

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

RAFAEL FINKELSTEIN

**Um Sistema de Monitoramento para Aquaponia
Baseado em Internet das Coisas**

Monografia apresentada como requisito parcial
para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Carissimi

Porto Alegre

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Jane Fraga Tutikian

Pró-Reitor de Graduação: Prof. Vladimir Pinheiro do Nascimento

Diretor do Instituto de Informática: Prof^a. Carla Maria Dal Sasso Freitas

Coordenador do Curso de Engenharia de Computação: Renato Ventura Henriques

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente aos meus pais, por sempre terem me incentivado a estudar. Agradeço a minha família, pelo apoio total à realização de todos meus projetos e em minha jornada acadêmica. Assim como à família que construí com minha namorada e nossos cães, por todo amor, paciência, companheirismo e compreensão durante minha graduação e trabalho de conclusão. Agradeço a minha namorada, por sempre achar tempo para escutar minhas ideias e por suas opiniões acerca de meus empreendimentos.

Agradeço a todo corpo docente do curso de Engenharia de Computação da UFRGS, pelo suporte e ensinamentos em todos anos de estudos. Aos meus colegas, por tantos trabalhos juntos e várias noites em claro. À universidade por me proporcionar grandes amigos para vida. Ao meu orientador, pelo suporte no tempo que lhe coube, pelas suas correções, incentivos e imensas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho. Aos meus colegas de trabalho e chefe, pelo apoio e por permitirem que eu me ausentasse quando precisei.

Ao principal participante deste trabalho, meu peixe.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, meu muito obrigado.

RESUMO

A produção de alimentos em larga escala tem sido motivação para o desenvolvimento de tecnologias desde a primeira revolução industrial. Entretanto, na última década, a preocupação pela qualidade e impacto ambiental causado pela produção, que eram frequentemente deixados de lado em prol da quantidade, começaram a ser mais relevantes no processo de escolha de produtos alimentícios pelos consumidores. A aquaponia se apresenta como uma alternativa de produção de peixes e hortaliças de maneira orgânica e ecológica para esse novo produtor preocupado com o meio ambiente e com a qualidade de seus produtos. Em um tempo em que unidades computacionais custam menos que uma refeição, nada mais natural que usar essa tecnologia para empoderar os produtores de alimentos com conhecimento do seu objeto diário de trabalho. Tendo isso em vista, o trabalho proposto apresenta um sistema de monitoramento para aquaponia baseado em Internet das Coisas, no qual alguns dos problemas recorrentes de quem trabalha com aquaponia podem ser previstos ou detectados o quanto antes, por meio de sensores conectados à Internet, evitando perdas de produção. A prova de conceito construída neste trabalho usa a plataforma de desenvolvimento Arduino, como base, para capturar dados de diversos sensores integrados a um sistema aquapônico, usa o protocolo MQTT e o banco de dados InfluxDB na sua infraestrutura e, por fim, utiliza o sistema de interfaces de usuário e alarmes Grafana.

Palavras-chave: Aquaponia. Internet das Coisas. Arduino. ESP8266. MQTT. Mosquitto. Grafana.

Aquaponics Monitoring System Based on Internet of Things

ABSTRACT

Food production in large scale has been the motivation for the development of technologies since the first industrial revolution. However, in the last decade, the concern about food quality and environmental impact of its production, which were very often left aside in favor of the quantity, begun to be more relevant in the choosing process of food products by the consumers. Aquaponics appears as an alternative for the fish and vegetables production as an organic and ecological way of production for this new producer worried about the environment and the quality of his products. In a time on what computer chips cost less than a meal nothing more natural then empowering the food producers with the knowledge of their everyday work object. Taking this into account, the proposed work presents a monitoring system for aquaponics based on the Internet of Things, in which some of the problems of who works with aquaponics can be foreseen or detected as soon as possible, through sensors connected to the Internet, avoiding production losses. The proof of concept built in this work uses the Arduino platform, as its base, to capture data from several sensors integrated to an aquaponics system, it uses MQTT protocol and the InfluxDB database in its infrastructure and it uses the Grafana software for alarms and user interface.

Keywords: Aquaponics. Internet of Things. Arduino. ESP8266. MQTT. Mosquitto. Grafana

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Ciclo biológico básico da aquaponia	15
Figura 2.2 Exemplo de um sistema de aquaponia em nível familiar	18
Figura 2.3 Período de ciclagem de um novo sistema aquapônico	19
Figura 2.4 Interação entre pessoas e objetos conectados e a Internet	21
Figura 2.5 Arquitetura IoT	22
Figura 2.6 Arquitetura de hardware de um objeto conectado	23
Figura 3.1 Módulos do sistema proposto	28
Figura 3.2 Diagrama de casos de uso	30
Figura 3.3 Protótipo da tela de monitoramento principal	31
Figura 3.4 Tela de configuração de intervalos de segurança	32
Figura 3.5 Tela de configuração de atuadores	33
Figura 3.6 Tela de alerta	34
Figura 3.7 Tela de configuração de e-mail	34
Figura 4.1 Arquitetura do sistema	36
Figura 4.2 Diagrama da comunicação entre controladores	38
Figura 4.3 Diagrama do Módulo de Aquecimento	39
Figura 4.4 Funcionamento de um potenciômetro e circuito equivalente	40
Figura 4.5: Diagrama para cálculo da profundidade do tanque de peixes	41
Figura 4.6: Diagrama do módulo sensor de chuva	42
Figura 4.7: Diagrama contendo os componentes do sensor de fluxo de água	44
Figura 4.8: Diagrama da interação entre o ESP8266 e o middleware	47
Figura 4.9: Árvore de tópicos MQTT	48
Figura 4.10 Acesso ao banco de dados da Internet	51
Figura 4.11 Imagem do painel de controle	52
Figura 4.12 Imagem do painel de controle em caso de violação dos níveis de segurança	52
Figura 4.13 Imagem da edição de alertas	53
Figura 5.1 Diagrama do ambiente de testes	55
Figura 5.2 Foto do hardware e da caixa de proteção contra chuva usados nos testes	56
Figura 5.3 Foto do sistema de monitoramento instalado	57

Figura 5.4 Resultado do experimento de acionamento do aquecedor	59
Figura 5.5 Resultado do experimento de detecção de falha na bomba	60
Figura 5.6 Resultado do experimento de retirada de água do sistema	60
Figura 5.7 Resultado do experimento do excesso de água no sistema	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CoAP	Constrained Application Protocol
DPWS	Devices Profile for Web Services
GSM	Global System for Mobile Communications
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IETF	Internet Engineering Task Force
IoT	Internet of Things
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NFC	Near Field Communication
pH	Potencial Hidrogeniônico
PLC	Power Line Communication
REST	Representational State Transfer
RFID	Radio-Frequency IDentification
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
XML	Extensible Markup Language

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Relação de preços dos componentes usados	54
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Objetivos do trabalho	12
1.2. Organização do texto	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1. Aquaponia	14
2.1.1. Fundamentos	14
2.1.2. Componentes vivos essenciais da aquaponia	16
2.1.3. Projeto de um sistema aquapônico	17
2.1.4. Manejo de um Sistema Aquapônico	18
2.2. Internet das Coisas	20
2.2.1. Arquitetura IoT	22
2.2.2. Dispositivo IoT	23
2.2.3. Protocolos de Comunicação	25
2.2.4. Middleware	26
2.3. Considerações Finais	27
3. PROPOSTA DE SISTEMA AQUAPÔNICO	28
3.1. Arquitetura do sistema	28
3.2. Requisitos do sistema	28
3.3. Casos de Uso	30
3.4. Projeto de Interfaces	31
3.5. Considerações Finais	35
4. IMPLEMENTAÇÃO	36
4.1. Processador e Comunicação	36
4.1.1. Interface entre microcontroladores	37
4.2. Sensores/Atuadores	38
4.2.1. Módulo Aquecedor	38
4.2.2. Módulo Nível de Água	39
4.2.3. Módulo Sensoriamento de Chuva	41
4.2.4. Módulo Temperatura da Água	42
4.2.5. Módulo Temperatura e Umidade do Ar	43
4.2.6. Módulo Fluxo de Água	43
4.3. Firmwares	44
4.3.1. Firmware do Arduino Uno	45
4.3.2. Firmware do ESP8266	45
4.4. Middleware	46

	11
4.4.1. Broker MQTT	47
4.4.2. InfluxDB	48
4.4.3. Script de Persistência de Dados	50
4.5. Conectividade com a Internet	50
4.6. Interfaces	51
4.7. Considerações finais	53
5.1. Ambiente de Testes	55
5.2. Metodologia	58
5.3. Análise dos resultados	58
5.4. Conclusões parciais	61
6. CONCLUSÃO	62
REFERÊNCIAS	63
ANEXO	67

1. INTRODUÇÃO

Na última década tem aumentado a preocupação da sociedade com a maneira e o local onde os alimentos são produzidos. Devido ao surgimento dessa nova demanda, a aquaponia tem se apresentado com uma alternativa para quem quer produzir vegetais para o consumo próprio, em seu quintal, e para produtores que desejam vender um produto mais ecológico, com grande valor agregado, e estar mais próximos dos centros urbanos.

A aquaponia é uma técnica de produção de peixes e hortaliças em um sistema circulante de água, no qual os subprodutos da criação de peixes servem de adubo para as hortaliças que, por sua vez, juntamente com bactérias, realizam a filtragem da água. Por definição, não é possível usar insumos químicos normalmente usados na agricultura convencional, como antibióticos, pesticidas e adubos químicos, na aquaponia, uma vez que existe um equilíbrio entre os organismos do sistema que seria rapidamente rompido com a introdução dessas substâncias. Devido a essas restrições quanto ao uso de produtos químicos é essencial realizar um acompanhamento e um manejo constante da aquaponia.

A Internet das Coisas, do inglês *Internet of the Things* (IoT), possibilita que objetos ordinários do mundo físico (coisas) comuniquem-se com pessoas e entre si a fim de prover serviços. Seu propósito não é a criação de uma tecnologia totalmente nova, mas sim a aplicação de tecnologias de diversas áreas do conhecimento, como microeletrônica, sensoriamento, sistemas embarcados e comunicação, para a expansão da conectividade, até então restrita a computadores pessoais e *smartphones*, para os mais diversos objetos cotidianos, desde cafeteiras até maquinário industrial. Assim, a IoT mostra-se como uma ferramenta com capacidade de realizar o acompanhamento necessário em sistema aquapônico.

1.1. Objetivos do trabalho

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e controle para aquaponia utilizando tecnologias da Internet das Coisas. Esse sistema possibilitará acompanhar o estado do sistema aquapônico por meio de uma interface web, na qual gráficos indicarão as mudanças dos parâmetros do sistema no decorrer do tempo. A implementação do trabalho também permitirá configurar níveis de segurança, e enviar uma notificação para o administrador dos sistema caso algum parâmetro do sistema esteja fora dos

níveis programados. Por fim, o sistema deverá atuar, ativando um aquecedor dentro do tanque de peixes, quando a temperatura da água estiver muito baixa.

Dentre as tecnologias adotadas para compor a solução estão as placas de desenvolvimento Arduino Uno, ESP8266 e Raspberry Pi, o protocolo de comunicação MQTT, o banco de dados InfluxDb e a interface web Grafana.

1.2. Organização do texto

Este trabalho é composto por 6 capítulos incluindo esta introdução. No capítulo 2 são apresentados os conceitos fundamentais cuja compreensão é necessária para a implementação deste trabalho, iniciando pela introdução da aquaponia e seu funcionamento, seguindo pela abordagem de conceitos relacionados à Internet das Coisas, como arquiteturas, dispositivos, protocolos, e por fim, o *middleware*. Em seguida, o capítulo 3 fornece a proposta do trabalho, apresentando a arquitetura sugerida, os requisitos funcionais e não funcionais, os casos de uso e um projeto das interfaces. No capítulo 4 está detalhada a implementação do sistema proposto no capítulo 3. O capítulo 5 apresenta uma avaliação da implementação, nele são relatados os experimentos realizados e os resultados obtidos. Por fim, o capítulo 6 conclui o trabalho, relatando os desafios encontrados, as contribuições e sugestões para melhorias futuras.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este trabalho engloba conhecimentos em agronomia e em computação. Primeiramente será apresentada a fundamentação teórica da aquaponia, uma técnica pouco danosa ao meio ambiente para a criação de peixes e vegetais para o consumo humano. Na sequência, serão expostos os embasamentos teóricos em computação que possibilitaram o desenvolvimento do sistema de monitoramento para aquaponia concebido neste trabalho.

2.1. Aquaponia

O aquaponismo tem sido predominantemente difundido pelo mundo com o nome “*Backyard Aquaponics*”, o termo na língua inglesa que significa “Aquaponia de Quintal”, uma vez que se espalhou como uma técnica de produção de hortaliças e peixes em escala domiciliar. Entretanto, existem experiências com o uso da aquaponia para a produção comercial, dado que apresenta-se como uma técnica de produção agrícola com baixo consumo de água, por utilizar um modelo de produção em tanques de recirculação, onde apenas uma pequena parte da água existente é perdida para a evaporação. Outra particularidade da aquaponia é a possibilidade de se produzir em estruturas verticais, por isso necessita-se de pouca área possibilitando a sua realização próximo a centros urbanos, reduzindo custos de transporte da produção. Portanto, se mostra uma ótima alternativa para o cultivo de peixes e hortaliças em ambientes áridos e ambientes urbanos.

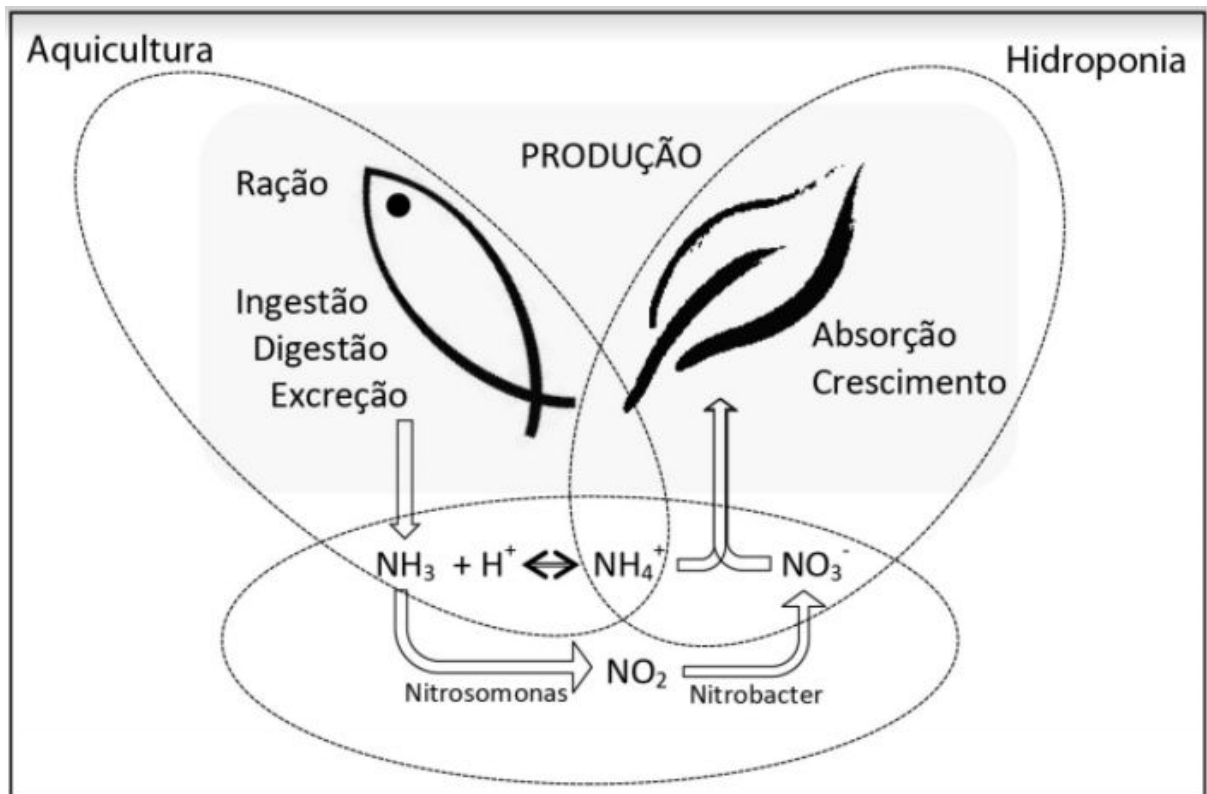
2.1.1. Fundamentos

Antes de entender o que é aquaponia é necessário compreender outras duas técnicas cujas bases foram usadas para o desenvolvimento da técnica, a aquicultura e a hidroponia.

A aquicultura caracteriza-se pela produção de peixes em um espaço confinado e controlado. Essa produção deve necessitar de um manejo e possuir um proprietário, ao contrário da exploração de um bem coletivo por meio da pesca (VALENTI, 2002). Quando praticada em açudes, ou em lagos artificiais, a aquicultura causa um grande impacto ambiental por descartar a água quando essa se tornar imprópria para o uso devido a alta concentração de subprodutos (tais como dejetos sólidos e altas concentrações de elementos tóxicos aos seres aquáticos) derivados da própria produção de peixes. Um dos métodos mais promissores para a

redução de impactos ambientais é a utilização de sistemas de recirculação de água, nesse método existe uma filtragem da água, possibilitando o seu reuso, dispensando a necessidade de descarte de água e diminuindo substancialmente a liberação de resíduos da produção no ambiente. (ZELAYA et al, 2001).

Figura 2.1: Ciclo biológico básico da aquaponia.



Fonte: (CARNEIRO, 2015)

Na hidroponia cultivam-se plantas em um meio sem terra usando para a sustentação das plantas, algum substrato poroso, como argila expandida, senão é possível a submersão das raízes das plantas diretamente em uma solução nutritiva. Essa solução nutritiva é geralmente composta de nutrientes químicos e circula de forma que as plantas consigam ter o melhor aproveitamento desses nutrientes. Uma vez esgotados os nutrientes é necessário realizar a troca da solução (SANTOS, 2013a).

Integrando as técnicas citadas, a aquaponia resolve o problema do manejo dos subprodutos tóxicos da criação de peixes filtrando da água com o auxílio de bactérias e plantas, tendo como resultado o crescimento de hortaliças, de acordo com a Figura 2.1.

Plantas, peixes e bactérias agem em uma relação simbiótica na qual a purificação da água do sistema gera nutrientes para o crescimento da flora do sistema (HUNDLEY, 2013).

2.1.2. Componentes vivos essenciais da aquaponia

Existem pelo menos três componentes vivos em um sistema aquapônico, dos quais dois, plantas e peixes, são os produtos cujo crescimento é o objetivo do sistema e o terceiro componente é o que possibilita que os outros dois possam partilhar e se nutrir da mesma água, as bactérias nitrificantes.

Na agricultura clássica, e na natureza, as plantas usam como substrato de sustentação o solo, onde, além de estabelecerem suas raízes para darem estabilidade para o crescimento de seus caules, também realizam a captura de água e nutrientes, como nitrogênio, potássio, cálcio e outros micro e macronutrientes. Contudo, o solo não é essencial para o desenvolvimento das plantas, a hidroponia e aquaponia usam outros substratos, como argila expandida, ou cascalho, para prover a sustentação para plantas.

Entre os nutrientes necessários para o desenvolvimento de um vegetal, o nitrogênio é um dos mais importantes. Ele é obtido a partir de uma cooperação entre peixes e bactérias, na qual os peixes fornecem a amônia como subproduto da sua alimentação e respiração. No entanto, a amônia dissolvida na água é altamente tóxica para os peixes e pouco aproveitável para as plantas, o papel, então, das bactérias é oxidar a amônia em nitratos que são uma apresentação do nitrogênio muito mais facilmente assimilados pelas raízes das plantas e muito menos tóxicos para o sistema (TOKUYAMA, 2004). Explicando mais detalhadamente, restos de ração e dejetos sólidos dos peixes são decompostos em amônia por microorganismos presentes na água, podendo acumular no sistema até atingir níveis em que se tornam tóxicos. Existem plantas capazes de absorver a amônia, como o agrião, o lírio do brejo e a taboa, porém, essa capacidade de absorção é baixa. A solução para isso é transformar a amônia presente no sistema pelo processo de nitrificação, no qual as bactérias dos gêneros *nitrossomonas* e *nitrobacters* oxidam a amônia inicialmente para nitrito, ainda tóxico, e, posteriormente para nitrato (TOKUYAMA, 2004).

