

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL – UCS  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA REGIÃO DOS VINHEDOS – CARVI  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS DA NATUREZA E TECNOLOGIA – CENT  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**BRUNO NUNES DE OLIVEIRA**

**MONITORAMENTO DE TEMPERATURA, CONDUTIVIDADE E PH DA ÁGUA  
PARA CULTIVO HIDROPÔNICO ATRAVÉS DE IOT**

**BENTO GONÇALVES  
2020**

**BRUNO NUNES DE OLIVEIRA**

**MONITORAMENTO DE TEMPERATURA, CONDUTIVIDADE E PH DA ÁGUA  
PARA CULTIVO HIDROPÔNICO ATRAVÉS DE IOT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Campus Universitário da Região dos Vinhedos, da Universidade de Caxias do Sul, como pré-requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Ms. Patric Janner Marques

**BENTO GONÇALVES  
2020**

**BRUNO NUNES DE OLIVEIRA**

**MONITORAMENTO DE TEMPERATURA, CONDUTIVIDADE E PH DA ÁGUA  
PARA CULTIVO HIDROPÔNICO ATRAVÉS DE IOT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Campus Universitário da Região dos Vinhedos, da Universidade de Caxias do Sul, como pré-requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Aprovado em 02/12/2020.

**Banca Examinadora**

---

Orientador Prof. Me. Patric Janner Marques  
Universidade de Caxias do Sul – RS

---

Prof. Me. Ricardo Leal Costi  
Universidade de Caxias do Sul – RS

---

Prof. Dr. Ricardo Vargas Dorneles  
Universidade de Caxias do Sul – RS

## RESUMO

O sistema de plantio hidropônico é uma técnica atualmente aplicada em todo o mundo, por se tratar de um sistema que oferece algumas vantagens em comparação ao plantio em solo, como o fato da plantação se encontrar em ambientes fechados, o que possibilita um controle mais facilitado de pragas, bem como a forma de prover os nutrientes necessários para o crescimento da planta. Diante deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo aprimorar o controle do plantio hidropônico desenvolvendo um sistema de monitoramento e controle das principais variáveis do crescimento da plantação, ou seja, monitorar e controlar a temperatura da água e monitorar pH e condutividade elétrica. E, além disso, criar uma ferramenta capaz de disponibilizar as informações coletadas em uma plataforma para o monitoramento online, a fim de proporcionar ao produtor um acompanhamento destas variáveis de forma remota, em ambiente privado, necessitando apenas de um dispositivo com acesso à Internet.

Palavras-chave: ESP8266 NodeMCU, Temperatura, pH , Condutividade Elétrica, Monitoramento, IoT.

## **ABSTRACT**

The hydroponic planting system is a technique currently applied worldwide, because it deals with a system that offers some advantages compared to planting in soil, such as the fact that the plantation is indoors, or that allows for more control facilitated by pests, as well as a way to taste the nutrients necessary for plant growth. In this context, the present work aims to improve the control of the hydroponic system and develop a system for monitoring and controlling the main planning growth parameters, that is, monitoring and controlling the water temperature and the pH and electrical conductivity. In addition, creating a tool capable of making the information collected available on a platform for online monitoring, an end of supply and production or monitoring variations remotely, in a private environment, requiring only a device with Internet access..

Key-words: ESP8266 NodeMCU, Temperature, pH, Electrical Conductivity, Monitoring, IoT

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de funcionamento do sistema .....	19
Figura 2 - Arquitetura de comunicação. ....	20
Figura 3 - Funcionamento básico do sistema.....	22
Figura 4 - Placas conectadas aos sensores.....	23
Figura 5 - Sensor DS18B20. ....	24
Figura 6 - Sensor PH 4502C .....	25
Figura 7 - Variação de tensão <i>versus</i> pH .....	26
Figura 8 - Pré-calibração do sensor de pH.....	27
Figura 9 - Layout do PCB utilizado.....	27
Figura 10 - Solução para calibração do sensor medidor de pH.....	28
Figura 11 - Variação de tensão <i>versus</i> CE.....	28
Figura 12 - Diagrama elétrico do controle de temperatura. ....	30
Figura 13 - Dados armazenados no banco de dados.....	33
Figura 14 - <i>Link</i> de publicação nos canais .....	34
Figura 15 - Publicação no <i>Thingspeak</i> .....	35
Figura 16 - Interface da plataforma <i>Thingspeak</i> .....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados técnicos ESP8266NodeMcu .....	16
Tabela 2 - Informações técnicas AK90.....	41
Tabela 3 - Informações técnicas AK52.....	41
Tabela 4 - Comparação dos valores medidos manualmente com os extraídos do sistema aplicado.....	42

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Dados coletados para temperatura sem os sistemas de resfriamento/aquecimento ativos.....	38
Gráfico 2 - Comportamento da temperatura com o sistema de aquecimento ativo...39	
Gráfico 3 - Comportamento da temperatura com o sistema de resfriamento ativo. ..40	

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	Entrada analógica
API	<i>Application Programming Interface</i>
CE	Condutividade Elétrica
GPIO	<i>General Purpose Input-Output</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IDE	<i>Interface Development Environment</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
M2M	<i>Machine to Machine</i>
RPI	<i>Raspberry PI</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
VNC	<i>Virtual Network Computing</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
1.1	OBJETIVO GERAL	12
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>13</b>
2.1	ESTUFA HIDROPÔNICA	13
2.2	INTERNET DAS COISAS (IoT)	14
2.2.1	Protocolo MQTT	15
2.3	SISTEMA ESP8266 NodeMCU	16
2.4	RASPBERRY PI MODELO 3B	16
2.5	THINGSPEAK	17
<b>3</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO</b>	<b>22</b>
4.1	MATERIAIS UTILIZADOS	23
4.1.1	SENSORES	24
4.1.2	ATUADORES	29
4.1.3	PLATAFORMA MICROCONTROLADA	31
4.2	COMUNICAÇÃO DOS DADOS	31
4.3	COLETA DE DADOS	36
<b>5</b>	<b>AVALIAÇÃO DO SISTEMA</b>	<b>37</b>
5.1	RESULTADOS	37
5.2	AVALIAÇÃO DOS DADOS	40
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>43</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>45</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Loureiro (2019), o cultivo de plantas por meio da técnica de hidroponia vem ganhando destaque em pequenas e grandes produções, devido ao fato do plantio ser mais prático e confiável do que no solo, pois o mesmo se aplica em ambientes fechados e com possibilidade de total controle de pragas e do que se necessita para o desenvolvimento da planta. O solo é totalmente substituído por água enriquecida com produtos minerais indispensáveis para o crescimento vegetal, também conhecida como solução nutritiva.

Segundo Costa e Junqueira (2000), a nutrição e a temperatura da água, por se tratarem da principal condição do crescimento da planta, necessitam de um controle diário para serem mantidas nos níveis desejados, entretanto, os produtores enfrentam dificuldades em obter de forma clara as informações sobre a solução nutritiva, bem como ajusta-la de forma adequada. De acordo com Fernandes (2002), para que se tenha uma solução nutritiva adequada no modo convencional, é necessário o acompanhamento diário de um técnico especializado na plantação.

Atualmente, a produção de plantas por meio da hidroponia não utiliza meios tecnológicos para maximizar as vantagens deste plantio. Embora, observa-se que a aplicação de sistemas embarcados para o monitoramento online das principais variáveis de crescimento e da sustentabilidade da plantação tem potencial expressivo para estudo e desenvolvimento de novos projetos. Conforme destacado por Inamasu et al. (2014), o avanço da tecnologia na agricultura auxilia o agricultor a detectar, analisar e controlar suas plantações.

Uma forma clara de observar o avanço tecnológico na agricultura, de acordo com Rosa (2017), é na exploração da internet além do entorno dos computadores, ou seja, a integração da internet com a automação, conceituando o termo IoT (*Internet of Things*).

De acordo com Leite et al. (2017), o conceito de IoT está relacionado a forma de comunicação global, possibilitando a interligação entre pessoas e máquinas. Esta forma de explorar a internet possibilita uma maior automatização em tarefas simples e diárias, facilitando o controle e monitoramento através de dispositivos móveis conectados a internet.

A partir do contexto apresentado, este trabalho tem como objetivo o

desenvolvimento de um sistema de monitoramento online de temperatura, ph e condutividade da água por meio da aplicação de sensores conectados a um sistema microcontrolado.

Na zona de plantio, serão distribuídos e alocados diferentes tipos de sensores em pontos estratégicos, ou seja, próximos da raiz da plantação, como sonda medidor de ph, sensor de temperatura e sensor medidor de condutividade de água. As informações relativas ao processo serão enviadas a um *broker* conectado na rede local, por meio da aplicação de uma *Raspberry Pi* que fará o armazenamento dos dados e os disponibilizará em um ambiente de monitoramento criado na nuvem, a fim do produtor ter acompanhamento online das medições coletadas na plantação por meio de algum dispositivo conectado a internet.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento de um sistema *online* de monitoramento de pH e condutividade e controle de temperatura da água no cultivo hidropônico.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Com o intuito de atingir o objetivo geral, necessita-se a execução dos objetivos específicos.

- Definir os modelos de sensores adequados para cada tipo de medição;
- Escolher uma plataforma microcontrolada adequada à aplicação;
- Desenvolver um *firmware* capaz de coletar os dados, armazenar e transmitir para um ambiente *online*;
- Desenvolver uma interface de supervisão do ambiente de plantação;
- Validar, simular e testar o sistema desenvolvido.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção serão apresentados os fundamentos teóricos que norteiam o processo de automatização do ambiente de plantação hidropônica, apresentando o desenvolvimento do sistema de monitoramento, com integração dos conceitos de IoT.

### 2.1 ESTUFA HIDROPÔNICA

De acordo com Douglas (2001), a hidroponia é uma técnica de cultivo de plantas sem a utilização de terra, nutrindo-as com soluções de água e sais minerais. O cultivo hidropônico pode ser praticado de diversas maneiras, desde a produção de alimentos, flores e frutas em escalas comerciais ou para consumo próprio.

Segundo Baron et al. (2019), o estudo sobre o cultivo hidropônico iniciou antes de 1930, mas a maneira de cultivo se espalhou rapidamente para cultivos comerciais e domésticos após os testes bem-sucedidos por Willian Gericke, em 1938. Nos dias atuais, são estudadas novas formas de cultivo para reduzir a área necessária para plantação, fazer uso de sistemas automatizados e iluminação artificial, no geral, busca-se formas de ampliar a produção e reduzir o tempo para tal.

O cultivo de forma hidropônica se torna uma maneira diferenciada do convencional, por exemplo, no que se diz respeito ao menor consumo de água em relação a plantação de solo, os nutrientes circulam a todo instante na raiz da planta, a produção em menor tempo, além do controle sobre os nutrientes por meio da medição do pH e da condutividade elétrica.

O sucesso da plantação em um cultivo hidropônico, de acordo com Helbel Junior et al. (2008), depende do conhecimento prévio dos aspectos nutricionais e a forma de manejar as plantas. Um dos principais aspectos para o desenvolvimento da planta é a composição da solução nutritiva, onde a mesma varia de espécie para espécie de planta. É comum avaliar a quantidade misturada de nutrientes de forma indireta, medindo a Condutividade Elétrica (CE) da água. Grande parte da solução nutritiva é composta por elementos metálicos, e para se obter uma medição estimada desta concentração de nutrientes, é possível através da capacidade de condução elétrica que esta solução oferece, ou seja, quanto maior for a concentração de nutrientes em um reservatório, maior será o nível de condutividade

elétrica. O nível de CE é variável de acordo com a planta que se cultiva, como por exemplo, uma plantação de alface a condutividade elétrica oscila entre 1,6 a 1,8 S/m.

