



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI – UNIVATES

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

**SISTEMA DE MONITORAMENTO AUTOMATIZADO PARA  
CONTROLE DE QUALIDADE DE ÁGUA EM SISTEMA AQUAPÔNICO**

Alessandro Antonioli

Lajeado, junho de 2019

ALESSANDRO ANTONIOLLI

**SISTEMA DE MONITORAMENTO AUTOMATIZADO PARA  
CONTROLE DE QUALIDADE DE ÁGUA EM SISTEMA AQUAPÔNICO**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia da Computação, da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação.

Orientador: Prof. Ms. Edson Moacir Ahlert

Lajeado, junho de 2019

*“As pessoas que são loucas o suficiente para achar que podem mudar o mundo são aquelas que o mudam”*

*Steve Jobs*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha mãe Vilma, a todo seu apoio, compreensão e educação.

Ao meu pai Daniel por toda a ajuda que me ofereceu neste longo caminho.

A minha namorada Regina por estar sempre me incentivando nas minhas ideias, por tudo que me ajudou e pelo o que passou ao meu lado sempre me apoiando e me ajudando em tudo que podia.

A minha família e todos amigos que me ajudaram diretamente ou indiretamente em todo o período do desenvolvimento de trabalho.

A todos os professores que durante toda graduação, colaboraram com ideias me incentivando a fazer o melhor possível. Em especial ao orientador Edson Moacir Ahlert por ter acreditado em mim e na minha ideia, colaborado no desenvolvimento deste trabalho.

## RESUMO

Aquaponia é um sistema de cultivo sustentável de peixes e plantas que tem crescido exponencialmente nos últimos anos, onde, com a união da Aquicultura e a Hidroponia em um sistema cíclico integrado, são gerados benefícios em ambos os cultivos, economizando água e eliminando químicos. Contudo, apesar de promissor, há certa resistência com o método, por possuir uma alta sensibilidade aos parâmetros biológicos que a envolvem e, concomitantemente, pela falta de tecnologia que auxilie no desenvolvimento e controle do sistema. Evidenciando a água como elemento chave na aquaponia, foram tratadas tecnologias capazes de monitorar e automatizar os processos para manter o ecossistema em condições ideais. Assim, este projeto realizou o estudo e a elaboração de um sistema automatizado para monitoramento e controle dos parâmetros físicos e químicos presentes na água em sistemas aquapônicos. Por meio da avaliação do sistema, coleta e análise de dados, constatou-se que o sistema obteve uma boa estabilidade, considerando o controle automatizado como fator importante para o um bom funcionamento do mesmo. Os dispositivos e tecnologias empregadas não apresentaram erros graves nem travamentos, mesmo submetidos a intempéries. Os parâmetros coletados foram precisos e demonstram o sucesso da implantação de um sistema controlado automaticamente. Tendo em vista que é um projeto que resulta em mais segurança para os organismos presentes na água, demanda menor esforço manual e oferece dados precisos e importantes para um sistema sadio, fica comprovada a viabilidade desse projeto em um panorama técnico, econômico e operacional.

**Palavras-chave:** Aquaponia, Automação agroindustrial, Internet das coisas.

## **ABSTRACT**

Aquaponics is a system of sustainable fish and plant cultivation that has grown exponentially in recent years, with the combination of Aquaculture and Hydroponics in an integrated cyclical system, benefits are generated in both crops, saving water and eliminating chemicals. However, although promising, there is some resistance with the method, because it has a high sensitivity to the biological parameters that involve it and, at the same time, the lack of technology that assists in the development and control of the system. By considering water as a key element in aquaponics, it was treated about technologies capable of monitoring and automating processes to maintain the ecosystem in ideal conditions. Thus, this project did the study and the elaboration of an automated system for monitoring and control the physical and chemical parameters present in the water in aquaponic systems. Through the evaluation of the system, data collection and analysis, it was verified that the system obtained a good stability, considering the automated control as an important factor for the proper functioning of the system. The devices and technologies used did not present serious errors or crashes, even when subjected to bad weather conditions. The collected parameters were accurate and demonstrate the successful implementation of an automatically controlled system. Considering that it is a project that results in more safety for the organisms present in water, it demands less manual effort and offers accurate and important data for a sound system, it is proven feasibility of this project in a technical, economic and operational panorama.

**Keywords:** Aquaponics, Agro-industrial automation, Internet of things.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Retenção e excreção de fósforo e nitrogênio através da alimentação dos peixes.....	20
Figura 2 – Exemplo de sistema hidropônico .....	21
Figura 3 – Sistema básico de aquaponia .....	24
Figura 4 – Ciclo biológico no sistema aquapônico .....	25
Figura 5 – Tabela pH para sistema aquapônico.....	28
Figura 6 – Técnica aquapônica Nutrient Film Technique (NFT).....	31
Figura 7 – Técnica aquapônica Media-filled bed.....	32
Figura 8 – Técnica aquapônica Deep Water Culture Technique (DWC).....	33
Figura 9 – As quatro diferentes revoluções industriais.....	36
Figura 10 – Indústria 4.0 na agricultura.....	37
Figura 11 – Ranking linguagens de programação TIOBE .....	39
Figura 12 – O princípio de funcionamento do Protocolo MQTT .....	41
Figura 13 – Exemplo de dashboard do Ubidots .....	42
Figura 14 – NodeMCU ESP8266 ESP-12E e suas especificidades.....	43
Figura 15 – Arduino UNO e suas especificidades.....	45
Figura 16 – Projeto em 3D do sistema aquapônico.....	51
Figura 17 – Sistema aquapônico em construção .....	53
Figura 18 – Sistema aquapônico em funcionamento .....	54
Figura 19 – Arquitetura do sistema proposto .....	56
Figura 20 – Estrutura da aplicação centralizadora do projeto .....	57
Figura 21 – Interface de acesso no modo automático de operação.....	58
Figura 22 – Modo manual de operação.....	59
Figura 23 – Mapa mental da Aplicação Gerenciadora .....	62

Figura 24 – Ligação entre os dois dispositivos via Protocolo I2C.....	63
Figura 25 – Sensor pHmetro PH0-14 .....	65
Figura 26 – Código para obter o pH da água .....	66
Figura 27 – Comportamento de reflexão das ondas transmitidas pelo sensor ultrassônico .....	68
Figura 28 – Sensor de nível de água em funcionamento .....	69
Figura 29 – Sensor de fluxo de água, modelo YF-S201.....	70
Figura 30 – Características da faixa de vazão e parâmetros técnicos do sensor de fluxo YF-S201.....	71
Figura 31 – Relação entre turbidez e voltagem.....	72
Figura 32 – Esquema de ligação para controle da água .....	73
Figura 33 – Envio de dados (PUBLISH) para aplicação centralizadora. ....	75
Figura 34 – Controle da temperatura em uma semana.....	78
Figura 35 – Teste alerta aplicação centralizadora.....	79
Figura 36 – Simulação de alertas faixa de segurança da temperatura .....	80
Figura 37 – Precisão do sensor de pH .....	81
Figura 38 – Redução do pH em uma semana.....	81
Figura 39 – Gráfico do fluxo da água acionado pelo timer .....	82
Figura 40 – Evolução das plantas durante período de teste .....	83
Figura 41 – Evolução das camas de cultivo durante período de teste .....	83
Figura 42 – Evolução aproximada dos peixes durante período de teste.....	84

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Faixa de tolerância e valor ideal para os parâmetros de qualidade da água no sistema aquapônico.....	30
Quadro 2 – Significado da terminologia do I2C .....	40
Quadro 3 – Faixa de segurança dos parâmetros para emissão de alertas .....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API:	<i>Application Programming Interface</i>
ARM:	<i>Advanced RISC Machine</i>
CE:	<i>Condutividade Elétrica</i>
FAO:	<i>Food and Agriculture Organization</i>
GHz:	<i>Giga Hertz</i>
HDMI:	<i>High Definition Multimedia Interface</i>
HTML:	<i>HyperText Markup Language</i>
HTTP:	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
I/O:	<i>Input / Output</i>
ICs:	<i>Integrated Circuits</i>
IoT:	<i>Internet of Things</i>
IP:	<i>Internet Protocol</i>
JSON:	<i>JavaScript Object Notation</i>
LPDDR:	<i>Low Power Double Data Rate</i>
M2M:	<i>Machine to Machine</i>

MHz:	<i>Mega Hertz</i>
MQTT:	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
OD:	<i>Oxigênio Dissolvido</i>
ONU:	<i>Organização das Nações Unidas</i>
Op-Amps:	<i>Operational Amplifier</i>
pH:	<i>Potencial Hidrogeniônico</i>
ppm:	<i>Partes por milhão</i>
PSI:	<i>Pound Force Per Square Inch</i>
RAM:	<i>Random-Access Memory</i>
REST:	<i>Representational State Transfer</i>
TCP:	<i>Transmission Control Protocol</i>
TICs:	<i>Tecnologias da Informação e Comunicação</i>
TSS:	<i>Totais de Sólidos Suspensos</i>
UNT:	<i>Unidade Nefelométrica de Turbidez</i>
USB:	<i>Universal Serial Bus</i>
VCC:	<i>Voltagem em Corrente Contínua</i>
μS/cm:	<i>Microsiemens por segundo</i>

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Definição do Problema.....	15
1.2	Objetivos.....	15
1.2.1	Objetivo Geral.....	15
1.2.2	Objetivos Específicos.....	16
1.3	Justificativa.....	16
1.4	Organização do Trabalho.....	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1	Aquicultura.....	19
2.2	Hidroponia.....	21
2.3	Aquaponia.....	22
2.3.1	Tipos de Sistemas.....	31
2.4	Automação.....	33
2.4.1	IoT.....	34
2.4.2	Indústria 4.0.....	35
2.4.3	Automação na Aquaponia.....	37
2.4.4	Linguagem de Programação C.....	38
2.4.5	Protocolo I2C.....	39
2.4.6	Protocolo MQTT.....	40
2.4.7	Ubidots.....	42
2.4.8	NodeMCU.....	43
2.4.9	Arduino.....	44
2.4.10	Sensores.....	46
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	48

3.1	Coleta de dados .....	49
3.2	Análise dos dados .....	49
4	DESENVOLVIMENTO .....	50
4.1	Projeto do Sistema Aquapônico .....	50
4.2	Execução do Sistema Aquapônico.....	52
4.3	Aplicações do Projeto.....	55
4.3.1	Aplicação Centralizadora .....	56
4.3.2	Aplicação Gerenciadora .....	60
4.3.2.1	Sensor de Temperatura .....	64
4.3.2.2	Sensor de pH .....	64
4.3.2.3	Sensor de Nível.....	67
4.3.2.4	Sensor de Fluxo de Água.....	69
4.3.2.5	Sensor de Turbidez.....	72
4.3.2.6	Controle do Sistema.....	73
4.3.2.7	Interação com a Aplicação Centralizadora.....	74
5	RESULTADOS .....	77
6	CONCLUSÕES.....	85

## 1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a água é um recurso essencial para a vida e para que a sua escassez seja evitada no futuro são necessárias medidas garantindo economia e soluções mitigadoras de impactos. Mais de 70% da água tratada é utilizada na agricultura, e a maior problemática é o desperdício de quase metade dessa (FAO, 2018).

A exploração de recursos naturais é um dos principais tipos de impactos ambientais ocasionados pelo homem. O meio ambiente domesticado, que envolve as áreas agrícolas, onde o homem modifica o meio ambiente natural, é um desses exemplos (SANTOS, 1997). Na agricultura explora-se o meio ambiente natural e é utilizada grande parte da água potável do planeta, componente essencial para a vida.

Para que os impactos ambientais sejam atenuados, faz-se necessário pensar em tecnologias alternativas de baixo impacto, principalmente no setor da produção alimentícia e seus sobre métodos, que implicam em mudanças climáticas, poluição da água e solos, desmatamento, geração de resíduos, além do risco para a saúde humana na utilização de agrotóxicos e fertilizantes químicos, podendo causar infecções agudas e crônicas.

Uma das alternativas sustentáveis para atenuar esses problemas é a aquaponia, sistema que integra a aquicultura (produção de peixes em ambiente controlado) e a hidroponia (cultivo de plantas em meio aquoso), beneficiando ambos métodos de produção, sendo que os vegetais utilizam os dejetos dos peixes para seu desenvolvimento, limpando a água e reciclando-a. Assim, é gerado 90% de economia

da água se comparada à agricultura convencional, além da aquaponia possuir alto aproveitamento de resíduos e dispensar o uso de adubos e agrotóxicos (OLIVEIRA, 2016).

Ainda segundo Oliveira (2016), diferentemente de um sistema hidropônico, por exemplo, a água não precisa ser trocada na aquaponia, apenas reabastecida quando evaporada, ou seja, volta para a natureza limpa, sem poluição e componentes tóxicos. Assim sendo, em um sistema aquapônico, são reduzidos dois tipos de impactos ambientais, o desperdício da água e o uso de produtos químicos.

A aquaponia é um modo sustentável da produção de alimentos, promovendo muitos benefícios para todo ecossistema de forma holística, embora seja ainda limitada no Brasil por depender de energia elétrica, mão de obra qualificada e conhecimentos técnicos, além da tecnologia ser pouco explorada (HERBERT; HERBERTATT, 2008).

Um dos grandes problemas que surgem na Aquaponia é a quantidade de dados que precisam ser analisados e manipulados para manter o sistema adequado e otimizar os resultados. O desperdício que é obtido do ambiente de aquicultura por exemplo, precisa ser decomposto principalmente em seus nutrientes básicos antes que possa ser utilizado pelo ambiente hidropônico.

Para isso, vários fatores ambientais tais como temperatura do ar, temperatura da água, nível de oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH e outras variáveis como nível de água, fluxo de água etc., também precisam ser monitorados e qualquer mudança em qualquer destas variáveis requer intervenção no ambiente. Isso se torna uma tarefa árdua para qualquer pessoa gerenciar constantemente (NICHANI, *et al.*, 2017).

A fim de amplificar as vantagens e atenuar as limitações, um sistema automatizado pode diminuir o trabalho humano, auxiliar na manutenção eficiente dos fatores biológicos envolvidos e tornar a aquaponia um sistema mais eficiente, com maior qualidade, reduzindo os custos e aumentando a produtividade (TACHIKAWA, 2008).

Por meio da automação, há um controle e monitoramento que otimiza o uso de insumos, capital e tempo, ampliando a capacidade de produção nos processos, reduzindo perdas na produção, melhorando a qualidade de vida de quem trabalha na área, bem como dos consumidores, que terão acesso a alimentos mais seguros e saudáveis (EMBRAPA, 2018).

## **1.1 Definição do Problema**

Diante do exposto, o trabalho pretende responder à seguinte pergunta: De que forma a automação dos processos de monitoramento contribuem para auxiliar na otimização de um sistema aquapônico, especificamente aumentando a qualidade dos parâmetros presentes na água, de forma economicamente viável, onde os benefícios em ambos os cultivos (peixes e plantas) sejam ainda mais relevantes, podendo assim produzir em grande escala e gerar alimentos de maior qualidade aos consumidores?

## **1.2 Objetivos**

A seguir serão apresentados os objetivos geral e específicos do estudo.

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de monitoramento para a aquaponia, para que dessa forma obtenha-se controles automatizados sobre a água, sua qualidade, parâmetros ideais de temperatura, pH, fluxo, oxigenação, turbidez da mesma e nível da água no tanque, conseqüentemente maximizando a escala de produção, gerando condições para produção de alimentos de maior qualidade e contribuindo para o desenvolvimento tecnológico na área da agricultura e aquicultura.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Além do objetivo geral, podem ser postulados também alguns objetivos específicos, que contribuem para apontar caminhos que foram percorridos ao longo do trabalho:

- Estudar temas na área da Aquaponia, a fim de conhecer as problemáticas e busca de soluções;
- Estudar a área da automação e possibilidades desse campo no sistema aquapônico;
- Visualizar os parâmetros da água por meio de um painel web, com atualizações em tempo real;
- Implantar o sistema automatizado, monitorar e analisar os resultados.

### 1.3 Justificativa

Uma vez que a aquaponia reutiliza água e nutrientes, ela possui serventia no auxílio da atenuação de diversos problemas mundiais sócio ecológicos, como a escassez de água, a sobrepesca, o uso abusivo de agrotóxicos e utilização de recursos não-renováveis. Segundo a Revista Galileu (2018), o Brasil é líder mundial consumidor de agrotóxicos por dez anos consecutivos.

Através de evidências científicas, há uma infinidade de riscos para a saúde humana na ingestão de alimentos com agrotóxicos, podendo causar infecções crônicas e agudas nos seres humanos (ABRASCO, 2015). Para contribuir na resolução desses problemas, faz-se necessário a utilização de tecnologias alternativas na produção agrícola. O cultivo aquapônico é uma alternativa que possui baixo impacto para o meio ambiente, animais e seres humanos (SANTOS, 2002).

O reúso cíclico da água e a produção limpa de peixes e plantas elege a aquaponia como um sistema sustentável. No entanto, a aquaponia enfrenta desafios

por possuir uma complexidade de aspectos técnicos que a envolvem. Concernente à eficiência e produtividade do sistema, é imprescindível que a água, componente fundamental para todos os organismos vivos (peixes, bactérias e plantas) seja compensada com características específicas como: estabilização do pH, entrada eficiente de nutrientes, gestão da temperatura, condutividade elétrica, dentre outros (GODDEK *et al.*, 2015).

Monitorar esses parâmetros continuamente é uma tarefa árdua para o ser humano. Ainda segundo Goddek *et al.*, (2015) para que o sistema aquapônico seja fácil de manejar e economicamente viável, é relevante o uso de tecnologias de controle, as quais requerem conhecimentos do campo da ciência da computação para implantação de sistemas de automação, fazendo com que o custo-benefício e as capacidades técnicas do sistema aquapônico sejam ideais.

A automação do sistema irá monitorar e controlar os parâmetros envolvidos, proporcionando alimentos mais seguros e saudáveis para o consumidor. Gerando facilidade no manuseio e na produção por meio da automação, pode haver um maior incentivo e maiores investimentos na aquaponia, com foco à escala de produção.

#### **1.4 Organização do Trabalho**

Este trabalho está dividido em capítulos, cada um deles contempla uma parte importante para melhor compreensão do trabalho como um todo. No Capítulo 2 são apresentados conceitos importantes sobre os assuntos pertinentes que serviram de base para este trabalho, sendo estes conceitos sobre a técnica de aquaponia e a automação em geral.

No Capítulo 3, são apresentados os procedimentos metodológicos do trabalho, como será efetuada coleta e análise de dados. No Capítulo 4 é apresentado o desenvolvimento do sistema proposto, incluindo a implementação da aplicação centralizadora e aplicação gerenciadora, e ainda pontuado sobre as técnicas de hardwares e softwares propostas para este trabalho. No Capítulo 5 são apresentados

os resultados obtidos na conclusão do trabalho e por fim, no Capítulo 6 esclarece as conclusões e ideias de trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta parte é apresentada a revisão de literatura que detalha os principais conceitos pertinentes à compreensão da temática e suas relações, relacionando a aquaponia e possibilidades de automatização.

### 2.1 Aquicultura

Nomeia-se aquicultura a criação de organismos aquáticos em ambiente controlado ou semicontrolado. Diversas atividades são desenvolvidas dentro da aquicultura, destacando-se entre elas: piscicultura (produção de peixes), ranicultura (produção de rãs), malacocultura (criação de moluscos), carcinicultura (criação de camarões), quelonicultura (criação de quelônios), bem como o cultivo de plantas aquáticas. Representando fonte alimentar e fonte de renda para a população, ela é tida como uma alternativa de sustento para o ser humano, garantindo alimentos de qualidade (DIAS; MARIANO, 2015).

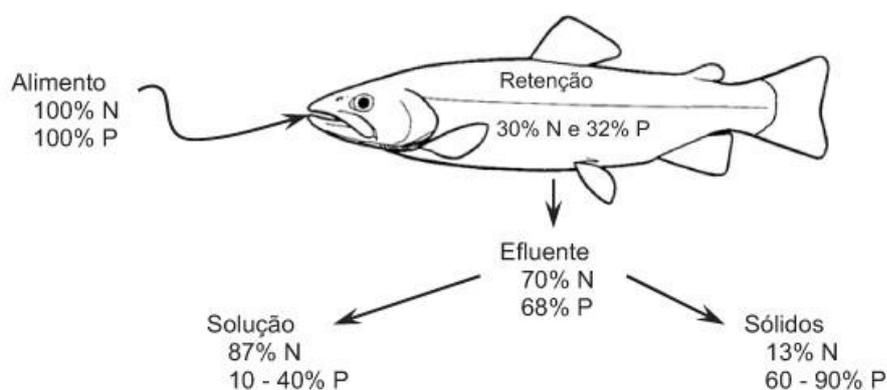
Segundo Siqueira (2017), apesar de muito significativa na atualidade, por ampliar a produção de alimentos no mundo e ter a sustentabilidade como destaque, a aquicultura é uma prática antiga, com origens no Egito e China, onde através da piscicultura eram criadas espécies como tilápia e carpa. Em regiões subdesenvolvidas é aliada na geração de empregos e renda, por possuir baixo custo, alta produtividade e tecnologia acessível. No Brasil, essa atividade vem crescendo através de agências de fomento e investimento em pesquisas na área (SIQUEIRA, 2017).

