



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA
DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO – CECAU**



LEONARDO GUIMARÃES SILVA

**AQUISIÇÃO DE DADOS E ATUAÇÃO EM UM SISTEMA AQUAPÔNICO
UTILIZANDO MICROCONTROLADOR PIC, MÓDULO WIFI ESP8266 E
PROTOCOLO MQTT**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO**

Ouro Preto, 2018.

LEONARDO GUIMARÃES SILVA

**AQUISIÇÃO DE DADOS E ATUAÇÃO EM UM SISTEMA
AQUAPÔNICO UTILIZANDO MICROCONTROLADOR PIC,
MÓDULO WIFI ESP8266 E PROTOCOLO MQTT**

Monografia apresentada ao
Curso de Engenharia de Controle e
Automação da Universidade Federal
de Ouro Preto como parte dos
requisitos para a obtenção de Grau em
Engenheiro de Controle e Automação.

Orientadora: Prof^ª. Adrielle de Carvalho Santana

Ouro Preto
Escola de Minas – UFOP
Fevereiro/2018

Silva, Leonardo Guimarães.
Aquisição de dados e atuação em um sistema aquapônico utilizando microcontrolador PIC, módulo wifi ESP8266 e protocolo MQTT [manuscrito] / Leonardo Guimarães Silva. - 2018.

51f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientador: Profa. Dra. Adrielle de Carvalho Santana.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais.

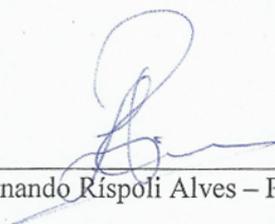
C

Catálogo: ficha@sisbin.ufop.br

Monografia defendida e aprovada, em 21 de fevereiro de 2018, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof. M.Sc. Adrielle de Carvalho Santana - Orientadora



Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves – Professor Convidado



Prof. Dr. Alan Kardek Rêgo Segundo – Professor Convidado

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
TABELA DE IMAGENS	9
1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1. Objetivo Geral.....	9
1.2. Objetivos Específicos	9
1.3. Justificativa.....	10
1.4. Metodologia.....	10
1.5. Organização do Trabalho	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. História da Aquaponia.....	12
2.2. Parâmetros Envolvidos no Sistema Aquapônico.....	13
2.2.1. pH.....	13
2.2.2. Temperatura.....	14
2.2.3. Compostos Nitrogenados.....	15
2.2.4. Oxigênio Dissolvido.....	16
2.3. Trabalho Semelhante	17
3. MATERIAIS E TÉCNICAS.....	18
3.1. Técnicas de Cultivo Empregadas	18
3.1.1. Camas de Cultivo em Cascalho sob Fluxo e Refluxo	18
3.1.2. Sistema NFT.....	19
3.1.3. Cultivo de Plantas Aquáticas.....	20
3.2. Microcontrolador PIC®.....	20
3.3. Sensores.....	21
3.3.1. pH.....	21
3.3.2. Temperatura.....	22
3.4. Atuadores.....	23
3.4.1. Válvula Solenoide	23
3.4.2. Bomba	23
3.4.3. Relé.....	24
3.4.4. Filtro UV	24
3.5. Dispositivos e Comunicação	24
3.5.1. Transdutor de Temperatura	25

3.5.2. Módulo RTC DS1307	25
3.5.3. Comunicação Wireless com Módulo RF Transmissor + Receptor 433MHz	25
3.5.4. Comunicação WiFi com Módulo NodeMCU ESP8266 ESP-12E	26
3.5.5. MQTT.....	26
4. DESENVOLVIMENTO.....	28
4.1. Maquete Eletrônica.....	28
4.2. Montagem da Estrutura Hidráulica e Iniciação do Sistema.....	29
4.3. Calibração dos Sensores	31
4.3.1. pH.....	31
4.3.2. Temperatura.....	33
4.4. Lógica de Aquisição e Processamento dos Dados.....	33
4.4.1. Leitura do pH.....	34
4.4.2. Temperatura.....	35
4.5. Acionamento dos Atuadores.....	35
4.6. Saída de Dados	36
4.6.1. LCD	37
4.6.2. Transmissão via RF433MHz.....	38
4.6.3. MQTT.....	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1 Funcionamento do Sistema.....	39
5.2. Problemas	41
5.2.1 pHmetro.....	41
5.2.2 Módulo RF 433MHz	41
6. CONCLUSÕES	43
7. TRABALHOS FUTUROS	44
7.1. Painel Solar.....	44
7.2. Sensor de Condutividade	44
7.3. Sensor/Detector de Nível.....	45
7.4. Backup de Energia Elétrica	45
7.5. Bomba de Ar	45
7.6. Alimentador Automático	45
7.7. Sistema de Aquecimento	46
7.8. Sistema Supervisório.....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

RESUMO

Um sistema aquapônico é um sistema de criação de peixes com recirculação de água, que também incorpora a produção de plantas terrestres sem solo. Este trabalho apresenta uma proposta de um sistema de controle e aquisição de dados de um sistema aquapônico, utilizando-se de microcontrolador PIC e módulo WiFi NodeMCU ESP8266. Propõe-se a construção de um sistema básico e residencial de aquaponia, com dois métodos de cultivo, usando as técnicas NFT e camas de cultivo em cascalho sob fluxo e refluxo. A coleta dos dados é feita utilizando-se dois sensores, sendo um pHmetro de um kit para Arduino com eletrodo industrial H-101 e um termômetro DS18B20. A comunicação entre o PIC e o NodeMCU utiliza o protocolo serial e será feita via radiofrequência utilizando um módulo RF433MHz, enquanto a comunicação entre o NodeMCU e a rede ethernet acontece sob o protocolo TCP/IP, WiFi 802.11 b/g/n e MQTT. Os dados são gerenciados por um *MQTT broker* disponibilizado em um servidor *Mosquitto* na web. Tal sistema também pode fazer o acionamento de atuadores, como o filtro UV e a bomba de água. Os resultados apresentados mostram que a proposta atendeu aos requisitos desejados.

Palavras-chave: Microcontrolador PIC; NodeMCU ESP8266; Aquaponia; Automação; pHmetro; eletrodo H-101; DS18B20.

ABSTRACT

An aquaponic system is a fish farming system with water recirculation, which also incorporates a production of soil plants without soil. This paper presents a proposal for a data acquisition and control system of an aquaponic system, using the PIC microcontroller and WiFi module NodeMCU ESP8266. It is proposed to construct a basic and residential system of aquaponics, using two methods of cultivation, using NFT techniques and beds of culture in gravel on flow and reflux. The data collection is necessary to use two sensors, one pHmeter of an Arduino kit with industrial electrode H-101 and a thermometer DS18B20. Communication between the PIC and the NodeMCU using the serial protocol and be done via radiofrequency, using an RF433MHz module, while communication between the NodeMCU and an ethernet network will happen under the protocol TCP / IP, WiFi 802.11 b / g / n and MQTT. The data is managed by an MQTT broker available on a Mosquitto web server. Such a system is also available for the use of actuators, UV filter, water pump, etc. The results show that the proposal met the desired requirements.

Keywords: PIC microcontroller; NodeMCU ESP8266; Aquaponics; Automation; pHmeter; electrode H-101; DS18B20.

TABELA DE IMAGENS

Figura 1: Sistema Básico de Aquaponia,.....	8
Figura 2: Impacto na biodisponibilidade de compostos inorgânicos.....	14
Figura 3: Cama de Cultivo.....	19
Figura 4: Sistema NFT.....	20
Figura 5: pHmetro.....	22
Figura 6: Transdutor de Temperatura DS18B20	23
Figura 7: Módulo Transmissor e Receptor RF 433MHz	25
Figura 8: Módulo NodeMCU ESP8266	26
Figura 9: MQTT Broker da CloudMQTT	27
Figura 10: Maquete Eletrônica	29
Figura 11: Valores do teste de amônia	30
Figura 12: Primeiro mês após a ciclagem.....	31
Figura 13: Curva de Calibração do pHmetro.....	32
Figura 14: Estatística Descritiva das Amostras	33
Figura 15: Leitura do pH	35
Figura 16: Algoritmo de Acionamento dos Atuadores.....	36
Figura 17: Display LCD	37
Figura 18: Protótipo Final.....	40
Figura 19: Websocket MQTT.....	40

1. INTRODUÇÃO

Um sistema aquapônico é um sistema de criação de peixes com recirculação da água, sendo que o mesmo também incorpora a produção de plantas terrestres sem solo, ou seja, é a integração de um sistema hidropônico à piscicultura. Nesse ambiente, parte dos dejetos dos peixes passa por uma série de transformações feita por bactérias diferentes e o produto dessas transformações serve como alimento para as plantas (RAKOCY et al. 2006). A Figura 1 ilustra esse sistema.

