologias compreendidas no conceito da IoT podem auxiliar em tarefas como monitoramento de uma determinada produção, análise no cultivo de

diversas culturas, controle da produção de animais, previsão e prevenção de intempéries através do monitoramento do clima, combate a pragas e infecções, entre outros.

Segundo Borja (2018), grandes empresários do ramo do agronegócio têm aderido cada vez mais às práticas da IoT pois perceberam nela um grande potencial para redução de perdas e sobretudo otimização da produção.

Mesmo considerando todo este contexto de evolução do meio rural através do tempo, ainda é possível identificar casos onde, apesar do surgimento de novas tecnologias que auxiliam nas atividades do agronegócio, os processos do cotidiano no campo ainda são majoritariamente manuais e conseqüentemente comprometidos devido à falta de mão de obra. Tal situação, bem como a falta de automatização, na maioria das vezes atingem os produtores de médio e pequeno porte e por muitas vezes também ocorrem devido à falta de aporte financeiro, o que demonstra a necessidade de existência de soluções mais acessíveis a este público.

O presente trabalho motiva-se pelo interesse na IoT aliada à crescente aderência a estas práticas para a solução ou melhora de processos em diversas áreas do mercado de trabalho, como a indústria e a agropecuária.

A justificativa para escolha de tal conceito para solução dos problemas do meio agropecuário, é a possibilidade de encontrar na IoT um meio viável de desenvolver um protótipo de baixo custo que, aliado a aplicativos portáteis, possa prover um monitoramento consistente de determinada área de cultivo ou produção de animais, bem como proporcionar de forma simplificada um controle automatizado destes meios.

A proposta torna-se relevante pelo fato de ter o potencial para solucionar problemas corriqueiros e muitas vezes críticos do meio rural, tais como desperdício de recursos naturais e insumos, bem como auxiliar a suprir o problema de falta de mão de obra qualificada para as atividades do ramo, tudo isto com um custo reduzido quando comparado a outras alternativas do mercado.

## **1.1 Problema a Ser Resolvido e Público-alvo**

Elaborar uma solução que tenha potencial para resolver adversidades como a falta de mão de obra qualificada para realização das atividades inerentes ao meio agropecuário, bem como propor um recurso com menor custo do que a contratação de mão de obra.

Automatizar tarefas que necessitam ser realizadas com certa frequência, através de processos autônomos que são executados mediante prévio agendamento.

Reduzir o desperdício de recursos naturais como a água usada na irrigação e insumos agrícolas utilizados como potencializador no cultivo de variadas culturas ou criações de animais.

Diminuir o custo com tecnologias utilizadas para monitoramento e automatização de tarefas relacionadas ao cotidiano do trabalhador rural.

Tal solução destina-se principalmente ao produtor doméstico ou agropecuário de pequeno e médio porte, que necessita de auxílio no monitoramento e automatização na produção.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Desenvolver um protótipo utilizando dispositivos de IoT que permita reduzir custos com tarefas inerentes ao agronegócio, suprimir o custo com mão de obra ou a falta de mão de obra qualificada, simplificando tarefas que podem ser automatizadas, permitindo maior controle sobre determinada produção ou criação, por fim, possibilitar a definição do momento em que irão ocorrer ações de intervenção na produção.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar soluções existentes no mercado para monitoramento e automatização do meio agropecuário;
- Identificar recursos de IoT para elaboração do protótipo;
- Definir ferramentas para desenvolvimento de *software*;
- Desenvolver um protótipo que alie monitoramento do clima e automatização de tarefas do meio agrário;
- Desenvolver uma aplicação web e um aplicativo *mobile* para gerenciamento do protótipo;
- Avaliar e validar a efetividade da solução.

### 1.3 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho divide-se em 6 capítulos. O primeiro capítulo introduz os problemas que o agronegócio enfrenta e como a IoT pode contribuir para a solução destes. No segundo capítulo é apresentado o referencial teórico com os conceitos estudados e que compõem o desenvolvimento do protótipo. A terceira parte é um comparativo com outros trabalhos que seguem a mesma linha de desenvolvimento, demonstrando o que cada um deles abrange ou não abrange. No quarto capítulo é realizado um levantamento dos recursos e das tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do trabalho, e um detalhamento sobre todos os processos realizados durante a prototipagem do projeto. O quinto capítulo exhibe os resultados obtidos dos testes realizados em todas as frentes que o projeto atua e como eles possibilitaram alcançar os objetivos propostos, além das dificuldades encontradas. Por fim, são expostas algumas considerações finais sobre o projeto como um todo, bem como sugestões para futuras implementações tendo o presente trabalho como embasamento.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foi realizado um estudo sobre o conceito de sistemas embarcados, sensores e atuadores e os protocolos utilizados pelos mesmos, além de um detalhamento sobre os conceitos de desenvolvimento de software voltado para as plataformas web e *mobile*.

### 2.1 Internet das Coisas

Conforme Nunes (2016), a IoT foi criada com o intuito de definir objetos conectados a uma determinada rede através de dispositivos inteligentes, que transmitem os dados obtidos para controladores via Internet.

Silva *et al.* (2015), define a Internet da Coisas como uma tecnologia que faz uso de objetos inteligentes, utiliza sensores ou algum objeto processador de dados, que pode ser embarcada em diversas ocasiões do cotidiano, ou ainda algo que pode ser utilizado para melhora da vida humana ou controle do uso de recursos naturais.

### 2.2 Sistemas Embarcados

De acordo com Oliveira e Andrade (2010), os sistemas embarcados são compostos por um componente de processamento acoplado a um circuito impresso. Tais sistemas são desenvolvidos com a finalidade de processar informações que são executadas por um *software* conhecido como *firmware*, que é interpretado pela unidade de processamento interna.

Conforme explica Oliveira e Andrade (2010), os sistemas embarcados são constituídos por diversos componentes, como microcontroladores, microprocessadores, memórias e sistemas de comunicação. Os sistemas embarcados são voltados para a composição de sistemas de maior escala e geralmente encontram-se em aparelhos eletrônicos, eletrodomésticos, automobilísticos e industriais.

## **2.3 Sensores**

Sensores são componentes que possuem sensibilidade a certos formatos de energia que um determinado ambiente pode apresentar, energia esta que varia entre a energia térmica ou luminosa. Estes, são utilizados para medir grandezas como temperatura, luminosidade, umidade, velocidade entre outras (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

Segundo Thomazini e Albuquerque (2011), os sensores têm o propósito de, através de suas medições, monitorar as condições de determinado aparelho ou máquina obtendo dados extraídos de variáveis físicas do local onde o sistema que possui os sensores encontra-se, fazendo com que os mesmos tenham influência direta no ambiente que estão atuando.

Conforme Saloman (2012), os sensores são fundamentais para diversas áreas como automobilística, industrial e demais áreas que fazem uso de equipamentos eletrônicos ou mecanizados. O autor cita que atualmente o número de sensores presentes no mercado é muito grande e devido ao fato de os mesmos serem capazes de realizar a medição de uma gama muito grande de variáveis, os sensores têm auxiliado em diversos aspectos como a melhora de determinada produção, prevenção de problemas e melhora da segurança de sistemas.

### **2.3.1 Sensores Analógicos**

Um sensor analógico é capaz de atribuir um valor qualquer ao seu sinal de saída, durante um determinado instante, contanto que este valor esteja

compreendido na mesma faixa de operação do sensor. Tais sensores podem medir dados como velocidade, luminosidade, temperatura, entre outros (WENDLING, 2010).

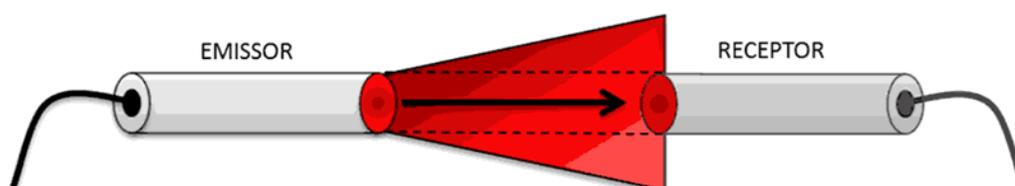
### 2.3.2 Sensores Digitais

Os sensores digitais possuem a capacidade de obter variedades distintas de impulsos e converter as mesmas em frequências binárias. Os sinais que são transmitidos por estes sensores, podem ser representados por um *bit* quando forem únicos ou por uma sequência de *bytes* quando a transmissão é feita em paralelo (WENDLING, 2010).

### 2.3.3 Sensores Ópticos

Conforme Thomazini e Albuquerque (2011), os sensores ópticos funcionam através da existência de um agente emissor e de um receptor, no qual o emissor transmite um sinal de luz que deve ter como destino o agente receptor. Estes sensores têm a capacidade de detectar uma determinada alteração no ambiente sem nenhuma interação mecânica. A Figura 1 exemplifica o processo de envio e recebimento do sinal de luz entre emissor e receptor.

Figura 1 – Funcionamento dos sensores ópticos



Fonte: Do Autor (2019).

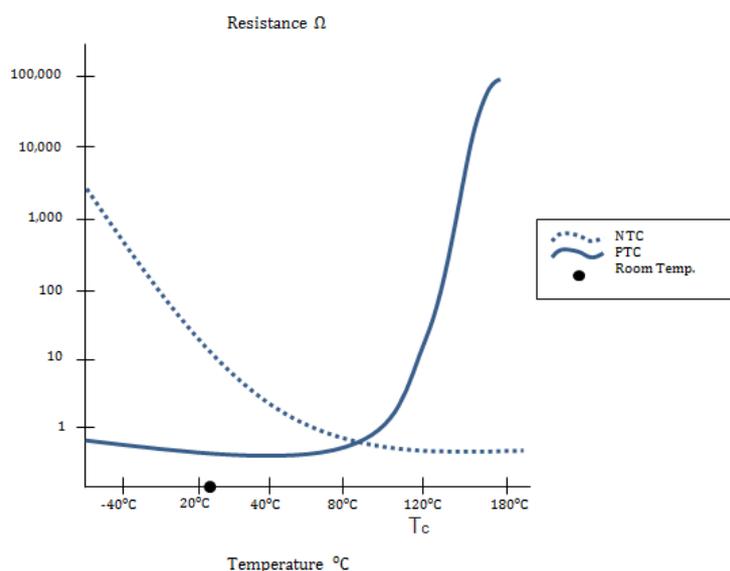
### 2.3.4 Sensores Térmicos

Os sensores térmicos dividem-se em duas principais categorias, as termoresistências e os termistores.

As termoresistências são filamentos de metal que variam o valor de sua resistência conforme a mudança da temperatura. Este tipo de sensor tem maior adesão na área da indústria pois suporta tanto níveis muito altos quanto muito baixos de temperatura, podendo apresentar uma variação suportada de -200 a 650 °C (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

Já os termistores (*Thermally Sensitive Resistor*) são compostos por semicondutores que oscilam de acordo com as mudanças da temperatura. Podem ser divididos em dois tipos, o Positive Temperature Coefficient (PTC) e o Negative Temperature Coefficient (NTC), diferenciando apenas pelo fato de o primeiro elevar o valor da sua resistência conforme o aumento da temperatura e o segundo realizar o processo contrário, diminuindo sua resistência conforme o aumento da temperatura (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011). A Figura 2 demonstra como variam ambos os tipos de termistores conforme o aumento da temperatura.

Figura 2 – Comportamento dos termistores conforme variação da temperatura<sup>1</sup>



Fonte: Electrical Library (2017).

<sup>1</sup> Disponível em: <<http://www.electricalibrary.com/2017/08/14/ntc-e-ptc/>>. Acesso em: 20 out. 2019.

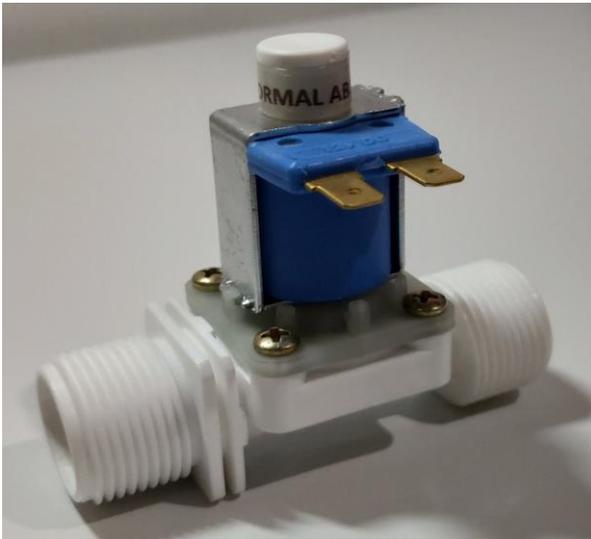
### 2.3.5 Sensores de Umidade

Os sensores de umidade são capazes de captar a quantidade de vapor de água presente no ambiente ao qual ele está presente e quantificar o valor detectado, possibilitando assim a medição de dados como a umidade do ar e do solo (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

### 2.4 Atuadores

Para Thomazini e Albuquerque (2011), são definidos como atuadores os aparelhos capazes de modificar variáveis de determinado ambiente. Tal ação ocorre no momento em que o atuador recebe um sinal de um controlador central e realiza alguma ação interventiva no ambiente controlado, que pode resultar na modificação de alguma variável física deste ambiente. Alguns exemplos de atuadores são válvulas, relés e motores em geral. A Figura 3 demonstra um exemplo de atuador, neste caso uma válvula solenoide para controle de vazão.