2.1.3. Projeto de um sistema aquapônico

Existem diversos modelos de projetos para sistemas aquapônicos que variam de acordo com a facilidade de manutenção, foco na produção de peixes ou foco na produção de plantas, entre outros. Entretanto, três processos complementares devem ser implementados independentemente do modelo aquapônico adotado, o cultivo de peixes no viveiro, a nitrificação das diferentes formas de apresentação do nitrogênio no sistema pelo filtro biológico e a absorção dos nutrientes pela parcela vegetal do sistema. Dependendo da densidade da produção, deve-se, também, promover a oxigenação artificial da água, que tende a ser precária em sistemas de recirculação. (RAKOCY, 2007).

Na Figura 2.2 estão ilustrados os principais componentes necessários para a manutenção de um sistema aquapônico de médio porte. Identificado por “A” está o tanque de peixes, onde são criados e alimentados os peixes, ou seja, toda inclusão de nutrientes no sistema se dá apenas nesse ponto. Os elementos representados por “B” e “C” são dois tipos de filtros para resíduos sólidos que não serão abordados em profundidade por se tratarem de componentes não essenciais que apenas facilitam a manutenção do sistema aquapônico.

Existem tipos distintos de ambientes de cultivos, mais ou menos apropriados para cada tipos de plantas, em “D” estão plantados tomateiros, em britas, pois necessitam de uma material de sustentação, devido a altura elevada que a planta pode alcançar, em “E”, em um modelo flutuante, estão plantados alfaces e, em “F”, cenouras e cebolas estão plantadas em areia (técnica pouco usada devido a dificuldade de se impedir que a areia não se espalhe e entupa canos e bombas). E por fim, em “G”, existem alfaces, também plantados em areia .

Ainda na Figura 2.2, o elemento “D” tem as funções de cama de cultivo de tomateiros e também de filtro biológico. No filtro biológico acontece o processo de nitrificação no qual amônia é convertida primeiramente para nitrito e então nitrato (BRAZ FILHO, 2000). Esse elemento geralmente consiste de um recipiente preenchido de substrato que facilita a fixação das bactérias nitrificadoras, nesse caso a brita, contudo argila expandida também é muito usada (KUBITZA, 2006).

Devido à alta estocagem de peixes deve-se suprir a necessidade de oxigênio dissolvido por meio de um sistema de aeração/oxigenação (BRAZ FILHO, 2000). Em “A”, juntamente com os peixes, existe um sistema de aeração, composto por sopradores de ar que injetam

oxigênio dissolvido na água através de bolhas, similar aos sistemas de aeração usados em aquarismo.

Figura 2.2: Exemplo de um sistema de aquaponia em nível familiar.



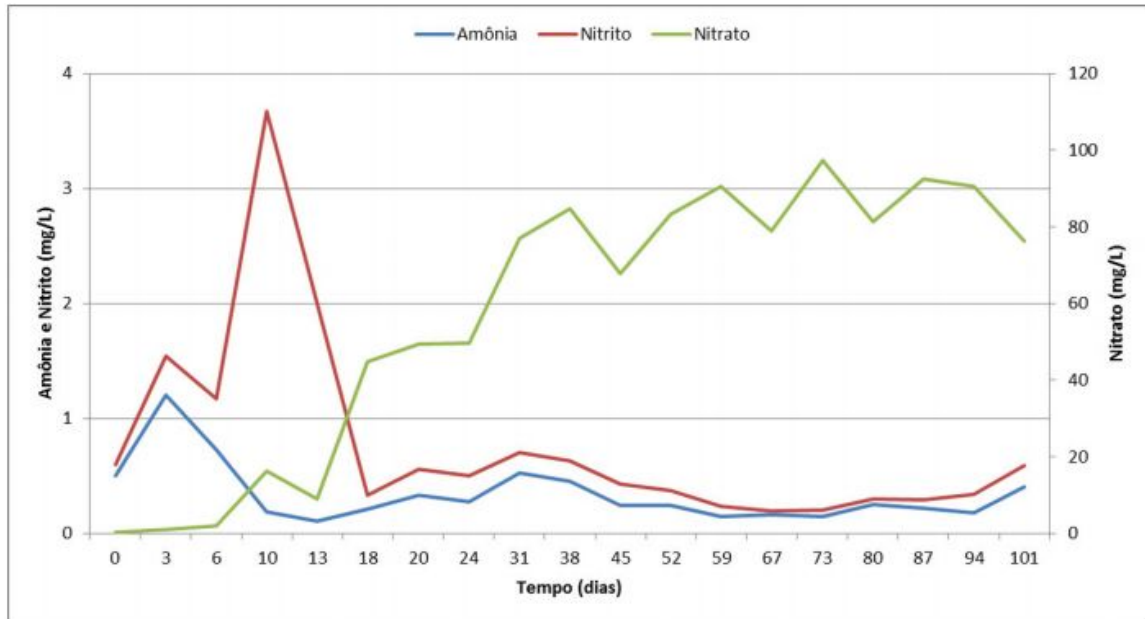
Fonte: (CARNEIRO, 2015)

2.1.4. Manejo de um Sistema Aquapônico

O cuidado correto das colônias de bactérias é fundamental em um sistema aquapônico, porque são elas que metabolizam o nitrogênio do sistema. O aparecimento das bactérias nitrificantes no filtro biológico se dá de forma natural, podendo ter seu surgimento acelerado com a introdução de água trazida de outro sistema aquapônico onde já existem colônias de bactérias. Outro método usado é a introdução de amônia no sistema, sendo possível a adição do químico puro diretamente ao sistema, ou em forma de ração de peixes, que será decomposta e liberará amônia. O processo do estabelecimento de colônias de bactérias no sistema é conhecido como ciclagem. Na Figura 2.3 podemos observar a curva do perfil de amônia durante o período de ciclagem em um novo sistema aquapônico (CARNEIRO, 2015). Dentro de alguns dias, após o início do processo, haverá o crescimento da população de

bactérias *Nitrossomonas* que oxidam a amônia para nitrito, existindo um pico de nitritos, elemento ainda bastante tóxico, até que exista o aumento da população de bactérias *Nitrobacter* que, por fim, transformam o nitrito em nitrato (LOBÃO, 1999), e então o sistema estará estável o suficiente para a adição de peixes e plantas.

Figura 2.3: Período de ciclagem de um novo sistema aquapônico.



Fonte: (CARNEIRO, 2015)

Uma propriedade que reflete bem a saúde do sistema é o potencial hidrogeniônico comumente chamado de pH. O pH é uma escala logarítmica, que pode variar entre 0 e 14, usada para representar a acidez de uma solução aquosa, sendo que o pH 7 é neutro e quanto menor o pH mais ácida é a solução (BUCK, 2002). Em um sistema de aquaponia cada organismo possui intervalos de pH ótimos, nos quais suas atividades e crescimento são máximos. As plantas próprias para hidroponia e aquaponia têm o crescimento ótimo entre o pH 5,8 e 6,2 (RAKOCY, 2007), as bactérias nitrificantes tem sua atividade de conversão de amônia maximizada com pH neutro (BRAZ FILHO, 2000) e o intervalo de tolerância de pH de peixes varia muito de acordo com a espécie, a tilápia, muito usada por suportar qualidades de água bem diversas, pode ser criada em ambientes com pH entre 6 e 8,5. As variações bruscas de pH devem ser evitadas, pois diminuem a imunidade dos peixes, os deixando mais suscetíveis a doenças (KUBITZA, 2018).

Além do pH, a temperatura é outra condição ambiental que deve ser observada. As bactérias nitrificadoras tem sua atividade normal entre 20 e 28 °C (RAKOCY, 2006). Tal como o pH, a variação de temperatura tolerada por peixes varia entre as espécies, no caso da tilápia, que são peixes tropicais, apresentam conforto térmico entre 27 e 32 graus Celsius, fora desse intervalo, o apetite e o crescimento ficam reduzidos, e em temperaturas abaixo de 20 °C o risco de doenças e morte aumenta (KUBITZA, 2018).

Em regiões com altas amplitudes térmicas diárias é recomendável manter um controle de temperatura e, se necessário, criar um isolamento térmico, colocando o sistema em uma estufa, ou possuir um sistema ativo de aquecimento de água.

2.2. Internet das Coisas

A origem do termo *Internet of Things* (IoT), traduzido para o português como Internet das Coisas, é geralmente atribuída ao laboratório *Auto-ID Labs* do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) em seu trabalho sobre identificação por radiofrequência (RFID) (ATZORI et al. 2010). Hoje, entretanto, o termo já assumiu significado muito além da tecnologia de identificação por radiofrequência, e pode ser interpretada como uma evolução da computação ubíqua, que “consiste na presença de objetos e ‘coisas’ inteligentes ao nosso redor, com a plena capacidade de trocar informações, interagindo e cooperando para um propósito comum” (ATZORI et al. 2010).

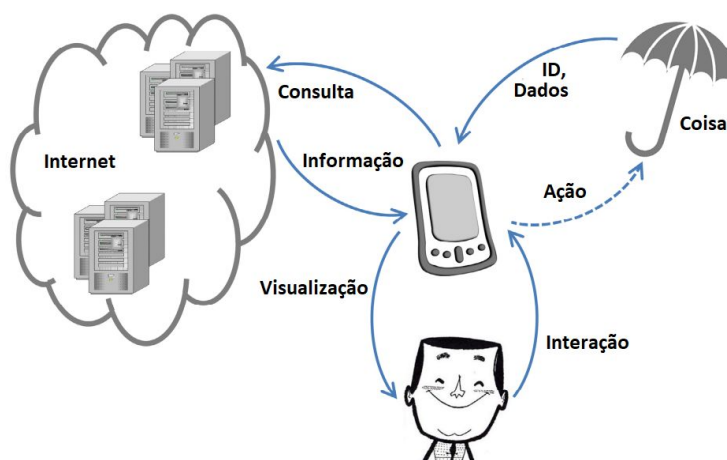
Para Mattern e Floerkem (2010), a Internet das Coisas não é resultado de um único avanço tecnológico, mas de uma série de tecnologias complementares que possibilitam a conexão entre o mundo físico e virtual. Essas tecnologias são:

- Comunicação e Cooperação: Uso de serviços para a atualização de estado por meio de tecnologias sem fio como GSM, UMTS, Wi-Fi, Bluetooth e outras.
- Endereçabilidade: Possibilidade de ser localizado e endereçado por serviços e, portanto, remotamente interrogado ou configurado.
- Identificação: Ser identificado unicamente por meio de tecnologias como IP (*Internet Protocol*), RFID, NFC (*Near Field Communication*) ou códigos de barras.

- Sensoriamento: Capturar informações das proximidades por meio de sensores, gravá-las e enviá-las.
- Atuação: Manipular seu ambiente por meio de atuadores. Tais atuadores podem ser acessados remotamente pela Internet.
- Processamento de informação embarcada: Possuir processadores e memória, esses recursos são usados para processar e interpretar informações dos sensores.
- Localização: Possuir conhecimento da sua localização física, ou poder ser localizado.
- Interfaces de usuário: Poder se comunicar com pessoas de maneira direta ou indireta (via smartphone, por exemplo).

Normalmente, os objetos inteligentes empregam apenas um subconjunto dessas tecnologias citadas. Na Figura 2.4, Mattern e Floerkem (2010), exemplificam a interação existente entre pessoas, objetos conectados e a Internet, tendo como intermediador dessas conexões o *smartphone*.

Figura 2.4: Interação entre pessoas e objetos conectados e a Internet.

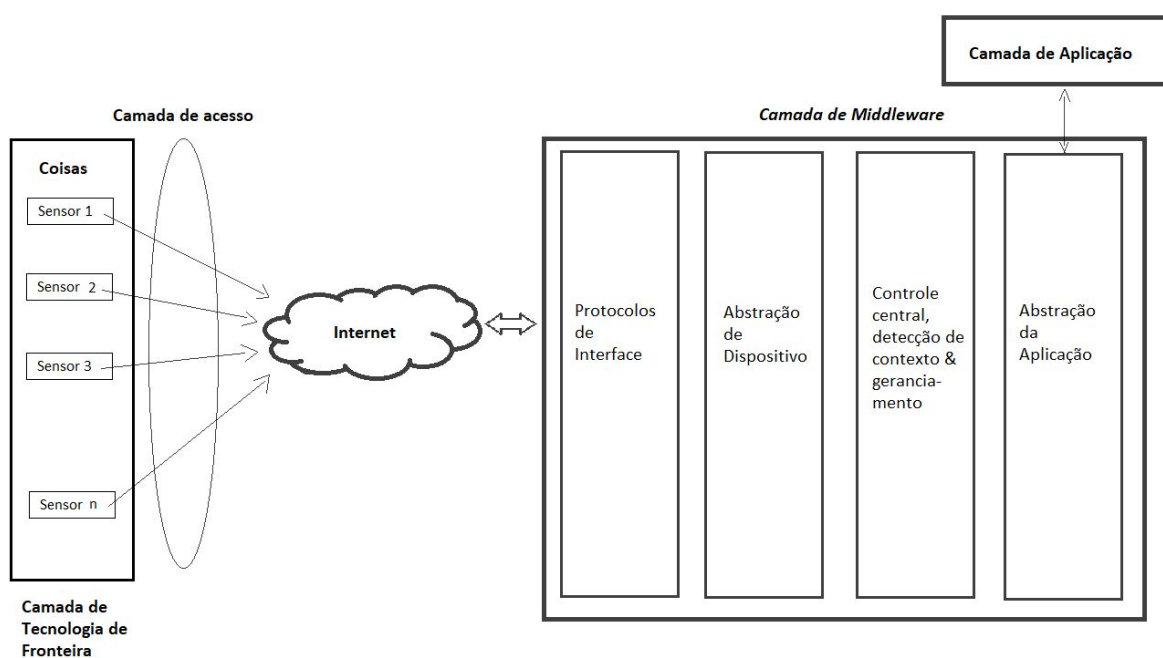


Fonte: Adaptado de (MATTERN, 2010).

2.2.1. Arquitetura IoT

A Internet das Coisas possui uma arquitetura de camadas desenvolvida para atender demandas de diversas indústrias, empresas e a sociedade. As cinco camadas propostas por Zarghami (2013) são ilustradas na Figura 2.5.

Figura 2.5: Arquitetura IoT



Fonte: Adaptado de (ZARGHAMI, 2013).

Em uma solução IoT genérica a camada que faz a primeira fronteira entre o físico e virtual, chamada de Camada de Tecnologia de Fronteira, é composta por sistemas embarcados, etiquetas RFID e diferentes tipos de sensores. Interligando a camada de fronteira com a infraestrutura de Internet existe a Camada de Acesso, que realiza a manipulação dos dados obtidos pela camada de fronteira e é responsável pela publicação e inscrição dos serviços disponibilizados pela “coisa”.

A Camada de *Middleware* possui funcionalidades fundamentais, como agregação e filtragem dos dados recebidos dos dispositivos de *hardware*, realiza a descoberta de

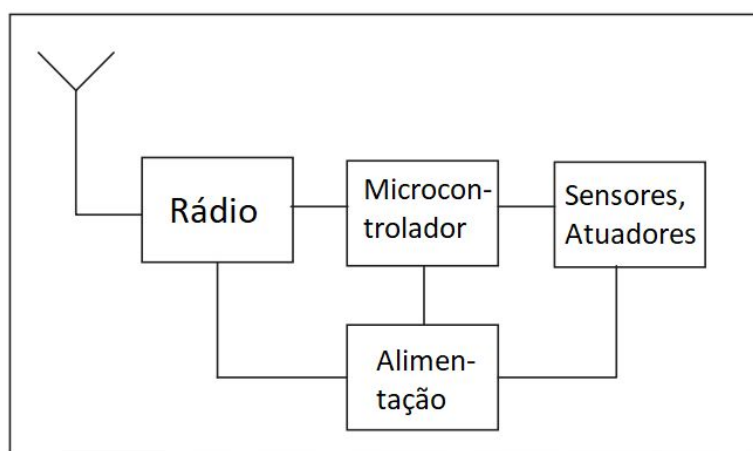
informação e permite o controle de dispositivos pelas aplicações e nessa camada que existe o grande desafio de lidar com a heterogeneidade de dispositivos de fronteira que tende a aumentar com novas tecnologias.

Por fim, a Camada de Aplicação, que é responsável por executar os serviços com a maior proximidade do usuário humano, nos quais geralmente existe alguma interface com o usuário ou administrador do sistema IoT. Tais serviços de aplicação podem ser usados em diferentes indústrias, como logística, vendas, saúde e etc.

2.2.2. Dispositivo IoT

Para um objeto qualquer se tornar um objeto inteligente, é necessário vincular a esse objeto um *hardware*, ou seja, uma série de circuitos eletrônicos. Vasseur (2010) classifica tais circuitos em quatro classes principais, como ilustrado na Figura 2.6.

Figura 2.6: Arquitetura de *hardware* de um objeto conectado



Fonte: Adaptado de (VASSEUR, J.-P et al. 2010).

O microcontrolador é componente que proporciona ao objeto a sua inteligência, ou seja, nele é executado o *software*. Em seu encapsulamento existem um microprocessador, memória, *timers* e interfaces de hardware para se conectar a dispositivos externos como sensores, atuadores e transmissores e receptores de rádio.

Por motivos de custo e consumo de energia, os microcontroladores usados em objetos inteligentes são muito menores e menos potentes que os empregados em computadores

peçoais. Tipicamente, microcontroladores de objetos inteligentes possuem poucos kilobytes de memória e trabalham em frequências de alguns megahertz, enquanto computadores pessoais possuem gigabytes de memória e trabalham na frequência de gigahertz.

Existem duas categorias principais de dispositivos de comunicação: com fio e sem fio. Os dispositivos sem fio geralmente usam rádios transceptores, ou seja, um rádio que possui a capacidade de transmissão e recepção de dados. Para dispositivos com fio geralmente usa-se uma interface Ethernet ou PLC (*Power Line Communication*).

Dentre os componentes de um objeto conectado, o rádio transceptor é, normalmente, o maior consumidor de energia, para aumentar o tempo de bateria o rádio não é mantido ligado todo o tempo. Contudo, quando desligado não é possível receber dados, logo é necessário haver uma sincronização entre os rádios de diferentes dispositivos para que a comunicação seja possível quando esse modo de economia de energia é usado.

Objetos conectados interagem com o ambiente por meio de sensores e atuadores. Sensores são usados para percepção do ambiente e atuadores são usados para alterar o ambiente. A complexidade dos sensores usados em um objeto inteligente pode variar muito dependendo da aplicação, por exemplo, o controle de um sensor de temperatura é muito simples, consiste apenas da captação do valor de um sensor, já um objeto inteligente usado para vigilância pode depender da interação de diversos sensores, como sensores ultra sônicos e câmeras.

Os componentes eletrônicos que transformam um objeto ordinário em um objeto inteligente e conectado necessitam de energia elétrica para seu funcionamento. Hoje em dia a fonte de energia mais comum são as baterias, não obstante existem alternativas como células solares, piezoelectricidade ou energia transmitida por ondas de rádio, entre outras formas de captação de energia do ambiente (*Energy Harvesting*).

2.2.3. Protocolos de Comunicação

A literatura acadêmica e a web revelam diversos protocolos que propõem unificar dispositivos IoT, alguns proprietários e outros em código aberto. Todavia, três abordagens se destacam em termos de nível de pesquisa e aplicações já em funcionamento (FYSARAKIS, 2016).

As Arquiteturas Orientadas a Serviços (também conhecidas pelo acrônimo em inglês SOA) são uma boa alternativa para interação com nodos IoT, visto que serviços web permitem o foco sobre o serviço, abstraindo o *hardware* e as tecnologias de rede utilizadas. Dentre os protocolos orientados a serviços, o protocolo DPWS (*Devices Profile for Web Services*) se destaca. A especificação, introduzida em 2004, define um grupo mínimo de implementações que permitem um serviço de mensagens seguro na Internet, incluindo descoberta, descrição e interações síncronas e assíncronas com dispositivos de recursos limitados. Atualmente, essa abordagem é adotada por sistemas de grandes empresas e integrado nativamente em diversas versões do sistema operacional Windows (FYSARAKIS, 2016).

Já as Arquiteturas Orientadas a Recursos usam protocolos como REST (*Representational State Transfer*), que atualmente domina a Internet. Aplicações REST geralmente usam HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), que não é muito apropriado para aplicações IoT, considerando as restrições de energia e largura de banda dos nodos IoT. Contudo, o padrão CoAP (*Constrained Application Protocol*), apresentado pela IETF (*Internet Engineering Task Force*), é apresentado como uma solução para dispositivos com restrições de energia e banda que mantém compatibilidade com a infraestrutura existente na Internet. O protocolo é comumente chamado de “o HTTP para IoT”. Seguindo o modelo de requisição/resposta um nodo interage com o servidor por meio de requisições GET, PUT, POST e DELETE (FYSARAKIS, 2016).