SISTEMA BÁSICO DE AQUAPONIA

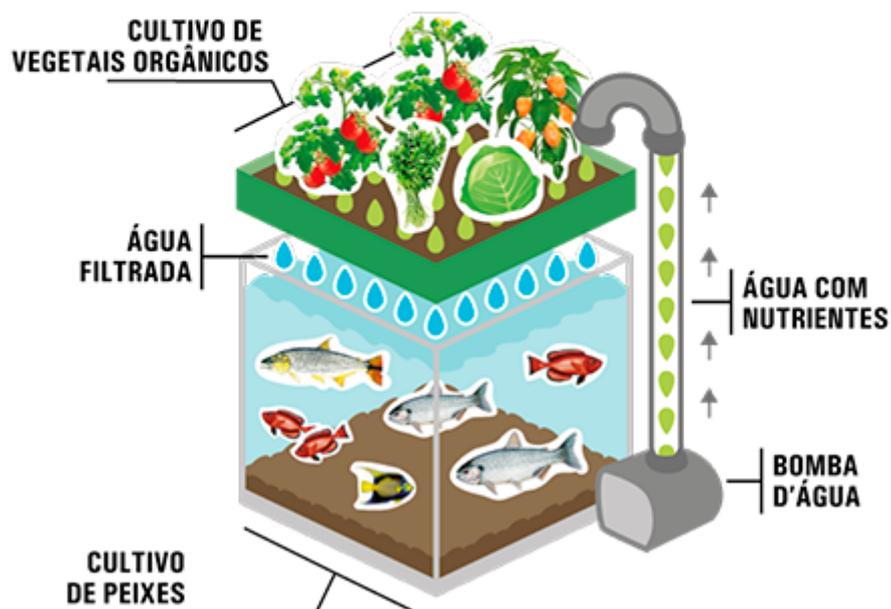


Figura 1: Sistema Básico de Aquaponia,

Fonte: BRŠĆAN (2015)

Para este sistema funcionar corretamente, vários parâmetros têm que estar dentro de limites adequados, tais como pH da água, temperatura, minerais dissolvidos, substâncias orgânicas dissolvidas, amônia, nitritos, nitratos, etc. Tais parâmetros ideais variam de acordo com o conjunto de espécies de plantas e peixes que vivem no microambiente (QUILLÉRÉ et al., 1995).

Existem várias metodologias na construção de um projeto deste sistema, porém existem poucas que utilizam tecnologias para fazer o controle e automação da planta, muitas vezes devido ao alto custo dos equipamentos necessários para tal.

Espera-se que ao final deste trabalho, possa ser proposta uma solução para fazer o controle e aquisição de dados do microambiente que seja economicamente viável para um pequeno produtor ou até mesmo para uma produção caseira.

1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho insere-se no campo de Engenharia de Controle e Automação, Agroecologia, Química e Biologia. A partir da construção de um pequeno sistema aquapônico, objetiva-se implementar um sistema de atuação e aquisição de dados do microambiente, proporcionando maior autonomia ao sistema, reduzindo o tempo necessário para a manutenção do mesmo, trazendo mais conforto e praticidade ao produtor.

1.2. Objetivos Específicos

Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados, usando sensores para cada parâmetro que se pretende controlar e/ou monitorar, realizando o processamento dos dados utilizando um microcontrolador PIC ligado à uma rede wireless.

O sistema deve ser capaz de:

- controlar o pH da água;
- controlar a temperatura da água;
- automatizar a alimentação dos peixes;
- fazer o acionamento de lâmpadas para prolongar a exposição das planta à luz;
- gerir o uso da energia e controlar os gastos;

1.3. Justificativa

Este estudo se justifica pelo fato de cada vez mais pessoas estarem buscando um estilo de vida mais saudável e sustentável, porém, em algumas localidades, é difícil ter acesso à alimentação orgânica ou a mesma é muito cara. Nesta procura por uma melhor qualidade de vida, muitas pessoas possuem uma horta em casa e algumas até tem um pequeno sistema hidropônico. A aquaponia vem como uma alternativa de grande potencial para uma produção autossustentável.

1.4. Metodologia

Primeiramente, será feita uma revisão teórica sobre os conceitos envolvidos no trabalho, tanto os relativos ao controle e automação, quanto à química e biologia, para um melhor embasamento na elaboração de tal projeto. Após esta revisão, será desenvolvido um projeto de um pequeno sistema aquapônico residencial. Ao finalizar o projeto, o mesmo será construído e colocado em funcionamento até a estabilização do sistema.

Paralelamente será desenvolvida a programação para o microcontrolador, de modo a fazer o processamento dos dados, bem como a captação de alguns parâmetros da água, juntamente com os sensores. Haverá também, relés que farão a ativação de determinados elementos e válvulas para bloqueio ou liberação de determinado fluxo de água dentro do circuito hidráulico. Observando o comportamento do sistema, será feito um algoritmo para atuar no sistema de modo a automatizar determinadas ações que se julgar conveniente e que seja factível com os recursos disponíveis.

1.5. Organização do Trabalho

O presente trabalho foi estruturado da seguinte maneira:

1. Introdução: Neste capítulo são abordados a contextualização, as motivações, os objetivos, as justificativas, a metodologia e a organização do presente trabalho;
2. Revisão Bibliográfica: Definições e parâmetros controláveis em um sistema aquapônico e dispositivos utilizados para o controle proposto.

3. **Materiais e Métodos:** Neste capítulo, são demonstrados quais os equipamentos, dispositivos, protocolos de comunicação, técnicas e metodologias escolhidas para serem implementadas neste projeto, bem como suas finalidades.
4. **Desenvolvimento:** Após o detalhamento dos materiais e métodos, este capítulo aborda como esses fatores foram projetados, interligados, desenvolvidos e implementados para se atingir o resultado proposto.
5. **Resultados e Análises:** Construído o primeiro protótipo, neste capítulo é apresentado os resultados obtidos e suas respectivas análises
6. **Considerações Finais:** Neste capítulo são abordadas as conclusões a respeito do desenvolvimento do sistema aquapônico e as sugestões para seu desenvolvimento em trabalhos futuros.
7. **Referências Bibliográficas:** Neste capítulo são encontradas todas as referências consultadas para fundamentar o presente trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Durante o desenvolvimento do projeto, deve-se levar em conta os fatores físicos que compõe o sistema puro, básico e as tecnologias que serão embarcadas nele. Para isso, as questões a se considerar serão descritas a seguir.

2.1. História da Aquaponia

Segundo Richards (2014) a prática da aquaponia é a combinação da hidroponia – cultivo de plantas sem a utilização de terra – com a aquicultura ou criação de peixes. Ainda segundo a autora, alguns modelos de aquaponia remontam a civilizações astecas (que faziam ilhas flutuantes chamadas Chinampas), tendo reaparecido nos dias de hoje como um estilo de vida mais autossustentável ou até mesmo para obter alimentos que, de outra forma, seriam importados. A Figura 1 ilustra um sistema básico de aquaponia.

O site Aquaponia Brasil (2018) remonta a prática aos séculos XI e XII mas aponta que nos últimos 35 anos, com a recirculação de água (RAS), houve um grande aumento da quantidade de peixes em menores espaços, criando um novo problema: lidar com os seus resíduos. Assim as pesquisas foram se estendendo e não apenas plantas aquáticas foram consideradas adequadas para filtrar a água. Com a utilização de plantas terrestres na antiga prática, houve a junção da antiga aquicultura convencional com a hidroponia, criando o termo Aquaponia.

Na China, onde sistemas de aquaponia já existiam – sem a modernização atual – era comum ver criações de peixes em campos de arroz alagados. Em anos mais recentes, a quantidade e variedade de peixes e trigo foram instaladas em áreas maiores que excediam a um hectare.

O referido site aponta que os pioneiros acadêmicos sobre o assunto que têm levado crédito ao longo dos anos são os trabalhos do “New Alchemy Institute” e do Dr. Mark McMurtry e colaboradores, na Universidade Estadual da Carolina do Norte, nos EUA. Trabalhos esses que inspiraram outros institutos a seguirem o exemplo.

Ainda de acordo com o site, o Dr. James Rakocy e seus colegas da Universidade das Ilhas Virgens iniciaram sua pesquisa na área no ano de 1997. Seu intuito era desenvolver canais de hidroponia por DWC (Deep Water Culture) em sistemas aquapônicos de larga escala. Uma instalação baseada nesse sistema foi desenvolvida na Universidade das Ilhas Virgens, o que chamou a atenção do Dr. Nick Savidov e colegas, que passaram a pesquisar a aquaponia do ponto de vista das ciências agrárias.

2.2. Parâmetros Envolvidos no Sistema Aquapônico

Por se tratar de um sistema fechado e que apresenta componentes físicos, químicos e biológicos, para se manter o equilíbrio e o sucesso de todo o projeto, é importante conhecer os parâmetros de maior relevância na sua sustentabilidade, para assim conseguir monitorar e atuar visando um controle adequado e maior eficiência.

2.2.1. pH

Como haverão peixes, colônias de bactérias e plantas em meio aquoso, o pH da água torna-se importante a ser monitorado devido ao fato de que a biodisponibilidade dos nutrientes orgânicos e minerais necessários para suprir as demandas metabólicas das plantas, depende, para cada nutriente, de uma faixa diferente e específica (pH 6 a 7).

Todos os organismos vivos nesse ambiente, possuem também a sua faixa específica de pH em que seus metabolismos funcionam adequadamente.

As bactérias nitrificantes têm dificuldade de metabolizar a amônia excretada pelos peixes em pH menor que 6 enquanto a sua maior eficiência se encontra entre 7 e 8. Além disso, o processo de nitrificação, gera como subproduto, ácido nítrico, que com o tempo, tende a acidificar o ambiente.

Já os peixes, toleram uma grande faixa, mas seu metabolismo funciona melhor entre 6,5 e 8,5. Um aspecto importante a ser dito é que uma alteração abrupta no pH da água, mudanças de 0,3 num período de 12 a 24 horas, pode causar problemas ou até mesmo a morte dos peixes. Portanto deve-se prezar pela estabilidade desse parâmetro. Pode-se usar do efeito de

tamponamento da água diluindo carbonato de cálcio no ambiente, prevenindo assim, grandes variações do pH.

Há de se considerar também que quanto mais elevado for o pH, maior será a porcentagem da amônia total presente na sua forma não ionizada NH_3 , que é tóxica.

Sendo assim, existe uma margem relativamente pequena à qual deve se encontrar o pH, de 6,5 a 7, para que se atenda às demandas de todos esses fatores, tendo uma alta biodisponibilidade de todos os nutrientes e um ambiente saudável para todos os seres vivos presentes. A Figura 2 ilustra a biodisponibilidade de compostos inorgânicos na água (BRAZ FILHO, 2000; RACKOY, 2006; SOMERVILLE, 2014).

