



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
IFCE CAMPUS ARACATI
COORDENADORIA DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

GEORGE LINCOLN OLIVEIRA DOS SANTOS

**LADDIE: uma plataforma de Apoio à tomada de decisão na
gestão de aquicultura**

**ARACATI-CE
2020**

GEORGE LINCOLN OLIVEIRA DOS SANTOS

LADDIE: UMA PLATAFORMA DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO NA GESTÃO DE
AQUICULTURA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Bacharelado em Ciência da Computação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE - Campus Aracati, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Ciência da Computação.

Área de pesquisa: Sistema de apoio à decisão.

Orientadora: Profa. Dra. Carina Teixeira de Oliveira.

Coorientador: Prof. Dr. José William Alves da Silva

Aracati-CE
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S2371 Santos, George Lincoln Oliveira dos.
LADDIE: uma plataforma de Apoio à tomada de decisão na Estação de aquicultura /
George Lincoln Oliveira dos Santos. - 2020.
56 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto Federal do Ceará, Bacharelado
em Ciência da Computação, Campus Aracati, 2020.
Orientação: Profa. Dra. Carina Texeira de Oliveira.
Coorientação: Prof. Dr. José William Alves da Silva.
1. Aquicultura. 2. Sensoriamento. 3. Tomada de decisão. 4. Plataforma. 5. Aplicativo
Móvel. I. Título.
-

GEORGE LINCOLN OLIVEIRA DOS SANTOS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Bacharelado em
Ciência da Computação do Instituto Fede-
ral de Educação, Ciência e Tecnologia do
Ceará - IFCE - Campus Aracati, como re-
quisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em 08/05/2020

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Carina Teixeira de Oliveira. (Orientadora)
Instituto Federal do Ceará - IFCE

Prof. Dr. José William Alves da Silva. (Coorientador)
Instituto Federal do Ceará - IFCE

Prof. Msc. Alexandre Lima Damasceno
Instituto Federal do Ceará - IFCE

Prof. Dr. Emanuel Soares dos Santos
Instituto Federal do Ceará - IFCE

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Jorge Luiz e Maria Zenilda, pelo apoio e dedicação nesta fase desafiadora.

Aos meus irmãos Jackson Nicolas e Jeferson Oliveira, pelo apoio prestado durante essa fase desafiadora.

A minha companheira e amada Jéssica Rodrigues, por toda motivação, dedicação, suporte, carinho, amor, atenção e cuidado.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por sempre me fortalecer diante dos obstáculos.

Aos colegas do curso que ajudaram nos momentos difíceis e nas disciplinas complicadas. Em especial aos meus amigos William Vitorino e Paulo Roberto.

À minha orientadora, Prof(a). Dr(a). Carina T. Oliveira, pela paciência, insistência, oportunidades, orientação e amizade durante todo o curso.

Aos meus mestres, Profs. Drs. Reinaldo Braga e Mauro Oliveira, que me ensinaram não só a grade curricular, mas valores para a vida.

A todos os professores que, sem exagero, considero verdadeiros heróis alavancando a propagação do conhecimento em nossa área, mesmo com todas as dificuldades.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. José William Alves da Silva, pela grande ajuda com que se refere a aquicultura na produção deste trabalho.

Ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Aracati, pelo apoio técnico-científico.

A Faculdade do Vale do Jaguaribe (FVJ) e ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Aracati, por terem disponibilizado meios para produção dos protótipos de *hardware* e pelo suporte técnico-científico que permitiu a realização deste trabalho.

A todos os fóruns da comunidade Flutter.

À banca avaliadora.

RESUMO

Com o avanço crescente da aquicultura no mundo, aumenta também a demanda por inovações tecnológicas para uma produção mais segura, rápida e lucrativa. Neste cenário, destaca-se que todos os tipos de cultivo (ex: piscicultura, carcinicultura, etc) são passíveis de falhas quando o controle de produção é monitorado somente por humanos. Tais falhas podem resultar na perda de todo um investimento da produção em questão de horas. Neste contexto, o presente trabalho apresenta a LADDIE, uma Plataforma de Apoio à tomada de decisão na gestão de aquicultura. A LADDIE auxilia o aquicultor por meio do monitoramento da qualidade da água em tempo real, evitando os riscos de falhas humanas na coleta de dados. Além disso, o aquicultor poderá tomar medidas preventivas e corretivas, e receber notificações sobre o estado do ambiente do cultivo. Para tornar o que foi exposto possível, a LADDIE é dividida em três camadas: (i) Camada de Sensoriamento e Atuação (LADDIE Hardware), responsável pela coleta e controle do atuador(aerador); (ii) Camada de Rede (LADDIE Net), encarregada de executar a comunicação, gerar a transmissão e efetuar o armazenamento de dados das demais camadas; e, por fim, (iii) a Camada de Aplicação, que disponibiliza um aplicativo móvel (LADDIE App) que fornece ao aquicultor as informações sobre a qualidade da água, exibe alertas caso algum parâmetro preestabelecido ultrapasse seu limite, além de propor ligar/desligar equipamentos e expor históricos para a tomada de decisão. Assim, a LADDIE auxilia o aquicultor disponibilizando funcionalidades para facilitar os procedimentos de gerenciamento, melhorar os processos de planejamento e executar ações preventivas e corretivas, a fim de diminuir os riscos da produção e extinguir o tempo referente à coleta manual de dados. É apresentado um estudo de caso para validação da proposta. Durante a realização do estudo de caso, foi possível visualizar o atuador funcionando de modo esperado e observar as atualizações no histórico dos alertas e gráficos em tempo real (ex: informando quando parâmetros ultrapassam os limites cadastrados para o cultivo).