Por fim, as Arquiteturas Orientadas a Mensagens tem como foco prover transferência de dados assíncronas entre dispositivos distribuídos. Introduzido pela IBM, em 1999, o MQTT (*Message Queue Telemetry Transport Protocol*) foi aplicado ao ambiente IoT por ser extremamente leve e adaptado para ambientes com alta latência e conexões não confiáveis. O MQTT *Broker* tem como responsabilidade administrar e organizar todas as mensagens entre

os dispositivos. As mensagens são publicadas em tópicos nos quais é possível se inscrever para ter acesso a tais mensagens (FYSARAKIS, 2016), seguindo um modelo *publish/subscribe*.

2.2.4. Middleware

A camada intermediária que realiza a mediação entre a camada de aplicação e os dispositivos conectados é chamada de *middleware*. Suas funcionalidade são: prover uma interface entre protocolos; disponibilizar abstrações para os dispositivos; detectar e administrar o contexto; prover abstração de aplicação (ZARGHAMI, 2013).

A primeira função, interface entre protocolos, tem como objetivo garantir a interoperabilidade técnica, ou seja, possibilitar a comunicação de sistemas distintos por meio de protocolos de comunicação comuns. Para lidar com a heterogeneidade de dispositivos é possível encapsular o protocolo usado pelo dispositivo em um protocolo comum que possibilite a intercomunicação.

A criação de uma abstração dos dispositivos facilita a interação entre componentes de aplicação e os dispositivos. Tal abstração deve atender os requisitos cujas definições, segundo o Instituto Europeu de Padrões de Telecomunicações são a interoperabilidade sintática e a interoperabilidade semântica. A interoperabilidade sintática está associada a formatos de dados, onde as mensagens trocadas por protocolos de comunicação devem ter sintaxe bem definidas e ser representadas pelo uso de códigos de alto nível, como HTML ou XML. Já a interoperabilidade semântica geralmente está relacionada com o entendimento do conteúdo de uma mensagem por humanos. No entanto, no caso de IoT, a comunicação não é realizada com humanos, logo o objetivo desse requisito deve ser o entendimento da troca de mensagens entre aplicações (VAN DER VEER, 2006).

Um contexto é a situação de uma entidade, que pode ser um lugar, uma pessoa ou um objeto relevante para o usuário, ou as aplicações e suas interações (BANDYOPADHYAY, 2011). A camada de detecção e administração de contexto é responsável por suportar a computação ciente de contexto. A ciência de contexto inclui duas funcionalidades: detecção de contexto que consiste em coletar dados e selecionar informações que têm impacto computacional e o processamento de contexto que usa a informação coletada para realizar uma atividade ou tomar uma decisão (ZARGHAMI 2013).

A camada mais distante do dispositivo, e a mais próxima da aplicação, em um *Middleware* IoT, é chamada de Abstração de Aplicação. Esse componente deve disponibilizar uma interface para aplicações de alto nível e usuários finais para interagirem com dispositivos. Uma implementação da abstração de aplicação, usando uma interface REST, por exemplo, possibilita a obtenção de informações sobre os sensores por meio de operações HTTP (MALATRAS, 2008).

2.3. Considerações Finais

Ao finalizar este capítulo é possível concluir que um objeto conectado sozinho não gera muito valor para quem o possui, o viabilizador da Internet das coisas é a infraestrutura, principalmente o *middleware*, que possibilita que leituras de tensão elétrica passadas dos sensores para um controlador possuam um significado. A agregação dessa inteligência a um sistema aquapônico apresenta-se como uma solução interessante por possibilitar um aumento na produção, uma facilitação do manejo e redução de gastos com manutenção do sistema.

3. PROPOSTA DE SISTEMA AQUAPÔNICO

Com base nos fundamentos teóricos apresentados anteriormente, este capítulo apresenta a especificação do projeto de um sistema de monitoramento para aquaponia baseado em Internet das Coisas.

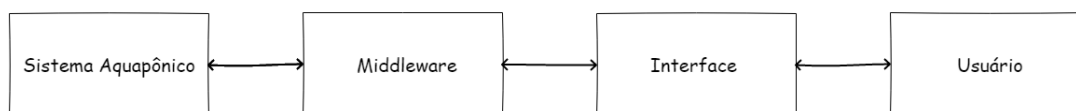
3.1. Arquitetura do sistema

Este projeto tem como proposta desenvolver um sistema de monitoramento e controle para aquaponia baseado em IoT. O sistema IoT deve monitorar parâmetros de funcionamento do sistema aquapônico e avaliar a sua saúde comparando os valores obtidos com os intervalos aceitáveis, que serão chamados de níveis de segurança, e disponibilizar tais dados em uma página web, por meio de indicadores ou gráficos.

Como podemos visualizar na Figura 3.1 é possível dividir o projeto em pelo menos três tipos instâncias principais: os objetos conectados (sistema aquapônico), o *middleware* e a interface de monitoramento.

A interação desses sistemas possibilita a aquisição dos dados, que representam o estado do sistema aquapônico, seu armazenamento, sua análise, a ativação de atuadores e, por fim, a sua visualização em uma interface gráfica amigável para a interpretação humana.

Figura 3.1: Módulos do sistema proposto



Fonte: Autor.

3.2. Requisitos do sistema

Em engenharia de software, os requisitos são definidos como as descrições de quais serviços o sistema deve entregar e quais suas restrições. Sommerville (2007) separa os requisitos em duas classes: requisitos funcionais e requisitos não funcionais. Nos próximos

parágrafos serão abordados os requisitos para o sistema de monitoramento para aquaponia baseado em IoT proposto.

Os requisitos funcionais são compostos de declarações de que o sistema deve fazer, quais serviços que deve entregar, e como deve reagir a entradas específicas, ou ainda, o que deve fazer em determinadas situações. Para o projeto proposto são definidos os seguintes requisitos funcionais:

- O sistema deve permitir a visualização das leituras dos sensores de nível de água do tanque, temperatura do ar, umidade do ar, temperatura da água, precipitação e fluxo de água da bomba de circulação, remotamente, via uma interface web.
- O sistema deve acionar o aquecimento do tanque de peixes automaticamente quando necessário.
- O sistema deve permitir configurar a temperatura em que o acionamento do aquecimento do tanque de peixes deve ser ativado.
- O sistema deve detectar falhas na bomba de circulação de água.
- O sistema deve notificar o administrador, por e-mail, caso o valor de algum sensor não esteja dentro dos intervalos aceitáveis de funcionamento (intervalos de segurança).
- O sistema deve permitir configurar os níveis aceitáveis de funcionamento para cada sensor existente.
- Os sensores deverão atualizar o seu status em intervalos de 15 minutos.

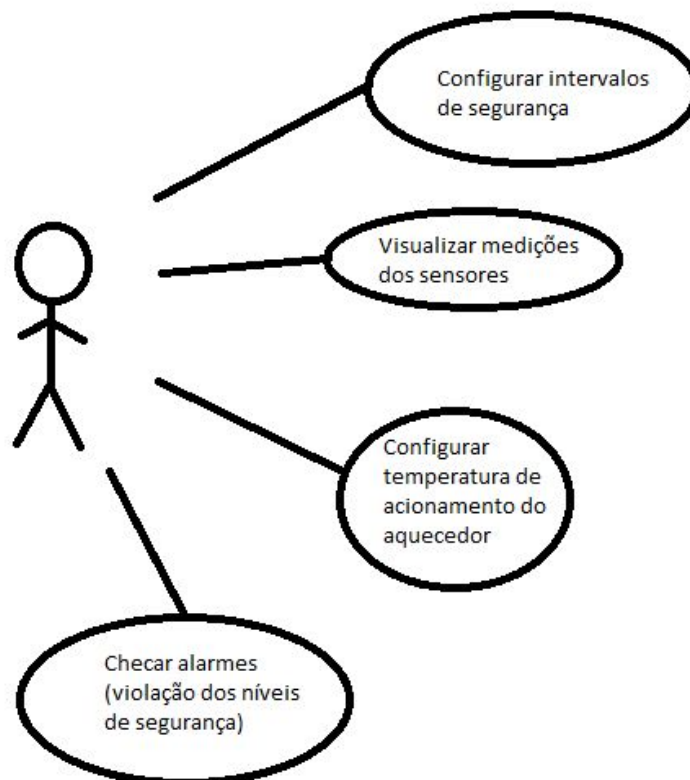
O requisito não funcional não define o que o sistema fará, mas como ele fará. Para o projeto proposto existem os seguintes requisitos não funcionais:

- O sistema deve usar plataformas de software livre.
- O sistema deve empregar protocolos e tecnologias conhecidas e usadas em soluções IoT.
- O sistema deve ser facilmente ampliado por meio de novos sensores e atuadores.
- O sistema deve ser acessível pela Internet em qualquer navegador web para *desktops*.
- O sistema deve armazenar informações dos sensores para serem acessadas em momentos futuros.
- Os sensores deverão comunicar seus valores via uma interface sem fio.
- O sistema deverá operar em temperaturas entre 0 e 40°C.

3.3. Casos de Uso

Outra ferramenta importante para a engenharia de software são os casos de uso, pois identificam todas as possíveis interações entre o sistema e seus usuários. Normalmente usa-se a linguagem UML (*Unified Modeling Language*) para realizar a descrição dos casos de uso, porém também é possível realizá-los de forma textual (SOMMERVILLE, 2007). Na Figura 3.2 as interações do sistema com seu usuário são representadas usando a linguagem UML devido à sua fácil compreensão.

Figura 3.2: Diagrama de casos de uso.

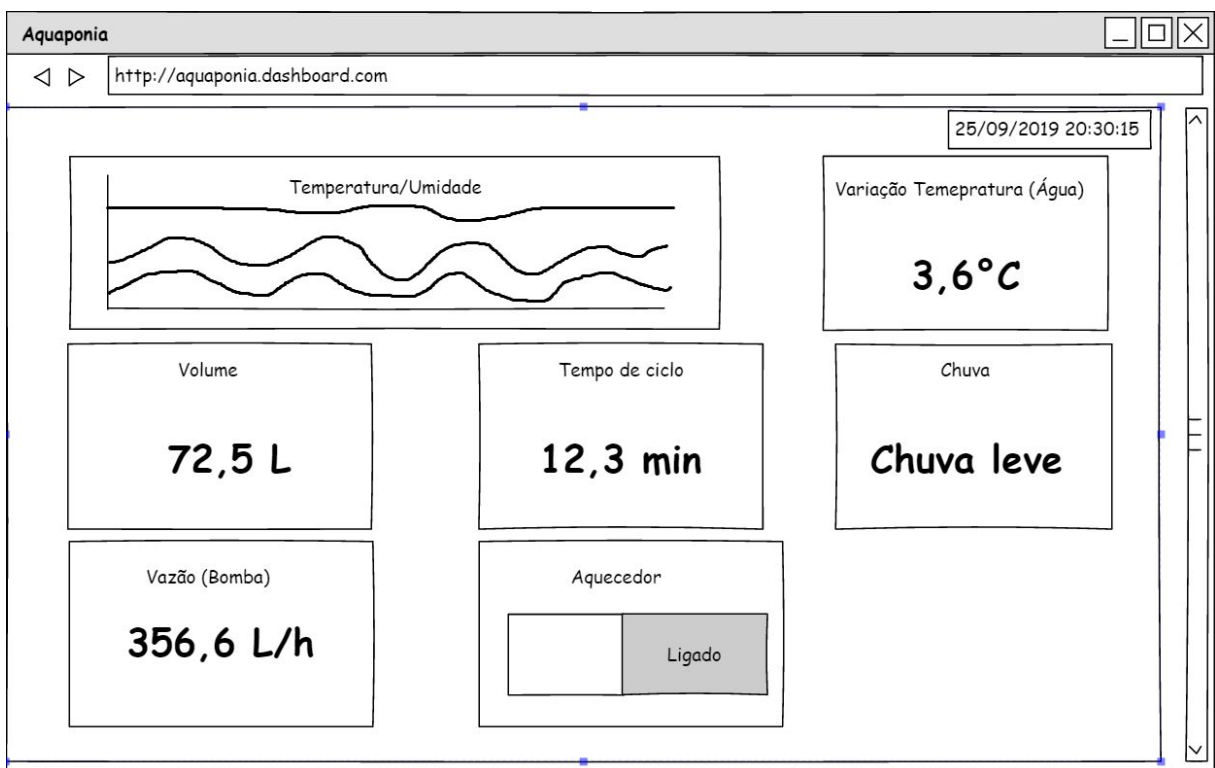


Fonte: Autor.

3.4. Projeto de Interfaces

Nesta seção estão ilustradas as telas necessárias para o usuário interagir ao utilizar o sistema. A Figura 3.3 mostra o protótipo da tela inicial da interface web, que apresenta, em tempo real, os valores medidos pelos sensores por meio de indicadores, que podem ser gráficos ou informações instantâneas. Nessa tela, alterando-se o valor do seletor de data e hora, no canto superior direito, é possível mudar o valor exibido pelos indicadores para os valores do momento selecionado.

Figura 3.3: Protótipo da tela de monitoramento principal.



Fonte: Autor.

Ainda na tela principal, ao clicar em qualquer um dos indicadores dos parâmetros do sistema, uma nova tela será carregada, onde é possível configurar os valores de intervalos de segurança do indicador clicado. A Figura 3.4 ilustra a tela aberta após um clique no indicador de temperatura e umidade.

Cada parâmetro do sistema, que é analisado e mostrado ao usuário por meio de gráficos e indicadores, possui diferentes influências no sistema, portanto, nem sempre gerar

alertas para violações de níveis de segurança superiores e inferiores se faz necessário. No caso de monitoramento da variação de temperatura da água é apenas interessante alertar no caso de uma grande diferença entre a temperatura máxima e mínima da água em um dia, ou seja, exige apenas a configuração de um nível de segurança superior para esta diferença. Outro indicador interessante é o monitoramento de chuvas, que é interessante ser acompanhado, pois, a água das chuvas, ao entrar no sistema, altera aspectos químicos da água e, além disso, pode fazer com que o nível de água no tanque de peixes suba. Contudo, não existe a necessidade de um alerta por se tratar de um evento comum e o sensor de nível de água já monitora um dos efeitos danosos da chuva.

Figura 3.4: Tela de configuração de intervalos de segurança.

The screenshot shows a web browser window titled 'Aquaponia' with the address bar displaying 'http://aquaponia.dashboard.com'. The main content area is titled 'Intervalos de Segurança' and contains three sections for configuring safety intervals:

Category	Minimum Value	Unit
Temperatura da Água:	10	°C
	35	°C
Temperatura do Ar:	5	°C
	40	°C
Umidade do Ar:	40	%
	80	%

A 'Pronto' button is located at the bottom right of the configuration area.

Fonte: Autor.

Uma vez ilustrada a configuração de sensores, é possível explicar a configuração de atuadores. Ao clicar no retângulo com o rótulo “Aquecedor” (Figura 3.3), a página representada pela Figura 3.5 será aberta. Nesta página existe a configuração pertinente a esse atuador, no caso, um limite inferior de temperatura da água, que, uma vez ultrapassado, aciona o aquecimento ativo do tanque.

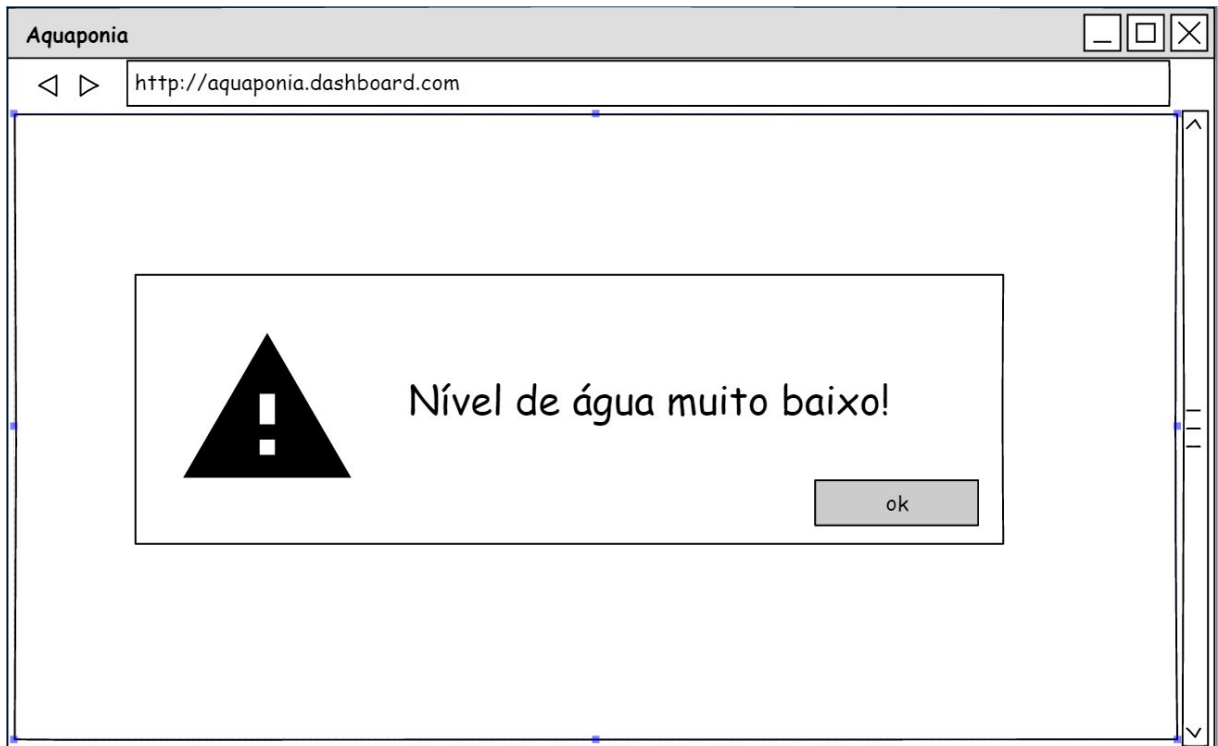
Figura 3.5: Tela de configuração de atuadores.

The image shows a web browser window titled 'Aquaponia' with the address bar displaying 'http://aquaponia.dashboard.com'. The main content area is titled 'Configuração do Aquecedor'. It features a configuration form with the following elements: a dropdown menu set to 'Ligar', the text 'quando', a dropdown menu set to 'temepratura da água', the text 'for', a dropdown menu set to 'menor que', a text input field containing '18,00', and a degree symbol '°C'. A 'Pronto' button is located at the bottom right of the form area.

Fonte: Autor

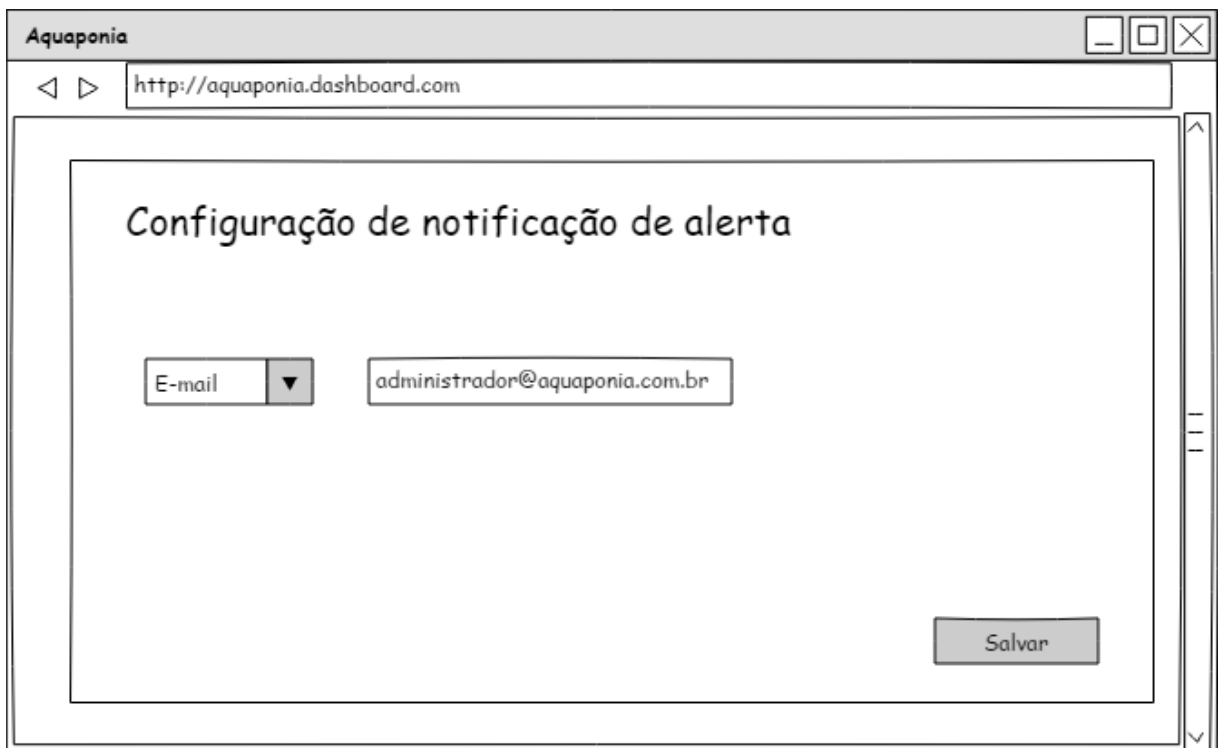
A Figura 3.6, fornece a tela de alerta, que é mostrada toda vez que algum nível de segurança é excedido. Juntamente com a exibição da tela de alerta, é enviado um e-mail para o administrador. Para a configuração do e-mail que receberá as mensagens de alerta é necessário realizar um clique com o botão direito em um indicador e selecionar a opção de configuração de notificação de alerta. Como ilustrado na Figura 3.7, é possível configurar o e-mail que receberá as mensagens de alerta.