The impact of pH on nutrient availability for plants

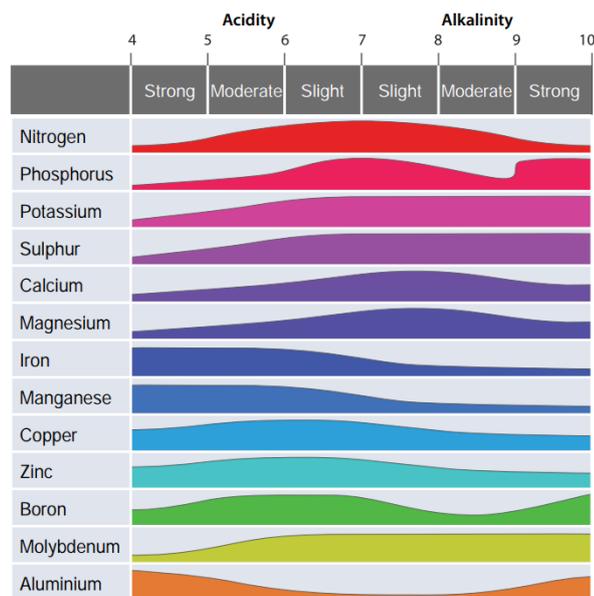


Figura 2: Impacto na biodisponibilidade de compostos inorgânicos.

Fonte: SOMERVILLE (2014)

2.2.2. Temperatura

Juntamente com o pH, a temperatura é um fator muito importante no que se refere à manutenção de um ambiente saudável para os organismos ali presentes.

A temperatura ideal para solubilidade dos minerais e do oxigênio e para o crescimento e produtividade das bactérias nitrificantes, é entre 17 e 34°C. A medida que a temperatura vai caindo abaixo dos 17°, o metabolismo das bactérias vai reduzindo de forma não-linear, causando problemas no inverno, pois com a produção de nitritos e nitratos caindo, sobe o nível de amônia no sistema, que é prejudicial para os peixes.

Quanto aos peixes, por se tratar de animais de sangue frio, toleram uma variação de temperatura não muito grande, abaixando muito o seu metabolismo a temperaturas baixas, o que os leva a consumir pouca comida e, conseqüentemente, o seu desenvolvimento e crescimento são muito prejudicados. Além disso, o sistema imunológico deles fica debilitado devido ao estresse provido pela baixa temperatura, levando a um aumento da probabilidade de um ou todos peixes acabarem adoecendo. A espécie escolhida para o desenvolvimento deste projeto, foi a Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), pois é a que se conseguiu encontrar nos arredores de Mariana-MG que apresenta uma maior taxa de crescimento, resistência a variações de temperatura, bem como um sistema imunológico que se adequa bem ao ambiente, tempo e clima desta região. (SOMERVILLE, C, 2014).

2.2.3. Compostos Nitrogenados

Os compostos nitrogenados são de suma importância para manutenção da vida, uma vez que os mesmos representam a base química da vida, como aminoácidos, proteínas e o próprio DNA e RNA. Num ambiente aquático, o nitrogênio é encontrado na forma de amônia, nitrito, nitrato, óxido nitroso e amoníaco. No caso estudado, há de se monitorar e controlar os níveis de amônia, nitritos e nitratos.

A amônia origina-se no sistema pela excreção dos peixes e pela decomposição aeróbia e anaeróbia da matéria orgânica, como alimentos não consumidos. Como mencionado anteriormente, ela se apresenta na forma não ionizada NH₃, que é tóxica, e na forma ionizada NH₄⁺, que não é tóxica. As duas somadas formam o que se chama de amônia total. A razão entre os compostos da amônia é proporcional ao pH, à temperatura e a oxigenação

Da oxidação biológica da amônia pelas *Nitrossomonas*, obtém-se o nitrito NO₂⁻, que em geral é tóxico para os peixes a níveis superiores a 0,25mg/L, podendo ocasionar

sufocamento devido ao impedimento do transporte de oxigênio pelo sangue, conhecida por Doença do Sangue Marrom.

Por ventura, o nitrito serve de alimento para as *Nitrobacter*, que o oxidam em nitrato. Este por sua vez é bem menos nocivo e só apresenta níveis de toxicidade a partir dos 200mg/L, além do que é a substância à qual as plantas conseguem metabolizar, desnitrificando-a, para conseguir as bases necessárias para produzir aminoácidos e proteínas, formando assim sua biomassa (PONTALTI, 2011; PEREIRA, 2015).

2.2.4. Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido é descrito como a quantidade de oxigênio molecular dissolvido na água e é medido em mg/l. Este é essencial para todos os 3 tipos de organismos presentes no sistema. É importante para garantir que ocorra as reações de oxidação das bactérias nitrificantes, para a respiração dos peixes e para manter estável o pH, permitindo assim, otimizar a produção. A falta do mesmo é o fator que causa efeitos negativos de forma mais rápida no sistema

Os níveis ótimos se encontram entre 5 e 8 mg/l, reduzindo drasticamente a nitrificação da matéria orgânica se este nível cair abaixo dos 2 mg/l, prejudicando a nutrição das plantas e podendo deixar a água tóxica para os peixes, devido ao aumento da concentração de amônia total. Se o oxigênio dissolvido for reduzido mais ainda ou eliminado, um outro tipo de bactéria pode crescer, promovendo um processo de desnitrificação, convertendo os nutrientes de volta às moléculas sem utilidade ou tóxicas, prejudicando ainda mais o sistema.

Infelizmente, devido ao alto custo de um sensor digital de oxigênio dissolvido (quando da realização do trabalho), o mesmo não foi implementado. Porém, considerando que é um parâmetro essencial e que não promove malefícios se estiver demasiado alto, opta-se pela redundância na dissolução deste, utilizando das técnicas de aeração com o fluxo dinâmico da água, bombeando-a de forma que seu movimento e quedas, gere bolhas para a devida aeração que garanta os níveis ideais, com uma margem de erro bastante tolerável (SOMERVILLE, C, 2014).

2.3. Trabalho Semelhante

Em 2014, alunos da Escola Técnica Estadual Getúlio Vargas localizada no bairro Ipiranga em São Paulo – SP, desenvolveram um protótipo com propósitos semelhantes ao que se deseja neste trabalho.

O protótipo consiste em controlar a temperatura de uma estufa que cerca toda o sistema, objetivando o melhor controle do ambiente do ecossistema. Para isso, utilizou-se um sensor LM35 para monitoramento, ventoinhas para fazer a exaustão do ar contido no interior da estufa e diminuir a temperatura e uma resistência elétrica para aumentar a temperatura caso ela diminua além de um limite determinado. Foi construído também um alimentador automático para os peixes, entrando em operação em horários determinados previamente pela programação (COSTA, 2014).

3. MATERIAIS E TÉCNICAS

Os materiais, dispositivos e sensores, assim como as técnicas empregadas no projeto e construção deste sistema, são descritos neste capítulo.

3.1. Técnicas de Cultivo Empregadas

Em se tratando do cultivo de plantas em meio aquoso, existem várias técnicas diferentes, sendo que as três formas utilizadas neste projeto serão descritas a seguir.

3.1.1. Camas de Cultivo em Cascalho sob Fluxo e Refluxo

Segundo a Brščán (2015), este é o método mais adotado, principalmente em sistemas menores, de baixa densidade, devido à sua praticidade e funcionalidade simples, que garante um funcionamento adequado com recursos baratos e promove uma otimização no espaço, pois elimina a necessidade de projetar um biofiltro separado, pois o mesmo já realiza a mesma função.

Este método consiste em camas de cultivo, que seriam reservatórios de água recheados com substrato sólido, como argila expandida, brita, rochas ou areia grossa, para fixação das colônias de bactérias. O mesmo não pode ter granulometria alta para que esse material não seja arrastado pela água para dentro dos encanamentos, ocasionando entupimentos e/ou manutenções mais frequentes.

A água chega nesse reservatório por meio de uma bomba hidráulica e retorna por gravidade utilizando um tipo específico de sifão, comumente chamado de Sifão de Bell, para realizar o efeito de maré, inundando e escoando a água sobre o substrato sólido de tempos em tempos, promovendo a oxigenação das colônias de bactérias, bem como das raízes das plantas não aquáticas, evitando assim o seu apodrecimento devido ao contato constante com a água. Este processo também contribui para a oxigenação da própria água. A Figura 3 ilustra o funcionamento básico e as camadas de uma cama de cultivo.



Figura 3: Cama de Cultivo

Fonte: SOMERVILLE (2014)

3.1.2. Sistema NFT

Um outro sistema que é bastante usado é o que usa a Técnica de Filme de Nutrientes (*Nutrient Film Technique* – NFT), que consiste em deixar as plantas com suas raízes suspensas dentro de encanamentos de maneira tal que apenas uma pequena parte delas toquem um fino filme de água, pois um nível alto demais pode sufocar as raízes, apodrecendo-as. Este filme concentra os nutrientes necessários para o seu desenvolvimento.

O circuito hidráulico que transporta a água deve ser o mais linear possível, porém com uma ligeira queda, para que ocorra o aproveitamento da energia potencial gravitacional neste transporte. Ele pode ser construído na horizontal ou na vertical, o que acaba sendo útil no aproveitamento de espaços, como paredes ou muros e, como o fino filme de água não é exposto ao sol durante este circuito, tem-se uma baixa taxa de perda por evaporação.

Uma desvantagem deste sistema é que, se for utilizado apenas este método, torna-se necessário a construção de um biofiltro para que ocorra a nitrificação dos compostos orgânicos. Porém, no caso deste projeto, por adotar-se também as camas de cultivo, elimina-se essa desvantagem. A Figura 4 ilustra um sistema NFT vendido pela Global Farmer Enterprise.



