



Sistema de Supervisão e Controlo para produção agrícola em Aquaponia

Samira Elaine Lino dos Santos - 42803

Dissertação submetida na Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança para
obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Industrial Eletrotécnica

Sob Supervisão Científica:

Prof. Dr. João Paulo Coelho

Prof. Dr. Cristiano Marcos Agulhari

Bragança

2020-2021



Sistema de Supervisão e Controle para produção agrícola em Aquaponia

Samira Elaine Lino dos Santos - 42803

Dissertação submetida na Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança para
obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Industrial Eletrotécnica

Sob Supervisão Científica:

Prof. Dr. João Paulo Coelho

Prof. Dr. Cristiano Marcos Agulhari

Bragança

2020-2021

Dedicatória

Dedico este trabalho, assim como minhas formações acadêmicas em graduação e mestrado, à minha mãe e avó, Cida e Neusa, pelo apoio e incentivo incondicionais em toda minha trajetória de vida. Mulheres que sofreram imposições, foram limitadas às funções profissionais e normas sociais consideradas “para mulheres”, ao me criar, proporcionaram toda a liberdade e proteção para que eu trilhasse os caminhos que assim decidisse. Foram a todo momento, a minha base de sustentação financeiros, psicológicos, sociais e de afeto ao longo deste percurso. Aos meus irmãos mais velhos, Igor e Josyane, que assim como nossas matriarcas, sempre pude contar e são fontes de inspiração e fortaleza nessa vida. Aos meus sobrinhos, Samuel e Alicia, que amo com todo meu ser e no futuro, ao ler esse trabalho, orgulhem-se da tia babona e apaixonada por eles. E, aos meus tios, Paulo e Sílvia (*In memoriam*), pelos incentivos, cobranças aos estudos e às lembranças mais bonitas de afeto e carinho sempre depositadas em mim.

Também dedico aos amigos da vida, Brasil e Portugal (Araras-SP, Cornélio Procópio-PR, Bandeirantes-PR e em Bragança), em especial, Paloma, Maria Fernanda, Prof^ª Sonia Caramaschi, Caroline, Marcos, Maria, Vinicius, Aline, Lucas, Paulo, Lu, Rose, ao coletivo “Prazer, feminismo” da UTFPR, ao cursinho pré-vestibular popular “UFSCurso” da UFSCar, Rodrigo, Jorge, Jô, Lê, Nika, Nathália e Bruno, que compartilhei frustrações, esperanças, afetos, risos e choros da vida.

Por fim, às amigas de luta e resistência, Dani e Cí, que muito aprendi e em momentos críticos da minha formação e percurso acadêmico sempre pude contar, me fortaleceram e ampararam para finalizar essa caminhada. Obrigada, minhas maravilhosas!

Agradecimentos

Agradeço aos meus orientadores, Cristiano Marcos Agulhari e João Paulo Coelho, por toda generosidade, orientação e auxílio no desenvolvimento deste trabalho. Às instituições UTFPR e IPB, seus servidores e funcionários, por todo suporte, compreensão, formação e incentivos. Instituições que tanto me orgulham pela excelência no ensino, extensão, pesquisa e apoio à sociedade civil em seus respectivos países. Agradeço especialmente à UTFPR, Universidade pública, gratuita e de qualidade, minha casa e o lugar que me deu o mundo.

Agradeço aos movimentos sociais históricos de trabalhadores, que resistem e lutam por uma sociedade mais justa e igualitária no mundo. Aos movimentos negro e indígena no Brasil, sua história de resistência e luta para políticas públicas de reparação aos maiores genocídios e que perduram até hoje, contra as populações negra e indígena no país. Aos governos petistas, Lula e Dilma Rousseff, que em seus mandatos foram os responsáveis pelos maiores investimentos em ciência e pesquisa da história do país, como também por meio da política do REUNI, acreditaram na importância da educação superior pública e gratuita e agiram para a criação e manutenção da UTFPR e tantas outras instituições públicas de excelência no Brasil. Apesar de terem feito suas obrigações, no momento desesperador que temos no país atualmente, cabe registrar esse reconhecimento.

Por fim, agradeço especialmente à Estação do Bem, Organização Social formada pela comunidade do Jardim Nova Rio Claro, em São Paulo, no Brasil, e que desenvolvem projetos nas áreas de Educação, Cultura, Esporte e geração de renda. Foi a partir da necessidade dessa organização em trabalhar na comunidade o cultivo em aquaponia, que me inspirei no desenvolvimento deste trabalho.

Abstract

Aquaponics is an agricultural production technique with the potential to mitigate social and environmental problems in the coming decades, such as scarcity of water resources, climate change and increased hunger and food insecurity. Its differential, compared to other traditional agricultural techniques, is its capacity to produce fish and plants in a closed environment of recirculation of water and nutrients. Due to the complexity of monitoring the different climatic and environmental parameters involved in this method of cultivation, it becomes dependent on the application of information technologies. Thus, the present work intends to contribute with solutions based on IoT technologies for the monitoring and control of agricultural processes in aquaponics. Through the Raspberry Pi, Arduino and Node-RED, a control and supervision system was developed which, in addition to real-time updating of the measured environmental variables, sends an email notification to the producer in the event of failures and abnormalities.

Keywords: Internet of Things; Aquaponics; Hydroponics; Aquaculture; Node-RED; influxDB; Arduino; Raspberry Pi.

Resumo

A aquaponia é uma técnica agrícola de produção com potencialidade de mitigar os problemas sociais e ambientais das próximas décadas, como escassez dos recursos hídricos, mudanças climáticas e aumento da fome e insegurança alimentar. Seu diferencial, comparada às outras técnicas agrícolas tradicionais, é a sua capacidade de produção de peixes e plantas em um ambiente fechado de recirculação de água e nutrientes. Devido à complexidade de monitoramento dos diversos parâmetros climáticos e ambientais envolvidos neste método de cultivo, o mesmo se torna dependente da aplicação de tecnologias da informação. Assim, o presente trabalho pretende contribuir com soluções baseadas em tecnologias IoT para o monitoramento e controle de processos agrícolas em aquaponia. Através do Raspberry Pi, Arduino e Node-RED, foi desenvolvido um sistema de controle e supervisão que, além da atualização em tempo real das variáveis ambientais medidas, o mesmo envia notificação por e-mail ao produtor no caso em que ocorram falhas e anormalidades no sistema.

Palavras-chave: Internet das Coisas; Aquaponia; Hidroponia; Aquicultura; Node-RED; influxDB; Arduino; Raspberry Pi.

Sumário

Dedicatória	iii
Agradecimentos	iv
Abstract	v
Resumo	vi
Sumário	vii
Lista de Figuras	x
1 Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Definição do Problema	3
1.3 Objetivos	4
1.4 Organização do Trabalho	4
2 Estado da Arte	6
2.1 Aquaponia	6
2.1.1 Projetos de Sistemas Aquapônicos	8
2.1.2 Manejo em Aquaponia	11
2.2 Automação na Aquaponia	12
2.2.1 Internet of Things (IoT)	13

2.2.2	Arquitetura IoT	14
2.3	Revisão Literatura	15
3	Proposta de Sistema	17
3.1	Hardwares e Softwares	17
3.2	Requisitos do Sistema	20
3.3	Interface do Utilizador	20
3.4	Desenho Mecânico Sistema	21
4	Implementação	24
4.1	Montagem Estrutura	24
4.1.1	Estrutura Mecânica	25
4.1.2	Sistema Hidráulico	26
4.2	Módulo Aquisição e Atuação	31
4.2.1	Sensores	31
4.2.2	Atuadores	36
4.2.3	Arduino	40
4.3	Módulo Central	42
4.3.1	Raspberry Pi	42
4.3.2	Node-RED	43
4.3.3	Comunicação Serial	48
4.3.4	InfluxDB	49
4.4	Interface do Utilizador	49
5	Resultados e Discussões	52
5.1	Metodologia Testes	52
5.2	Análise	54
5.2.1	Aquecimento Sistema	54
5.2.2	Identificação de Risco do Sistema	55

6 Conclusão	58
6.1 Considerações Finais	58
6.2 Trabalhos Futuros	59
Referências Bibliográficas	61

Lista de Figuras

2.1	Esquemático Aquaponia.	7
3.1	Instrumentação eletrônica e Softwares de controlo para o Sistema de Aquaponia proposto.	18
3.2	Sensores e Atuadores no Sistema de Aquaponia proposto.	19
3.3	Interface Gráfica proposta.	21
3.4	Estrutura Aquicultura proposta.	22
3.5	Sistema de Aquaponia proposta.	23
4.1	Estrutura Sistema Aquaponia.	25
4.2	Ilustração Copo de Pitágoras.	26
4.3	Ilustração Sifão Bell na Aquaponia.	27
4.4	Sifão Bell do Sistema de Aquaponia.	28
4.5	Sistema de Aquaponia desenvolvido.	30
4.6	Sensor DS18B20.	32
4.7	Circuito eletrônico dos sensores de temperatura.	32
4.8	Sensor pH E-201-C.	33
4.9	Circuito Eletrônico Sensor pH.	33
4.10	Procedimento calibração sensor de pH.	34
4.11	Sensor de Fluxo YF-S201.	35
4.12	Circuito Eletrônico Sensor de Fluxo.	35
4.13	Sensor DHT11.	36

4.14	Circuito eletrônico sensor DHT11.	36
4.15	Circuito eletrônico Aquecedor.	37
4.16	Construção Aquecedor.	38
4.17	Circuito eletrônico Bomba.	39
4.18	Bomba de água.	40
4.19	Arduino Uno.	41
4.20	Esquemático Hardwares de Aquisição de Dados.	41
4.21	Raspberry Pi 3 Modelo B+.	43
4.22	Ilustração Tela Node-Red.	44
4.23	Programação Node-RED Aquisição de Dados.	45
4.24	Nós Gauge e Chart módulo node-red-dashboard.	46
4.25	Nó influxdb out Node-RED.	46
4.26	Programação Node-RED Controle.	47
4.27	Comunicação Arduino e Raspberry Pi.	48
4.28	Interface do Utilizador.	49
4.29	Aba Sensores - Interface Utilizador.	50
4.30	Aba Controle - Interface Utilizador.	50
4.31	Aba Monitoramento - Interface Utilizador.	51
5.1	Protótipo e Instrumentação Eletrônica.	53
5.2	Fotografia das telas de notificação e do painel de visualização.	54
5.3	Fotografia das telas de notificação e do painel de visualização.	55
5.4	Fotografia das telas de notificação e do painel de visualização.	56
5.5	Fotografia das telas de notificação e do painel de visualização.	57

Lista de Abreviações

ADC Analog to Digital Converter.

DWC Deep Water Culture.

FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FDM Fused Deposition Modeling.

IBM International Business Machines.

IoT Internet of Things.

LTE Long Term Evolution.

M2M Machine to Machine.

MDF Medium-density fiberboard.

NFT Nutrient Film Technique.

PLA Ácido Poliláctico.

PVC Policloreto de Vinila.

RFID Radio-Frequency Identification.

USB Universal Serial Bus.

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo serão abordados a contextualização social e ambiental que este trabalho se insere. Abordará a discussão sobre os problemas da aquaponia, como a dependência da inserção de tecnologias da informação e comunicação em seu processo. Também, os objetivos deste trabalho de maneira a atingir a proposta de desenvolvimento de um sistema de supervisão e controle de produção agrícola em aquaponia. E, por último, a organização dos capítulos deste documento.

1.1 Contextualização

Soluções que contribuem para o aumento da eficiência de manejos agrícolas e de novas técnicas de cultivo e produção de alimentos são urgentes e cruciais para a mitigação dos problemas sociais nas próximas décadas [1]. Em pleno século XXI, com todo avanço tecnológico e capacidade produtiva global que alcançamos, convivemos com a realidade de 690 milhões de pessoas passando fome no mundo (dados de 2019) e cerca de 720 milhões de pessoas com insegurança alimentar, enfrentando sérias e alarmantes mudanças climáticas em seus territórios, impactando no acesso aos recursos naturais e, conseqüentemente, à uma alimentação segura e saudável [2–4].

A FAO, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, informa no relatório “O estado da pesca e da aquicultura no mundo 2020”, que cada vez mais pessoas

dependem da pesca e da aquicultura como fontes de renda e alimentos. A produção global de peixes foi estimada em cerca de 179 milhões de toneladas em 2018, sendo 46% dessa produção representada pela aquicultura, avaliada em US\$ 250 bilhões. Do total, cerca de 156 milhões de toneladas foram destinadas ao consumo humano, representando cerca de 20,5 kg de alimentos per capita [5]. No entanto, os maiores desafios da aquicultura consistem em reduzir o impacto nos ecossistemas naturais, como os manguezais, a contaminação de patógenos em populações nativas com a inserção de espécies exóticas, resíduos orgânicos e inorgânicos despejados no meio ambiente, frequentemente sem tratamento, entre outros fatores [6].

Outro desafio ambiental com consequências sociais preocupantes para esse século, é o enfrentamento da escassez do recurso natural fundamental para a manutenção da vida no planeta, a água doce [1]. Há estimativas que cerca de 70% da água no planeta é utilizada pela agricultura, o maior consumidor de água do mundo [7]. Utilizada para irrigação, algumas problemáticas são apontadas como preocupantes neste processo, como perda da água pelo processo de evapotranspiração em regiões de altas temperaturas, desperdício nos vazamentos das tubulações de transporte de água, assim como a contaminação das bacias hidrográficas e do solo que a utilização de pesticidas e fertilizantes no manejo agrícola causam ao serem escoados pela irrigação. Assim, esse setor de produção de alimentos enfrenta pressões de órgãos governamentais e da sociedade civil em vários países para diminuir e utilizar de forma sustentável a água em seus processos produtivos [8].

Neste contexto de desafios sociais e ambientais, a aquaponia é apresentada como uma técnica de produção agroalimentar mais sustentável e que pode substituir ou ser utilizada em paralelo às técnicas tradicionais de agricultura, se tornando uma tendência em direção ao desenvolvimento agrícola moderno. Tem potencial de utilização sustentável e controlado dos recursos naturais, principalmente recursos hídricos; de produção em escala comercial e doméstica de alimentos; produção em localidades que enfrentam mudanças climáticas e insegurança alimentar; maior rotação de culturas ao longo do ano, dentre outros benefícios que serão explorados ao longo deste trabalho.

1.2 Definição do Problema

A aquaponia é uma técnica agrícola que combina aquicultura e hidroponia em um ambiente fechado de recirculação de água e nutrientes. Nessa estratégia simbiótica de crescimento, as plantas são produzidas por meio de técnicas hidropônicas cujos nutrientes necessários são derivados da matéria orgânica gerada por um sistema paralelo de produção de organismos aquáticos, a aquicultura.

Esse método de agricultura cooperativa, designado por aquaponia, evidencia o potencial para a produção sustentável e agroecológica de alimentos. Por um lado, leva a um uso mais parcimonioso da água quando comparado às técnicas tradicionais de agricultura e aquicultura. Em particular, devido à natureza fechada do circuito fluídico, a água é adicionada apenas para compensar as perdas devido à evaporação e evapotranspiração. Por outro, minimiza o impacto ambiental devido à não liberação de efluentes nutrientes no solo ou nos cursos de água. A água circula entre os tanques de produção da aquicultura e da cultura hidropônica em um circuito fechado. Os resíduos orgânicos gerados nesses tanques, com a ajuda de bactérias nitrificantes (filtro biológico), transformam a amônia (NH_3) em nitrito (NO_2^-), sendo posteriormente convertidos em nitrato (NO_3^-) por bactérias. O nitrogênio desempenha um papel fundamental nas funções bioquímicas e fisiológicas da planta e influencia o rendimento da colheita. Ao mesmo tempo, como as plantas absorvem os nitratos, a própria colheita se comporta como um biofiltro, ajudando a reduzir os subprodutos nocivos gerados pela piscicultura [9–11].

Como mencionado, a pegada hídrica da aquaponia é menor que a das técnicas de cultivo convencionais. No entanto, isso é verdade à custa de uma camada de tecnologia adicional que deve ser incluída no ciclo de produção. Por exemplo, o monitoramento rigoroso das condições ambientais e bioquímicas deve ser realizado em tempo real para estabilizar o equilíbrio do frágil ecossistema artificial. Mesmo para escala comercial, os sistemas aquapônicos apresentam baixa inércia e podem entrar em colapso rapidamente quando submetidos a distúrbios bioquímicos, levando a uma diminuição no rendimento da produção. Por esse motivo, é necessário monitorar constantemente o estado do sistema

recorrendo à instrumentação eletrônica suportada pelas tecnologias da informação, a fim de reduzir ao máximo o atraso da informação [12].

Desta forma, grandes esforços científicos têm se exigido das áreas de computação e engenharias para pesquisas de aprimoramento e inserção de tecnologias de automação em sistemas aquapônicos.