Segundo a FAO (2018), a aquicultura ultrapassou produção da pesca desde 1990 e atualmente é responsável pela metade da comercialização global de peixe, porém, há desafios nessa atividade. Em conformidade com o livro *Impacts on climate change on fisheries and aquaculture* (FAO, 2018), as alterações climáticas que estão ocorrendo atualmente provocam mudanças físicas, por exemplo, na temperatura e pH da água, impactando negativamente na aquicultura.

Ademais, a aquicultura depende de aporte de nutrientes para os animais, os quais produzem efluentes e resíduos através dos processos naturais de sobrevivência, gerando impactos negativos para o sistema e para o ambiente. Estes poluentes devem ser removidos através da troca periódica de água, além de ter que fazer um manejo ambiental para que o sistema consiga obter êxito. Isso se deve ao fato de impactarem no sistema de criação, podendo diminuir o oxigênio dissolvido através de aumento de matéria orgânica e concentrações de fósforo e nitrogênio, causando impactos externos, onde há a descarga dos efluentes (HENRY-SILVA; CAMARGO, 2006).

Figura 1 são apresentadas as taxas de excreção de retenção de fósforo e nitrogênio ingeridos pelos peixes através da alimentação.

Figura 1 – Retenção e excreção de fósforo e nitrogênio através da alimentação dos peixes



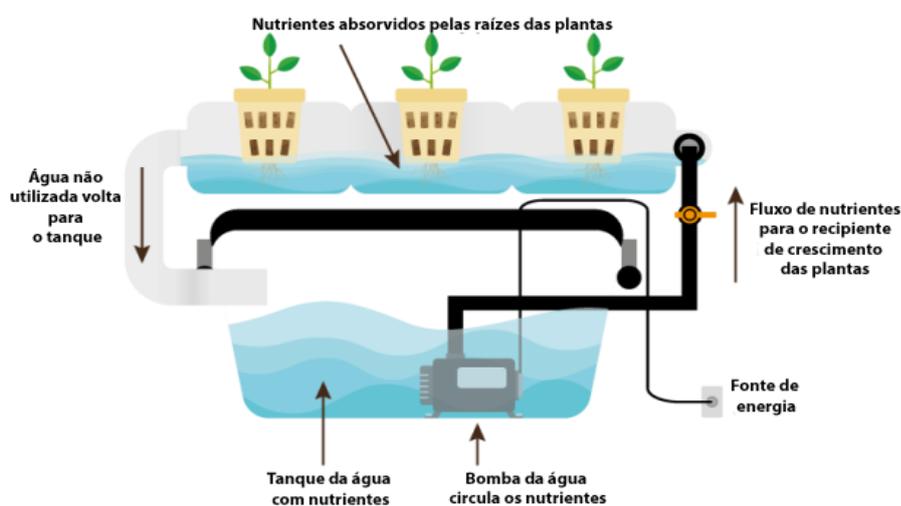
Fonte: Ramseyer e Garling (2014).

## 2.2 Hidroponia

A hidroponia conceitua-se na produção agrícola sem o uso do solo, através de soluções que provém os nutrientes necessários para o sustento e o desenvolvimento das plantas (SANTOS, 2000). Basicamente é necessário um reservatório para armazenamento da água com os elementos minerais essenciais para o crescimento das plantas, cujas raízes ficam imersas na solução absorvendo os nutrientes presentes na água.

A solução nutritiva presente no reservatório, através de uma bomba de água, é circulada até o recipiente de crescimento das plantas, onde os nutrientes são absorvidos pelas raízes das plantas e a água não utilizada volta para o recipiente, conforme Figura 2.

Figura 2 – Exemplo de sistema hidropônico



Fonte: Do autor, adaptado de Toclan Agritrade (2018).

Segundo Santos (2002), os produtos provenientes do cultivo hidropônico possuem alto padrão de qualidade se comparado aos cultivados em solo, praticamente dispensando o uso de agrotóxicos, pois normalmente o cultivo é feito em ambientes controlados e não fica em contato com o solo, diminuindo a presença de ervas daninhas e pragas. Outras vantagens da hidroponia, ao ser comparada com o cultivo tradicional em solo, são: menor consumo de água; taxa de produtividade até 50% maior, pois utiliza um espaço menor de cultivo, sendo que a produção pode ser realizada o ano inteiro, independente da estação do ano; ademais, os vegetais são colhidos com a raiz limpa.

Apesar da hidroponia possuir um número grande de vantagens, Neto e Barreto (2012) salientam que ela possui algumas desvantagens, entre elas a dependência de energia elétrica e um possível problema com o aglomeramento de nitrato nas plantas, pelo fato da solução nutritiva por vezes não estar devidamente equilibrada, e possuir um grande número de impurezas, as quais podem ocasionar uma nutrição deficiente para os vegetais, possuindo carga elevada de compostos químicos, oriundos da solução nutritiva artificial.

Combinando o sistema hidropônico com a aquicultura, originou-se a aquaponia, onde, sinergicamente, os pontos fracos de ambos sistemas são transformados em pontos fortes, minimizando a produção de resíduos e o provimento da entrada de nutrientes (GODDEK *et al.*, 2015).

### **2.3 Aquaponia**

A aquaponia integra aquicultura e hidroponia, de maneira que ambos os sistemas se complementam em uma inter-relação benéfica, de forma simbiótica. Através da recirculação da água, que é o componente principal de um sistema aquapônico, resíduos tóxicos produzidos pelos peixes são transmutados em matéria orgânica e produtos não tóxicos, os quais servirão como subsídio indispensável para o cultivo das plantas em um sistema hidropônico, ou seja, um sistema onde a

produção das plantas dispensa o uso do solo (CARNEIRO *et al.*, 2015; TYSON *et al.*, 2011; RAKOCY *et al.*, 2006).

Na contemporaneidade, a preocupação com a escassez da água potável é crescente, pois a água é indispensável para a sobrevivência de todos os seres vivos, equilíbrio dos ecossistemas, além de impactar diretamente as economias mundiais. A medida que a população cresce, a demanda por alimentos aumenta, conseqüentemente, as atividades agrícolas tendem a se expandir. Tendo em vista que atualmente o setor agrícola é responsável por 70% da captação de água acessível no planeta, e em contrapartida, 60% da água utilizada é desperdiçada. Entre os motivos do desperdício estão irrigações mal executadas e falta de controle do agricultor na quantidade usada em lavouras e no processamento dos produtos (ONU, 2018; FAO, 2018).

Dessa forma, faz-se necessário uma atenção com a provável escassez de água potável. Mitigar o desperdício da água na produção de alimentos é uma das alternativas que pode ser alcançada através da aquaponia (HUNDLEY; NAVARRO, 2013). Segundo Rakocy *et al.* (2006), pesquisas sobre sistemas aquapônicos vêm sendo realizadas há mais de 50 anos, porém resultados consideráveis começaram a surgir somente nos últimos 10 anos. Falta de tecnologia, pouca informação no Brasil e um custo inicial alto para implementação limitam o avanço desse tipo de sistema, já em outros países, estudos na área são incentivados (HERBERT; HERBERTATT, 2008; CANASTRA, 2017; CARNEIRO *et al.*, 2015; CORSO, 2010).

Em um sistema aquapônico, plantas e peixes compartilham a mesma massa de água, a recirculação da água ocorre de forma que o desperdício seja mínimo, além de reduzir radicalmente, ou até extinguir o efluente liberado no meio ambiente. A água necessária para esse tipo de sistema é extremamente baixa se confrontado com sistemas comuns, como a produção de plantas em solo e a criação de peixes em tanques escavados (CARNEIRO *et al.*, 2015; DIVER, 2006).

Após abastecido e em operação, o sistema aquapônico pode ficar por tempo indeterminado sem troca ou reposição da água, desde que a mesma esteja em condições adequadas para o desenvolvimento das plantas e peixes. Além do desperdício mínimo de água, a aquaponia possui outras grandes vantagens como a

alta taxa de produção de peixes e derivados de hortaliças, a criação tanto em áreas rurais como em centros urbanos, e a sustentabilidade no processo de produção, gerando um produto único, saudável e livre de agrotóxicos e antibióticos (CANASTRA, 2017; HUNDLEY; NAVARRO, 2013).

Hallam (2016) afirma que a aquaponia não é apenas um sistema que agrega aquicultura e hidroponia, é o controle de um ecossistema. Podemos dizer que um sistema aquapônico possui três componentes primordiais: a criação de pescados em fluxo contínuo, um sistema natural de filtragem e, por último, a hidroponia. A Figura 3 demonstra de forma básica como funciona um sistema aquapônico, bem como a aquicultura e a hidroponia se relacionam.

Figura 3 – Sistema básico de aquaponia



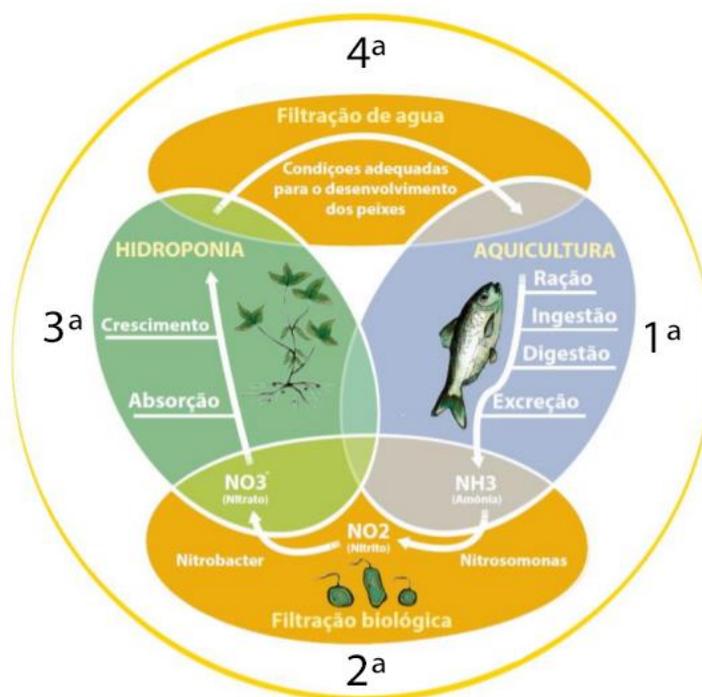
Fonte: Embrapa (2015).

Segundo Carneiro *et al.* (2015), o processo simbiótico na aquaponia inicia-se a partir do fornecimento da ração aos peixes, que é a entrada de insumo mais importante nesse sistema. A ração serve de alimento para os peixes, o resto da ração não ingerida e excretas produzidos são convertidos em nutrientes para as plantas e o sistema de recirculação da água funciona como transporte dessas matérias orgânicas desperdiçadas dos peixes em alimentos para as plantas. Após a água com nutrientes circular e as plantas absorverem esses nutrientes, em conjunto com as bactérias, a

filtragem biológica da água é realizada, tornando a água limpa e em condições apropriadas para o desenvolvimento saudável dos peixes, podendo agora retornar aos tanques (WAHAP *et al.*, 2010).

A Figura 4 ilustra a interação entre os componentes biológicos na aquaponia em quatro passos, e será abordado a seguir, de forma mais detalhada, como funcionam esses processos.

Figura 4 – Ciclo biológico no sistema aquapônico



Fonte: Do autor, adaptado de Canastra (2017).

No processo inicial, os peixes se alimentam da ração, realizam a digestão, liberam excreções na água e geram uma grande quantidade de amônia em seus resíduos, que é uma substância altamente tóxica para os peixes. No segundo processo acontece a filtração biológica natural, bactérias convertem a amônia tóxica em Nitrito ( $\text{NO}_2$ ) e depois em Nitrato ( $\text{NO}_3$ ), tornando desta forma as substâncias tóxicas em nutrientes absorvíveis pelas plantas.

No processo de absorção, o nitrato que é a forma preferida de absorção das plantas, é consumido, transformado em nutrientes e as impurezas presentes na água são filtradas pelas raízes das plantas (terceiro processo). Por último, no quarto processo, a água livre de substâncias tóxicas e em condições adequadas para o desenvolvimento dos peixes, é recirculada e volta aos tanques (CARNEIRO *et al.*, 2015; RAKOCY *et al.*, 2006).

Segundo Celada *et al.* (2009), uma desvantagem do sistema aquapônico é a necessidade de mão de obra qualificada, pois o sistema possui uma alta sensibilidade aos parâmetros biológicos que a envolvem. A principal entrada de energia é proveniente da radiação solar e dos nutrientes, que são normalmente fornecidos por ração. Entretanto, o ambiente físico em que os peixes e as plantas se desenvolvem, crescem e se reproduzem, é a água, principal influente na aquaponia. Assim sendo, fatores físicos, químicos e biológicos são extremamente importantes para o correto desenvolvimento dos peixes e das plantas.

Em um ambiente que envolve na mesma massa de água três organismos distintos (peixes, bactérias e plantas), controlar a qualidade da água é uma tarefa árdua. Em geral todas características da água devem ser mantidas em condições apropriadas para todos organismos que nela habitam. Podemos classificar os parâmetros críticos como temperatura, pH, oxigênio dissolvido e amônia, que devem ser monitorados diariamente, e até continuamente (CELADA *et al.*, 2009).

Um desequilíbrio em qualquer parâmetro mencionado pode ter consequências graves, como baixas taxas de crescimento, estresse e conseqüentemente podendo causar a morte dos peixes. Propriedades como: falta de oxigênio e pH com índice muito baixo poderão matar as bactérias, em conseqüência afetar diretamente os biofiltros do sistema, fazendo com que os nutrientes dos quais as plantas necessitam não sejam fornecidos na quantidade correta.

Devido à aquaponia ser um sistema integrado, deve-se dar atenção a todos os seres vivos: plantas, peixes e bactérias. Para tal, é necessário atentar-se à água, fator catalisador de todos os processos que ocorrem no sistema aquapônico. O pH é um dos componentes mais importantes da mesma, pois pode afetar sua qualidade e

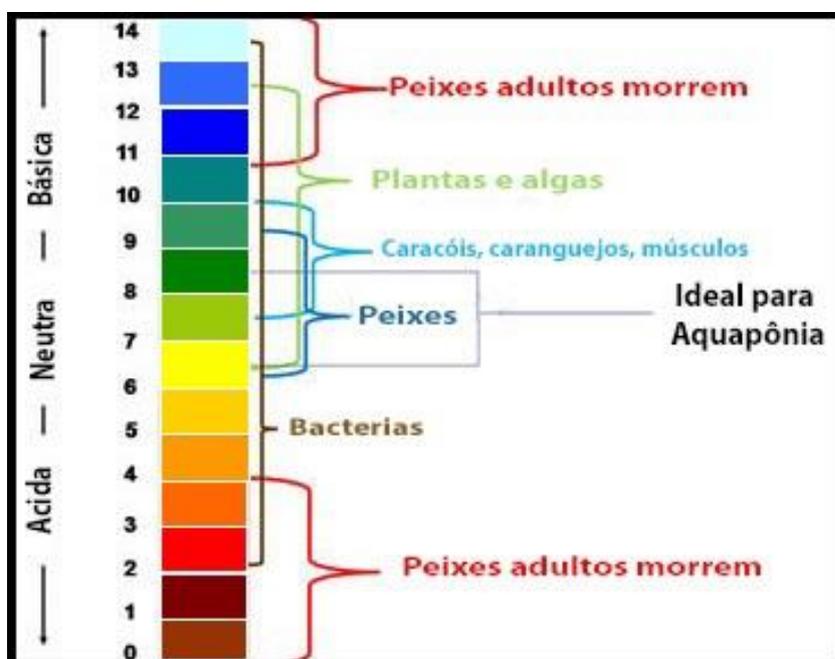
interferir nos processos químicos e biológicos (CARNEIRO *et al.*, 2015; TYSON *et al.*, 2008; CANASTRA, 2017).

O pH é uma escala logarítmica para medir o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade presente numa determinada solução. Consiste na medição da concentração dos íons de hidrogênio ( $\text{OH}^-$  ou  $\text{H}^+$ ) presentes em solução. O pH da água é fortemente influenciado pela quantidade de bases, ácidos e sais presente no meio aquoso. A escala pode variar de 0 a 14, quando o pH está abaixo de 7, a solução é considerada ácida, quando está acima de 7 é denominada básica ou alcalina e se o pH for exatamente 7 a solução é neutra (ALATORRE-JÁCOME *et al.*, 2011).

De acordo com Rakocy *et al.* (2006), o pH ideal é perto de 7, nessa faixa, garante uma boa absorção dos nutrientes pelas plantas, os peixes vivem em condições adequadas e as bactérias conseguem uma boa eficiência no processo de nitrificação. Os peixes, por exemplo, em um contexto geral, suportam um pH entre 6 a 9,5, mudanças bruscas e valores menores que 4,5 são perigosos. Já no sistema de filtragem natural, as bactérias nitrificantes trabalham em uma faixa de pH entre 7 a 8 e a maioria das plantas cultivadas nesse sistema suportam um pH de 5,5 até 6,5 sendo o ideal entre 5,8 e 6,2 (CARNEIRO *et al.*, 2015; TYSON *et al.*, 2008; CANASTRA, 2017).

A Figura 5 mostra os respectivos valores de pH relacionados aos diferentes organismos presentes no sistema aquapônico. Nota-se que entre os organismos aquáticos, o peixe é o que se adapta com mais facilidade nesse tipo de sistema.

Figura 5 – Tabela pH para sistema aquapônico



Fonte: Do autor, adaptado de Ecofilms (2010).

A temperatura é outro fator importante, da mesma forma que o pH, ela afeta tanto a produção animal, quanto a produção vegetal. Para os peixes, a temperatura da água controla o seu sistema metabólico influenciando seu crescimento. Já para as plantas, a temperatura da água tem mais influência do que a temperatura do ar, sendo que, para o cultivo em geral, a temperatura ideal é em torno de 24 °C.

A temperatura da água também pode afetar outros fatores, em grau elevado, ela aumenta a taxa metabólica de todos os seres vivos que habitam (peixes, bactérias e plantas). Com o metabolismo acelerado, o consumo de oxigênio aumenta, isso implica, para os peixes, o aumento da excreção. Idealiza-se que, para que o sistema de filtragem tenha um rendimento ótimo, a temperatura esteja entre 25 °C a 30 °C (RAKOCY *et al.*, 2006; ALATORRE-JÁCOME *et al.*, 2011).

Todos seres vivos neste sistema são seres aeróbios, ou seja, precisam de oxigênio para sobreviver. Na aquaponia o oxigênio é fornecido na forma de oxigênio dissolvido na água, o qual não pode ser inferior a 60% de saturação, ou 5 ppm, para que, dessa forma, garanta o bem-estar e crescimento dos peixes, e o correto

funcionamento do sistema de filtragem, já que as bactérias tendem a ser ineficientes com nível baixo de oxigênio dissolvido. A falta de oxigênio acarreta numa má qualidade de vida dos peixes e plantas, comprometendo seu desenvolvimento, podendo, em casos com níveis baixíssimos de oxigênio, levar a morte (RAKOCY *et al.*, 2006; ALATORRE-JÁCOME *et al.*, 2011).

Outro fator extremamente importante na qualidade da água é o nível de sais minerais presente na solução, esse pode ser medido de maneira rápida através do teste de Condutividade Elétrica (CE), é uma medida que consiste em obter a capacidade de um material carregar carga elétrica, quanto maior for o número de íons presente na solução, maior é o nível de CE.

Taxas altas de condutividade significa alto teor de decomposição de matéria orgânica e isso é um parâmetro para quantidade de nutrientes disponíveis ou mesmo indício de problemas com poluição da água. A condutividade elétrica ideal para o sistema aquapônico varia de acordo com o que é cultivado e também do clima da região onde é produzido, para o desenvolvimento dos peixes a faixa varia entre 20 e 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . (HIDROGOOD, 2018; TUDOHIDROPONIA, 2018; QUEIROZ *et al.*, 2017).