Figura 4: Sistema NFT

Fonte: OONG (2018)

3.1.3. Cultivo de Plantas Aquáticas

Juntamente com os dois sistemas citados anteriormente, escolheu-se o último reservatório que seria para uma cama de cultivo, aproveitando-se da baixa vazão que chegava neste e resolveu-se utilizá-lo sem o sifão e sem o substrato, porém com uma saída na parte superior de forma que fique sempre cheio, além de fazer com que a água seja constantemente renovada.

Dessa forma, com esse tanque sempre cheio, introduziu-se plantas aquáticas, especificamente a Lentilha D'Água (*Lemna minor*), espécie muito utilizada como despoluidora de águas, fazendo a retenção de até 97% de metais pesados, coliformes fecais ou excesso de nutrientes. Possui uma alta taxa de crescimento, além de ser uma ótima fonte de proteína, servindo como complementação à alimentação dos peixes no sistema. (UFSCAR, 2018)

3.2. Microcontrolador PIC®

Utilizado na parte eletrônica deste projeto, o Microcontrolador PIC® trata-se de um circuito integrado que possui as principais características de um computador, como uma

unidade de processamento de dados, memória volátil de acesso randômico, memória rom PROM e EPROM, para armazenamento de um software que será o algoritmo a ser rodado pelo dispositivo, entradas e saídas analógicas e digitais.

Os microcontroladores PIC[®] produzidos pela Microchip Technology Inc., em especial os da família 16F e 18F, são um dos mais comumente usados em projetos e protótipos, devido à sua versatilidade, uma vez que são muito baratos, fáceis de programar e possuem diversos recursos que leva a ser possível reduzir o tamanho e a complexidade da placa de circuito, já que ele consegue substituir uma série de circuitos digitais, tais como um conversor analógico/digital, unidade de temporização, comunicação serial RS232 e USB além de conseguir alimentar cargas que demandam baixa corrente, próximas à 25mA.

Para projetar o circuito deste projeto, utilizou-se um microcontrolador 18F4620, pois já havia disponível um modelo deste. Ele possui as principais características da família 18F e alguns detalhes que ajudam na eficiência e na eventual atualização do protótipo, como alta capacidade de processamento a um custo baixo. Pode operar em 40MHz, possui 40 pinos, 13 canais de conversor analógico/digital, 2 portas com PWM, 4 TIMERS e 65536 bytes de memória para programação

Quanto ao desenvolvimento do firmware do microcontrolador, demanda-se uma experiência com programação de softwares usando a linguagem C, com o compilador CCS, em especial. Utilizou-se o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) CCS C Compiler[©] para o desenvolvimento do algoritmo.

3.3. Sensores

Para a aquisição dos dados do sistema a serem analisados, se faz necessário o uso de dispositivos que consigam extrair a grandeza física requerida e a convertê-la em sinais elétricos, para o seu devido processamento pelo microcontrolador.

3.3.1. pH

Para a monitoração do pH da água, utilizou-se um transdutor de um kit para Arduino com eletrodo industrial H-101, que possibilita a monitoramento continua por pelo menos 1 ano

sem alteração de seu funcionamento. Possui *range* de medição que cobre toda a faixa de pH, 0 a 14, com precisão de 0,1 à 25°C. Possui um circuito que faz o tratamento do sinal obtido pelo eletrodo e já o converte para um sinal linear entre 0 e 5V, simplificando o tratamento do sinal pelo microcontrolador PIC. A Figura 5 ilustra o pHmetro utilizado durante o projeto.



Figura 5: pHmetro

Fonte: Website da DFRobot ^[1]

3.3.2. Temperatura

Quanto a monitoramento da temperatura, usou-se um transdutor DS18B20 por ser à prova d'água, possuir ótima relação custo benefício e possuir bons parâmetros, tais como faixa de temperatura de -55 °C à +125 °C, precisão de +/- 0,5 °C entre -10 °C e +85 °C, usando protocolo 1-wire com resolução em 9 bits e tempo de resposta menor que 100ms nas mesmas configurações citadas. A Figura 6 mostra um exemplo de um transdutor desse tipo com encapsulamento para torná-lo impermeável.

¹ Disponível em: <https://www.dfrobot.com/product-1110.html>. Acesso em: 13/02/2018



Figura 6: Transdutor de Temperatura DS18B20

Fonte: MACEDO (2018)

3.4. Atuadores

Após o processamento dos dados adquiridos pelos sensores, uma ação direta no sistema pode ser feita utilizando-se, para isso, atuadores que serão descritos a seguir.

3.4.1. Válvula Solenoide

Para o controle de vazão do circuito hidráulico do sistema, usou-se uma válvula solenoide compatível com o sistema de encanamentos de $\frac{3}{4}$ ", com 12V DC de tensão de operação, vazão máxima de 40L/min e pressão de operação: 0,2 à 8 kgf/cm².

3.4.2. Bomba

Quanto ao método de circulação de água do sistema, utilizou-se utilizar uma bomba hidráulica submersa com vazão de 4000 L/h à 1 m de altura e 85 W de potência, sendo sua alimentação em 127 V AC. Por ser muito silenciosa, não gerar muita vibração e ser bastante eficiente, preferiu-se utilizá-la para não gerar estresse nos peixes e prejudicar o crescimento deles.

3.4.3. Relé

Como interface entre o microcontrolador e a fonte de energia elétrica alternada que alimenta alguns atuadores, utilizou-se um módulo de relé de 5V, podendo dessa forma, acionar as cargas com a baixa corrente e tensão de 5V das portas digitais I/O do 18F4620.

3.4.4. Filtro UV

Por se tratar de um sistema de pequeno porte e com uma população reduzida de peixes, é importante se atentar à questões como a saúde dos peixes, pois um desbalanço na quantidade de bactérias ou mesmo o aparecimento de algum patógeno na água, pode facilmente se espalhar por todos os peixes e debilitar a saúde dos mesmos, gerando assim estresse, prejudicando o crescimento, podendo levar à morte de parte da população ou até mesmo de toda ela.

Outra questão que se deve observar, é quanto ao aparecimento de algas na água do sistema. Elas surgem devido à abundância de nutrientes, luz solar e oxigenação na água. Existem diversas maneiras de controlar o seu crescimento, mas várias delas envolvem o uso filtros específicos, que acabam por aumentar a necessidade de manutenções, elevando a complexidade do projeto. Outras técnicas usam substâncias químicas que podem, direta ou indiretamente, afetar o crescimento e a saúde dos peixes.

Sendo assim, para evitar este tipo de problema, implementou-se um filtro de luz ultravioleta que visa eliminar ao menos parte dos patógenos, uma vez que estes organismos são sensíveis a níveis elevados de radiação UV, destruindo seu DNA quando submetidos por tempo suficiente.

3.5. Dispositivos e Comunicação

Como a parte eletrônica do projeto é composta de diversos componentes individuais, separados e de diferentes marcas, faz-se necessário a implementação de uma forma de comunicação entre os mesmos para que o sistema se comporte como o esperado.

3.5.1. Transdutor de Temperatura

Para a comunicação entre o PIC e o transdutor de temperatura, utilizou-se o protocolo 1-Wire, desenvolvido pela Dallas Semiconductors, que é de fácil implementação no circuito por ter apenas 1 fio para transmissão dos dados, em modo *half-duplex* (ora opera como saída Tx, ora como entrada Rx), além de ser possível o uso em paralelo com vários outros transdutores iguais no mesmo fio, pois emprega uma arquitetura mestre/escravo.

3.5.2. Módulo RTC DS1307

Objetivando-se a obtenção dos dados dos sensores e dos atuadores acompanhado do registro temporal ao qual ele foi obtido, bem como um registro histórico da aquisição destes, utilizou-se um módulo RTC DS1307, capaz de fazer o registro de segundo, minuto, hora, dia, semana, mês e ano, com correção de anos bissextos, de forma autônoma, sem precisar necessariamente do microcontrolador PIC, apenas para fazer a sua configuração inicial, sendo que possui uma entrada para bateria externa, ficando totalmente independente do sistema de controle, dessa forma, possuindo um registro temporal confiável.

3.5.3. Comunicação Wireless com Módulo RF Transmissor + Receptor 433MHz

O módulo de comunicação RF 433MHz é o meio pelo qual serão transmitidas as informações coletadas pelo microcontrolador PIC para o módulo NodeMCU ESP8266. Utilizando o espectro da radiofrequência (RF), mais especificamente em 433MHz, as mensagens são enviadas e recebidas pelos respectivos microcontroladores via porta serial, sendo de fácil implementação na programação. A Figura 7 ilustra o módulo RF.

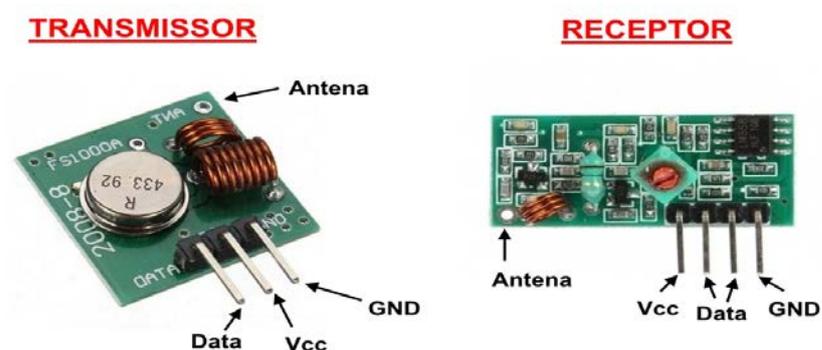


Figura 7: Módulo Transmissor e Receptor RF 433MHz

Fonte: MACEDO (2018)

3.5.4. Comunicação WiFi com Módulo NodeMCU ESP8266 ESP-12E

Para se fazer o *upload* das informações para a internet e com isso, ter acesso a elas em qualquer instante, utilizou-se do módulo NodeMCU ESP8266 ESP-12E. Esta é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre, muito utilizada em projetos independentes que necessitam de uma conexão WiFi. A Figura 8 ilustra o módulo NodeMCU.