Figura 3.6: Tela de alerta.



Fonte: Autor.

Figura 3.7: Tela de configuração de e-mail.



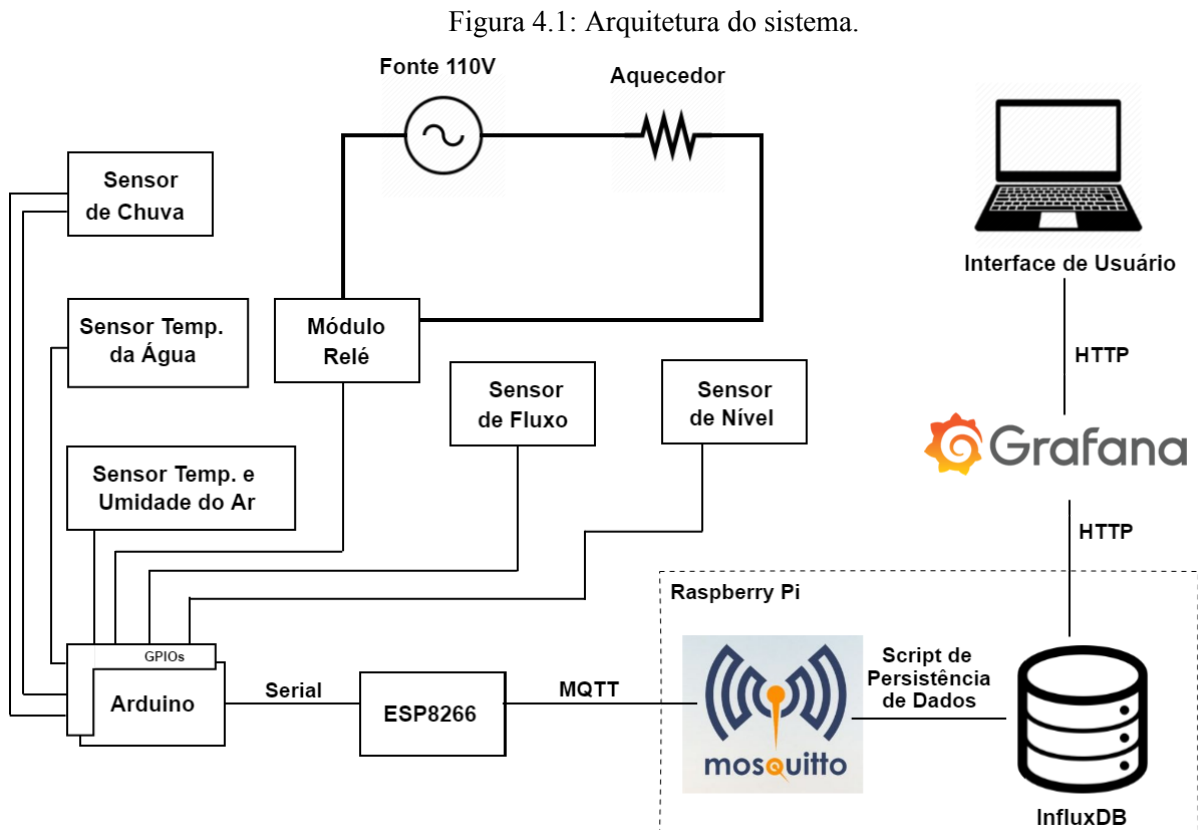
Fonte: Autor.

3.5. Considerações Finais

Neste capítulo foi abordada a proposta do sistema a ser construído. Juntamente com a especificação do sistema, foram usadas técnicas de engenharia de software (engenharia de requisitos, diagramas de casos de uso e prototipagem de interfaces) como auxílio ao desenvolvimento da proposta. No próximo capítulo será detalhada a implementação do sistema, explicando-se em detalhes os componentes do sistema e as tecnologias usadas para sua construção.

4. IMPLEMENTAÇÃO

Como mostrado no capítulo 3, o sistema proposto possui componentes de *software* e *hardware*, portanto nas subseções seguintes serão relatados o processo de desenvolvimento e implementação de cada um dos componentes do sistema, de acordo com a arquitetura ilustrada na Figura 4.1.



Fonte: Autor.

4.1. Processador e Comunicação

De acordo com a arquitetura da Figura 4.1, duas placas microcontroladas foram usadas na implementação do projeto; Arduino Uno e ESP8266-01. Essa escolha foi feita para que haja um isolamento entre o código de leitura dos sensores, executado pelo Arduino, e código de comunicação Wi-Fi, executado pelo ESP8266.

A placa de desenvolvimento Arduino Uno tem como sua unidade de processamento o microcontrolador ATmega328P que opera com uma tensão de 5V e frequência de 16MHz.

Essa placa possui 14 portas de entrada/saída digitais (GPIOs) e 6 portas de entradas analógicas. As capacidades de memória do microcontrolador são bem restritas, apenas 32KB de memória flash, 2KB de SRAM e 1KB de EEPROM, apesar disso não houveram problemas relativos à falta de memória durante o processo de desenvolvimento.

O ESP8266-01 é uma das variações dos módulos de desenvolvimento baseados no SoC (*System on Chip*) ESP8266, o qual possui microcontrolador e rádio Wi-Fi integrados em um único encapsulamento. Internamente, o ESP8266, possui uma CPU-RISK (*Central Processing Unit - Reduced Instruction Set Computing*) de 32-bits que funciona com 3,3V e uma frequência de 80MHz.

Dentre os fatores que levaram a escolha dessas placas para a realização do projeto, deve-se destacar o baixo custo, menos de 5 dólares cada uma, o grande suporte da comunidade *open source*, o que torna muito mais simples a resolução de problemas e o acesso a bibliotecas, e a disponibilidade, visto que o autor já dispunha das placas quando começou o planejamento do projeto.

O ambiente de desenvolvimento integrado da Arduino (Arduino IDE) fornece as ferramentas necessárias para realizar a programação de microcontroladores ATmega. Além disso, é possível adicionar à IDE as ferramentas de compilação cruzada e o SDK (*Software Development Kit*) do ESP8266, tornando possível realizar a programação do mesmo. A programação é realizada na linguagem C++, juntamente com a utilização de várias bibliotecas que facilitam o uso de periféricos dos microcontroladores, como GPIOs, comunicação com sensores e, até mesmo, o controle do rádio Wi-Fi, para a realização da conexão com pontos de acesso ou a conexão com o *broker* MQTT (seção 4.4).

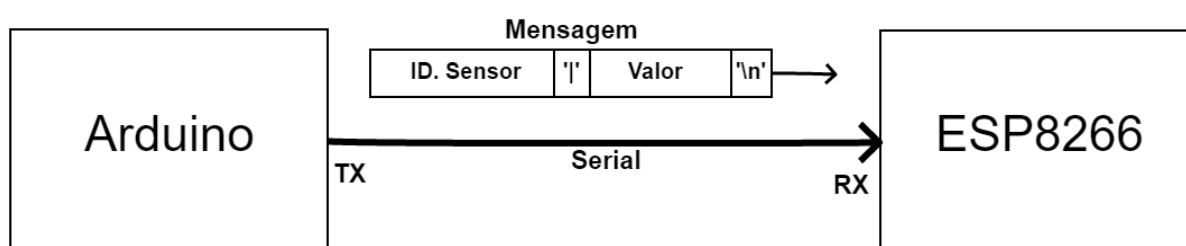
4.1.1. Interface entre microcontroladores

Visto que decidiu-se usar dois microcontroladores para dar um isolamento entre a amostragem dos sensores e a comunicação com a Internet, gerou-se a necessidade de implementar uma interface de comunicação entre os dois microcontroladores para que fosse possível a transmissão dos valores lidos pelos sensores para o ESP8266, que, por sua vez, os envia ao *broker* MQTT para realização do armazenamento dos dados. Optou-se por utilizar a comunicação serial, também conhecida como UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*), disponível em ambas as placas. Tendo em vista que o Arduino Uno

trabalha com uma tensão de 5V, e o ESP8266 com 3,3V, foi necessário adicionar um circuito de regulação de tensão entre as portas de comunicação que conectam os controladores.

A mensagem trocada entre os controladores é composta por uma cadeia de caracteres dividida em dois campos, separados pelo caractere barra vertical, e seu final é indicado pelo caractere de nova linha, identificados na Figura 4.2, respectivamente, por “|” e “\n”. O primeiro campo é composto por uma *string* com a identificação do sensor e o segundo campo identifica o valor do sensor, representado por um *float* em precisão simples.

Figura 4.2: Diagrama da comunicação entre controladores.



Fonte: Autor.

4.2. Sensores/Atuadores

Foram usados cinco sensores e um atuador no desenvolvimento deste projeto, nesta seção será abordado o funcionamento de cada um desses elementos e como é realizada a amostragem e leitura dos mesmos pelo Arduino.

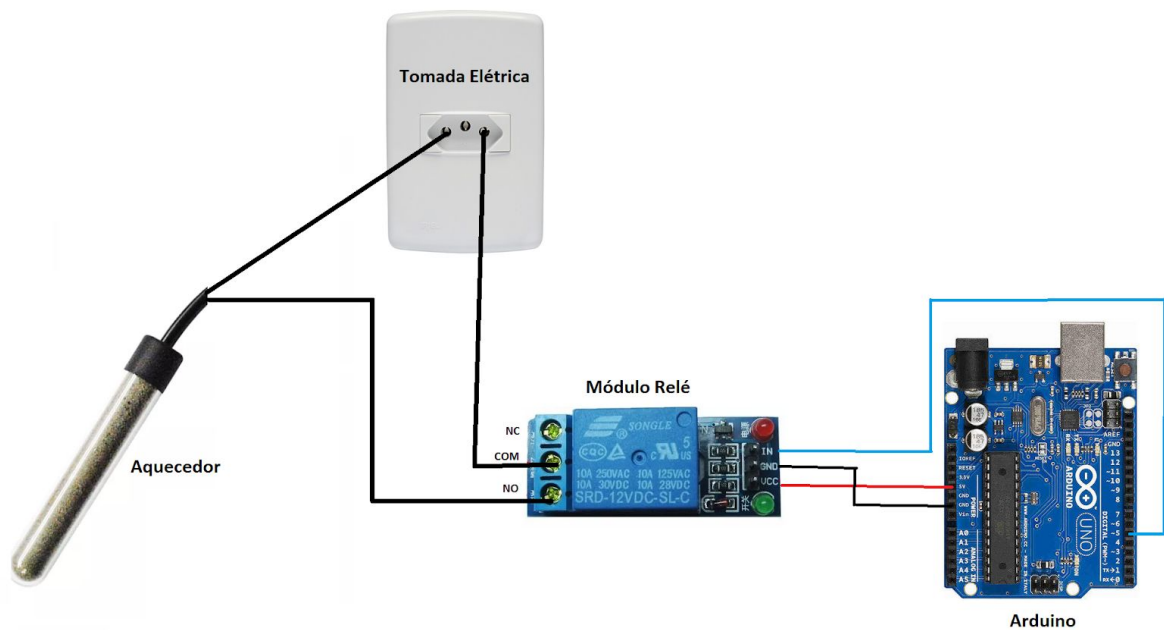
4.2.1. Módulo Aquecedor

O módulo aquecedor é composto por dois elementos básicos, um relé e uma resistência. O relé é um interruptor eletromecânico para altas tensões, porém seu acionamento é comandado a partir de uma tensão baixa. Um relé é dividido em duas partes. A parte de potência, na qual, neste projeto fica conectado o aquecedor, é composta por três terminais: COM (*Common*), NO (*Normally Open*) e NC (*Normally Connected*). Em seu estado de repouso os terminais COM e NC ficam conectados. A parte de controle possui uma bobina que, quando energizada, gera um campo magnético, deslocando um contato metálico, que resulta na abertura da conexão entre os terminais COM e NC e no fechamento da conexão

entre os terminais COM e NO. Nos terminais COM e NO é conectado em série o aquecedor (Figura 4.3). A energização da bobina é controlada diretamente por um GPIO do microcontrolador, ou seja, quando a tensão do pino for 0V o aquecedor estará desligado e quando a tensão do pino for 5V o aquecedor estará ligado.

O aquecedor tem como objetivo não permitir que a água do tanque de peixes fique abaixo da temperatura mínima programada. Logo que a leitura do sensor de temperatura da água estiver abaixo da temperatura limite, 18°C para um tanque com tilápias, o microcontrolador ativa o GPIO de controle do relé, ativando o aquecedor até que a temperatura do tanque volte para a temperatura aceitável.

Figura 4.3: Diagrama do Módulo de Aquecimento.



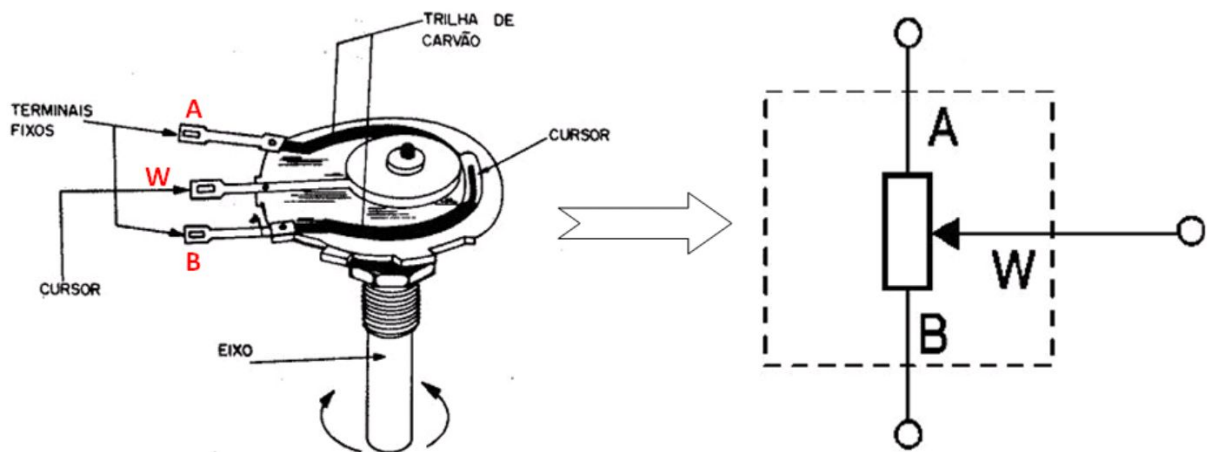
Fonte: Autor.

4.2.2. Módulo Nível de Água

Apesar de ser um sistema recirculante de água, existe uma variação da quantidade de água total do sistema devido à evaporação e às chuvas. Períodos de tempo muito quente e seco, ou vazamentos, podem causar uma queda do nível de água, expondo a bomba submersa, que fica fixada na parede lateral do tanque. Já chuvas muito intensas podem causar o transbordamento. Logo, é importante monitorar o nível de água do tanque de peixes.

O sensor de nível de água foi desenvolvido usando-se um potenciômetro, uma haste de madeira e um material flutuante. Um potenciômetro possui uma resistência fixa entre seus dois terminais mais externos “A” e “B”, de acordo com a Figura 4.4, já a resistência entre uma das extremidades e derivação central (“W”) dependerá do posicionamento do cursor (SANTOS, 2013b). É possível, então, usar o potenciômetro para controle de tensão. Se for aplicada uma tensão V entre os terminais mais externos, haverá, no terminal central, uma queda de tensão relativa a posição do eixo. Por exemplo, se o cursor estiver na metade da trilha de carvão, obtém-se uma tensão de $V/2$ entre o terminal central e qualquer um dos terminais externos (SANTOS, 2013b).

Figura 4.4: Funcionamento de um potenciômetro e circuito equivalente.



Fonte: (Santos, 2013).

Como a trilha de carvão é uma secção de um círculo, é possível relacionar a tensão entre “W” e “B” com o ângulo de rotação do eixo. Explorando essa relação, por trigonometria, é possível calcular o nível de água no tanque. Como ilustrado na Figura 4.5, conhecendo a profundidade máxima do tanque de peixes h , o tamanho t da haste e o ângulo α de rotação do eixo do potenciômetro, é possível calcular o nível de água do tanque P como:

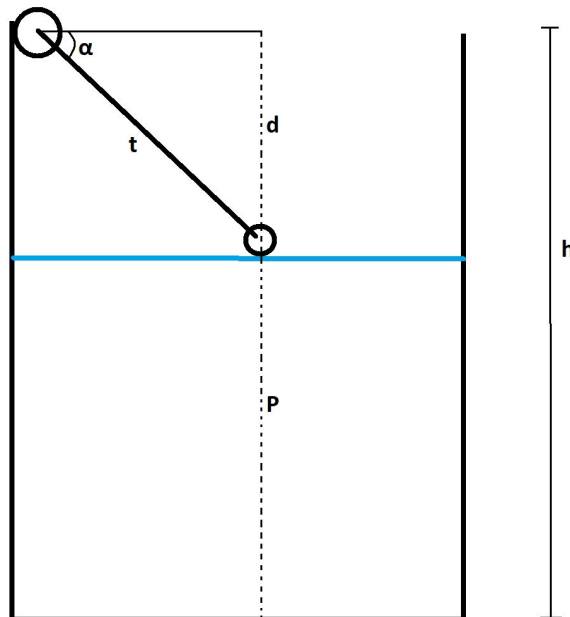
$$P = h - \text{sen } \alpha \times t$$

Para ler o nível de tensão do potenciômetro, o terminal central (“W”) é conectado em uma das entradas analógicas do Arduino, um dos conectores externos é conectado em 5V, o

nível de referência do Arduino, e o outro terminal é conectado ao terra (GND). O ATmega328P possui entradas analógicas de 10 bits, ou seja, o retorno do conversor analógico digital (ADC) terá valores entre 0 e 1023. Apenas ângulos entre 0 e 90 graus são relevantes para a leitura da profundidade do tanque, em outras palavras, não é usada toda a extensão do potenciômetro, portanto é necessário realizar a calibragem do sensor.

Foi usada uma haste de 22 centímetros, com esse tamanho é possível medir toda a amplitude possível de variação do nível de água permitida pelo sistema aquapônico de testes.

Figura 4.5: Diagrama para cálculo da profundidade do tanque de peixes.



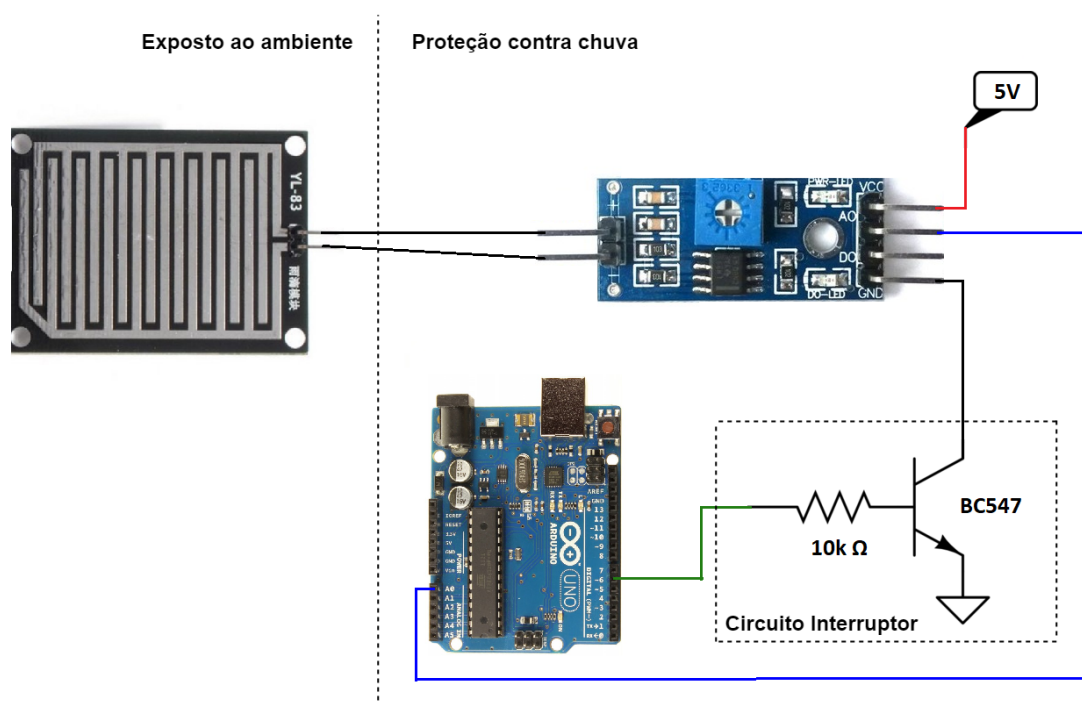
Fonte: Autor.