A turbidez é um dos parâmetros que determina a transparência, mede a quantidade das partículas em suspensão e a transparência determina o quanto de luz entra dentro da água. Segundo a Embrapa (2017), as águas turvas não prestam a aquicultura. Os sedimentos que causam a turbidez impedem a penetração da luz solar dificultando a fotossíntese e recobrem os ovos de peixes, além de provocar entupimento das brânquias causando a mortalidade dos mesmos.

Se a água é muito limpa, sem turbidez, a luz pode penetrar dezenas de metros na água, o que não ocorre se a água apresentar muitas partículas em suspensão. O ideal é que a luz penetre cerca de 0,4 a 0,8 metros. Manter a turbidez em torno de 100 UNT através do controle de Sólidos Suspensos Totais (TSS) e a limpeza rotineira do sistema de filtros é uma prática indispensável (EMBRAPA, 2017).

O Quadro 1 resume os respectivos parâmetros e o valor ideal que deve ser mantido em um sistema aquapônico.

Quadro 1 – Faixa de tolerância e valor ideal para os parâmetros de qualidade da água no sistema aquapônico

Parâmetro	Faixa de tolerância	Valor ideal
pH	6.0 – 7.5	6.5 - 7.0
Oxigênio Dissolvido	Maior que 3 ppm	Maior que 5 ppm
Temperatura da água	18 - 30 °C	23 – 25 °C
Condutividade elétrica	Varia conforme o ambiente	Varia conforme o ambiente
Turbidez	100 UNT	100 UNT

Fonte: Do autor, com base em Rakocy et al. (2019).

Segundo Carneiro *et al.* (2015), para manter os parâmetros nos seus devidos valores faz-se o uso de algumas técnicas, por exemplo, o fluxo de água que circula no tanque dos peixes é extremamente importante, fatores como a velocidade e a taxa de renovação da água devem ser levados em conta.

De acordo com Rakocy *et al.* (2006), para manter o pH no valor ótimo em um sistema aquapônico, faz-se o uso de soluções básicas como Bicarbonato de Sódio, Carbonato de Cálcio ou então com o uso de Hidróxido de Cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) e/ou Hidróxido de Potássio (KOH), suplementando assim o sistema com Cálcio e Potássio.

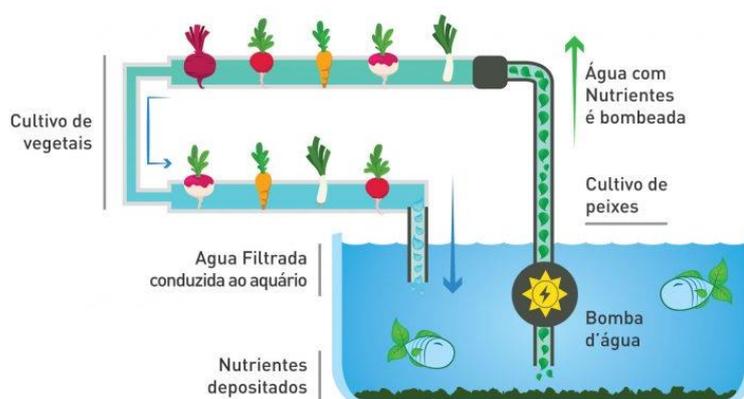
Já, para manter o nível de oxigênio dissolvido adequado utiliza-se compressores ou sopradores de ar para a realização do processo de aeração, outro fator que tem grande influência na quantidade de oxigênio dissolvido é a temperatura da água, quanto mais baixa for a temperatura, mais oxigênio estará presente na água; quanto mais alta for a temperatura, menor será a quantidade de oxigênio no meio aquoso. Dentre as alternativas para o controle da temperatura da água, para temperaturas elevadas recorre-se ao uso de sistemas de refrigeração, ou tentar aumentar a circulação da água. Já, para temperaturas baixas, o uso de resistências (aquecedores) é umas das alternativas (LOURENÇO; MALTA; SOUZA, 1999).

### 2.3.1 Tipos de Sistemas

Há diversas técnicas de sistemas aquapônicos, com diferentes técnicas de cultivo de plantas, cada uma com suas vantagens e desvantagens. São destacados três exemplos mais conhecidos: cultivo em canaletas (NFT), cultivo em substrato (Media-filled bed) e cultivo em bandejas flutuantes (DWC) (RAKOCY et al., 2006).

Ainda segundo Rakocy *et al.* (2018), o cultivo em canaletas é o mais conhecido e reproduzido dos sistemas aquapônicos, por possuir vantagens como ser um sistema leve, com perda mínima de água e facilidade na colheita e plantação dos vegetais. Nesse tipo de sistema, as plantas são colocadas em canaletas onde a água passa de forma intervalada, assegurando os nutrientes para as plantas e cobrindo de forma parcial suas raízes.

Figura 6 – Técnica aquapônica Nutrient Film Technique (NFT)

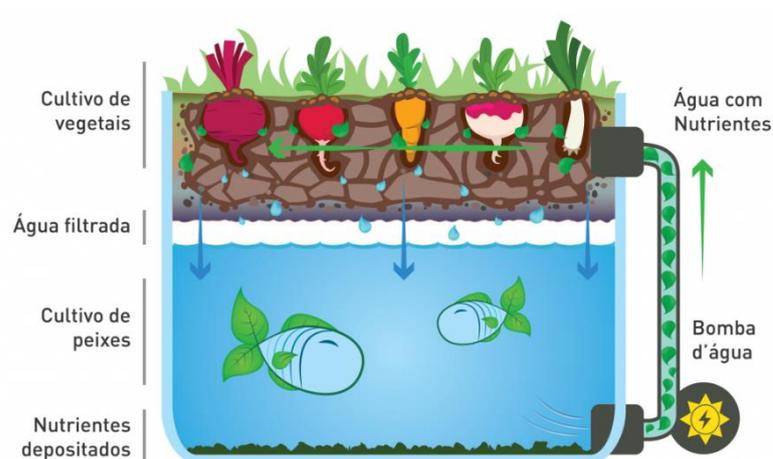


Fonte: Aqp Brasil (2019).

Os ambientes de cultivo em substrato, como o próprio nome já salienta, usam substrato em um recipiente onde os vegetais são plantados. Os principais tipos de substrato utilizados são argila expandida, pedra brita, areia grossa e seixos de leito de rio. Essa técnica tem como vantagem funcionar como filtro biológico para a água e

suporte de vida para as bactérias nitrificantes. A técnica de cultivo em substrato é recomendada para pequenas escalas por possuir eficiência e baixo custo inicialmente (CARNEIRO *et al.*, 2015). Um exemplo dessa técnica é ilustrado na Figura 7.

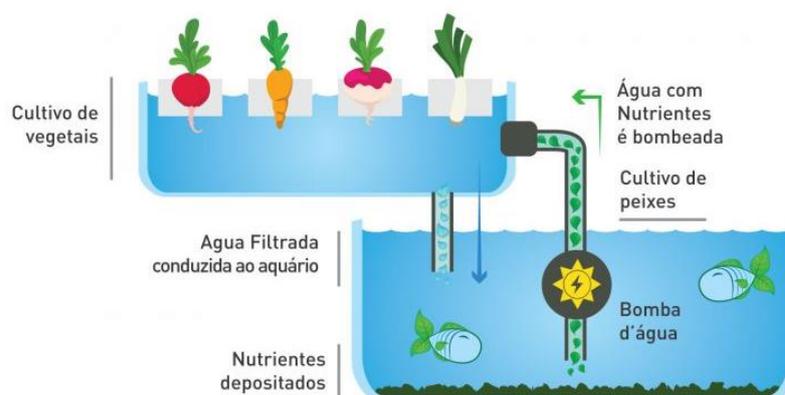
Figura 7 – Técnica aquapônica Media-filled bed



Fonte: Aqp Brasil (2019).

A técnica de cultivo em bandejas flutuantes é mais indicada para produções de média ou larga escala. Possui grande demanda de água, sendo que os vegetais ficam flutuando em bandejas, com suas raízes submersas. Um dos benefícios desta técnica é a minimização da instabilidade dos parâmetros da água, principalmente pH e temperatura, devido ao grande volume de água utilizado (CARNEIRO *et al.*, 2015).

Figura 8 – Técnica aquapônica Deep Water Culture Technique (DWC)



Fonte: Aqp Brasil (2019).

## 2.4 Automação

A automação teve sua origem no século X, onde, com a intenção de automatizar processos antes manuais, foi criado um moinho hidráulico para fornecimento de farinha, e a partir desse momento houve um crescimento na produção de alimentos nunca antes visto. Essa criação simples e um tanto arcaica era capaz de substituir o trabalho de até vinte homens, dessa forma, o interesse em estudar desenvolvimento de tecnologias surgiu, servindo como grande impulso para o surgimento da automação industrial (GOEKING, 2010).

Segundo Ribeiro (2003), o conceito de automação consiste na troca do trabalho humano pela operação de uma máquina autônoma ou com a mínima interferência de atividade humana. O sistema automático tem uma configuração de atuação própria, deve reagir e efetuar ações tendo base tempo estipulado ou em retorno de determinadas condições.

Pode-se citar inúmeros benefícios que a automação fornece, entre eles o aumento na produção; um produto de maior qualidade, já que as máquinas são mais precisas que o trabalho humano; redução de gastos dos recursos naturais, pelo fato

das máquinas serem programáveis e aptas a controlar e utilizar somente o necessário para a produção (JÚNIOR *et al.*, 2003).

A automação pode assumir várias formas, desde a automação de veículos, até o desenvolvimento de robôs específicos que automatizam partes do processo de produção, podendo eliminar o problema de eficiência da produção. Exemplificando, uma startup britânica chamada AgriData está desenvolvendo uma maneira de as máquinas gerenciarem a produtividade dos campos. Seu *gadget* escaneia rapidamente as árvores para identificar os frutos e determinar seu rendimento. Assim, os agricultores podem ter uma ideia melhor de como seus campos estão produzindo para melhorar o tempo de suas colheitas (BONNEAU *et al.*, 2017).

Conforme Junior *et al.* (2014) um termo usado para contextualizar o atual cenário tecnológico no setor agroindustrial é o AgroTIC, sendo definido como: a junção de hardware, software e instrumentos de produção que possibilitam coleta, armazenamento e processamento de grandes volumes de dados, automatização de processos, troca, e manejo da informação e do conhecimento.

Ainda segundo Junior *et al.* (2014) a adoção das TICs, unida ao avanço da Internet das Coisas (IoT), estão contribuindo para uma nova revolução tecnológica neste setor. Com impactos ainda não mensuráveis, essas tecnologias estão transformando radicalmente a forma de produção, manejo e gestão, permitindo ao produtor acesso a um novo patamar de conhecimento, com ganhos consideráveis para toda a cadeia.

#### **2.4.1 IoT**

A IoT abreviatura do termo Internet of Things, pode ser definida como a comunicação Machine-to-Machine (M2M), em português máquina a máquina, refere-se a tecnologias que permitem a comunicação entre dispositivos. Através da Internet, possibilita que objetos físicos dos mais variados tipos possam se comunicar, compartilhar dados e informações, dessa forma tornando os sistemas ainda mais conectado. A Internet das Coisas pode ser utilizada em inúmeros setores, na indústria,

nas cidades, ou até mesmo servindo como um facilitador para a vidas dos cidadãos (SAP Brasil, 2016).

Segundo Miorandi (2012), a IoT tem seu conceito baseado em três paradigmas: uma rede global de objetos inteligentes conectados por meio de tecnologias expandidas da internet, um conjunto de sensores e dispositivos para tornar possível a comunicação entre esses objetos, e por último, aplicações e serviços que possam centralizar os dados e informações obtidas, servindo como impulso para novos negócios e oportunidade de mercado.

A capacidade do objeto inteligente interagir no contexto físico é possível devido a presença de dispositivos que possam detectar fenômenos físicos no ambiente ou contexto onde se encontram e transformá-los em um conjunto de dados e informações, assim como através de dispositivos capazes de provocar ações no meio físico (MIORANDI, 2012).

No agronegócio, a utilização dessa tecnologia vem crescendo, pois possibilita que os produtores possam controlar e monitorar remotamente todo o processo. Um sistema aliado a sensores de coleta dados, fornece informações precisas e em tempo real, para que possam ser tomadas decisões mais assertivas, sejam elas automáticas ou feitas pelo próprio produtor.

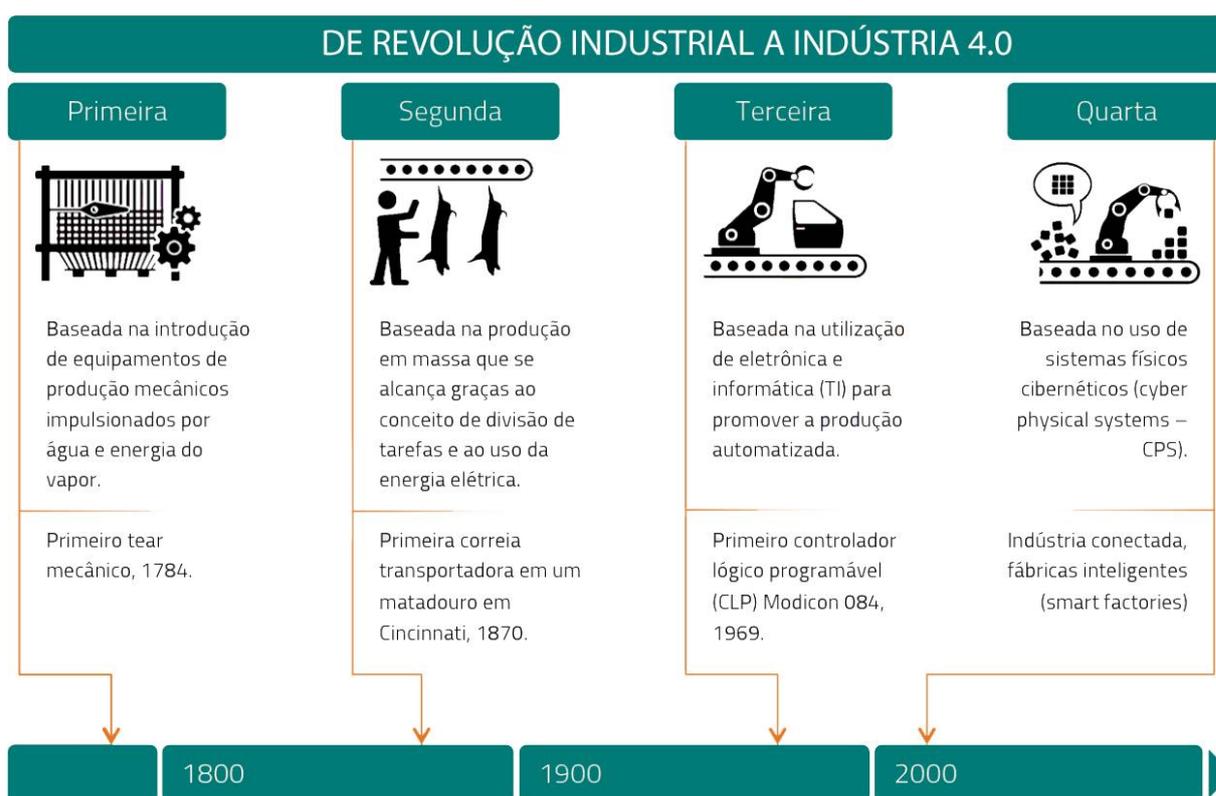
Através da IoT, sistemas de operação que envolvem toda a logística de uma indústria podem ser aperfeiçoados. Com a automação e otimização dos processos, torna-se elemento chave para tornar a Indústria 4.0 uma realidade, onde a automação e troca de dados são aplicadas ao processo de manufatura (ENDEAVOR, 2018).

#### **2.4.2 Indústria 4.0**

A revolução industrial foi o marco de muitas mudanças que repercutiram no mundo e no *modus vivendi* da sociedade. Desde então, houve várias na evolução tecnológica, podendo ser discriminado em quatro Revoluções Industriais, expostas na Figura 9. Na atualidade, a Indústria 4.0, a qual possui um ecossistema interconectado

como característica primária, traz uma mudança de paradigmas que influem diretamente nos processos industriais, sendo a agricultura uma delas (ENDEAVOR, 2018).

Figura 9 – As quatro diferentes revoluções industriais



Fonte: Do autor (2018).

O termo Indústria 4.0 surgiu na Alemanha, em 2011, refere-se a um conjunto de novas tecnologias disruptivas capazes de fundir os mundos físico, digital e biológico, impactando exponencialmente todas as disciplinas, economias e indústrias. Engloba tecnologias para automação e troca de dados, por intermédio de sistemas ciberfísicos, internet das coisas, computação em nuvem e computação cognitiva (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016; SCHWAB, 2016).

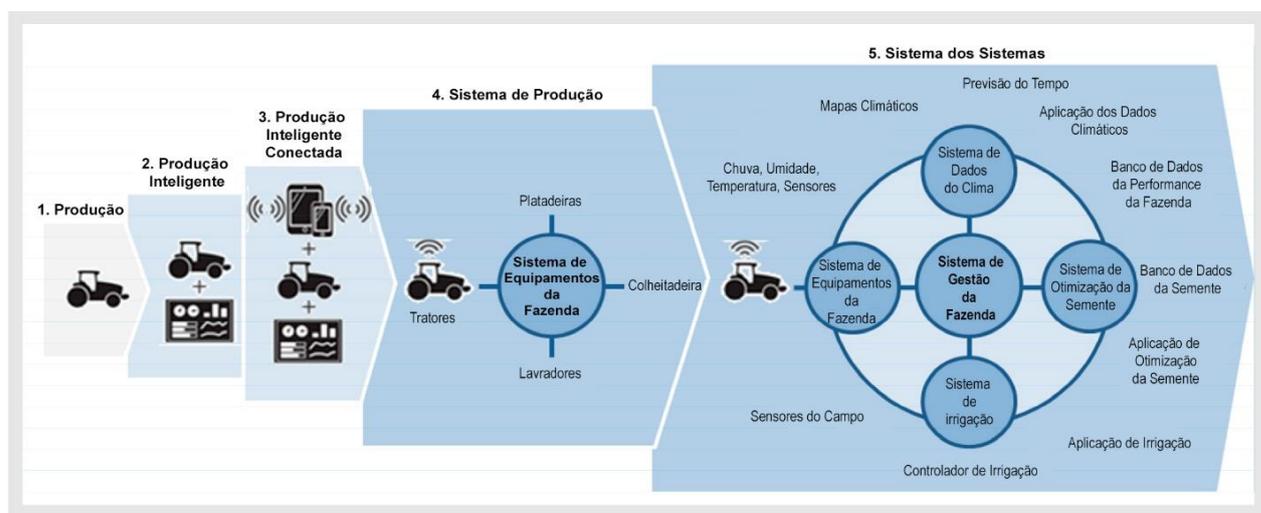
A força de transformação dessa nova era de inovação tem influência direta nos sistemas inteiros de produção, gestão e governança, tal que estão sofrendo grandes

impactos, levando a processos de tecnologia disruptiva em praticamente todo setor industrial, incluindo a agricultura (AGRICULTURA MODERNA, 2018).

Através da automação, a produtividade é otimizada em todas as operações da agroindústria, com isso irá solucionar muitos dos obstáculos que o agricultor enfrenta nos dias atuais, desde a economia de recursos, a melhoria da gestão de recursos hídricos, a proteção contra diferentes tipos de pragas, inclusive reduzir o uso da energia elétrica e da quantidade de água para o cenário de alta produção, minimizando os impactos ambientais (AGRICULTURA MODERNA, 2018).

A Figura 10 contextualiza de que forma a visão da quarta revolução industrial pode ser aplicada no setor agroindustrial.

Figura 10 – Indústria 4.0 na agricultura



Fonte: Do autor, adaptado de Bonneau *et al.* (2017).

### 2.4.3 Automação na Aquaponia

A aquaponia está se expandindo no mundo porque gera economia de recursos naturais, sendo promissora para o futuro da produção de alimentos. Entretanto, encontra desafios, principalmente porque os parâmetros da água são sensíveis e é

imprescindível que estejam nas variáveis corretas. Com o intuito de transformar a aquaponia em um sistema sustentável e viável em larga escala, o uso da tecnologia está crescendo e é proficiente em automatizar sistemas agrícolas inteiros (SHAFEENA T, 2016).

Segundo Shafeena T (2016), do ponto de vista tecnológico, o uso da IoT pode monitorar muitas variáveis da água na aquaponia de forma automatizada, possibilitando visualizar, de forma remota, os dados coletados. Através de sensores explora-se o ambiente aquoso, monitorando a saúde da aquaponia.