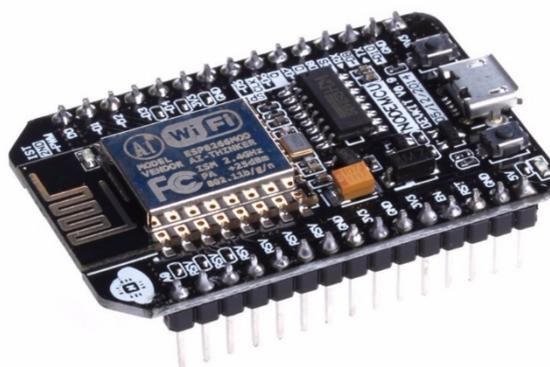


Figura 8: Módulo NodeMCU ESP8266

Fonte: MACEDO (2018)

Seu hardware é composto por um microcontrolador Tensilica L106 32-bit, portas de entrada e saída digital e analógica e uma interface USB. Possui protocolos TCP/IP integrados, 802.11 b/g/n, +19,5dBm de potência de saída no modo 802.11b na sua antena integrada, bem como um microcontrolador de 32bits, 64kb de memória RAM, 96kb de memória ROM, arquitetura RISC. Seu microcontrolador pode ser facilmente programado utilizando a IDE do Arduino. Por este motivo, vários projetos de Internet das Coisas (IoT) utilizam-se desta tecnologia, como em câmeras IP, plugues de alimentação inteligente, domótica, eletrônica em vestuário, dispositivos de localização, etc.

3.5.5. MQTT

O *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT) é um protocolo de comunicação otimizado para um baixo consumo de banda, utilizado para trocar informações entre sensores e pequenos dispositivos, mas que não são muito confiáveis, possuem instabilidade e/ou alta latência. Sendo assim, como seu nome diz, é um protocolo muito utilizado em telemetria ou monitoramento remoto, sendo muito utilizado em IoT, por conseguir uma performance

satisfatória, coletando os dados. Foi desenvolvido pela IBM no final da década de 90, padronizado sob a ISO/IEC PRF 20922 (ISO/IEC, 2016).

Este protocolo opera seguindo o modelo de publicação e assinatura, utilizando-se de duas entidades, uma chamada de *message broker* e um ou mais clientes.

O *message broker* é um servidor que recebe as mensagens dos clientes e as direciona para os outros clientes destinatários, sendo que um cliente pode ser um sensor, um aplicativo, ou um dispositivo qualquer.

Dessa forma, um cliente se conecta a um *broker*, para poder assinar um tópico, que é algo análogo à um diretório de pasta do Windows. Essa conexão normalmente é feita via TCP/IP, mas não é a única forma de se conectar. Ao assinar um tópico, o cliente pode publicar as mensagens, enviando-as ao *broker*. Após isso, todos os outros clientes conectados a esse *broker* e que assinam o mesmo tópico, receberão esta mensagem. Assim, o desenvolvedor consegue controlar qual cliente consegue ter acesso a determinada informação.

Um exemplo de utilização pode ser visto na Figura 9, onde um dispositivo que mede a temperatura, publica o valor encontrado em um tópico previamente assinado em um *MQTT Broker*, que por sua vez disponibiliza essa publicação para outros clientes que estão assinando este mesmo tópico.

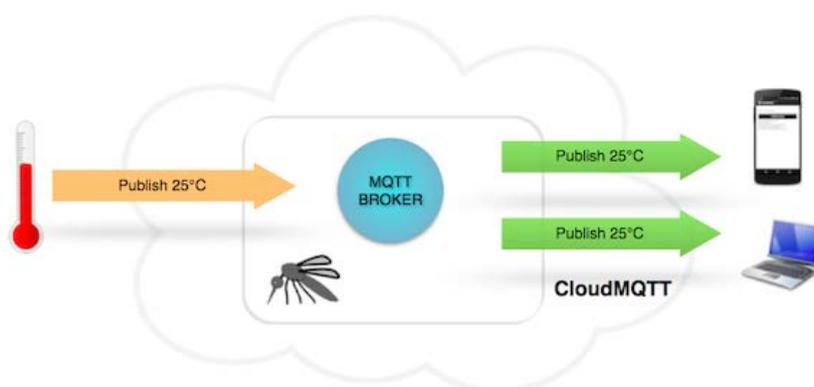


Figura 9: MQTT Broker da CloudMQTT

Fonte: CLOUDMQTT

4. DESENVOLVIMENTO

Ao desenvolver este trabalho, devido ao fato de haver a integração de várias tecnologias mecânicas, hidráulicas, elétricas e eletrônicas, decidiu-se por dividir o seu planejamento e execução nas devidas partes.

4.1. Maquete Eletrônica

Ao escolher o ambiente a ser construído o sistema, decidiu-se modelar uma maquete eletrônica da parte hidráulica do sistema, uma vez que a mesma possui maior tamanho em relação aos demais e que seu planejamento adequado se torna necessário para melhor atender aos requisitos do projeto de forma eficiente e otimizada em termos de espaço físico, uma vez que o espaço disponível para sua implementação é pequeno.

Utilizando o software SketchUp, modelou-se uma maquete eletrônica da parte hidráulica do sistema proposto, a fim de se ter uma ideia melhor das possibilidades de implementação que o espaço disponível oferece, como se pode ver na Figura 10.

Considerando os materiais disponíveis para compra no comércio local, buscou-se uma biblioteca com alguns objetos já modelados, tais como encanamentos de diversas bitolas, flanges, redutores, conectores, caixa d'água, peixes, etc.

Foi-se então desenvolvido um modelo que emprega duas caixas d'água, uma sendo o tanque dos peixes e outra o *sump* (caixa d'água à qual se retorna toda a água após a circulação e onde se encontra a bomba submersa), um filtro vortex, camas de cultivo sob fluxo e refluxo e um sistema NFT.



Figura 10: Maquete Eletrônica

Fonte: Elaborado pelo Autor

4.2. Montagem da Estrutura Hidráulica e Iniciação do Sistema

A estrutura que sustenta todo o sistema, foi construída em metal devido a melhor relação entre resistência e custo, considerando sempre, a realidade do comércio local de Mariana – MG. Para tal, contratou-se o serviço de um serralheiro que montou a estrutura já no local desejado.

Em seguida, iniciou-se a montagem da parte hidráulica, com o posicionamento das caixas d'água, uma sendo o *sump* e outra sendo o tanque dos peixes, construção dos sifões Bell, do filtro Vortex decantador (sendo um filtro que força a água de forma a gerar um vórtice dentro de uma estrutura cilíndrica, fazendo com que os sedimentos se concentrem no fundo e a água saia por cima), instalação da bomba submersa, corte e colagem dos encanamentos, posicionamento e instalação das camas de cultivo e por fim, lavagem e posicionamento das mídias de sustentação (brita e argila expandida).

Após a montagem estar concluída, iniciou-se o processo de adequação dos parâmetros da água, com o cultivo das colônias de bactérias nitrificantes que compõem o biofiltro, processo comumente chamado de ciclagem. Para tal, deixa-se a água rodando por todo o sistema, sem pausa, adicionando amônia até que o valor da amônia total, NH_3 e NH_4^+ , alcance 6,5mg/l.

Após isso, utilizando um kit de testes de amônia da Labcon para verificação do nível de amônia, deixou-se a bomba circulando a água até que esse valor estivesse abaixo de 1,0mg/L, acrescentando mais amônia uma vez ao dia até que os valores se estabilizassem (SOMERVILLE, et al., 2014). A Figura 11 mostra as referências para os valores de amônia total. Este processo levou em torno de 25 dias para terminar.