Palavras-chaves: Sensoriamento. Atuação. Aplicativo Móvel. Tomada de decisão.

Plataforma. Aquicultura.

ABSTRACT

With the increasing advance of aquaculture in the world, the demand for technological innovations for safer, faster and more profitable production also increases. In this scenario, it stands out that all types of cultivation (i.e. fish farming, shrimp farming, etc). Are liable to fail when quality control is monitored only by humans. Such failures can result in the loss of an entire production investment in a matter of hours. In this context, the present work presents LADDIE, a support platform for decision making in aquaculture management. LADDIE assists the aquaculture farmer by monitoring water quality in real time, avoiding the risks of human's failures in data collection. In addition, the aquaculture farmer will be able to take preventive and corrective measures, sending reports and receiving notifications about the state of the cultivation environment. To make what has been exposed possible, LADDIE is divided into three layers: *i* Sensing and Performance Layer (LADDIE Hardware), responsible for collecting and controlling actuators; *ii* Network Layer (LADDIE Net), in charge of executing the communication, generating the transmission and storing data from the other layers; and, finally, *iii* the Application Layer, which provides a mobile application (LADDIE App) that provides the aquaculture farmer with information on water quality, displays alerts if any pre-established parameter exceeds its limit, in addition to propose turning on / off equipment and exposing history for decision making. Thus, LADDIE assists the aquaculture farmer by providing functionalities for facilitate management procedures, improve planning processes and carry out preventive and corrective actions, in order to reduce production risks and extinguish the time related to manual data collection. A case study is presented to validate the proposal. During the realization of the case study, it was possible to visualize the actuator functioning in an expected way and observe the updates in the history of alerts and graphs in real time (i.e. informing when predetermined parameters exceeded the limits).

Keywords: Sensing. Performance. Mobile Application. Decision making. Platform. Aquaculture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – IoT interligando tudo.	21
Figura 2 – Camadas IoT.	22
Figura 3 – Aplicações IoT.	23
Figura 4 – Exemplo de tela do AquaWeb.	26
Figura 5 – Exemplos de telas do AgroTag.	27
Figura 6 – Exemplos de telas do aplicativo móvel do Sistema de Alimentação Inteligente.	28
Figura 7 – Tela de acompanhamento animal.	29
Figura 8 – Exemplo de tela do AQUAWEB.	30
Figura 9 – Arquitetura da LADDIE.	33
Figura 10 – Circuito da camada LADDIE Hardware.	36
Figura 11 – Enviando mensagens com <i>Firebase</i>	39
Figura 12 – Tela de Login da LADDIE App.	40
Figura 13 – Tela de <i>Home</i> da LADDIE App.	41
Figura 14 – Telas de Cadastro e Modificação da LADDIE App.	43
Figura 15 – Tela de Histórico de Eventos.	44
Figura 16 – Tela de Controle do Atuador.	45
Figura 17 – Telas dos Gráficos.	46
Figura 18 – Protótipo da LADDIE Hardware.	47
Figura 19 – Exemplo de notificação do dia 29/03/2020 para o estudo de caso.	49
Figura 20 – Exemplos de alertas do dia 29/03/2020 para o estudo de caso.	49
Figura 21 – Variação do pH no estudo de caso	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre Trabalhos Relacionados.	31
-------------------------------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AgroTag	Sistema de Coleta, Análise e Compartilhamento de Dados de Campo para Qualificação do Uso e Cobertura das Terras do Brasil.
AQuA	Sistema de Informação para Análise e Validação de Parâmetros da Água.
CF	<i>Cloud Functions.</i>
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura.
FCM	<i>Firebase Cloud Messaging.</i>
FVJ	Faculdade do Vale do Jaguaribe.
GUI	Interface Gráfica do Usuário.
LPWA	<i>Low Power Wide Area.</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IDE	<i>Integrated Development Environment.</i>
IFCE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará.
IoT	<i>Internet das Coisas.</i>
MAC	Controle de Acesso à Mídia.
MIT	<i>Labs do Massachusetts Institute of Technology.</i>
NoSQL	(<i>Not Only SQL</i>) Linguagem de Consulta não Estruturada.
Peixe BR	Associação Brasileira da Piscicultura.
P&G	<i>Procter & Gamble.</i>
pH	Potencial Hidrogeniônico.
PPM	Dados da Pesquisa da Pecuária Municipal.
RAS	Aquicultura em Sistema de Recirculação.
RFID	<i>Radio Frequency Identification.</i>