Figura 3 – Exemplo de válvula solenoide



Fonte: Do Autor (2019).

## 2.5 Protocolos de Comunicação

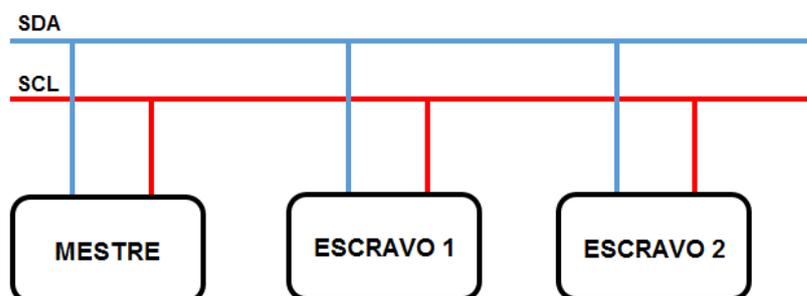
Os protocolos de comunicação são fundamentais no uso dos sistemas embarcados e soluções IoT. Através destes, componentes como sensores e atuadores podem enviar e receber dados do sistema central de processamento. Cada protocolo possui características particulares e apresentam arquiteturas de funcionamento distintas.

### 2.5.1 Protocolo I2C

Segundo Camara (2013), o protocolo Inter Integrated Circuit (I2C) caracteriza uma arquitetura de barramento para comunicação serial. Desenvolvido pela Phillips nos anos de 1990, este formato é muito utilizado em conexões de baixa velocidade como por exemplo os microcontroladores.

Camara (2013), explica que para um correto funcionamento, tanto o sistema central de processamento quanto os componentes nele acoplados devem possuir suporte a tal protocolo, utilizando algum circuito integrado (CI) externo, via *hardware* ou emulando o funcionamento do protocolo *bit a bit*.

Na arquitetura I2C, existem dois fios chamados de Serial Data (SDA) e Serial Clock (SCL), além de um fio de alimentação geralmente energizado de 3.3 a 5 V. O protocolo conta com duas categorias de dispositivos, o dispositivo *master* correspondido pela unidade central de processamento e os *slaves* que são os periféricos conectados ao primeiro. O fio SCL do barramento é o responsável pelo *clock* enquanto o SDA é encarregado da transmissão da informação (CAMARA, 2013). A Figura 4 demonstra a ligação do barramento utilizado pelo protocolo.

Figura 4 – Exemplo do barramento do protocolo I2C<sup>2</sup>

Fonte: Portal Vida de Silício (2017).

### 2.5.2 Protocolo SPI

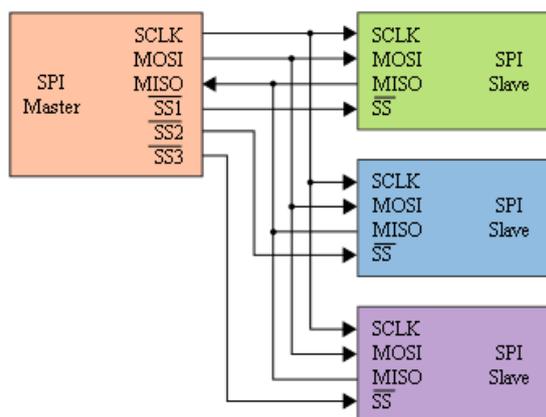
Segundo Rennó (2017), o Serial Peripheral Interface (SPI) foi desenvolvido pela Motorola tendo posteriormente a adesão de outros fabricantes. Trata-se de um protocolo de alta velocidade síncrono, atualmente utilizado em componentes como sensores de pressão, conversores analógicos, potenciômetros digitais, entre outros. Além disso, o SPI pode trabalhar no chamado modo *full-duplex*, onde é possível transmitir e receber dados ao mesmo tempo.

O barramento do SPI é constituído por 4 linhas de transmissão. O Serial Clock (SCLK) corresponde ao *clock* serial, o Master Output Slave Input (MOSI) corresponde à saída do *master* e entrada do *slave*, o Master Input Slave Output (MISO) corresponde à entrada do *master* e saída do *slave* e a linha Slave Select (SS) que possui padrão ativo baixo e indica se o dispositivo está acionado para leitura ou não (RENNÓ, 2017). A Figura 5 exemplifica a ligação do barramento do protocolo SPI com um *master* e vários *slaves*.

---

<sup>2</sup> Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/i2c-comunicacao-entre-arduinos/>>. Acesso em: 20 out. 2019.

Figura 5 – Exemplo do barramento do protocolo SPI<sup>3</sup>



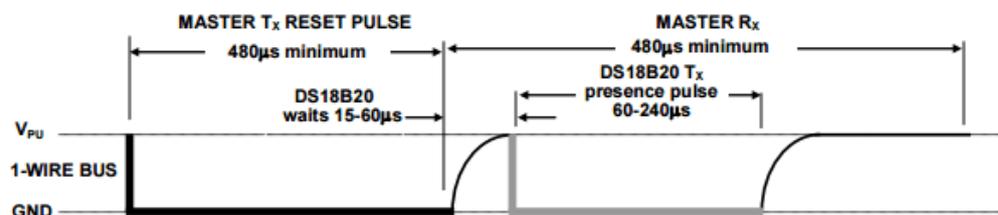
Fonte: Embarcados (2014).

### 2.5.3 Protocolo 1Wire

Awtrey (2001), detalha que o 1Wire foi desenvolvido pela Dallas Semiconductor, sendo capaz de transmitir informações de maneira bidirecional através de apenas um condutor enquanto paralelamente realiza a alimentação do dispositivo através da mesma linha do seu barramento.

A grande vantagem deste modelo é o fato de todas as interações feitas com dispositivos que implementam o protocolo 1Wire poderem ser realizadas através de um único programa, o que colabora para a criação de uma estrutura simplificada e de baixo custo operacional. A Figura 6 demonstra a ligação do barramento com um sensor de temperatura DS18B20 utilizando protocolo 1Wire.

<sup>3</sup> Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/spi-parte-1/>>. Acesso em: 20 out. 2019.

Figura 6 – Exemplo do barramento do protocolo 1Wire<sup>4</sup>

Fonte: Embarcados (2015).

## 2.6 WiFi (IEEE 802.11)

O Wireless Fidelity (WiFi) é uma tecnologia de comunicação utilizada por dispositivos para troca de informações a curtas distâncias. Sua principal finalidade é prover acesso de dispositivos móveis ou aparelhos eletrônicos em geral a uma determinada rede local. Também pode ser denominado como Wireless Local Area Network (WLAN) (NASCIMENTO, 2007). Na Tabela 1, encontra-se um detalhamento das classes da norma IEEE 802.11.

Tabela 1 – Classes da norma IEEE 802.11

Classes	Classificação
IEEE 802.11b	Frequência 2,4 GHz para até 11 Mbps
IEEE 802.11g	Frequência 2,4 GHz para até 54 Mbps
IEEE 802.11n	Frequência 2,4.5 GHz com capacidade de 150 até 600 Mbps
IEEE 802.11ac	Frequência 5 GHz para até 1 Gbps

Fonte: Do Autor (2019).

<sup>4</sup> Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/modulo-tiny-rtc-1-wire-parte-3/>>. Acesso em: 20 out. 2019.

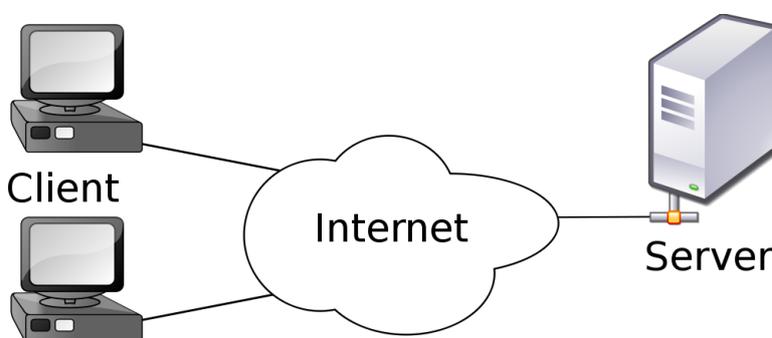
## 2.7 HTTP

Conforme Coulouris (2013), o Hyper Transfer Protocol (HTTP) é um protocolo da camada de aplicação do modelo Open System Interconnection (OSI), que utiliza arquitetura cliente-servidor, onde as mensagens são trocadas em pares. O cliente envia uma requisição ao servidor contendo as informações codificadas que serão processadas, além de um vetor de *bytes* contendo argumentos da requisição. Feito isso, o servidor devolverá ao cliente a resposta processada contendo os dados obtidos. As operações mais conhecidas do protocolo HTTP são as seguintes:

- POST: Envia ao servidor através da Uniform Resource Locator (URL) a solicitação para que o mesmo aceite um novo objeto como subordinado do recurso web;
- GET: Solicita ao servidor as informações sobre um ou mais objetos que são subordinados do recurso web;
- PUT: Solicita ao servidor que determinado subordinado do recurso web tenha suas informações atualizadas;
- DELETE: Solicita ao servidor a exclusão de determinado objeto.

A Figura 7 demonstra a arquitetura cliente servidor com plataformas cliente distintas realizando a requisição para um mesmo servidor.

Figura 7 – Exemplo de arquitetura cliente servidor<sup>5</sup>



Fonte: Setthings (2019).

---

<sup>5</sup> Disponível em: <<https://www.setthings.com/en/clientserver-architecture>>. Acesso em: 22 jun. 2020.

## 2.8 HTTPS

O Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS) é uma evolução do HTTP e foi criado com o intuito de trabalhar com o envio e recebimento de informações de forma segura através da web. Este protocolo é utilizado em diversas plataformas como servidores, páginas web, bem como sistemas que não tem direta ligação com a internet (TANEMBAUM; STEEN, 2007).

As mensagens trocadas através deste protocolo, assim como no HTTP simples, são compostas por um cabeçalho que contém, uma linha que identifica o começo do mesmo, demais linhas com propriedades do cabeçalho e uma linha em branco que identifica o fim do cabeçalho, além do corpo da mensagem. Estas mensagens são criptografadas com o uso de um certificado digital (W3C, 2017). A Tabela 2 faz um comparativo entre as solicitações dos tipos GET e POST que são as utilizadas com maior frequência.

Tabela 2 – Comparativo entre os métodos de solicitação HTTP/HTTPS

	POST	GET
Parâmetros	Não salva os dados no histórico do navegador	Ficam armazenados no histórico do navegador
Tamanho	Ilimitado	Suporte até 2048 caracteres
Privacidade	Não armazena nenhum dado para rastreamento	Dados podem ficar expostos na URL
Cache	Não permite uso de cache	É viável de armazenamento em cache

Fonte: Do Autor (2019).

## 2.9 Cloud Computing

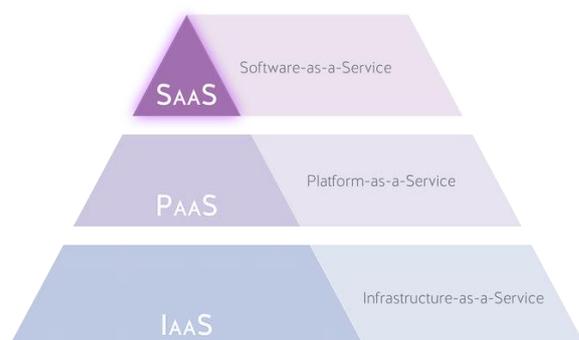
Segundo Ray (2017) a computação em nuvem (*Cloud Computing*) surgiu da necessidade de simplificar a disponibilização de serviços tecnológicos como por exemplo: Bancos de dados, *softwares* e servidores.

Esse tipo de plataforma tem como principal vantagem a escalabilidade dos recursos nela alocados, sendo capaz de reduzir recursos de ambientes com menos atividade ou até mesmo ociosos e transferir os mesmos para ambientes com maior demanda. Contudo, esse tipo de plataforma pode apresentar problemas como alto custo de contratação, largura de banda entre outros (RAY, 2017). Os tipos de serviços disponibilizados por plataformas em nuvem dividem-se em três categorias:

- IaaS (*Infrastructure as a Service*): Disponibiliza apenas os recursos necessários como armazenamento, memória e processador e deixa a cargo do contratante todo o trabalho de configuração do ambiente;
- PaaS (*Platform as a Service*): Nesta categoria é disponibilizado ao contratante o ambiente pré-configurado, sendo necessário apenas aplicar o mesmo nas aplicações desejadas;
- SaaS (*Software as a Service*): Neste conceito, o serviço em nuvem já fornece a aplicação online pronta para uso, sem necessidade de intervenção no ambiente contratado.

A Figura 8 demonstra como é a estrutura das categorias existentes em um serviço de nuvem.

Figura 8 – Camadas de um provedor de *cloud*<sup>6</sup>



Fonte: Nordic APIs (2016).