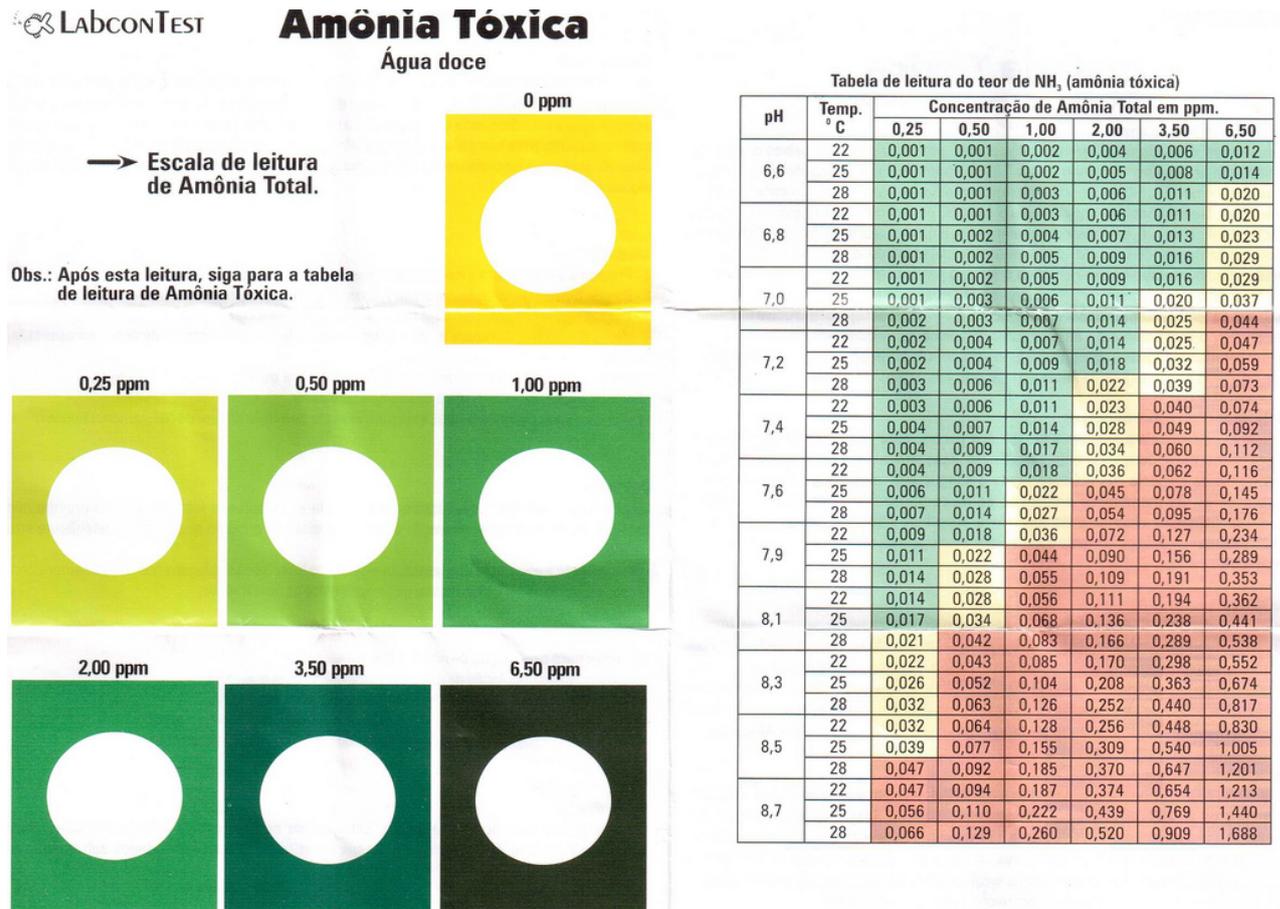


Figura 11: Valores do teste de amônia

Fonte: LabconTest (2016)

Com o biofiltro operando de forma satisfatória, colocou-se cerca de 25 tilápias, com tamanhos e idades variadas, no tanque principal. Logo após, colocou-se as primeiras mudas nas camas de cultivo, sendo elas de couve, taioba, pimenta dedo-de-moça, morangueiros, salsinha, cebolinha, menta/hortelã, erva-cidreira-de-arbusto, tomilho e orégano. A escolha dessas mudas foi puramente por disponibilidade e gosto pessoal. A Figura 12 mostra o resultado final desse processo de ciclagem.



Figura 12: Primeiro mês após a ciclagem

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

4.3. Calibração dos Sensores

Para se obter uma confiabilidade e melhor precisão nos valores obtidos pelo sensoriamento, faz-se necessário a calibração dos sensores, usando algum outro sensor mais preciso ou até mesmo um padrão com precisão aferida maior do que a do sensor utilizado.

4.3.1. pH

Apesar de o pHmetro adquirido já vem calibrado de fábrica, foi feita uma nova curva de calibração para fins de confirmação, com um algoritmo de teste que possui a seguinte equação para conversão do sinal digital de 10 bits para pH:

$$pH = \frac{3,5 * L * 5}{1024},$$

Em que L é o valor lido pela porta analógica/digital.

Dessa forma, foi feita uma curva de calibração usando um kit com 3 soluções de pH igual a 4,00, 7,00 e 10,00, possuindo precisão dez vezes maior do que a que o transdutor consegue medir, tornando-se então um bom parâmetro a ser seguido.

Como o algoritmo faz a coleta de 50 amostras e retorna a sua média (que será melhor elucidado no próximo subcapítulo), foram coletadas 20 dessas médias para cada solução padrão, com o intervalo de aproximadamente 15 minutos entre elas.

Os resultados da análise desses dados, bem como a curva de calibração, podem ser vistos nas Figura 13 e 14 abaixo.

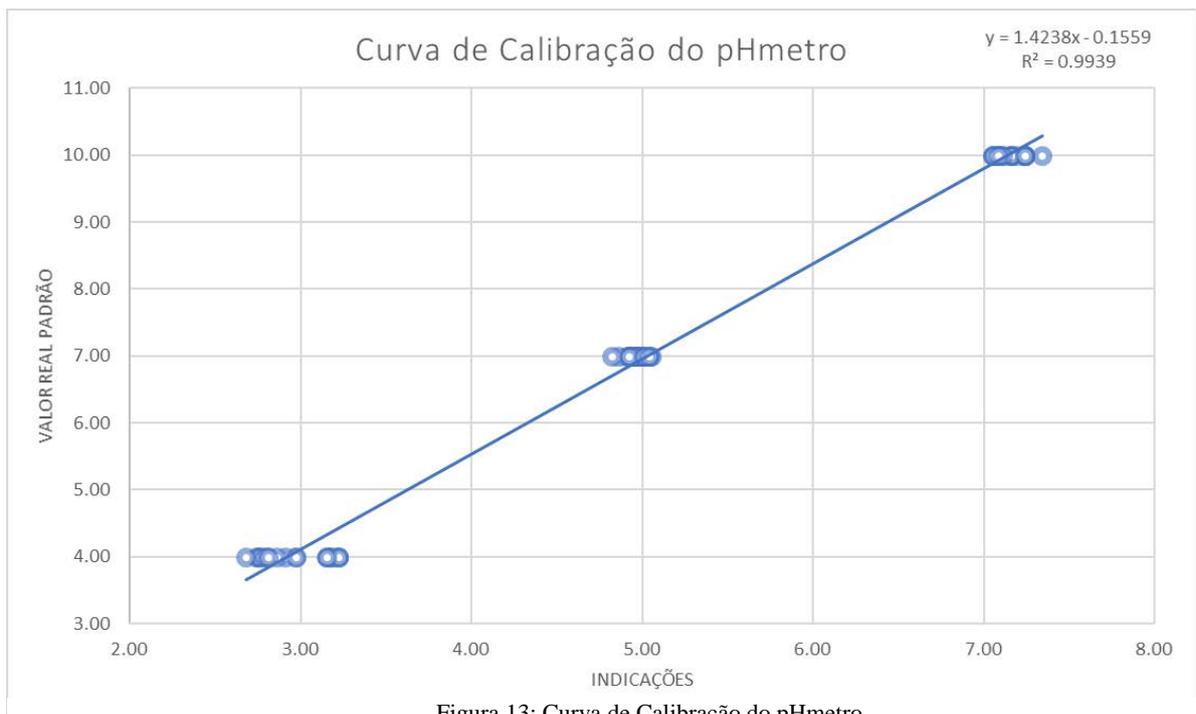


Figura 13: Curva de Calibração do pHmetro

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

4.4.1. Leitura do pH

A precisão do conversor analógico/digital utilizada foi de apenas 8bits, pois o uso do sensor de temperatura DS18B20 teve melhor estabilidade nesse projeto com essa configuração, afetando a precisão das medidas do pHmetro.

Para a aquisição dos valores do pH, pensou-se em minimizar ao máximo a presença de ruídos na leitura do sensor, para que não haja tomada de decisões e/ou atuações automáticas do sistema baseadas em valores não correspondentes à realidade das características físicas da água.

Dessa forma, foi desenvolvido um algoritmo de leitura da porta analógica que realiza uma série de cálculos e comparações para verificar a integridade dos dados. Esse algoritmo acaba demandando um certo poder computacional, portanto a leitura dos dados possui um atraso, o que não altera significativamente o propósito do sistema de controle, uma vez que o mesmo trabalha com valores que alteram de forma muito lenta em relação velocidade de leitura do microcontrolador.

Foram feitas 50 leituras do sensor, armazenadas em seguida em um vetor do qual se obtém a média aritmética destas. Porém, o armazenamento desses 50 valores no vetor foi feito de forma a não aceitar uma variação maior que 0,5 entre um valor e seu antecessor, visando a eliminação de ruídos provenientes de interferências eletromagnéticas ou de erros de leitura. Se a variação de uma leitura for maior que 0,5, o índice do vetor é decrementado em uma unidade e então será feita uma nova leitura, garantindo que todos os valores desse vetor estejam dentro de um intervalo aceitável.

Com essa metodologia, espera-se gerar atrasos no preenchimento do vetor e no cálculo da média de seus valores, fazendo com que o tempo de leitura seja consideravelmente maior. Nas simulações o tempo médio foi de 25s. Esse algoritmo está representado na Figura 15.

Após a leitura destes dados, os mesmos são escritos em um display lcd, para que haja a saída de dados para o usuário. Também há 3 leds para melhor visualização, sendo um amarelo para indicar que o pH está inferior à 6,0, um verde para indicar valores entre 6 e 7 e/ou entre 6,5 e 6,8 e um vermelho indicando que está acima de 7.

```

void phmetro()
{
    if(filtro_ph < filtro_ph_value)
    {
        ph[filtro_ph] = 1.424*(read_adc()/18.286) - 0.156;
        if(filtro_ph > 0)
        {
            if(abs(ph[filtro_ph] - ph[filtro_ph - 1]) <= 0.5)
            {
                filtro_ph++;
            }
            else
            {
                filtro_ph--;
            }
        }
        else
        {
            filtro_ph++;
        }
    }
    else
    {
        filtro_ph = 0;
        while (i < filtro_ph_value)
        {
            ph_medio = ph_medio + ph[i];
            i++;
        }
        i = 0;
        ph_medio = ph_medio/(filtro_ph_value +1);
    }
}

```

Figura 15: Leitura do pH

Fonte: Elaborado pelo Autor

4.4.2. Temperatura

O algoritmo utilizado para a aquisição da temperatura do sistema é consideravelmente mais simples do que o do pH, pois a leitura e processamento da temperatura é feita quase totalmente no próprio transdutor, bastando apenas configurar o protocolo de comunicação entre o circuito integrado do transdutor e o microcontrolador e atribuir os parâmetros de precisão e tempo de resposta. Porém, como citado anteriormente, a configuração do parâmetro de precisão, teve melhor estabilidade utilizando 8bits, afetando a precisão do pHmetro.