SENAR	Serviço Nacional de Aprendizagem Rural.
SDK	<i>Kit de desenvolvimento de Software.</i>
TICs	Tecnologias da Informação e Comunicação.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contextualização	15
1.2	Objetivos	18
1.2.1	Objetivo Geral	18
1.2.2	Objetivos Específicos	18
1.3	Organização do Trabalho	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Resumo Histórico e Conceitos da IoT	20
2.2	Arquitetura da IoT	21
2.3	Aplicações IoT	23
3	TRABALHOS RELACIONADOS	25
3.1	AquaWeb	25
3.2	AgroTag	26
3.3	Sistema de Alimentação Inteligente	27
3.4	AQuA	29
3.5	AQUAWEB	30
3.6	Comparação entre os Trabalhos Relacionados	30
4	PROPOSTA	33
4.1	LADDIE Hardware	34
4.1.1	NodeMCU ESP8266 ESP-12E	34
4.1.2	Sensores	34
4.1.3	Atuador	35
4.2	LADDIE Net	37
4.2.1	Banco de Dados	37
4.2.2	<i>Cloud Messaging</i>	38
4.3	LADDIE App	39
4.3.1	Login	39
4.3.2	<i>Home</i>	41
4.3.3	Cadastro	42
4.3.4	Modificação	42
4.3.5	Histórico de Eventos	43
4.3.6	Atuador	44
4.3.7	Gráficos	45

5 Estudo de Caso	47
6 Conclusões	52
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Com o acelerado crescimento da população nas últimas décadas, os governos, as empresas e também a sociedade devem buscar diferentes estratégias para suprir a demanda por serviços básicos em todo o mundo, tais como saúde, educação, segurança e alimentação. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial para 2019 foi estimada em 7,70 bilhões, devendo chegar a mais de 8,5 bilhões em 2023 e 9,7 bilhões em 2050 (ONU, 2019). Esses dados sinalizam e reforçam a importância do desenvolvimento de soluções inovadoras capazes de atender esse crescimento. Partindo dessa premissa, ratifica-se também que os diversos setores produtivos devem buscar modernizar seus processos a fim de atender a demanda futura.

No contexto da alimentação, dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, sigla do inglês *Food and Agriculture Organization of the United Nations*), apresentados no documento intitulado *Contributing to food security and nutrition for all* (FAO; ORGANIZATION, 2015), é evidenciado que cerca de 805 milhões de pessoas não possuem comida suficiente para uma vida saudável, representando uma em cada nove pessoas no mundo. Ainda no mesmo estudo, é afirmado que para suprir a demanda dos 9 bilhões de habitantes do planeta em 2050, será necessário em torno de 60% a mais de comida. Já o *World Resources Institute* (WRI) (SEARCHINGER et al., 2019) apresenta medidas para o mercado se adaptar à nova demanda de alimentos, entre elas: (i) aumentar a produção de alimentos preservando o ecossistema natural; (ii) melhorar o manejo sobre a água e solo; (iii) realizar a distribuição alimentar de forma mais igualitária.

Dentre as áreas do setor primário pertencentes ao comércio alimentício, a aquicultura direciona suas atividades com foco principal na reprodução e no crescimento de organismos aquáticos como animais e plantas (peixes, moluscos, crustáceos, anfíbios, répteis e plantas aquáticas) em ambiente aquático monitorado ou semi-controlado, como por exemplo, em fazendas, para criação dos organismos em lagos, tanques, rios ou mar (PAULY; ZELLER, 2019).