Além de ajudar a facilitar o manejo e ser economicamente viável, o sistema automatizado deve otimizar a aquicultura e a hidroponia, mantendo o produtor informado sobre problemas em potencial, como pH da água muito ácido. Embora muito importante, ainda é pouco difundido o uso de tecnologias, sendo emergentes na aquaponia a partir do ano de 2016 e ainda pouco exploradas (SHAFEENA T, 2016).

Para o desenvolvimento de sistemas aquapônicos automatizados, são necessários dispositivos e técnicas. Alguns dos recursos necessários incluem sensores, linguagem de programação e hardware. Os sensores são necessários para adquirir os dados a partir dos parâmetros físicos convertidos em sinais elétricos, de forma que assim sejam processados e analisados; A linguagem é imprescindível para a comunicação entre os componentes eletrônicos, de forma que a programação se comporte como o esperado; A parte de hardware é encarregada do processamento de dados bem como do monitoramento destes (KUMAR *et al.*, 2016).

#### **2.4.4 Linguagem de Programação C**

A linguagem de programação C é uma linguagem de propósitos gerais, sendo utilizada para desenvolver os mais diversos tipos de software. Criada por Brian W. Kernighan e Dennis Ritchie em 1972, no centro de pesquisa Bell Laboratories, foi utilizada, no início, para reescrever o sistema operacional UNIX. Conforme a linguagem C evoluiu, foi sendo padronizada pelo ANSI (American National Standards

Institute), para possibilitar a portabilidade dos softwares escritos nesta linguagem (OSÓRIO, 1992).

A linguagem C é considerada altamente portátil e seu desempenho é muito eficiente. Suas características principais são: modularidade, facilidade de uso, grande portabilidade de programas, geração de código eficiente, recursos de baixo nível e uso de bibliotecas de funções, expandindo as potencialidades da linguagem (GIACOMIN, 2002).

Na Figura 11 é possível observar que a linguagem de programação C encontra-se atualmente na segunda colocação no índice TIOBE, a classificação é feita pela frequência de pesquisa na web usando o nome da linguagem como a palavra-chave.

Figura 11 – Ranking linguagens de programação TIOBE

May 2019	May 2018	Change	Programming Language	Ratings	Change
1	1		Java	16.005%	-0.38%
2	2		C	14.243%	+0.24%
3	3		C++	8.095%	+0.43%
4	4		Python	7.830%	+2.64%
5	6	▲	Visual Basic .NET	5.193%	+1.07%
6	5	▼	C#	3.984%	-0.42%
7	8	▲	JavaScript	2.690%	-0.23%
8	9	▲	SQL	2.555%	+0.57%
9	7	▼	PHP	2.489%	-0.83%
10	13	▲	Assembly language	1.816%	+0.82%

Fonte: TIOBE (2019).

#### 2.4.5 Protocolo I2C

O I2C é um protocolo que foi desenvolvido pela Philips na década de 80 para comunicar dispositivos em um mesmo circuito impresso – I2C significa “Inter-Integrated Circuits”, ou Circuito Inter-integrado. É um protocolo de barramento serial com apenas dois fios necessários, o Serial Data Line (SDA) por onde os dados são

transmitidos e o Serial Clock Line (SCL) que sincroniza a comunicação. Neste protocolo, não há necessidade de chip de seleção ou lógica de arbitragem, assim tornando-se barato e simples de implementar em hardware.

Cada dispositivo conectado ao barramento é endereçável por um endereço único e relações simples de mestres/escravos. Define-se o I2C como um barramento multi-mestre, incluindo detecção de colisão e arbitragem para evitar que os dados se corrompam se mais que um mestre inicie concomitantemente a transferência de dados. Os mestres podem operar como mestres que transmitem os dados ou como mestres que os recebem.

Quadro 2 – Significado da terminologia do I2C

<b>Termo</b>	<b>Significado</b>
Transmissor	O dispositivo que envia dados para o barramento
Receptor	Dispositivo que recebe dados do barramento
Mestre	Dispositivo que inicia uma transferência, gera sinais de clock e termina uma transferência
Escravo	Dispositivo endereçado por um mestre
Multi-mestre	Mais de um mestre pode tentar controlar o barramento ao mesmo tempo sem corromper a mensagem
Arbitragem	Procedimento para assegurar que, se mais de um mestre simultaneamente tentar controlar o barramento, apenas um é permitido a fazê-lo e a mensagem não é corrompida
Sincronização	Procedimento para sincronizar os sinais de clock de dois ou mais dispositivos

Fonte: Do autor, baseado no Manual do usuário do barramento serial I2C.

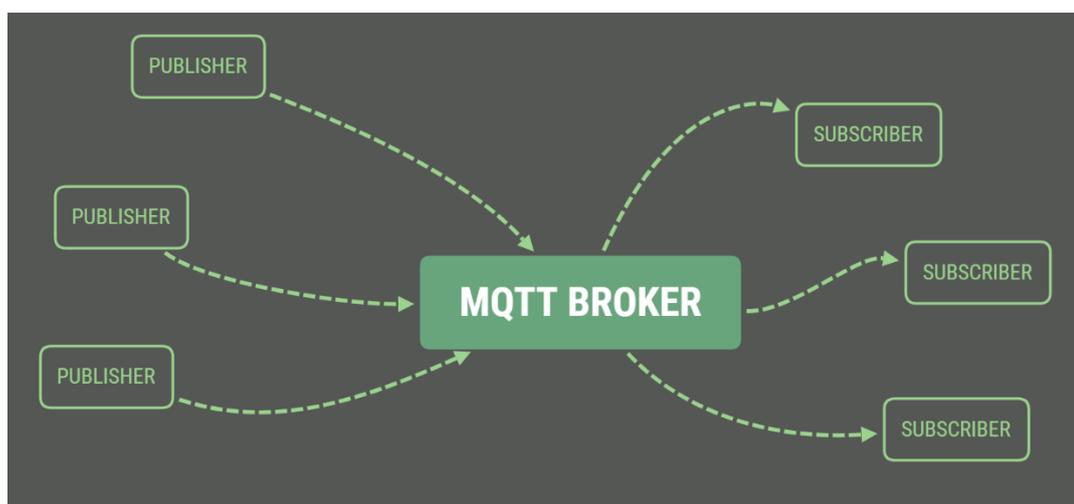
#### 2.4.6 Protocolo MQTT

O protocolo Message Queue Telemetry Transport (MQTT) foi criado pela IBM na década de 90, focado em sistemas de supervisão e aquisição de dados. Seu principal objetivo é proporcionar a comunicação entre máquinas e atualmente é um grande candidato à implementação para soluções IoT, por sua simplicidade, segurança e serviço de qualidade (IBM, 2019).

Segundo a IBM (2019), O MQTT é um protocolo de mensagens que possui um esquema de troca de mensagens baseado no padrão publish/subscriber, onde um Servidor, o Broker MQTT, implementa estruturas de armazenamento de dados, que são os tópicos. O MQTT caracteriza como os bytes de dados são ordenados e conduzidos pela rede TCP/IP. Assim, cada mensagem possui uma carga útil de comando e dados e este comando determina se a mensagem é CONNECT ou SUBSCRIBE.

Existem dois tipos de elementos no protocolo MQTT, um broker e diversos clientes, os publishers. O cliente pode ser qualquer elemento capaz de receber mensagens e interagir com o broker, desde uma aplicação que processa dados ou um sensor. O broker é um servidor que irá receber as mensagens e rotear para outro cliente propício. Quando um elemento na rede quer receber determinado dado, ele é definido como cliente, e então envia diversos tópicos ao broker, onde os subscribers escolhem quais tópicos querem subscrever (IBM, 2019).

Figura 12 – O princípio de funcionamento do Protocolo MQTT



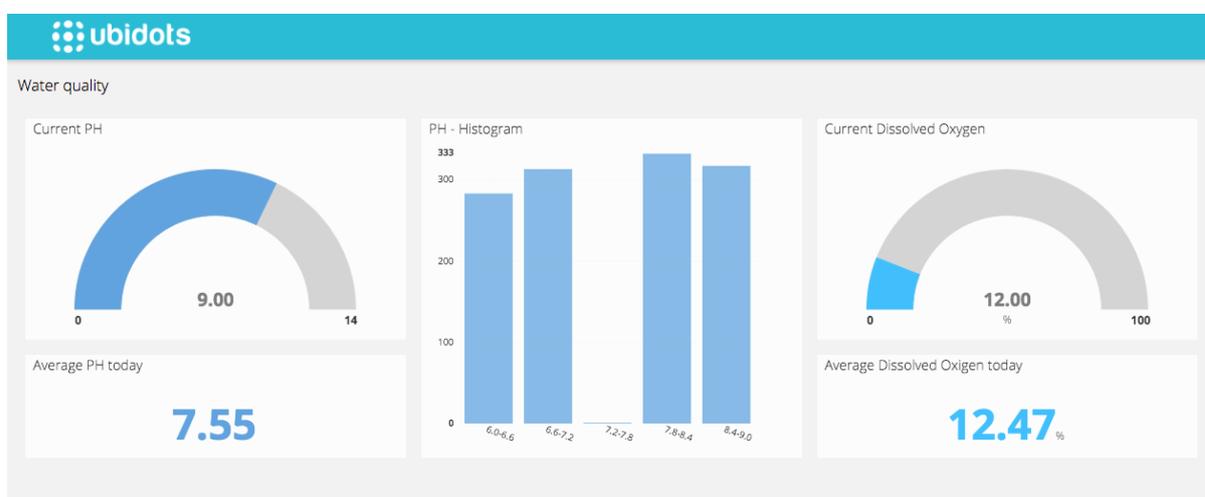
Fonte: Do autor (2019).

## 2.4.7 Ubidots

Ubidots é uma plataforma de desenvolvimento de IoT. Nasceu como uma empresa privada de serviços de engenharia em 2012. Em 2018, a Ubidots criou a plataforma Ubidots for Education, a qual os entusiastas e estudantes da IoT podem usar para construir, desenvolver, testar, aprender e explorar o futuro de aplicativos e soluções conectados à Internet (UBIDOTS, 2019).

O Ubidots permite que hardware e software sejam conectados, oferece um ambiente que registra de uma forma descomplicada dados de sensores e transforma-os em informações úteis mostrando-as através de um painel de controle. Neste, o usuário consegue visualizar remotamente, através de gráficos, tabelas, mapas, e widgets as informações, permitindo o controle, monitoramento e automatização de processos. (UBIDOTS, 2019).

Figura 13 – Exemplo de dashboard do Ubidots



Fonte: Ubidots (2019).

A plataforma disponibiliza uma API REST que possibilita gravar e ler dados, a qual necessita de uma chave de API e suporta HTTPS. Envia dados para a nuvem a partir de qualquer dispositivo conectado à internet, sendo possível configurar ações e

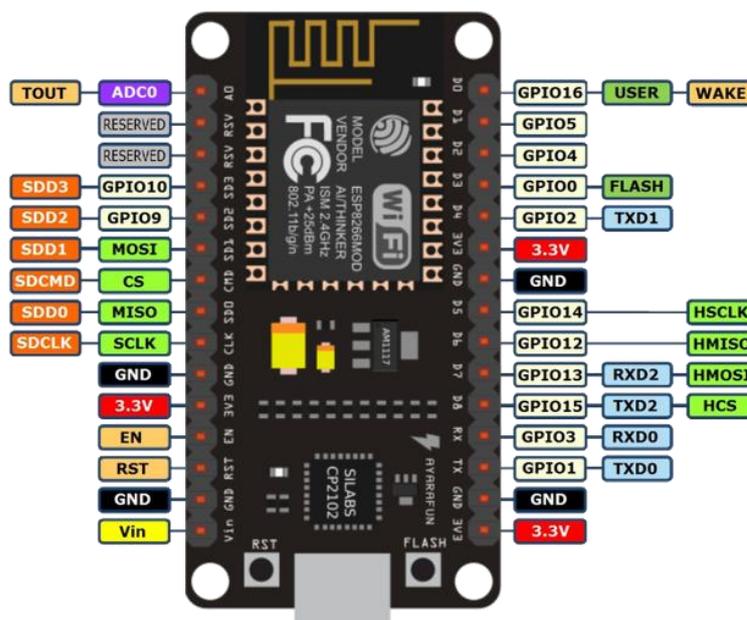
alertas a partir de dados em tempo real, além de possíveis modificações nos valores por meio de uma interface visual. Esses dados têm segurança por meio de duas replicações, armazenamento criptografado e suporte de dados opcional (UBIDOTS, 2019).

#### 2.4.8 NodeMCU

O módulo NodeMCU é uma plataforma open source utilizada em projetos IoT, criada para facilitar o desenvolvimento de aplicações para o módulo ESP8266 ESP-12, ideal para o desenvolvimento de projetos que demandem comunicação wireless entre dispositivos de forma simples (NODE MCU, 2019).

Segundo o fabricante Expressif Company (2019), o NodeMCU é muito econômico, já que o ESP8266-12E tem um consumo de energia mínimo, atingindo uma velocidade de clock de 160 MHz. Uma de suas vantagens é que ele já possui um conversor USB serial integrado.

Figura 14 – NodeMCU ESP8266 ESP-12E e suas especificidades



Fonte: IoT Bytes (2019).

Abaixo estão as suas principais características:

- Processador ESP8266-12E;
- Arquitetura RISC de 32 bits;
- Processador pode operar em 80MHz / 160MHz;
- 4Mb de memória flash, 64Kb para instruções e 96Kb para dados;
- WiFi nativo padrão 802.11b/g/n;
- Opera em modo AP, Station ou AP + Station;
- Possui 11 pinos digitais;
- Possui 1 pino analógico com resolução de 10 bits;
- Pinos digitais, exceto o D0 possuem interrupção;
- PWM, I2C e one wire;
- Pinos operam em nível lógico de 3.3V;
- Possui conversor USB Serial integrado;
- Programável via USB ou WiFi (OTA);
- Compatível com a IDE do Arduino.

#### **2.4.9 Arduino**

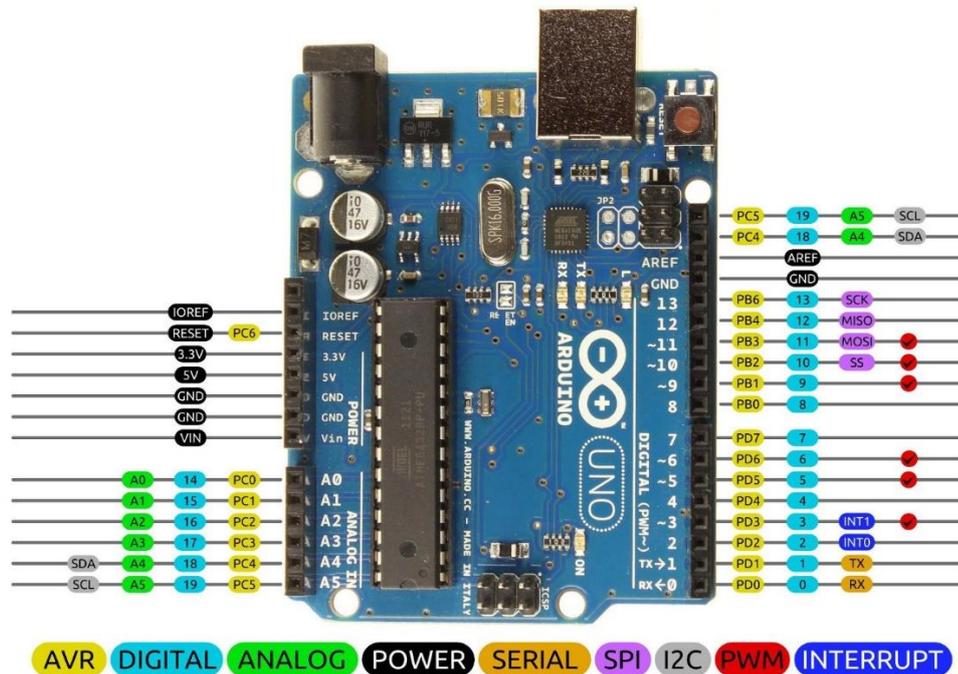
O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto, ideal para a criação de dispositivos que permitam interação com o ambiente, que utilizem como entrada sensores de luz, temperatura, som etc., e como saída leds, motores, displays, auto-falantes etc., criando muitas possibilidades de uso (SOUZA, 2011).

Ainda segundo Souza (2011), o Arduino possui IDE para desenvolvimento simples, em linguagem Processing, baseada na linguagem C/C++, a qual oferece bibliotecas de código aberto, possibilitando a ligação com outros hardwares, assim facilitando o uso para o desenvolvimento de aplicações de diversas naturezas.

O Arduino possui uma série de versões, a versão UNO é baseada no microcontrolador ATmega328P, que suporta comunicação SPI e I2C. Possui quatorze pinos de I/O, seis deles podem ser usados como saídas PWM, também possui seis

pinos de entrada analógica, sendo que o conversor ADC interno possui 10 bits de resolução (ARDUINO, 2019).

Figura 15 – Arduino UNO e suas especificidades



Fonte: Circuito.io (2019).

A seguir, são apresentadas as principais características do Arduino UNO:

- Microcontrolador ATmega328P;
- Tensão operacional 5V;
- Tensão de entrada (recomendado) 7-12V;
- Pinos Digital I / O 14;
- Pinos de entrada analógica 6;
- Memória flash 32 KB, dos quais 0,5 KB usados pelo bootloader;
- EEPROM 1 KB (ATmega328P);
- Velocidade do clock - 16 megahertz;
- Comprimento 68,6 mm;

- Largura 53,4 mm.

#### **2.4.10 Sensores**

Os sensores são dispositivos sensíveis a parâmetros físicos, capazes de perceber o ambiente e transmitir um impulso em conformidade com a resposta aos parâmetros deste ambiente, que podem ser pressão, luminosidade, temperatura, vazão, distância, entre outros. Apesar da variedade de sensores, podem ser divididos em analógicos e digitais, sendo que cada um concede um tipo de sinal (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

Os sensores analógicos fornecem um sinal contínuo, ou seja, mesmo limitados em dois valores de tensão, podem assumir qualquer valor de um conjunto infinito de valores possíveis intermediários, já os sensores digitais são um conjunto finito de valores dentro dessa faixa, alternando entre estados bem definidos, podendo ser interpretados como zero e um. Grandezas físicas como a temperatura e a pressão, por exemplo, são medidas analógicas (TOOLEY, 2007).

Nos sensores analógicos, o sinal produzido é pequeno, tornando-se necessária sua amplificação. Pode ser facilmente convertido em sinal digital para ser utilizado em microcontroladores, através de conversores analógicos digitais (A/D). Enquanto os sensores digitais emitem um sinal digital, por meio de um sinal de saída binário (on/off), concedendo um número relativo à amplitude da variável medida (TOOLEY, 2007).

Os sensores são dispositivos necessários para a automação, pois os sinais elétricos que geram podem ser utilizados como entrada para circuitos eletrônicos, medindo precisamente uma grandeza e possibilitando que esta seja interpretada seja possível controlá-la posteriormente. Na automação agroindustrial, os sensores são dispositivos amplamente utilizados, transformando variáveis físicas importantes para a agronomia em sinais eletrônicos que são transmitidos para o microcontrolador onde o processamento é realizado e então transformado em dados que possam ser

interpretados de forma facilitada para o ser humano (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

A partir da exposição das premissas e teorias básicas para este trabalho, no Capítulo 3, são apresentados os procedimentos metodológicos do projeto proposto no presente trabalho.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta seção, são expostos os métodos para a elaboração do trabalho. A pesquisa é de natureza qualitativa. Com base em seus objetivos gerais, é de natureza exploratória, analisando e evidenciando de forma ampla o problema, a fim de criar possibilidades de aprimoramento do fato estudado. Os procedimentos de pesquisa exploratória consistem, geralmente, em estudos de caso ou levantamento bibliográfico (CHEMIN, 2015).

Analisando os procedimentos técnicos, a pesquisa é bibliográfica e experimental, pois baseia-se em fontes já existentes, as principais sendo artigos científicos e livros, e também usa o experimento como forma de observar e controlar as variáveis que são capazes de influenciar no objeto de estudo (GIL, 2002).

Segundo Junior (2011), a metodologia científica envolve hipóteses teóricas e fundamentadas em um referencial em relação à ciência. A ciência estudada e os procedimentos de pesquisa, expedem a relatórios gerados e posteriormente a coleta de dados, análise e interpretação de dados gerados, elaboração de relatórios e concepção do objeto.

Inicialmente, foi realizado um estudo sobre o sistema aquapônico e suas técnicas, bem como o estudo das tecnologias que abrangem toda a área macro da automação agroindustrial nos dias atuais, através da pesquisa de referencial teórico. Em um segundo momento, foi realizado um experimento prático, verificando a viabilidade das tecnologias abordadas neste trabalho. Após a experimentação tecnológica, foi desenvolvido um pequeno sistema aquapônico para demonstrar o funcionamento da ideia proposta, para que permita realizar o monitoramento e

controle da qualidade da água, através de uma comunicação entre a aplicação centralizadora e aplicação gerenciadora.