Além do controle que se deve ter da CE, Fonseca et al. (2018), ressaltam a importância de manter a acidez adequada da solução nutritiva ao longo do desenvolvimento da plantação. Desta forma, o pH deve ser ajustado diariamente de acordo com a espécie cultivada, onde a maioria das plantas, o apropriado deve estar entre 5 e 6,5. Com o pH a cima do valor adequado, pode haver precipitação em alguns dos nutrientes que contemplam o crescimento da planta.

Outro fator importante para o crescimento saudável da plantação, de acordo com Teixeira et al. (2006), é a temperatura da água da solução nutritiva, que deve se encontrar entre 14 e 24 °C para não prejudicar a produção. Temperaturas extremamente baixas ou elevadas, podem desenvolver doenças radiculares.

## 2.2 INTERNET DAS COISAS (IoT)

O termo Internet das Coisas foi citado pela primeira vez, conforme menciona Medina et al. (2017), por um dos fundadores do centro Auto-ID do MIT, nos anos de 1999. Na época, foi estudada a possibilidade da aplicação de computadores para controlar e gerenciar ambientes, sem que necessitasse da intervenção de um usuário para comanda-lo. Com isto, segundo o autor, possibilitaria a diminuição de perdas, assim reduzindo custos.

Medina et al. (2017), refere-se também que a IoT aborda a construção de uma rede de base dinâmica e integral com a capacidade de se autoconfigurar com fundamento em padrões de protocolos de comunicação, onde objetos físicos e virtuais possuem características para se integrar á rede de informação. Estes objetos são capazes de interagir com o ambiente por meio de sensores, e comandam dispositivos atuadores no ambiente, controlando diversos processos sem a interação do homem.

Para tais aplicações, o sistema necessita previamente de dados coletados, processados, transformados em informações e compartilhados entre os dispositivos conectados na mesma rede. Para a execução destas funções necessita-se de uma tecnologia de processamento de dados, seja ela pela utilização de *hardwares* e/ou *softwares*. Segundo o autor, as tecnologias podem ser classificadas em três tipos:

detecção e coleta de dados, comunicação de dados e armazenamento.

Para que haja comunicação e armazenamento de dados em uma aplicação, Da Conceição e Costa (2019), aborda a utilização do protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) para a comunicação entre clientes e servidor.

### 2.2.1 Protocolo MQTT

O protocolo de comunicação MQTT, de acordo com Da Conceição e Costa (2019), foi desenvolvido pela IBM, porém, atualmente é um padrão aberto para comunicação entre dispositivos. Este protocolo, diferente do tradicional tipo cliente/servidor que as mensagens saem da origem e são encaminhadas diretamente ao destino, o MQTT possui uma arquitetura do tipo *publish-subscribers*, ou seja, publicação e assinatura. Desta forma, um dispositivo *publish* é responsável por enviar os dados ao servidor, que age como um mediador (*broker*). Conhecendo os clientes *subscribers* que estão conectados e que apontam interesse nas informações atualizadas de um tópico, o *broker* retransmite as informações para esses clientes.

No protocolo MQTT, o *broker* tem a função de um servidor com a disponibilidade para fazer a interligação desde a origem das informações até a publicação final, ou seja, em algum dispositivo como celular ou computador. O elemento *Publisher* MQTT realizará a geração das informações, como sensores aplicados ao meio físico, e posteriormente enviará estes dados até o *broker*, para que este realize a entrega das informações até o cliente específico. Por fim, o elemento *Subscriber* é um dispositivo assinante de algum determinado serviço oferecido pelo servidor, (Marques e Rui, 2018).

Diferente de outros protocolos, o MQTT é capaz de trabalhar sobre outro protocolo de camada de transporte, o UDP (*User Datagram Protocol*). Embora não seja confiável para cumprir a entrega dos dados, o protocolo UDP demanda menor controle da transmissão, desta forma, podendo ser adequado para aplicações com dispositivos que apresentam recursos limitados (Da Conceição e Costa, 2019).

Melo et al. (2018), menciona também que o protocolo MQTT oferece desacoplamento entre dispositivos comunicantes, ou seja, *publisher* e *subscriber* não estão conectados diretamente, a conexão ocorre toda vez entre o cliente e o

*broker*. Desta forma, não há necessidade que *publisher* e *subscriber* estejam em execução ao mesmo tempo.

### 2.3 SISTEMA ESP8266 NodeMCU

A plataforma microcontrolada ESP8266 NodeMcu, conforme Firmansyah et al. (2015), é fabricado pela empresa chinesa *Espressif Systems* e está cada vez mais popular entre as aplicações que envolvem IoT, por se tratar de um módulo com *wi-fi* incorporado e protocolo TCP/IP integrado.

Algumas características técnicas da plataforma microcontrolada podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados técnicos ESP8266NodeMcu

ESP8266 NodeMcu	
Tensão de Alimentação	2,7 a 3,3Vcc
Consumo de corrente	10 $\mu$ A - 170mA
Frequência de Operação	80 a 160 MHz
Memória FLASH	4MB
Memória para instruções	64Kb
Memória para dados	69Kb
Comunicação com rede <i>wi-fi</i>	
Suporta redes 802.11 g/b/n	

Fonte: Datasheet ESP8266

As possíveis linguagens de programação, de acordo com Pereira (2019), podem ser Lua *Script*, *Micropython*, SDK nativo *Espressif C/C++*.

### 2.4 RASPBERRY PI MODELO 3B

O *Raspberry PI* (RPI) de acordo com Lugarini e Koyashiki (2017), pode ser definido como um computador de pequeno porte, com capacidade de desenvolver complexos projetos eletrônicos. A primeira versão, lançada pela *Raspberry Foundation* foi em 2012, desenvolvida com o intuito de aplicação em ensinamentos de programação.

O modelo 3B, é a versão mais moderna, a mesma possui *Bluetooth*,

comunicação *Ethernet* e *Wi-Fi* embarcado. Este dispositivo possui 40 pinos de GPIO (*General Purpose Input-Output*), alimentação de 5VCC, processador Quad Core 1,2GHz, RAM de 1GB, portas USB e também comunicação HDMI.

## 2.5 THINGSPEAK

Nakhuva e Champaneria (2015) classificam o *Thingspeak* como um aplicativo implantado no desenvolvimento de sistemas IoT, o qual funciona como uma base de dados (envio e armazenamento) coletados através da aplicação de sensores. Além disso, complementam que o mesmo é capaz de integrar tais dados com uma variedade de plataformas, sistemas e tecnologias de outras corporações, tais como o Arduino.

Acharya e Kuzhalvaimozhi (2016) citam o “elemento central do *Thingspeak*”, o Canal *Thingspeak*, que engloba os seguintes elementos:

- Oito campos para armazenamento de dados de qualquer tipo, como dados de sensores e dispositivos acoplados;
- Três campos de localização, para armazenamento de latitude, longitude e elevação, voltados para rastreamento de dispositivos em movimento;
- Um campo de status, voltado para mensagens curtas para descrever dados armazenados do canal.

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

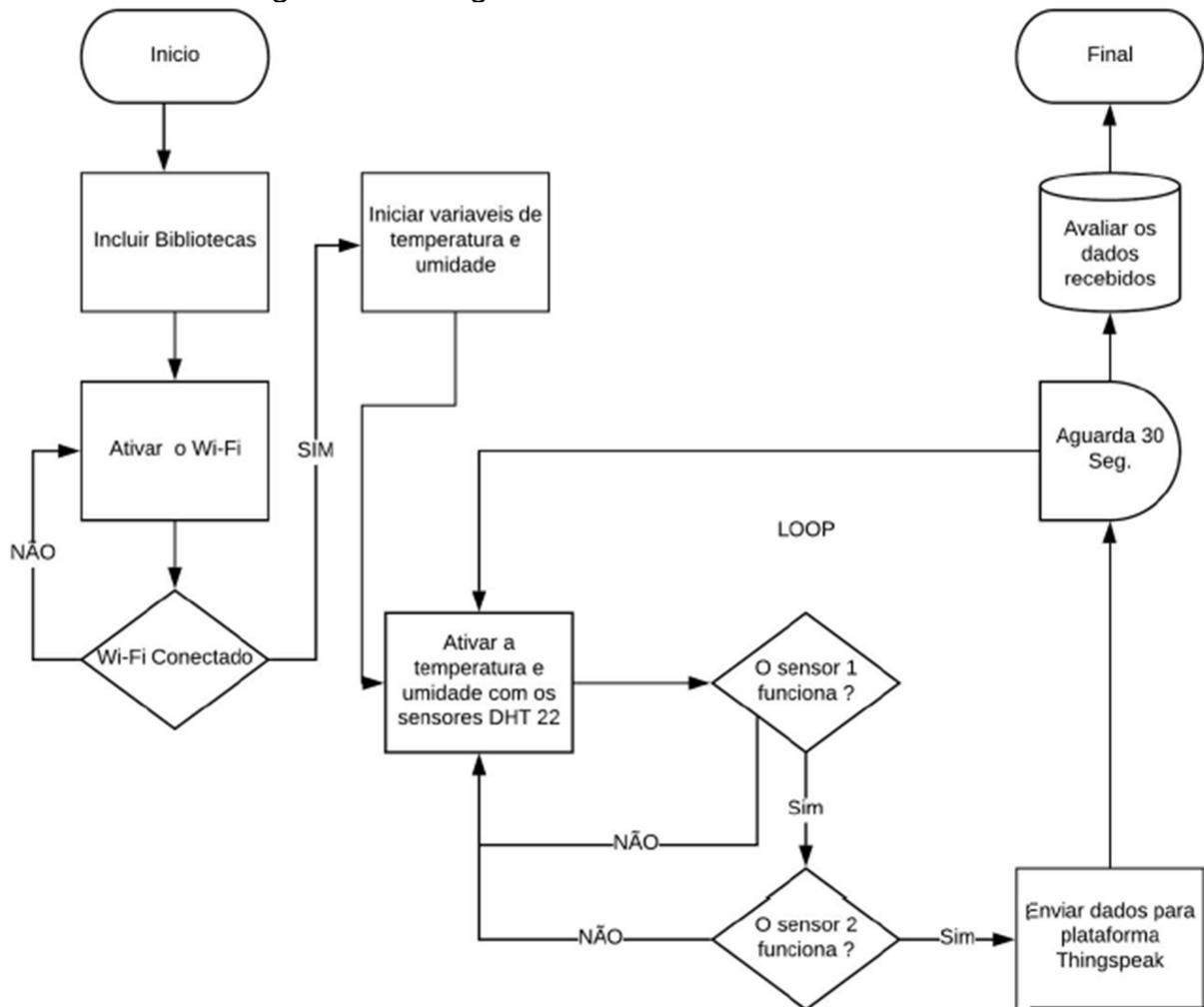
Tendo em vista o avanço da tecnologia aplicada em cultivos hidropônicos, é possível de observar diversas maneiras de monitoramento online das principais variáveis de crescimento do plantio. Nesta seção serão apresentadas algumas formas de monitoramento online aplicados no cultivo de plantas encontradas na literatura.

Pereira (2019), em seu estudo, desenvolveu um protótipo com o objetivo de registrar e monitorar temperatura e umidade coletadas em uma estufa hidropônica. Para isto, o autor fez o uso de um módulo *Wi-fi* NodeMcu ESP8266 E-12, sensores de temperatura e umidade DHT22, e uma plataforma de monitoramento online.