A aquicultura se segmenta conforme a classe do organismo aquático cultivado (ex: peixes, rãs, ostras, etc). Tais segmentos têm como meta principal alcançar a produção de biomassa, o que implica em estratégias de manejo no processo de criação como o povoamento regular, a alimentação, o monitoramento sanitário, monitoramento

da qualidade de água, entre outros (FILHO, 2004). Cada subdivisão possui diferentes tipos de sistema de cultivo, tais como o extensivo, semi-intensivo, intensivo, etc. Todos os segmentos compartilham preocupações com a qualidade da água, o manejo e na infraestrutura da fazenda de aquicultura, pois uma variação repentina dos parâmetros da água sem possuir equipamentos e mão de obra qualificada pode acarretar na perda parcial ou total da produção em questão de horas.

A partir do documento "Anuário PeixeBR da Piscicultura 2019", disponibilizado pela Associação Brasileira da Piscicultura (PeixeBR) (BR, 2019), foi constatado que a aquicultura produziu em 2018 cerca de 110,2 milhões de toneladas de alimento, apresentando uma taxa de crescimento anual de aproximadamente 5,8% durante o período de 2015 a 2019.

Com relação ao perfil da aquicultura no Brasil, o estudo publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2016 (IBGE, 2016) evidencia que a aquicultura brasileira nos últimos 15 anos é formada por uma produção total de aproximadamente 3 milhões de toneladas, retratando uma taxa de crescimento equivalente a 56% e com um faturamento anual de aproximadamente 3 bilhões ao ano. Para o economista do banco nacional de desenvolvimento econômico e social Tagore Villarim, o Brasil tem muitas condições favoráveis para se tornar um dos líderes mundiais no setor aquícola, visto que o país dispõe dos recursos naturais para estruturação das unidades de produção como grandes bacias hidrográficas, um litoral vasto, matéria-prima para produção de ração e possuir um extenso número de espécies aquáticas de água salgada e doce (SIQUEIRA, 2017).

Entretanto, é retratado em (REZENDE; MATAVELI, 2017) que o Brasil ainda possui dificuldades para o desenvolvimento da aquicultura, dentre elas as doenças oriundas das atividades detectadas tardiamente que, por consequência, causam perdas parciais na sua produção. Também existem os problemas devido a complicações com a regularização ambiental, alto custo da produção e falta de tecnologia aplicada.

Além disso, de acordo com (OSTRENSKY; BOEGER, 2008), é possível apontar três maiores problemas que afetam o setor aquícola brasileiro: (i) o problema técnico-gerencial, causado pela falta de treinamento e qualificação técnica na cadeia produtiva da Aquicultura; (ii) o problema econômico-administrativo, que vem da dificuldade de acesso ao crédito para investimento, manutenção e custeio da produção aquícola; (iii) o problema político-administrativo, que é a falta de políticas públicas consistentes para o desenvolvimento sustentável dessa atividade.

Em paralelo, no estudo apresentado pela Embrapa em 2012, por meio do documento "A Embrapa e a Aquicultura: Demandas e prioridades de pesquisa", é declarado que existem problemas e restrições semelhantes em cada região do Brasil (DORNELES, 2017). Explanando que a maioria das regiões possui problemas de

qualidade das pós-larvas e alevinos¹, além dos problemas com a qualidade da água e assistência técnica limitada.

Deste modo, é imposto aos pequenos e grandes produtores cada vez mais aperfeiçoamento, bem como aplicações de técnicas precisas, com o intuito de aumentar a rentabilidade e a qualidade produtiva (AGROCAMPO, 2017). Em paralelo, a contínua inovação tecnológica que vem acontecendo nos últimos anos favorece a busca pela combinação de tecnologias capazes de fabricar soluções mais eficientes a partir da comunicação e integração entre máquinas, pessoas e recursos. Logo, para atender o mercado atual e se preparar para o futuro, o setor aquícola tem procurado otimizar as etapas de produção do cultivo por meio da informatização (SIQUEIRA, 2017).

Tendo isso em vista, a aplicação de novas tecnologias nas empresas do setor aquícola é uma alternativa em potencial a favor da aceleração da cadeia produtiva. Neste contexto, o uso da tecnologia tem a finalidade de transmitir ao produtor um cenário mais amplo de todas as particularidades de sua produção, auxiliando em tomadas de decisões com relação ao gerenciamento de atividades, a manutenção de equipamentos, gerenciamento produtivo, etc.

Buscando diminuir os obstáculos para uma aquicultura mais eficaz, este trabalho apresenta a LADDIE, uma plataforma de Apoio à tomada de decisão na gestão de aquicultura. Em particular, a LADDIE atua auxiliando o aquicultor no aspecto da qualidade da água, avisando-o, por exemplo, por meio de alertas quando algum parâmetro ultrapassa limites pré-estabelecidos. Deste modo, o tempo gasto e o risco de falhas humanas na coleta de dados são reduzidos. Além disso, através da visualização dos dados da LADDIE o aquicultor poderá tomar medidas preventivas com o objetivo de detectar doenças ou medidas corretivas para não ocasionar perda da produção. A LADDIE ainda permite a execução de ações em tempo real e de qualquer lugar, assim o aquicultor, mesmo fora da fazenda, tem acesso a informações atualizadas sobre todos os cultivos, além da possibilidade de controlar um atuador, analisar gráficos e visualizar históricos de eventos de cada cultivo. A LADDIE utiliza o atuador para tornar possível o controle de máquinas (ex: aerador, motor), com o objetivo de administrar os parâmetros da qualidade da água.