4.2.3. Módulo Sensoriamento de Chuva

O módulo sensor de chuva é composto por duas placas de circuito impresso distintas, interligadas por fios (Figura 4.6). Na primeira placa, na qual existem apenas duas trilhas condutoras levemente espaçadas, fica exposta à chuva. Quando estiver chovendo, haverá uma condutividade elétrica entre as trilhas, que varia de acordo com a quantidade de água acumulada sobre a placa. Na segunda placa, um circuito comparador é encarregado de, dependendo da quantidade de água acumulada sobre o sensor de chuvas, enviar um valor analógico de tensão para o controlador.

As trilhas da placa exposta, quando energizadas e conectadas por um filete de água, realizam o processo de eletrólise, processo no qual acontece a decomposição da trilha devido à transferência de elétrons pela solução aquosa. Para aumentar a vida útil do sensor, foi desenvolvido um circuito interruptor (no qual uma saída digital do Arduino controla a ativação de um transistor ligado à alimentação) que realiza o ativamento da alimentação do sensor por apenas alguns milissegundos a cada 15 minutos para a realização da medição.

Figura 4.6: Diagrama do módulo sensor de chuva.



Fonte: Autor

4.2.4. Módulo Temperatura da Água

O módulo de medição de temperatura da água do tanque de peixes utiliza o sensor DS18B20, produzido pela Maxim Integrated (MAXIM, 2018). Esse sensor mede temperaturas entre -55°C até $+125^{\circ}\text{C}$ e, dentro da faixa de temperatura que o projeto opera (0°C até 40°C), tem uma precisão de $0,5^{\circ}\text{C}$, para mais ou para menos. O sensor de temperatura utiliza uma interface de comunicação de apenas 1 fio (*1-Wire*®) mais o terra, e cada sensor possui um

endereçamento único de 64 bits que possibilita a conexão de múltiplos sensores no mesmo barramento de comunicação (MAXIM, 2015).

Não será discutido, neste trabalho, o funcionamento do protocolo *1-Wire*. A implementação da comunicação entre o controlador e o sensor, na Arduino IDE, foi feita com o uso das bibliotecas de código aberto *OneWire.h* e *DallasTemperature.h*, as quais fornecem os métodos necessários para recuperar a temperatura do fluido onde o sensor está inserido. O sensor é alimentado com 5V e a conexão com a placa controladora é feita pelo GPIO 7.

4.2.5. Módulo Temperatura e Umidade do Ar

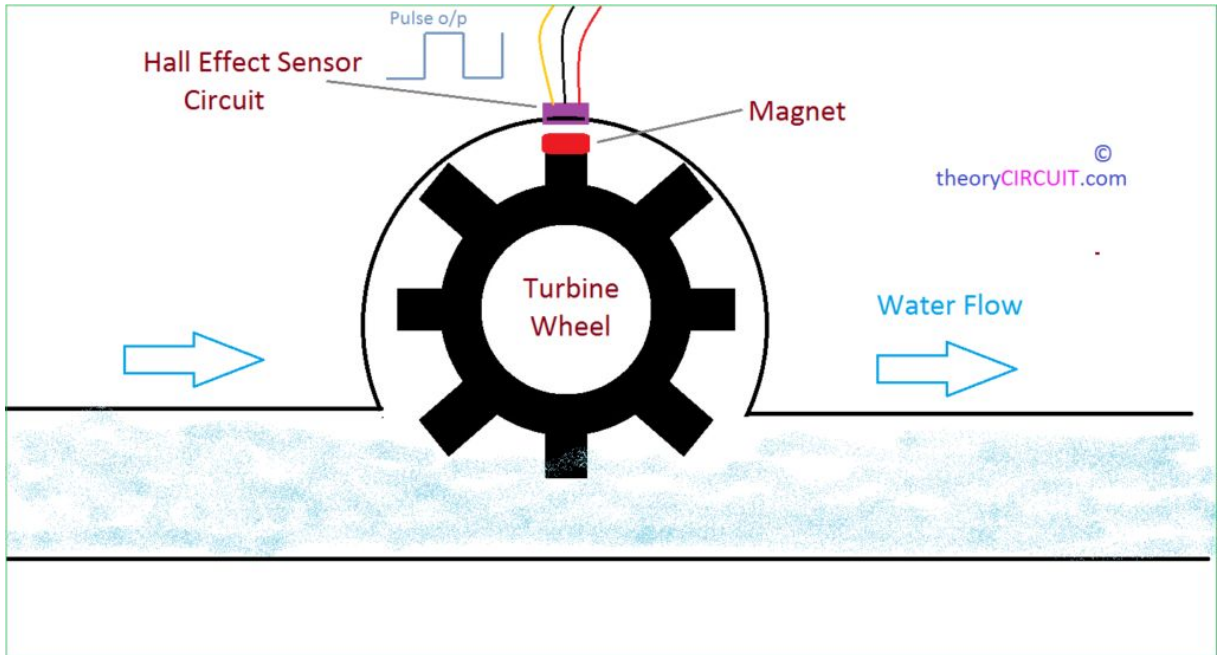
As medições de temperatura e umidade relativa do ar são realizadas pelo sensor DHT22, fabricado pela Aosong Electronics (AOSONG, 2018). Esse sensor possui uma faixa de medição de -40°C a $+80^{\circ}\text{C}$, com uma precisão de $0,5^{\circ}\text{C}$, para mais ou para menos, para temperaturas, e de 0% a 100%, e com uma precisão de 2%, para mais ou para menos, para a umidade relativa do ar (AOSONG, 2018). O sensor é alimentado com 5V e a comunicação é feita pelo GPIO 2 do Arduino com o uso da biblioteca de código aberto *DHT.h*.

4.2.6. Módulo Fluxo de Água

Para a medição do fluxo de água (vazão) gerado pela bomba de circulação foi usado o sensor YF-S201 (YIFA, 2018). Sua faixa de funcionamento é de 1 a 30 litros por minuto. O sensor foi instalado logo após a saída de água da bomba, sendo possível detectar falhas na bomba, como diminuição do fluxo por acúmulo de sujeira ou queima da bomba.

O YF-S201 funciona com base no efeito Hall, que permite detectar quando existe um campo magnético próximo ao sensor. Em seu interior, uma hélice gira de acordo com o fluxo de água (Figura 4.7), junto a esta hélice existe um ímã, que faz com que o sensor Hall emita um pulso a cada revolução da hélice. A detecção e contagem de pulsos, é feita através de uma interrupção de *hardware*.

Figura 4.7: Diagrama contendo os componentes do sensor de fluxo de água.



Fonte: (THEORY CIRCUIT, 2018).

De acordo com a documentação do sensor, uma vazão de 1 litro por minuto corresponde a uma frequência de 7,5 pulsos por segundo (YIFA, 2018). Logo, armazenando a quantidade de pulsos em um determinado espaço de tempo é possível calcular a vazão. Sendo Q a vazão em litros por minuto, p o número de pulsos e t o tempo da contagem de pulsos em segundos, o cálculo da vazão é dado por:

$$Q = 7,5 \times p/t$$

4.3. Firmwares

Relembrando o que já foi citado anteriormente, o projeto de monitoramento para aquaponia possui dois microprocessadores, um Arduino Uno que realiza o controle dos sensores e atuadores e um ESP8266 que faz a comunicação com a Internet, portanto, cada um desses processadores executa um *firmware* diferente. Nesta subseção vamos explorar o funcionamento desses *firmwares*.

4.3.1. Firmware do Arduino Uno

O Arduino Uno funciona com a execução de um *Sketches*. Um *Sketch* é, basicamente, uma estrutura de código dividido em *Setup*, que é espaço de código reservado à inicialização de variáveis, configuração de recursos de hardware e à inicialização de bibliotecas, e *Loop*, que é um laço de execução infinita. Devido à ausência de um sistema operacional, um sistema de alarmes foi implementado neste trabalho. Nesse sistema de alarmes, é possível agendar a execução de uma determinada função. Dessa forma, a sincronização de valores dos sensores pode ser agendada para ser executada a cada minuto, ou qualquer outro intervalo de tempo desejado.

A camada HAL (*Hardware Abstraction Layer*) cria um nível de abstração entre o gerenciamento de baixo nível, onde ocorrem as interações de *hardware*, e o código de mais alto nível, a lógica de negócio. Uma camada de abstração para as comunicações com o ESP8266 também foi implementada neste trabalho, possibilitando a transmissão dos valores dos sensores, como mostrado na seção 4.1.1.

4.3.2. Firmware do ESP8266

Tal como o Arduino, o ESP8266 não executa um sistema operacional, ele executa *Sketches*. Entretanto, nesse caso, não foi necessário usar o sistema de alarmes, pois as tarefas que devem ser executadas são mais simples.

Na etapa de *setup* é realizada a conexão com um ponto de acesso sem fio, para garantir o acesso à Internet e à conexão com o *broker* MQTT (seção 4.4). Na etapa de *loop* é apenas realizada verificação da consistência da conexão com o ponto de acesso e com o *broker* MQTT. Se uma dessas conexões tenha caído é realizada a reconexão e a verificação de mensagens enviadas pelo Arduino na porta serial. Caso exista alguma mensagem, ela é enviada para o *broker*.

A biblioteca *PubSubClient.h* (O'LEARY, 2018) foi usada para a implementação do cliente MQTT no ESP8266.

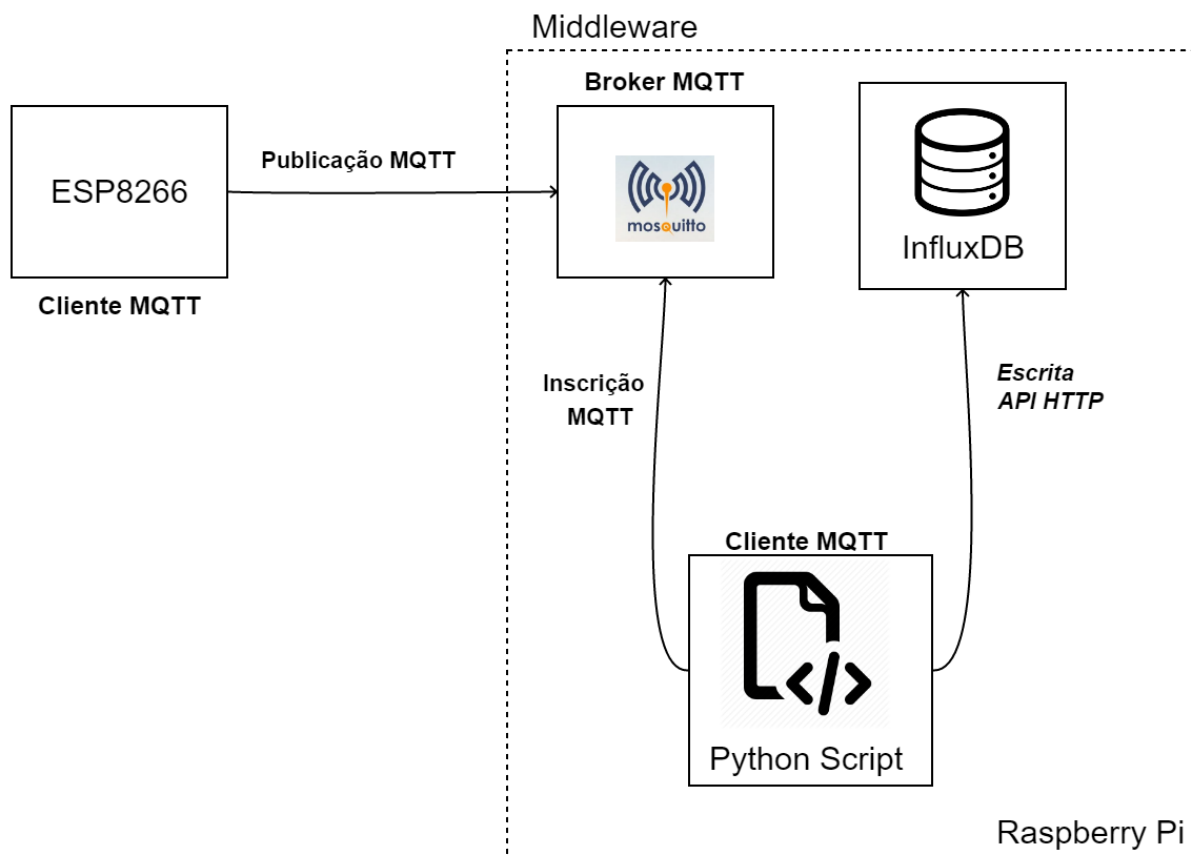
4.4. *Middleware*

O *middleware* é responsável por realizar a interface entre o sistema aquapônico conectado e a aplicação de usuário. Neste projeto, o *middleware* é composto por três elementos, um *broker* MQTT, uma instância do banco de dados InfluxDB e um *script* em Python, que realiza a persistência dos dados recebidos via MQTT no banco de dados. A Figura 4.8 ilustra a interação entre o dispositivo de fronteira, o ESP8266, com o *middleware* e a interação entre os seus serviços internos. Todos os componentes do *middleware* são executadas por um Raspberry Pi modelo 3B, que é um microcomputador de baixo custo e baixo consumo energético. O Raspberry Pi executa o sistema operacional Raspbian, uma variante da distribuição Linux Debian.

Toda comunicação entre o sistema aquapônico conectado e o Raspberry Pi é realizado usando-se MQTT, que é um protocolo de troca de mensagens que opera com o padrão *publish/subscribe* e usa uma estrutura hierárquica, chamada de tópico, para redirecionar mensagens aos destinatários. Nesse modelo, as mensagens não são enviadas diretamente para o receptor, elas são enviadas para um centralizador, chamado de *broker*, e publicadas em um tópico. Para que um cliente possa receber mensagens é necessário realizar a inscrição em um tópico de interesse do *broker*. Em resumo, sempre que existir uma publicação em um tópico, o *broker* irá retransmitir essa mensagem para todos os clientes inscritos nesse tópico.

Os tópicos MQTT são organizados de maneira hierárquica, similar ao modelo de pastas em um sistema de arquivos, usando o caractere barra comum (“/”) como delimitador. Tipicamente, o MQTT opera sobre o *Transmission Control Protocol* (TCP). Entretanto, existe uma variação do protocolo sobre *User Datagram Protocol* (UDP).

Figura 4.8: Diagrama da interação entre o ESP8266 e o *middleware*.



Fonte: Autor.

4.4.1. Broker MQTT

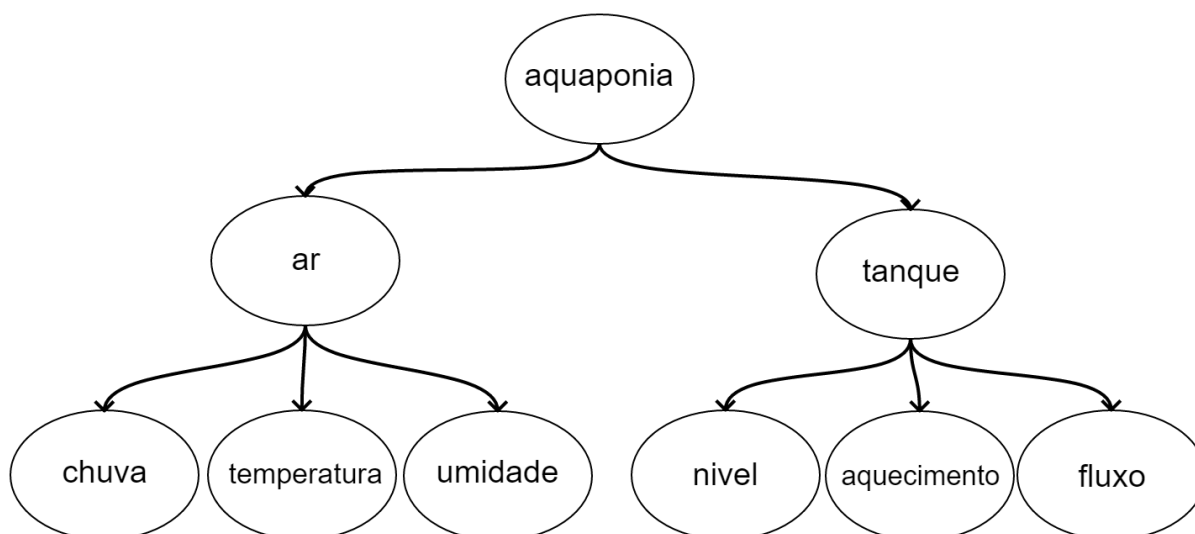
O *broker* tem como função enviar e receber mensagens MQTT e gerenciar as conexões com os clientes. O software usado para a implementação do *broker* MQTT foi o Mosquitto (ECLIPSE, 2018b), por se tratar de uma implementação leve e muito adequada para a execução no Raspberry Pi.

Os tópicos usados na implementação deste trabalho foram organizados em uma estrutura de árvore, ilustrada na Figura 4.9, possuindo, em sua raiz, o nome do projeto, em seus nodos intermediários o ambiente nos quais os sensores estão introduzidos e, nas folhas, as propriedades medidas. Por exemplo, uma publicação da temperatura do tanque de peixes é feita no tópico *aquaponia/tanque/temperatura*.

Por definição, o *broker* atua apenas como um encaminhador, entregando mensagens aos destinatários corretos. Portanto, a persistência das informações enviadas pelos sensores

deve ser feita por um outro serviço. Optou-se por usar o banco de dados temporal InfluxDB para esse serviço, o que será discutido a seguir.

Figura 4.9: Árvore de tópicos MQTT.



Fonte: Autor.

4.4.2. InfluxDB

O sistema de banco de dados escolhido para ser usado no projeto foi o InfluxDB (INFLUXDATA, 2018). Desenvolvido pela InfluxData, o InfluxDb é um banco de dados baseado em séries temporais, ou seja, é indicado para aplicações cujos dados tenham um vínculo com uma informação de tempo (*timestamp*), tal como aplicações IoT de monitoramento contínuo. O InfluxDB possui uma interface de programação de aplicações baseada no protocolo de Internet HTTP (API HTTP), sendo possível a comunicação direta com o banco de dados, dispensando a necessidade de servidor web. Além disso, disponibiliza uma linguagem de consulta baseada em SQL (linguagem de consultas a banco de dados amplamente usada), que tem como objetivo responder consultas em tempo real. Por isso, uma resposta, geralmente, demora menos de 100 milissegundos. O software possui o código aberto, um dos requisitos não funcionais do projeto.

Diferentemente dos bancos de dados comumente utilizados, como o MySQL, o InfluxDB usa uma variação do conceito de tabelas, as séries. Essa dissemelhança gera a necessidade da explicação de alguns outros conceitos relacionados às séries. As séries, tal

como tabelas, são organizadas em linhas e colunas, a primeira coluna de toda série é obrigatoriamente a coluna *time*, que armazena um *timestamp* (informação de tempo, contendo dia, mês, ano, hora, minuto e segundo em formato UNIX). As colunas subsequentes são chamadas de *field keys*, que são *strings* que indicam o significado do valor armazenado em suas linhas, os *field values*. Por se tratar de um banco de dados temporal, todo *field value* deve obrigatoriamente estar associado a um *timestamp*.

É possível configurar uma política de retenção para uma série informando por quanto tempo os dados devem ficar armazenados, evitando que o banco de dados cresça indefinidamente. Calculou-se que o armazenamento do valor de um sensor ocupa em média 15 *bytes*, o sistema implementado realiza a atualização do estado de seus sensores a cada 15 minutos, exceto para o sensor de nível de água, que envia seu valor a cada 5 segundos, portanto, são armazenados 744 valores de sensores por hora ao banco de dados. Se for extrapolado para um ano, o espaço de armazenamento usado pelo banco de dados será de apenas 93 MB, por se tratar de um espaço de armazenamento pequeno para um período tão longo, optou-se por não aplicar uma política de retenção nesta implementação.