1.3 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um Sistema de Supervisão e Controlo para produção agrícola em aquaponia, capaz de disponibilizar as informações meteorológicas em tempo real, bem como controlar seus atuadores automaticamente e notificar o produtor por e-mail quando da ocorrência de alguma anormalidade. Em virtude de possível necessidade de intervenção humana, também será possível operar seus atuadores manualmente e de forma remota através de uma interface web.

Assim, pretende-se com este trabalho desenvolver uma solução integrada para a monitorização e controlo de um sistema de produção agrícola em aquaponia. Perceber quais parâmetros meteorológicos são necessários medir e quais informações são essenciais fornecer ao produtor, para que o mesmo tenha os dados fundamentais para uma tomada de decisão assertiva.

Decorrente deste objetivo, propõe-se:

- construir um protótipo à escala laboratorial de Aquaponia;
- projetar sua instrumentação eletrônica;
- desenvolvimento do Sistema de Supervisão e Controlo.

1.4 Organização do Trabalho

Discutida a contextualização social e ambiental em que o trabalho está inserido, a definição do problema e os objetivos propostos, no Capítulo 2, tem-se o Estado da Arte. Serão

apresentados os conceitos de Aquaponia, a inserção de tecnologias neste método agrícola de produção e uma revisão da literatura explorando os trabalhos desenvolvidos nesta temática.

No Capítulo 3, a proposta de Sistema de Supervisão e Controle é apresentada. São explorados quais hardwares e softwares são utilizados dentro do sistema desenvolvido. Os requisitos funcionais e a interface gráfica esperados, de forma a delimitar as funcionalidades e aplicações que serão desenvolvidos para auxiliar o produtor na monitorização e controle do processo de aquaponia. E, na última seção, é apresentado o esboço mecânico da estrutura do protótipo de aquaponia que será desenvolvido.

As etapas de desenvolvimento deste trabalho, são evidenciadas no Capítulo 4. As estruturas mecânica e hidráulica desenvolvidas, assim como a instalação e configuração da instrumentação eletrônica e de controle. No Capítulo 5, é apresentada a metodologia de testes experimentais executados e seus respectivos resultados, de forma a comprovar que os objetivos e requisitos funcionais esperados do sistema são alcançados. E, por último, no Capítulo 6, são apresentadas as considerações finais e as propostas de trabalhos futuros para tornar Sistemas de Controle e Supervisão de produção em Aquaponia cada vez mais eficientes e completos.

Capítulo 2

Estado da Arte

Neste capítulo serão aprofundados os conceitos de aquaponia e automação. Serão demonstradas as classificações dos distintos sistemas de aquaponia, a importância do manejo adequado desta técnica agrícola, bem como a necessidade de utilização das tecnologias de automação para uma melhor produtividade. Na seção de automação, a definição de Internet das Coisas (IoT) e sua arquitetura. E, por último, a revisão da literatura com as pesquisas recentes sobre sistemas de supervisão e controle em aquaponia.

2.1 Aquaponia

Na China, há cerca de 2000 anos atrás, com o desenvolvimento da aquicultura no país, já se registrava a utilização desta combinação de cultivo de peixes e plantas, para diminuição da concentração tóxica de amônia nos tanques de peixes. Já as primeiras pesquisas nessa área datam das décadas de 70 e 80, nos EUA, mas apenas a partir de 2010 é que houve um crescimento de publicações sobre o tema. Apesar de ser uma técnica praticada em muitos países, grande parte das aplicações são em escala doméstica. E com seu potencial de solucionar os desafios da crise alimentar, da escassez de recursos hídricos e de produção local, ou seja, próximo do mercado consumidor, a aquaponia precisa ser praticada de forma global e em escala comercial. Para isso, exigem-se maiores contribuições científicas para tornar sistemas aquapônicos de produção em escala comercial, viáveis economicamente

[12].

Um sistema aquapônico clássico possui três elementos básicos: tanque para criação de peixes, sistema de filtração mecânico e biológico e um componente hidropônico para produção de plantas, podendo ser em cascalho, ambiente flutuante (DWC), técnica do filme nutriente (NFT), aeroponia e etc [9, 11].

O que diferencia a aquaponia das técnicas de cultivo mais tradicionais é a combinação de dois ecossistemas que trabalham em simbiose: a aquicultura, que cria peixes em ambiente controlado e a hidroponia, denotando a estratégia de cultivar plantas em um ambiente sem solo. Ambos os ecossistemas são conectados através de um componente biológico baseado em bactérias, responsáveis por quebrar a amônia gerada pelos peixes em uma forma mais adequada para a absorção das plantas.

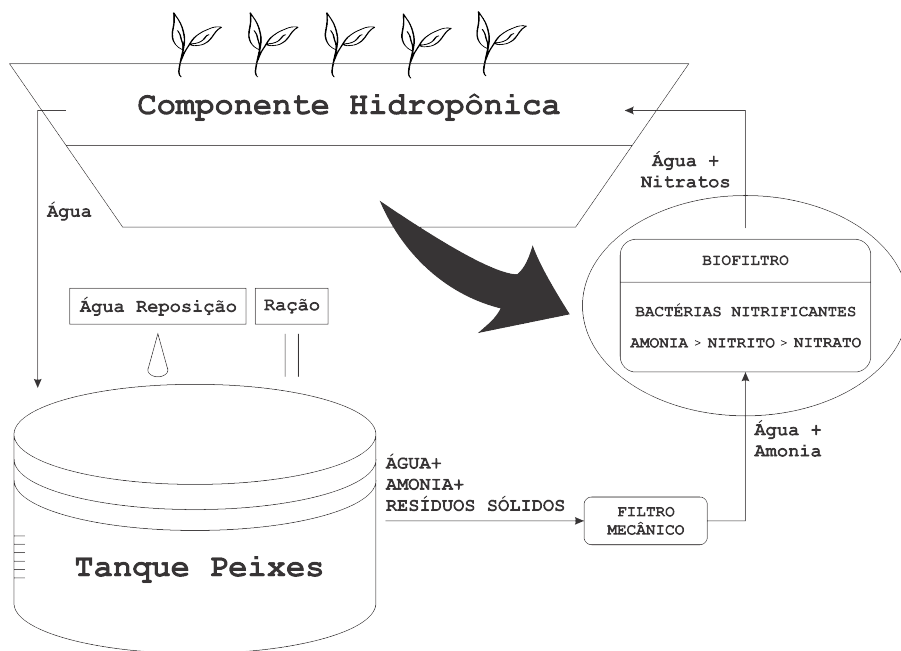


Figura 2.1: Esquemático Aquaponia.

Fonte: Adaptado de [14].

No esquemático apresentado na Figura 2.1, observa-se que nessa estratégia de crescimento, a quantidade e a qualidade de alimentos entregues aos peixes é um insumo

importante do sistema, onde após digerido, se tornará a fonte de nutrientes para as plantas. No entanto, antes de ser injetada na lavoura, a água passa por um filtro mecânico onde as partes sólidas são removidas. Depois disso, a água combinada com amônia dissolvida é bombeada para a componente hidropônica, que contém uma alta concentração de bactérias nitrificantes. Essas bactérias, que são geradas naturalmente, juntamente com as plantas, realizarão um processo biológico de filtragem da água, levando à redução da quantidade de amônia e concentrações de nitrato na saída do leito em crescimento.

Existem vários projetos de construção de sistemas aquapônicos, sendo o local de instalação determinante na escolha dos tipos de vegetais e peixes cultivados, assim como a estrutura, adequando os parâmetros de controle de acordo com as funções biofísicas do ecossistema. Por exemplo, há regiões em que é necessário uma estrutura de sombreamento ou arrefecimento, em outras, como nas regiões frias, já são necessárias as proteções de estufas e aquecimento das instalações aquapônicas. Assim, é necessário recorrer à literatura do tema para uma melhor compreensão das distintas tecnologias, classificações disponíveis dos sistemas integrados de aquaponia de forma a orientar decisões científicas, comerciais e regulamentações envolvidas.

2.1.1 Projetos de Sistemas Aquapônicos

Nos sistemas aquapônicos são cultivadas espécies aquáticas (podendo ser peixes, anfíbios, crustáceos, entre outros) em que os nutrientes fornecidos pelas excreções destes organismos são utilizados no desenvolvimento de plantas em sistemas hidropônicos. Na literatura, apresentam-se quatro classificações de produção agroalimentar em aquaponia, sendo elas: aquaponia de lagoa aberta, doméstica, de demonstração e comercial [15].

Aquaponia Lagoa Aberta

Na aquaponia de Lagoa aberta, utiliza-se das águas de superfície ao ar livre como lagos e lagoas, combinadas com a produção hidropônica que pode ser tanto na própria lagoa (na maioria das vezes utilizam jangadas na superfície da água) quanto na terra. É considerado

um método econômico, visto os componentes técnicos envolvidos como o uso mínimo de bombas e aeração de água. Sendo seu principal elemento, o lago abastecido com uma ou mais espécies aquáticas.

Aquaponia Doméstica

Em sistemas domésticos, encontra-se as produções clássicas de cultivo de peixes e plantas em ambientes fechados de recirculação de água e nutrientes. Normalmente são classificadas como mini-instalações, hobby e aquaponia de quintal. Nas instalações mini e hobby, são caracterizadas pelo pequeno volume do tanque de peixes, geralmente aquários caseiros, com pequenas áreas (máximo de $2 m^2$) de plantas que são cultivadas na própria superfície do reservatório de peixes.

Ainda, nestas categorias, há instalações maiores, onde a água flui por gravidade a partir de um reservatório de sedimentação para remoção de resíduos sólidos, antes de ser bombeada para as camas de cultivo hidropônicas. Muitas vezes, é necessária a utilização de aeração para manter o crescimento e saúde dos peixes. A área de ocupação das instalações é em torno de $2-10 m^2$ e a criação de peixes não é recomendada para consumo humano.

Já para sistemas domésticos com capacidade de produção de peixes e plantas para consumo humano, encontramos a aquaponia de quintal. Nestes sistemas, a área de ocupação são maiores, não excedendo $50 m^2$, a circulação de água é garantida com apenas uma bomba e são instaladas com frequência em quintais ou telhados urbanos.

Assim, na aquaponia doméstica podem ser cultivadas uma variedade de espécies de peixes, como aquarismo ou para consumo humano. E essas instalações são mais encontradas em áreas urbanas e com alta densidade habitacional.

Aquaponia de Demonstração

Nesta classificação, encontramos a prática da aquaponia para fins educativos, como o ensino de ciências naturais, e em projetos estruturais de arquitetura para fins artístico e

estético. São encontradas em paredes vivas de exposições, em edifícios industrial e comercial. Portanto, nesta categoria não há interesses comerciais de produção de alimentos.

Aquaponia Comercial

Na aquaponia comercial, a produção de alimentos são encontradas nas seguintes escalas: pequena, semicomercial, intermediária e em grande escala.

Em contraste com o cultivo doméstico, na aquaponia comercial de pequena escala há expansão das quantidades e tamanhos dos reservatórios de peixes e das áreas de produção de plantas, mantendo ainda a possibilidade de manejo agrícola por não profissionais. São sistemas construídos para fins de comercialização no mercado de varejo e para aumentar a produção de peixes e plantas, geralmente são adicionadas unidades de filtração mecânica e biológica. Na componente hidropônica, é possível escalonar diferentes subsistemas de cultivo, como técnicas DWC, NFT, a vazante e fluxo. Para circulação da água são utilizadas uma ou mais bombas (geralmente acrescentam uma de *backup* como prevenção a possíveis falhas). A área de ocupação é menos de 100 m^2 , nos sistemas NFT e DWC em pequena escala possuem um equilíbrio de processo estacionário, evitando grandes necessidades de intervenção humana, baixo consumo de energia e de taxas de troca de água.

Nos projetos semicomerciais de aquaponia, eles operam entre sistemas de produção de pequena e grande escala e são caracterizados pelo alto grau de mecanização. A área de produção também é inferior a 100 m^2 e para a circulação da água utilizam uma ou mais bombas, mas, diferente da produção em pequena escala, possui um maior grau de investimentos. Nestes empreendimentos, a estabilidade do processo requer considerações adicionais, visando um maior rendimento da produção. Para tanto, é introduzido controle climático e ambiental (por exemplo, enriquecimento de CO_2) nas estufas, inserção de tecnologias de monitoramento de água e gestão de resíduos, sistemas de *backups* e gerenciamento de pragas. Assim, possuem um manejo agrícola profissional e capacidade de comercialização dos produtos tanto no mercado de varejo quanto de atacado.

Nos empreendimentos comerciais de escala intermediária e grande escala, as operações

visam a produção máxima de peixes e plantas. Assim, possuem altos custos de investimentos, alto grau de mecanização do processo e gestão da produção e, por conta das estufas climatizadas, controlo automático de clima, monitoramento da qualidade de água, saúde de peixes e plantas, há um elevado consumo de energia, recorrendo à utilização de fontes alternativas. Com uma gestão agrícola profissional, comercializam seus produtos para supermercados, atacadistas, instituições e restaurantes. Para intensificação de produção vegetal, protocolos de manejos agrícolas são implementados de maneira que uma maior produção de plantas por m^2 sejam alcançados. A área de produção de aquaponia em escala intermediária é descrita entre 100 e 500 m^2 e em grande escala, empreendimentos com ocupações maiores que 500 m^2 .

2.1.2 Manejo em Aquaponia

Em sistemas de aquaponia, a qualidade da água é um fator determinante para um manejo agrícola eficiente. Além de ser o meio de circulação de nutrientes entre os ecossistemas, ainda é necessário garantir padrões de qualidade da água de modo a favorecer o surgimento de bactérias nitrificantes (essenciais ao processo de nitrificação), fundamentais para a metabolização do nitrogênio do sistema. Assim, serão abordados neste tópico as variáveis essenciais para o controlo da qualidade da água. Para detalhes mais aprofundados, consultar [11, 12].

Temperatura

Em aquaponia, a temperatura para o processo de nitrificação deve estar entre 17 e 34 °C. Abaixo dessa faixa, a taxa de proliferação de bactérias diminui. Para a hidroponia, a faixa é entre 18 e 30 °C, acima dessa faixa pode restringir a absorção de cálcio pelas plantas. E para os peixes, o controlo de temperatura evita o surgimento de doenças, sendo a faixa recomendada de acordo com a espécie, por exemplo, os peixes tropicais, entre 22 e 31 °C; peixes de água fria entre 10 e 18 °C e algumas outras espécies com uma faixa mais ampla.

pH

O pH na aquaponia afeta a disponibilidade de nutrientes para as plantas e a taxa de nitrificação. Assim, a faixa recomendada para os peixes é entre 6,5 a 9,5 pH, porém é orientada a consulta para os variados tipos de espécies. Para as plantas, é em torno de 6,0 e as bactérias, entre 7,0 a 9,0 pH.

Amônia

A amônia na aquaponia é produzida a partir da excreção dos peixes e tem o papel de fornecer o componente inicial de nutrientes para as plantas. A faixa recomendada para peixes de águas quentes é menor que 3 mg/l e de águas frias, menor que 1 mg/l. Para as bactérias, menor que 3 mg/l e para as plantas, menor que 30 mg/l. Para mais detalhes desses cálculos consultar [12].

Oxigênio Dissolvido

Parâmetro bastante sensível e delicado da aquaponia. O processo de nitrificação é afetado com níveis de oxigênio baixos, e quando os peixes se alimentam o consumo de OD também aumenta, sendo necessária a reposição. Assim como quando a água está mais quente, pode reter menos oxigênio. Com níveis baixos de OD, as bactérias param de quebrar a amônia e o nitrito, aumentando os riscos para a saúde dos dois ecossistemas, peixes e plantas. Para as bactérias, os níveis recomendados são entre 4 a 8 mg/l; para a componente hidropônica, maiores que 3 mg/l e os peixes, maiores que 5 mg/l.

2.2 Automação na Aquaponia

Um projeto estrutural adequado e gestão eficiente dos parâmetros de controle da qualidade de água da aquaponia são cruciais para a viabilidade econômica destes sistemas. Quando se projeta para produções em escala comercial, o gerenciamento se torna um grande desafio, tornando a tarefa de monitorar e analisar os diversos dados e fatores envolvidos, de

forma manual, uma abordagem arriscada. Com a introdução de tecnologias de automação, busca-se um controle preciso e seguro do processo, concatenando os diferentes parâmetros do sistema para uma tomada de decisão baseada em dados e de forma imediata [12]. Agilizando processos, reduzindo erros, como também a configuração para o envio de alertas e notificações ao produtor das ocorrências e anormalidades do sistema. A informação sempre terá um papel fundamental nessa equação, uma vez que a tomada de decisão depende fundamentalmente dela.

Manter um monitoramento rigoroso de todas as etapas da produção até o consumidor final, passando para toda a cadeia de suprimentos é de extrema importância para reduzir o desperdício e garantir a qualidade do produto, minimizando a pegada ambiental.