Um estudo de caso é apresentado consolidando o êxito da LADDIE no monitoramento da qualidade da água. Nesse estudo de caso, um protótipo da LADDIE é usado para realizar o monitoramento de um recipiente com água que foi exposto à várias situações típicas de um cenário de aquicultura. É válido ressaltar que a arquitetura proposta pode ser adaptada para ser utilizada em outros cenários além da aquicultura, como aquários e sistemas de mineralização de água.

¹ Alevinos são peixes recém saídos do ovo e que já reabsorveram o saco vitelino.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é apresentar a LADDIE, uma plataforma de Apoio à tomada de decisão na Estação de aquicultura, visando facilitar os procedimentos de gerenciamento e melhorar os processos de planejamento, diminuindo os riscos da produção e extinguindo o tempo referente à coleta de dados manual.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Monitorar a qualidade da água por meio de sensores;
- Desenvolver um protótipo de hardware capaz de enviar os dados captados para um banco NoSQL em tempo real;
- Utilizar um atuador para simular o controle do oxigênio;
- Utilizar um banco NoSQL para armazenar os dados em tempo real;
- Modelar o banco de dados com o objetivo de tornar a plataforma escalável para qualquer quantidade e tipo de sensores e atuadores, ao permitir o cadastro de um novo hardware e possibilitar incluir e modificar as características do cultivo (ex: pH e temperatura), resultando em diferentes cultivos para cada espécie.
- Desenvolver um aplicativo móvel para visualização dos dados coletados, atualizando em tempo real tanto os gráficos quanto o histórico e exibindo alertas se necessário.
- Realizar um estudo de caso para validar a proposta.

1.3 Organização do Trabalho

Os demais capítulos deste trabalho estão organizados da seguinte forma. O Capítulo 2 refere-se à Fundamentação Teórica. O Capítulo 3 expõe os Trabalhos Relacionados, apresentando produtos e serviços que também buscam a integração de novas tecnologias no setor aquícola. O Capítulo 4 é referente à Proposta, que detalha as funcionalidades e arquitetura da LADDIE. O Capítulo 5 apresenta um estudo de caso, onde é retratado o comportamento da LADDIE no monitorando de um recipiente

com água que foi submetido por diversas mudanças. Ao final, o Capítulo 6 apresenta as conclusões e direcionamentos para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Resumo Histórico e Conceitos da IoT

Novas tecnologias tendem a surgir através da necessidade, criatividade e inovação de cientistas, pensadores e estudiosos que notam uma deficiência, oportunidade ou necessidade em algo. A Internet das coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*), é um termo citado pela primeira vez através do pesquisador britânico, *Kevin Ashton* do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) no ano de 1999. Inicialmente a ideia era tornar possível etiquetar eletronicamente os produtos da linha de produção da empresa *Auto-ID Labs* do MIT, para facilitar a logística, utilizando a tecnologia de Identificação por Radiofrequência (RFID, do inglês *Radio Frequency Identification*) para melhorar as transições da Procter & Gamble (P&G).