<sup>6</sup> Disponível em: <<https://nordicapis.com/living-in-the-cloud-stack-understanding-saas-paas-and-iaas-apis/>>. Acesso em: 20 out. 2019.

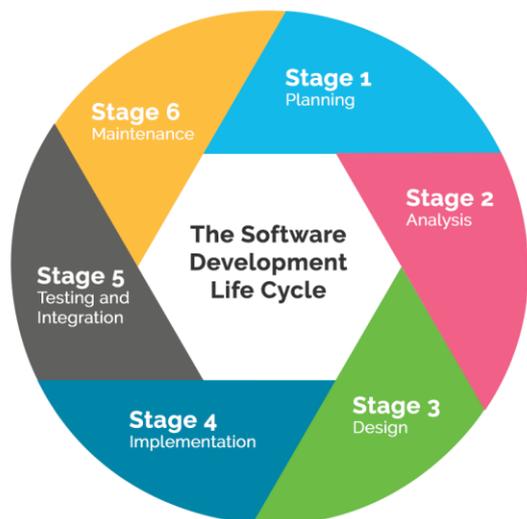
## 2.10 Software

Um *software* é um conjunto de regras executadas por uma plataforma computacional, que entrega informações consistentes através de um conjunto de dados ordenado de forma estrutural. Por tratar-se de um elemento lógico e não físico, um *software* nunca sofre desgaste (PRESSMAN, 2016).

## 2.11 Desenvolvimento de Software

Segundo Miletto e Bertagnolli (2014), o procedimento de desenvolvimento de *software* consiste em um processo que envolve as atividades de modelagem do sistema, o desenvolvimento em si, passando por testes e documentação e pôr fim a etapa de implantação e mantimento, além de posterior suporte quando necessário. Para que tal processo tenha início é necessário optar por um modelo dentre os existentes ou até mesmo a não adoção de um processo específico para desenvolvimento, o que pode dificultar atividades como distribuição de tarefas ou documentação da ferramenta a ser desenvolvida.

Para Okuyama *et al.* (2013), um *software* deve primeiramente ser arquitetado por uma equipe de analistas de sistemas, que serão responsáveis por desenvolver as regras de negócio na qual este irá basear-se. Posterior a isso, é realizada a elaboração da aplicação por um ou mais programadores que possuem a capacidade lógica de implementar as instruções necessárias para construção de um *software* efetivo. A Figura 9 exemplifica o ciclo que o processo de desenvolvimento de *software* segue.

Figura 9 – Ciclo do processo de desenvolvimento de software<sup>7</sup>

Fonte: DDI Development (2017).

## 2.12 Aplicação Web

Uma aplicação web consiste em um *software* acessível através de ferramentas de navegação via internet conhecidas como *browsers*. Estas aplicações podem ser acessadas tanto localmente através da mesma máquina onde encontra-se o servidor na qual está hospedada a aplicação, remotamente, porém da mesma rede do servidor, ou através de uma rede externa. As aplicações web fazem uso de diversas tecnologias em sua composição como JavaScript, HyperText Markup Language (HTML) e o Cascading Style Sheets (CSS).

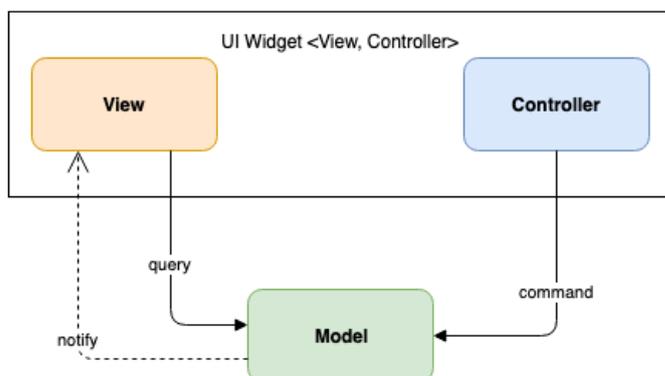
Conforme Alves (2015), muitos sistemas web adotam o Model View Controller (MVC) como padrão de estruturação da aplicação, pois este fornece uma melhor divisão entre as camadas que compõe o sistema. A camada de visão corresponde à interface gráfica com a qual o usuário interage no *browser*, já a camada de modelo é responsável pelo gerenciamento das transações com o banco de dados. A terceira e última camada chamada de controle, tem a finalidade de promover a integração

---

<sup>7</sup> Disponível em: <<http://ddi-dev.com/blog/programming/7-best-software-development-methodologies-pros-and-cons/>>. Acesso em: 20 out. 2019.

entre as duas camadas anteriores, intermediando as ações realizadas pelo usuário na interface gráfica.

Figura 10 – Diagrama do modelo MVC<sup>8</sup>



Fonte: AndroidPub (2019).

## 2.13 Aplicativos Mobile

Aplicativos *mobile* são aplicação feitas para aparelhos portáteis como os *tablets* e os *smartphones*. Podem ser desenvolvidos para diversas plataformas operacionais, sendo as duas principais o IOS da empresa Apple e o Android pertencente à empresa Google. Tais plataformas dispõem de diversas ferramentas e linguagens de programação as quais podem ser utilizadas no desenvolvimento destes aplicativos.

## 2.14 WebSockets

Ubl e Kitamura (2010), explicam que o *WebSocket* é uma arquitetura de comunicação que através de uma canal *full-duplex* permite a troca de dados bidirecional entre duas determinadas plataformas. A troca dessas informações é feita através de uma conexão TCP persistente utilizando um único soquete. A

---

<sup>8</sup> Disponível em: <<https://android.jlelse.eu/architecture-patterns-model-view-controller-de312417b4bd>>. Acesso em: 20 out. 2019.

principal vantagem em relação ao HTTP é o baixo retardo no envio e recebimento das informações.

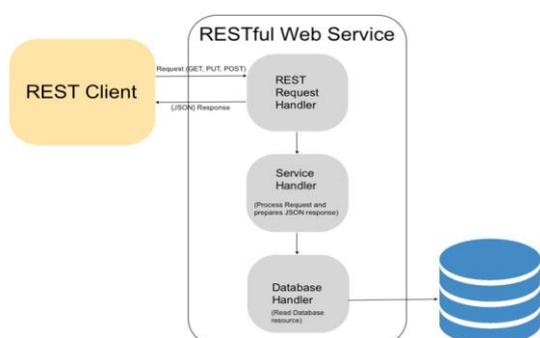
## 2.15 Web Services

Os *Web Services* são ferramentas utilizadas para comunicação e troca de informações entre duas aplicações distintas e, em muitos casos, desenvolvidas com tecnologias diferentes. Tal tecnologia pode utilizar diferentes formatos de arquivos para troca de dados entre as plataformas, como JavaScript Object Notation (JSON), Extensible Markup Language (XML), Comma-separated values (CSV), entre outros.

### 2.15.1 REST

Segundo Saudate (2014), o Representational State Transfer (REST), define um modelo de desenvolvimento de *Web Service* criado por Roy Fielding, que também é um dos cofundadores do protocolo HTTP. Tal arquitetura define um conjunto de normas adotadas para a criação dos *Web Services* chamados de RESTful, que utilizam o padrão de arquivos JSON para trocar de informações. A Figura 10 demonstra como funciona uma requisição para um *Web Service* REST que retornará para o cliente um arquivo JSON com o conteúdo solicitado.

Figura 11 – Exemplo de arquitetura de um *Web Service* REST<sup>9</sup>



Fonte: PHPPot (2019).

<sup>9</sup> Disponível em: <<https://phpspot.com/php/php-restful-web-service/>>. Acesso em: 20 out. 2019.

### 2.15.2 JSON

O JavaScript Object Notation (JSON), tem a finalidade de facilitar a legibilidade dos atributos por ele compartilhados e promover uma fácil interpretação dos dados pelas máquinas. Tal notação, auxilia na interoperabilidade entre os sistemas, gerando uma troca de dados legível (SILVA, 2009). Na Figura 12 é demonstrado um modelo da estrutura contida em um arquivo JSON.

Figura 12 – Exemplo da estrutura de um JSON

```
5  { "persons":  
6    [  
7      { "name": "Luis Felipe", "age": 23, "birthdate": "1996-03-23"},  
8      { "name": "Fernando", "age": 59, "birthdate": "1960-05-11"}  
9    ]  
10 }
```

Fonte: Do Autor (2019).

### 2.16 NoSQL

Os sistemas Not Only SQL (NoSQL) foram criados a partir da necessidade de possuir uma arquitetura que apresentasse uma performance superior aos tradicionais bancos de dados relacionais, além de uma alta escalabilidade, não sendo necessário uma frequente distribuição vertical de servidores conforme o aumento das bases de dados. O principal alvo destes sistemas são justamente as bases de dados de grande volume, que quando utilizadas em bancos de dados relacionais, apresentam queda de performance em transações de recuperação de dados e normalização de informações (SADALGE; FOWLER, 2013).

Neste capítulo foram descritos alguns conceitos com os quais o desenvolvimento deste trabalho possui embasamento. No capítulo 3 será realizado um comparativo entre outros trabalhos que possuem a mesma linha de desenvolvimento.

## 3 TRABALHOS RELACIONADOS

No capítulo anterior foi realizado um detalhamento dos principais conceitos utilizados para o desenvolvimento do protótipo proposto. Neste capítulo será feito um resumo de alguns trabalhos publicados semelhantes a este, bem como um comparativo entre as propostas apresentadas.

O intuito deste comparativo é avaliar a viabilidade técnica da solução que está sendo proposta, bem como analisar os resultados obtidos nos trabalhos analisados de forma que seja possível estabelecer uma estimativa dos resultados que foram obtidos com a criação do protótipo.

### 3.1 Estudo 1

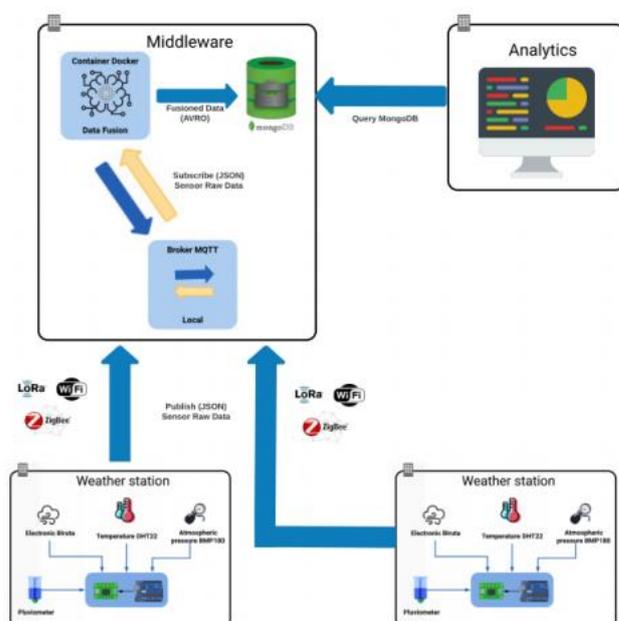
No trabalho “Arquitetura Multissensorial em *Fog Computing* para Dispositivos IoT com Foco em Agricultura de Precisão”, desenvolvida por Morijo (2019), é apresentada a implementação de um protótipo de estação meteorológica IoT com uma arquitetura baseada em microsserviços.

De acordo com Morijo (2019), a ferramenta é capaz de captar informações do clima como temperatura, pressão atmosférica, direção e velocidade do vento além da quantidade de chuva durante determinado período. Após as medições, o autor faz uso de variados meios de transmissão de dados como WiFi, LoRa ou ZigBee para enviar as informações até um *middleware* utilizando protocolo MQTT. Este *middleware* processará os dados recebidos via MQTT e armazenará as informações

coletadas em um banco NoSQL MongoDB. Por fim, fazendo uso de requisições HTTP para um *Web Service*, foi criada uma aplicação web para visualização dos dados coletados através de *dashboards*.

Ainda conforme Morijo (2019), todo o hardware e as aplicações desenvolvidas têm seu funcionamento monitorado utilizando a plataforma Zabbix, para detecção de possíveis falhas no protótipo. Na Figura 13 é apresentada a arquitetura criada para o protótipo desenvolvido por Morijo (2019)

Figura 13 – Arquitetura do sistema, Morijo (2019)



Fonte: MORIJO (2019).

### 3.2 Estudo 2

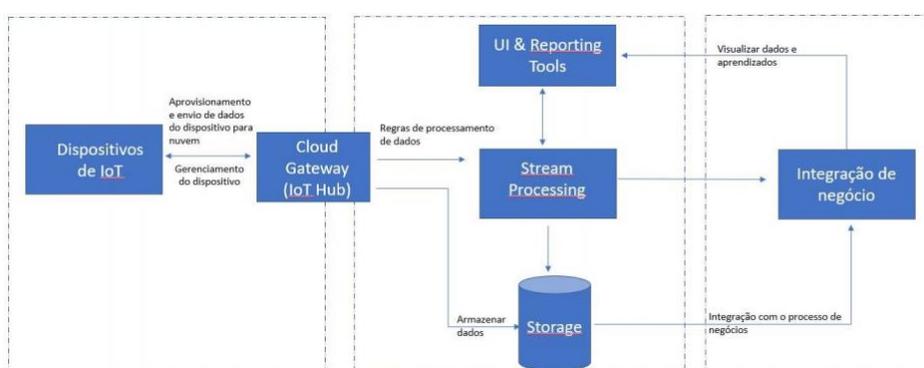
No trabalho “Estação Meteorológica Utilizando Azure Cloud e Raspberry Pi”, conforme explica Souza (2019), a proposta é o desenvolvimento de um protótipo de estação meteorológica IoT de baixo custo, aliada a uma plataforma de nuvem para persistência dos dados e posterior análise dos mesmos.