No protótipo desenvolvido, as informações lidas pelos sensores eram recebidas pelo ESP8266, que possuía um algoritmo codificado em linguagem C e C++ por meio da IDE (*Interface Development Environment*) própria da plataforma Arduino. Ainda sobre o código, o autor fez o uso das bibliotecas referente a ESP8266 *Wi-Fi* e as dos sensores de temperatura e umidade DHT22, fornecidas pela IDE do Arduino.

O sistema fica constantemente conectado a uma rede *Wi-Fi*. Os resultados oriundos do processamento do sistema são compartilhados por meio da plataforma *online Thingspeak*, responsável pela apresentação dados analíticos voltadas ao IoT. A arquitetura de funcionamento do sistema pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma de funcionamento do sistema



Fonte: Pereira (2019).

Na etapa de envio e recebimento dos dados coletados pela plataforma microcontrolada, Pereira (2019) utilizou uma plataforma de monitoramento com serviço aberto e protocolo baseado em HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*).

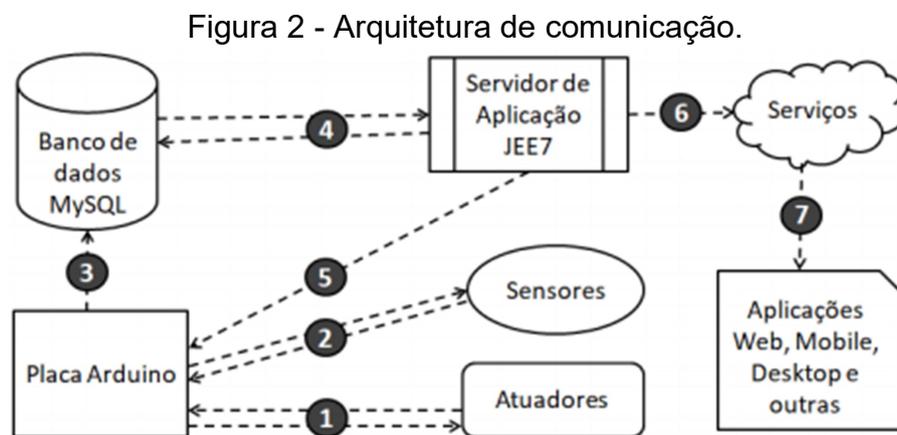
No trabalho de Veloso et al. (2018), o autor também faz uso de uma plataforma microcontrolada nodeMCu ESP8266 para as medições e controle de dispositivos presentes no cultivo. Neste trabalho, optou-se para o recebimento e envio de informações entre um sistema web e o ESP8266 o protocolo de transporte MQTT e um protocolo de conectividade M2M (*Machine to Machine*) aplicando os métodos *publish* e *subscribe*.

O uso do protocolo MQTT permitiu que o Broker fosse responsável por receber e filtrar as mensagens na nuvem, estas recebidas ou enviadas aos clientes. E sobre a comunicação, o autor salienta que todos os *publisher* e *subscriber* são

atualizados em tempo real, devido ao uso da ferramenta node.js.

Santos et al. (2020) embasaram-se nos conceitos de IoT e aplicaram-no em um sistema de monitoramento e controle no cultivo hidropônico. Para tal, os autores utilizaram uma plataforma open-source Arduino Mega 2560, sensores e atuadores. O sensor responsável por medir o pH no cultivo foi o modelo SEN161 fabricado pela empresa DFROBOT, que é principalmente projetado para microcontroladores, com escala de medição de 0 a 14 pH e com precisão de aproximadamente 0,01 pH. Já para a medição de temperatura da água foi aplicado um sensor DS18B20 fabricado pela Maxim IC, o qual possui uma resolução de temperatura entre 9 a 12 bits.

O acionamento das bombas de circulação e do alimentador automático foi realizado por meio de módulos relés do modelo comercial SRD-05VDC-SLC fabricado pela Songle Relay, com tensão de operação 5VCC, a fim de eliminar circuitos de ativação com transistores, diodos, leds e relés. E para a conexão do Arduino com a internet, optou-se pelo Shield Ethernet, modelo não especificado pelo autor. Pode-se ver a arquitetura do sistema, desde a coleta dos valores lidos pelos sensores até a transferência destas informações entre a plataforma microcontrolada e os dispositivos utilizados para o monitoramento, na Figura 2.



Fonte: Santos et al. (2020).

Como pode ser visto da Figura 2, os dados recebidos dos sensores e atuadores são enviados, por meio de serviços web de comunicação, para um banco de dados MySQL, onde são armazenados, deixando-os disponíveis para a plataforma de aplicação que pode os acessar através da conexão HTTP.

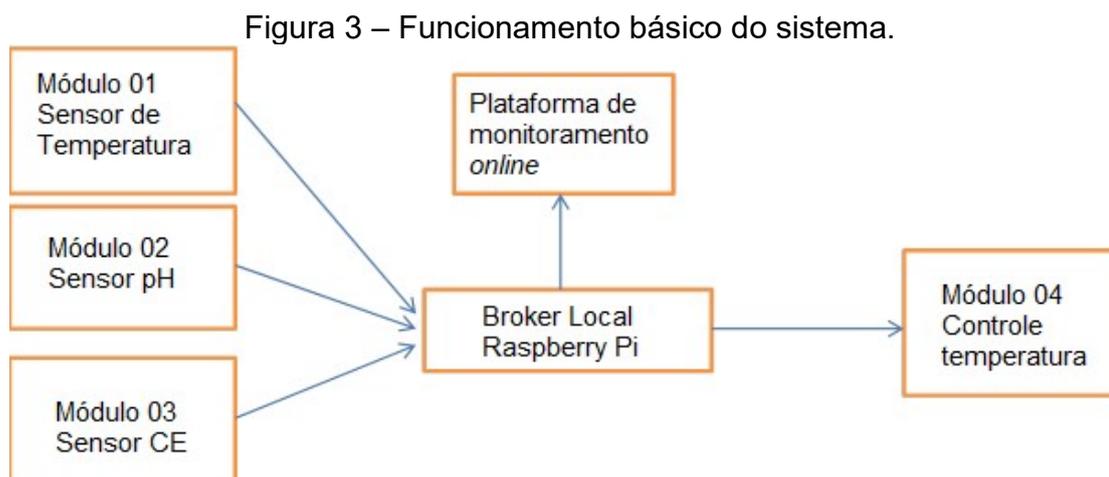
Uma análise dos trabalhos de Pereira (2019), Veloso et al. (2018) e Santos et al. (2020) permite observar que a aplicação da plataforma microcontrolada

ESP8266 apresenta vantagens quando se trata de IoT, em relação à utilização do Arduino, uma vez que esta plataforma já possui conectividade *Wi-Fi* embarcada na placa, diferentemente do Arduino que necessita de uma placa de conexão *Wi-Fi*.

#### 4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O desenvolvimento deste trabalho visa a elaboração de um sistema capaz de monitorar pH, condutividade elétrica, controlar e monitorar a temperatura da água em uma estufa hidropônica, aplicando sensores conectados em plataformas microcontroladas capaz de enviar os dados a um servidor local aplicando os conceitos de IoT para disponibilizar os dados coletados em uma plataforma online. As plataformas microcontroladas escolhidas são adequadas para receber os sinais enviados dos sensores de temperatura, pH e condutividade da água, trata-los adequadamente através de um *firmware* desenvolvido, e enviar as informações para um servidor local.

No sistema desenvolvido aplicou-se sensores para o monitoramento de temperatura, CE e pH da água do cultivo hidropônico, com o auxílio de uma plataforma microcontrolada para cada sensor. Por meio de um algoritmo, as plataformas conectaram-se a uma rede de internet *wi-fi* e enviam os dados coletados dos sensores a um *broker* local, com a utilização do protocolo MQTT. Desta forma, os dados coletados no plantio, por meio de um *script* desenvolvido no servidor local, são acessados através de uma plataforma de monitoramento *online* de serviço gratuito. A arquitetura básica do sistema pode ser vista na Figura 3.

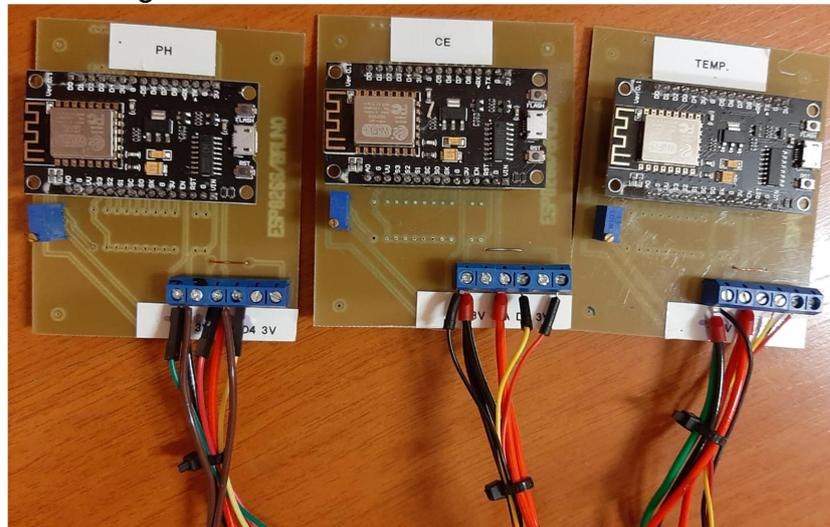


Fonte: O autor

Os sensores foram conectados fisicamente a uma plataforma microcontrolada com módulo *wi-fi* embarcado, um sensor por plataforma, que, por meio de um algoritmo desenvolvido, envia as informações lidas para um *broker*

através do protocolo MQTT. As placas nas quais foram conectados os sensores estão exibidos na Figura 4.

Figura 4 - Placas conectadas aos sensores.



Fonte: O autor.

Posteriormente, a informação de temperatura é enviada do *broker* para outra plataforma microcontrolada que desempenha a função de controlar a temperatura, acionando uma resistência caso necessite aquecer a água, ou um sistema de refrigeração por meio de dois módulos de pastilhas termoelétricas caso se necessite resfriar a água.

O monitoramento das grandezas lida no ambiente são transmitidas diretamente do *broker* para a plataforma online. O processo de postagem de informação do *broker* para a plataforma de monitoramento online é descrita na etapa de comunicação dos dados.

Com intuito de facilitar a compreensão do projeto desenvolvido, o sistema foi dividido em duas etapas, sendo elas; materiais utilizados e comunicação de dados.

#### 4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Inicialmente, com a elaboração do projeto por completo, procurou-se pelos materiais adequados, tanto sensores que fornecessem uma medição confiável quanto plataformas para gestão com comunicação *wi-fi* para transmissão e recepção dos dados, então para isto, seguiram-se alguns pré-requisitos. As plataformas microcontroladas devia possuir um módulo de comunicação *wi-fi* para publicação

dos dados lidos em um *broker* e com compatibilidade para a aplicação dos sensores utilizados. De mesma forma, necessitou-se de uma plataforma para empregar na rede local com a finalidade de ser utilizada como um *broker* para receber, armazenar e enviar os dados a uma plataforma de monitoramento online e para a plataforma microcontrolada que fez o controle da temperatura.

Como pode ser visto na Figura 3, o módulo 4 recebe a informação de temperatura da água enviada do *broker*, e através da mesma, com o objetivo de mantê-la em uma faixa de valor adequado para a plantação, é feito o controle, por meio de acionamento de uma resistência caso seja necessário elevar a temperatura, ou dois módulos de pastilhas termoelétricas para diminuir.