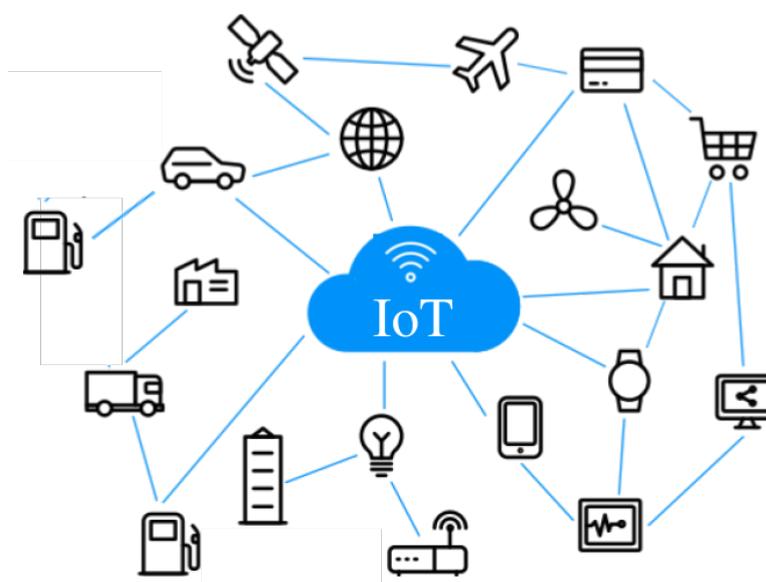
Entretanto, eram necessários grandes avanços tecnológicos para que houvesse como materializar a ideia de Ashton. Pois, na época eram preciosas alterações na infraestrutura da Internet, com um tipo de conexão sem fio capaz de manter a comunicação entre bilhões de dispositivos (BACCARIN, 2018). Desde então, muitos acadêmicos, desenvolvedores e pesquisadores estão construindo com novas ideias e, assim, a área de IoT vem ganhando novas definições e conceitos. Para Bruno Perreira e outros autores do documento "Internet das coisas: da teoria a prática" (SANTOS et al., 2016), o conceito de IoT é descrito como objetos do dia-a-dia com capacidade computacional e de comunicação, compartilhando informações por meio de uma conexão com a Internet. Em paralelo, segundo Sundmaeker em "*Cluster of European Research Projects on the Internet of Things*" (SUNDMAEKER et al., 2010), a IoT é uma infraestrutura de rede global dinâmica, baseada em protocolos de comunicação em que objetos físicos e virtuais tenham identidades para usar interfaces inteligentes e integradas à rede de Internet.

A empresa Cisco em "Uma introdução à Internet da Coisas (IoT)" (SUNDMAEKER et al., 2013) descreve a IoT como um sistema em que os objetos e animais são conectados à Internet. No documento, é descrito que os sensores podem usar vários tipos de conexões de área local como *RFID*, *NFC*, *Wi-Fi*, *Bluetooth* e *ZigBee*. Para Aggarwal e Das, a IoT é "uma rede global que permite a comunicação de humano para humano, humano para coisa e coisa para coisa", ou seja, todos os objetos no mundo com um identificador único podem se comunicar através da Internet (AGGARWAL; DAS, 2012).

Em "Proposta de ambientes inteligentes IoT sob a ótica da eficiência ener-

gética", os autores relatam que a IoT tem muitas aplicações em diversas áreas, (ex: veículos inteligentes e cidades inteligentes), formando uma rede entre os dispositivos na rede (RIO et al., 2018). Deste modo, a implementação de sensores e dispositivos eletrônicos que interagem com o meio físico se faz presente (MINERVA; BIRU; RONTONDI, 2015). A Figura 1 ilustra o conceito de IoT a partir das definições e conceitos abordados anteriormente, em um contexto onde existe uma conexão com a Internet em qualquer lugar, permitindo a conexão entre tudo que possua um identificador único na Internet.

Figura 1 – IoT interligando tudo.



Fonte: Adaptada de (KHOSHAFIAN, 2017).

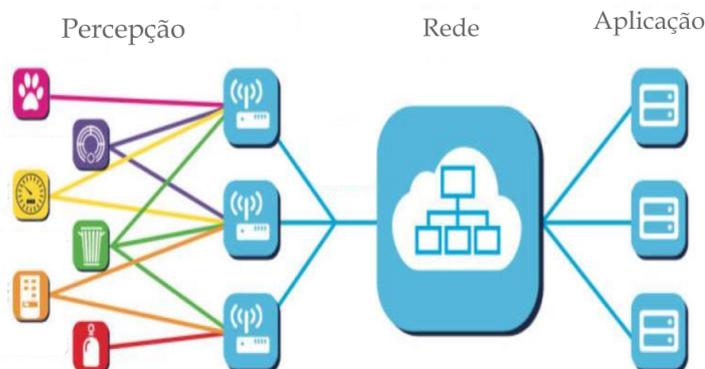
Dentre as várias definições descritas, é perceptível que todas possuem suas particularidades e divergências em definir a IoT. Madakam, Ramaswamy e Tripathi no documento "*Internet of Things (IoT): A Literature Review Journal of Computer and Communications*" (MADAKAM; RAMASWAMY; TRIPATHI, 2015), indicam que o principal ponto em comum entre as várias definições sobre IoT pode ser descrito como “uma rede aberta e abrangente de objetos inteligentes com capacidade de auto-organização, compartilhamento de informações, dados e recursos, reagindo e agindo diante de situações e mudanças no ambiente”.

2.2 Arquitetura da IoT

A arquitetura da IoT também possui diversas definições e características, seja em relação ao número de camadas ou ao nome que cada camada recebe. Mas, a maioria das propostas propõe três camadas em comum: Percepção, Rede e Aplicação. Alguns trabalhos como (TAO et al., 2014), (MAHMOUD et al., 2015) e (MORALES;

RENÓ; ALBINO, 2018) apresentam essa abordagem, que pode ser analisada na Figura 2.