De acordo com Souza (2019), o sistema utiliza um sensor Bosch BME280 capaz de medir pressão atmosférica, temperatura e umidade. Estas informações são transmitidas para uma plataforma Raspberry Pi, que fará uso da ferramenta IoT Hub

disponibilizada pela plataforma de serviços na nuvem Microsoft Azure. O IoT Hub irá intermediar a troca de mensagens entre os dispositivos de *hardware* e as aplicações desenvolvidas para visualização dos dados, bem como armazenar os dados coletados.

Por fim, Souza (2019) ainda demonstra o uso da ferramenta de análise de dados Microsoft Power BI para construções de *dashboards* utilizando os dados coletados pelo protótipo de estação meteorológica IoT. A Figura 14 demonstra a estruturação da arquitetura proposta no trabalho de Souza (2019).

Figura 14 – Arquitetura do sistema, Souza (2019)



Fonte: SOUZA (2019).

### 3.3 Estudo 3

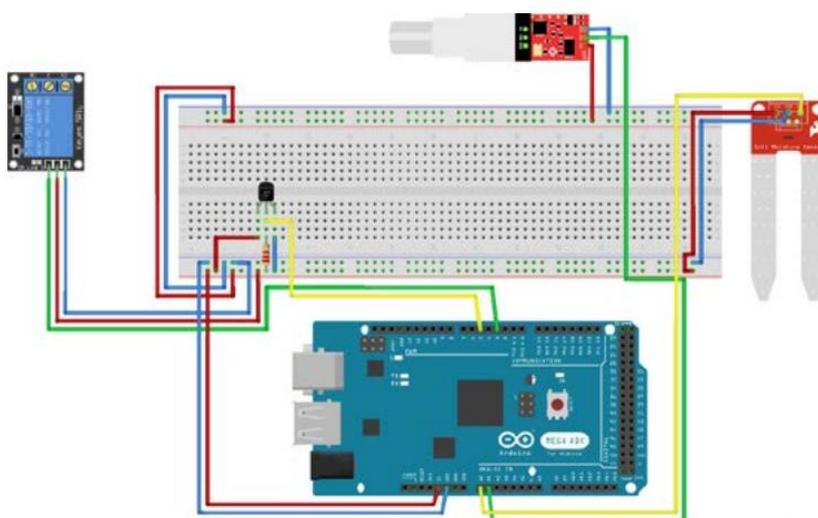
No trabalho “Protótipo de um Sistema de Irrigação Baseado em IoT para Pequenos e Médios Produtores Rurais”, a proposta é a criação de um protótipo de sistema de irrigação automatizado usando uma motobomba SB1000, que será acionada com base em dados do ambiente extraídos de sensores de temperatura, umidade e PH da água.

O processo de monitoramento e ativação da bomba ocorre durante o dia, em duas condições específicas possíveis, que são pré-configuradas no *firmware* gravado na placa Arduino que controla o funcionamento. A primeira condição realiza o acionamento caso a temperatura esteja acima dos 39 °C com a umidade do solo abaixo de 65%, mantendo a bomba ligada até que a temperatura do solo atinja os

90%. No segundo caso, a bomba pode ser acionada caso a temperatura esteja abaixo dos 38 °C e a umidade do solo abaixo dos 60% (SANTOS et al, 2018).

Sempre que houverem alterações nos dados, o proprietário será notificado em um aplicativo *mobile* sobre a leitura mais recente, contando com a opção para, caso desejar, acionar a irrigação. A Figura 15 demonstra o esquema de ligações do projeto desenvolvido por Santos *et al.* (2018).

Figura 15 – Arquitetura do sistema, Santos et al. (2019)



Fonte: SANTOS *et al* (2018).

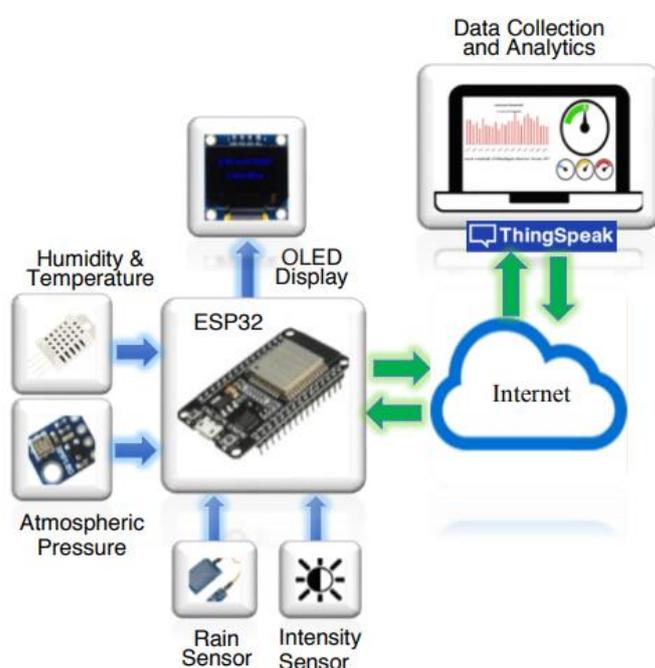
### 3.4 Estudo 4

A proposta “Projeto de Estação Meteorológica Utilizando Plataforma IoT Baseado no Arduino Mega”, desenvolvida por Math e Dharwadkar (2018), trata da criação de um sistema IoT de baixo custo para monitoramento de clima, voltado para agricultura de precisão. Na solução apresentada, é possível monitorar variáveis climáticas como temperatura e umidade do ar, pressão atmosférica, ocorrência de chuva e índice de raios ultravioleta.

Para o desenvolvimento do protótipo, Math e Dharwadkar (2018) fizeram uso de um dispositivo ESP32 para gravação do *firmware*, aliado aos sensores anteriormente citados, além de um *display* acoplado ao produto para visualização dos dados *in loco*.

Os dados extraídos pela solução são enviados para um servidor em nuvem da ferramenta ThingSpeak via web. Neste servidor, os dados serão armazenados e posteriormente utilizados em diversos formatos de gráficos para análise das informações coletadas. Além disso, através do ThingSpeak o produto possui a capacidade de enviar alertas referentes às informações obtidas em formato de e-mail ou *tweet*. Na Figura 16 é especificada a arquitetura do trabalho desenvolvido por Math e Dharwadkar (2018).

Figura 16 – Arquitetura do sistema, Math e Dharwadkar (2018)



Fonte: Math e Dharwadkar (2018).

### 3.5 Estudo 5

No trabalho “Estação Meteorológica de Baixo Custo com Base em IoT e Sistema de Monitoramento para Agricultura de Precisão na Índia”, desenvolvido por Saraf e Gawali (2017), é demonstrada uma solução criada para monitoramento de ambiente aliado a um sistema de irrigação automatizado. O projeto consiste em uma ferramenta baseada em IoT capaz de monitorar temperatura e umidade do ar e umidade do solo.

O protótipo utiliza um microcontrolador AtMega328 para armazenar o *firmware*, enviando as informações coletadas via ZigBee para um servidor em nuvem, aonde os dados serão armazenados em um banco de dados MySQL (SARAF; GAWALI, 2017).

Conforme Saraf e Gawali (2017), os dados são monitorados através de um aplicativo Android aonde ainda é possível controlar a ativação da irrigação. O sistema de irrigação ainda conta com um monitoramento da quantidade de água do seu reservatório através de um sensor de nível, disponibilizando para o usuário a informação de quantidade líquido ainda disponível para irrigação. Na Figura 17 é demonstrado como foi arquitetada a aplicação desenvolvida por Saraf e Gawali (2017).

Figura 17 – Arquitetura do sistema, Saraf e Gawali (2017)



Fonte: Saraf e Gawali (2017).

### 3.6 Comparativo entre os Trabalhos Relacionados

Na Tabela 3 é realizado um comparativo entre as propostas apresentadas nos trabalhos relacionados. Os principais pontos a serem comparados são: Os tipos de dados monitorados, tipos de atuadores presentes no trabalho, quais os dispositivos utilizados para desenvolvimento do *firmware*, as plataformas de hospedagem e

armazenamento e os tipos de aplicações utilizadas para visualizar os dados ou controlar os dispositivos.

Tabela 3 – Comparativo dos trabalhos relacionados

	Morijo (2019)	Souza (2019)	Santos <i>et al.</i> (2019)	Math e Dharwadkar (2018)	Saraf e Gawali (2017)
Medições	Temperatura, pressão atmosférica, velocidade do vento, direção do vento e nível de chuva.	Temperatura, umidade do ar e pressão atmosférica.	Temperatura, umidade do solo e PH da água.	Temperatura, umidade do ar, pressão atmosférica, nível de chuva e índice de raios UV.	Temperatura, umidade do ar e umidade do solo.
Atuadores	Não possui atuadores.	Não possui atuadores.	Irrigação utilizando motobomba.	Não possui atuadores.	Irrigação utilizando motobomba.
Dispositivos	Arduino.	<i>Raspberry Pi</i> .	Arduino.	ESP32.	AtMega 328.
Plataformas	Plataforma <i>cloud</i> especificada.	<i>Microsoft Azure</i> .	Não utiliza plataforma remota.	<i>Thingspeak</i> .	Plataforma <i>cloud</i> não especificada.
Armazenamento	SQL Lite, MongoDB.	IoT <i>Hub</i> .	Banco de dados não especificado.	<i>Thingspeak</i> .	MySQL.
Aplicações	Apache Zeppelin.	<i>Microsoft Power BI</i> .	Aplicativo Mobile.	<i>Thingspeak</i> .	Aplicativo Mobile.

Fonte: Do Autor (2019).

Neste capítulo foram apresentadas soluções com propostas similares ao presente trabalho. No capítulo 4, são demonstradas as tecnologias utilizadas para desenvolvimento da proposta, os processos realizados na criação das funcionalidades compreendidas pelo projeto e o levantamento dos custos gerados pela produção da ferramenta.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo estão descritos os procedimentos realizados no desenvolvimento do protótipo de monitoramento de clima e automação agropecuária, tais com a criação do circuito para extração da leitura dos sensores, a criação do circuito para ativação dos atuadores, o *WebSocket* para envio dos dados dos sensores e do sinal para acionamento dos atuadores, a criação do *Web Service* para integração do servidor com a interface gráfica, além da criação da interface gráfica para as plataformas web e *mobile* para visualização dos dados e criação das regras de envio de alertas e acionamento dos atuadores.

Conforme Marconi e Lakatos (2003), a aplicação de modelos científicos não se limita apenas ao campo da ciência, contudo, não é possível afirmar que os campos que utilizam tais modelos são considerados uma ciência. Desta forma pode-se afirmar que a utilização de determinados modelos científicos compreendidos em um conjunto de atividades possibilita ao pesquisador atingir seus objetivos de forma mais clara e efetiva.

Para Marconi e Lakatos (2003), o uso da pesquisa bibliográfica faz com que todo conteúdo publicado busque aproximar o autor com o assunto abordado independente do meio, de forma a estimular ideias inovadoras que visam solucionar o problema de pesquisa apresentado, onde o material descrito propõe novas perspectivas e conclusões além do que já foi evidenciado. Os procedimentos do presente trabalho fazem uso da pesquisa bibliográfica pelo fato de o referencial teórico ter seu propósito limitado à disposição de informação de forma a simplificar

os objetivos apontados, criando uma estrutura sequencial do tema que parte dos conceitos e técnicas a serem utilizadas, até os testes realizados e resultados obtidos com a aplicação das mesmas.