#### 4.1.1 SENSORES

O sensor de temperatura fabricado pela empresa Dallas aplicado neste projeto é apresentado na Figura 5. Este sensor permite imersão total na água, por ser totalmente encapsulado e blindado com bulbo de aço inox e com vedação dos fios. Desta forma, este se torna ideal para o uso em tanques de água. As principais características do DS18B20, que foi conectado a uma entrada digital da plataforma microcontrolada, são:

- Alimentação entre 3V e 5V CC;
- Resolução entre 9 e 12 bits;
- Totalmente encapsulado, a prova de água;
- Faixa de medição entre  $-55^{\circ}\text{C}$  e  $+125^{\circ}\text{C}$ ;
- Erro de medição de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .

Figura 5 - Sensor DS18B20.



Fonte: O autor.

O sensor DS18B20 possui uma saída digital, tendo como padrão a resolução de 0,5 a 0,0625 °C, respectivamente. O tempo de resposta do sensor é de 100ms a 750ms, dependendo da resolução escolhida.

A escolha da resolução de leitura é realizada através da própria plataforma microcontrolada empregada para a conexão do sensor, onde nesta aplicação utilizou-se padrão 12 bits, por não haver necessidade de uma leitura com o menor tempo possível e o sistema possuir uma variação lenta na mudança de temperatura da água. A mesma já dispõe das bibliotecas adequadas na própria IDE do Arduino para a leitura de temperatura.

A medição do nível de pH dos tanques se deu pela utilização do sensor PH4502C, fabricado pela empresa Diymore, um equipamento que opera com uma tensão de 5VCC e dispõe um sinal analógico de tensão de 0 a 5VCC para o tratamento da leitura. Os detalhes físicos do sensor PH4502C podem ser vistos na Figura 6.

Figura 6 - Sensor PH 4502C

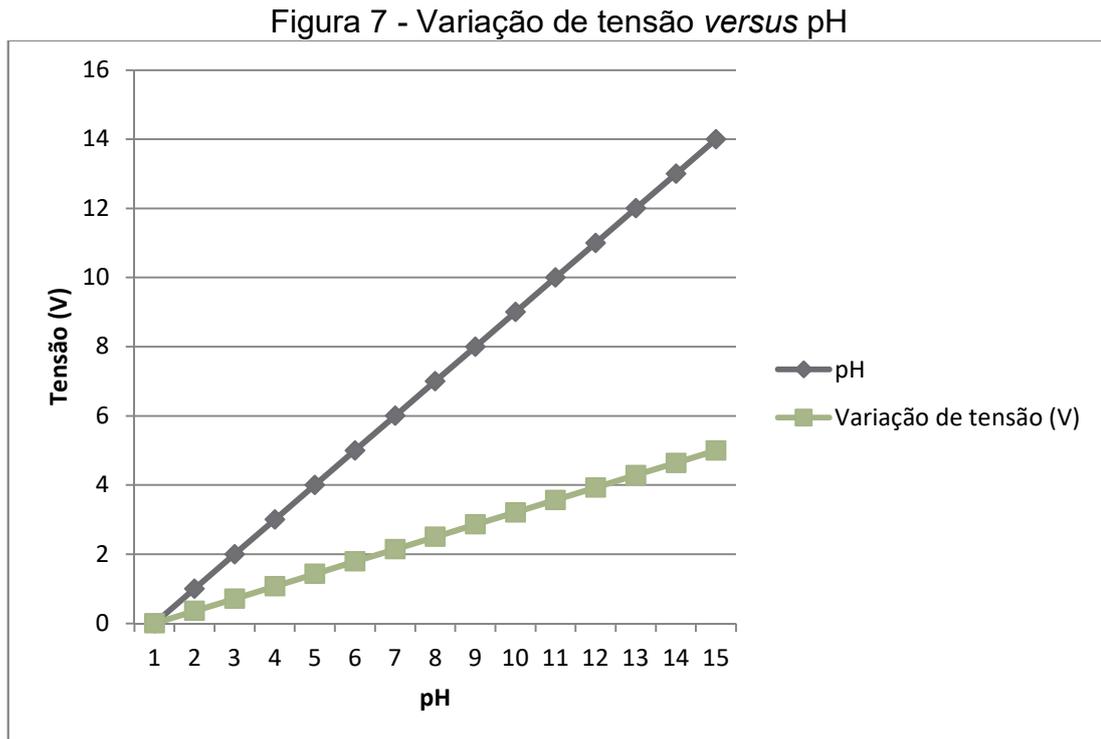


Fonte: Adaptado de Diymore.

A placa dispõe de pinos de conexão, onde é realizada alimentação da mesma, também contém um pino de saída analógica correspondente ao pH medido e um de saída digital para leitura de temperatura, que não foi utilizado para esta aplicação, pois pode haver a necessidade de medir temperatura e pH em pontos

distintos.

Para cada valor de pH medido, o sensor dispõe na saída um sinal de tensão variável. Ou seja, se o sensor está medindo um valor de pH igual a 7, o sinal analógico de saída do mesmo é de 2,5V, assim variando linearmente, como pode ser visto na Figura 7.



Fonte: O autor.

Com isto, este sinal de tensão elétrica será conectado a uma entrada analógica da plataforma microcontrolada, especificamente em uma entrada analógica (ADC) de 10 bits, que posteriormente é convertido em um dado relacionado ao pH medido.

O sensor medidor de pH, conforme mostrado na Figura 8, para realizar uma pré-calibração, de acordo com o fabricante Diymore, quando colocado em curto-circuito o contato interno com o externo do conector BNC, automaticamente a saída analógica fornece uma tensão igual a 2,5V, simulando um pH neutro.

Figura 8 – Pré-calibração do sensor de pH

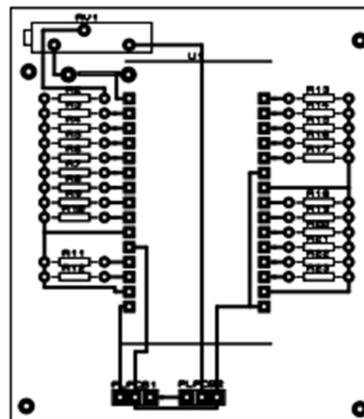


Fonte: Adaptado de Diymore.

Realizando a pré-calibração, caso o sinal analógico de tensão de saída for diferente de 2,5V, a regulação é feita através de potenciômetros integrados no circuito da placa, mostrados na Figura 8, que atuam como um divisor de tensão, fazendo com que possa ser ajustado o valor de tensão fornecida.

Pelo fato de a entrada analógica da plataforma microcontrolada utilizada para o desenvolvimento do trabalho suportar uma tensão máxima de 3,3V e a tensão máxima fornecida pelo sensor ser de 5V, ao desenvolver o PCB (*Printed Circuit Board*), mostrado na Figura 9, utilizou-se um potenciômetro como divisor de tensão de ajuste para a entrada analógica, limitando o máximo de tensão em 3,3V.

Figura 9 - Layout do PCB utilizado.



Fonte: O autor.

Para a aferição da calibração realizada utilizou-se uma solução de pH comercializada, com valores padrão. Este produto é fornecido em pequenas embalagens contendo a solução em pó, como pode ser visto na Figura 10. Assim foi escolhido o valor que se deseja medir e misturado com 250ml de água, obtendo o

determinado valor de pH, e assim foi realizada a medição conferindo a calibração inicial.

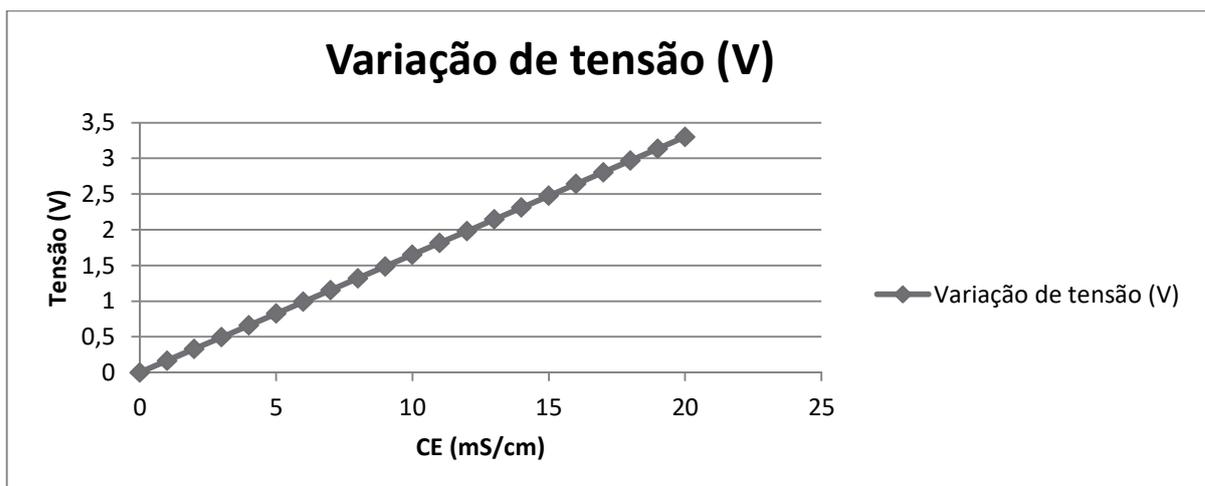
Figura 10 - Solução para calibração do sensor medidor de pH.



Fonte: Kasvi.

A fim de medir a condutividade elétrica da água, aplicou-se o sensor com saída analógica DFR 0300, fabricado pela empresa DFROBOT. Este sensor opera em uma faixa de tensão entre 3 e 5 VCC e dispõem de uma saída analógica entre 0 e 3,2V e uma faixa de medição entre 0 e 20mS/cm, com uma precisão de medição de  $\pm 5\%$ . A variação do sinal de saída analógica se comporta de forma linear, onde quanto maior a condutividade elétrica da água, maior é a tensão de saída. A variação do sinal de saída do sensor de condutividade é apresentada na Figura 11.

Figura 11 - Variação de tensão *versus* CE



Fonte: O autor.

Para a calibração do equipamento, o fabricante dispõe de uma solução de produto homologado, que também é comercializado no mercado. Esta solução é

liquida e encontrada em frascos de diversos tamanhos, porém para a aplicação desenvolvida utilizou-se as soluções que acompanharam o sensor.

Com o objetivo de calibrar o sensor, mergulhou-se o mesmo na solução com *buffer* de 1413  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , assim obtendo na saída analógica do sensor um valor de tensão correspondente ao valor do *buffer* aplicado.

O sinal de saída do sensor foi conectado em uma ADC da plataforma microcontrolada, e o tratado de forma adequada para a obtenção do valor da solução aplicada. Optou-se por este valor de condutividade, pois a faixa de monitoramento no ambiente de plantio, varia entre 0,8 a 1,7  $\text{mS}/\text{cm}$ .

#### 4.1.2 ATUADORES

Com o objetivo de manter a temperatura do tanque adequada para o cultivo presente na aplicação, desenvolveu-se um sistema de controle fazendo uso de dois módulos de pastilhas termoelétricas para o resfriamento e uma resistência para o aquecimento.