Em relação ao processo produtivo, o uso de tecnologias da informação na agricultura é muito mais complexo do que em ambientes industriais. Existem várias razões para que seja assim. Por um lado, estamos lidando com uma área de produção muito maior, sem um layout definido e fixo. Por outro, a infraestrutura de comunicações é praticamente inexistente, com sérias limitações à disponibilidade de energia elétrica. No entanto, tem havido um grande esforço para a adaptação de loops de medição, encontrados em outros contextos, nos processos agroalimentares em geral e na agricultura em particular.

Desta forma, esta seção busca discutir e explorar os conceitos de automação, em particular IoT, e através de uma revisão da literatura, abordar diversas pesquisas científicas alinhadas com a proposta deste trabalho.

2.2.1 Internet of Things (IoT)

A Internet das Coisas (*Internet of Things*) é um conceito bastante discutido nos últimos anos, possui potencialidades a serem exploradas e já se apresenta na literatura como uma tecnologia revolucionária, uma mudança de paradigmas nas áreas de computação e comunicações. De maneira geral, IoT é uma tecnologia capaz de rastrear e codificar distintos objetos (coisas) do mundo físico em uma infraestrutura global, com capacidade de conectividade a qualquer hora, lugar e por qualquer coisa.

“Na chamada Internet das Coisas, sensores e atuadores embutidos em objetos físicos - de estradas a marca-passos - são conectados por redes com e sem fio, geralmente usando o mesmo IP de Internet. Essas redes produzem grandes volumes de dados que fluem para os computadores para análise. Quando os objetos podem sentir o ambiente e se comunicar, eles se tornam ferramentas para compreender a complexidade e responder a ela rapidamente. O que é revolucionário em tudo isso, é que esses sistemas físicos de informação estão começando a serem implantados e alguns deles funcionam em grande parte sem intervenção humana.” [16]

Com suas potencialidades a serem exploradas, a IoT é uma tecnologia de interesse dos setores acadêmicos, industriais e instituições governamentais. Seu desenvolvimento é aplicado em diversas áreas da sociedade com impactos sociais, ambiental e econômico, como Mobilidade Inteligente, Casas e Edifícios Inteligentes, Segurança Pública, dentre outros.

Na agricultura, a inserção destas tecnologias de informação e comunicação monitoram, através dos sensores, os diversos parâmetros ambientais e climáticos envolvidos nas lavouras e, com a inserção de atuadores e uma computação embarcada, automatizam os sistemas de irrigação de precisão, desempenhando assim um papel importante na eficiência das atividades agrícolas [17].

2.2.2 Arquitetura IoT

Na literatura existem diversos modelos de organização possíveis, adicionando mais abstração à arquitetura de IoT. Porém, a arquitetura geral pode ser estruturada em 3 camadas básicas, são elas (1) Camada de Aquisição; (2) Camada de Rede; e (3) Camada de Aplicação [18, 19].

A Camada de Aquisição são os equipamentos de aquisição de dados do ambiente através dos sensores. No mercado, existem centenas com capacidades diversas de tarefas que podem ser executados, como sensores de temperatura, medição nível, humidade do

ar, dentre outros. Após essa coleta de dados, são então enviados para a Camada de Rede.

A Camada de Rede é a transmissão de dados através das tecnologias de comunicação, com e sem fio, podendo ser utilizados Wi-Fi, RFID (Radio-Frequency Identification), M2M (Machine to Machine), LTE (Long Term Evolution), Z-Wave (Zensys Wave), dentre outros.

E a camada superior, Camada de Aplicação, é onde executa serviços mais próximos da interação humana, fornecendo através de interfaces gráficas informações solicitadas pelos clientes. Sendo eles, visualização de temperatura, humidade do ar, dentre outras variáveis [20].

2.3 Revisão Literatura

Como exposto, a agricultura intensiva é um processo que demanda muita água e também é responsável pela contaminação dos aquíferos devido ao uso de fertilizantes e pesticidas. É importante incentivar a adoção de técnicas sustentáveis e de baixo impacto ambiental no setor de produção agroalimentar, a fim de usar conscientemente os recursos naturais disponíveis.

Por exemplo, em [21] é adotada uma abordagem de rede de sensores para monitorar remotamente informações ambientais que afetam as condições da aquicultura e cultivo. As variáveis medidas são, valor de pH, oxigênio dissolvido e temperatura da água. Também, é capaz de estimar o grau de crescimento de peixes e plantas, através da correlação das informações ambientais e condição de crescimento, controla a qualidade da água para que a proliferação de bactérias sejam ótimas para cada tipo de peixes e plantas.

Em [14], os autores consideram uma configuração composta por módulos individuais distintos de produção aquapônica, levando à capacidade de regular automaticamente a proporção entre peixes e plantas. A partir da medição do estado dos processos e usando um modelo de simulação virtual, é previsto o desempenho do sistema real. As informações do modelo são usadas para otimizar o comportamento de todo o sistema, levando a um aumento na produção e reduzindo o consumo de água.

O paradigma da IoT já foi aplicado à automação de um sistema aquapônico, conforme descrito em [22]. As informações coletadas por uma série de sensores são enviadas para um servidor remoto que fornece informações em tempo real ao agricultor através de um aplicativo desenvolvido pelos autores.

Outro exemplo de um sistema de automação aquapônico NFT é apresentado por [23]. Em seu trabalho, as vantagens desse método agrícola são destacadas e subjacentes ao fato de que as tecnologias de automação e informação devem ser incluídas para melhorar o nível de gestão da produção.

Capítulo 3

Proposta de Sistema

Neste capítulo serão abordados os hardwares e softwares utilizados no desenvolvimento deste sistema, os requisitos funcionais esperados, o desenho estrutural do protótipo e a interface gráfica do utilizador para interação entre o produtor e o sistema.

3.1 Hardwares e Softwares

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um Sistema de Supervisão e Controlo de produção agrícola em Aquaponia, capaz de realizar a leitura das variáveis ambientais através dos sensores, e a partir da lógica de controlo das condições ideais do sistema configuradas, atuar de forma autônoma no processo, bem como enviar notificações por e-mail ao produtor das ocorrências e anormalidades do sistema.

Para isso, no esquemático da Figura 3.1, os respectivos softwares e hardwares de controlo são propostos. Nota-se a divisão do projeto em 3 instâncias, Módulo de Aquisição de Dados e Atuação, Módulo Central e a Interface do Utilizador. Essa divisão se propõe a organizar o propósito e as funcionalidades em que cada Hardware e Software serão aplicados no desenvolvimento deste Sistema de Supervisão e Controlo.

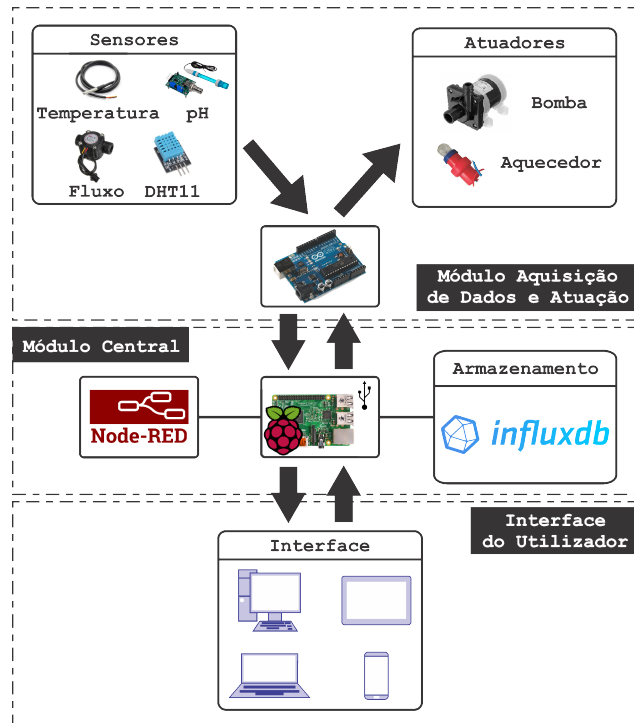


Figura 3.1: Instrumentação eletrônica e Softwares de controlo para o Sistema de Aquaponia proposto.

Assim, o módulo de aquisição de dados e atuação será responsável pela medição, análise e validação dos parâmetros do mundo real. Para isso, os sensores aplicados são: temperatura da água, pH, sensor de fluxo de água e de humidade e temperatura do ar (DHT11). O Arduino, nesta etapa, é responsável pela aquisição e processamento dos dados enviados pelos sensores e comunicação com todos os periféricos do sistema. Assim, quando requisitado pelo Módulo Central, o mesmo deve operar o controlo da bomba de água e do aquecedor. Na Figura 3.2, é ilustrada a localização destes sensores e atuadores no sistema de aquaponia proposto.

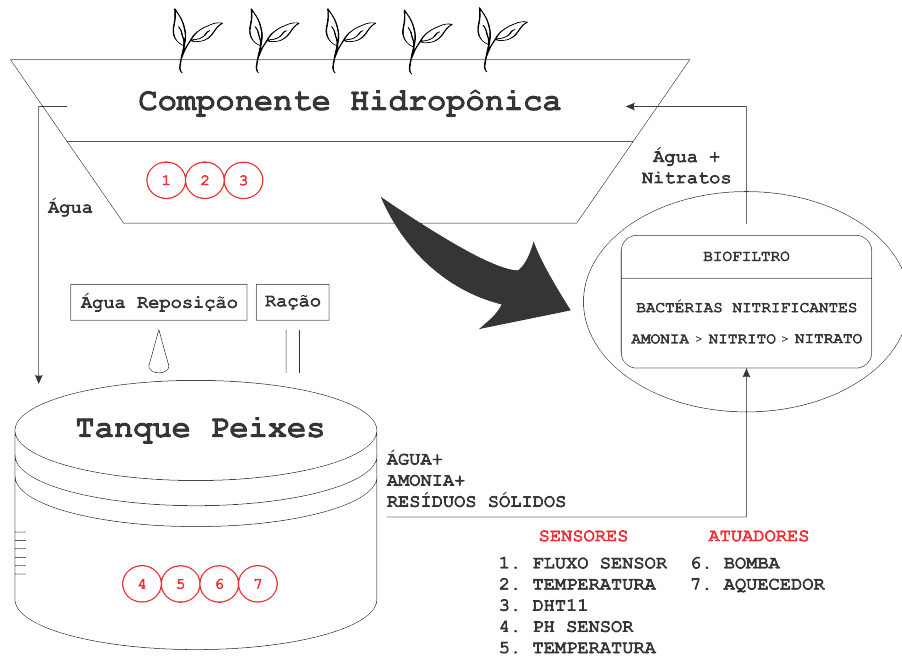


Figura 3.2: Sensores e Atuadores no Sistema de Aquaponia proposto.

Em continuação ao esquemático da Figura 3.1, o módulo central é o cérebro do sistema, responsável pela integração entre as diversas plataformas para aquisição, processamento, armazenamento de dados e visualização das informações, assim como controlo e atuação do processo. Nesta etapa, são configuradas as condições ideais em que o sistema de supervisão e controlo deve operar, configurando as faixas limites de temperatura, de fluxo de água e pH, de forma a garantir um controlo robusto de todo o processo de aquaponia. Assim, serão utilizados o computador Raspberry Pi, a ferramenta de desenvolvimento Node-RED e o serviço de banco de dados InfluxDB. O protocolo de comunicação utilizado para transmissão de dados entre os hardwares, Arduino e Raspberry Pi, é a Serial USB.

Já a interface do utilizador é responsável pela visualização em tempo real das informações do sistema, bem como o canal de interação entre o produtor e o sistema de aquaponia, quando da necessidade de intervenção humana para operação dos atuadores de forma manual.

3.2 Requisitos do Sistema

Os seguintes requisitos funcionais são esperados do sistema proposto neste trabalho:

1. Visualização das informações dos sensores (temperatura, humidade, fluxo e pH) em tempo real e um histórico de comportamento destas variáveis, por pelo menos, das últimas 4h anteriores à consulta, de forma remota e via interface web.
2. Os sensores devem atualizar seus estados em intervalos de 1 minuto.
3. O sistema deve armazenar as informações dos sensores para consultas e análises posteriores.
4. O sistema deve ser capaz de controlar o processo de forma automatizada, mas também disponibilizar a opção manual, quando da necessidade de intervenção humana.
5. O sistema deve acionar a bomba de água e o aquecedor de forma manual e automatizada, através da interface web.
6. O sistema deve detectar falhas na bomba de circulação.
7. O sistema deve enviar notificação por e-mail ao produtor quando a bomba e o aquecedor forem ligados ou desligados.
8. O sistema deve enviar notificação ao produtor por e-mail quando, em modo manual, ligar e desligar o aquecedor ou a bomba, representar um risco ao processo não obedecendo os limites de condições ideais configurados na lógica de controlo.

3.3 Interface do Utilizador

Para visualização das informações das variáveis ambientais monitoradas, propõe-se a seguinte interface gráfica:

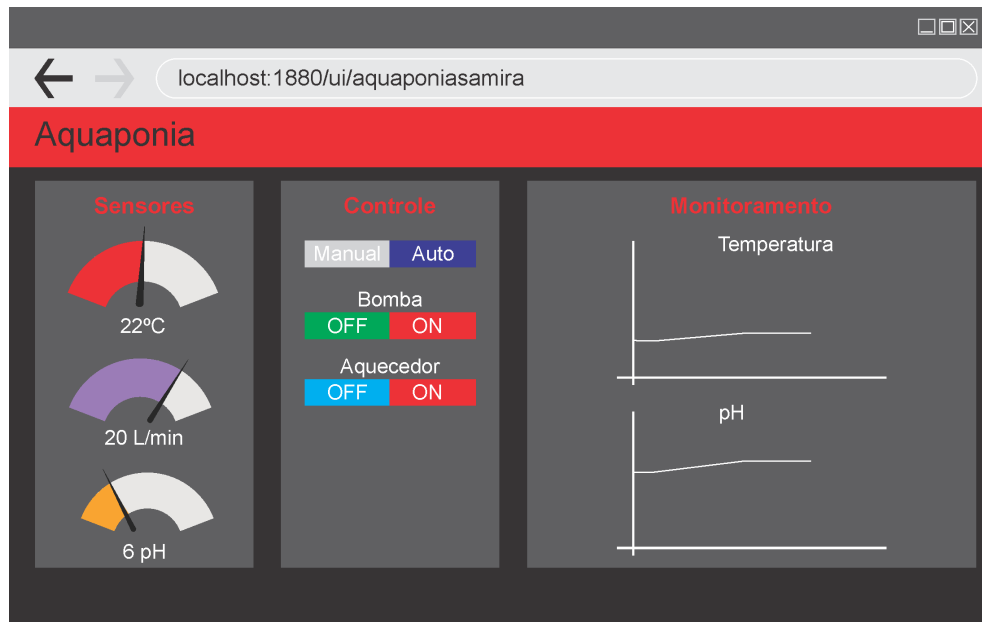


Figura 3.3: Interface Gráfica proposta.

Como pode ser visto na Figura 3.3, a escolha de organização dos elementos na interface gráfica foi baseada nos Requisitos Funcionais, na seção 3.2. Assim, na aba “Sensores”, devem constar todas as informações em tempo real das variáveis ambientais monitoradas. Na aba “Controle”, será possível selecionar a opção “auto”, deixando o sistema funcionar de forma automatizada, respeitando a faixa limite de temperatura, acionando de forma autônoma os atuadores quando necessário. Ainda nesta aba de controle, quando selecionada a opção “Manual”, será possível, através dos respectivos botões, ligar e desligar a bomba e o aquecedor. E por último, na aba “Monitoramento”, é onde serão disponibilizados os históricos de comportamento, atualizados em intervalos de 4h, dos sensores configurados.

3.4 Desenho Mecânico Sistema

Nesta etapa, foi definida a arquitetura do sistema de aquaponia. Para essa escolha, foi priorizada a utilização dos materiais e recursos disponibilizados na própria universidade, de forma a diminuir o custo do protótipo. Então, a escolha da estrutura e, conseqüentemente,

a classificação na qual o projeto aquapônico (Seção 2.1.1) será inserido, foi tomada com base no tamanho do aquário disponível. Assim, para um aquário de 40 l, com dimensões de 0.52 x 0.26 x 0.29 m, a estrutura ilustrada na Figura 3.4 é proposta.

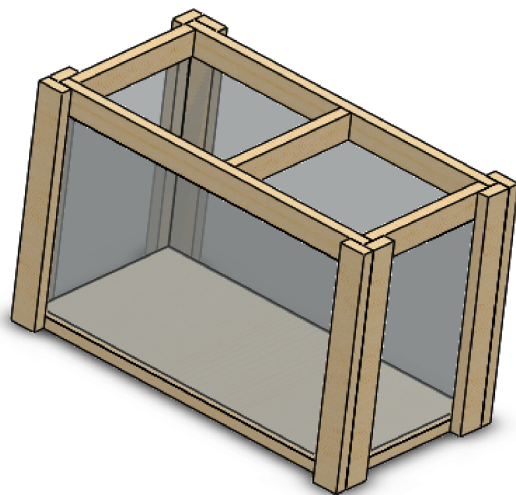


Figura 3.4: Estrutura Aquicultura proposta.