4.5. Acionamento dos Atuadores

O controle dos atuadores é feito de forma automática e/ou manual, dependendo do atuador e do objetivo que se espera para tal.

O acionamento da bomba, do filtro de luz UV e válvulas são feitos ao apertar um botão ligado a uma porta digital do PIC.

Estes botões tem um filtro de software para tratamento do *debounce*, que é o ruído elétrico gerado pelo contato mecânico do botão, sem o uso da função de espera “*delay_ms()*”, proporcionando uma programação mais limpa e sem atrasos pelo uso excessivo dessas funções de espera.

Tais botões fazem a ativação de comandos on/off simples, que possibilitam acionar ou não a bobina de um relê, que por consequência faz com que os respectivos dispositivos sejam colocados em operação. A Figura 16 ilustra o algoritmo que representa o filtro e o acionamento dos atuadores.

```

void OnOffPump()
{
    if (bt_bomba) // O botão da bomba está pressionado ?
    { // sim,
        if (!bt_bomba_press) // O botão já foi tratado ?
        { // não.
            if (filtro0 != 0) // Fim do filtro do botão da bomba ?
            { // Não, então decrementa o filtro
                filtro0--;
            }
            else
            { // Sim, Faz a ação DO botão
                bt_bomba_press = 1; // Marca que o botão está pressionado
                bomba = !bomba; // Status da porta que aciona a bomba é invertido
            }
        }
    }
    else
    {
        filtro0 = t_filtro; // botão da bomba liberado
        bt_bomba_press = 0; // inicia o filtro DO botão da bomba
        // marca que o botão foi liberado
    }
}

```

Figura 16: Algoritmo de Acionamento dos Atuadores

Fonte: Elaborado pelo autor

4.6. Saída de Dados

Para a expressão dos dados coletados e as devidas indicações de valores e atuações, optou-se por implementar duas formas de saída de dados. Uma saída local, por meio de um display LCD conectado diretamente ao circuito de controle, bem como a apresentação destes em um site que faz a comunicação com o circuito através do protocolo MQTT via o módulo

NodeMCU, podendo assim, ser feita a visualização dos dados em qualquer dispositivo com acesso à internet.

4.6.1. LCD

Utilizou-se um display LCD LM016L, comumente encontrado no mercado de componentes eletrônicos, ilustrado na figura 15. O mesmo tem como característica, a apresentação de 2 linhas de 16 caracteres alfanuméricos simultaneamente, dimensão de 80mm x 36mm x 12mm, luz de fundo com regulagem de brilho e contraste dos caracteres e amplos exemplos de uso, configuração e bibliotecas publicadas gratuitamente na internet, sendo, portanto, uma opção viável em termos de custo/benefício para o projeto, visto que ele foi adquirido por um valor baixo.

Uma biblioteca disponibilizada em MACIEL (2012), implementa o protocolo de comunicação digital necessário para a transferência da informação que se deseja exibir.

Para este projeto, optou-se por exibir o valor da temperatura da água, do pH e da hora local.



Figura 17: Display LCD

Fonte: MACIEL (2012)

4.6.2. Transmissão via RF433MHz

Durante os testes da transmissão dos dados via rádio frequência, observou-se que a mesma é muito suscetível à interferência eletromagnética. Para contornar este problema, foi desenvolvido um filtro via software, que faz a coleta de 10 transmissões em sequência e depois verifica qual desses valores obteve maior número de repetições, escolhendo este como valor real (ou desejável) mais provável.

4.6.3. MQTT

Utilizou-se como *MQTT Broker* para este projeto, o website www.cloudmqtt.com, que possui servidores *Mosquitto*. Esta plataforma oferece diversos planos com número de conexões e largura de banda diferentes. Para este projeto, utilizou-se o gratuito chamado *CUTE CAT*, com capacidade de 10 conexões e 10 kbit/s de largura de banda.

Realizado o cadastro, criou-se uma nova instância para que fosse implementado o *message broker*, ambiente ao qual serão criados os tópicos que os clientes registrados irão acessar. Ao criar a instância, serão disponibilizadas as informações necessárias para se configurar o dispositivo (cliente) que se deseja conectar ao broker, sendo elas *Server*, *User*, *Password*, *Port* e *SSL Port*. Tais parâmetros serão inseridos junto a programação do NodeMCU ESP8266.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo será abordada a análise do funcionamento do protótipo final, seus resultados e problemas identificados.

5.1 Funcionamento do Sistema

Infelizmente o sistema não pode ser testado na planta original, pois houve uma infiltração de água provocada por um encanamento subterrâneo que estava quebrado, ocasionando um deslizamento do terreno e inviabilizando a manutenção do sistema neste local, que era o único disponível. Porém esta planta funcionou sem parar por aproximadamente 1 ano, gerando muito frutos, principalmente morangos, temperos, taioba, erva-cidreira-arbusto e menta/hortelã. Ao desmobilizar o sistema, foi feito o abate de cerca de 16 tilápias com tamanhos entre 30 e 40cm. As demais tilápias acabaram morrendo devido ao frio durante o inverno ou pulando do tanque quando o mesmo ainda não possuía tampa superior.

Ao finalizar o protótipo do sistema de controle e aquisição de dados, testes foram feitos em ambiente simulado tanto em software como colocando o protótipo em operação numa amostra de água do sistema que estava no *sump*, momentos antes do sistema ter sido desmobilizado, e foi armazenada em um reservatório hermético, isolado de luz, calor e umidade, até que o protótipo estivesse operacional. As simulações mostraram resultados bastante satisfatórios, funcionando conforme o esperado.

O microcontrolador PIC 18F4620 e o NodeMCU ESP8266 foram deixados rodando por aproximadamente 1 semana sem parar, sem que houvesse qualquer erro decorrente de sua estrutura lógica. Houve apenas, fora desse intervalo, erros ocasionados por mau contato, situação esperada visto que o protótipo final, que pode ser visto na Figura 18, foi montado em uma matriz de contatos, usando *jumpers* e demais componentes, sem nenhuma solda, sendo que tais contatos elétricos são bem sensíveis a forças mecânicas.

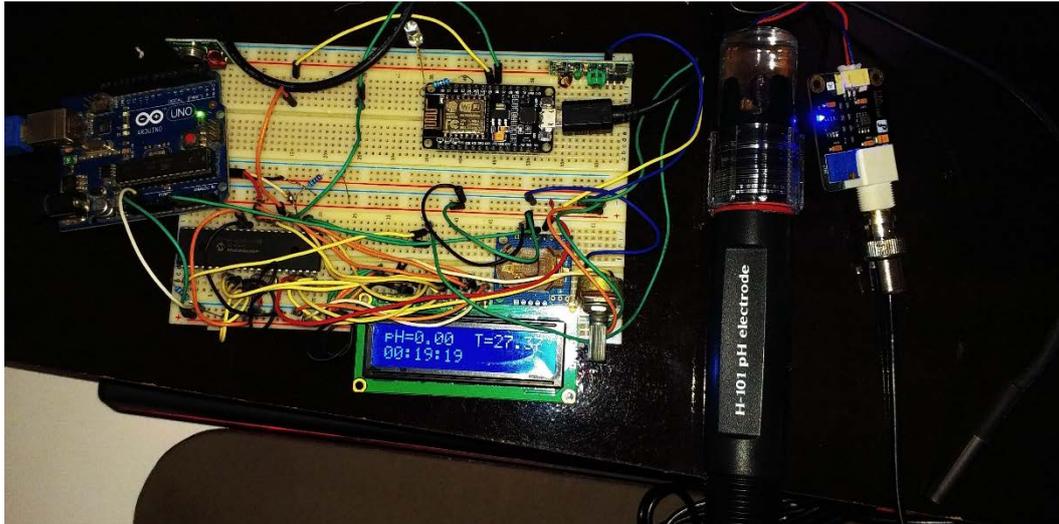


Figura 18: Protótipo Final

Fonte: Elaborado pelo autor

A saída de dados via rede ethernet proporcionada pelo NodeMCU se mostrou bastante eficaz, rápida e segura, considerando que se utilizou apenas 2 sensores, a responsividade do dispositivo, bem como do *MQTT broker*, revelou-se bastante rápida e mais do que apenas satisfatória. A saída de dados pode ser vista na Figura 18: *Websocket MQTT*.

Websocket

Send message

Topic

Message

Received messages

Topic	Message
topicoEnvio	Cliente conectado ao broker
topicoEscuta	1
topicoEnvio	27.00

Figura 19: *Websocket MQTT*

Fonte: CLOUDMQTT

O sensor de pH mostrou um tempo de resposta bastante alto, diferentemente do que se era esperado. Situação não provocada pelo algoritmo, mas pela própria física envolvida no sensor. O mesmo tem um regime transiente longo, chegando a estabilizar-se, em alguns casos, em um tempo maior que duas horas. Porém este não é um problema para o uso proposto neste projeto, visto que a água do sistema se mostrou, de maneira geral, bastante estável quanto aos

seus parâmetros, exceto quanto à temperatura, ocorrendo mudanças bruscas e consequentemente perigosas, apenas em situações bem específicas, sendo que esse tempo de resposta se mostra adequado mesmo para essas situações.

O sensor de temperatura, diferentemente do anterior, possui um tempo de resposta bastante rápido e preciso, funcionando dentro do esperado.

Os botões, bem como o acionamento dos relés e válvulas, geraram atrasos nas simulações via software, exigindo muito poder computacional do CPU do PC utilizado, porém funcionaram normalmente em ambiente simulado fisicamente.

5.2. Problemas

Durante a execução do sistema de controle, observou-se alguns problemas que não impediram o seu funcionamento, mas comprometeram a integridade de alguns dados.