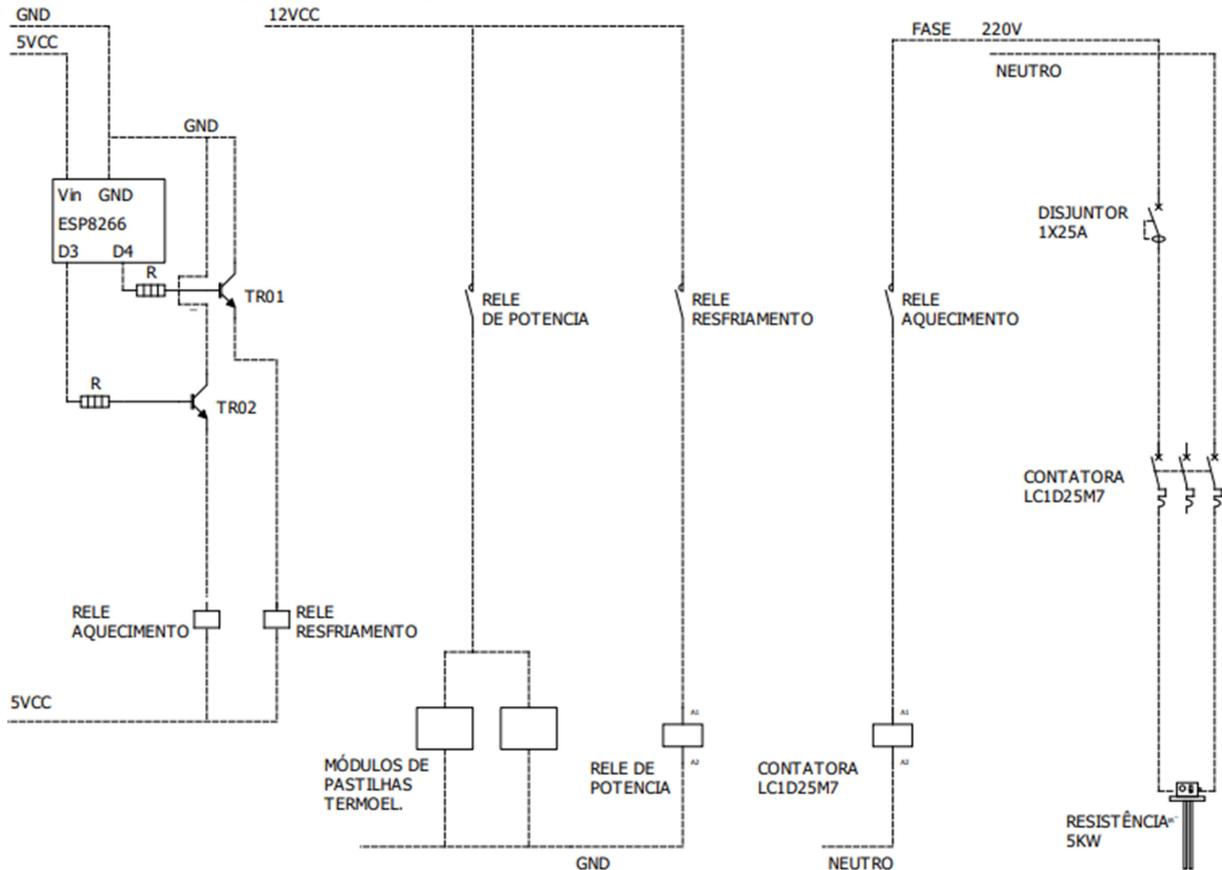
O controle de temperatura em situações onde a mesma estivesse acima do valor desejado, se deu pelo desenvolvimento um sistema de atuação por meio de relés conectados a saídas digitais da plataforma microcontrolada, fazendo assim o acionamento de dois módulos de pastilhas termoelétricas. A pastilha aplicada opera com tensão de 12VCC, então, para isto, utilizou-se uma fonte dedicada e específica a demanda.

No quesito lógico, desenvolveu-se um *firmware* para a plataforma microcontrolada para monitorar a temperatura, de tal forma que a atuação dos relés é realiza no caso em que a temperatura ultrapassasse o valor de 23°C, assim acionando os dois módulos de pastilhas termoelétricas, com intuito de reduzir o valor de tal parâmetro. Na sequência, os módulos são desativados quando o valor de temperatura atinge 18°C.

Caso a temperatura atingisse o valor de temperatura abaixo do adequado para o cultivo, elaborou-se um equipamento com uma resistência submersa no tanque de água, que, por meio do acionamento de outra saída digital da plataforma microcontrolada atuasse um relé, e por meio deste acionasse uma contatora de potência fazendo o acionamento da resistência, elevando a temperatura até atingir o valor desejado, levando ao desligamento do aquecimento neste momento.

O diagrama do funcionamento do controle de temperatura pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 - Diagrama elétrico do controle de temperatura.



Fonte: O autor.

A escolha dos componentes elétricos iniciou-se devido a necessidade de atender a corrente de 23A gerada pela resistência tubular de 5Kw, a qual operava a uma tensão de 220VAC. Conseqüentemente, se fez necessária a aplicação de uma contatora capaz de contemplar tais parâmetros. A contatora escolhida foi a de modelo LC1D25M7 da marca Schneider, com valores nominais de tensão e corrente, respectivamente, 220V e 25A, comportando o sistema de maneira adequada, sem superestimá-lo. Para a proteção do circuito, foi utilizado um disjuntor Schneider monofásico EZ9F13125 de 25A.

Devido ao fato de ter sido selecionada uma contatora, tornou-se fundamental desenvolver, concomitantemente, um circuito de potência, para que fosse viabilizada a utilização de microcontroladores. Desta forma, optou-se por agregar um circuito eletrônico formado por transistores NPN 2N222 com as bases conectadas a um resistor de 1k $\Omega$  (para proteção em casos de elevações de tensão e corrente) nas

saídas digitais da ESP8266. Além disso, para interfacear o comando de acionamento da contatora, a qual necessita tensão de 220V em sua bobina, foi aplicado um módulo com dois relés com tensão de atuação de 5VCC, corrente de chaveamento de 10A em 30VCC ou 250VCA.

Uma fonte chaveada de 12 VCC e 10A foi empregada de maneira que possibilitasse a utilização das pastilhas termoeletricas (ambas de tensão 12V e corrente 1,5A), aliada a um relé de potência MKB3H-12VCC, com tensão de atuação de 12VCC e corrente de 30A para acionamento dos módulos.

#### 4.1.3 PLATAFORMA MICROCONTROLADA

A conexão dos sensores ocorreu pela plataforma microcontrolada ESP8266 NodeMCU. Optou-se por esta plataforma em função da sua compatibilidade na integração com os sensores aplicados, baixo custo e pelo fato de possuir um módulo de conexão *wi-fi* embarcada, diferente de outras plataformas, como o Arduino.

Para o desenvolvimento dos *Firmwares* aplicados nos ESP8266 utilizou-se a IDE do Arduino, para isso necessitou-se fazer a configuração da mesma. Inicialmente, se inseriu o link "[http://arduino.esp8266.com/stable/package\\_esp8266com\\_index.json](http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json)", no Adicionais de Gerenciador de Placas da IDE do Arduino. Em sequência, em Gerenciamento de Placas se fez o *download* da placa utilizada, assim disponibilizando todas as versões da plataforma microcontrolada ESP8266.

A gestão do sistema se deu através de uma *RPI* Modelo 3B, que recebe e envia as informações dos ESP8266 que estão conectados na rede local, empregando o protocolo MQTT para a comunicação entre os dispositivos, e a mesma operando como um *broker* local. A *RPI* armazena as informações, e as envia para um ambiente de monitoramento *online*, e também envia os valores de temperatura recebidos ao módulo 4, que desempenha a função de controle da temperatura, como pode ser visto na Figura 3.

## 4.2 COMUNICAÇÃO DOS DADOS

Atendendo a necessidade de desenvolver um *broker* a fim de conectar-se na

rede local, utilizou-se um computador embarcado RPI 3B. Inicialmente, para acessar o terminal gráfico da RPI, se fez o *download* de uma interface para possibilitar a conexão remota, o VNC (*Virtual Network Computing*). Através do IP da rede local, foi estabelecida a conexão remota para realizar a configuração do *broker*.

Com acesso ao terminal de comandos da plataforma RPI, instalou-se o sistema operacional padrão, o *Raspbian*. Após isto, com o intuito de configurar o *broker* local, diretamente pelos terminais da RPI, instalou-se o Mosquitto.

O *broker* Mosquitto foi o responsável por receber as informações enviadas das plataformas microcontroladas ESP8266 (clientes), que estão conectadas aos sensores, e enviar as informações de temperatura através da rede local para a plataforma que fará o controle da mesma. Além disso, o Mosquitto enviou todos os dados para uma plataforma de monitoramento *online*. Todas estas configurações poderiam ser alteradas através dos terminais de comando da RPI.

A configuração do *broker* Mosquitto é desenvolvida de acordo com a necessidade da aplicação. Neste projeto, configurou-se de forma que não se permitisse publicações ou inscrições de clientes anônimos. Deste modo, para se conectar ao *broker*, foi definido um usuário e senha de acesso. Esta mesma configuração de *login*, foi declarada no desenvolvimento do *Firmware* das ESP8266, assim possibilitando que as mesmas pudessem publicar ou se inscrever no *broker*.

Com as variáveis definidas, para acessar algum tópico que estivesse publicando informações no *broker*, foi necessário também informar o usuário e a senha. Na aplicação, os tópicos foram temperatura, pH e condutividade elétrica.

A plataforma microcontrolada ESP8266 NodeMcu utilizada possui bibliotecas padrão para comunicação através do protocolo MQTT. Para a conexão dos clientes (ESP8266), utilizou-se a biblioteca padrão *PubSubClient.h*, que emprega as funções necessárias para conexão com o *broker* e a troca de informações. Os dados lidos pelas ADC das plataformas microcontroladas, foram internamente declaradas variáveis do tipo *float*. Porém, ao mandar estes dados ao *broker*, necessitou-se converter para *string*, pois as informações são enviadas caracter por caracter. Para isto, aplicou-se a função *String(variável).c\_str()*, assim convertendo e publicando no *broker*.

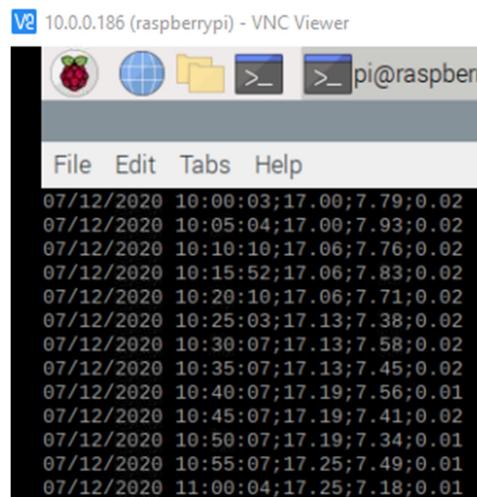
Todos os dados enviados ao *broker* podem ser acessados a qualquer momento pelo terminal de comandos da RPI, através do comando “*mosquitto\_sub -t “#” -v -u bnoliveira -P bnoliveira*”, onde *-t* é o tópico que deseja visualizar, *-v* para

apresentar o nome do tópico que se está vendo e  $-u$  e  $-P$  o usuário e senha definidos nas configurações do Mosquitto.

Também foram acessadas as configurações do Mosquitto e feitas algumas alterações. Habilitou-se o banco de dados local do mesmo inserindo o comando *persistence true*. Com isto, todos os tópicos enviados ao *broker* ficaram salvos na RPI. Na aplicação, onde foram realizadas análises dos dados diariamente, optou-se pelo armazenamento das informações durante os dias necessários para testes, através da inserção do comando *persistet\_client\_expiration (dias)d* nas configurações do Mosquitto.

Após ter habilitado e configurado o banco de dados do Mosquitto, se desenvolveu um *script* aplicando o comando *cat TS.sh* para que se exibissem os arquivos em formato CSV, como está mostrado na Figura 13, direcionando assim a extração dos mesmos para análises realizadas através do Excel.