Assim, a partir da Figura 3.4, é possível verificar a estrutura de madeira que foi projetada para proteger o aquário de vidro e facilitar no transporte e deslocamento do sistema aquapônico.

Definidas as dimensões da componente de aquicultura, foi então projetada a estrutura da componente hidropônica. Como discutido na Seção 2.1, existem diversos tipos de cultivo em hidroponia, cada um com suas particularidades e propósitos. Como o volume do aquário permite uma baixa estocagem de peixes, o cultivo de plantas por cama de cultivo se torna o mais apropriado. Outra vantagem considerada, é que nesta técnica não há a necessidade de construção de filtros biológico e mecânico separados do sistema, já que no compartimento de plantas são inseridos substratos, como argila expandida, que além de servirem como sustentação para as plantas, também torna o ambiente apropriado para a proliferação de bactérias nitrificantes.

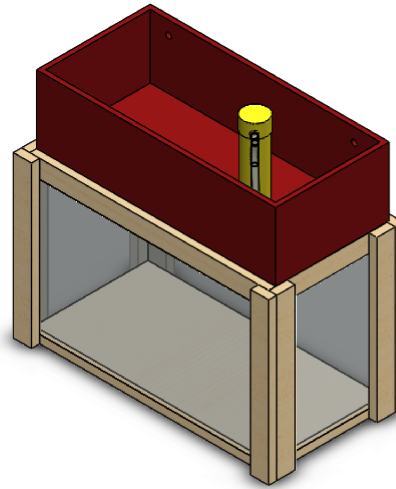


Figura 3.5: Sistema de Aquaponia proposta.

Conforme pode ser visto na Figura 3.5, a caixa em vermelho é a cama de cultivo em hidroponia e em amarelo, o Sifão Bell, que será utilizado no sistema hidráulico da aquaponia para escoamento da água entre os dois ecossistemas, hidroponia e aquicultura.

Capítulo 4

Implementação

Na sequência do Capítulo anterior, foram construídas as estruturas mecânica e hidráulica e desenvolvido a instrumentação eletrônica e de controle do sistema de aquaponia. Assim, este capítulo foi separado em 4 Seções (4.1 Montagem da Estrutura; 4.2 Módulo de Aquisição de Dados; 4.3 Módulo Central, e; 4.4 Interface do Utilizador) de forma a organizar as etapas de desenvolvimento do Sistema de Supervisão e Controle de produção agrícola em Aquaponia.

4.1 Montagem Estrutura

Para a Montagem Estrutural do Sistema de Aquaponia, as atividades foram separadas em duas partes, Mecânica e Hidráulica. Como discutido na proposta da Seção 3.4 e demonstrado na Figura 3.5, uma estrutura de madeira para sustentação do aquário de vidro e para facilitar no transporte do protótipo seria necessário, bem como uma caixa para o cultivo de plantas. Na atividade do sistema hidráulico, foi realizada a construção do Sifão Bell.

4.1.1 Estrutura Mecânica

Tanto para a estrutura de proteção do aquário, quanto da caixa para compartimento das plantas, foi utilizada a madeira MDF com 18 mm de espessura. Assim, seguem fotos da estrutura construída:



(a) Vista Frontal - Aquicultura.



(b) Vista traseira - Aquicultura



(c) Aquicultura e Hidroponia

Figura 4.1: Estrutura Sistema Aquaponia.

4.1.2 Sistema Hidráulico

No sistema hidráulico, utilizou-se o sistema de descarga por Sifão Bell por dois motivos: o primeiro é pela necessidade de oxigenação nas raízes das plantas e o segundo, foi aproveitar a ação da gravidade para o escoamento da água de volta ao tanque do peixe.

O Sifão Bell, além de aplicações na aquaponia, também é utilizado em alguns vasos sanitários, em seu sistema de descarga, e em relógios de água. Tem o princípio físico do Copo de Pitágoras, que consiste na invenção de uma taça (Figura 4.2) com uma tubulação dobrada em seu interior, em que ao encher essa taça com líquido até a altura da linha pontilhada, a taça se comporta como um copo normal, mas ao ultrapassar essa altura, a água escoar por completo através do tubo interno.

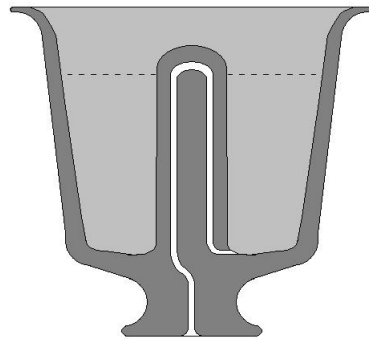
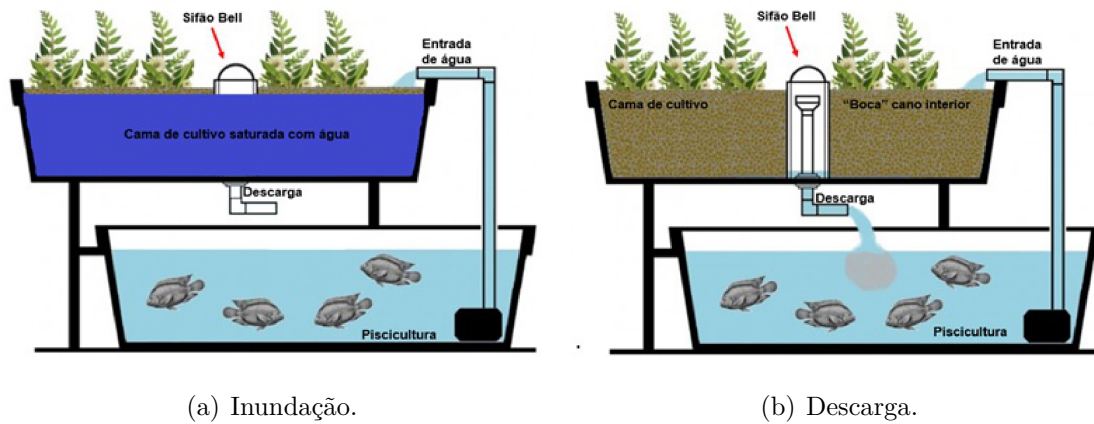


Figura 4.2: Ilustração Copo de Pitágoras.

Fonte: [24]

O funcionamento na aquaponia consiste no enchimento da cama de cultivo até a altura projetada, neste período de enchimento as raízes das plantas ficam submersas na água, sendo possível a absorção dos nutrientes até o momento de descarga do Sifão Bell, onde há o esvaziamento da cama de cultivo. Esse tempo entre o enchimento e drenagem da água na cama de cultivo deve ser diferente, dependendo da espécie de planta a ser cultivada [25]. Na Figura 4.3, há uma ilustração para melhor visualização do princípio de funcionamento do Sifão Bell na aquaponia.



(a) Inundação.

(b) Descarga.

Figura 4.3: Ilustração Sifão Bell na Aquaponia.

Fonte: [26]

Assim, em (a) temos o bombeamento da água do tanque dos peixes para a cama de cultivo, permitindo que os nutrientes desse ambiente aquático sejam consumidos pela componente hidropônica. Já no segundo comportamento, em (b), o momento de descarga. Enfatiza-se ainda que, neste tipo de sistema hidráulico, a bomba de água deve funcionar de maneira ininterrupta, sendo a detecção de alguma falha em seu funcionamento fundamental para garantir a saúde das plantas e bactérias presentes na cama de cultivo.

Na Figura 4.4 é demonstrado o Sifão Bell construído:

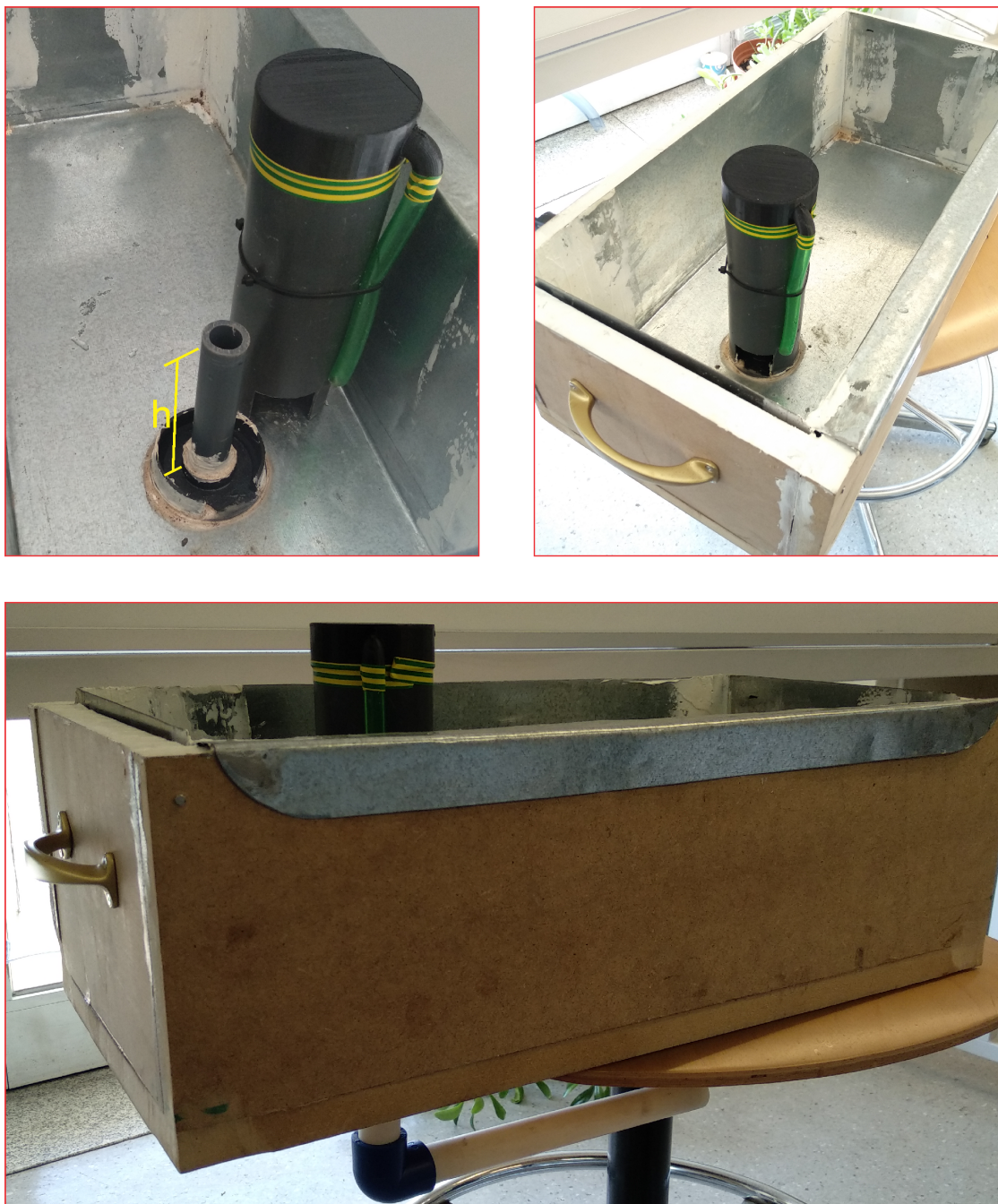
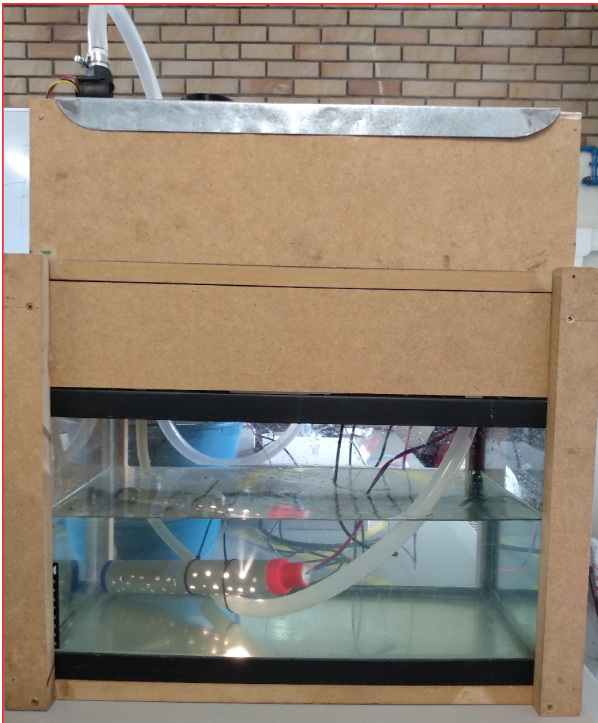


Figura 4.4: Sifão Bell do Sistema de Aquaponia.

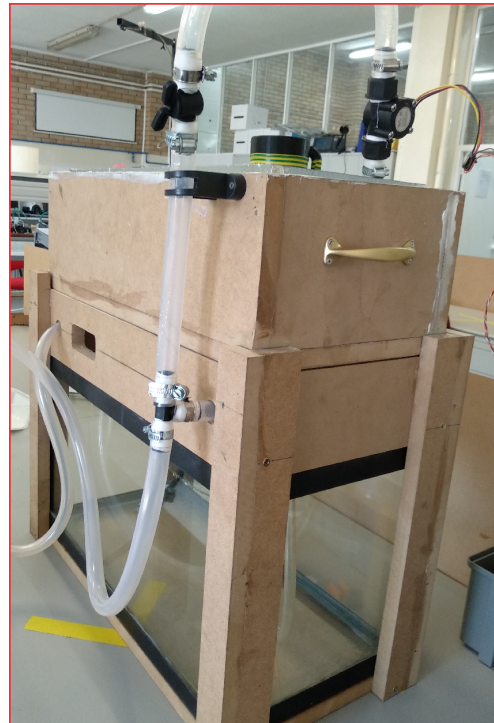
A partir da Figura 4.4, tem-se a cama de cultivo preenchida na parte interna com folha de zinco, para impermeabilização da estrutura. O Sifão, construído em PVC, polímero sintético de plástico. E a tampa do Sifão e o conjunto de ligação entre a parte interna

da cama de cultivo e externa, desenvolvidos no software Solidworks e impressos em PLA usando uma impressora 3D do tipo FDM. Ainda neste conjunto, na primeira imagem, enfatiza-se a cota “h” demarcada, pois esta medida é fundamental para definir a altura máxima de enchimento da cama de cultivo.

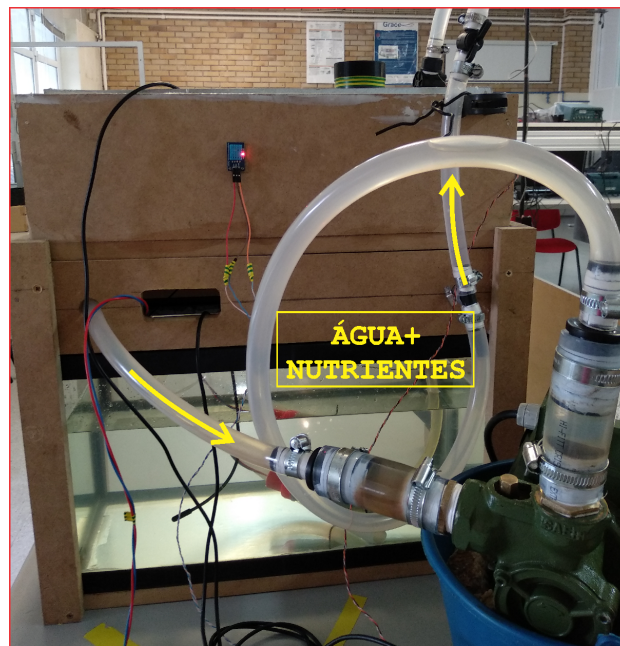
A seguir, na Figura 4.5, são apresentadas as imagens do Sistema de Aquaponia com a tubagem hidráulica desenvolvidos para este trabalho.



(a) Vista Frontal.



(b) Vista lateral Esquerda.



(c) Vista Traseira.

Figura 4.5: Sistema de Aquaponia desenvolvido.

4.2 Módulo Aquisição de Dados e Atuação

Nesta seção, serão detalhadas as especificações técnicas dos sensores meteorológicos e atuadores que foram utilizados para a monitorização e controlo do processo de aquaponia. Para a escolha da instrumentação eletrônica, foi priorizada a implementação dos componentes disponíveis no laboratório da universidade, devido que para a construção do protótipo de aquaponia (4.1 Montagem Estrutura) já teria um despendimento de recursos extras.