#### 4.1 Tecnologias

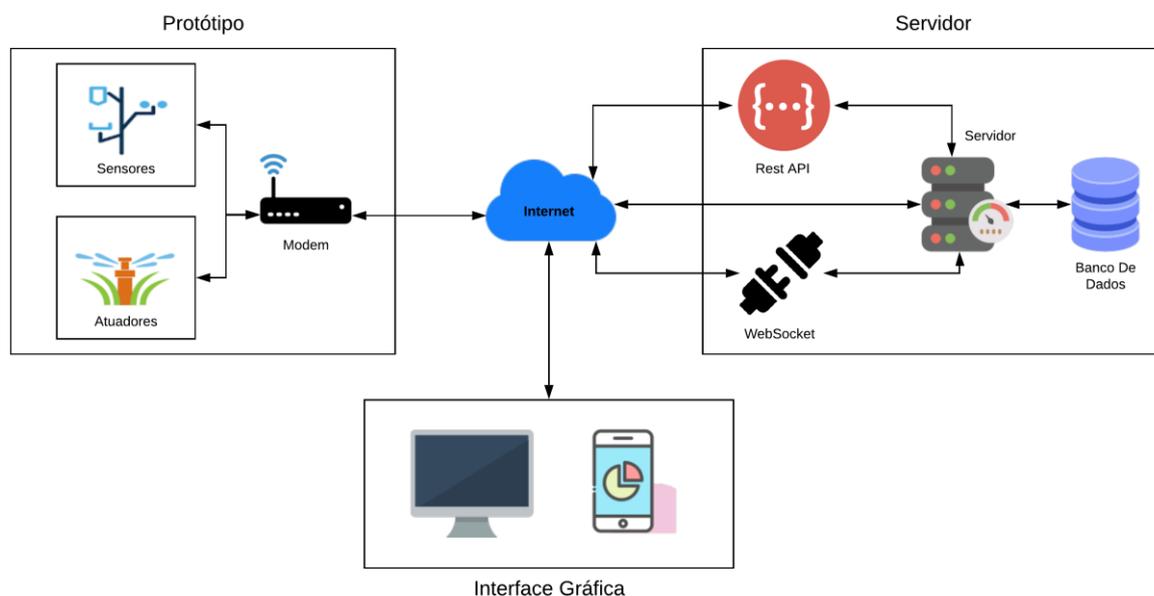
Todas as tecnologias abaixo citadas, foram selecionadas com base nos requisitos que o projeto deve atender, de forma que todas elas possam dispor das funcionalidades necessárias para um pleno funcionamento do protótipo.

Foram utilizados componentes de IoT para medição da temperatura ambiente, umidade do ar e do solo, pressão atmosférica, índice de radiação ultravioleta, velocidade e direção do vento, volume de chuva e luminosidade. Foram implementados acionamentos de irrigação e aquecimento através de um módulo relé que aciona respectivamente uma lâmpada e a vazão de água através de uma válvula solenoide. Tanto os sensores quanto os atuadores são controlados por uma placa ESP2 que atua como gerenciador central, enviando os dados dos sensores ao servidor e monitorando o envio de sinal para acionamento dos atuadores.

Aliado aos componentes de *hardware* foi implementado um servidor NodeJs que conta com um *WebSocket* para comunicação bidirecional entre as plataformas de *hardware* e o banco de dados e um *Web Service* REST para troca de informações com a aplicação cliente do protótipo. Ambos os recursos contemplados pelo servidor realizam a troca de informações com os aparelhos através do formato JSON. Todos os dados do protótipo que necessitam de persistência, são armazenados em um banco de dados não relacional MongoDB.

Por fim, foi desenvolvida uma aplicação de *layout* responsivo para web e *mobile* utilizando o *framework* React, onde é possível visualizar gráficos com os dados coletados, bem como criar regras customizadas para envio de alertas ou acionamento dos atuadores. A Figura 18 ilustra a arquitetura da solução desenvolvida.

Figura 18 – Arquitetura do produto



Fonte: Do Autor (2020).

#### 4.1.1 ESP32

O ESP32 é uma placa de baixo custo com microcontroladores usados para desenvolvimento nas linguagens C ou Lua. Possui entradas digitais e analógicas, além de suportar diversos protocolos como I2C, 1Wire, SPI entre outros. Necessita de alimentação de 5 V de tensão que pode ser feita via USB ou pino VIN. A Figura 19 demonstra a placa utilizada no projeto.

Figura 19 – Placa de desenvolvimento ESP32.



Fonte: Do Autor (2019).

#### 4.1.2 Sensores

Todos os sensores utilizados no projeto pertencem a uma das famílias de sensores descritas no presente trabalho, assim como todos os protocolos de comunicação analisados também foram utilizados em algum momento.

A escolha dos sensores, dentre as várias opções existentes para cada variável medida, ocorreu através de pesquisas com bases em estudos comparativos, onde procurou-se utilizar sempre que possível os modelos mais precisos para cada unidade de medida, sem ignorar o foco na manutenção do baixo custo para elaboração.

O sensor de temperatura DS18B20 é um sensor que possui uma ponteira metálica e permite a exposição a água, podendo inclusive medir a temperatura de ambientes submersos. Realiza leitura da temperatura através do protocolo 1Wire, permitindo operar em forma de barramento junto a outros sensores do mesmo modelo. A Figura 20 exhibe a proteção de metal do sensor, que foi aplicado no projeto como medidor de temperatura por permitir o funcionamento em ambiente externo.

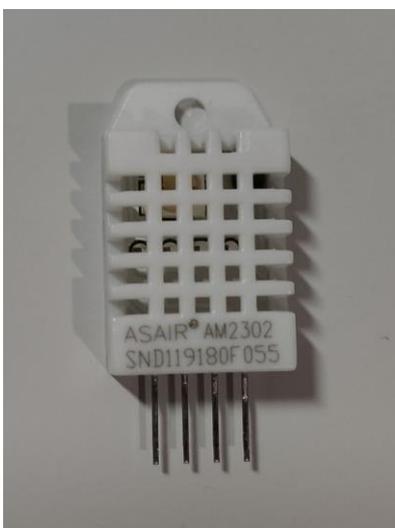
Figura 20 – Sensor DS18B20



Fonte: Do Autor (2019).

O sensor de umidade do ar DHT22 possui uma biblioteca utilizada para extração de seus dados que realiza todo o trabalho de interfaceamento para comunicação com o mesmo, bastando ao usuário apenas solicitar a leitura da umidade. A Figura 21 demonstra o sensor, que pode também ser utilizado para medição da temperatura ambiente.

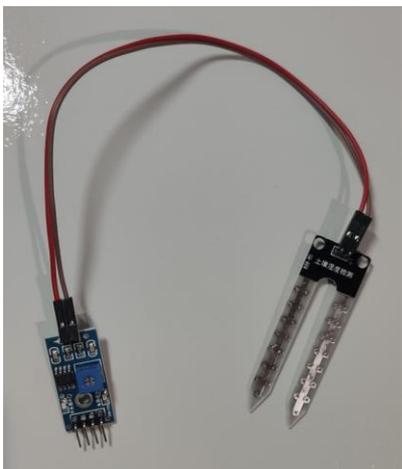
Figura 21 – Sensor DHT22



Fonte: Do Autor (2019).

O sensor de umidade do solo FC28 é um sensor que pode operar tanto no modo analógico, informando a porcentagem de umidade presente no solo, quanto na forma digital, onde é utilizado fazendo a simples indicação se o solo está seco ou úmido. A Figura 22 exemplifica este sensor, que possui um módulo que fica acoplado à placa de desenvolvimento do circuito, e o sensor em forma de garfo que é injetado ao solo.

Figura 22 – Sensor FC28



Fonte: Do Autor (2019).

O sensor de pressão atmosférica BMP280 foi utilizado no projeto com comunicação via protocolo I2C, porém este também é capaz de operar via protocolo SPI. Além de permitir a leitura da pressão barométrica, este sensor é capaz de ler a temperatura do ambiente, a umidade do ar e a altitude do ambiente. A Figura 23 exibe o sensor BMP280 utilizado no projeto para leitura da altitude e da pressão atmosférica.

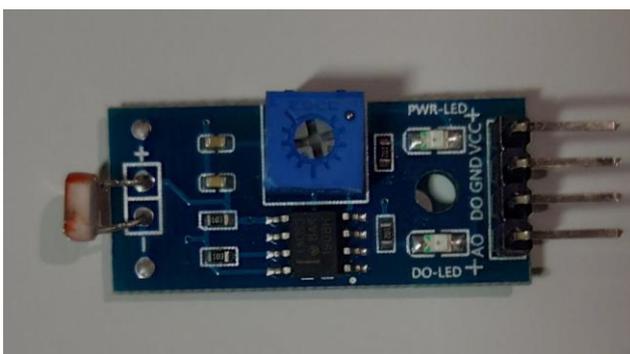
Figura 23 – Sensor BMP280



Fonte: Do Autor (2019).

O sensor LDR é capaz de medir a luminosidade do ambiente na forma analógica, onde o valor extraído é inversamente proporcional à incidência de luz, e na forma digital indicando se há ou não luz no ambiente. A Figura 24 ilustra o sensor, que foi aplicado no projeto tendo sua leitura analógica adaptada para um valor diretamente proporcional à incidência de luz em forma de porcentagem.

Figura 24 – Sensor LDR



Fonte: Do Autor (2019).

O sensor de radiação ultravioleta UVM-30A, tem característica semelhantes ao sensor de luminosidade. Ao utilizá-lo no projeto, também foi necessário adaptar sua leitura analógica para um valor em porcentagem diretamente proporcional. A Figura 25 exibe o formato do sensor.

Figura 25 – Sensor UVM-30A



Fonte: Do Autor (2019).

O pluviômetro é um sensor digital para leitura da quantidade de chuva coletada. Este equipamento possui um sensor chamado de báscula, que atua como uma gangorra que gera um pulso elétrico cada que vez alterna de lado. A cada

alternância, segundo as orientações do fabricante deve-se considerar 0,25 milímetros de chuva coletada. A Figura 26 ilustra o pluviômetro utilizado no projeto.

Figura 26 – Pluviômetro



Fonte: Do Autor (2019).

O anemômetro analógico funciona como um cata-vento capaz de medir a velocidade do vento em quilômetros por hora ou metros por segundo. No projeto em questão o anemômetro da Figura 27 foi utilizado para leitura da velocidade do vento em quilômetros por hora.

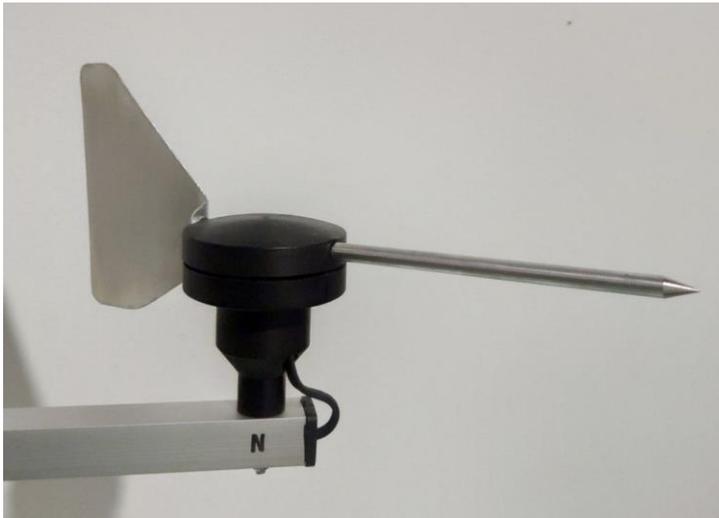
Figura 27 – Anemômetro



Fonte: Do Autor (2019).

A biruta realiza uma leitura analógica que tem seu valor alterado conforme é variado o valor de sua resistência interna. Para cada intervalo de valor resistivo lido, foi realizada uma calibragem manual do equipamento para obter-se a direção do vento.

Figura 28 – Biruta



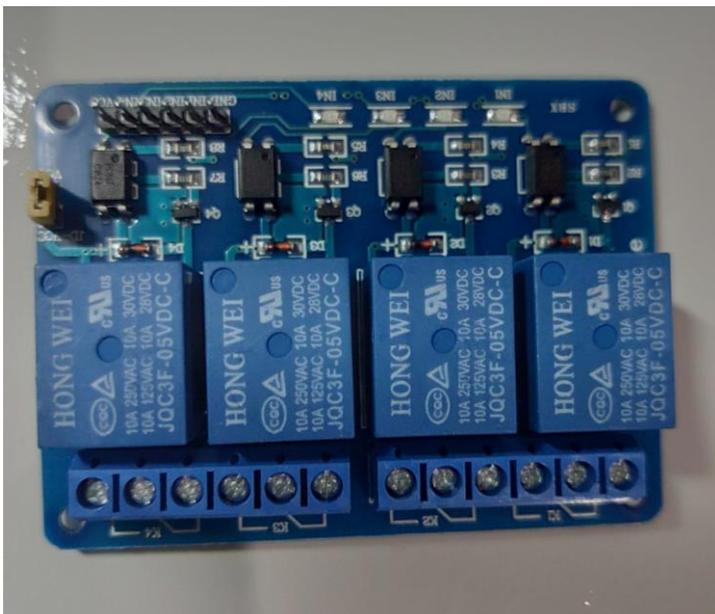
Fonte: Do Autor (2019).

#### 4.1.3 Atuadores

Os dispositivos para automação dos sistemas de irrigação e aquecimento são acionados através da alimentação feita por um módulo relé que será responsável por ligar os atuadores mediante um sinal recebido do controlador.

Este módulo recebe uma tensão de entrada de 5 V e permite emular tensões de saída de até 30 V para corrente contínua ou até 220 V para corrente alternada, ambos com 10 amperes de corrente, possibilitando desde o acionamento de dispositivos menores como a válvula solenoide de 12 V, até mesmo aparelhos que operam na tensão padrão de uma rede elétrica doméstica. A Figura 26 exibe um módulo relé de 4 canais.

Figura 29 – Módulo relé 5 V de 4 canais



Fonte: Do Autor (2019).