Figura 13 - Dados armazenados no banco de dados.



```

10.0.0.186 (raspberrypi) - VNC Viewer
File Edit Tabs Help
07/12/2020 10:00:03;17.00;7.79;0.02
07/12/2020 10:05:04;17.00;7.93;0.02
07/12/2020 10:10:10;17.06;7.76;0.02
07/12/2020 10:15:52;17.06;7.83;0.02
07/12/2020 10:20:10;17.06;7.71;0.02
07/12/2020 10:25:03;17.13;7.38;0.02
07/12/2020 10:30:07;17.13;7.58;0.02
07/12/2020 10:35:07;17.13;7.45;0.02
07/12/2020 10:40:07;17.19;7.56;0.01
07/12/2020 10:45:07;17.19;7.41;0.02
07/12/2020 10:50:07;17.19;7.34;0.01
07/12/2020 10:55:07;17.25;7.49;0.01
07/12/2020 11:00:04;17.25;7.18;0.01

```

Fonte: O autor.

Como as grandezas medidas não sofrem alterações repentinas, optou-se pelo armazenamento dos dados a cada 5 minutos. Para configurar o tempo de envio e armazenamento, utilizou-se o comando *crontab -e*, e no seu campo de configuração foi inserido o comando *\*/5 \* \* \* \* /home/pi/TS.sh*, no qual o número cinco significa o tempo entre um dado armazenado, o seu antecedente e o seu subsequente. Tal comando pode ser programado para gravar de acordo com a necessidade do usuário.

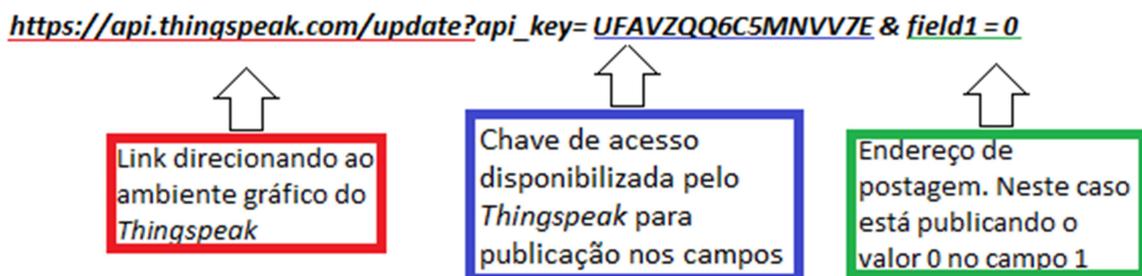
As informações recebidas no *broker* eram enviadas para uma plataforma de

monitoramento através da Internet. Portanto, necessitou-se configurar o mesmo, utilizando o comando `vi TS.sh`, abrindo o arquivo no editor de texto da RPI, e desta forma, foi declarado três variáveis: TEMP, PH e CE. Tais variáveis recebem as informações aplicando o comando `/usr/bin/mosquitto_sub -t "Temp:" -u bnoliveira -P bnoliveira`, para a busca da informação no endereço `/usr/bin/mosquitto_sub` do *broker* Mosquito nos respectivos tópicos `-t`.

A plataforma elencada para ser utilizada como aplicativo de monitoramento foi o *Thingspeak*. Esta escolha se deu por se tratar de uma plataforma gratuita que recebe os dados e os apresenta de uma forma intuitiva através de gráficos, mostradores digitais, etc. O cadastro no ambiente virtual foi realizado através do site da plataforma, criando um usuário e uma senha, possibilitando o acesso na *web*, podendo registrar vários canais. No projeto, utilizou-se um canal do *Thingspeak*, com três campos de armazenamento de dados: um para temperatura, outro para CE e um terceiro para pH.

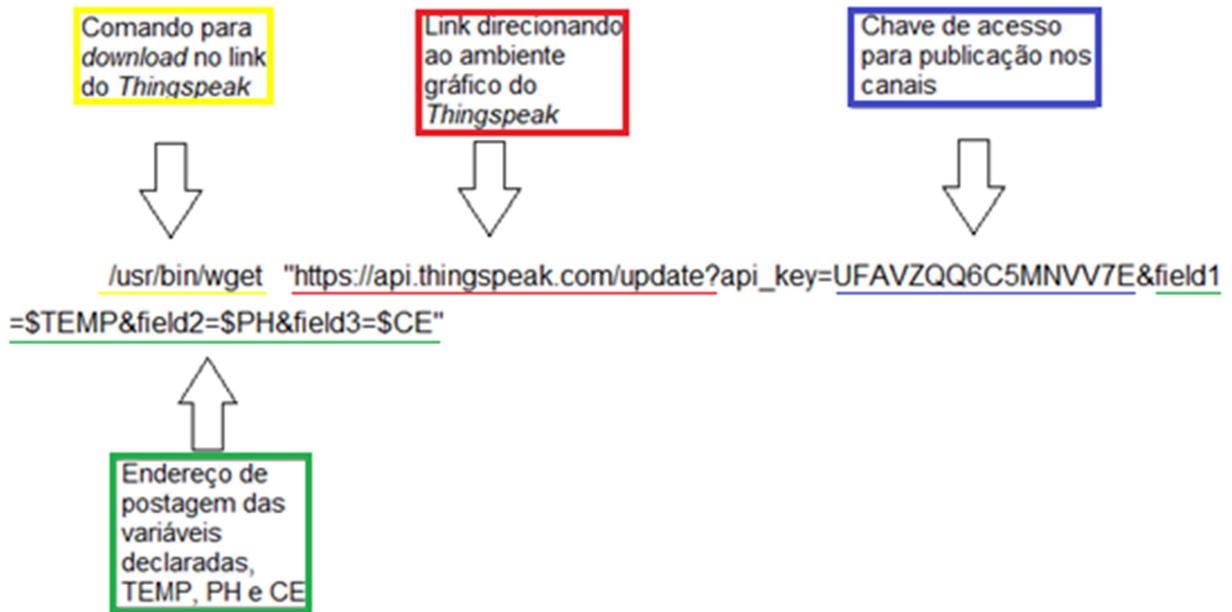
A plataforma *Thingspeak* disponibilizava uma chave de acesso, para que posteriormente esta fosse incluída no *Firmware* desenvolvido no microcontrolador, para reconhecimento de comunicação entre os dispositivos. Além disto, a mesma disponibilizava um *link* para publicação de dados nos campos, conforme a Figura 14.

Figura 14 - *Link* de publicação nos canais



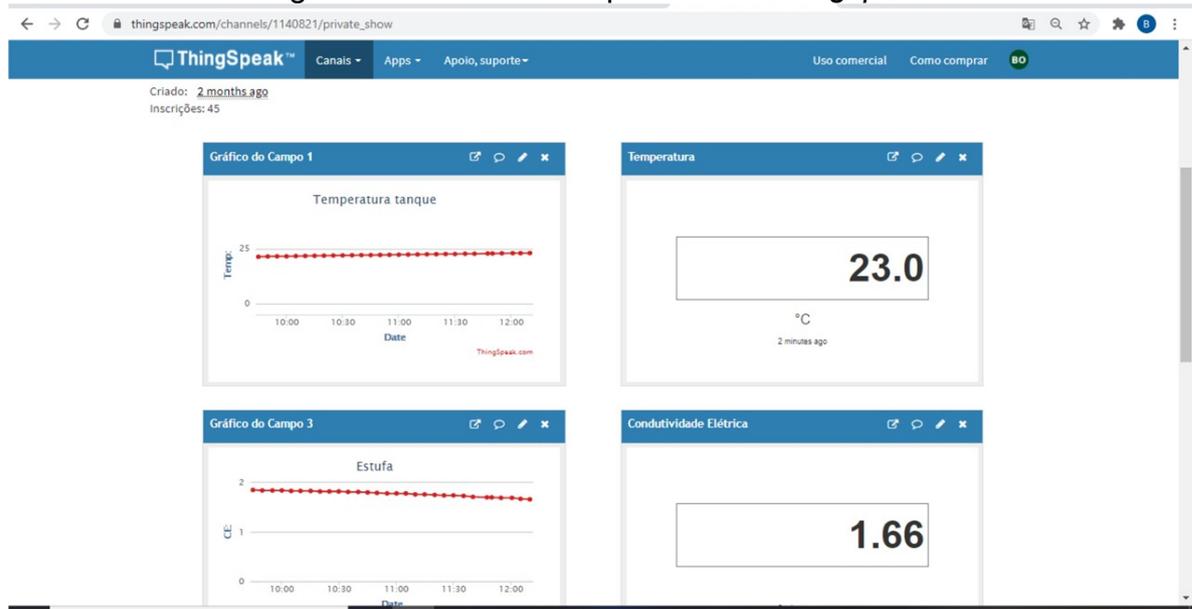
Fonte: O autor.

Com a chave de acesso e o *link* de publicação, abrindo o editor de texto da RPI, onde já estavam declaradas as variáveis TEMP, PH e CE, aplicou-se o comando `wget`, seguido do *link* de publicação do *Thingspeak*, que fez o *download* dos valores inseridos nos campos, como pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 - Publicação no *Thingspeak*

Fonte: O autor.

Desta forma, com o sistema tendo acesso à Internet e publicando em tempo real em um ambiente virtual, visualizou-se o comportamento das grandezas medidas *online*, acessando a interface gráfica do *Thingspeak*, apresentada na Figura 16, de qualquer lugar, bastando apenas conectar-se em uma rede de Internet, com *login* e senha.

Figura 16 - Interface da plataforma *Thingspeak*.

Fonte: O autor.

### 4.3 COLETA DE DADOS

Foram extraídos os dados de temperatura sem o sistema de controle ativo, em um período de 24 horas de medição, iniciando as operações no dia 27/10/2020 no horário da 00:00 horas. De acordo com o desenvolvimento do programa, os envios dos dados ao servidor aconteceram a cada 5 minutos. Assim, o último dado extraído do dia aconteceu às 23:55 horas. Neste primeiro dia, os sistemas de resfriamento e aquecimento não foram ativados, detendo-se apenas ao registro dos dados de temperatura, CE e pH.

A coleta de dados com o sistema de elevação/diminuição de temperatura ativo ocorreu a partir do dia 28 de outubro de 2020, e o sistema passou a atuar apenas durante o funcionamento da circulação de água nas canaletas em que estavam depositadas as mudas. Foi estabelecido um *setpoint* de 20°C e diferencial de ativação do sistema de aquecimento de 4°C, diretamente no *Firmware* da plataforma microcontrolada, visto que esta é uma temperatura média ideal para o cultivo hidropônico. Já para o sistema de resfriamento por pastilhas termoelétricas, a ativação se dava por um *setpoint* de 23°C e diferencial de temperatura de 5°C.

## 5 AVALIAÇÃO DO SISTEMA

Como relatado ao longo do trabalho, o sistema desenvolvido é capaz de realizar o monitoramento de forma *online* das informações referentes ao pH, condutividade elétrica, temperatura em um ambiente hidropônico, além de realizar o controle de temperatura da água que abastece o plantio. Sendo assim, após o desenvolvimento, se fez necessário avaliar o funcionamento do sistema em condições reais de aplicação em uma horta hidropônica.

A avaliação do funcionamento do sistema se deu com a sua instalação em um ambiente de cultivo, realizando o monitoramento das medições realizadas pelos sensores em conjunto com as plataformas microcontroladas por meio do *Thingspeak*. Com o sistema em funcionamento, foram feitas as análises do comportamento da temperatura, do pH e da CE.