### **3.1 Coleta de dados**

Segundo Chemin (2015), esta etapa consiste na exposição das técnicas utilizadas para coleta de dados. Nas pesquisas experimentais, a coleta é feita através do manejo de certas condições e estudo dos resultados gerados (GIL, 2002).

A coleta de dados no presente trabalho, consiste em coletar os parâmetros da água no sistema aquapônico. Para tal, será utilizado o Arduino, integrado aos sensores de pH, temperatura, fluxo, turbidez e nível. Os sensores serão submersos na água do tanque dos peixes, enviando os dados para o Arduino, o qual processará essas informações e enviara para o NodeMCU. Serão efetuadas coletas contínuas de dados, posteriormente armazenados no serviço Ubidots.

### **3.2 Análise dos dados**

A análise dos dados se dá através da associação de informações coletadas, classificando-as de modo que a obtenção das respostas objetivadas na pesquisa seja realizada (CHEMIN, 2015).

Através dos softwares expostos, os dados obtidos serão analisados através de tabelas, gráficos e dashboard do Ubidots. Além destes, a análise será obtida através do desenvolvimento dos peixes e das plantas.

Assim classificadas as informações, haverá a análise para verificar se o sistema se comportou de forma adequada, mantendo os parâmetros da água nos valores ideais, também se esse controle facilitará o manejo humano em sistemas aquapônicos, melhorando a produção e desenvolvimento dos organismos do sistema.

## 4 DESENVOLVIMENTO

Nesta seção são apresentados os materiais, dispositivos e sensores, assim como as técnicas empregadas no projeto e construção deste sistema. Ademais, a implementação de um protótipo de aplicação centralizadora e a aplicação gerenciadora são descritos neste capítulo.

Dentre as mais variadas opções de hardwares e softwares disponíveis hoje no mercado, neste trabalho é proposto o uso, em todas as necessidades do projeto, de ferramentas de hardware com baixo custo e software de código aberto ou com versões que possibilitam o uso sem quaisquer custos.

### 4.1 Projeto do Sistema Aquapônico

Para a realização do trabalho, foi realizada a montagem de um sistema aquapônico. Para que todos os pormenores fossem realizados de maneira planejada, bem como o espaço fosse aproveitado da melhor maneira, o sistema aquapônico foi idealizado e projetado através de maquete eletrônica, utilizando os softwares SketchUp (para modelagem 3D) e Lumion (para renderização de imagens). Foi desenvolvido um modelo onde empregam-se canos PVC para cultivo de hortaliças, camas de cultivo em polipropileno e o tanque da água dos peixes consiste em uma caixa de água de 500L de polietileno, como ilustrado na Figura 16.

Figura 16 – Projeto em 3D do sistema aquapônico



Fonte: Do Autor (2019).

É possível visualizar que foi planejada uma estrutura metálica para o abrigo do sistema, esta é cercada por sombrite, o qual evita que pragas influenciem no desenvolvimento das plantas, bem como predadores entrem para caçar os peixes (como aconteceu no início da montagem, quando o sistema estava vulnerável, aberto, gatos invadiram e comeram toda leva de peixes). Além destes fatos, há uma cobertura que protege o sistema da chuva, que pode ser fator crucial nos parâmetros da água, visto que a água da chuva é pobre em oxigênio e contém poluentes provenientes da urbanização, interferindo na composição química da água, além de interferir no nível da mesma.

Toda a estrutura foi pensada para dar maior ênfase na finalidade do trabalho, que é monitorar, controlar os parâmetros da água e melhorar o desenvolvimento dos

organismos do sistema, assim sendo, a proteção com sombrite e cobertura plástica fez com que os efeitos externos nocivos fossem mitigados, objetivando criar um sistema o mais próximo de um sistema comercial de aquaponia, que normalmente é abrigado em estufas.

## **4.2 Execução do Sistema Aquapônico**

No sistema implantado, foi utilizada a união de sistema com cama de cultivo e NFT (cultivo em canaletas). Isso se dá pelos benefícios de ambas, eliminando as desvantagens se fosse aplicada somente uma técnica. As camas de cultivo são recipientes com água, onde as plantas têm suas raízes submersas em brita e argila expandida, as quais também cumprem o papel de filtrar compostos orgânicos, possíveis impurezas e são encarregadas de produzir a colônia de bactérias nitrificantes. No sistema NFT, as plantas ficam fixadas em uma canaleta, com suas raízes expostas a água, nutrindo-as.

A estrutura do sistema foi construída em canos PVC pelo próprio autor, concomitante com a parte hidráulica, realizando o corte e a montagem dos encanamentos, fixados com braçadeiras. Após montado, posicionou-se a caixa d'água lateralmente, e instalou-se duas camas de cultivo em cima da estrutura de canos PVC, estas, preenchidas com argila expandida e brita.

Figura 17 – Sistema aquapônico em construção



Fonte: Do Autor (2019).

As camas de cultivo abrigarão plantas que demandam mais espaço, como sálvia, manjeriço, cebolinha, tomate, pimenta e hortelã. Já os canos da técnica NFT abrigarão hortaliças: alface crespa, americana, mimosa, crespa vermelha e lisa, agrião e rúcula. Embora as duas técnicas tenham sido aplicadas e executadas, o sistema NFT não foi usado até então pela insuficiência de tempo do trabalho, dessa forma, as camas de cultivo foram escolhidas para operação, pondo à prova o sistema automatizado.

Figura 18 – Sistema aquapônico em funcionamento



Fonte: Do Autor (2019).

O tanque dos peixes é composto pela caixa de água com peixes da espécie tilápia (*Oreochromis niloticus*) como principal, e peixes cascudos (*Hypostomus commersoni*), como secundários, auxiliando na limpeza do tanque. A escolha da tilápia se deve ao embasamento técnico muito conhecido da mesma, que expõe os motivos de ela ser a principal espécie a ser usada na aquaponia: por ser resiliente e rústica, suportando os parâmetros que as bactérias e as plantas precisam, como por exemplo o pH; pela grande aceitação comercial e por ser uma espécie exótica, de clima tropical, sendo ideal para os testes do projeto que irá controlar a temperatura da água, para que fique próxima aos 25 graus célsius, mesmo em clima frio, como no inverno, nos meses em que o projeto foi implementado.

O peixe cascudo é uma espécie nativa, o que facilita o seu desenvolvimento no tanque. Ele foi escolhido principalmente por que se alimenta de detritos e perifíton, que é a camada de biofilme localizada nas extremidades do tanque, dessa forma auxilia na limpeza e ajuda a prevenir o entupimento da bomba.

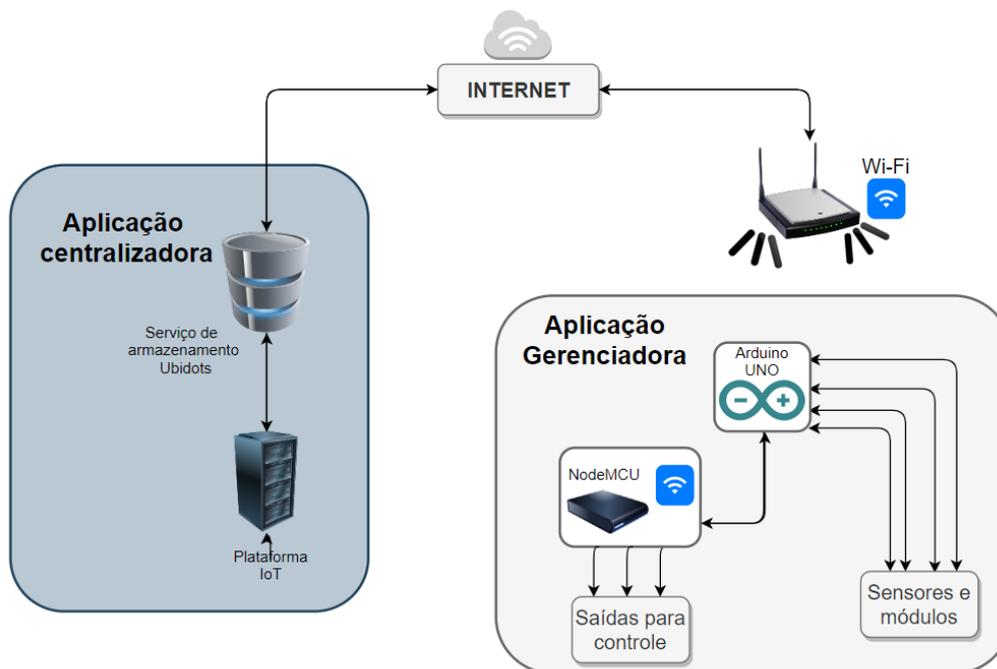
Nas próximas seções serão apresentadas informações detalhadas da aplicação centralizadora e da aplicação gerenciadora.

### **4.3 Aplicações do Projeto**

Neste trabalho é proposto um sistema composto por duas aplicações distintas, cada uma tendo uma função diferente, uma será encarregada pela centralização dos dados e a outra parte para a função de gerenciamento. A aplicação centralizadora será feita na plataforma Ubidots, gerando a interface Web para o usuário. Além disso na Ubidots são armazenados os dados coletados, obtidos através do protocolo MQTT.

A aplicação gerenciadora estará sempre coletando dados e enviando para a aplicação centralizadora, para que o usuário possa executar uma ação, controlando os parâmetros que interferem na qualidade da água, caso necessário. Na Figura 19, é apresentado um diagrama macro da visão do projeto, a arquitetura do sistema e sua operabilidade.

Figura 19 – Arquitetura do sistema proposto



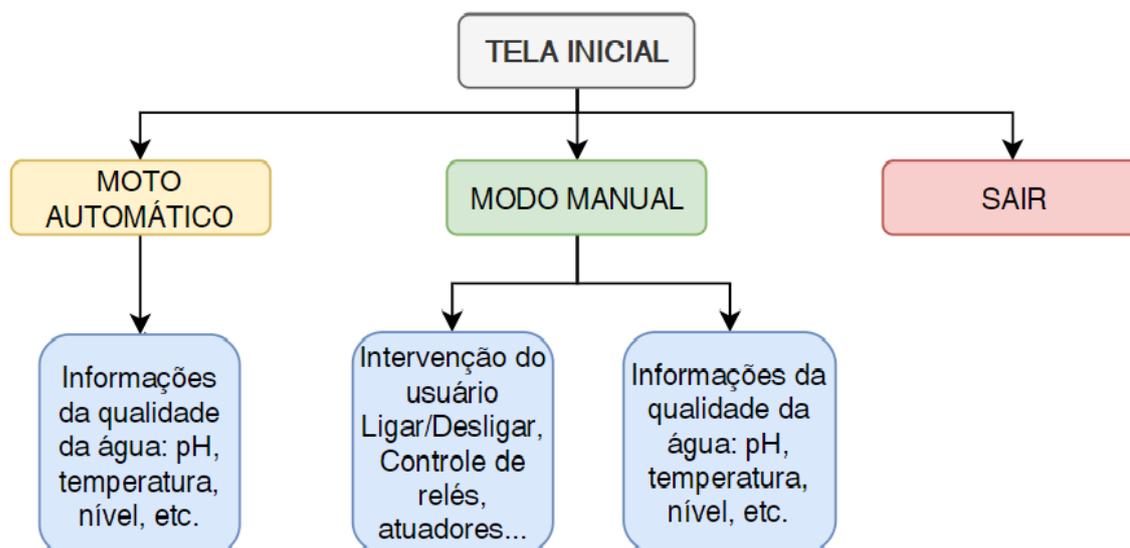
Fonte: Do Autor (2019).

#### 4.3.1 Aplicação Centralizadora

Quando a aplicação centralizadora é executada, o usuário receberá um menu principal que representa diretamente o sistema de automação no modo automático. A aplicação consiste em uma única camada, com o objetivo de simplificar e acelerar os usuários no monitoramento e controle.

A exibição da tela do aplicativo no modo automático traz somente as informações sobre o valor dos vários sensores. A partir do momento que o usuário optar por entrar no modo manual, há um menu para obter o acesso detalhado para controlar os relés, como ligar ou desligar a resistência para aquecimento da água, as bombas de água, etc. Na Figura 20, é apresentado o design da estrutura da aplicação.

Figura 20 – Estrutura da aplicação centralizadora do projeto



Fonte: Do autor (2018).

Ao realizar o acesso a aplicação centralizadora no modo automático, o usuário terá a seu dispor um sistema onde é possível visualizar informações coletadas. Será possível visualizar estes dados através de *dashboards* (gráficos e tabelas), que informam visualmente a qualidade da água, considerando todos parâmetros coletados pelos sensores. Na Figura 21 é apresentada a interface no modo automático de operação.

Figura 21 – Interface de acesso no modo automático de operação



Fonte: Do autor (2018).

Para realizar ações ou interferir no sistema, o usuário deverá entrar no modo manual de operação, designando as tarefas para a aplicação gerenciadora. Abaixo é demonstrado, através da Figura 22, a aplicação centralizadora no modo manual de operação.

Figura 22 – Modo manual de operação



Fonte: Do autor (2019).

A aplicação centralizadora também ficará encarregada de emitir alertas caso os parâmetros da água estejam fora da faixa de segurança, ou seja, abaixo dos valores mínimos ou acima dos valores máximos que os organismos presentes suportam. Esses alertas acontecerão através de envio de e-mail e também invocando uma trigger que irá enviar um Telegram<sup>1</sup> para o usuário.

Quadro 3 – Faixa de segurança dos parâmetros para emissão de alertas

Parâmetro	Faixa de segurança
Temperatura	18 - 30 °C
pH	6,0 – 7,5

<sup>1</sup> O Telegram é um serviço de mensagens instantâneas baseado na nuvem, oferece troca de mensagens de texto, áudio, vídeo e fotos.

Nível	Abaixo do nível mínimo
Fluxo	Menor que 1 L/min

Fonte: Do autor (2019).

Além de emissão de alertas decorrentes dos valores dos parâmetros fora da faixa de segurança, serão emitidos alertas quando o sistema estiver apresentando inatividade, ou seja, quando por um determinado tempo, os parâmetros coletados estiverem ociosos, o que pode ser sinal de falha na conexão wireless, falha na comunicação com o broker MQTT, ou até mesmo pane no sistema.

#### 4.3.2 Aplicação Gerenciadora

A aplicação gerenciadora consiste em duas plataformas de hardware distintas, o Arduino UNO e o NodeMCU. Ambas plataformas foram utilizadas complementando uma a outra, devido ao fato de o Arduino UNO possuir um conversor ADC de 10 bits e 6 canais de saída, com possibilidade de leitura de tensões de entrada entre 0 e 5 volts, faixa de tensão que os sensores mais importantes trabalham, enquanto o NodeMCU tem apenas uma saída analógica de 10 bits e opera somente na faixa de 0 e 1 volts, além de possuir uma baixa qualidade gerando ruídos na leitura, o que interfere na obtenção de dados corretos, dificultando ou até impossibilitando o uso dos sensores.

É importante relatar que anteriormente à escolha da associação do Arduino com o NodeMCU, foram realizados testes com o Raspberry Pi como único hardware, que havia sido escolhido inicialmente por possui um processador rápido, bem como módulo Wi-Fi integrado. Porém, tendo em vista que é necessário obter sinais analógicos através dos sensores, seria necessário utilizar um ADC externo ao Raspberry Pi, como por exemplo o circuito integrado ADC0804, já que o Raspberry

não possui nenhuma entrada analógica. Isso, além de encarecer o projeto, iria dificultar a pesquisa, tornando-a mais suscetível a erros.

Tendo em vista os fatos comentados, a melhor solução foi aliar o Arduino ao NodeMCU. O Arduino foi escolhido por diversas causas, sua experiência de usuário simples e acessível, por possuir plataforma cruzada, ambiente de programação simples e claro, hardware *open source* e extensível, além de possuir baixo custo comparado a outras plataformas de microcontroladores. Já o NodeMCU, foi escolhido para o projeto por ter baixo custo, tamanho reduzido, baixo consumo de energia e suporte integrado a redes WiFi, o qual o Arduino não possui.

A aplicação gerenciadora utiliza softwares feitos na linguagem de programação C. Sua escolha para o trabalho se deve pela questão da portabilidade, pois o mesmo programa C deve poder ser executado em máquinas e sistemas operacionais diferentes; pela concisão, pois várias operações podem ser combinadas em um único comando, por gerar códigos menores e mais elegantes, aumentando a produtividade dos programadores e pela possibilidade de decomposição de um programa em módulos onde diferentes partes do código podem ser escritos por programadores diferentes, tornando a manutenção do código mais simples.

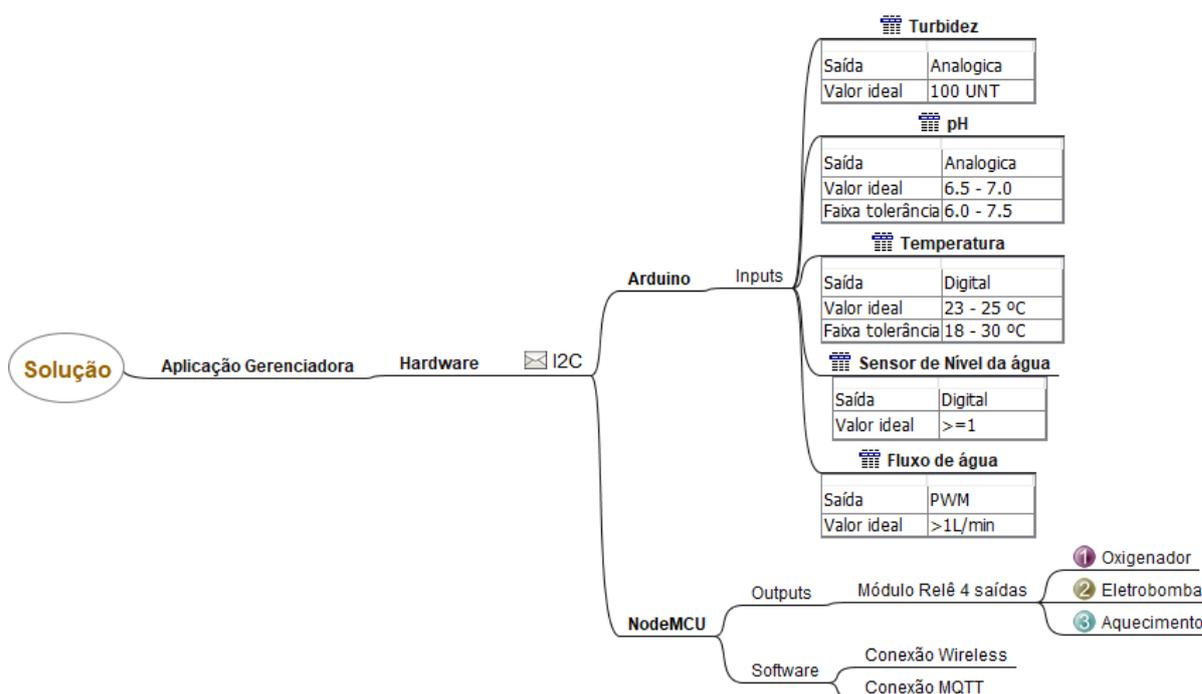
Funciona de forma autônoma, coletando os dados dos sensores e enviando, via protocolo MQTT, à plataforma Ubidots. A aplicação gerenciadora executará uma determinada ação definida pela aplicação centralizadora, quando estiver no modo de operação manual.

Dado que a aplicação gerenciadora se dará através da comunicação entre dois dispositivos, cada um desempenha um papel individual. O Arduino é responsável por coletar os dados dos sensores, obtendo as informações sobre a qualidade da água em um intervalo de dois segundos. O NodeMCU receberá os dados coletados do Arduino via Protocolo I2C, e é o responsável pelo controle do sistema, através da análise das informações. Além disso, esta conectado em rede local via wireless, enviando dados, através do Protocolo MQTT, até a plataforma Ubidots.

Na Figura 23 é ilustrado um mapa mental dos componentes da aplicação gerenciadora. A partir da solução, dois hardwares são traçados, no Arduino, as linhas

levam até quadros em que os valores de cada parâmetro e o tipo de sinal que os sensores enviam são demonstrados. No NodeMCU são discriminadas as técnicas de conexão utilizadas e as saídas para controle do sistema.