Apesar da existência da API HTTP, que possibilitaria a o armazenamento dos valores dos sensores diretamente no banco de dados, optou-se por usar o protocolo MQTT, para a comunicação entre Raspberry Pi e o sistema aquapônico conectado, e um *script* Python para realizar a persistência dos dados recebidos via MQTT no banco de dados. Esta decisão foi baseada no fato que a implementação do protocolo MQTT em microcontroladores consome menos recursos que um cliente HTTP. Além disso, a existência de um *script* proporciona uma maior flexibilidade no desenvolvimento do projeto, possibilitando a realização de filtros, ou tratamentos, dos dados enviados pelo controlador.

4.4.3. Script de Persistência de Dados

O protocolo MQTT é apenas um protocolo de comunicação, para que exista uma troca de mensagens com sucesso, é necessário que o emissor realize uma publicação em um tópico no qual o receptor já esteja inscrito. Para possibilitar o acesso ao estado de monitoramento, em qualquer momento no passado, é usado um *script* que realiza o salvamento de todas as informações recebidas por MQTT no banco de dados. A mensagem MQTT recebida é

armazenada por um cliente InfluxDB de acordo com o caminho do tópico no qual foi publicada.

Usando-se como exemplo a publicação do nível de água do tanque de peixes, 45,30 centímetros, no tópico “*aquaponia/tanque/nivel*”, o primeiro elemento do tópico indica o nome do banco de dados e o segundo e terceiro elementos concatenados informam o nome da série em que será armazenado o valor publicado. Portanto, o cliente InfluxDb irá adicionar uma entrada à série *tanquenivel*, na qual o campo *time* será o momento em que a mensagem foi recebida no tópico MQTT, e o *field value* terá o valor de 45,30 centímetros.

O *script* foi implementado na linguagem de programação Python e executado, juntamente com o banco de dados e o *broker* MQTT, no Raspberry Pi. Para instanciação do cliente MQTT no *script* que usou-se a biblioteca Eclipse Paho (ECLIPSE, 2018a) e para a instanciação do cliente oficial do InfluxDB para Python.

4.5. Conectividade com a Internet

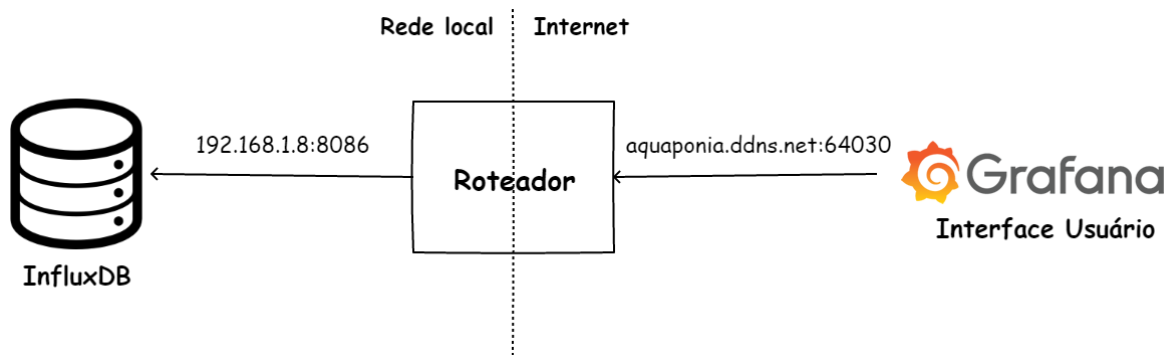
Todos os serviços apresentados até o momento estão disponíveis apenas na rede local onde se encontra o sistema aquapônico. Porém, para viabilizar a comunicação com o serviço de interface de usuário, que será aprofundada na Seção 4.7, é necessário que o banco de dados possa ser acessado pela Internet.

Para realizar consultas ao banco de dados Influx é necessário acessar a rede local onde o sistema aquapônico se encontra. Para isso, é necessário ter um endereço IP público e expor a porta em que o serviço é executado para a Internet. Isso pode ser feito usando a funcionalidade *Port Forwarding*, disponível em roteadores fornecidos por certos ISPs, que cria um mapeamento entre um IP e uma porta na rede local do roteador para uma porta na rede externa. Dessa forma, como ilustrado na Figura 4.10, uma requisição para o IP externo na porta 64030 é direcionado para o IP 192.168.1.8 e porta 8086, onde está disponível a API HTTP do InfluxDB.

Infelizmente, o IP fornecido é dinâmico, ou seja, está suscetível a ser mudado. Para solucionar esse problema, foi usado o serviço de DNS (*Domain Name System*) dinâmico fornecido gratuitamente pelo site *noip.com*. Esse serviço permite a vinculação de um nome simbólico imutável ao IP externo, sendo possível acessar o serviço a partir do nome *aquaponia.ddns.net* ao invés de acessá-lo diretamente pelo endereço de IP. Uma vez

configurado, o serviço de DNS Dinâmico no roteador irá informar o serviço *noip* sempre que houver uma mudança no IP externo o roteador.

Figura 4.10: Acesso ao banco de dados da Internet.



Fonte: Autor.

4.6. Interfaces

O *software* de código aberto Grafana foi usado para gerar a interface de usuário web. Optou-se por usar o serviço de hospedagem oferecido pela própria empresa que desenvolve a aplicação, uma vez que a versão gratuita oferece acesso à um usuário e até cinco painéis de controle.

Algumas imagens foram capturadas a fim de ilustrar o funcionamento da interface de usuário. A Figura 4.11 mostra o painel de controle com que o administrador se depara logo ao abrir a página web, nele é possível visualizar os valores dos sensores em tempo real, além dos gráficos que indicam o comportamento no passado, de acordo com as configurações de exibição que podem ser editadas no canto superior direito da página.

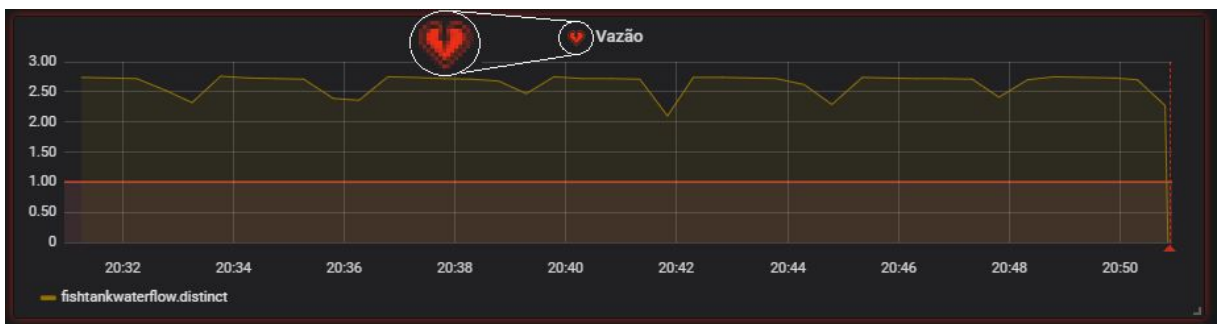
Figura 4.11: Imagem do painel de controle.



Fonte: Autor.

É possível perceber, ainda na Figura 4.11, que sobre cada gráficos existe o ícone de um coração verde indicando que esse parâmetro está dentro dos níveis de segurança. Caso os valores indicados saiam do intervalo aceitável, o ícone coração se torna vermelho, como ilustrado na Figura 4.12, e uma notificação é enviada por e-mail para o administrador.

Figura 4.12: Imagem do painel de controle em caso de violação dos níveis de segurança..



Fonte: Autor.

Clicando com o botão direito do mouse sobre um gráfico, é possível editar as opções de alerta. No exemplo da Figura 4.13, o alerta de nível de água está configurado para ser acionado caso seja maior que 4800 milímetros ou menor que 3400 milímetros e o teste da condição é realizado a cada 30 segundos.

Figura 4.13: Imagem da edição de alertas.

The screenshot shows the 'Alert Config' interface. At the top, the 'Name' field is 'Alerta de Nível de água' and 'Evaluate every' is set to '30s'. Below this is the 'Conditions' section, which contains two rows of conditions. The first row is 'WHEN min () OF query (A, 1m, now) IS BELOW 3400'. The second row is 'OR max () OF query (A, 1m, now) IS ABOVE 4800'. There is a '+' button to add more conditions. At the bottom, there are two rows for 'SET STATE TO' with the option 'Keep Last State' selected for both. A 'Test Rule' button is located at the bottom left.

Alert Config						
Name	Alerta de Nível de água			Evaluate every	30s	
Conditions						
WHEN	min ()	OF	query (A, 1m, now)	IS BELOW	3400	🗑️
OR	max ()	OF	query (A, 1m, now)	IS ABOVE	4800	🗑️
+						
If no data or all values are null			SET STATE TO	Keep Last State ▾		
If execution error or timeout			SET STATE TO	Keep Last State ▾		
Test Rule						

Fonte: Autor.

4.7. Considerações finais

Este capítulo apresentou o processo de desenvolvimento do protótipo do projeto especificado no Capítulo 3. A viabilidade da implementação de um sistema também está atrelada ao seu custo. Portanto, a Tabela 4.1 lista os componentes usados para a construção da parte eletrônica e seus respectivos preços. Vale ressaltar que os componentes essenciais para o funcionamento de um sistema aquapônico não conectado, como a bomba de circulação e aquecedor elétrico, não estão contemplados na Tabela 4.1 e que os itens foram comprados com antecedência diretamente de sites de comércio eletrônico chineses, cujos preços são bem inferiores aos praticados por lojas brasileiras similares. Usando a cotação do dólar a R\$ 4,00, o custo total do projeto foi de R\$283,14. Em um cenário onde existissem diversos tanques de peixes, e se desejasse escalar o sistema, não seria necessário o uso de mais unidades do Raspberry Pi, visto que apenas uma seria mais que o suficiente para realizar a comunicação com diversos sensores. O custo de implantação do conjunto de sensores para cada tanque é de aproximadamente R\$ 130,00.

Os custos com software foram zero, uma vez que o projeto usou apenas softwares *open source* e o serviço gratuito do Grafana. O consumo de energia elétrica pelo circuito elétrico, apesar de baixo, cerca de 5W, deve ser considerado. Ainda, dependendo do tempo de acionamento do aquecedor elétrico, com potência de 40W, este consumo e o custo associado podem ser elevados. Isso é principalmente importante se o sistema funcionar com algum tipo alternativo de fonte de energia elétrica, como energia solar ou banco de baterias.

Tabela 4.1: Relação de preços dos componentes usados

Componente	Preço (USD)	Preço (R\$)
DS18B20 - Sensor de temperatura à prova de água	\$3,13	-
DHT22 - Sensor de temperatura e umidade	\$3,70	-
Arduino Uno R3	\$5,35	-
Sensor de fluxo de água	\$4,13	-
Sensor de chuva	\$1,46	-
Módulo relé	\$2,25	-
ESP8266 ESP-01	\$3,10	-
AMS1117 - Módulo regulador 5v para 3v3	\$2,64	-
Cabos	-	R\$3,00
Extensão para aquecedor	-	R\$ 10,00
Potenciômetro	-	R\$3,50
Raspberry Pi	\$38,50	-
Fonte de energia 5V 1A	\$2,40	-
Total	\$66,66	R\$16,50

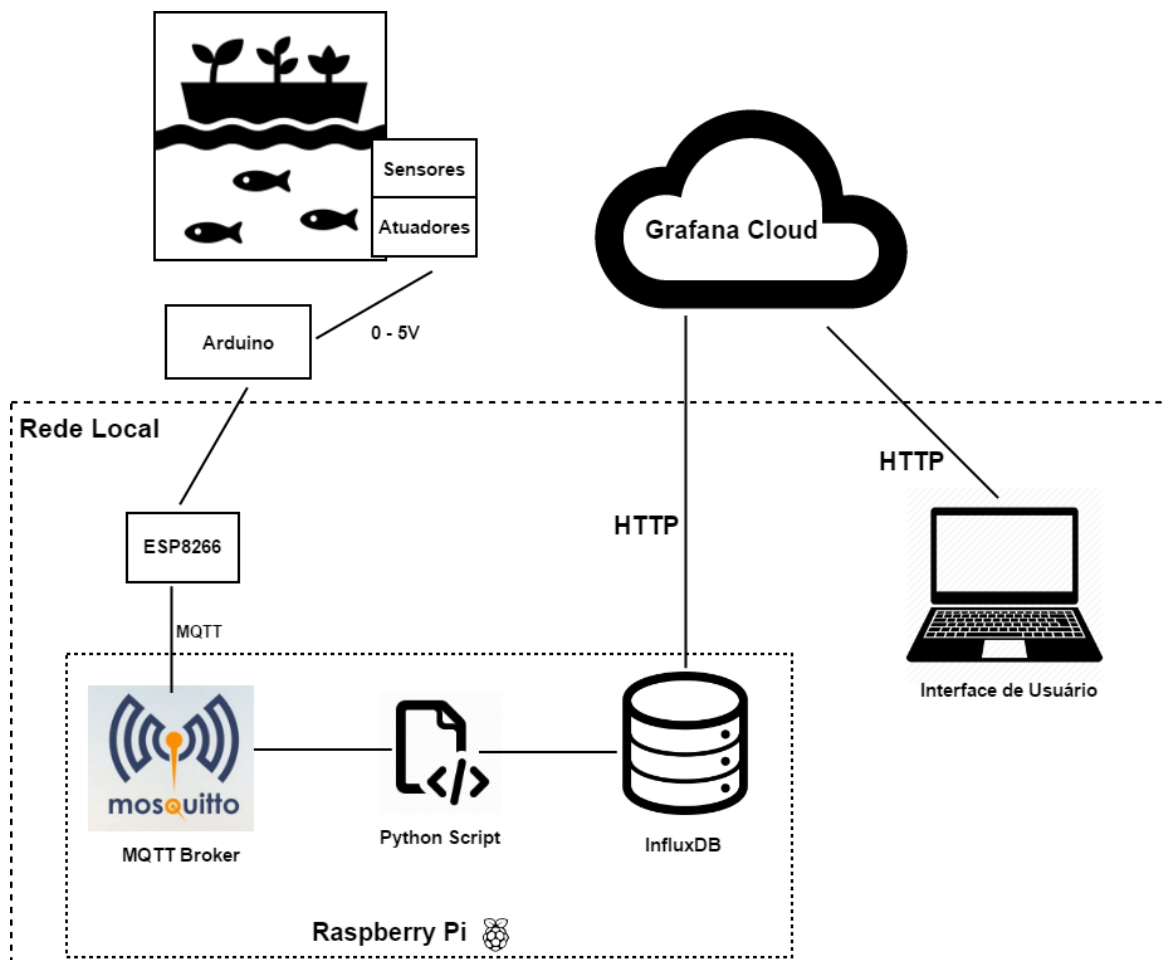
5. AVALIAÇÃO

Neste capítulo será posta à prova a implementação discutida no Capítulo 4. Inicialmente, será tratada a metodologia de aplicação dos testes, seguido por uma descrição do ambiente e finalmente os resultados dos testes.

5.1. Ambiente de Testes

Os testes foram realizados em uma rede local, na qual a comunicação entre o objeto conectado e o *broker* MQTT acontece, conforme a ilustração da Figura 5.1. A página web com a interface de usuário é hospedada na nuvem (Grafana Cloud) que, por sua vez, acessa os dados armazenados no banco de dados na rede local.

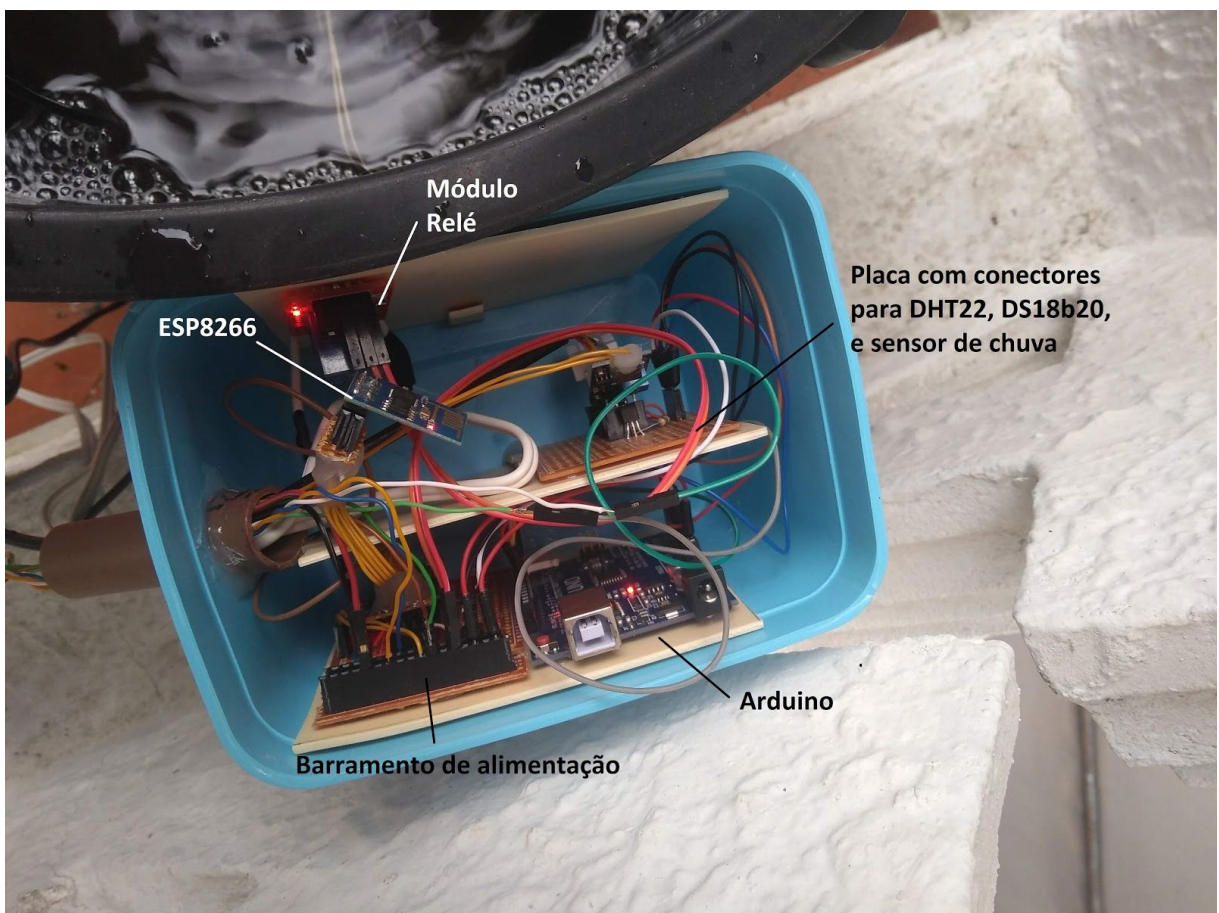
Figura 5.1: Diagrama do ambiente de testes



Fonte: Autor.