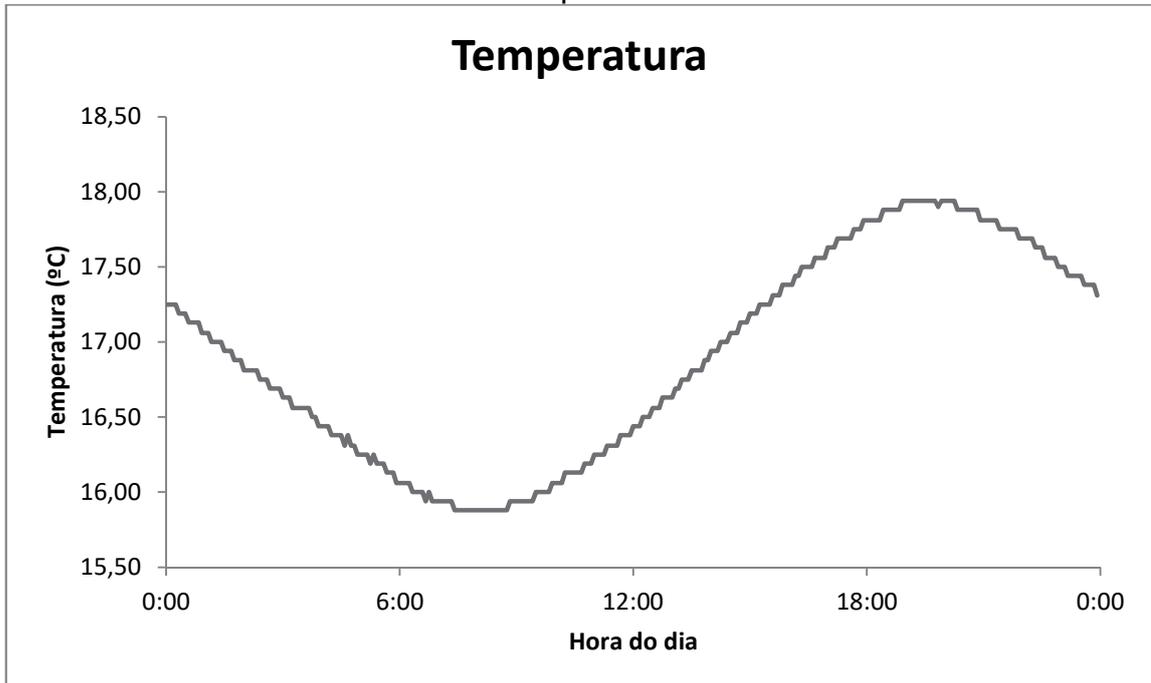
Vale observar que a análise da variação da temperatura se fez em duas etapas, sendo a primeira realizada com o sistema de controle de temperatura desativado, e a outra com o sistema ativo.

Os dados para as análises foram coletados diretamente do servidor conectado na rede local, tendo assim uma alternativa caso em algum momento houvesse perda de conexão com a Internet, permanecendo assim a receber as informações dos sensores.

### 5.1 RESULTADOS

O comportamento dos dados extraídos no dia 27 de outubro de 2020 está apresentado no Gráfico 1, contabilizando 288 medidas de temperatura. Foi possível notar que a temperatura da água no dia 27/10, ao amanhecer, se encontrou ligeiramente abaixo de 16°C, e no final do dia aproximadamente 18°C. Entretanto, de acordo com Teixeira et al. (2006), a temperatura ideal da água para o cultivo hidropônico deve se manter entre 14 e 24°C. Desta maneira, neste dia, a temperatura esteve dentro das condições adequadas para o desenvolvimento satisfatório da hidroponia.

Gráfico 1 - Dados coletados para temperatura sem os sistemas de resfriamento/aquecimento ativos.



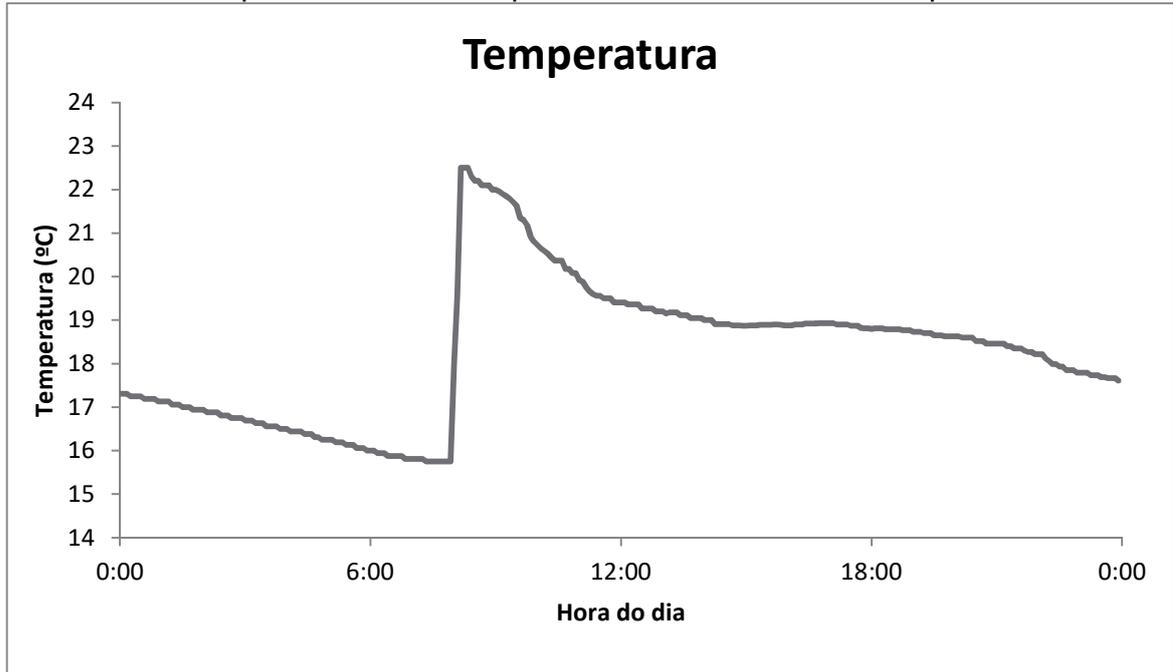
Fonte: O autor.

Podem ocorrer maiores variações no período de inverno, onde a temperatura ambiente na cidade de Cotiporã pode atingir valores menores que 7°C e no período de verão, que ultrapassa facilmente a marca dos 30°C. Como consequência, a temperatura da água também tende a ter essas variações significativas.

No cultivo hidropônico, o sistema de acionamento da bomba para irrigação se dá por um temporizador automático, iniciando o fluxo de nutrientes nas raízes das plantas às 8 horas e se desligando às 18 horas. Desta forma, o controle da temperatura operou nos mesmos horários, pois não houve necessidade de manter o sistema ativo em momentos em que não ocorre a irrigação das raízes, assim, evitando o desperdício de energia elétrica. Em uma situação real, caso houvesse uma queda brusca de temperatura durante a madrugada, por exemplo, não iria interferir no plantio, visto que a água não estaria circulando pelas canaletas onde ficam armazenadas as mudas.

Com o controle de temperatura ativo, aplicando diretamente no programa desenvolvido no ESP8266 um valor de *setpoint* de 20°C e histerese de 4°C, foram extraídos os dados do comportamento da temperatura, analisando 24 horas do dia 28 de outubro, iniciando no horário da meia noite, como pode ser visto no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Comportamento da temperatura com o sistema de aquecimento ativo.



Fonte: O autor.

Percebeu-se que, com acionamento do sistema ocorrendo a partir das 8 horas da manhã e com a condição da temperatura estando abaixo do *setpoint* menos o diferencial de temperatura programado, levou a ligação do sistema de aquecimento, logo no início do dia.

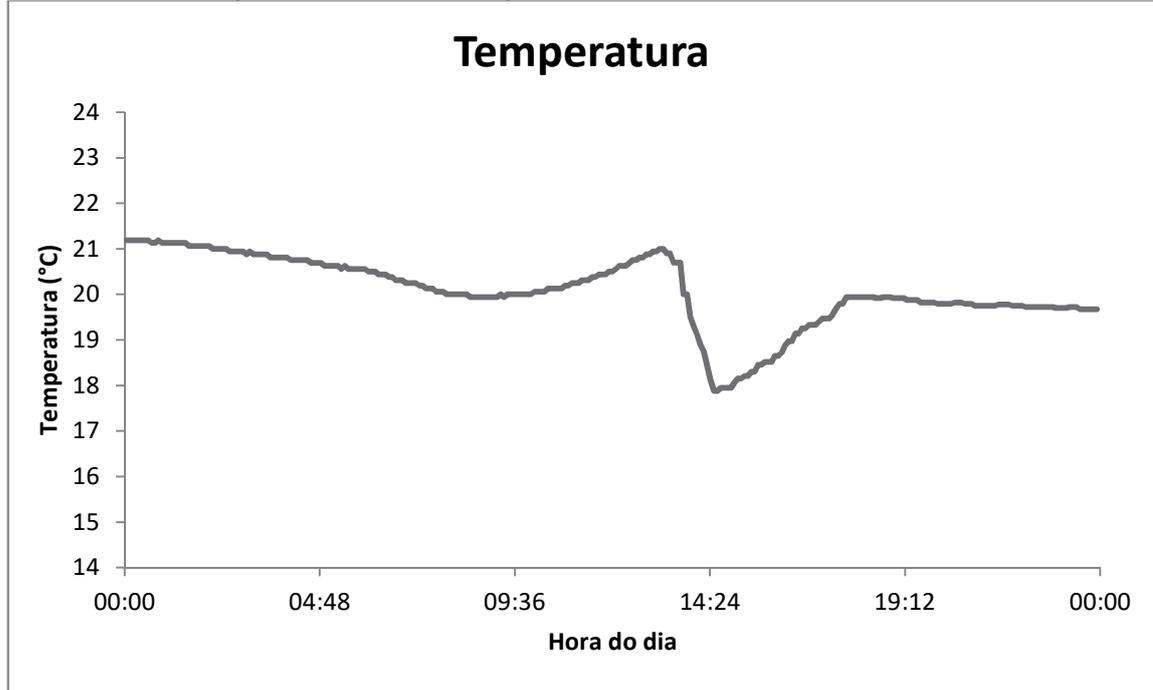
Como o controle de ativação da resistência é *on/off*, é possível de perceber que após atingir o *setpoint* no horário das 8:20 da manhã do dia 28, a temperatura ainda se eleva por aproximadamente 2°C, mas como a faixa entre temperatura mínima e máxima ideal para o cultivo é de aproximadamente 10°C, esta variação não gera prejuízos para o cultivo.

Nota-se que ao atingir o *setpoint*, ocorrendo o desligamento da resistência, a temperatura não reduziu novamente até o valor mínimo programado (*setpoint* menos valor de diferencial de temperatura). Isto ocorreu devido ao fato de no período de monitoramento realizado, a temperatura ambiente ser amena, variando entre mínimas e máximas de 13°C a 28°C.

A lógica para acionamento do resfriamento por módulos de pastilhas termoelétricas, por meio do *Firmware* desenvolvido no ESP8266, se dava por um *setpoint* de 23°C e diferencial de temperatura de 5°C. Porém, durante o período de avaliação do sistema, a água não atingiu o *setpoint*. Sendo assim, buscando

comprovar a eficiência do sistema de resfriamento desenvolvido, alterou-se o *setpoint* para 21°C e diferencial de temperatura de 3°C. Desta forma, no dia 11/11/2020 a temperatura da água ultrapassou o valor programado fazendo com que o sistema de resfriamento atuasse. Através dos dados de temperatura obtidos neste dia, plotou-se o Gráfico 3.

Gráfico 3 - Comportamento da temperatura com o sistema de resfriamento ativo.



Fonte: O autor.

Aproximadamente no horário das 13:10 horas, a temperatura atingiu o *setpoint* estipulado, fazendo assim com que o sistema de refrigeração começasse a atuar. Para atingir o valor de histerese, o sistema ficou ativo aproximadamente por uma hora. O sistema de resfriamento foi eficaz, visto que após o acionamento, a temperatura da água não continuou aumentando, e pelo contrário, diminuiu até atingir o mínimo programado. Após o desligamento, não ocorreu uma nova oportunidade de acionamento das pastilhas.