Figura 23 – Mapa mental da Aplicação Gerenciadora



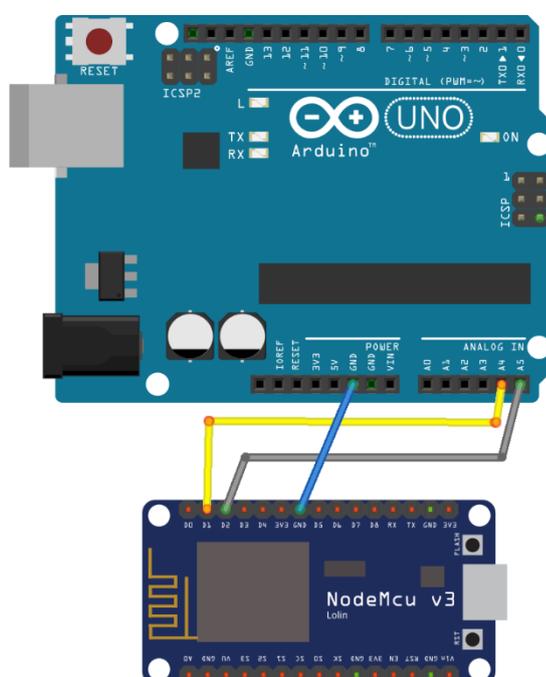
Fonte: Do autor (2019).

A comunicação entre os dois dispositivos é feita via Protocolo I2C, sendo que ambos possuem pinos relacionados a este. O Arduino atuará como escravo, sendo o transmissor e o NodeMCU como mestre, receptor das informações. No Arduino UNO que contém o microcontrolador Atmega328p, o pino de SDA é a porta analógica A4 e o pino SCL é a porta A5. No NodeMCU, a porta SDA é o pino D2 e o SCL é o pino D1.

Para conectar os dispositivos, foi necessário analisar que eles trabalham em tensões diferentes, sendo que o Arduino trabalha em 5V e o NodeMCU em 3,3V. Diante deste fato, seria necessário o uso de um conversor de nível lógico bidirecional, porém, com pesquisas mais aprofundadas no datasheet oficial do ESP8266 (microcontrolador integrado no NodeMCU), descobriu-se que o mesmo possui um

circuito protetor de sobretensões, suportando tolerância de 5V, dispensando o uso de um conversor. Dessa forma, a ligação é feita somente pela porta SDA e SCL. Na Figura 24, é possível ver a ligação entre os dois dispositivos através do Protocolo I2C, também conhecido como Two Wire Interface, ou Interface de dois fios (TWI).

Figura 24 – Ligação entre os dois dispositivos via Protocolo I2C



Fonte: Do autor (2019).

Os dois dispositivos preparam os pinos para iniciar a comunicação através do Protocolo I2C, então o mestre, que é o NodeMCU envia um comando, solicitando informação para o slave, aguardando um retorno de 20 bytes, que são os cinco parâmetros coletados pelo Arduino, todos são do tipo float, possuindo 4 bytes cada um.

Como já ilustrado na Figura 23, o Arduino irá coletar os dados de cinco variáveis da água, são elas: temperatura, fluxo, pH, turbidez e nível. Cada variável possui suas peculiaridades de operação, portanto suas implementações são feitas de forma

individual. Por exemplo, o sensor de pH trabalha com saída analógica, já no sensor de temperatura, a saída é digital.

#### **4.3.2.1 Sensor de Temperatura**

Para o monitoramento da temperatura da água, foi utilizado o sensor DS18B20, é um sensor digital, de baixo custo e propício para a utilização neste projeto. Na sua versão encapsulada é a prova de água, pode ser submerso até 24 metros de profundidade ou suporta uma pressão de cerca de 2,35 bares 34,08387 PSI, realiza leituras com precisão de até  $\pm 0,5$  °C na faixa entre -10 °C e +85 °C, e envia as informações para o Arduino utilizando apenas um fio, por possuir uma interface 1-Wire. A saída da informação pode ser configurada de 9 a 12 bits.

O sensor DS18B20 foi colocado no fundo do tanque por questões físicas da termodinâmica, que provam que as temperaturas altas são menos densas, portanto ficam em cima, e mais baixas são águas mais pesadas, ficando embaixo, garantindo que o tanque fique aquecido por inteiro. Além disso, há uma bomba circulando a água entre o tanque e também invertendo as camadas da água. O sensor irá receber os dados provenientes do Arduino e irá realizar o controle através do relé de quatro canais, que está conectado.

#### **4.3.2.2 Sensor de pH**

Quanto ao monitoramento do pH da água, foi escolhido um kit pHmetro com eletrodo PH0-14, consiste em duas partes; a placa de circuito que consiste em vários Op-Amps e ICs para calcular o pH e a sonda de pH. Tem um baixo custo e possibilita o monitoramento contínuo por pelo menos 1 ano sem alteração de seu funcionamento. Requer uma tensão de entrada de 5VCC e tem um intervalo de medição de 0-14 (toda faixa de pH). A Figura 25 ilustra o pHmetro utilizado no trabalho proposto.

Figura 25 – Sensor pHmetro PH0-14



Fonte: DFrobot.com (2019).

O pH, assim como a temperatura, é um dos parâmetros mais importantes na aquaponia, a sua estabilidade é indispensável para um bom funcionamento do sistema.

Conforme a Figura 25 ilustra, existem dois potenciômetros no circuito. O que se encontra mais perto do conector BNC da sonda é responsável por calibrar o pH, o outro é o limite de pH. A fonte de medição adota sinal AC, que reduz efetivamente o efeito de polarização, melhora a precisão e prolonga a vida útil da sonda.

O alcance médio da sonda oscila entre valores negativos e positivos, pelo fato desta placa por padrão ter um pH 7 ajustado para 0V, isso significa que a voltagem irá para valores negativos ao ler valores ácidos de pH os quais não podem ser lidos pela porta analógica do Arduino. Esse potenciômetro funciona como regulador e é usado para alterar isso, para que um pH de valor 7 seja lido é esperado um valor de 2,5V para o pino analógico do Arduino, o qual pode ler tensões entre 0V e 5V, portanto, o 2,5V que é o ponto médio entre 0V e 5V representa um pH 7 (valor mediano entre o intervalo de pH 0 e pH 14).

Para realizar essa calibração, primeiramente foi desconectado a sonda do circuito e realizado um curto-circuito do interior do conector BNC com o exterior,

medido com um multímetro o valor do pino Po (pino responsável pela saída analógica) e ajustando o potenciômetro para que a saída fosse exatamente 2,5V. No segundo passo para a calibração, calcula-se o fator de calibração, para isso, foi coletado a tensão, a partir de duas amostras de pH, em uma faixa próxima do intervalo que será usado no sistema aquapônico, são elas; pH neutro de 7.0 e outra com um pH mais ácido de 4.

A terceira e última etapa é feita por tratamento de código, consiste em coletar 10 amostras da entrada analógica A0, ordená-las, descartar as maiores e menores e calcular a média com as seis amostras restantes, convertendo esse valor em tensão na variável `vontagemPH`, usando então a equação que foi calculada com os valores de referência de pH, converte-se `vontagemPH` para `valorPH`.

Figura 26 – Código para obter o pH da água

```

#define pino_ph A0
float calibracao = 21.34; //Valor obtido na equação de calibração
unsigned long int valorMedio;
float b;
int buf[10], temp;

void obterPH() {
  for (int i = 0; i < 10; i++)
  {
    buf[i] = analogRead(pino_ph);
    delay(10);
  }
  for (int i = 0; i < 9; i++)
  {
    for (int j = i + 1; j < 10; j++)
    {
      if (buf[i] > buf[j])
      {
        temp = buf[i];
        buf[i] = buf[j];
        buf[j] = temp;
      }
    }
  }
  valorMedio = 0;
  for (int i = 2; i < 8; i++)
    valorMedio += buf[i];
  float vontagemPH = (float)valorMedio * 5.0 / 1024 / 6;
  float valorPH = -5.70 * vontagemPH + calibracao;
  Serial.print("Valor pH = ");
  Serial.println(valorPH);
  delay(20);
}

```

Fonte: Do autor (2019).

#### 4.3.2.3 Sensor de Nível

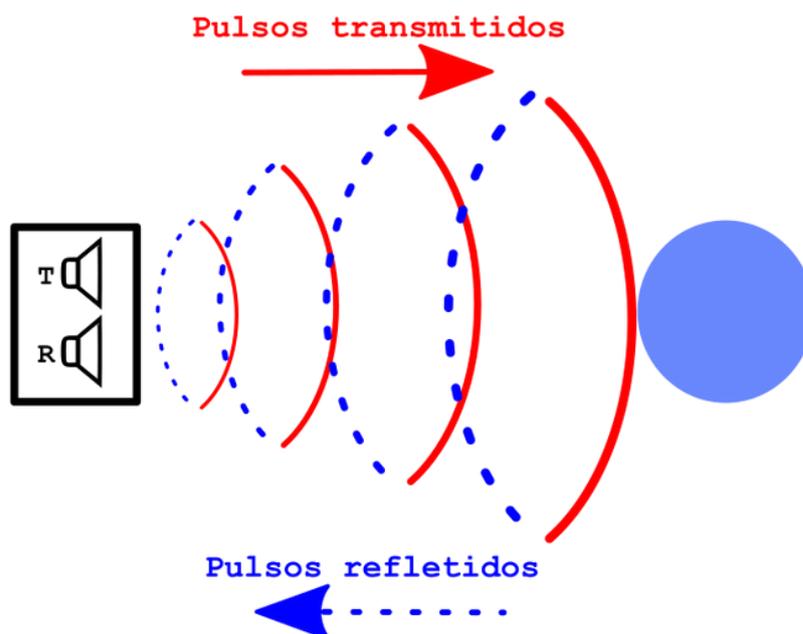
Para monitorar o nível da água nos tanques, como alternativa, tentou-se utilizar um sensor ultrassônico de distância para calcular o volume de água presente, porém através de pesquisas e tentativas de implementação constatou-se que a complexidade era grande demais para o tempo disponível, a solução foi adiada para trabalhos futuros, e foi usado um sensor de nível de água de bóia, menos complexo, que mede apenas o nível.

O sensor ultrassônico tem um grande diferencial, ele pode medir variáveis como enchimento, curvatura e altura sem a necessidade de contato, além de funcionar independentemente do acabamento superficial ou da cor do produto. No contexto deste projeto, a transparência da água, turbidez ou sujeira não representam problemas.

Pelo fato da utilização deste sensor ser no meio aquoso, o módulo ideal seria o JSN-SR04TO, é um sensor de baixo custo, baixo consumo de energia e de alta precisão, além de ser integrado com sonda de fio fechado à prova d' água, ideal para ambientes molhados.

Conforme ilustrado na Figura 27 este sensor mede distâncias com base na velocidade do som no ar e na diferença de tempo entre a emissão e recepção de um sinal ultrassônico.

Figura 27 – Comportamento de reflexão das ondas transmitidas pelo sensor ultrassônico

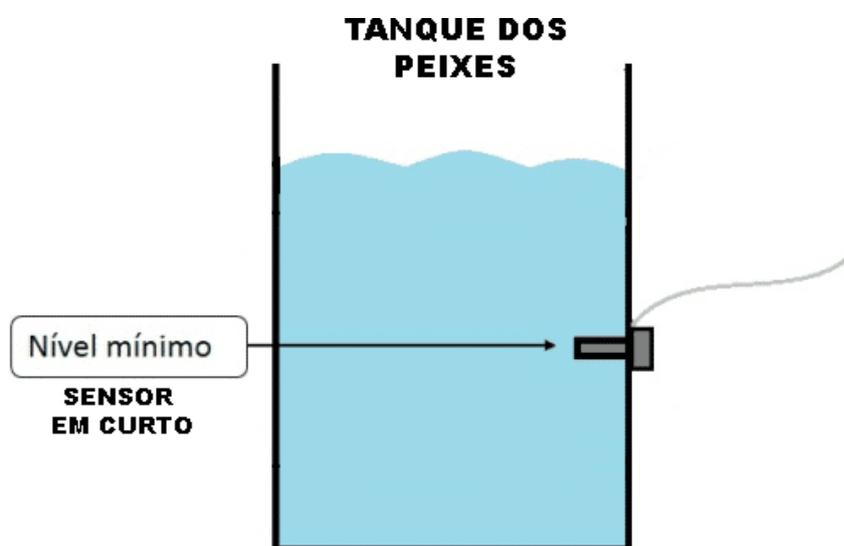


Fonte: Embarcados (2017).

A intenção de usar o sensor ultrassônico era a de calcular o volume de água presente no tanque, isso é importante pois despertou possíveis soluções para o controle do pH, sendo que sabendo o volume de água presente no tanque e o nível de pH, é possível calcular a quantidade de solução para aumentar ou diminuir o pH, deixando-o em valor ideal.

A aquaponia é um sistema que reutiliza a água, então é pouco provável que o nível do tanque diminua drasticamente, a não ser que haja algum problema de vazamento, pois a única forma de diminuir o nível é por processos naturais como a evaporação. Portanto, o dispositivo usado foi o sensor de nível de água com boia horizontal, colocado no lugar onde o nível da água seria mínimo, assim, se por acaso a água estiver abaixo deste nível é porque houve algum problema. Este dispositivo tem seu funcionamento através de um reed switch interno: quando a água atinge o nível mínimo desejado a boia é elevada, entrando em curto, dessa forma fazendo com que o Arduino detecte.

Figura 28 – Sensor de nível de água em funcionamento



Fonte: Do autor (2019).

#### 4.3.2.4 Sensor de Fluxo de Água

Para medir o fluxo da água, foi utilizado o sensor YF-S201. Este, trabalha com uma faixa de vazão de 1-30 L/min. Possui em seu interior uma hélice que contém um íman acoplado, o qual trabalha em conjunto com um sensor de efeito Hall, que detecta as voltas dadas pelo íman, enviando um sinal PWM. Através dos pulsos enviados é possível mensurar a vazão de água.

Na Figura 29, é apresentado o modelo do sensor de fluxo da água utilizado.

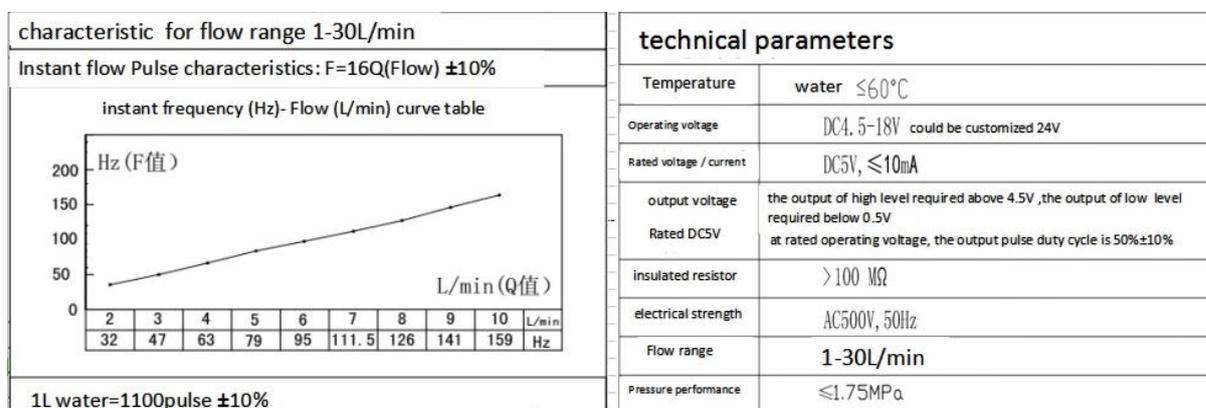
Figura 29 – Sensor de fluxo de água, modelo YF-S201



Fonte: FilipeFlop (2019).

O sensor foi conectado logo após a bomba que transporta a água para as camas de cultivo, como forma de prevenir possíveis falhas no sistema, como entupimento da bomba devido ao acúmulo de impurezas, obstrução da tubulação e bomba queimada ou com defeito. Foi conectado ao pino digital 2 do Arduino, pois esse pino trabalha com interrupções, tendo em vista que a cada volta da hélice contabiliza uma interrupção.

Figura 30 – Características da faixa de vazão e parâmetros técnicos do sensor de fluxo YF-S201



Fonte: Datasheet YF-S201 (2019).

Para obtenção do fluxo da água é realizada a instrução do comando sei(), onde a interrupção é iniciada no pino 2, é aguardado um período de 1 segundo para contabilizar o número de pulsos neste determinado tempo, a cada pulso é acrescentado uma unidade na variável *quantidade\_de\_pulsos*, após o término do tempo, a interrupção é finaliza através do comando cli().

Com o conhecimento de que quando a vazão representa o valor de 1 L/min, a sua frequência é 7,5 pulsos/segundo, temos a seguinte equação para o cálculo do fluxo:

$$Q = 7,5 \times p/t \quad (1)$$

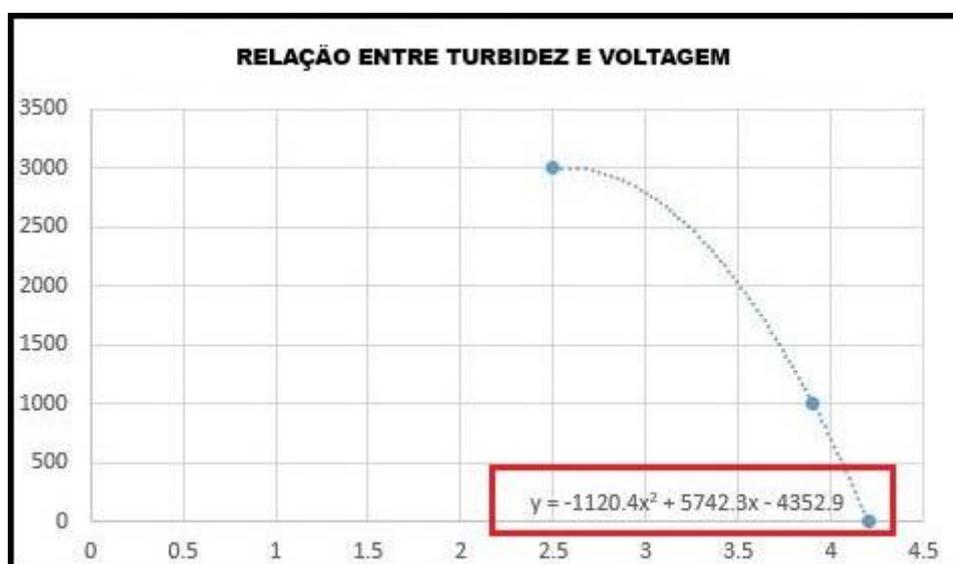
Onde Q é a vazão de L/min, p representa o número de pulsos e t é o tempo da contagem de pulsos em segundos, nesse caso, o período determinado foi de 1 segundo.

#### 4.3.2.5 Sensor de Turbidez

O módulo sensor de turbidez utilizado neste projeto será usado para detectar e verificar a qualidade da água, vindo a fazer a medição da turbidez, onde permite verificar os resultados por meio de sinal digital ou analógico. Neste projeto optou-se por utilizar a saída analógica do sensor.

Este sensor emite em sua extremidade uma luz infravermelha, imperceptível à visão humana, capaz de detectar partículas que estejam em suspensão na água, fazendo a medição da transmitância de luz e da taxa de dispersão, a qual muda de acordo com a quantidade de TSS. Possui uma extremidade especialmente preparada para contato direto na água, possuindo um módulo eletrônico para amplificar e enviar os dados recebidos ao Arduino. Na Figura 31, encontra-se o gráfico da equação que relaciona a tensão na saída analógica com unidade de expressão da turbidez (NTU).