#### 4.1.4 NodeJs

Conforme Santos (2016), o NodeJs é uma plataforma para desenvolvimento de sistemas escaláveis utilizando JavaScript. Possui uma arquitetura baseada em eventos, onde em uma única *thread* as requisições são interpretadas de forma assíncrona não permitindo bloqueios. O NodeJs é utilizado no protótipo apresentado, para desenvolvimento do *WebSocket* e do *Web Service* que realizam a troca de informações com os dispositivos físicos e a plataforma gráfica da solução, além de ser o responsável pelos agentes que verificam as regras de envios de alertas e acionamento de atuadores.

#### 4.1.5 React

Segundo Carvalho (2018), o React é uma biblioteca declarativa para criação de interfaces de usuários com uso de JavaScript. Esta ferramenta permite um desenvolvimento flexível e eficiente da parte gráfica de um sistema web. Atualmente é o *framework* mais utilizado para criação de aplicações acessadas via *browser*. No

presenta trabalho, a plataforma é responsável pela estruturação do layout da interface web e *mobile* do protótipo.

#### **4.1.6 MongoDB**

Segundo Leal (2018), o MongoDB é atualmente o banco de dados não relacional mais utilizado do mercado. Trata-se de uma plataforma escalável, utilizada para trabalhar com documentos de chave-valor baseado em JSON, sem a necessidade de uma estrutura pré-definida como nos bancos relacionais, tornando a utilização mais flexível pelo fato de realizar a criação dos objetos em tempo de execução. Devido ao grande fluxo de informações coletadas, o MongoDB foi o sistema de gerenciamento de banco de dados utilizado na solução desenvolvida.

### **4.2 Procedimentos**

A seguir estão descritos os procedimentos realizados no desenvolvimento do protótipo, fazendo uso de todas as ferramentas, tecnologias e padrões de arquitetura selecionados para o projeto.

#### **4.2.1 Sensores**

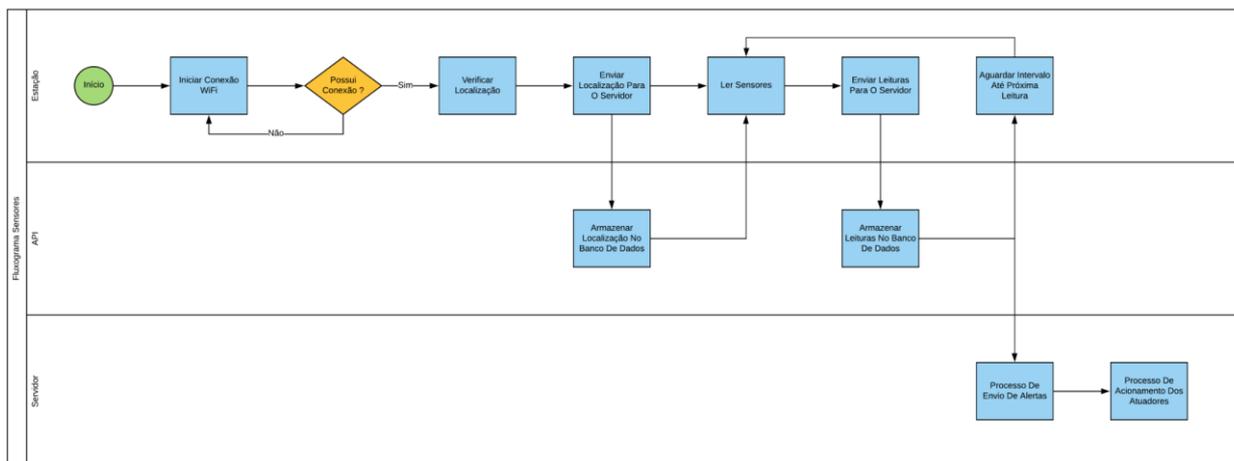
O circuito de operação dos sensores foi montado em uma placa *protoboard* e armazenado em um recipiente impermeável permitindo a operação em ambiente externo. O recipiente em questão possui uma proteção em material acrílico protegendo os componentes eletrônicos de intempéries e permitindo a entrada da luz solar para os sensores que necessitam da mesma.

Ao acionar o dispositivo controlador, o circuito é conectado à rede WiFi e como primeira tarefa, envia ao servidor a geolocalização do aparelho, armazenando a latitude, longitude e altitude do local onde está inserido.

Após o envio da localização, o sistema inicia o processo de leitura dos sensores, enviando a cada intervalo, definido de forma estática no dispositivo pelo

usuário, uma nova leitura das variáveis climáticas para o banco de dados, onde a cada novo dado recebido, é verificado se existe a necessidade de envio de algum alerta ou acionamento de algum atuador. A Figura 30 ilustra o processo de operação da placa de sensoriamento.

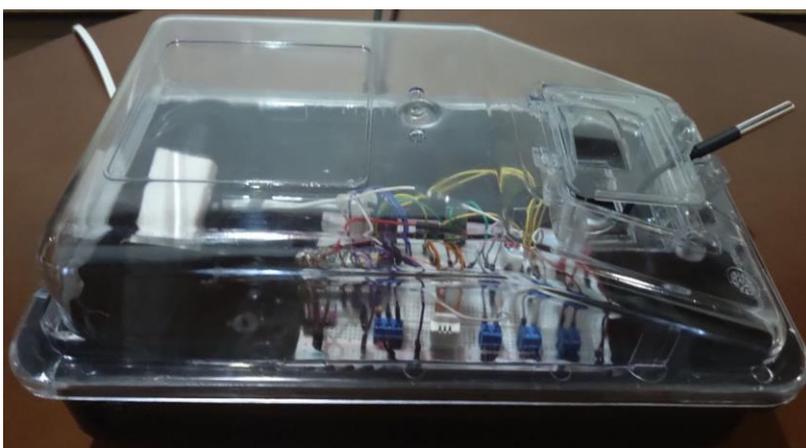
Figura 30 – Processo de sensoriamento



Fonte: Do Autor (2020).

A Figura 31 demonstra a montagem do circuito de sensoriamento dentro da caixa protetora.

Figura 31 – Recipiente de armazenamento dos sensores



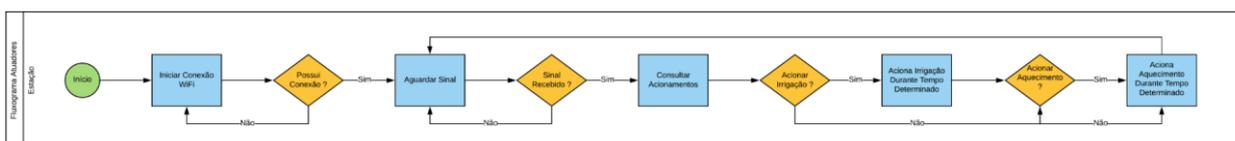
Fonte: Do Autor (2020).

## 4.2.1 Atuadores

Os dispositivos atuadores assim como o circuito dos sensores, também ficam armazenados em uma caixa para proteção contra entrada de fluídos. Ao ser iniciado o circuito dos sensores também é conectado à rede WiFi e fica em modo de espera aguardando um sinal do servidor.

Ao receber um sinal, o dispositivo verifica a informação recebida que contém qual atuador deve ser acionado e por quanto tempo. Se durante a execução de algum dispositivo atuador, este receber uma nova ordem de acionamento, seu tempo de atuação é realizado de forma acumulativa. A Figura 32 exhibe o processo de operação dos dispositivos atuadores.

Figura 32 – Processo de funcionamento dos atuadores



Fonte: Do Autor (2020).

A Figura 33 demonstra a montagem dos equipamentos atuadores dentro da caixa protetora.

Figura 33 – Recipiente de armazenamento dos atuadores

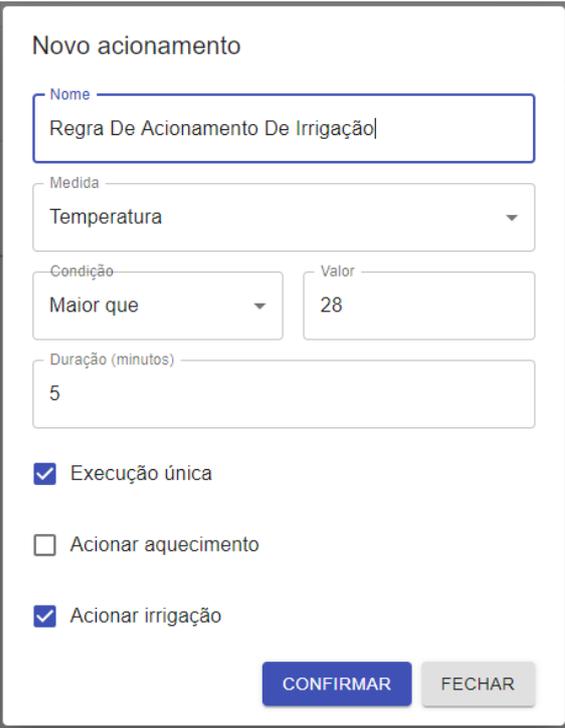


Fonte: Do Autor (2020).

Através da interface gráfica desenvolvida, o usuário tem acesso a um formulário onde é possível realizar o cadastro dos acionamentos desejados de forma flexível. O responsável associa um nome à regra que está sendo criada e preenche as normas que deverão ser atendidas. Ao final o usuário seleciona quais atuadores deseja ativar e, caso selecionado a opção “Execução única”, o servidor irá excluir a regra criada após a mesma ser executada uma vez.

A Figura 34 demonstra um exemplo de criação de uma regra de alerta para acionar a irrigação por cinco minutos caso a temperatura ultrapasse os 28 graus celsius. Após esta regra ser enviada pelo servidor ao dispositivo para ser executada uma única vez, a mesma será removida do banco de dados e não será considerada nas próximas validações.

Figura 34 – Formulário para criação de regra de acionamento



Novo acionamento

Nome  
Regra De Acionamento De Irrigação]

Medida  
Temperatura

Condição  
Maior que

Valor  
28

Duração (minutos)  
5

Execução única

Acionar aquecimento

Acionar irrigação

CONFIRMAR FECHAR

Fonte: Do Autor (2020).

### 4.2.2 Alertas

O processo de envio de alertas possui a mesma sistemática dos acionamentos no que diz respeito à validação das suas regras cadastradas. O que o difere do sistema de atuadores é o fato de as mesmas terem todo seu procedimento realizado no servidor no instante em que uma nova medida de clima é registrada.

Para cada regra de alerta que tem sua condição atendida o servidor pode fazer até quatro envios diferentes de alertas, um em cada formato disponível: e-mail, notificação de *push*, SMS ou mensagem via Telegram.

As mensagens são sempre enviadas ao usuário responsável por criar a regra em questão, sendo que é pré-requisito que este possua em seu cadastrado do sistema um e-mail válido e um número de telefone para que o sistema possa saber a quem destinar os alertas.

Para as mensagens enviadas via Telegram é necessário que o usuário autentique-se através do *bot* que o aplicativo utiliza, desta forma é possível armazenar no banco de dados o número identificador do usuário, para que o servidor saiba a quem destinar as mensagens enviadas a este aplicativo, além de permitir que o usuário possa solicitar a medição mais recente da temperatura sem a necessidade de aguardar um alerta. A Figura 35 mostra como deve ser feita a autenticação de um usuário no *bot* do Telegram.

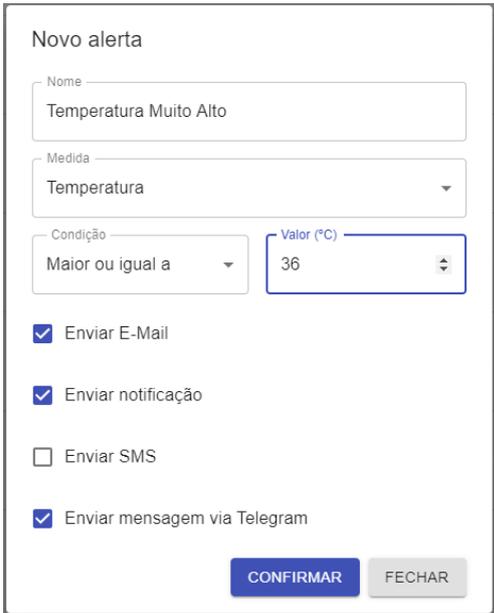
Figura 35 – Autenticação via Telegram



Fonte: Do Autor (2020).

A Figura 36 exemplifica uma regra que irá enviar um alerta via e-mail, notificação e mensagem no Telegram, caso a leitura realizada indique uma temperatura maior ou igual à 36 graus celsius.

Figura 36 – Formulário para cadastro de regras de alerta



Novo alerta

Nome  
Temperatura Muito Alto

Medida  
Temperatura

Condição  
Maior ou igual a

Valor (°C)  
36

Enviar E-Mail

Enviar notificação

Enviar SMS

Enviar mensagem via Telegram

CONFIRMAR FECHAR

Fonte: Do Autor (2020).

### 4.2.3 Banco de Dados

Por tratar-se de um banco de dados não relacional, os dados ficam armazenados em coleções de documentos chamadas *collections*. Para cada coleção existem diversos documentos no formato JSON, onde cada um deles funciona de forma similar a uma tupla de um banco de dados relacional.