Figura 2 – Camadas IoT.



Fonte: Adaptada de (VITOR VIDAL, 2017).

A **Camada de Percepção** representa os objetos físicos que utilizam sensores para coleta de informações sobre o meio que estão inseridos. Portanto, os sensores variam dependendo do tipo de dados que se deseja extrair do contexto no qual são expostos (MORALES; RENÓ; ALBINO, 2018). Assim, é possível utilizar sensores de temperatura e umidade, por exemplo, para investigar como está o clima do ambiente, bem como utilizar um grupo de sensores que podem analisar diversos parâmetros que interferem na qualidade da água. Deste modo, o objetivo dessa camada é captar dados do ambiente com a ajuda de sensores, convertê-los para um formato digital e depois transmitir para a camada de rede.

Na **Camada de Rede** os dispositivos de comutação e roteamento utilizam tecnologias como Wi-Fi, Bluetooth e LoRA em busca de captar os dados da camada de Percepção. Os *gateways* de rede desta camada são mediadores entre diferentes nós e buscam agregar, filtrar e transmitir os dados para a Camada de Aplicação (MORALES; RENÓ; ALBINO, 2018).

A **Camada de Aplicação** é onde se encontra uma vasta gama de aplicações para os mais variados propósitos com o objetivo de melhorar processos produtivos e interligar pessoas e serviços. As necessidades da indústria, bem como as necessidades sociais podem ser atendidas por meio dessa camada, automação no varejo, cidades inteligentes, aplicações controladas por comando de voz, entre outros. Essa camada tem como principal objetivo servir de interface com os usuários, apresentando-lhes os dados coletados pelos sensores. Além disso, fornece uma série de recursos que variam de acordo com os objetivos da aplicação (TAN; WANG, 2010). Nessa camada não é obrigatório disponibilizar uma visualização gráfica, ou seja, nem sempre existe a necessidade de uma tela para exibir as informações, como em aplicações que os usuários interagem por meio de comandos de sinais sonoros e luzes.

2.3 Aplicações IoT

As aplicações IoT abrangem diferentes áreas do conhecimento humano. Na Figura 3 algumas aplicações estão ilustradas, tais como: cidades inteligentes, carros inteligentes, dispositivos usáveis, aparelhos eletrodomésticos, casa inteligente e setores alimentícios como a aquicultura. Além disso, a IoT atua em áreas como logística, saúde, ambientes inteligentes e indústria (CHUNG et al., 2013).

Figura 3 – Aplicações IoT.



Fonte: Adaptada de (VITOR VIDAL, 2017).

Em paralelo, no trabalho intitulado "A ZigBee wireless sensor network for monitoring an aquaculture recirculating system", uma aplicação IoT é baseada em dispositivos que fornecem atividades de sensoriamento, atuação, controle e monitoramento. Para os autores, os dispositivos podem permutar dados com outras aplicações e dispositivos conectados, coletar dados de outros dispositivos e processá-los localmente (ESPINOSA-FALLER; RENDÓN-RODRÍGUEZ, 2012).

Outra área em potencial para aplicações IoT é a saúde. Para Shah e Yaqoob no documento "A survey: Internet of Things (IOT) technologies, applications and challenges" (SHAH; YAQOUB, 2016), são observados possíveis usos para o setor, como: (i) monitoramento remoto de pacientes por meio do uso de sensores para captar batimentos cardíacos, pressão arterial, etc; (ii) gerenciamento de medicamentos visando informar aos pacientes/cuidadores os horários e dosagem; (iii) detecção prévia de equipamentos médicos que irão necessitar de manutenção, evitando o atraso na pres-

tação de serviços.

A IoT também tem potencial para atuar nas áreas do setor primário como a aquícola. Para (JR; LLANTOS, 2017), na gestão moderna da área, a IoT se torna um forte mecanismo capaz de monitorar e controlar a qualidade da água por meio de computadores, sendo uma tendência para a aquicultura. Com isso, o trabalho revela que a partir de sensores como temperatura, pH e oxigênio é possível captar dados do parâmetro da água e, através de atuadores, ligar ou desligar dispositivos elétricos com o objetivo de estabilizar o ambiente aquático de acordo com as métricas do aquicultor.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