Figura 31 – Relação entre turbidez e voltagem

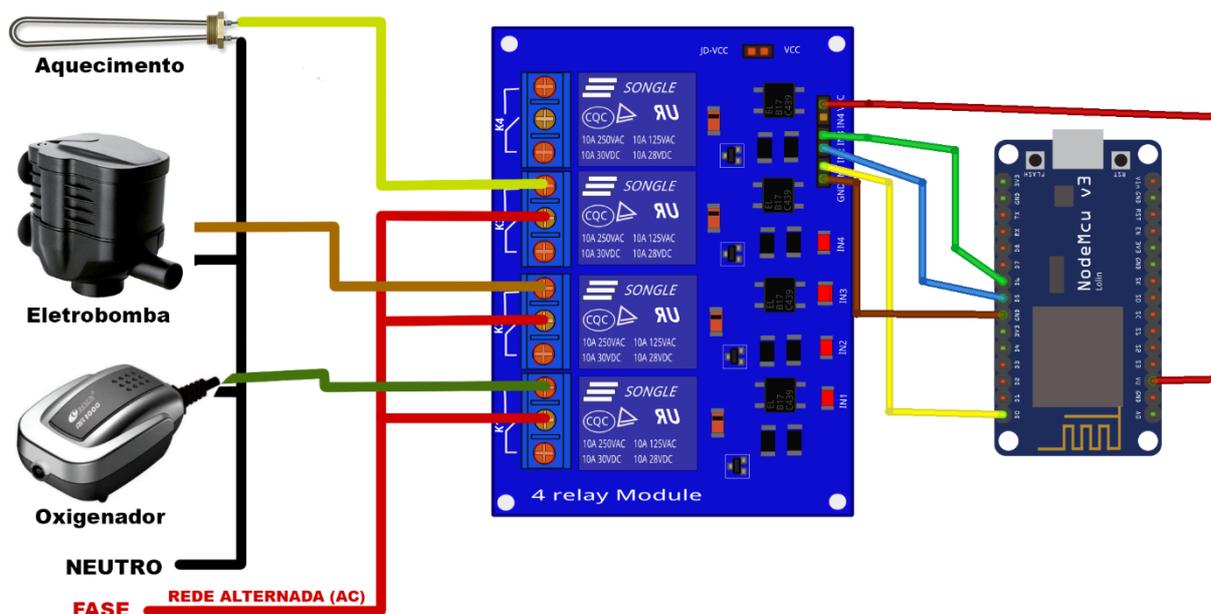


Fonte: Do autor, adaptado de DFRobot (2019).

### 4.3.2.6 Controle do Sistema

Com os parâmetros da água devidamente coletados através do Arduino e enviados ao NodeMCU, inicia-se o controle do sistema. Todo controle do sistema será realizado pelo NodeMCU, realizado com o uso de um módulo relé de quatro canais, neste projeto, usa-se apenas três, das quatro entradas disponíveis. Na Figura 32, é ilustrada a ligação entre o NodeMCU e o módulo, bem como os periféricos de controle utilizados em cada canal.

Figura 32 – Esquema de ligação para controle da água



Fonte: Do autor (2019).

No canal um (*IN1*), é ligado o oxigenador, que fica ligado sem interrupções, constantemente, pois níveis de oxigênio maiores do que o necessário não irão interferir no sistema. Seria interessante obter um sensor de oxigênio dissolvido (OD), controlando o acionamento do oxigenador, economizando energia, porém, por possuir alto custo e indisponibilidade no Brasil, torna-se inviável.

No canal dois (*IN2*), é conectado a eletrobomba, tem como papel realizar a circulação da água do tanque dos peixes até a cama de cultivo.

Essa irrigação é feita no formato T15 (15 minutos de fluxo de água e intervalo de 15 minutos), o intervalo é necessário para as raízes conseguirem absorver o oxigênio, enquanto os minutos de fluxo constante levam a água até as raízes, de forma que os nutrientes sejam absorvidos. Para realizar esse controle foi utilizado o timer interno do ESP8266, este timer é baseado em software e o limite mínimo é 1 mS e máximo de 2 horas. Devido ao fato de ser baseado em software, esse tipo de timer pode ter a influência de alguns fatores e conseqüentemente atrasar em alguns mS, nas premissas desse projeto, não é um fator crítico, tendo em vista que alguns mS ou até mesmo segundos não irão interferir no funcionamento correto do sistema.

No canal três (*IN3*), localiza-se a resistência responsável pelo aquecimento da água. Escolheu-se uma resistência de aquecimento lento, de modo que a água aqueça lentamente, assim possibilitando que o metabolismo dos peixes se acostume com o aquecimento gradual da água, até chegar na temperatura ideal. O NodeMCU fará a administração da temperatura, controlando-a na faixa de 23 a 25 graus celsius. Não foram realizados controles para resfriamento da água, por não constituírem uma demanda imediata, os quais ficarão para trabalhos futuros.

Quando o fluxo for menor que 1 L/min é sinal de que existe algo problemático no sistema, podendo ser a bomba com defeito, encanção entupida ou dobrada. Com o fluxo abaixo deste valor, a água não tem vazão suficiente para subir até as camas de cultivo, onde os vegetais se encontram; neste caso, a aplicação gerenciadora irá desativar o relé em que a bomba está conectada e a aplicação centralizadora irá comunicar a situação problemática para o usuário via e-mail e Telegram.

#### **4.3.2.7 Interação com a Aplicação Centralizadora**

A conexão com a internet foi realizada através do modulo wireless ESP8266 acoplado ao NodeMCU, essa conexão é necessária para que haja a comunicação com o broker MQTT da aplicação centralizadora e então seja possível a troca de

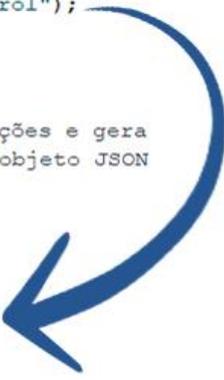
dados. Utilizou-se a biblioteca própria do serviço do Ubidots, que é *UbidotsESPMQTT.h*, a qual por padrão usa a porta 1883. Basicamente é necessária uma conexão ativa com a internet e informar o *token* do usuário (obtido no momento do registro da plataforma). Com isso inicia-se o processo de conexão. Se a conexão for bem-sucedida, já é possível publicar e assinar tópicos do MQTT, caso contrário, retornará um erro e desconectará o cliente.

Para enviar os parâmetros obtidos e os status de controle do sistema, é enviado uma mensagem *publish*, basta chamar a função *cliente.add()*, passando dois parâmetros: variável a qual o dado deve ser publicado e o respectivo valor. A API da plataforma do Ubidots aguarda um objeto no formato JSON, para isso, a biblioteca cria esse objeto e realiza o envio da mensagem *publish* com os respectivos dados. Com o envio da mensagem do objeto JSON, os dados são armazenados e disponibilizados na aplicação centralizadora.

Figura 33 – Envio de dados (PUBLISH) para aplicação centralizadora.

```
void envia_dados_mqtt() {
  client.add("temperatura", temperatura);
  client.add("ph", ph);
  client.add("nivel", nivel);
  client.add("turbidez", turbidez);
  client.add("fluxo", fluxo);
  client.add("bomba", bomba);
  client.add("oxigenador", oxigenador);
  client.add("resistencia", resistencia);
  client.ubidotsPublish("control");
  delay(50);
}

//Biblioteca trata as informações e gera
//um objeto JSON
{
  "temperatura":valor,
  "ph":valor,
  "nivel":valor,
  "turbidez":valor,
  "fluxo":valor,
  "bomba":valor,
  "oxigenador":valor,
  "resistencia":valor
}
```



Um dos aspectos negativos por não optar pelo protocolo HTTP é que a aplicação gerenciadora teria que realizar continuamente solicitações GET para o servidor Ubidots, para ver se há uma alteração em uma variável, em seguida, realizar uma ação dependendo da última leitura. Isso exige muitas solicitações e não é uma interação totalmente em tempo real, pois depende da frequência de pesquisa.

Com o MQTT, o dispositivo pode “ouvir” determinado dado e só ser notificado quando houver uma alteração na variável. Dessa forma, a conexão entre o dispositivo e o servidor é deixada em aberto, mas os dados só são transmitidos quando necessário, economizando bateria, largura de banda de rede e melhorando a experiência em tempo real.

Por causa disso, o MQTT é um protocolo de comunicação recomendado para implementar rotinas de firmware para controlar atuadores. Para isso, é necessário assinar o tópico (variável) que deseja receber o último valor, enviando uma mensagem de *subscribe* com o tópico escolhido, com isso a aplicação centralizadora retornará o último valor da variável como um único valor flutuante. Isso facilita a análise do NodeMCU para posteriormente realizar o controle dos periféricos ligados ao módulo relé.

## 5 RESULTADOS

Neste capítulo serão abordados e analisados dados do funcionamento do sistema desenvolvido, seus resultados e alguns problemas identificados.

O monitoramento do sistema foi implantado 10 dias após o sistema aquapônico ter entrado em funcionamento. Ficou em funcionamento durante trinta dias neste período de testes, não apresentando erros graves nem travamentos, mesmo tendo contato com umidade e demais intempéries devido a estar instalado em caixinhas, no ambiente externo.

Algumas instabilidades foram ocasionadas devido ao mal contato quando o sistema precisou de manutenção ou estava em testes, assim perdendo a comunicação entre os dois hardwares, Arduino e NodeMCU. Outra característica que deve ser ressaltada é que o sinal wireless não tinha alcance muito bom até o sistema, porém, esse fato não influenciou nos testes, apenas uma vez a conexão com a internet foi perdida, conseqüentemente neste período não foram enviados os dados coletados para a aplicação centralizadora, período esse que durou em torno de 35 minutos, logo após a conexão com a internet foi restabelecida.

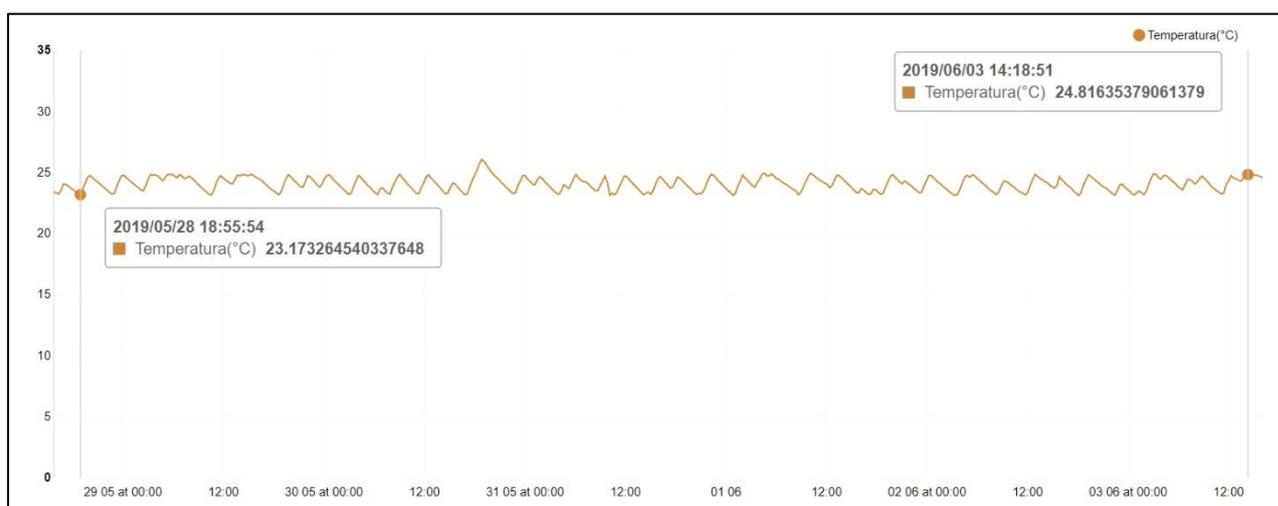
A turbidez da água manteve-se em níveis baixos, a criação de cascudos juntamente com as tilápias ajudou na limpeza e também tendo em vista que a água pode ficar mais turva com sólidos suspensos devido ao acúmulo de ração não consumida, visto que a quantidade de ração dada aos peixes foi bem controlada. Quanto ao nível de água no tanque, o sensor teve bom funcionamento, mostrando

estabilidade, isso deve-se aos fatos de que não houve vazamentos e o sistema é coberto, protegido da chuva.

Principalmente pelo clima da região onde o sistema foi implantado ser subtropical, as temperaturas estão mais baixas na época de teste, sendo que o controle da temperatura foi primordial para que os peixes sobrevivessem, bem como para que as bactérias continuassem nitrificando a água, pois em temperaturas baixas seu metabolismo fica reduzido, conseqüentemente diminuindo a nitrificação.

Na Figura 34 são apresentados os dados provenientes do controle de temperatura do sistema.

Figura 34 – Controle da temperatura em uma semana



Fonte: Do autor (2019).

O sensor de temperatura obteve um tempo de resposta extremamente rápido e preciso, conseqüentemente o controle da temperatura da água entre a faixa definida foi constante e certo, com uma mínima diferença em alguns momentos, por consequência do fator da termodinâmica. Dessa forma sendo uma ótima escolha, devido ao sensor ser barato e simples de implementar.

Visto que o sistema obteve uma boa estabilidade, foram realizadas simulações, afim de testar a solução implementada. Na Figura 35, observa-se o momento em que o Arduino foi desligado manualmente durante alguns minutos, com o objeto de simular uma falha de comunicação, que conseqüentemente ocasionaria erro na coleta dos parâmetros da água.

Figura 35 – Teste alerta aplicação centralizadora



Fonte: Do autor (2019).

Ao perder a comunicação com o Arduino todos os parâmetros são definidos como nulos (valor igual a zero). Logo que a comunicação foi perdida, a aplicação centralizadora emitiu o alerta via Telegram para o número cadastrado, assim como mostra o teste da Figura 35.

O *MQTT broker* da plataforma Ubidots mostrou-se extremamente estável e rápido, todos os alertas foram emitidos praticamente em tempo real, viabilizando uma

correção rápida no sistema quando necessário. Na Figura 36, pode-se observar que tanto o alerta via e-mail, quanto via Telegram tiveram um tempo de resposta muito satisfatório.

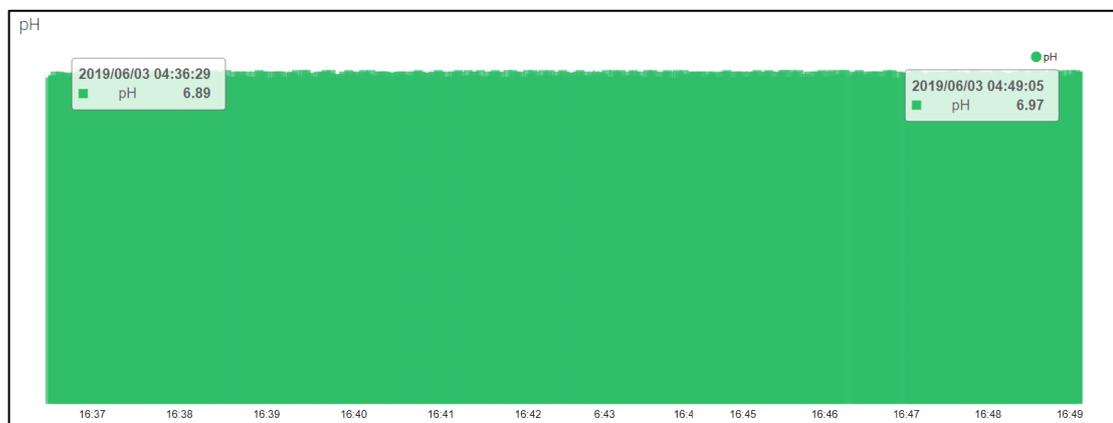
Figura 36 – Simulação de alertas faixa de segurança da temperatura



Fonte: Do autor (2019).

O sensor de pH comportou-se bem, obtendo em média uma margem de erro de 0,08. Isso é consequência de dois fatores: o sensor é extremamente sensível a voltagem e qualquer oscilação mínima pode interferir no valor; ademais, valores de pH diferem em diferentes temperaturas. Embora isso possa parecer incômodo, o valor não é extremamente grande, sendo que na faixa de temperatura entre 10 - 30 graus Celsius o pH difere em cerca de 0,06.

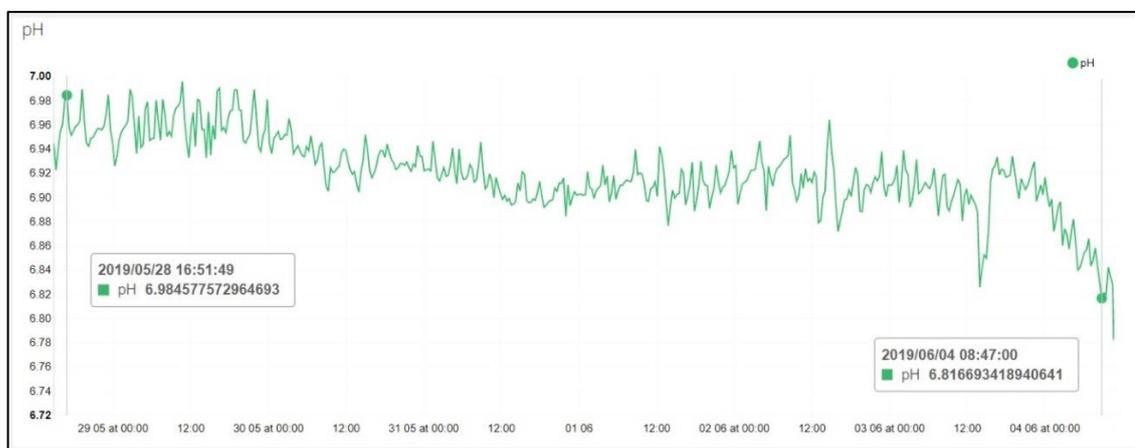
Figura 37 – Precisão do sensor de pH



Fonte: Do autor (2019).

Tendo em vista que conforme as bactérias criam suas colônias e nitrificam a água o valor do pH tende a cair, é possível verificar na Figura 38 que isso passou a acontecer a partir de quarenta dias depois que o sistema aquapônico foi implantado. Nota-se que este foi o período de ciclagem necessário para as colônias de bactérias se formarem, consumindo a amônia e convertendo-a através do processo de nitrificação, o qual é responsável por consumir a alcalinidade da água deixando-a mais ácida, ou seja, níveis mais baixos de pH.

Figura 38 – Redução do pH em uma semana

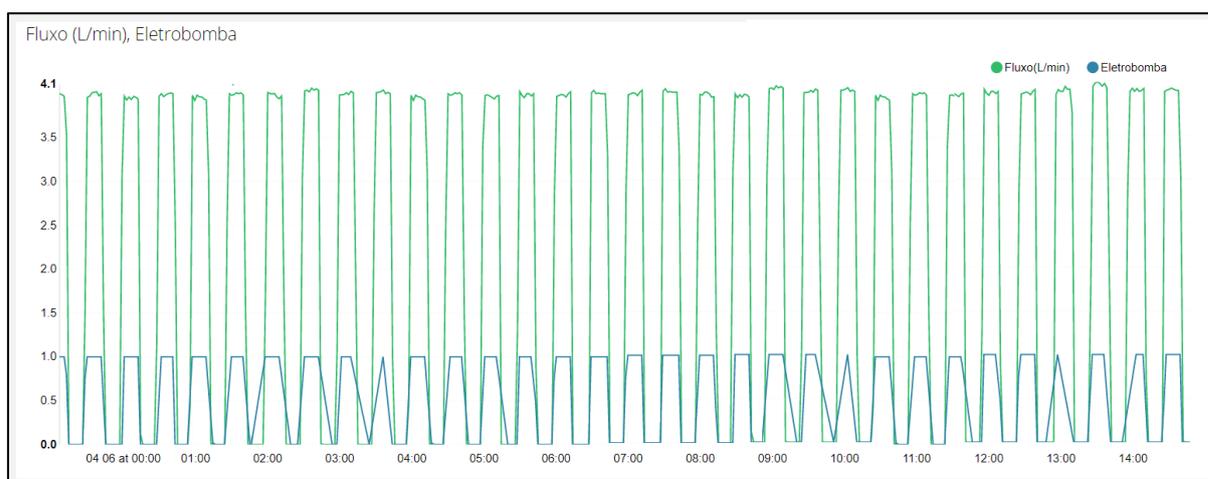


Fonte: Do autor (2019).

Isso é um vestígio que indica um bom funcionamento do filtro biológico, beneficiando os organismos do sistema. Este fato é consequência de muitos aspectos, porém, o controle da temperatura foi imprescindível para que este processo tenha acontecido.

Fator crucial para um sistema próspero é o intervalo em que a água é circulada no sistema. Na Figura 39, pode-se observar o funcionamento do timer, bem como o acionamento da eletrobomba gerando o fluxo da água. A implementação mostrou-se bem eficaz, desligando e ligando a bomba no momento correto. Vale ressaltar que em alguns momentos, houve um atraso no envio do status da eletrobomba para a aplicação centralizadora, o que poderia atrapalhar o monitoramento em tempo real.

Figura 39 – Gráfico do fluxo da água acionado pelo timer



Fonte: Do autor (2019).

Percebeu-se que principalmente o controle da temperatura e do pH da água influenciaram diretamente no desenvolvimento e saúde dos peixes. Coletando os dados continuamente, assim podendo monitorá-los, facilita-se o manejo da qualidade da água, em consequência melhorando o ambiente em que os organismos se desenvolvem. Prova-se a partir das figuras e imagens a seguir.