4.2.1 Sensores

Conforme ilustrado na Figura 3.2, para a medição das variáveis foram utilizados: dois sensores de temperatura (DS18B20), um para a componente de aquicultura e outro para a hidroponia; um sensor de pH; um sensor de fluxo de água e um sensor de humidade e temperatura do ar (DHT11). As especificações técnicas dos respectivos componentes eletrônicos e sua calibração, quando necessário, são abordados a seguir.

Temperatura DS18B20

Para o monitoramento de temperatura, foi utilizado o sensor DS18B20 à prova de água, capaz de efetuar leituras entre $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ com precisão de $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, sinal de saída digital e tensão de operação 3 a $5,5\text{V DC}$. Na Figura 4.6, um exemplo deste sensor comercial.



Figura 4.6: Sensor DS18B20.

Fonte: [27]

Como este modelo possui um endereço físico (serial de 64 bits) para cada sensor, neste trabalho, utilizou-se a mesma porta digital do Arduino para efetuar a leitura individual dos dois sensores. Na instalação deste sensor para medir a temperatura no aquário, deve-se atentar para o posicionamento do mesmo não ser próximo ao aquecedor, de modo a evitar erros na leitura do ambiente aquático. A seguir, Figura 4.7, o esquemático eletrônico da instalação.

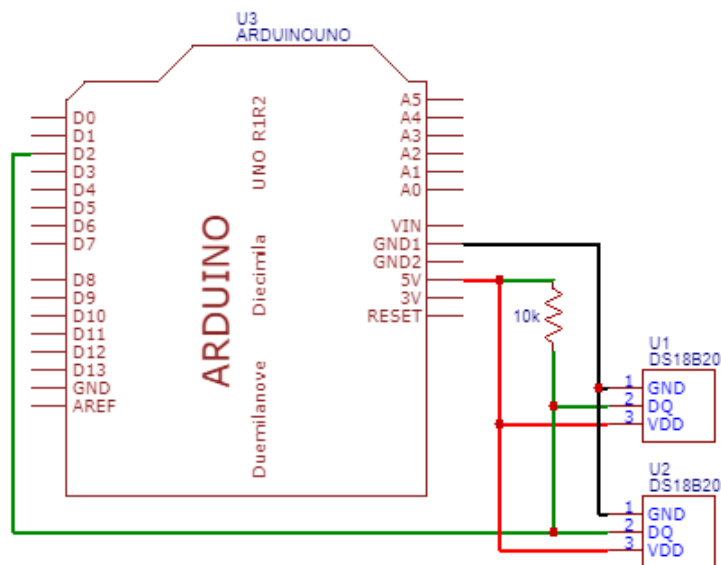


Figura 4.7: Circuito eletrônico dos sensores de temperatura.

pH

Para a leitura de pH, utilizou-se um sensor sonda de eletrodo E-201-C, com range de leitura de 0 a 14 pH, tensão de operação 5V DC e saída analógica. Na Figura 4.8, a imagem do sensor comercial utilizado.



Figura 4.8: Sensor pH E-201-C.

Fonte: [28]

E o diagrama do circuito eletrônico para instalação, segue na Figura 4.9.

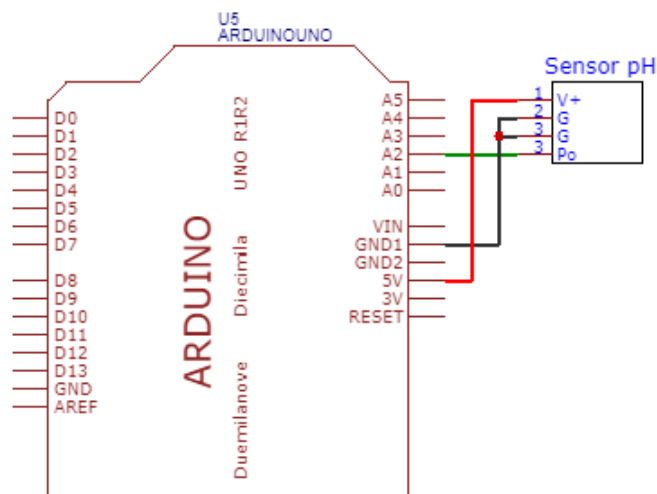
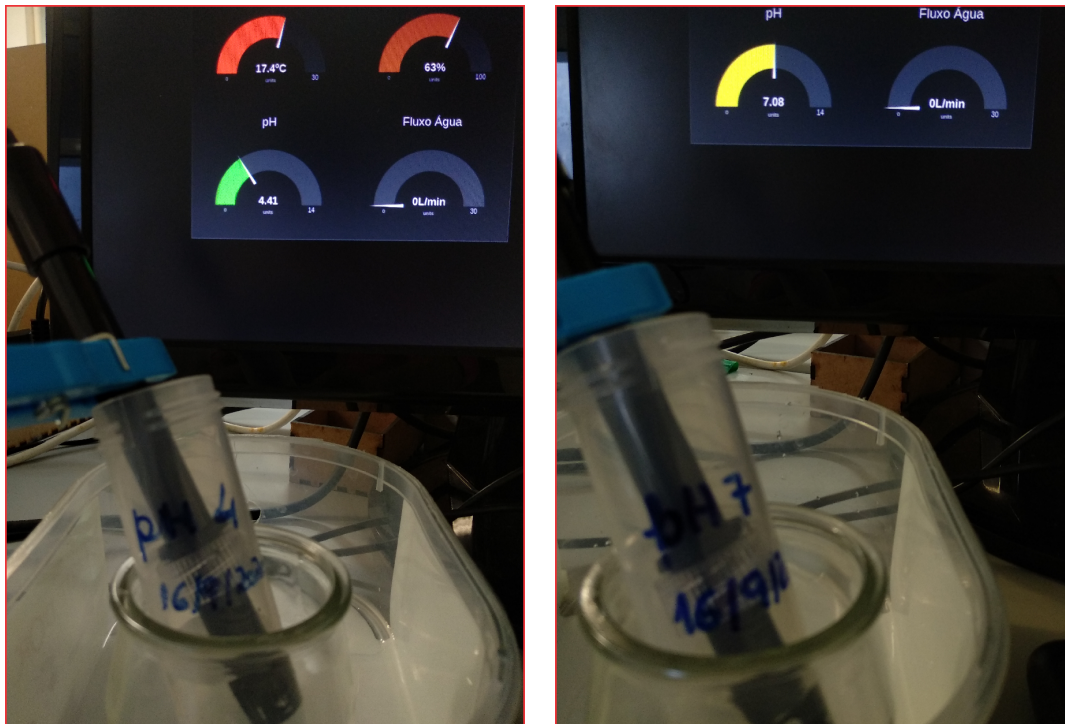


Figura 4.9: Circuito Eletrônico Sensor pH.

Para uma leitura de pH de 0 a 14, espera-se uma saída de tensão onde 0V represente 0pH e 5V, 14 pH. Porém, o fabricante configura a placa com pH7 como 0V. Assim, foi necessário realizar a calibração da placa para que a leitura de um pH 7 seja de 2,5V. Para

mais detalhes do procedimento, consultar [29]. As soluções padrões de pH foram adquiridas no Laboratório de Química da Universidade, sendo possível realizar a calibração com soluções tampões de 4 e 7 pH. A seguir, na Figura 4.10, imagens do procedimento de calibração.



(a) Calibração solução padrão 4 pH.

(b) Calibração solução padrão 7 pH.

Figura 4.10: Procedimento calibração sensor de pH.

Sensor de Fluxo de água YF-S201

O sensor de fluxo utilizado foi o modelo YF-S201, inserido na tubulação entre o tanque de peixes e a cama de cultivo. Conforme o líquido passa pelo sensor de efeito hall, o mesmo emite sinais de pulsos em que, a partir da frequência desses pulsos, é possível medir o fluxo de água do sistema. Possui tensão de operação 5V DC e taxa de fluxo operacional de 0 a 30 l/min.



Figura 4.11: Sensor de Fluxo YF-S201.

Fonte: [30]

Segue esquemático eletrônico de instalação na Figura 4.12.

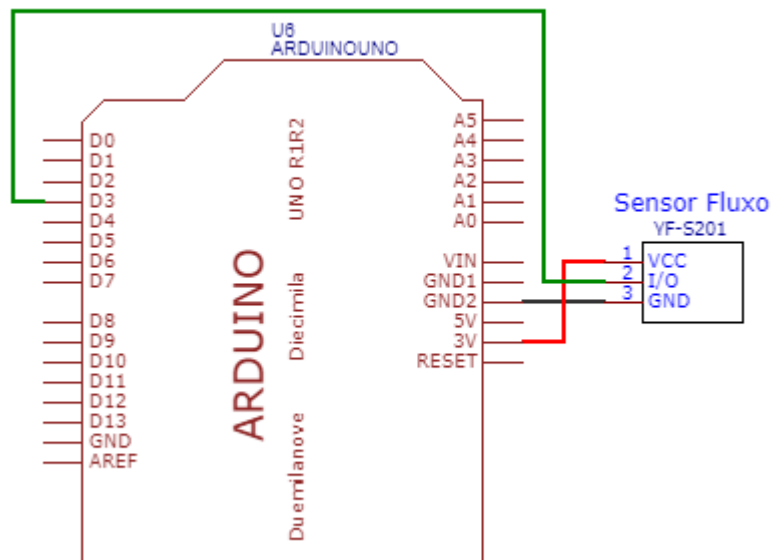


Figura 4.12: Circuito Eletrônico Sensor de Fluxo.

Humidade e Temperatura de Ar DHT11

Para o monitoramento das condições ambientais, temperatura e humidade do ar, foi inserido o sensor DHT11. Possui tensão de operação de 3 a 5V DC, faixa de medição de

humidade de 20 a 90% $\pm 5\%$ UR e de temperatura, de 0 a 50°C $\pm 2^\circ\text{C}$.

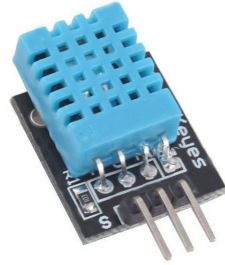


Figura 4.13: Sensor DHT11.

Fonte: [31]

Assim, o circuito eletrônico de instalação da Figura 4.14 foi desenvolvido.

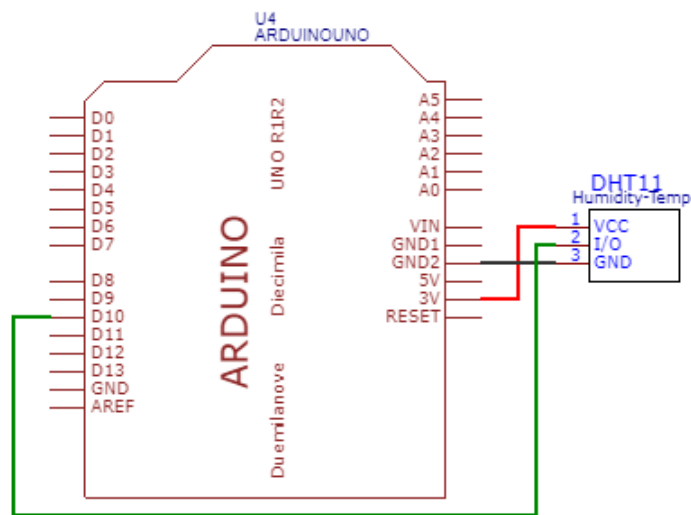


Figura 4.14: Circuito eletrônico sensor DHT11.

4.2.2 Atuadores

Para o controlo do processo, dois atuadores foram inseridos, uma bomba e um aquecedor de água.

Aquecedor

O aquecedor utilizado neste trabalho foi desenvolvido a partir de uma lâmpada de pisca para automóvel de 20W com tensão de operação de 12V DC. Assim, aproveitou-se a energia térmica transformada pela lâmpada, para manter a temperatura da água de acordo com o valor estipulado. Uma fonte de computador foi utilizada para alimentação do sistema de aquecimento. Na Figura 4.15, o esquemático eletrônico desenvolvido para o aquecedor é apresentado.

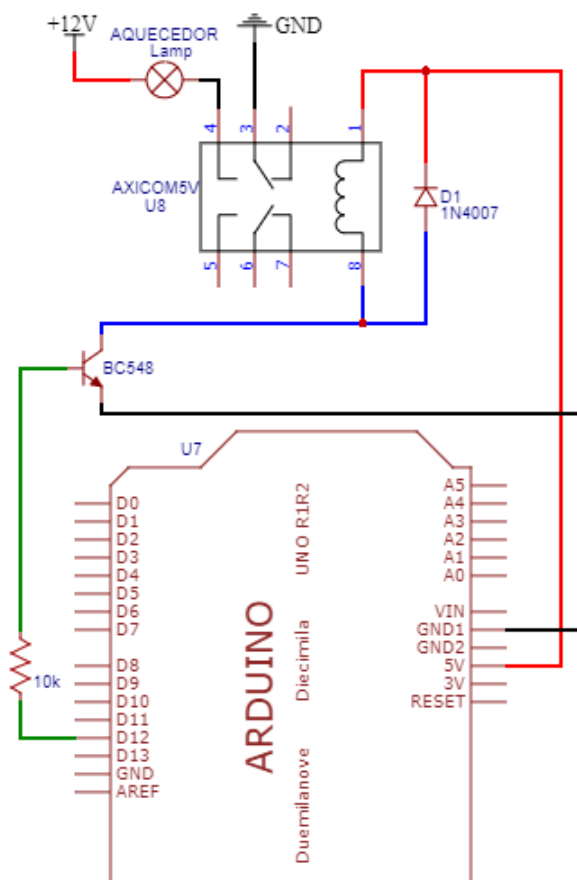


Figura 4.15: Circuito eletrônico Aquecedor.

Na Figura 4.16, imagens da construção do aquecedor que foi posicionado no aquário do sistema de aquaponia.



Figura 4.16: Construção Aquecedor.

Bomba De água

A bomba disponível foi da fabricante Elettropompe SAER, tensão operação 230V AC, 0,5 hp e potência 0,37 kW. Conforme as especificações, a bomba utilizada é sobredimensionada, não sendo apropriada para este trabalho, porém foi usada para testes do Sistema. Na Figura 4.17, o diagrama eletrônico de instalação e, na Figura 4.18, imagens da bomba utilizada são mostradas.

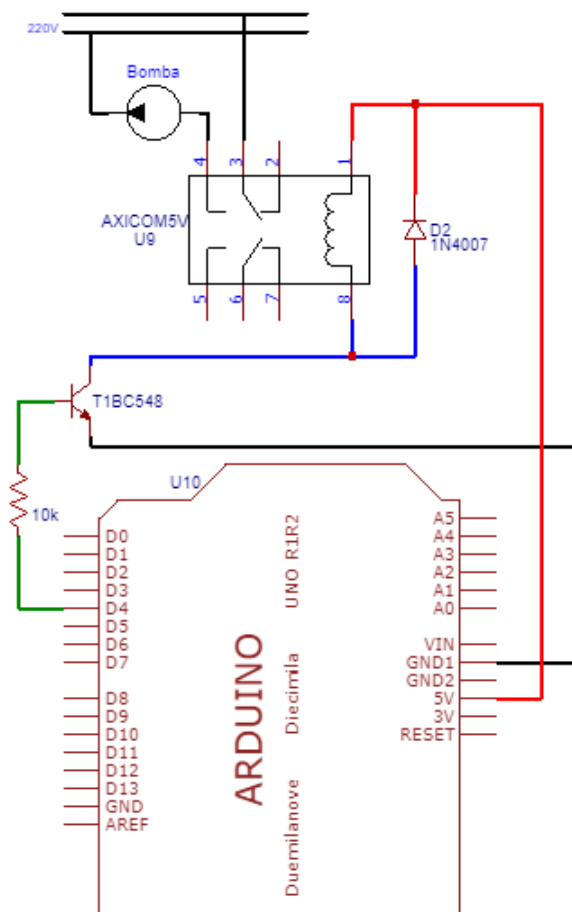


Figura 4.17: Circuito eletrônico Bomba.



Figura 4.18: Bomba de água.

4.2.3 Arduino

O Arduino é uma plataforma de desenvolvimento baseada em microcontrolador e foi aplicado neste projeto devido à não disponibilidade de conversores ADC no Raspberry Pi. Como o sensor de pH possui sinal de saída analógico, para evitar custos com aquisição de componentes externos para essa leitura, recorreu-se à utilização da placa Arduino que

possui esses pinos ADC. Assim, neste trabalho o Arduino é o microcontrolador responsável pela aquisição de dados dos sensores, pela análise e validação das informações adquiridas, bem como o hardware responsável pela comunicação e controlo dos atuadores do sistema de aquaponia.



Figura 4.19: Arduino Uno.