Neste formato de banco de dados não ocorre a criação de relacionamentos entre as coleções de dados no momento da estruturação da base. Caso algum documento necessite de um valor compreendido em outro documento ou outra *collection*, é inserido o valor do *id* deste dado na estrutura do documento que necessita da referência, juntamente a uma indicação explicitando que trata-se de uma menção a outro objeto.

Na aplicação desenvolvida ocorrem casos onde as coleções que armazenam as regras de alertas e acionamentos necessitam da referência de seu usuário autor, sendo assim os documentos onde estão armazenados estes dois tipos de regra possuem um campo com um *id* representando uma referência a um identificador de

usuário. A Figura 37 demonstra o exemplo destas *collections* e como a referência está nelas armazenada.

Figura 37 – Coleções de documentos relacionadas

```

{
  "_id" : ObjectId("5ee81080bc832c1fe8c9b822"),
  "title" : "Accionar Irrigação",
  "rule" : {
    "measure" : "temperature",
    "condition" : ">",
    "value" : "28.0"
  },
  "duration" : 5,
  "single_execution" : false,
  "created_by" : ObjectId("5ee8106cbc832c1fe8c9b818"),
  "trigger_warming" : raise,
  "trigger_watering" : true,
  "trigger_fan" : false,
  "created_at" : ISODate("2020-06-16T00:21:20.916Z"),
  "__v" : 0
}

{
  "_id" : ObjectId("5ee8106cbc832c1fe8c9b819"),
  "title" : "Temperatura Alta",
  "rule" : {
    "measure" : "temperature",
    "condition" : ">=",
    "value" : "31.5"
  },
  "created_by" : ObjectId("5ee8106cbc832c1fe8c9b818"),
  "send_email" : true,
  "send_notification" : true,
  "send_sms" : false,
  "send_telegram_message" : true,
  "created_at" : ISODate("2020-06-16T00:21:02.884Z"),
  "__v" : 0
}

{
  "_id" : ObjectId("5ee8106cbc832c1fe8c9b818"),
  "first_name" : "Luis Felipe",
  "last_name" : "Dal Molin",
  "name" : "Luis Felipe Dal Molin",
  "email" : "luisfdalmolin@gmail.com",
  "password" : "$2b$10$XlnHCRQFLiknk4iiBCHb0e.pznFQYN.1.Vt6zVxHiQIH7On8YR9eq",
  "phone" : "+5551999282793",
  "category" : 1,
  "__v" : 0,
  "telegram_id" : 248137415
}

```

Fonte: Do Autor (2020).

### 4.3 Estimativa de Custos

O levantamento dos custos tornou-se um indicativo de que um dos principais objetivos do tema proposto tinha viabilidade de ser atendido, ou seja, o fato de que é possível realizar a prototipação da ferramenta descrita sem o agravante de um custo elevado de matéria-prima.

A Tabela 4 demonstra que o total de gastos com os componentes fundamentais do projeto resultou em um valor de R\$ 795,30, o que tornaria viável a comercialização de uma versão de protótipo em um preço reduzido quando comparado a soluções profissionais do mercado, ao mesmo tempo em que se disponibilizaria uma ferramenta com mais funções do que diversos dos produtos concorrentes.

Tabela 4 – Custos com a elaboração do protótipo

Componente	Valor
Módulo ESP32 (2x)	R\$ 133,80
Sensor de temperatura	R\$ 17,70
Sensor de umidade do ar	R\$ 49,90
Sensor de umidade do solo	R\$ 9,90
Sensor de pressão atmosférica	R\$ 19,90
Sensor de radiação UV	R\$ 84,90
Anemômetro	R\$ 109,50
Biruta	R\$ 109,50
Pluviômetro	R\$ 173,50
Sensor de Luminosidade	R\$ 7,90
Módulo relé	R\$ 24,90
Válvula solenoide	R\$ 53,90
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 795,30</b>

Fonte: Do Autor (2020).

Neste capítulo foram descritas as atividades realizadas para elaboração do protótipo de monitoramento do clima e automação de um ambiente agrário. No capítulo 5 serão apresentados os resultados obtidos e como os mesmos tiveram influência no cumprimento dos objetivos propostos para o presente trabalho.

## **5 RESULTADOS**

Foram realizados vários momentos de testes em todas as funcionalidades desenvolvidas para o protótipo, onde foi possível atingir todos os objetivos propostos para o projeto.

Para viabilizar a simulação do cultivo de determinada produção com um ambiente monitorado e automatizado, foi elaborada uma estufa em pequena escala e posicionada a mesma em um local onde houvesse uma cultura vegetal plantada para reprodução dos testes.

Como demonstra a Figura 38, a estrutura criada possui um ambiente fechado com uma linha de irrigação por onde a válvula solenoide libera a vazão da água, além de uma lâmpada ao topo no centro para simular os testes de aquecimento. Na lateral da estrutura está a caixa de superfície acrílica com os sensores e os terminais onde são acoplados os sensores que ficam externamente expostos.

Figura 38 – Estufa miniatura construída para testes.



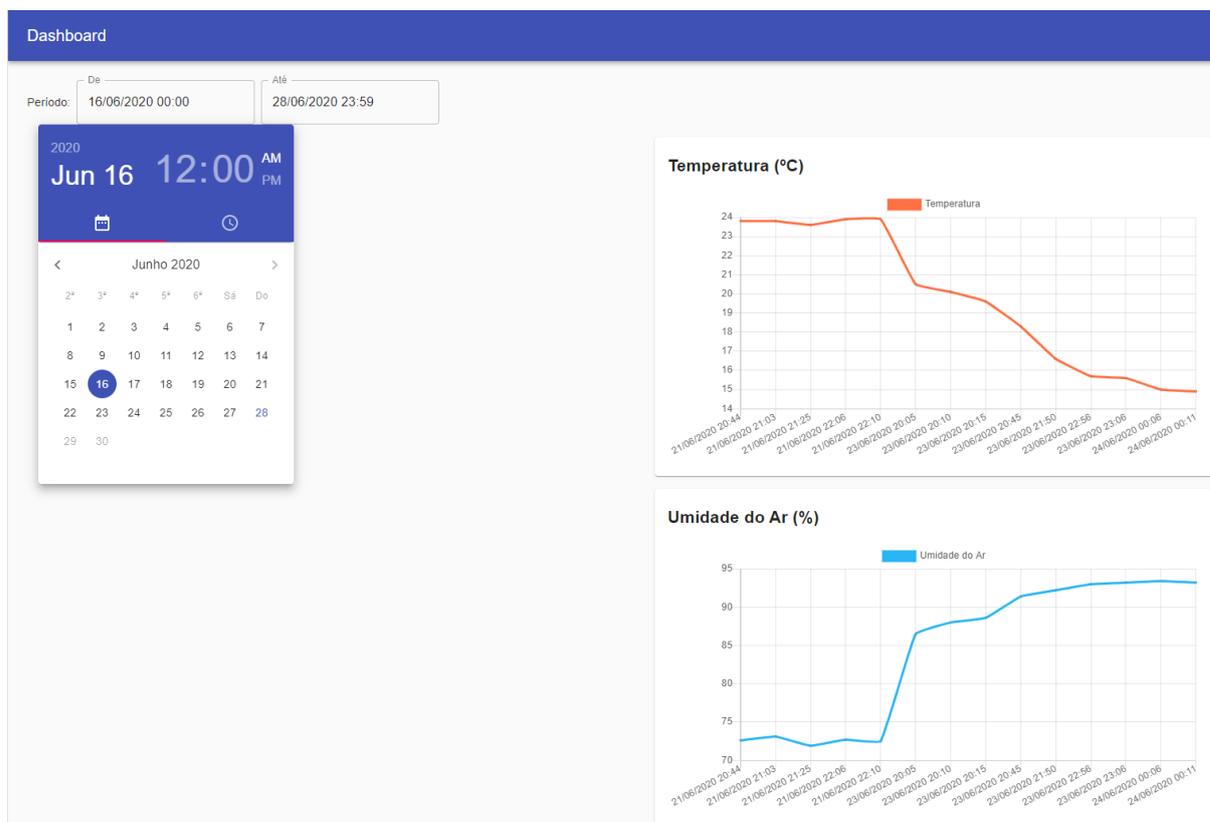
Fonte: Do Autor (2020).

## 5.1 Dados do Clima

Todos os dados do clima coletados são exibidos em um *dashboard* na aplicação gráfica desenvolvida, onde é possível analisar a alternância dos valores de cada variável medida, além da possibilidade de filtrar os valores extraídos por um determinado intervalo de data de escolha do usuário.

Além do *dashboard* também se encontra um mapa na aplicação com a geolocalização enviada do aparelho para o banco de dados, exibindo a latitude, longitude e altitude de local aonde a placa dos sensores está operando. A Figura 36 demonstra parte do *layout* do *dashboard* desenvolvido para acompanhamento dos dados.

Figura 39 - Dashboard



Fonte: Do Autor (2020).

## 5.2 Acionamento dos Atuadores

Os testes dos atuadores foram feitos em duas formas distintas, primeiramente foram apenas cadastradas regras de acionamentos com valores próximos às medições mais recentes no momento, para avaliar se o dispositivo estaria recebendo corretamente o sinal do servidor com a validação correta de acionamento das regras. Além disso também foram inseridos dados de teste manualmente para analisar o tempo de retardo desde o recebimento do sinal do servidor até a realização dos devidos acionamentos.

Em ambos os cenários os atuadores apresentaram comportamento satisfatório, validando corretamente as regras e calculando corretamente os tempos de execução, bem como apresentando o intervalo de atraso reduzido no acionamento dos dispositivos.

A Figura 40 ilustra um instante de funcionamento tanto de um cenário de aquecimento quanto de irrigação, mostrando que a ferramenta é capaz de realizar tarefas distintas em paralelo durante um mesmo período, sem que ocorram problemas pelo uso de líquidos e energia elétrica dentro de um mesmo ambiente.

Figura 40 – Exemplo de operação dos atuadores



Fonte: Do Autor (2020).

### 5.3 Envio de Alertas

Os testes para emissão de alertas seguiram a mesma sistemática dos testes dos atuadores, onde foram realizados exemplos de envios após inserir dados fictícios que atendessem às regras de alerta desejadas. Desta forma foi possível concluir que o disparo das notificações independente do formato ocorreu de forma ágil e instantânea.

Além deste formato, também foi monitorado o envio de alertas com base em dados reais extraídos dos sensores, onde concluiu-se que as regras foram validadas

corretamente, enviando alertas apenas para as condições atendidas com base na medição mais recente e apenas nos formatos optados pelo responsável.

As notificações no formato de e-mail e mensagem do aplicativo Telegram, apresentam um texto informativo avisando ao usuário que determinada regra de alerta por ele cadastrada atingiu a condição pré-definida, além de listar todos os valores obtidos da leitura mais recente. A Figura 41 demonstra um exemplo de notificação por e-mail.

Figura 41 – Envio de alerta por e-mail

**AgroAutomator**

Olá Luis Felipe!

Esta notificação está sendo enviada pois sua regra de alerta **Temperatura Baixa** atingiu a condição predefinida:

- Temperatura **menor ou igual a 8.0 °C**

Dados da leitura mais recente:

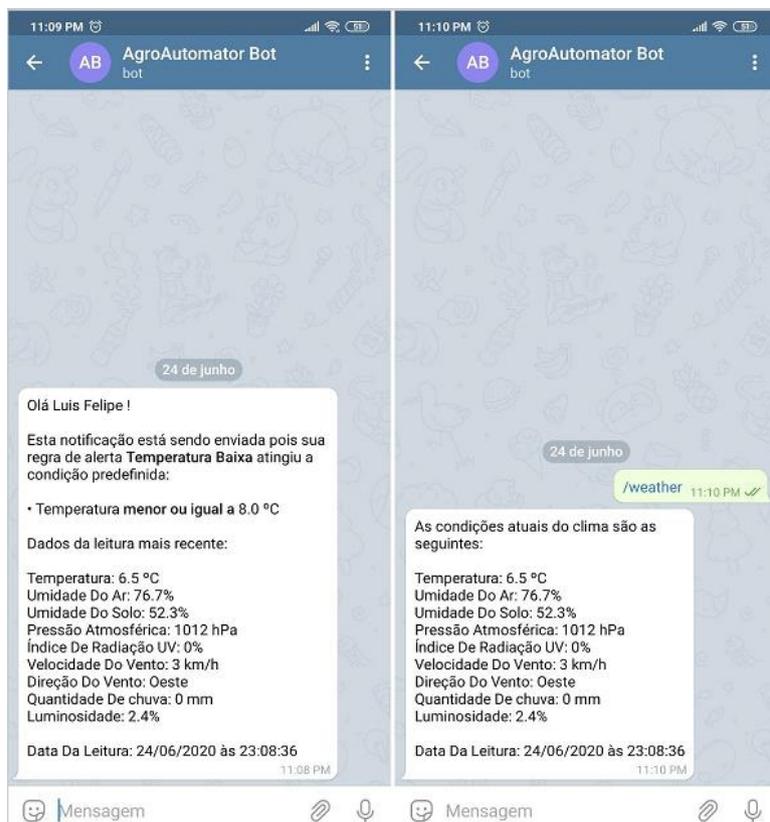
Dado	Valor
Temperatura	6.5 °C
Umidade Do Ar	76.7%
Umidade Do Solo	52.3%
Pressão Atmosférica	1012 hPa
Índice De Radiação UV	0%
Velocidade Do Vento	3 km/h
Direção Do Vento	Oeste
Volume De Chuva	0 mm
Luminosidade	2.4%
Data Da Leitura	24/06/2020 às 23:08:09

Notificação gerada automaticamente pelo AgroAutomator.