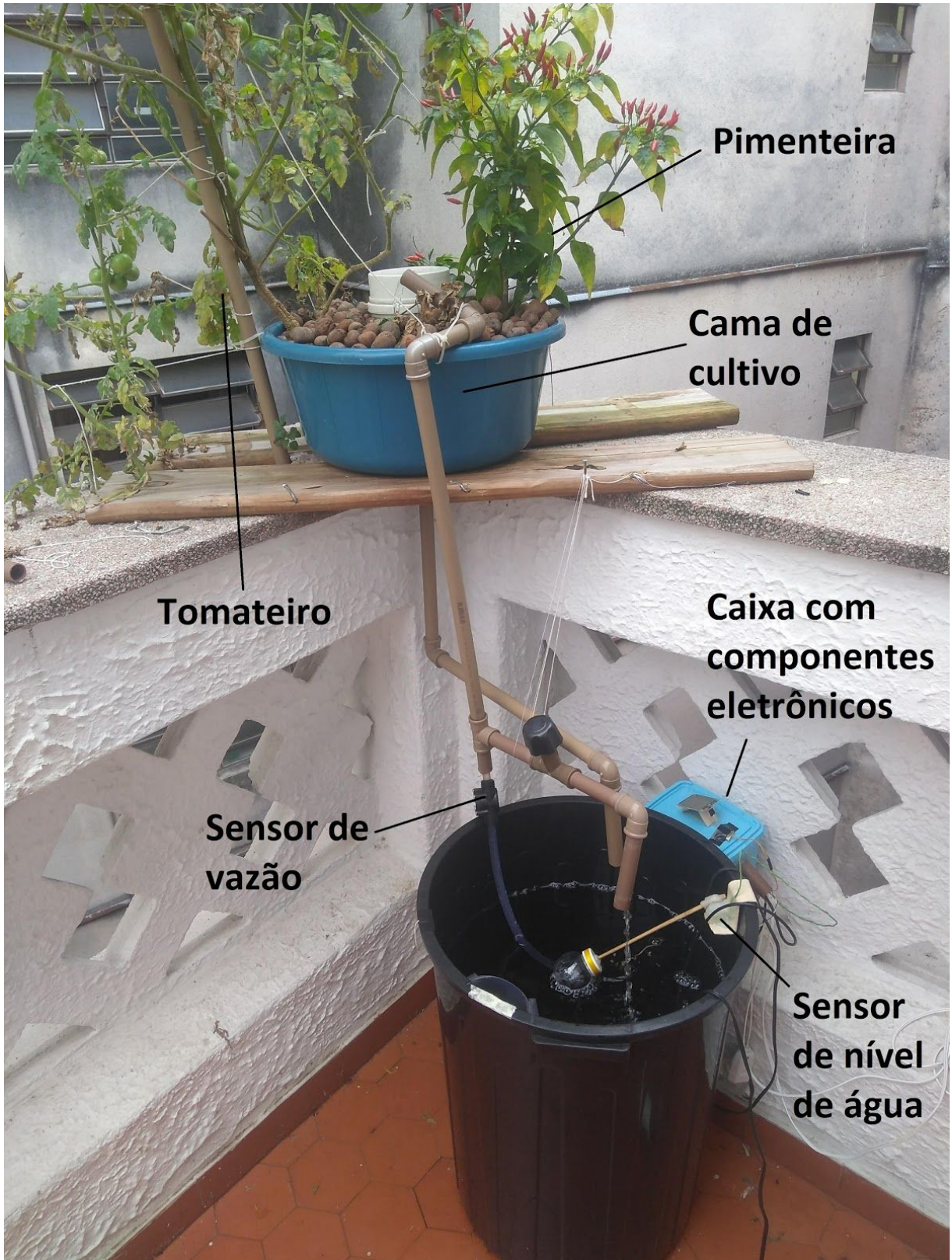
O *hardware* composto pelos sensores, atuador, Arduino e ESP8266 está mostrado na Figura 5.2. Como o sistema fica fora de um ambiente fechado, um pote de sorvete foi usado para prover a resistência à água necessária e um cano com um ângulo de cerca de 45 graus em direção ao chão foi colado em sua lateral para passar o cabeamento. Finalmente, a Figura 5.3 mostra uma foto do sistema aquapônico de teste com todos os sensores devidamente instalados e em funcionamento.

Figura 5.2: Foto do *hardware* e da caixa de proteção contra chuva usados nos testes.



Fonte: Autor.

Figura 5.3: Foto do sistema de monitoramento instalado.



Fonte: Autor.

5.2. Metodologia

Foram realizados experimentos simulando quatro cenários diferentes que representam situações que podem ocorrer cotidianamente. Os cenários são os seguintes:

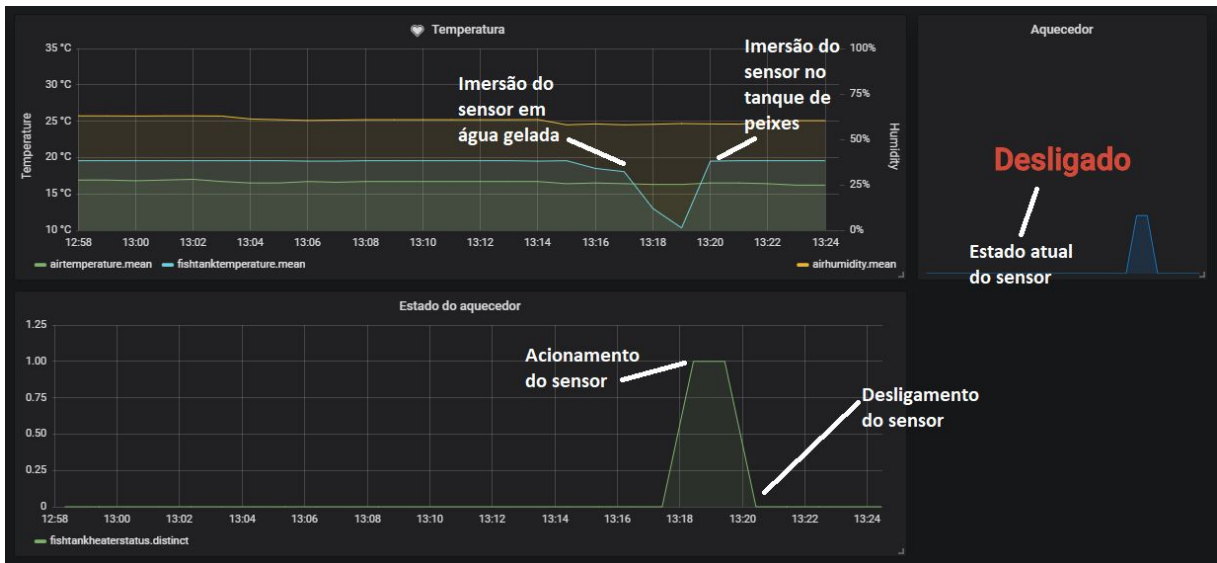
- Teste de acionamento de aquecedor: O sistema deve acionar o aquecimento ativo quando a temperatura do tanque de peixes marcar uma temperatura inferior a 18°C.
- Falha da bomba: O mau funcionamento ou a queima da bomba de circulação de água, deve ser detectado pelo sensor de fluxo de água quando esse identificar uma vazão menor que 1 L/min. Uma vez detectada a baixa vazão, um alarme deverá ser acionado. Esse cenário será simulado com o desligamento da bomba da fonte de energia.
- Falta de água no tanque de peixes: Em um cenário em que o nível de água fica muito baixo, a circulação de água fica comprometida, pois, a bomba submersa pode ficar exposta, aumentando as chances de ocorrer a queima da bomba. Nesse cenário, o sensor de nível de água deve acionar o alarme de nível de água muito baixo. Esse cenário será obtido com a remoção manual de água do sistema, até o nível crítico.
- Excesso de água no tanque de peixes: Em um cenário em que a água passa o limite aceitável, pode ocorrer transbordamento de água. Nesse cenário, o sensor de nível de água deve acionar o alarme de nível de água muito alto. Esse cenário será simulado com a elevação manual do sensor de nível de água.

5.3. Análise dos resultados

As tilápias, por serem peixes tropicais, não sobrevivem em temperaturas inferiores a 14°C (KUBITZA, 2018). Portanto, optou-se por acionar automaticamente o sistema de aquecimento quando a temperatura do tanque de peixes ficar abaixo do limiar de 18°C, fornecendo uma margem de segurança de 4°C. O tanque de peixes do ambiente de testes possui cerca de 60 litros, inviabilizando o seu resfriamento de maneira artificial. Portanto,

para simular esse fenômeno, deslocou-se o sensor de temperatura para um recipiente com água gelada.

Figura 5.4: Resultado do experimento de acionamento do aquecedor.

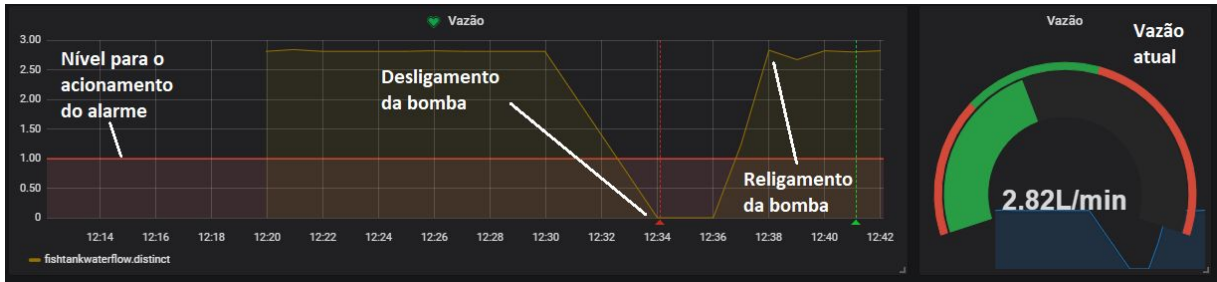


Fonte: Autor.

Na Figura 5.4 é possível analisar o painel de controle no momento da realização do experimento, quando a temperatura cai abaixo do limiar, em no máximo 30 segundos (intervalo de verificação de temperatura), o aquecimento é acionado e logo que a temperatura alcança um valor adequado o aquecedor é desligado.

A simulação da falha da bomba foi realizada desligando-se a alimentação da bomba manualmente. Nesse caso, houve a detecção da queda de fluxo de água e o alarme foi acionado, é possível identificar o acionamento do alarme na linha tracejada vertical vermelha, na Figura 5.5 e, posteriormente, após ao religamento da bomba, a normalização da vazão indicada pela linha tracejada vertical verde.

Figura 5.5: Resultado do experimento de detecção de falha na bomba.



Fonte: Autor.

Durante a operação normal do sistema aquapônico de testes existe uma oscilação do nível de água devido ao ciclo de enchimento e esvaziamento da cama de cultivo (recipiente preenchido com argila expandida, onde estão plantados o tomateiro e a pimenteira, na Figura 5.3) com a água do tanque de peixes, é possível identificar esses ciclos no momento anterior ao início do sifonamento na Figura 5.6. Para a realização dos testes de nível, a água do tanque de peixes foi sifonada para um outro reservatório, para simular um vazamento ou a perda de água para a evaporação (que aconteceria muito mais lentamente em comparação ao experimento).

Figura 5.6: Resultado do experimento de retirada de água do sistema.



Fonte: Autor.

Tal como no experimento de falha da bomba, a linha tracejada vertical vermelha significa que o alarme foi acionado e um e-mail foi enviado para o administrador do sistema e a linha tracejada verde indica que o nível de água do sistema voltou para o intervalo de valores normais.

Para a realização do teste de excesso de água no tanque de peixes, optou-se por elevar manualmente o sensor de nível de água simulando um cenário no qual a água em excesso poderia acarretar no transbordamento do tanque de peixes. O gráfico resultante do experimento é mostrado na Figura 5.7. Nele é possível visualizar a ativação do alarme logo após a elevação manual do sensor e a retomada para o intervalo saudável para o sistema simbolizado pelo indicador de cor verde.

Figura 5.7: Resultado do experimento do excesso de água no sistema.



Fonte: Autor.

5.4. Conclusões parciais

Baseando-se nos resultados obtidos pelos experimentos realizados é possível concluir que o trabalho realizou o seu objetivo principal de monitoramento de parâmetros de um sistema aquapônico, sendo possível monitorar o nível de água do tanque de peixes, identificar falhas de funcionamento da bomba de circulação e ativar o aquecimento automaticamente quando necessário.

6. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de controle para aquaponia baseado em Internet das coisas. O protótipo construído se apresenta como uma prova da viabilidade técnica para a construção de sistemas de monitoramento e controle de sistemas aquapônicos conectados à Internet de baixo custo.

A contribuição deste trabalho vem do estudo dos conceitos da Internet das coisas e da sua aplicação no domínio da aquaponia, mostrando a viabilidade e o poder da aplicação da computação em outros campos do conhecimento.

A implementação descrita neste trabalho cumpriu seus objetivos como prova de conceito. Entretanto, ainda há muito espaço para melhorias que podem ser implementadas futuramente. Algumas das possíveis melhorias são:

- Ampliar os tipos de sensores usados. Sensores de propriedades químicas da água, como pH, amônia tóxica e oxigênio dissolvido, são atualmente muito caros e sensíveis, o que inviabilizou a sua aquisição para a realização deste trabalho. Porém, existe a possibilidade de se desenvolver um sistema baseado em processamento de imagem e adesivos que mudam de cor de acordo com propriedades químicas da água, muito usados em aquarismo.
- Adicionar suporte ao monitoramento de diversos tanques de peixes, uma vez que sistemas comerciais geralmente usam mais de um tanque de peixes em suas produções.
- Adicionar suporte a um alimentador automático. É preciso realizar a alimentação dos peixes diariamente. Logo seria interessante a existência de um alimentador automático para essa função.
- Implementar mecanismos de autenticação e segurança. Na implementação atual, o protocolo MQTT não apresenta nenhuma autenticação quanto ao objeto conectado. Portanto, um atacante malicioso poderia facilmente publicar, ou se inscrever, em um tópico MQTT.

Por fim, com a implementação dessas melhorias a solução ficaria robusta o suficiente para a sua aplicação como um produto para o monitoramento de sistemas aquapônicos.

REFERÊNCIAS

AOSONG. **Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302)**. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>>. Acesso em: Maio 2018.

AOSONG. **Guangzhou Aosong Electronics CO., Ltd.** Disponível em: <<http://www.aosong.com/en/>>. Acesso em: Junho 2018.

ATZORI L, IERA A, MORABITO G. The internet of things: A survey. **Computer networks**, Elsevier, v. 54, p.2787–2805, 2010.

BANDYOPADHYAY, S. Role of middleware for internet of things: A study. **International Journal of Computer Science and Engineering Survey**, v. 2, n. 3 p. 94-105, 2011.

BUCK R. P. et al. Measurement of pH. Definitions, standards, and procedures. **Pure and Applied Chemistry**, v. 74, n. 11, p. 2169–2200, 2002.

CARNEIRO, P. C. F. et al. **Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia**. Edição 1. p. 12. Outubro 2015

ECLIPSE. **Eclipse Paho - MQTT and MQTT-SN software**. Disponível em: <<https://www.eclipse.org/paho/>>. Acesso em: Junho 2018a.

ECLIPSE, **Eclipse Mosquitto**. Disponível em: <<https://mosquitto.org/>>. Acesso em: Junho 2018b.

FYSARAKIS, K. et al. Which IoT Protocol? Comparing standardized approaches over a common M2M application. **Global Communications Conference (GLOBECOM)**, 2016 IEEE, pp. 1-7. IEEE, 2016.

KUBTZA, F. **Tilápias: Qualidade da água, sistemas de cultivo, planejamento da produção, manejo nutricional e alimentar e sanidade.** Disponível em: <<http://www.panoramadaaquicultura.com.br/paginas/Revistas/59/Tilapias59.asp>>. Acesso em: Abril 2018

LOBÃO, V.L., et al. Estudo comparativo entre quatro métodos de sistemas fechados de circulação em larvicultura de *Macrobrachium rosenbergii*. **Boletim de Instituto de Pesca**, São Paulo, v.25,p. 101-109, 1999

MALATRAS, A.; ABOLGHASEM, A.; BAUGÉ, T. Web enabled wireless sensor networks for facilities management. **IEEE systems journal** 2, n. 4, p. 500-512, 2008.

MATTERN, F.; FLOERKEMEIER, C. From the Internet of Computers to the Internet of Things. **From active data management to event-based systems and more.** Springer, Berlin, Heidelberg. p. 242-259. 2010.

MAXIM. **Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer.** Disponível em: <<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>>. Acesso em: Maio 2018.

MAXIM, **Maxim Integrated - Analog, Linear and Mixed-signal devices.** Disponível em: <<https://www.maximintegrated.com/en.html>>. Acesso em: Junho 2018.

HUNDLEY, G.C. et al. Aproveitamento do efluente da produção de tilápia do Nilo para o crescimento de manjerona (*Origanum majorana*) e manjericão (*Origanum basilicum*) em sistemas de Aquaponia. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.3, p.51-55, 2013.

INFLUXDATA. **InfluxDB is the Time Series Database in the TICK Stack.** Disponível em: <<https://www.influxdata.com/time-series-platform/influxdb/>>. Acesso em: Junho 2018.

O'LEARY, N. **Arduino Client for MQTT.** Disponível em: <<https://pubsubclient.knolleary.net/>>. Acesso em: Junho 2018.

PORTER M. E.; HEPPELMANN J.E. How smart, connected products are transforming competition. **Harvard Business Review**, Boston, v. 92, p. 11–64, nov, 2014.

RAKOCY, J. E. Ten Guidelines for Aquaponic Systems. **Aquaponics Journal**, v.46: 14-17, 2007.

SANTOS, G. **Como Funciona um Potenciômetro**. Disponível em: <<http://eletronicaemcasa.blogspot.com.br/2013/05/como-funciona-um-potenciometro.html>>. Acesso em: Maio 2018.

SANTOS, J. D. et al. Development of a vinasse nutritive solutions for hydroponics. *Journal of Environmental Management* 114: 8-12, 2013.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. Tradução: **Selma Shin Shimuzu Melnikoff, Reginaldo Arakaki, Edilson de Andrade Barbosa**. [S.1.]: São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2007.

THEORY CIRCUIT. **Water Flow Sensor YF-S201 Arduino Interface**. Disponível em: <<http://www.theorycircuit.com/water-flow-sensor-yf-s201-arduino-interface/>>. Acesso em: Julho 2018.

VALENTI, W.C. Aquicultura sustentável. In: CONGRESSO DE ZOOTECNIA, 12º, 2002, Vila Real, Portugal. **Anais**. Vila Real: Associação Portuguesa dos Engenheiros Zootécnicos, 2002. p. 111-118

VASSEUR, J. P.; DUNKELS, A. **Interconnecting smart objects with ip: The next internet**. 2010.

VEER, H.; WILES, A. **Achieving Technical Interoperability-the ETSI approach**, European Telecommunications Standards Institute, 2008.

YIFA. **Prodcut Introduction**. Disponível em: <<http://www.hobbytronics.co.uk/datasheets/sensors/YF-S201.pdf>>. Acesso em: Maio 2018.

ZARGHAMI, S. **Middleware for internet of things**. 2013. Dissertação de Mestrado. University of Twente. 2013.

ZELAYA, O.; BOYD et al. Effects of Water Recirculation on Water Quality and Bottom Soil in Aquaculture Ponds. **Eighteenth Annual Technical Report, Pond Dynamics/ Aquaculture CRSP**. Oregon, 2001

ANEXO

Um sistema de monitoramento e controle para aquaponia baseado em Internet das coisas

Rafael Finkelstein, Alexandre Carissimi

Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Porto Alegre – RS – Brazil

[rfinkelstein,asc}@inf.ufrgs.br](mailto:{rfinkelstein,asc}@inf.ufrgs.br)

***Abstract.** Paradigms regarding the consumption and production have been changing in the last decade generating a demand for healthier food with less usage of chemical products and pesticides, not by chance aquaponics has been used more often for food production, this technique is going to be the subject of this work. With some temperature, pH (potential of hydrogen), electrical conductivity, ammonia and others sensors, it is possible to understand the state and health of an aquaponics system and, if necessary, take action to fix those parameters. The goal of this work is to design and implement a monitoring and controlling system with the maximum of automation possible based in the new concept of Internet of Things.*

***Resumo.** Paradigmas referentes ao consumo e meios de produção vêm se modificando na última década, gerando uma demanda por alimentos produzidos com menos uso de produtos químicos e agrotóxicos, não ocasionalmente a técnica conhecida como aquaponia vem sendo mais utilizada para produção alimentícia, tal método será alvo deste trabalho. Com auxílio de alguns sensores de temperatura, pH (potencial hidrogeniônico), condutividade elétrica, amônia e outros é possível entender o estado de um sistema aquapônico e de sua saúde para, se necessário, realizar ações para a correção destes parâmetros. O objetivo deste trabalho é projetar e implementar um sistema de monitoramento e controle com o máximo de automação possível baseando-se no novo conceito de Internet das coisas.*

1. Introdução

O mercado de alimentação saudável vem crescendo no Brasil e no mundo, um grande exemplo disso foi a gigante da tecnologia Amazon ter adquirido a maior rede de varejo de produtos orgânicos e naturais americana a Whole Foods Market (Liu, 2017). Esse crescimento da demanda de produtos orgânicos estimula também o desenvolvimento de tecnologias de produção que seguem essa filosofia sustentável.

A palavra aquaponia vem da junção das palavras aquicultura e hidroponia. Unindo a hidroponia (produção de plantas em um meio sem solo, no qual as raízes captam os nutrientes de uma solução aquosa artificialmente enriquecida) com a aquicultura (método de criação de organismos aquáticos, principalmente peixes, para o consumo humano) temos a base da aquaponia, um método de produção de plantas orgânicas e peixes.

Apesar desse método de produção estar crescendo cada vez mais ele não é novo, sua documentação mais antiga data da época dos astecas que plantavam em ilhas fixas, ou móveis, dentro de açudes onde criavam peixes, usando assim a água com dejetos para a fertilização das suas culturas (Boutwelluc, 2013).

Peixes são animais ectotérmicos, sua temperatura corporal varia de acordo com o ambiente e são altamente sensíveis a qualidade da água do ambiente onde vivem. Logo, tanto em produções comerciais quanto sistemas de quintal é fundamental monitorar frequentemente a qualidade da água para evitar a mortalidade de peixes e maximizar seu crescimento juntamente com as plantas.