Fonte: [32]

Baseado no processador ATmega328P, com 14 pinos digitais de entrada e saída (dos quais 6 como saída PWM), 6 entradas analógicas, conexão USB, dentre outras especificações em [32], o Arduino se torna um hardware adequado para as aplicações no processo do sistema de aquaponia proposto.

Na Figura 4.20, é detalhado o esquemático de instalação dos hardwares utilizados para aquisição das informações meteorológicas e dos atuadores para controlo do processo de aquaponia.

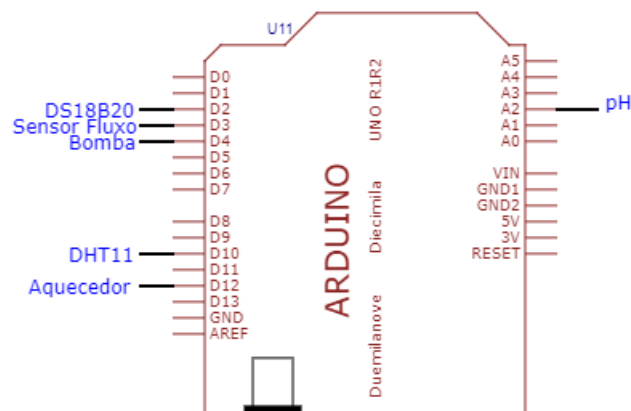


Figura 4.20: Esquemático Hardwares de Aquisição de Dados.

Para realizar a leitura dos valores medidos por esses sensores e validá-los, assim como

a configuração da comunicação com os atuadores, um programa com instruções de funcionamento foi carregado na CPU do Arduino. Este *firmware*, desenvolvido em linguagem C++, pode ser encontrado em:

```
https://github.com/saelaine/Sistema-de-Supervisao-e-Controle-de-producao-agricola-em-Aquaponia.git
```

4.3 Módulo Central

Nesta seção, serão demonstradas as etapas de desenvolvimento do sistema de controle, tratando com mais detalhes dos hardwares e softwares utilizados e suas especificações técnicas.

4.3.1 Raspberry Pi

O Raspberry Pi é uma plataforma de hardware aberto muito popular na academia, nos fóruns amadores da internet e também entre profissionais. Ele é popularmente conhecido como um computador de baixo custo e tamanho, e isso de fato é possível comprovar pelas suas especificações. Desenvolvido na Inglaterra, pela Fundação Raspberry Pi, com o principal objetivo de promover o ensino de Ciência da Computação básica em escolas, inclusão e empoderamento social [33].

Como já discutido, a IoT conecta coisas físicas (sensores meteorológicos, por exemplo) a aplicativos. A interação permite que os aplicativos forneçam funcionalidades com base nas informações adquiridas por esses sensores. Neste trabalho, o Raspberry Pi 3 Modelo B+ foi utilizado como o microcontrolador de processamento central e como servidor da plataforma IoT desenvolvida para o sistema de supervisão e controle proposto. A terceira geração do Raspberry Pi conta com CPU ARMv8 quad-core de 1,4 GHz de 64 bits, 1 GB SDRAM, 40 pinos de GPIO, alimentação 5V/2.5A DC, 4 portas USB 2.0 e outros detalhes que podem ser consultados em [33].

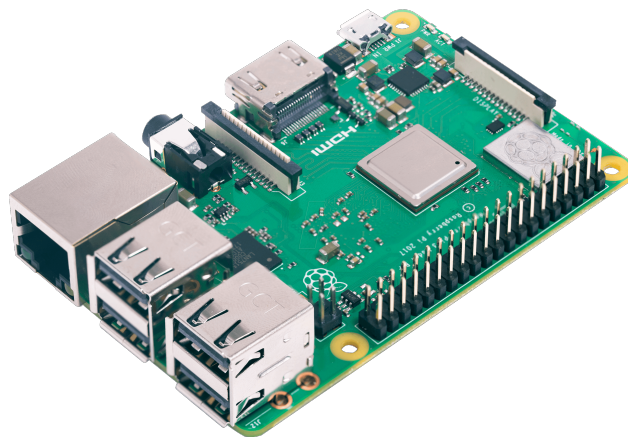


Figura 4.21: Raspberry Pi 3 Modelo B+.

Fonte: [33]

Nesta pequena placa de desenvolvimento, é possível conectar um monitor ou TV através da entrada HDMI, teclado, mouse e outros periféricos. Também é possível executar diversos Sistemas Operacionais como Raspbian, IoT Core, Windows, dentre outros. Devido às suas potencialidades de processamento, periféricos e baixo consumo de energia, o Raspberry Pi se torna uma plataforma muito utilizada para soluções em IoT. Neste trabalho, o Raspbian OS foi o sistema operacional instalado.

4.3.2 Node-RED

O Node-RED, é um software utilizado como ferramenta de programação e visualização de dados. Software aberto, baseado em fluxos, foi desenvolvido para integração de Hardware, API e serviços online para aplicações IoT.

Originalmente desenvolvido pela IBM Corporation, mas agora faz parte da JS Foundation. Inventada na década de 70, por J. Paul Morrison, é uma ferramenta de programação baseada em fluxo, com uma rede de “nós”, onde cada nó tem sua funcionalidade bem definida. A rede é a responsável pelo fluxo de dados entre os nós. O Node-RED fornece um editor baseado em navegador, com uma ampla gama de nós na paleta e sendo os fluxos implementados com um único clique. As funções Java Script podem ser criadas no editor usando um editor rich text [34].

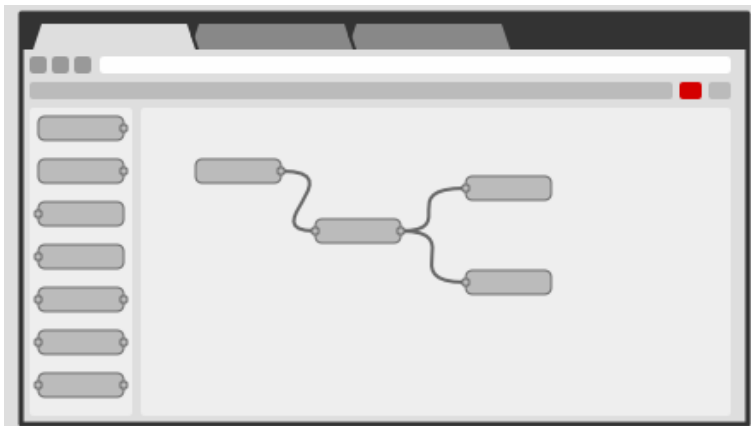


Figura 4.22: Ilustração Tela Node-Red.

Fonte: [34]

Neste trabalho, o Node-RED foi instalado no Raspberry Pi e, através do seu editor, foi desenvolvida toda a lógica de controlo e supervisão do processo de aquaponia. Para isso, foi configurada a comunicação entre o Node-RED e o Arduino, o hardware discutido na Seção 4.2.3, para a requisição das informações meteorológicas lidas pelos sensores. Os dados, após serem recebidos de cada sensor através do conjunto de nós do módulo “*node-red-dashboard*”, são exibidos no painel em tempo real para a visualização do estado do Sistema e são também enviados ao banco de dados para armazenamento.

A lógica de programação desenvolvida para a supervisão e controlo do sistema de aquaponia, teve como princípios atender aos Requisitos Funcionais discutidos na Seção 3.2.

Aquisição e Armazenamento dos dados

Decorrente dos requisitos 1, 2 e 3 (Seção 3.2), a lógica apresentada na Figura 4.23 foi desenvolvida:

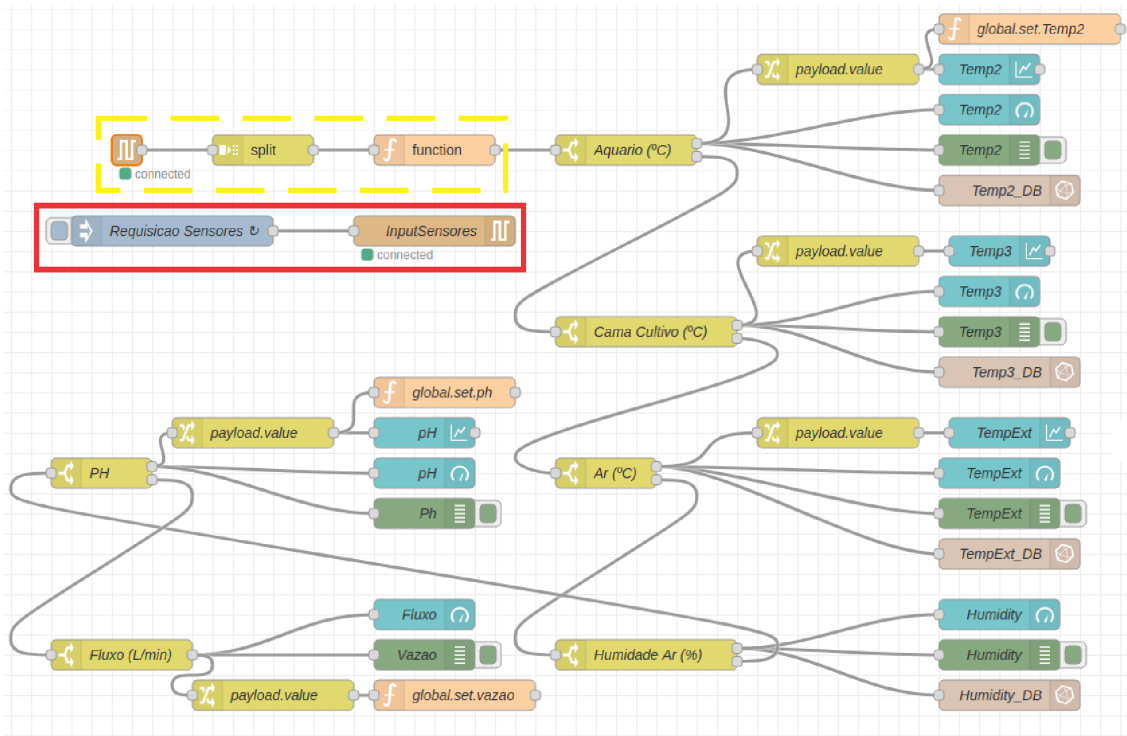


Figura 4.23: Programação Node-RED Aquisição de Dados.

Na Figura 4.23, foram delimitados dois retângulos, um vermelho e outro amarelo. Nos fluxos delimitados pelo retângulo vermelho estão a programação para a requisição das informações para o Arduino, em intervalos de 1 minuto. No retângulo amarelo, o Node-RED recebe os dados enviados pelo Arduino e organiza-os em suas respectivas variáveis, na sequência: Temperatura do Aquário; Temperatura Cama de Cultivo; Temperatura do Ar; Humidade; pH; e de Fluxo.

Para disponibilizar esses dados em tempo real, o nó “*gauge*” (Figura 4.24) foi conectado em cada uma das respectivas variáveis meteorológicas. E, para apresentar um histórico de comportamento dessas informações em intervalos de 4 horas, o nó “*chart*” foi configurado. Ressalta-se que, a decisão do intervalo de tempo necessário para a visualização do histórico fica a critério do produtor, e que este nó “*chart*”, possui flexibilidade de configuração para períodos de horas, dias, semanas ou meses dos dados armazenados.



(a) Nó Gauge. (b) Nó Chart.

Figura 4.24: Nós Gauge e Chart módulo node-red-dashboard.

Fonte: [34]

Já para o armazenamento dos dados, o nó “*influx out*” (Figura 4.25) foi conectado para enviar ao banco de dados, em intervalos de 1 minuto as respectivas informações das variáveis meteorológicas.

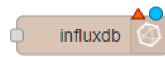


Figura 4.25: Nó influxdb out Node-RED.

Fonte: [34]

Controlo Modo Automático e Manual

Para os Requisitos Funcionais (Seção 3.2) 4, 5, 6, 7 e 8, foi desenvolvida a programação mostrada na Figura 4.26.

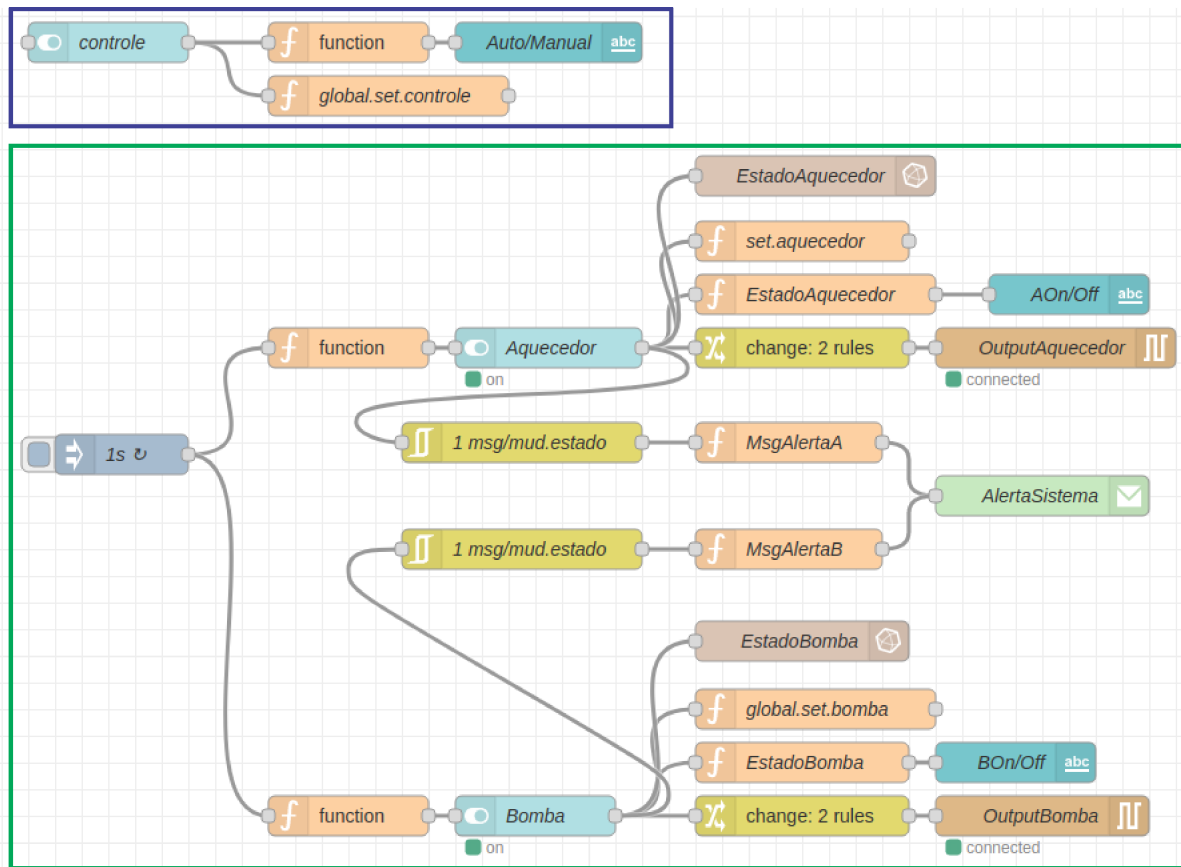


Figura 4.26: Programação Node-RED Controlo.

Delimitado pelo retângulo azul, foi elaborado o botão virtual para que o produtor escolha a operação do sistema em modo Manual ou Automático. Assim, a lógica de controlo configurada obedece à seguinte condição: Se o modo automático for selecionado, a operação manual dos atuadores não é respeitada. Caso a opção Manual for selecionada, toda a autonomia do processo fica sob responsabilidade da intervenção humana.

Os fluxos delimitados pelo retângulo verde (Figura 4.26), correspondem à programação de acionamento da bomba e do aquecedor através do navegador. Se for selecionada a opção Manual, o sistema permite a operação dos atuadores através dos botões virtuais; já em Automático, o sistema não obedece os acionamentos dos botões dos atuadores e passa a respeitar as faixas limites configuradas. Como por exemplo, caso a temperatura do aquário esteja menor que 18°C, de forma automática, o sistema aciona o aquecedor e

notifica por e-mail o produtor que o aquecedor foi ligado. Quando a temperatura alcança 23°C, o sistema desliga o aquecedor e também avisa por e-mail o desligamento. A bomba é configurada para permanecer constantemente ligada, uma vez que o nível de água na cama de cultivo é assegurado pelo Sifão Bell discutido na Seção 4.1.2.

Perceba nas figuras 4.23 e 4.26, que alguns nós “*function*” foram utilizados, devido a modificações nas propriedades das mensagens transmitidas. Para isso, foram executadas algumas instruções a partir da linguagem de programação JavaScript para tratamento destes dados. Mais detalhes das configurações realizadas no Node-RED, consultar em:

<https://github.com/saelaine/Sistema-de-Supervisao-e-Controle-de-producao-agricola-em-Aquaponia.git>

4.3.3 Comunicação Serial

Para a escolha do protocolo de comunicação, optou-se por um de meio físico, como a serial. Esta decisão baseou-se em dois motivos: o primeiro, pelas plataformas, Arduino e Raspberry Pi, possuírem portas USB que podem ser usadas como fonte de alimentação e/ou como Receptor/Transmissor de dados, atendendo assim às necessidades do projeto [35]. E, o segundo motivo, que para o protótipo para testes no laboratório não demandar necessidade imediata de uma comunicação sem fio. A seguir, ilustração da instalação da comunicação entre os dois hardwares.