Fonte: Do Autor (2020).

No caso do aplicativo Telegram, além de seu respectivo formato de alerta possuir um detalhamento completo assim como no caso dos e-mails, ainda é possível solicitar novamente apenas os valores das medições mais recentes através de um comando encaminhado ao *bot* da ferramenta. A Figura 42 demonstra uma notificação enviada ao aplicativo em questão, bem como a solicitação para o *bot* da leitura mais recente.

Figura 42 – Envio de alertas via Telegram



Fonte: Do Autor (2020).

Para os formatos de SMS e notificação de *push*, é exibido um texto resumido apenas informando ao usuário que sua regra de alerta foi acionada e o aconselhando a acessar o *software* para um maior detalhamento. As Figura 43 demonstra os dois formatos de notificação.

Figura 43 – SMS e notificação de *push*



Fonte: Do Autor (2020).

## 5.4 Dificuldades

Das principais dificuldades encontradas no desenvolvimento do protótipo, ressalta-se a elaboração dos dispositivos de *hardware* principalmente devido ao restrito conhecimento prévio que se possuía em tecnologias como protocolos de comunicação em forma de barramento, programação assíncrona de baixo nível e nos conceitos de elétrica e eletrônica para elaboração da parte física do produto.

Além da falta de domínio em certos conceitos tecnológicos, durante a elaboração do protótipo não houve acesso a aparelhos profissionais que pudessem ser usados na calibragem dos sensores, como luxímetros ou medidores de radiação ultravioleta para os casos dos sensores de luminosidade e índice de radiação respectivamente.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho propôs a criação de uma ferramenta de fácil operação que, com um baixo valor de investimento, pudesse realizar o monitoramento de um determinado ambiente de produção agropecuária, além de automatizar tarefas simples, porém cotidianas e acima de tudo fundamentais para o sucesso no cultivo de determinada espécie vegetal ou animal.

Os dispositivos de sensoriamento permitiram a extração de valores muito próximos aos obtidos em ferramentas profissionais de custo elevado, sem apresentar problemas de funcionamento ou erros de leitura durante sua operação.

Os acionadores cumpriram com precisão as tarefas de acionamento propostas com base nas regras de acionamento castradas. A lâmpada de aquecimento pode facilmente ser alternada entre modelos incandescentes para maior geração de calor, no intuito de aquecer criações animais de pequeno porte, ou modelos fluorescentes para um melhor estímulo de fotossíntese de vegetais. A rede de irrigação pode ainda ser adaptada para uso no fornecimento de água para criação de diversos animais. Além disto, a forma como os atuadores foram desenvolvidos ainda permite a fácil adaptação para que o projeto tenha capacidade futura de abranger outras formas de tarefas interventivas como ventilação para utilização em silos ou criações de animais em espaço restrito ou ainda a adição de um emissor de produtos para pulverização automática de determinada cultura.

O envio de alertas customizado foi capaz de prover uma ágil interação entre os usuários e seus ambientes controlados, sem a necessidade de estar a maior parte do tempo conectado ao aplicativo de análise dos dados, além de flexibilizar o recebimento dos alertas através dos diferentes formatos disponíveis.

Por fim, a aplicação para as plataformas web e *mobile* possibilitou uma interface amigável e de fácil operação para realização do controle central da solução, sem a necessidade de um aparelho em específico ou de um local para acesso a toda base de dados.

Com base em todo estudo realizado e nos resultados obtidos em testes, é possível concluir que a utilização de componentes, padrões de arquitetura e ferramentas criadas para IoT, aliados a diversos recursos já existentes no mercado atual de tecnologia para desenvolvimento de *hardware* e *software*, permitiram o desenvolvimento de um protótipo funcional, viável e de baixo custo para monitoramento de clima e automação de meio agropecuário.

Ao final de todos os procedimentos realizados, pode-se afirmar que todos os objetivos do presente trabalho foram atendidos com sucesso.

Como sugestão para trabalhos futuros sugere-se a aplicação de mais dados de sensoriamento como medição de gases ou poeira no ar, além da adição de mais formas de acionamentos interventivos, tudo isso sem que se desvie dos objetivos de manutenção do baixo custo e o uso de recursos da IoT.

Além disto, analisar a viabilidade de trabalhar com mais de uma estação de monitoramento e automação operando em paralelo dentro de um mesmo ambiente, fazendo uso principalmente dos protocolos de sensoriamento distribuído que foram apresentados neste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, William P. **Java para Web**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2015.

ANTOINE, Saint-Exupery. Internet of Things: Strategic Reserach Roadmap. **IoT: Internet of Things European Research Cluster**, 15 set. 2009. Disponível em: <[http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT\\_Cluster\\_Strategic\\_Research\\_Agenda\\_2009.pdf](http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT_Cluster_Strategic_Research_Agenda_2009.pdf)>. Acesso em: 06 out. 2019.

ASHTON, Kevin. That “Internet of Things” Thing. **RFID Journal**, 23 jun. 2009. Disponível em: <<https://www.rfidjournal.com/articles/pdf?4986>>. Acesso em: 14 out. 2019.

AWTREY, Dan. Transmitting data and power over a one-wire bus. **Sensors: The Journal of Applied Sensing Technology**, 02 fev. 1997. Disponível em: <<http://www.advanstar.com>>. Acesso em: 20 out. 2019.

BORJA, Leonardo. IoT no Agronegócio: como IoT vem trazendo resultados para o produtor rural. **Por Dentro do Agro**. 27 ago. 2018 Disponível em: <<https://blog.strider.ag/internet-das-coisas-agronegocio-como-iot-vem-trazendo-resultados/>>. Acesso em: 06 out. 2019.

CAMARA, Romulo C. P. **Protocolo I2C**. Disponível em: <<http://www.univasf.edu.br/~romulo.camara/novo/wp-content/uploads/2013/11/Barramento-e-Protocolo-I2C.pdf>>. Aceso em: 19 out. 2019.

CARVALHO, Thales. **React: O que é e como funciona essa ferramenta?** **Medium**, 09 abr. 2018. Disponível em: <<https://medium.com/reactbrasil/react-o-que-é-e-como-funciona-essa-ferramenta-319922a8371c>>. Acesso em: 27 out. 2019.

COULOURIS, George. **Sistemas distribuídos: Conceitos e projeto**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

FERRAZ, V. Começando com React Native. **Medium**, 24 out. 2017. Disponível em: <<https://medium.com/@victorferraz/come%C3%A7ando-com-react-native-9e0717ca4587>>. Acesso em: 27 out. 2019.

IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua**. Disponível em: <[https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com\\_mediaibge/arquivos/8ff41004968ad36306430c82eece3173.pdf](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/8ff41004968ad36306430c82eece3173.pdf)>. Acesso em: 14 out. 2019.

LEAL, Marcos V. Introdução ao banco de dados NoSQL e MongoDB. **Medium**. 25 nov. 2018. Disponível em: <<https://medium.com/@marcosv.lealferreira/introdu%C3%A7%C3%A3o-ao-banco-de-dados-nosql-e-mongodb-f217b4b75d6a>>. Acesso em: 27 out. 2019.

MANYIKA, James. *et al.* Unlocking the potential of the Internet of Things. **Mckinsey Digital**, 2016. Disponível em: <<http://mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world>>. Acesso em: 06 out. 2019.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. 305 p. Acesso em 08 out. 2019.

MATH, Rajinder K. M; DHARWADKAR, Nagaraj V. **IoT Based Low-cost Weather Station and Monitoring System for Precision Agriculture in India**. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8605456>>. Acesso em: 22 out. 2019.

MILETTO, Evandro M.; BERTAGNOLLI, Silvia de C. **Desenvolvimento de Software II: Introdução ao Desenvolvimento Web com HTML, CSS, JavaScript e PHP**. 1. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

MOLIN, José P. **Desafios da agricultura brasileira a partir da agricultura de precisão**. In: SIMPÓSIO SOBRE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO. 3, 2002. Anais Piracicaba: Potafós, 2002.

MORIJO, João P. S. **Arquitetura Multissensorial em Fog Computing para Dispositivos IoT com Foco em Agricultura de Precisão**. São Carlos, 2019. Disponível em: <[https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/11773/Dissertação\\_João-Paulo-Dos-Santos-Morijo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/11773/Dissertação_João-Paulo-Dos-Santos-Morijo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 22 out. 2019.

NASCIMENTO, Jurandy A. do. **IEEE 802.15.4: Redes de sensores sem fio como infraestrutura para comunicação entre veículos e sistemas de controle**. Dissertação (Mestrado) — UNICAMP, 2007.

NUNES, Jerónimo. Da Internet para as Pessoas à Internet das Coisas. **Repositório da Universidade dos Açores**. 24 mar. 2016. Disponível em: <<https://repositorio.uac.pt/handle/10400.3/4205>> Acesso em: 26 out. 2019.

OKUYAMA, Fabio Y. *et al.* **Desenvolvimento de Software I: Conceitos Básicos**. 1. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OLIVEIRA, André S de; ANDRADE, Fernando S. **Sistemas Embarcados: Hardware e Firmware na Prática**. 2. Ed. São Paulo: Érica, 2010.

PENA, Rodolfo F. A. Setor primário. **Brasil Escola**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/economia/setor-primario.htm>>. Acesso em: 06 out. 2019.

PRESSMAN, Roger S.; MAXIM, Bruce R. **Engenharia de Software: Uma Abordagem Profissional**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH Editora LTDA, 2016.

RAY, P. P. **An introduction to dew computing: Definition, concept and implications**. IEEE, 2017.

RENNÓ, Décio. **Protocolo SPI**. Disponível em: <[http://www.geocities.ws/decioreno/Eletricidade/TD8\\_SPI.pdf](http://www.geocities.ws/decioreno/Eletricidade/TD8_SPI.pdf)>. Acesso em: 19 out. 2019.

SADALGE, Pramod J.; FOWLER, Martin. **NOSQL Essencial: Um Guia Conciso para o Mundo Emergente de Persistência Poliglota**. São Paulo: Novatec, 2013.

SALOMAN, Sabrie. **Sensores e Sistema de Controle na Indústria**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2012.

SANTOS *et al.* **Protótipo de um Sistema de Irrigação Baseado em IoT para Pequenos e Médios Produtores Rurais**. 2019. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/da05/bc7b62abc6639744ef13d75c024295dbde9e.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2019

SANTOS, Guilherme. Node.js: O que é, por que usar e primeiros passos. **Medium**, 14 jun. 2016. Disponível em: <<https://medium.com/thdesenvolvedores/node-js-o-que-%C3%A9-por-que-usar-e-primeiros-passos-1118f771b889>>. Acesso em: 27 out. 2019.

SARAF, Shweta B; GAWALI, Dhanashri H. **IoT Based Smart Irrigation Monitoring And Controlling System**. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8653749>>. Acesso em: 22 out. 2019.

SAUDATE, Alexandre. **Rest: Construa API's inteligentes de maneira simples**. São Paulo: Casa do Código, 2014.

SILVA, Maurício S. **Ajax com JQuery: Requisições Ajax com a simplicidade do JQuery**. São Paulo: Novatec, 2009.

SILVA, Thalita B. *et al.* A internet das coisas: será a internet do futuro ou está prestes a se tornar a realidade do presente? **Engenharias Online**, 2015. Disponível em :<<http://www.fumec.br/revistas/eol/article/view/2961>> Acesso em: 26 out. 2019.

SOUZA, Nadyne T. **Estação Meteorológica Utilizando Azure Cloud e Raspberry Pi**. Patos de Minas, 2019. Disponível em: <<http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/26169/3/EstaçãoMeteorológicaUtilizando.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2019.

STEIDLE, A. J N. **Avaliação do sistema 1-wire<sup>TM</sup> para aquisição de dados de temperatura em instalações agrícolas.** 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

SUNDMAEKER, Harald. *et al.* **Internet of Food and Farm 2020.** Digital and Virtual Worlds. 2016.

TANENBAUM, Andrew. S; STEEN, Maarten V. **Distributed Systems Principles and Paradigms.** 2 ed. Amsterdam: Prentice Hall, 2007.

THOMAZINI, Daniel., ALBUQUERQUE, Pedro. U. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações.** 8. ed. São Paulo: Érica, 2011.

UBL, Malte.; KITAMURA, Eiji. **Apresentando WebSockets:** trazendo soquetes para a web. 2010. Disponível em:  
<<http://www.html5rocks.com/pt/tutorials/websockets/basics/>> Acesso em 20 jun. 2020.

W3C, World Wide Web Consortium. **About W3C.** 2017. Disponível em:<  
<https://www.w3.org>> Acesso em: 20 out. 2019.

WENDLING, Marcelo. **Sensores.** 2. ed. [S.l.], 2010. Disponível em:  
<<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4—sensoresv2.0.pdf>> Acesso em: 19 out. 2019.