Neste trabalho serão usadas técnicas de Internet of Things (IoT) para realizar o monitoramento de diversos parâmetros de qualidade do sistema através de sensores inteligentes que estarão conectados à Internet, enviando valores e medições de grandezas físicas para um software de agregação que interpretará os dados recebidos e os disponibilizará de um modo fácil para a interpretação humana, como indicadores ou gráficos.

2. Conceitos fundamentais

Por se tratar de um trabalho multidisciplinar é necessária a compreensão de alguns conceitos básicos das áreas do conhecimento envolvidas. Um sistema aquaponico por si só já mistura três áreas distintas das ciências biológicas, a botânica, zoologia e bacteriologia, e para monitorá-las com sensores inteligentes é preciso compreender os conceitos de informática relacionados com captura, armazenamento e transmissão de dados.

2.1. Aquaponia

Na hidroponia cultivam-se plantas em um meio sem terra, em substrato poroso, como argila expandida, ou até mesmo com a submersão das raízes das plantas em uma solução nutritiva. Essa solução nutritiva é geralmente composta de nutrientes químicos e circula de forma que as plantas consigam ter o melhor aproveitamento desses nutrientes. Uma vez esgotados os nutrientes é necessário realizar a troca da solução (Santos, 2013).

Aquicultura é a criação e de peixes ou outros animais aquáticos para o uso do homem. O maior problema para a sustentabilidade da aquicultura é o tratamento da água residual rica em nutrientes que é um subproduto de todas as diferentes técnicas de aquicultura. Dependendo da regulamentação de cada local o produtor deve tratar ou descartar essa água, ambas soluções danosas ao meio ambiente (Somerville, 2014).

A aquaponia imita a natureza, fechando um ciclo no qual o excremento dos peixes, quando metabolizados por bactérias nitrificantes, geram nutrientes para as plantas e as plantas

em conjunto com bactérias agem em uma relação simbiótica purificando a água do sistema (HUNDLEY, 2013). A simbiose de um sistema aquapônico está ilustrado na figura 1.

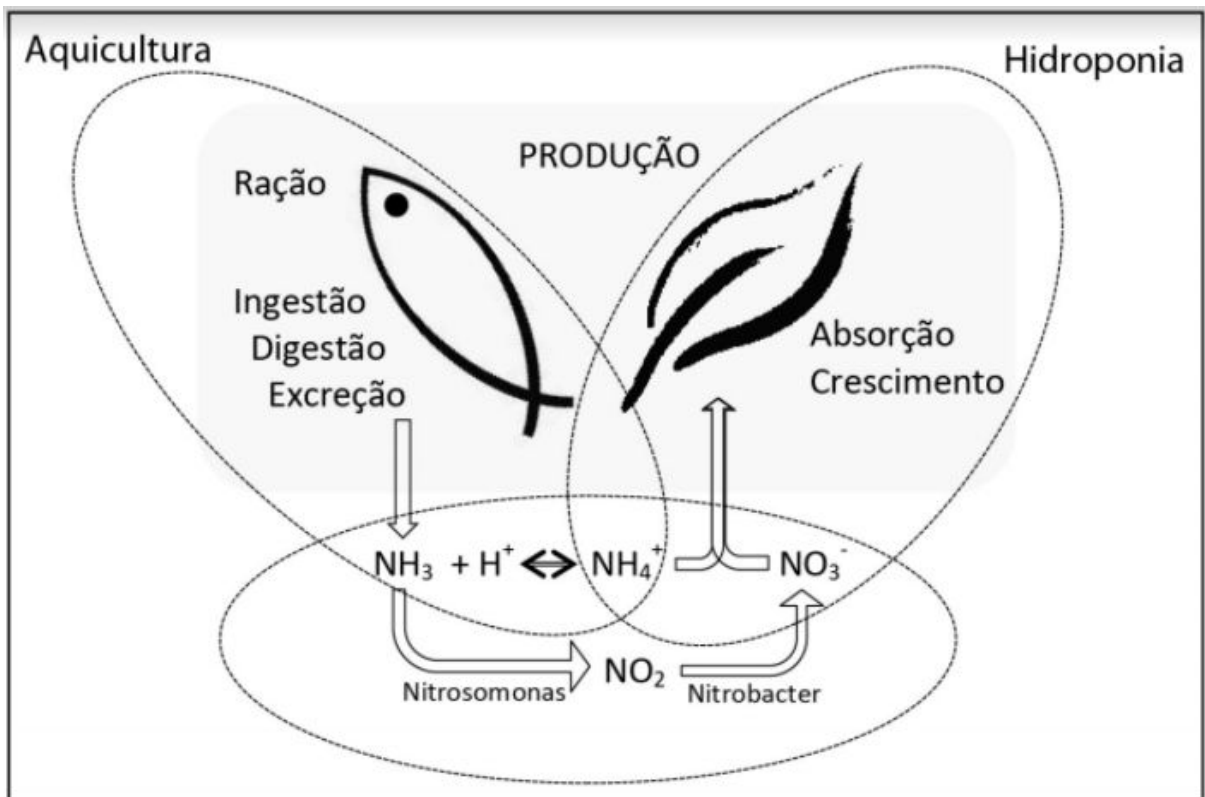


Figura 1: Ciclo biológico básico da aquaponia (Carneiro, 2015)

A troca de água é mínima, de apenas 2%, e os nutrientes dissolvidos oriundos do metabolismo dos peixes se acumulam em concentrações semelhantes às soluções nutritivas do sistema hidropônico (RAKOCY et al., 2006).

2.2. Nitrificação

O material orgânico que sobra no sistema, como dejetos de peixes e restos de ração não ingeridos pelos peixes, são decompostos em amônia por microorganismos heterotróficos presentes na água. A amônia é tóxica tanto para as plantas quanto para os peixes (Tokuyama, 2004), logo é necessário retirá-la do sistema.

No processo de nitrificação as bactérias nitrificantes dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacters* oxidam a amônia para nitrito e posteriormente para nitratos, a taxa de nitrificação é potencializada em ambientes com o pH próximo do neutro (Braz Filho, 2010).

Para a boa formação de colônias de bactérias nitrificantes é importante que o sistema aquapônico possua de um ambiente amplamente aeróbico, com pH neutro e temperaturas entre 20 e 28 graus Celsius e bastante superfície de fixação, argila expandida ou brita são os substratos mais utilizados (Braz Filho, 2000; Rakocy, 2006).

2.3 Parâmetros de qualidade da água

Para o crescimento saudável das plantas criadas em aquaponia são necessários oxigênio, hidrogênio e carbono, os quais estão disponíveis na água e na atmosfera. Macronutrientes como potássio, cálcio, magnésio, fósforo e enxofre e micronutrientes como cloro, ferro, manganês, boro, zinco, cobre e molibdênio também são necessários (Ferri, 1979).

O pH está relacionado com a disponibilidade desses nutrientes para as plantas. Quando superior a 7, a disponibilidade de ferro, manganês, boro, zinco e cobre decrescem rapidamente e, em níveis ácidos, inferiores a pH 6, a solubilidade de nutrientes como fósforo, magnésio, cálcio e molibdênio têm sua solubilidade comprometida.(Ferri, 1979)

Como mencionado antes, o pH exerce influência no ciclo de nitrificação do nitrogênio, a etapa mais importante da aquaponia. Assim se recomenda o controle periódico da qualidade da água aferindo temperatura, pH e condutividade elétrica do sistema (Braz Filho, 2000).

2.4 Internet das coisas

O termo Internet das coisas, conhecido pela sigla IoT (*Internet of Things*), tem sido amplamente utilizado em diversos meios, contudo, existe uma dificuldade em conceitualizar esse termo, isso se deve justamente por diversas entidades terem usado e moldado esse termo de acordo com seus interesses e finalidades (ATZORI, 2010).

Analisando semanticamente o termo “Internet das Coisas” significa uma rede mundial de objetos conectados, endereçados unicamente, baseado em protocolos de comunicação padrão” o que implica em diversos dispositivos diferentes entre si envolvidos no processo (INFSO, 2008).

Em um sistema IoT é necessária a interação de diversas tecnologias para realizar a integração dos objetos físicos com o mundo virtual. Como definido por (P. Santos, B, 2016) é possível discriminar os seguintes blocos básicos da IoT:

- Identificação: Bloco básico de identificação dos objetos, por uso de tecnologias como *Radio Frequency Identification* (RFID), *Near Field Communication* (NFC) ou endereçamento IP.
- Sensores/Atuadores: Sensores captam informações do mundo real e as armazenam para quando possível enviá-las para *data warehouses*, *cloud*, ou centros de armazenamento. Atuadores reagem no ambiente de acordo com dados recebidos.
- Comunicação: bloco referente à conexão entre objetos inteligentes. Algumas das tecnologias usadas são WiFi, Bluetooth ou RFID.
- Serviços: Dentre os serviços que a IoT pode prover podemos destacar os Serviços de identificação, realizam o mapeamento de entidades físicas (EF) para entidades virtuais (EV) como a temperatura de um local físico em seu valor; serviços de agregação de dados que coletam e sumarizam dados obtidos

dos objetos inteligentes; serviços de colaboração e inteligência que tomam decisões baseadas nos dados agregados pelo serviço de agregação de dados; serviços de ubiquidade que provêm serviços de colaboração e inteligência em qualquer momento e qualquer lugar.

- Semântica: consiste em extrair conhecimento dos objetos IoT e o uso eficiente de seus recursos.

Um objeto inteligente, apesar de não exclusivamente, muitas vezes necessita trabalhar com baterias e utilizar redes sem fio para comunicar os dados captados (no caso de sensores) ou para receber instruções de atuação (no caso de atuadores). (P. Santos, B, 2016) descreve a arquitetura genérica mínima de um objeto conectado com seguintes divisões:

- Unidade de processamento: Composta por um controlador de baixo consumo e conseqüentemente pouca capacidade computacional, uma memória interna para armazenar os dados captados do ambiente e um conversor analógico digital para receber sinais do sensor. É desejado que essa unidade tenha um baixo consumo de energia e ocupe o menor espaço físico possível.
- Unidade de comunicação: consiste de um canal de comunicação, com ou sem fio, a maior parte das plataformas usam rádios de baixo consumo e curto alcance.
- Fonte de energia: responsável por alimentar os componentes do objeto conectado, geralmente constituído por uma bateria (recarregável ou não). Entretanto existem outras fontes de alimentação que utilizam o método de *energy harvesting*, captando energia do ambiente através de placas solares entre outros.
- Unidade de sensor(es)/atuador(es): Realizam a interação com o ambiente no qual o objeto se encontra. Sensores capturam grandezas físicas como temperatura, pressão e umidade. Atuadores realizam alguma ação atendendo a comandos que podem ser elétricos, mecânicos ou manuais.

Diversos são os possíveis domínios para aplicações IoT, para (Gluhak, 2011) não há quase nenhuma área onde as aplicações IoT não consigam encontrar uma função, mas principalmente, não há área onde IoT não traga alguma vantagem econômica ao longo do tempo. Em 2025, aplicações industriais, incluindo fábricas, hospitais e fazendas, serão as maiores beneficiadas por aplicações IoT com um mercado de 3,7 trilhões de dólares, seguidas pelas *smart cities* com um mercado de 1,7 trilhão de dólares (McKinsey & Company, 2015).

3 Trabalhos relacionados

Por se tratar de uma técnica que vem conquistando seu espaço a pouco tempo na academia a aquaponia não dispõe de tantos trabalhos quanta a hidroponia. Entretanto, existem várias semelhanças nas técnicas de sensoriamento entre aquaponia e hidroponia, logo serão apresentados alguns trabalhos sobre hidroponia cujos métodos e conclusões também agregam conhecimento ao trabalho que será desenvolvido.

Em “*Optimization and Control of Hydroponics Agriculture using IOT*” (S.Charumathi, 2017) é realizada a medição de pH da solução nutritiva, intensidade luminosa, temperatura e umidade do ambiente, todos esses parâmetros são de alta relevância para sistemas aquapônicos também. As informações obtidas são apresentadas por meio de uma plataforma IoT onde o administrador do sistema hidropônico pode acionar remotamente uma bomba de ar, uma bomba de água ou a iluminação artificial.

O trabalho (N. Hari Kumar, 2016) propõe um sistema de aquapônico autônomo usando as tecnologias 6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks) e WSN (*Wireless Sensor Network*). Quatro parâmetros principais seriam monitorados pelo trabalho proposto: o pH, a temperatura, os nitratos e imagens do tanque de peixes. Com a variação das três primeiras grandezas, Kumar defende que seria possível inferir seus valores futuros e prever eventos que levariam o sistema para fora dos valores tolerados. O trabalho propõe um módulo de processamento de imagem que conseguiria detectar doenças presentes nos peixes e retirar os peixes infectados antes que outros indivíduos sejam infectados.

No trabalho (Nagayo, 2017) é desenvolvido um sistema de automação para uma estufa de aquaponia. O sistema implementado usando um Arduino MEGA analisa os dados localmente baseados em uma tabela de valores e envia comandos para atuadores visando corrigir os valores fora do aceitável. Todas ações e valores instantâneos são registrados na plataforma IoT particle. Além do controle do sistema aquapônico, o trabalho realiza o dimensionamento para a geração de energia solar suficiente para alimentar a estufa.

A arquitetura Ipanera (De Silva, 2016), é apresentada como uma arquitetura IoT escalável para controle da qualidade da água de sistemas aquapônicos e hidropônicos para a facilitação da Industry 4.0. Ipanera define a infraestrutura necessária para um controle otimizado, adaptativo, escalável e tolerante a falhas. A arquitetura é composta por *endpoints*, um IoT Cluster, servidores analíticos e protocolo HTTP. Esse trabalho se diferencia por ter como preocupação criar uma arquitetura robusta o suficiente para que seja possível automação de aquaponia de forma industrial.

4 Proposta de Trabalho

Como a própria natureza, um sistema aquapônico é altamente dependente do equilíbrio, a população de plantas e bactéria deve ser proporcional à população de peixes e os parâmetros do sistema, como o pH, condutividade elétrica, temperatura, oxigenação da água, devem estar dentro dos níveis saudáveis. Geralmente essas medições são feitas por meio de colorimétricos químicos, ou por sondas totalmente desconectadas, e os valores adquiridos anotados em planilhas. Esses métodos são altamente dependentes de interação humana, repetitivos e tediosos o que pode gerar facilmente erros humanos.

Neste trabalho pretende-se construir um sistema de monitoramento e controle para aquaponia baseado em IoT, onde sensores conectados traduzem informações físicas do sistema aquapônico para valores digitais que serão enviados para um servidor remoto (podendo ou não estar hospedado em algum serviço de *cloud*). O servidor remoto terá inteligência e autoridade para controlar atuadores como aquecedores para prevenir mortes de

peixes devido a uma queda muito brusca de temperatura, além disso um SCADA (Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados) apresentará os dados enviados pelos sensores inteligentes de forma organizada.

O escopo deste trabalho compreende todos os elementos dos sistema aquapônico, incluindo: a construção do sistema aquapônico composto pelo reservatório de peixes, cama de crescimento e sistema de circulação; definição e montagem do hardware usado nos sensores e atuadores e a implementação do sistema de agregação de dados. A solução desenvolvida deverá respeitar os seguintes requisitos:

- Escalabilidade, a solução criada deve ser facilmente escalável, suportando um acréscimo na quantidade de sensores e atuadores;
- Flexibilidade, a solução deverá suportar a inclusão de novos tipos de nodos sensores/atuadores com o máximo de facilidade possível;
- Uso de ferramentas *open source*, tendo em vista a extensão do trabalho, este deve priorizar o uso de ferramentas bem conhecidas de código aberto.

O objetivo final desse trabalho é criar um sistema de controle e monitoramento que auxilie na manutenção do sistema aquapônico, realizando ações de ajuste quando possível e sinalizando por meio de alarmes quando necessária a intervenção humana.

Atividade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho
Montagem do sistema aquapônico	X					
Definição da arquitetura do sistema IoT		X	X			
Implementação dos componentes do sistema IoT			X	X		
Captura de dados do sistema em funcionamento					X	
Análise dos dados						X
Escrita do TG2		X	X	X	X	X

Tabela 1: Cronograma de atividades

5 Cronograma

As tarefas descritas abaixo serão desenvolvidas de acordo com a tabela 1.

- Montagem do sistema aquapônico: Os estudos e testes do sistema de monitoramento e controle baseado em IoT serão testados no sistema aquapônico de quintal que será montado no mês de janeiro de 2018.
- Definição da arquitetura do sistema: Essa atividade compreende todo o estudo das possíveis soluções e a escolha dentre elas da mais adequada para o

problema proposto. Juntamente com a arquitetura do sistema, serão definidos quais sensores serão usados de acordo com a disponibilidade desses e com o seu custo.

- Implementação dos componentes do sistema IoT: Contempla a implementação da arquitetura definida juntamente com a montagem dos protótipos dos sensores e atuadores. Essa fase também servirá para a revisão da arquitetura proposta, de acordo com problemas encontrados durante a sua implementação.
- Captura de dados do sistema em funcionamento: Após a implementação do sistema haverá um período de cerca de um mês dedicado à análise do funcionamento do sistema e a captura de dados.
- Análise dos dados: Na etapa final do trabalho serão realizadas as análises dos dados do comportamento do sistema que foram obtidos no mês anterior e propostos melhoramentos para a arquitetura, se necessário.
- Escrita do TG2: Durante todo o processo de desenvolvimento do trabalho será feita a documentação do mesmo por meio da escrita do Trabalho de Graduação 2.

6 Referências

LIU, M. 2017. Qual o tamanho do mercado de orgânicos no Brasil? Disponível em <<http://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2017/07/qual-o-tamanho-do-mercado-de-organicos-no-brasil.html>> . Acesso em: 04 de janeiro de 2018.

BOUWELLUC, J. 2007. Aztecs' aquaponics revamped. Napa Valley Register. Disponível em: <http://napavalleyregister.com/lifestyles/home-and-garden/columnists/master-gardener/aztecs-aquaponics-revamped/article_b67bd13c-fd17-562f-a3a1-3862010ce144.html>. Acesso em 20 de dezembro de 2017.

SANTOS, J. D. et al. Development of a vinasse nutritive solutions for hydroponics. Journal of Environmental Management 114: 8-12, 2013

SOMERVILLE, C. et al. Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming. 2014

HUNDLEY, G.C. et al. Aproveitamento do efluente da produção de tilápia do Nilo para o crescimento de manjerona (*Origanum majorana*) e manjericão (*Origanum basilicum*) em sistemas de Aquaponia. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, v.3, p.51-55, 2013.

RAKOCY, Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics - Integrating Fish and Plant Culture. 2006

BRAZ FILHO, M.S.P.; PSILLAKIS, C.;YOSHIZUMI, M. Agroindústria de processados. São Roque, SP, 2010.

BRAZ FILHO, M. S. P. Qualidade na produção de peixes em sistemas de recirculação de água. São Paulo, 2000. p. 41

FERRI, M.G.Fisiologia Vegetal. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1979. p. 362

ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo; The Internet of Things: A survey Computer Networks Elsevier, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.

INFSO D.4 Networked Enterprise & RFID INFSO G.2 Micro & Nanosystems, in: Co-operation with the Working Group RFID of the ETP EPOSS, Internet of Things in 2020, Roadmap for the Future, 2008.

P. SANTOS, B. et al. Internet das Coisas: da Teoria à Prática. Belo Horizonte, MG, 2016
S.Charumathi et al. Optimization and Control of Hydroponics Agriculture using IOT. Asian Journal of Applied Science and Technology, Volume 1, Issue 2, p. 96-98, Março 2017

N HARI KUMAR et al. An Autonomous Aquaponics System using 6LoWPAN based WSN. 4th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops, 2016

NAGAYO A. M. Cloud-based Wireless Monitoring System and Control of a Smart Solar-Powered Aquaponics Greenhouse to Promote Sustainable Agriculture and Fishery in an Arid Region. BIUST Research and Invoation Symposium, Palapye, Botswana, p12-14, Junho 2017

DE SILVA, P.C.P. Ipanera : An Industry 4.0 based Architecture for Distributed Soil-less Food Production Systems. Proceedings of the 1st Manufacturing & Industrial Engineering Symposium, Colombo, Sri Lanka, Outubro 2016

CARNEIRO, P. C. F. et al. Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia. Edição 1. p. 12. Outubro 2015

GLUHAK, A. A survey on facilities for experimental Internet of Things research. IEEE Communications Magazine. 2011

McKinsey & Company. Industry 4.0 How to navigate digitization of the manufacturing sector. abril 2015