5.2.1 pHmetro

O pHmetro ainda se mantém mostrando dados com algum tipo de erro aleatório não previsto, pois o erro tem uma certa variação que não foi coberta com a regressão linear, mesmo que ela tenha apresentado coeficiente de regressão $R^2 = 0,9939$. Como solução, uma nova calibração deve ser feita utilizando mais amostragens e em diferentes temperaturas ambientes, visto que foi observado mudanças nas indicações ao longo do dia para a mesma amostra padrão. Se o desvio padrão mostrar-se muito alto para essa nova curva de calibração, será o caso de se estudar como a temperatura influencia nesse aspecto e como fazer para compensá-la matematicamente durante a medição.

5.2.2 Módulo RF 433MHz

Inicialmente proposto para facilitar a aquisição dos dados pelo NodeMCU onde não se encontra sinal WiFi, o mesmo se mostrou muito instável e com alta influência de interferências eletromagnéticas, gerando erros de leitura intensas. Durante a análise do funcionamento do protótipo, optou-se por retirar o módulo e fazer a comunicação entre o microcontrolador PIC e

módulo NodeMCU diretamente por conexão elétrica entre a UART (Receptor/Transmissor Universal Assíncrono) do PIC e uma porta digital do NodeMCU funcionando como UART emulada via *software serial*. Tal solução se mostrou mais estável e com melhores resultados se comparada à comunicação por rádio frequência.

6. CONCLUSÕES

A aquaponia vem crescendo mundialmente por ser um método de cultivo mais sustentável e econômico tanto em termos de consumo de água e fertilizantes quanto em custo de operação, mesmo considerando que o custo inicial de instalação ainda continua sendo alto. Pode-se observar de perto o seu funcionamento, seus resultados e estabilidade.

Ao se alcançar os objetivos de realizar a comunicação entre os dispositivos com sucesso, fazer a aquisição e tratamento dos dados dos sensores e conseguir efetuar o interfaceamento dessa estrutura com a web, este método de cultivo torna-se ainda mais autônomo e confiável se implementado em conjunto com o sistema desenvolvido, garantindo um melhor, mais rápido e mais saudável crescimento das plantas e dos peixes, diminuindo o estresse sobre eles e a possibilidade de esquecimento e/ou necessidade de constante vigilância e manutenção do sistema.

7. TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados obtidos com o atual protótipo e considerando a inviabilidade econômica no momento para o desenvolvimento de um protótipo mais avançado, com todos os recursos que se considera ideal para este projeto, são indicadas, a seguir, algumas ideias para a implementação em um trabalho futuro.

7.1. Painel Solar

Com o desenvolvimento de um projeto com grande apego à ideias ecologicamente amigáveis e autossustentáveis e com a disponibilidade de uma fonte de energia elétrica local e renovável, como a luz solar, faz com que a aplicação de placas fotovoltaicas seja uma opção interessante em termos tanto ambientais como de confiabilidade. Isso é positivo pois torna o projeto dependente de uma fonte que está sob o controle do proprietário, tornando o sistema imune à eventuais desligamentos, acidentais ou não, da concessionária local de energia elétrica, que possui o monopólio de fornecimento de energia elétrica, dando maior segurança ao funcionamento contínuo bem como ocasionando um menor impacto ambiental.

7.2. Sensor de Condutividade

Uma importante propriedade da água que seria importante monitorar e/ou controlar é a sua condutividade elétrica. A mesma indica a capacidade da água em conduzir a corrente elétrica, sendo relacionada à concentração de íons presentes no meio aquoso.

Desta forma, fazer a medição dessa propriedade é uma maneira indireta de se avaliar a presença e quantidade de nutrientes no ambiente aquático, fatores que são diretamente proporcionais. Porém, deve-se atentar que a condutividade elétrica é um fator que apenas nos dá uma estimativa sobre a quantidade de nutrientes, mas é um importante parâmetro orientador.

É recomendável manter a condutividade entre 600 e 900 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$. Valores inferiores indicam que os peixes estão comendo pouco e conseqüentemente excretando menos, ao passo que um valor superior indica que a entrada de ração está sendo excessiva, comprometendo a qualidade da água, sendo necessária a expansão do sistema ou fazer a despesca parcial.

7.3. Sensor/Detector de Nível

Um dispositivo simples que pode ser implementado no sistema de monitoramento é um sensor e/ou detector de nível da água dos tanques.

Ele poderá funcionar de forma a permitir que a bomba só entre em funcionamento se o tanque estiver com o nível de água dentro de uma faixa de operação, podendo evitar tanto transbordamentos como que a bomba ligue se o tanque estiver vazio ou com nível insuficiente, prevenindo a sua queima, uma vez que a mesma foi projetada para operar quando submersa.

7.4. Backup de Energia Elétrica

Uma futura implementação, que pode trabalhar em conjunto com as placas fotovoltaicas, é a construção de um backup de energia elétrica, utilizando baterias.

Dessa maneira, se houver alguma interrupção da energia elétrica vinda da concessionária ou das placas solares, o sistema pode continuar operando normalmente por um determinado período, cujo tempo dependerá da capacidade da bateria.

7.5. Bomba de Ar

Em casos em que a instabilidade da fonte de energia elétrica é uma realidade e não se dispõe dos recursos para implementar um sistema de backup de energia, uma solução paliativa seria a implementação de um pequeno banco de baterias suficiente apenas para alimentar uma bomba de ar que proveria a oxigenação da água do tanque dos peixes, prolongando a expectativa de vida dos peixes em casos extremos de apagões.

7.6. Alimentador Automático

Para facilitar ainda mais o manejo, manutenção e vigilância do sistema, é uma boa opção implementar um alimentador automático para os peixes, configurável por hora e data diretamente no microcontrolador PIC e também via internet, visando a disponibilização de

alimentos de forma mais adequada e controlada, possibilitando economizar ração e diminuir os excessos que podem acumular na água e que acabam aumentando o nível de amônia.

7.7. Sistema de Aquecimento

Para enfrentar situações de queda brusca na temperatura da água dos tanques, pode-se desenvolver um sistema de aquecimento da água por gás GLP ou aquecedor solar, uma vez que, devido a capacidade volumétrica do sistema, a utilização de energia elétrica encareceria muito os custos de operação.

7.8. Sistema Supervisório

Visando a melhor interação entre o usuário e o sistema de aquisição de dados e controle, pode-se implementar um sistema supervisório com uma interface mais amigável, que mostre o status atual do sistema, possibilite a atuação direta e manual, registre um histórico dos dados coletados e acionamentos automáticos ou manuais com a hora registrada desses eventos.

Tal sistema supervisório pode ser um software dedicado em um servidor local e/ou um website/aplicativo de smartphone.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Analog pH Sensor / Meter Pro [Internet]. Disponível em: <https://www.dfrobot.com/>. Acesso em: 13/02/2018

AQUAPONIA BRASIL. **Breve História da Aquaponia** [Internet]. Disponível em: <https://aquaponiabrasil.wordpress.com/breve-historia-da-aquaponia/>. Acesso em: 10 de Janeiro de 2018.

BRAZ FILHO, M. **Qualidade na produção de peixes em sistemas de recirculação de água**. São Paulo, SP: Centro Universitário Nove de Julho, 2000. 41p.

BRŠĆAN, I. **Integrar criação de peixes com hortaliças economiza 90% de água e elimina químicos** [Internet] 2015, Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2767622/integrar-criacao-de-peixes-com-hortalicas-economiza-90-de-agua-e-elimina-quimicos>. Acesso em: 10 de Janeiro de 2018.

CloudMQTT, **Hosted message broker for the Internet of Things**. Disponível em: <http://www.cloudmqtt.com>. Acesso em: 13/02/2018.

COSTA, J.; NASCIMENTO, J.; PINTO, R.; SILVA, R. **Automatização de um sistema Aquapônico**. São Paulo, SP: Escola Técnica Estadual Getúlio Vargas, 2014.

ESP8266EX Datasheet. Versão 5.8, 2018 [Internet]. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp8266ex/overview>. Acesso em: 08/02/2018.

ISO/IEC. **Information technology — Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) v3.1.1**, 2016.

MACEDO, F. 2018 [Internet]. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/>. Acesso em: 13/02/2018.

MACIEL, M. **Conectando um display LCD no PIC** [Internet] 2012, Disponível em: <http://www.marcelomaciel.com/2012/03/configuracao-display-lcd-no-pic.html>. Acesso em: 22/06/2017.

OONG, L. **Global Farmer Enterprise**, 2018 [Internet]. Disponível em: <http://www.globalfarmer.com.my/wordpress/galleries>. Acesso em: 05/02/2018.

PASSARELLI, C. **Aquapônica** [Internet]. Disponível em: <https://www.aquaponica.com.br/blank-cvc0d>. Acesso em: 10 de Janeiro de 2018.

QUILLERÉ, I.; ROUX, L.; MARIE, D.; ROUX, Y.; GOSSE, F. & MOROTGAUDRY, J.F. (1995). **An artificial productive ecosystem based on a fish/bacteria/plant association**. 2. Performance. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 53(1):19-30.

RACKOY, J.; MASSER, M.; LOSORDO, T. **Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture**. SRAC Publication, v.454, p.1-16, 2006.

RAKOCY, J.E.; MASSER, M.P & LOSORDO, T. 2006. **Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics – integrating fish and plant culture**. Southern Regional Aquaculture Center. SRAC, Publication N°. 454.

RICHARDS, A. **Aquaponia em Casa**. Canadá: Barbelcube INC, 2014.

SOMERVILLE, C.; COHEN, M.; PANTANELLA, E.; STANKUS, A; LOVATELLI, A. **Small-Scale Aquaponic Food Production, Integrated Fish and Plant Farming**, FAO, Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 2014.

UFSCAR. **Lentilhas d'água** [Internet]. Disponível em: http://www.ufscar.br/~probio/info_lentilhas.html. Acesso em: 23/01/2018.

YUAN, M. **Conhecendo o MQTT**, 2017 [Internet]. Disponível em:
<https://www.ibm.com/developerworks/br/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html>.

Acesso em: 27/01/2018