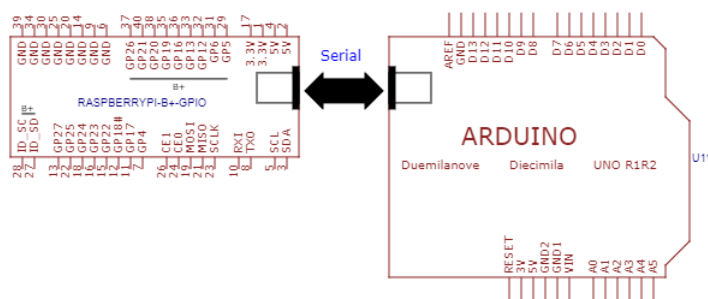


Figura 4.27: Comunicação Arduino e Raspberry Pi.

4.3.4 InfluxDB

Outro software fundamental para a infraestrutura de um Sistema de Supervisão e Controlo é o serviço de banco de dados. O banco de dados configurado neste trabalho foi o InfluxDB que, além de ser um software de código aberto, é um banco de dados de séries temporais, que significa que ele armazena as informações com registro de data e hora produzidos pelos sensores. Requisito fundamental para o monitoramento e futuras análises das variáveis do processo de aquaponia [36].

4.4 Interface do Utilizador

A interface gráfica desenvolvida, foi baseada na proposta discutida na Seção 3.3.

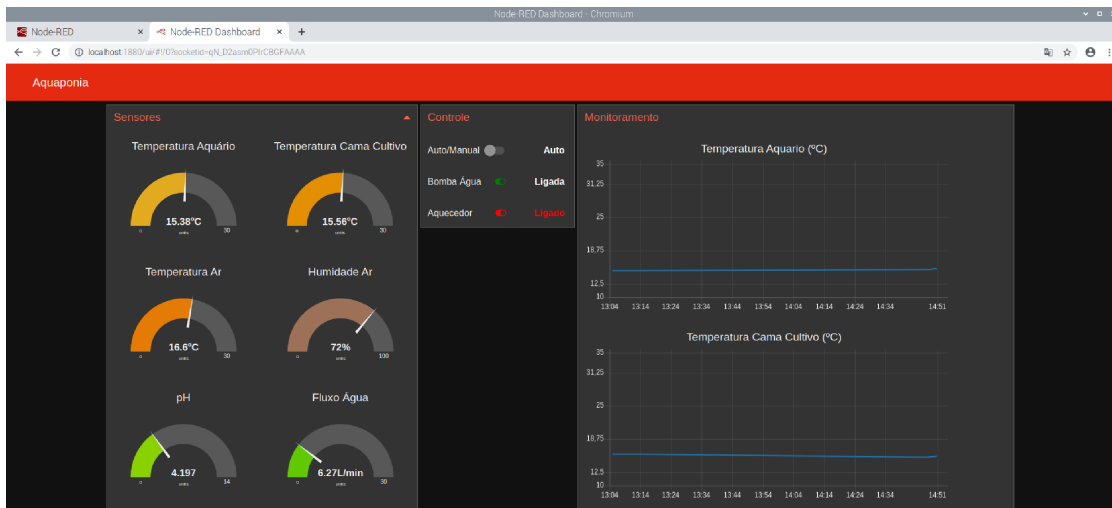


Figura 4.28: Interface do Utilizador.

Assim, na aba Sensores (Figura 4.29), é atualizado em tempo real, em intervalos de 1 minuto, os valores das variáveis meteorológicas do sistema de aquaponia desenvolvido.

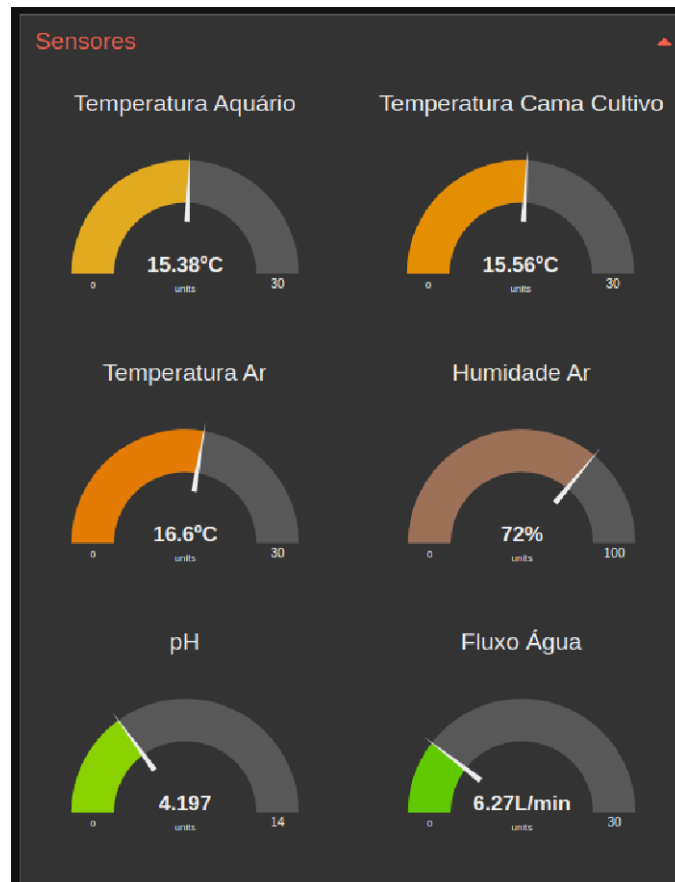


Figura 4.29: Aba Sensores - Interface Utilizador.

Na aba Controle (Figura 4.30), temos os botões virtuais para a escolha do modo de operação do Sistema de Aquaponia, automático ou manual. E em sequência, os botões respectivos da Bomba e do Aquecedor, para quando necessária a intervenção humana no processo. Nos 3 botões, ao lado direito, encontra-se a atualização do status dos mesmos, de forma a reforçar visualmente o estado dos atuadores e do sistema.

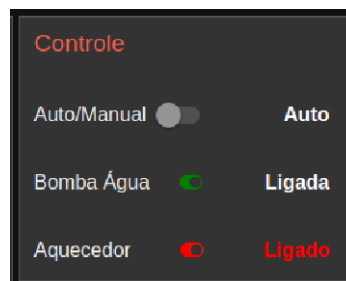


Figura 4.30: Aba Controle - Interface Utilizador.

E por fim, na aba Monitoramento (Figura 4.31), foram disponibilizados gráficos linear com o histórico de comportamento das respectivas variáveis ambientais, sendo atualizadas em intervalos de 4h.

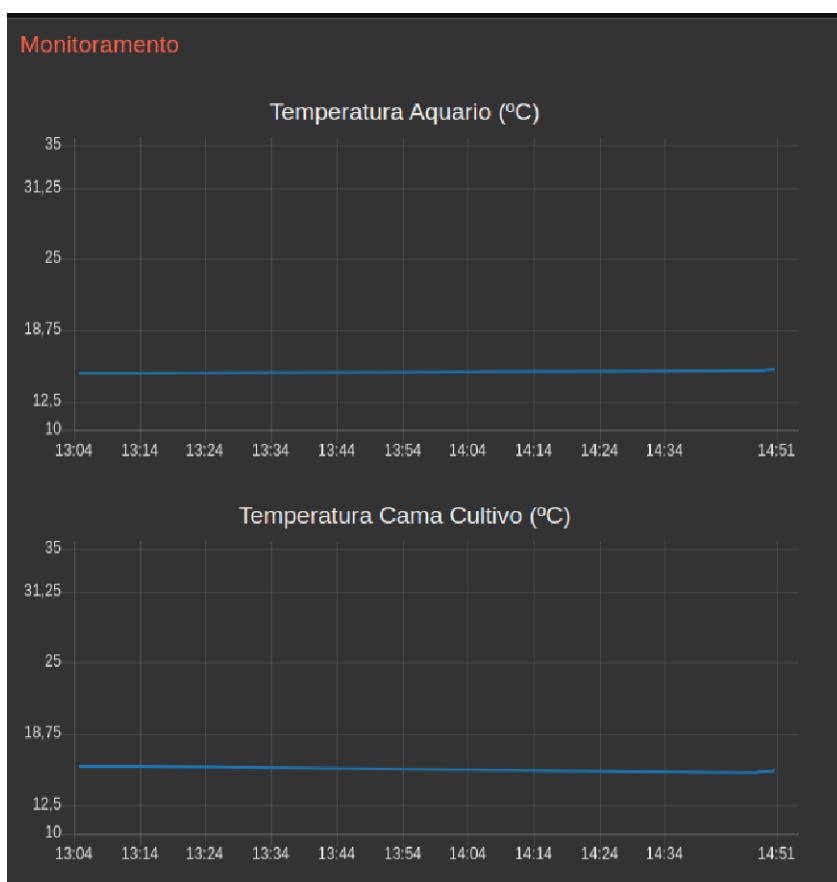


Figura 4.31: Aba Monitoramento - Interface Utilizador.

Capítulo 5

Resultados e Discussões

Neste capítulo, serão demonstrados os testes experimentais realizados para validação dos Requisitos Funcionais do Sistema, discutidos na Seção 3.2. Infelizmente, devido a vários imprevistos (pandemia coronavírus SARS-CoV-2, Covid-19) ocorridos durante o desenvolvimento deste trabalho, não foi possível acrescentar no ambiente de testes os organismos aquáticos e as plantas hidropônicas, deixando assim para trabalhos futuros.

5.1 Metodologia Testes Experimentais

Os testes experimentais, foram realizados na rede local da Universidade, a partir do protótipo ilustrado na Figura 3.5 e hardwares discutidos nas Figuras 3.1 e 3.2.

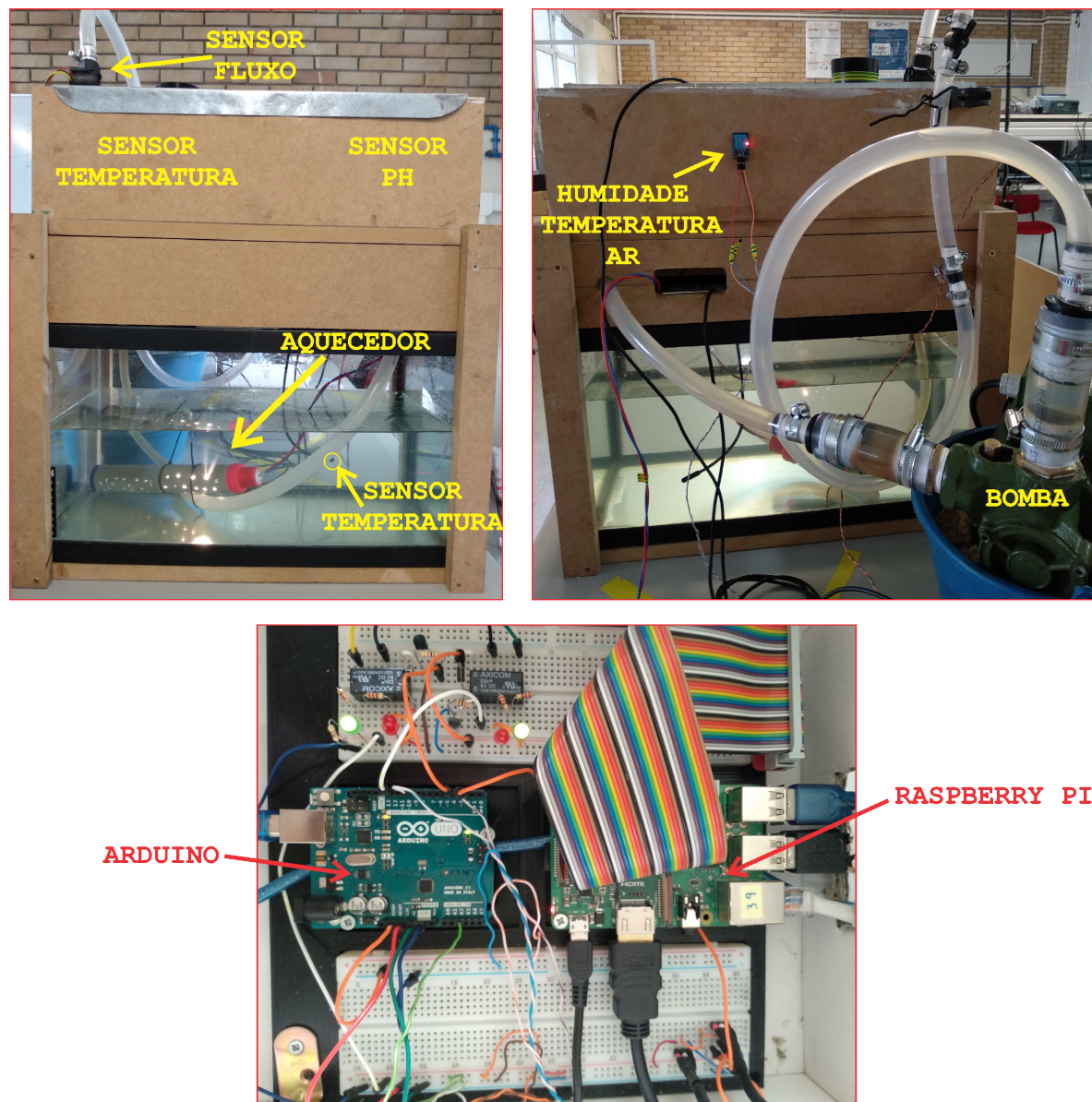


Figura 5.1: Protótipo e Instrumentação Eletrônica.

Para validação dos testes, foram simuladas as seguintes hipóteses:

1. Teste controle de temperatura: o sistema deve acionar o aquecedor se a temperatura do aquário for menor que $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ e desligar quando a temperatura for maior que $23\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. Além de acionar o aquecedor, deve também notificar por e-mail ao produtor do acionamento e desligamento do mesmo.

- Quando selecionado o modo manual, notificar o produtor por e-mail quando, ao modificar o estado da bomba e/ou do aquecedor, a ação representar um risco ao sistema.

5.2 Análise dos Resultados Experimentais

Para o recebimento de notificações e alertas foi criada uma conta no Gmail com nome: aquaponiatest. Assim, seguem os resultados dos testes.

5.2.1 Aquecimento Sistema

A seguinte condição foi configurada no Sistema: se a temperatura do aquário for $< 18^{\circ}\text{C}$, ligar o aquecedor.

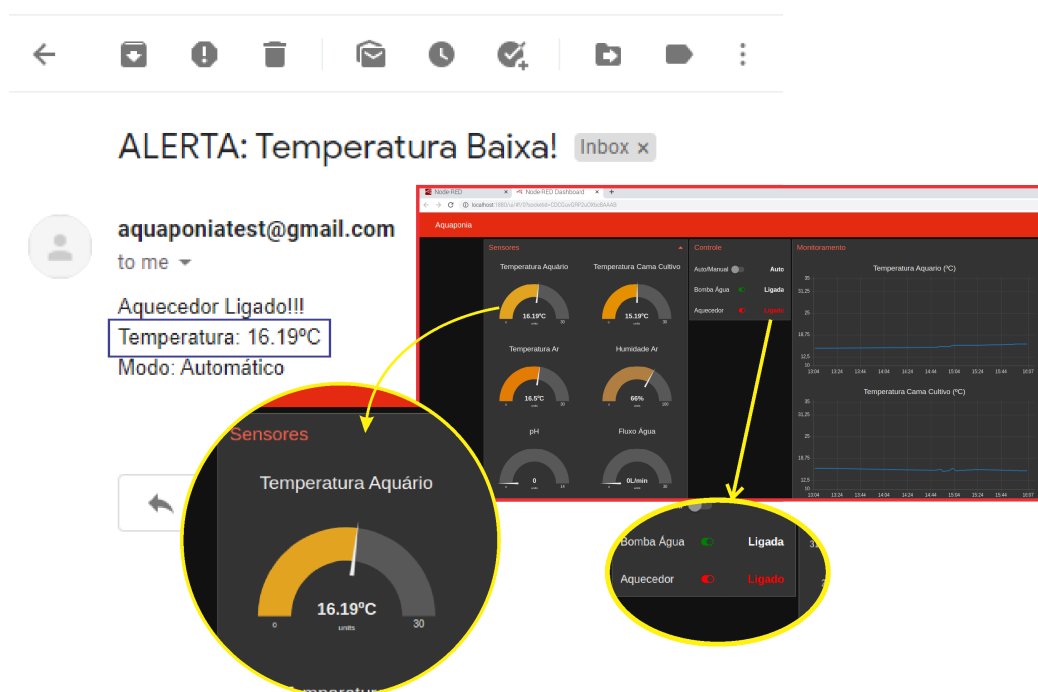


Figura 5.2: Fotografia das telas de notificação e do painel de visualização.