Figura 40 – Evolução das plantas durante período de teste



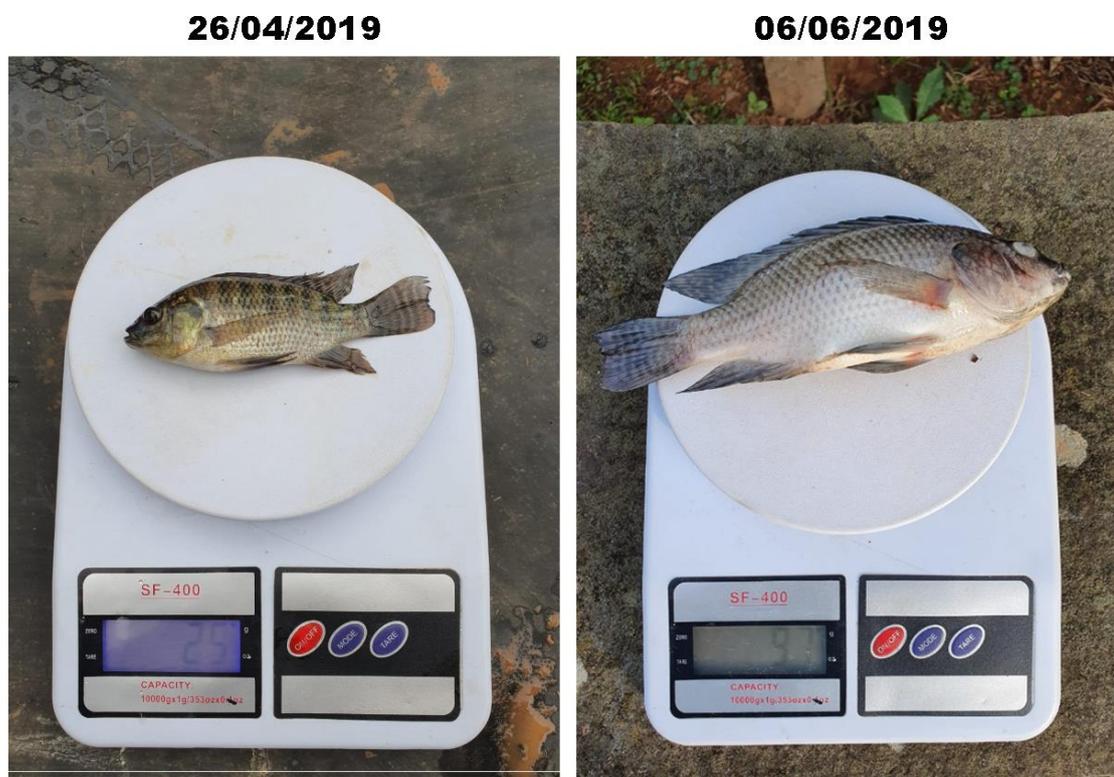
Fonte: Do autor (2019).

Figura 41 – Evolução das camas de cultivo durante período de teste



Fonte: Do autor (2019).

Figura 42 – Evolução aproximada dos peixes durante período de teste



Fonte: Do autor (2019).

## 6 CONCLUSÕES

Com um controle preciso da água, ambiente de desenvolvimento dos peixes e plantas, é propiciada a condição ideal para que os organismos se desenvolvam. Em sistemas aquapônicos convencionais não automatizados, a produção não é aproveitada o ano inteiro, pois em alguns períodos, principalmente no inverno, o crescimento das hortaliças e dos peixes são mais lentos. Constatou-se que em um sistema automático onde os parâmetros da água são controlados, essa deficiência é minimizada, transformando o sistema aquapônico em um sistema mais eficiente.

Além da vantagem de produzir o ano todo, outra vantagem que se constatou é que a automatização da aquaponia, permitindo um controle e monitoramento maior sobre os parâmetros da água, assegura que falhas no sistema sejam rapidamente detectadas, de modo que possam ser corrigidas. Dentre as demais vantagens, a principal é o auxílio no desenvolvimento da vida dos peixes e dos vegetais.

A automação da aquaponia apresenta um custo considerável, principalmente com o valor elevado dos sensores como pH, turbidez, entre outros que podem ser usados para o monitoramento dos parâmetros da água. A partir da coleta e análise dos dados, confirmou-se que o sistema de monitoramento automatizado se comportou de forma esperada, mitigando o trabalho da coleta diária de alguns parâmetros importantes da água.

Otimizando o processo de coleta dos parâmetros da água, incentiva-se o investimento em sistemas aquapônicos em maiores escalas, atendendo ao objetivo da pesquisa. Esse fato auxilia nas medidas socioambientais que devem ser consideradas no cenário atual mundial, pois a aquaponia impacta positivamente as

problemáticas relacionadas ao meio ambiente, como: a escassez de água potável, sendo que é um sistema que utiliza pouca água e reutiliza-a; o uso abusivo de agrotóxicos nos alimentos, visto que a aquaponia produz alimentos limpos e saudáveis, livres de agrotóxicos; o descarte impróprio dos resíduos da piscicultura, entre outros.

Além de incentivar a produção em larga escala, o monitoramento automatizado dos parâmetros da qualidade da água do sistema aquapônico facilita a produção caseira, pois não há necessidade de trabalho humano contínuo, democratizando a produção aquapônica à entusiastas e pequenos comerciantes.

Assim, esse projeto atendeu aos objetivos da pesquisa, uma vez que foi desenvolvido o sistema de monitoramento da aquaponia e obtido o controle automatizado sobre a água, sua qualidade, parâmetros ideais de temperatura, pH, fluxo, oxigenação, turbidez e nível da água no tanque. Ao mesmo tempo, o trabalho permitiu compreender aspectos e possibilidades no campo da aquaponia e tecnologias associadas ao agronegócio.

Diante dos resultados obtidos com o atual sistema e considerando todos os recursos que se considera ideal para este projeto, são indicadas, a seguir, algumas ideias para a implementação em um trabalho futuro.

A condutividade é o inverso da resistência, que está relacionada com a capacidade do material de transportar a corrente elétricas. No líquido, a condutividade, é a medida de sua capacidade de conduzir eletricidade, dessa forma podemos, de maneira indireta, ter a medida da quantidade de nutrientes presentes na água, fator crucial para o desenvolvimento das plantas.

A interferência da temperatura é um dos pontos mais críticos da medição da condutividade, sua configuração equivocada pode ocasionar erros graves, sendo que em condições ambientais normais, a cada grau de temperatura, o erro da medição chega perto de 2% em águas superficiais, e até 6% em águas de condutividade muito baixa. Dessa forma, para garantir a precisão da medição, este sensor poderia trabalhar em conjunto com o sensor de temperatura DS18B20 apresentado no Capítulo 2, com o objetivo de obter a compensação automática de temperatura.

Infelizmente pelo custo elevado e por não ter disponibilidade nacional deste tipo de sensor, ainda se torna pouco vantajoso utiliza-lo, futuramente, com a queda de preço, torna-se interessante o uso, utilizando como forma de acionamento do oxigenador, quando a quantidade não for o suficiente e desativando quando o nível de oxigênio dissolvido presente na água seja suficiente, dessa forma economizando energia.

Sendo um projeto focado na sustentabilidade e com ideias ecológicas, o uso da energia solar tanto para o fornecimento de energia elétrica ou para o aquecimento dá água é um fator positivo. Além da ideia de autossustentabilidade, o fato de possuir uma fonte energética que se encontra em posse do proprietário, torna o sistema mais seguro e tolerante a falhas, sendo que a energia elétrica é imprescindível tanto para o sistema de monitoramento, quando para o sistema aquapônico.

É preciso alimentar os peixes diariamente, algumas vezes por dia, pois o alimento é o componente inicial de todo o sistema aquapônico. Para facilitar essa tarefa, pode-se usar um alimentador automático, controlando data e hora diretamente na aplicação centralizadora, tornando o sistema ainda mais autônomo. Dessa forma disponibilizando os alimentos de uma forma mais controlada, evitando o excesso de ração no tanque, visto que o acúmulo dela na água acaba poluindo a mesma, como por exemplo aumentando o nível de amônia tóxica.

Implementar mecanismos de segurança e de autenticação mais rigorosos e seguros, tanto na aplicação centralizadora quanto na aplicação gerenciadora. Dessa forma evitando ataques maliciosos que poderiam interferir no controle do sistema, consequentemente colocando em risco os organismos vivos do mesmo.

Por fim, com a implementação dessas melhorias o sistema ficaria mais sustentável e robusto o suficiente para se tornar um produto para o monitoramento e controle automatizado da qualidade da água em sistemas aquapônicos.

## REFERÊNCIAS

AGRICULTURA MODERNA. **Agricultura 4.0: Agricultura na 4ª Revolução Industrial**. Disponível em: <[www.agriculturamoderna.com.br](http://www.agriculturamoderna.com.br)>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

ALATORRE-JÁCOME, Oscar; GARCÍA-TREJO, Fernando; RICO-GARCÍA, Enrique; SOTO-ZARAZÚA, Genaro M. **Aquaculture Water Quality for Small-Scale Producers**. Qro, México. 2011. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/bfe9/9a904b7668fe64c1bb5696f368b4266aa15b.pdf>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

BONNEAU, Vincent; COPIGNEAUX, Bertrand. **Industry 4.0 in agriculture: Focus on IoT aspects**. European Commission, julho de 2017. Disponível em: <[https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM\\_Agriculture%204.0%20IoT%20v1.pdf](https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Agriculture%204.0%20IoT%20v1.pdf)>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

CANASTRA, Inês Isabel de Oliveira. **Aquaponia: Construção de um sistema de aquaponia a uma escala modelo e elaboração de um manual didático**. Porto, Portugal. 2017. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/110688/2/250465.pdf>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

CARNEIRO, Paulo César Falanghe; MARIA, Alexandre Nizio; NUNES, Maria Urbana Correa; FUJIMOTO, Rodrigo Yudi. **Aquaponia: produção sustentável de peixes e vegetais**. Macapá, 2015. 683–706p. v2.

CELADA, L.D., AQUILERA, A., GARCÍA, V., CARRAL, J.M., Sáez-ROYUELA, González, R., GONZÁLEZ, Á. **Rearing juvenile tench (Tinca tinca L.) under controlled conditions using Artemia nauplii as supplement to a dry diet**. Aquaculture Int. 2009. Espanha. 17: 565-570.

CHEMIN, Beatris Francisca. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos: planejamento, elaboração e apresentação**. 3. ed. Lajeado: Univates, 2015.

DIAS, Marcos Tavares; MARIANO, Wagner dos Santos [Orgs.] **Aquicultura no Brasil: novas perspectivas**. [Vol. 1]. São Carlos: Pedro & João Editores, 2015. 429p.

DIVER, Steve. **Aquaponics - Integration of hydroponics with aquaculture**. ATTRA - National Sustainable Agriculture Information. 28p. 2006. Disponível em: <<https://attra.ncat.org/attra-pub/download.php?id=56>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

ABRASCO, Dossiê: **um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde** / Organização de Fernando Ferreira Carneiro, Lia Giraldo da Silva Augusto, Raquel Maria Rigotto, Karen Friedrich e André Campos Búrigo. Rio de Janeiro: EPSJV; São Paulo: Expressão Popular, 2015.

EMBRAPA. **Automação e agricultura de precisão**. 2018 - Disponível em: <[https://www.embrapa.br/tema-mecanizacao-e-agricultura-de-precisao/perguntas-e-respostas#collapse\\_eolj\\_6](https://www.embrapa.br/tema-mecanizacao-e-agricultura-de-precisao/perguntas-e-respostas#collapse_eolj_6)>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

ESPRESSIF COMPANY. Products. 2019. Disponível em: <<http://espressif.com/en/products/hardware/esp32-devkitc/overview>> Acesso em: 19 mai. 2019

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **The State of World Fisheries and Aquaculture**. Rome: FAO, 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en>>. Acesso em: 10 de outubro de 2018.

FAO. Fundo das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. Disponível em <<http://www.fao.org/brasil/pt/>> Acesso em: 04 de outubro 2018.

GIL, Antônio Carlos, 1946- **Como elaborar projetos de pesquisa**/Antônio Carlos Gil. - 4. ed. - São Paulo : Atlas, 2002

GODDEK, Simon; DELAIDE, Boris; MANKASINGH, Utra; RAGNARSDOTTIR, Kristin Vala; JIJAKLI, Haissam; THORARINSDOTTIR, Ragnheidur. **Challenges of sustainable and commercial aquaponics**. Sustainability, Basel, Switzerland, v. 7, p. 4199-4224, 2015. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/7/4/4199/html>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

GOEKING, Weruska. **Da máquina a vapor aos softwares de automação**. O Setor Elétrico, São Paulo, v. 52, p.70-77, maio de 2010. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br>>. Acesso em: 10 de outubro de 2018.

HALLAM, Murray. **Living the Dream: Commercial and Small Farm Aquaponics Master Class**. Australia. 2016. Disponível em: <<https://www.youringenuity.com/2016-living-the-dream-commercial-and-small-farm-aquaponics-master-class-with-murray-hallam/>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

HENRY-SILVA, Gustavo Gonzaga; CAMARGO, Antonio Fernando Monteiro. **Efficiency of aquatic macrophytes to treat Nile tilapia pond effluents**. 2006. Scientia Agricola, 63(5): 417-513. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sa/v63n5/31402.pdf>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

HERBERT, Shannida; HERBERTATT, Matt. **Aquaponics in Australia - The integrations of Aquaculture and Hydroponics**. Mudge, Australia, 2008, 28p. Disponível em: <<https://trove.nla.gov.au/work/32183736?selectedversion=NBD42270388>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

HERMANN, Mario; PENTTEK, Tobias; OTTO, Boris. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review**. 2015. Disponível em: <[http://www.iim.mb.tu-dortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/Design-Principles-for-Industrie-4\\_0-Scenarios.pdf](http://www.iim.mb.tu-dortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/Design-Principles-for-Industrie-4_0-Scenarios.pdf)>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

HUNDLEY, Guilherme Crispim; NAVARRO, Rodrigo Diana Navarro. **Aquaponia: a integração entre piscicultura e a hidroponia**. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, 3: 52-61, 2013.

JÚNIOR, Antônio Pereira de Araújo; CHAGAS, Christiano Vasconcelos das; FERNANDES, Raphaela Galhardo. **Uma rápida análise sobre automação industrial**. Natal - RN, 2003. Disponível em: <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17829/material/ARTIGO05.pdf>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

JUNIOR, Ariovaldo Luchiari; QUEIRÓS, Leonardo Ribeiro; NETO, João Camargo; CHAIM, Aldemir. **AgroTIC em agricultura de precisão e automação agrícola**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Cap. 10. p.191-213. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126969/1/capitulo10-074-14.pdf>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

JUNIOR, Celso F. **Guia do trabalho científico: do projeto à redação final**. 1 ed. São Paulo: Contexto, 2011.

LOURENÇO, José Nestor de Paula; MALTA, José Celso de Oliveira; SOUSA, Francisneide Neves de. **A importância de monitorar a qualidade da água na piscicultura**. Manaus - AM. 1999, p.1-4.

MIORANDI, Daniele. **Internet of things: Vision, applications and research challenges**. 2012. Disponível em: <<https://irinsubria.uninsubria.it/retrieve/handle/11383/1762288/2389/IOT.pdf> > Acesso em: 18 de outubro 2018.

NETO, Egídio Bezerra; BARRETO, Levy Paes. **As técnicas de hidroponia**. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, Recife, vols. 8 e 9, p.107-137, 2011/2012.

KUMAR, N. Hari; BASKARAN, Sandhya; HARIRAJ, Sanjana; KRISHNAN, Vaishali. **An Autonomous Aquaponics System using 6LoWPAN based WSN**. 4th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops, 2016.

NICHANI, Akhil; KUMAR, Angad; IYER, Suchet; RAMYA. Ms. A. **Environmental parameter monitoring and Data acquisition for Aquaponics**. 2017. Chennai, India. Disponível em: <<http://www.ijetcse.com/wp-content/plugins/ijetcse/file/upload/docx/694Environmental-parameter-monitoring-and-Data-acquisition-for-Aquaponics-pdf.pdf>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

OLIVEIRA, Saulo Duarte De. **Sistema de Aquaponia**. Jataí - GO, 2016. Disponível em: <[https://zootecnia.jatai.ufg.br/up/186/o/TCC\\_Saulo\\_Duarte\\_de\\_Oliveira.pdf](https://zootecnia.jatai.ufg.br/up/186/o/TCC_Saulo_Duarte_de_Oliveira.pdf)>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

QUEIROZ, Julio Ferraz de; FREATO, Thiago Archangelo; LUIZ, Alfredo José Barreto; ISHIKAWA, Márcia Mayumi; FRIGHETTO, Rosa Toyoko Shiraishi. **Boas práticas de manejo para sistemas de aquaponia**. Jaguariúna, SP. 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/178041/1/2018DC01.pdf>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

RAKOCY, J. E.; LOSORDO, T. M.; MASSER. M. P. **Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics: integrating fish and plant culture**. Aquaculture Center Publications, n. 454, p. 1-7, 2006. Disponível em: <[http://www.gemstone.umd.edu/team-sites/classof2014/mega/documents/Rakocy\\_RAS.PDF](http://www.gemstone.umd.edu/team-sites/classof2014/mega/documents/Rakocy_RAS.PDF)>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

REVISTA GALILEU. **Líder mundial, Brasil pode ganhar mais agrotóxicos na comida**. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Meio-Ambiente/noticia/2018/05/lider-mundial-brasil-pode-ganhar-mais-agrotoxicos-na-comida.html>>. Acesso em: 11 de novembro de 2018.

RIBEIRO, Marco Antônio. **Fundamentos da Automação**. Tek Treinamento & Consultoria Ltda Salvador, Verão 2003. v 1. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAeOMAA/fundamentos-automacao-marco-antonio-ribeiro>>. Acesso em: 25 de outubro de 2018.

T SHAFEENA. **Smart Aquaponics System: Challenges and Opportunities**. Department of Computer Science and Engineering, Govt. College of Engineering, Mananthavady, Wayanad, Kerala, India, 2016. Disponível em:

<<http://www.ejaet.com/PDF/3-2/EJAET-3-2-52-55.pdf>>. Acesso em: 30 de maio de 2019.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 2.ed. São Paulo: Hucitec, 1997.

SANTOS, Osmar Souza. **Conceito, histórico e vantagens da hidroponia**. In: SANTOS, O. Hidroponia da Alface. Santa Maria: UFSM, 2000.

SANTOS, Osmar Souza. **Cultivos sem solo – Hidroponia**. 2ª reimpressão. Santa Maria: UFSM/CCR, 2002. 107p.

SCHWAB, Klaus. **The Fourth Industrial Revolution**. World Economic Forum, Editora: Currency, 3 de janeiro de 2017. Cologny/Geneva, Switzerland, 2016.

SIQUEIRA, Tagore Villarim de. **Aquicultura: a nova fronteira para aumentar a produção mundial de alimentos de forma sustentável**. Boletim regional, urbano e ambiental, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/8142>>. Acesso em: 25 de outubro de 2018.

TACHIKAWA, Éderson Massahiro. **Automação de técnica de cultivos hidropônicos**. Itatiba, São Paulo, 2008. 53p. Disponível em: <<https://slidex.tips/downloadFile/curso-de-engenharia-da-computacao-automacao-de-tecnica-de-cultivos-hidroponicos>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores Industriais Fundamentos e Aplicações**. 8. ed. São Paulo: Érica, 2011. 224 p.

TOOLEY, Mike. **Circuitos Eletrônicos Fundamentos e Aplicações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. Tradução da terceira edição Luiz Cláudio de Queiroz Faria.

TYSON, Richard V.; SIMONNE, Eric.H.; TREADWELL, Danielle.D.; WHITE, James.M.; SIMONNE, Amarat. **Reconciling pH for ammonia biofiltration and cucumber yield in a recirculating aquaponic system with perlite biofilters**. Hortscience, 43: 719-724, 2008. Disponível em: <<http://hortsci.ashspublications.org/content/43/3/719.full.pdf>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

TYSON, Richard.V.; TREADWELL, Danielle. D.; SIMONNE, Eric. H. **Opportunities and Challenges to Sustainability**. Hortscience, 21: 6-13, 2011. Disponível em: <<http://horttech.ashspublications.org/content/21/1/6.full.pdf>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

WAHAP, Normala; ESTIM, Abentin; KIAN, Annita Yong Seok; SENNO, Shigeharu. **Producing organic fish and mint in an aquaponic system**. Sabah, Malaysia. 2010. Disponível em: <<http://www.aquaponics.com/wp-content/uploads/articles/Producing-Organic-Fish-and-Mint-in-Aquaponics.pdf>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

OSÓRIO, Fernando Santos. **CURSO DE LINGUAGEM C** – São Leopoldo 1992. João Carlos Giacomini UFLA - Universidade Federal de Lavras FAEPE - Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão Lavras – MG – 2002