## 5.2 AVALIAÇÃO DOS DADOS

A fim de avaliar as informações do sistema desenvolvido, foram comparados os dados coletados, com os respectivos medidores digitais comerciais utilizados pelo produtor para realizar as medições manualmente, antes da implantação do sistema.

Para o pH e a temperatura, utilizou-se um Medidor de pH de Bolso AK90 fabricado pela empresa AKSO, do qual as informações técnicas constam na Tabela 2.

Tabela 2 - Informações técnicas AK90

<b>Informações técnicas do Medidor de pH de Bolso AK90</b>		
<b>Informação técnica</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura</b>
Faixa de medição	0 – 14	0°C – 50°C
Resolução	0.1	0.1°C
Exatidão	±0.1	±1°C

Fonte: Endereço eletrônico do fabricante ([www.akso.com.br](http://www.akso.com.br)).

Já para CE, utilizou-se um Medidor de Condutividade Elétrica de Bolso AK52, também fabricado pela AKSO. As informações técnicas deste medidor estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Informações técnicas AK52.

<b>Informações técnicas do Medidor de Condutividade de Bolso AK52</b>	
<b>Informação técnica</b>	<b>pH</b>
Faixa de medição	0 a 3999 $\mu\text{S/cm}$
Resolução	1 $\mu\text{S/cm}$
Exatidão	± 3 $\mu\text{S/cm}$ + 2%

Fonte: Endereço eletrônico do fabricante ([www.akso.com.br](http://www.akso.com.br)).

Para análise dos valores referentes à temperatura, CE e pH, foram realizadas seis medidas esporádicas por dia, durante dois dias, visto que no momento em que foram feitas as coletas, não haviam variações dos valores medidos durante um pequeno espaço de tempo. Logo, foram utilizados estes valores que se mantiveram constantes. Retiraram-se, de maneira aleatória, seis medições para cada dia. A coleta se deu nos dias 21 e 22 de novembro, e os dados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Comparação dos valores medidos manualmente com os extraídos do sistema aplicado.

Data e Hora	Temperatura (°C)		pH		CE (mS/cm)	
	AK90	Sistema	AK90	Sistema	AK52	Sistema
21/11/2020 14:00h	21,4	20,7	7,0	7,1	1,44	1,51
21/11/2020 17:00h	22,0	21,6	7,1	7,0	1,53	1,58
21/11/2020 21:00h	21,7	21,0	6,7	6,7	1,60	1,54
22/11/2020 08:30h	19,5	18,8	6,8	6,7	1,57	1,51
22/11/2020 11:00h	20,3	19,7	7,1	7,1	1,54	1,57
22/11/2020 14:00h	22,1	21,3	7,1	7,2	1,60	1,54

Fonte: O autor.

Nestas condições, considerando os valores retirados, encontrou-se uma diferença percentual de 2 a 4% entre as medidas de temperatura, de 0 a 1,5% nas medidas de pH e para CE de 1 a 4,5%. As medidas estiveram dentro das faixas aceitáveis, considerando as precisões de medições dos sensores e dos medidores de bolso.

## 6 CONCLUSÃO

O IOT vem sendo amplamente implantado em diversos campos de pesquisa, e desta maneira também proporciona benefícios a aplicações voltadas à agricultura. Dentre as vantagens, tal segmento facilita o controle sobre variáveis que necessitem de monitoramento e cuidados para o seu desenvolvimento, aplicando recursos com custo e benefícios favoráveis ao produtor. Entre estas aplicações, está o cultivo hidropônico em ambientes protegidos.

O cultivo hidropônico, apesar de ser uma maneira de cultivo prática por estar aplicado em ambientes fechados, assim estando livres de pragas, necessita de controle e monitoramento rigoroso dos nutrientes essenciais para o desenvolvimento da plantação por meio da água. Para isto, a aplicação de um sistema capaz de auxiliar nestes aspectos, é benéfica ao produtor, fazendo com que o mesmo tenha o conhecimento e o comando do comportamento das variáveis referente ao desenvolvimento do cultivo.

Diante deste contexto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema capaz de monitorar de forma *online* as grandezas de pH, temperatura e CE do reservatório de água, onde se encontra os nutrientes de uma plantação hidropônica. Além disto, propôs-se uma alternativa para controlar a temperatura da água e armazenar os dados em um servidor local para a análise dos mesmos.

A aplicação das plataformas microcontroladas ESP8266 NodeMCU, operaram de maneira satisfatória na conexão com o *broker* aplicado na RPI, ambos conectados na rede local, desempenhando o seu papel de forma esperada, garantindo a entrega e o armazenamento dos dados, visto que os dados foram retidos para todos os horários do dia, em todo período de teste.

Como visto nos resultados, o sistema respondeu de forma desejada ao controle de temperatura, fazendo com que a mesma se mantivesse dentro da faixa ideal para o cultivo. De mesma forma, o sistema apresentou leituras satisfatórias e confiáveis sobre os dados referente a temperatura, pH e condutividade elétrica. Quando comparadas leituras manuais e leituras do sistema, as medidas estiveram dentro das faixas aceitáveis, considerando a precisão dos equipamentos e seus erros.

A aplicação da RPI foi ideal para a execução do *broker* e servidor local, possibilitando o tratamento dos dados recebidos de forma desejada, e os

retransmitindo para a plataforma de monitoramento *online Thingspeak*.

O *Thingspeak*, além de ser uma plataforma gratuita, foi fundamental para a apresentação dos dados em tempo real, apresentando-os de forma intuitiva e de fácil compreensão, através de gráficos e mostradores digitais, assim promovendo o controle sobre as principais variáveis para o crescimento da plantação, e diminuindo tempo e deslocamento do produtor para conferência destes dados de forma manual.

Considerando que a temperatura pode elevar mais que o valor limite para um cultivo ideal, o sistema proposto é capaz de atuar através do acionamento das pastilhas, refrigerando a água da estufa, conforme foi visto na avaliação ocorrida no dia 11 de novembro.

Em contraponto, considerando a situação oposta, na qual a temperatura atingiu o ponto mínimo para um cultivo desejado, o sistema de elevação da temperatura por meio de uma resistência mostrou-se satisfatório, de acordo com o observado na análise que se transcorreu no dia 28 de outubro.

Referente ao pH e a condutividade elétrica da água, não se realizou controle sobre as mesmas, pois para mantê-las em valores ideais para o cultivo, é necessário a mistura manual de diferentes tipos de nutrientes e uma automatização para isto, inviabilizaria financeiramente o projeto, apenas é realizado o monitoramento online destas informações através da plataforma *Thingspeak*.

Mesmo tendo um diferencial de 10°C entre temperatura mínima e máxima, compreendendo uma faixa de 14°C a 24°C, ideal para o cultivo hidropônico, pode-se implementar em um estudo futuro o controle da mesma de forma PID, a fim de manter um valor de temperatura estável.

Como outras alternativas para a continuação do estudo, têm-se a implantação de uma automatização para adubação, através de um sistema de células de carga. Além disso, poderia ser desenvolvida uma interface para acesso no local de plantio, a fim de verificar os dados obtidos pelo sistema, bem como a alteração instantânea de parâmetros como *setpoint* e diferencial de temperatura para acionamento dos sistemas de refrigeração e aquecimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHARYA, Chaitra; KUZHALVAIMOZHI, S. Irrigação e Plataforma In. Int. Res. J. Eng. Technol. (IRJET), v. 3, p. 1643-1646, 2016.

BARON, Luiz Carlos et al. Avaliação da viabilidade técnica de dispositivos de baixo custo para automação de um sistema hidropônico NFT. 2019.

COSTA, Juliana S.; JUNQUEIRA, Ana Maria R. Diagnóstico do cultivo hidropônico de hortaliças na região do Distrito Federal. *Horticultura brasileira*, p. 49-52, 2000.

DA CONCEIÇÃO, Wellington Nogueira Elizeu; COSTA, Romualdo Monteiro de Resende. Análise do Protocolo MQTT para Comunicação IoT através de um Cenário de Comunicação. **Caderno de Estudos em Sistemas de Informação**, v. 5, n. 2, 2019.

ROSA, Rafael Pedroso da. Dispositivos IoT aplicáveis à agricultura intensiva e os resultados já alcançados. **Datacenter: projeto, operação e serviços-Unisul Virtual**, 2017.

LOUREIRO, Joao Paulo Borges de et al. Comparação sobre a viabilidade econômica de sistemas de produção de hortaliças hidropônicas com diferentes níveis de tecnologia, nos municípios de Concórdia do Pará e Tomé-Açu-PA. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 24607-24621, 2019.

SANTOS, Izaias Batista dos et al. Projeto e implementação de um gateway de internet das coisas (IoT) para otimização e monitoramento de processos do agronegócio. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 344-369, 2020.

DOUGLAS, James Sholto. Hidroponia: cultura sem terra. NBL Editora, 2001.

FERNANDES, Adriano Alves, et al. Produtividade, acúmulo de nitrato e estado nutricional de cultivares de alface, em hidroponia, em função de fontes de nutrientes. **Horticultura brasileira**, p. 195-200, 2002

FONSECA, Maira CM et al. Tamponamento do pH da solução nutritiva na hidroponia de plantas ornamentais. **Ornamental Horticulture**, v. 11, n. 2, 2005.

FIRMANSYAH, Rifqy. et al. The prototype of infant incubator monitoring system based on the Internet of things using NodeMCU ESP8266. **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2019.

HELBEL JUNIOR, Celso, et al. Influência da condutividade elétrica, concentração iônica e vazão de soluções nutritivas na produção de alface hidropônica. **Ciência e Agrotecnologia**, p. 1142-1147, 2008.

LEITE, José Roberto Emiliano et al. A Internet das Coisas (IoT): Tecnologias e Aplicações. Dezembro, 2017.

LUGARINI, Diogo; KOYASHIKI, Lucas Kenji Matsunaga. Sistema de aquisição de consumo de energia microcontrolado com acesso remoto via web baseado no Raspberry PI. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MARQUES, Gonçalo; RUI, Pitarma. Agricultural environment monitoring system using wireless sensor networks and IoT. **Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)**. IEEE, 2018.

MATHWORKS. MathWorks. 2020. Disponível em:  
<<https://www.mathworks.com/help/thingspeak/>> Acesso em: 16 de maio 2020.

MEDINA, Bruno Eduardo et al. Internet das coisas em edifícios inteligentes: desenvolvimento de uma rede de sensores e atuadores sem fio para o controle de sistemas de climatização, 2017.

MELO, Rodrigo Cassiano da Silva et al. Sistema de monitoramento de consumo de água utilizando o protocolo de comunicação MQTT. 2018.

NAKHUVA, Bhumi; CHAMPANERIA, Tushar. Estudo de várias plataformas de internet das coisas. **Pesquisa do International Journal of Computer Science & Engineering**, v. 6, n. 6, pág. 61-74, 2015.

VELOSO, Artur et al. Implementação de um controle em Real-Time para Sistemas Hidroponicos NFT e aquaponia utilizando Broker MQTT e tecnologias de IoT. In: **Anais [...]**. SBC, 2018. p. 32-37.

PEREIRA, Danilo Nascimento de Oliveira. Smart Estufa-monitoramento e integração com IoT na estufa hidropônica da Universidade Federal Fluminense-Campus Praia Vermelha, 2019.

TEIXEIRA, Liliane De Diana et al. Efeito da temperatura no crescimento micelial e patogenicidade de *Pythium* spp. que ocorrem em alface hidropônica. **Summa Phytopathologica**, v. 32, n. 3, p. 221-226, 2006.