Como demonstrado na Figura 5.2, temos imagens de duas telas. À esquerda, a notificação de alerta recebida por e-mail e no retângulo vermelho, o painel da interface gráfica

do sistema com a atualização do status do sensor de temperatura do aquário e do painel de controlo do aquecedor que foi ligado. Observa-se que, para tornar a informação ao produtor detalhada, a notificação além de avisá-lo sobre o acionamento do aquecedor, atualiza também a temperatura identificada no instante de acionamento e o modo de operação “automático” que o sistema se encontra.

O mesmo ocorre quando a temperatura alcança um valor $> 23^{\circ}\text{C}$ e o aquecedor, automaticamente é desligado.



Figura 5.3: Fotografia das telas de notificação e do painel de visualização.

Desta forma, com as Figuras 5.2 e 5.3, as metodologias de testes 1 e 2 discutidos na seção anterior (5.1) são atendidas.

5.2.2 Identificação de Risco do Sistema

Para o Sistema proposto, por mais que o controlo automático do processo se propõe como fundamental, há situações em que são necessárias operações de forma manual, como por exemplo, quando for realizar a limpeza ou manutenção do mesmo. Assim, além do modo automático, também foi configurada a operação manual. Porém, para garantir que em situações de distrações em que o sistema esteja em modo manual e, a partir da

atualização das variáveis de controlo, identifique que os limites saudáveis ao sistema não sejam obedecidos, como um elemento de segurança optou-se pelo envio de alertas nesses eventos.

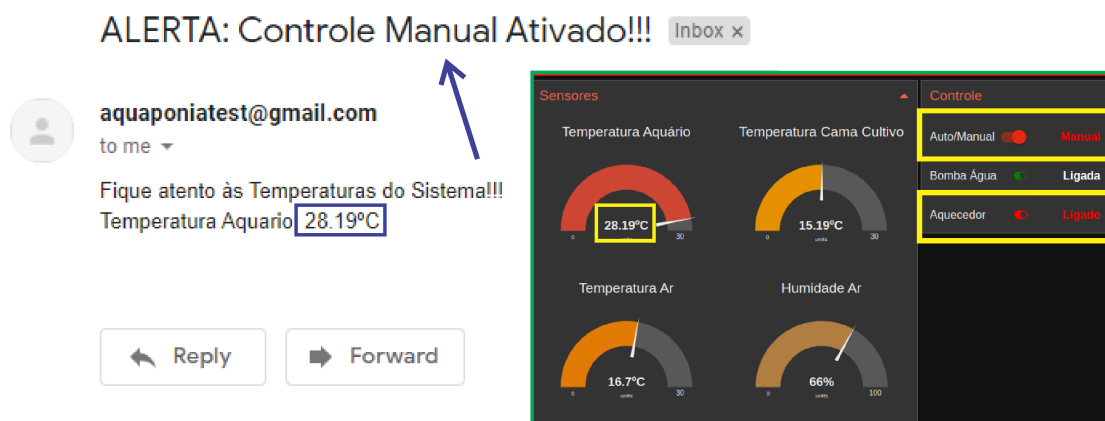


Figura 5.4: Fotografia das telas de notificação e do painel de visualização.

Conforme a Figura 5.4, a simulação realizada foi deixar o modo de operação do sistema em manual, o aquecedor ligado e, através de um aquecedor externo simulou um aumento de temperatura, como detectado em 28.19°C. Como o sistema detectou uma temperatura >23°C e que o aquecedor não foi desligado, assim, foi enviado por e-mail o alerta com as informações detalhadas do status do sistema.

O mesmo ocorre com a bomba, como ela é configurada para permanecer constantemente ligada, caso em modo manual ela seja desligada, um e-mail de alerta é enviado.

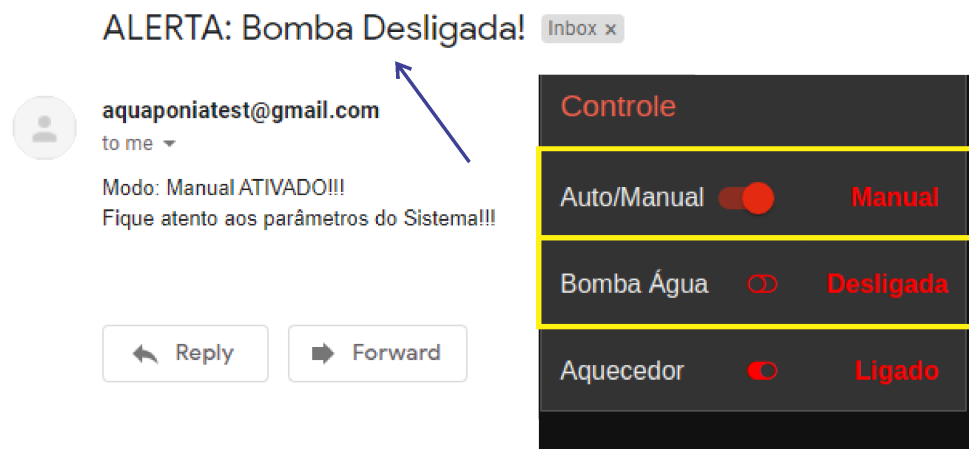


Figura 5.5: Fotografia das telas de notificação e do painel de visualização.

Capítulo 6

Conclusão

Em virtude dos desafios ambientais e econômicos que serão enfrentados nas próximas décadas, a aquaponia se apresenta como uma técnica agrícola de produção de alimentos que visa reduzir o impacto da agricultura no planeta, tornando a produção o mais circular possível, além de apresentar potencialidades de produção comercial de alimentos.

Como discutido, na aquaponia dois ecossistemas artificiais diferentes são incorporados no mesmo ciclo de produção: aquicultura e hidroponia. Manter esses dois tipos de métodos de produção em equilíbrio é uma tarefa complexa e requer monitoramento e controle rigorosos dos estados do sistema. Assim, o trabalho proposto e desenvolvido buscou contribuir e desenvolver soluções aplicadas em IoT, que auxiliem no manejo agrícola em aquaponia.

6.1 Considerações Finais

O sistema desenvolvido, conforme classificação na Seção 2.1, foi uma mini-instalação em aquaponia doméstica, com área de produção inferior à $2 m^2$ e devido ao volume pequeno do aquário, o cultivo de peixes não é recomendado para consumo humano. É evidente e discutido na Introdução deste trabalho que, do ponto de vista de soluções emergentes de contribuições científicas para tornar esse método agrícola viável economicamente, a literatura necessita do desenvolvimento de protótipos em escala comercial. Inicialmente,

essa era a proposta do trabalho, porém, como durante o desenvolvimento das atividades surgiram imprevistos e conturbações da pandemia COVID-19, várias adaptações tiveram que ser realizadas, sendo a principal, reduzir a parte agronômica do trabalho.

Mesmo que a estrutura mecânica utilizada tenha sido em uma escala doméstica, todo o projeto eletrônico e de softwares de controlo e supervisão utilizados foram escolhidos com capacidades e funcionalidades que podem ser aplicados em um protótipo maior, em escala comercial. Assim, delimitados os Requisitos Funcionais (Seção 3.2) esperados do Sistema de Supervisão e Controlo em Aquaponia e os resultados das Análises experimentais apresentadas (Seção 5.2), é possível concluir que o sistema desenvolvido se aplica à um controlo robusto e baseado em ação tomadas a partir de dados em processos de aquaponia.

6.2 Trabalhos Futuros

O protótipo e infraestrutura IoT apresentada neste trabalho, cumpriu seus objetivos e requisitos funcionais esperados. Contudo, a aplicação de soluções em IoT no domínio de produção agrícola em aquaponia tem inúmeras potencialidades a serem exploradas, algumas serão detalhadas a seguir para projetos futuros:

- Em instalações comerciais, devido aos reservatórios de peixes existirem em mais quantidades, alguns desafios são enfrentados. Um deles, é a ocorrência de contaminação em um dos reservatórios acaba se espalhando para outras unidades. Assim, um sistema de controlo e supervisão multi-agente, como dispositivos cyber-físicos com seus próprios agentes, torna a produção nestas micro-unidades independentes em termos de operação. Dessa forma, é possível evitar que a contaminação em uma dessas micro-unidades se espalhe para a instalação toda.
- Adicionar outros sensores em complementação ao monitoramento das variáveis ambientais e climáticas, como oxigênio dissolvido, amônia, EC, medição de nível dentre outros.

- Introdução de tecnologias avançadas em controlo industrial, como PLC, somado à infraestruturas de redes sem fio e potentes servidores de banco de dados, oferecem flexibilidades e potencialidades para aplicações comerciais em grande escala.
- Adicionar um alimentador de peixes automatizado.

Referências Bibliográficas

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *The State of Food and Agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture*. Rome, Italy: FAO, 2020, [Online]. doi: <https://doi.org/10.4060/cb1447en>.
- [2] FAO, IFAD, UNICEF, WFP e WHO, *The State of Food Security and Nutrition in the World 2020. Transforming food systems for affordable healthy diets*. Rome, Italy: FAO, 2020, [Online]. doi: <https://doi.org/10.4060/ca9692en>.
- [3] OECD, FAO e UNCDF, *Adopting a Territorial Approach to Food Security and Nutrition Policy*. Paris: OECD Publishing, Apr. 2016, [Online]. doi: <https://dx.doi.org/10.1787/9789264257108-en>.
- [4] World Meteorological Organization (WMO), *Statement on the State of the Global Climate in 2019*. Geneva: WMO, 2020, [Online]. Disponível em: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21700#.YBLUBej7TtS.
- [5] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action*. Rome, Italy: FAO, 2020, [Online]. doi: <https://doi.org/10.4060/ca9229en>.
- [6] E. Barbieri, H. L. de Almeida Marquez, M. B. Campolim, and P. I. Salvarani, “Avaliação dos Impactos ambientais e socioeconômicos da aquicultura na região estuarina-lagunar de Cananéia, São Paulo, Brasil,” *Revista de Gestão Costeira Integrada*, vol. 14, no. 3, pp. 385–398, sep 2014, [Online]. doi: <https://doi.org/10.5894/rgci486>.

- [7] S. Pfister and P. Bayer, “Monthly water stress: spatially and temporally explicit consumptive water footprint of global crop production,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 73, pp. 52–62, jun 2014, [Online]. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.031>.
- [8] Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), *Water Risk Hotspots for Agriculture*. Paris: OECD Publishing, Sep. 2017, [Online]. doi: <https://dx.doi.org/10.1787/9789264279551-en>.
- [9] P. C. F. Carneiro, C. A. R. S. Morais, M. U. C. Nunes, A. N. Maria, R. Y. Fujimoto, “Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia,” Embrapa Tabuleiros Costeiros (CPATC), Aracaju, Brasil, techreport, 2015, disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142630/1/Doc-189.pdf>.
- [10] W. Lennard and S. Goddek, “Aquaponics: The basics,” in *Aquaponics Food Production Systems*. Springer International Publishing, 2019, pp. 113–143, [Online]. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_5.
- [11] Y. Wei, W. Li, D. An, D. Li, Y. Jiao, and Q. Wei, “Equipment and intelligent control system in aquaponics: A review,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 169 306–169 326, 2019, <https://doi.org/10.1109/access.2019.2953491>.
- [12] A. R. Yanes, P. Martinez, and R. Ahmad, “Towards automated aquaponics: A review on monitoring, IoT, and smart systems,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 263, p. 121571, aug 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121571>.
- [13] S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, and M. Dos-Santos, “Aquaponics and global food challenges,” in *Aquaponics Food Production Systems*. Springer International Publishing, 2019, pp. 3–17, [Online]. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_1.
- [14] A. Ahmed, S. Zulfiqar, A. Ghandar, Y. Chen, M. Hanai, and G. Theodoropoulos, “Digital twin technology for aquaponics: Towards optimizing food production with dynamic data driven application systems,” in *Communications in Computer and*

- Information Science*. Springer Singapore, 2019, pp. 3–14, doi: https://doi.org/10.1007/978-981-15-1078-6_1.
- [15] H. W. Palm, U. Knaus, S. Appelbaum, S. Goddek, S. M. Strauch, T. Vermeulen, M. H. Jijakli, and B. Kotzen, “Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature,” *Aquaculture International*, vol. 26, no. 3, pp. 813–842, mar 2018, doi: <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0249-z>.
- [16] S. Madakam, R. Ramaswamy, and S. Tripathi, “Internet of things (IoT): A literature review,” *Journal of Computer and Communications*, vol. 03, no. 05, pp. 164–173, 2015, [Online]. doi: <https://doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>.
- [17] A. Khanna and S. Kaur, “Internet of things (IoT), applications and challenges: A comprehensive review,” *Wireless Personal Communications*, vol. 114, no. 2, pp. 1687–1762, may 2020, [Online]. doi: <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07446-4>.
- [18] A. Razzaq, “A systematic review on software architectures for IoT systems and future direction to the adoption of microservices architecture,” *SN Computer Science*, vol. 1, no. 6, oct 2020, [Online]. doi: <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00359-w>.
- [19] M. Leo, F. Battisti, M. Carli, and A. Neri, “A federated architecture approach for internet of things security,” in *2014 Euro Med Telco Conference (EMTC)*. IEEE, nov 2014, [Online]. doi: <https://doi.org/10.1109/EMTC.2014.6996632>.
- [20] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, “Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015, [Online]. doi: <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>.
- [21] Y. Haruo, H. Yamamoto, M. Arakawa, and I. Naka, “Development and evaluation of environmental / growth observation sensor network system for aquaponics,” in *2020 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*. IEEE, jan 2020, [Online]. doi: <https://doi.org/10.1109/ICCE46568.2020.9043018>.

- [22] M. F. U. Butt, R. Yaqub, M. Hammad, M. Ahsen, M. Ansir, and N. Zamir, “Implementation of aquaponics within IoT framework,” in *2019 SoutheastCon*. IEEE, apr 2019, [Online]. doi: <https://doi.org/10.1109/SoutheastCon42311.2019.9020390>.
- [23] A. Zaini, A. Kurniawan, and A. D. Herdhiyanto, “Internet of things for monitoring and controlling nutrient film technique (NFT) aquaponic,” in *2018 International Conference on Computer Engineering, Network and Intelligent Multimedia (CENIM)*. IEEE, nov 2018, [Online]. doi: <https://doi.org/10.1109/CENIM.2018.8711304>.
- [24] Weetjesman, *Copo de Pitágoras*. Wikipédia: a enciclopédia livre, Jun. 2006, [Online]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Copo_de_Pit%C3%A1goras.
- [25] J. de Faria Lima, A. M. Bastos, D. Montagner, and W. L. Borges, *Aquaponia: Uma alternativa de diversificação na aquicultura e horticultura familiar do Amapá*, 1st ed., Embrapa Amapá, Brasil, Oct. 2015, [Online]. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/139166/1/CPAF-AP-2015-Folder-aquaponia.pdf>.
- [26] R. Cessa, *Sifão Bell em Aquaponia*. Internet, Oct. 2017, [Online]. Disponível em: <http://muralinterdisciplinar.blogspot.com/2017/10/sifao-de-bell-em-aquaponia.html>.
- [27] Datasheet, *DS18B20*, maxim integrated, 2019, datasheet. [Online]. Disponível em: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.
- [28] —, *PH Sensor E-201-C*, e-Gizmo, 2017, datasheet. [Online]. Disponível em: <https://www.e-gizmo.net/oc/kits>
- [29] D. C. Caballero, *How to use a pH sensor with Arduino*, Scidle -Science and technology, 2017, [Online]. Disponível em: <https://scidle.com/how-to-use-a-ph-sensor-with-arduino/>.

- [30] Datasheet, *YF-S201*, SEA, [Online]. Disponível em: http://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/YF-S201_SEA.pdf.
- [31] *Temperature and humidity module DHT11*, Adafruit Industries, 2017, datasheet. [Online]. Disponível em: <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/dht.pdf>.
- [32] Arduino, *ARDUINO UNO REV3*, datasheet. [Online]. Disponível em: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>.
- [33] Raspberry Pi, *Raspberry Pi 3 Modelo B+*, Raspberry Pi Foundation, Inglaterra, 2018, datasheet. [Online]. Disponível em: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>.
- [34] Node-RED, *Node-RED*, OpenJS Foundation, [Online]. Disponível em: <https://nodered.org/>.
- [35] PINOUTS.RU, *USB pinout*, 2018, [Online]. Disponível em: https://pinouts.ru/Slots/USB_pinout.shtml.
- [36] InfluxData, *Time series database (TSDB) explained*, 2021, [Online]. Disponível em: <https://www.influxdata.com/time-series-database/>.