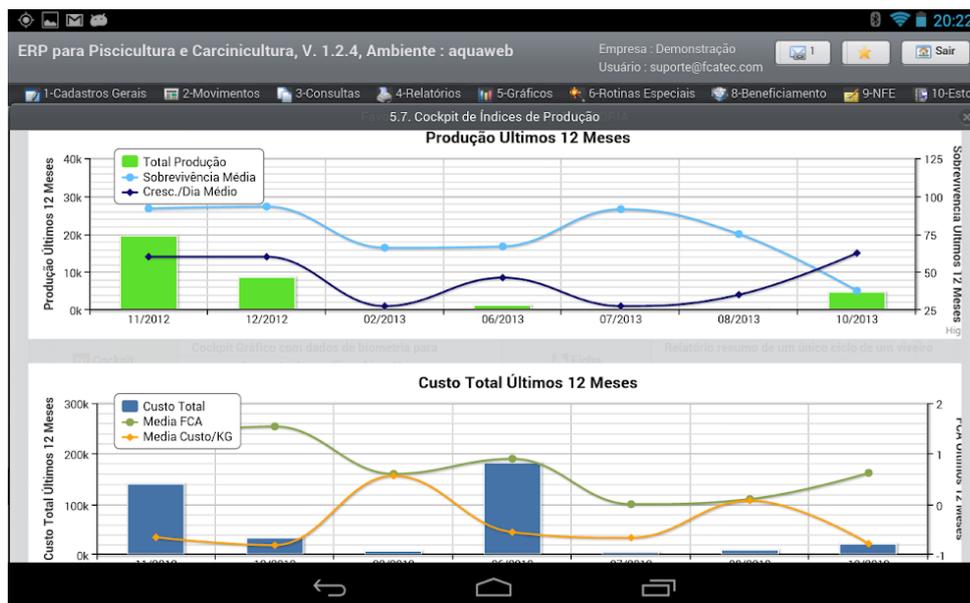
Entre os desafios do setor primário das últimas décadas, encontra-se a necessidade de aliar as técnicas para produção de alimentos com os avanços tecnológicos, a fim de maximizar a produção e minimizar as atuais e futuras necessidades alimentícias. Em decorrência dessas dificuldades, várias pesquisas têm sido publicadas com o propósito de transmitir conhecimento e sugerir soluções para reduzir ou resolver algumas dessas problemáticas. A partir da análise de alguns desses estudos, são apresentadas a seguir soluções semelhantes à LADDIE, que propõem combinar a aquicultura com as novas tecnologias.

3.1 AquaWeb

Em (AQUAWEB, 2020), os autores apresentam o AquaWeb, um software desenvolvido para o gerenciamento de fazendas de aquicultura, que é dividido em duas partes: (i) um *software* na versão web que armazena os dados coletados em campo de forma manual a fim de monitorar todo o manejo da fazenda de aquicultura, guardando o histórico de cultivos para futuras análises e cruzamentos de resultados e (ii) uma aplicação móvel construída em formato de prancheta para *Tablet* que permite a consulta de informações técnicas e gerenciais, assim como também possibilita o apontamento de dados em campo (consumo de insumos, parâmetros físico-químicos, biometria e etc) de forma offline, ou seja, sem necessidade de estar conectado à internet no momento da captura em campo.

Essas características facilitam a vida dos gestores e levam mais produtividade ao dia-a-dia do pessoal operacional. Os dados de apontamento não necessitam que o equipamento esteja conectado à internet, eles são arquivados no próprio *Tablet* e, quando uma conexão com a internet estiver disponível, os dados são sincronizados. A aplicação móvel disponibiliza os dados para o usuário através de gráficos, tabelas e texto, como ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Exemplo de tela do AquaWeb.



Fonte: (AQUAWEB, 2020).

3.2 AgroTag

Em (PORTINHO et al., 2019), é relatado pelos autores que o sistema AgroTag é um aplicativo móvel desenvolvido para dispositivos *Android* que utiliza a interface on-line *Web Geographical Information System (WebGIS)*¹, permitindo acesso aos dados coletados em campo para o setor agrícola.

Segundo os autores, o usuário pode visualizar as informações espaciais, tais como: bases de dados estratégicas, imagens de satélite, uso e cobertura da terra das regiões de interesse. Além disso, com a utilização do *Rapideye*² as imagens são geradas em alta resolução para que o agricultor consiga visualizar a produção.

Com as informações coletadas em campo, o sistema permite a realização de consultas e análises integradas do *WebGIS*, como geração de mapas e relatórios automáticos consistidos por meio do banco de dados geoespacial para consultas e análise em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

A aplicação móvel do AgroTag contém em sua base de dados as informações do Cadastro Ambiental Rural (CAR) para que o usuário tenha oportunidade de acessar em campo as informações cadastradas pelo setor rural do país e disponibilizadas pelo Serviço Florestal Brasileiro. A aplicação possui um formulário de uso e cobertura das terras onde o usuário pode identificar uma área de interesse, selecionando as classes de agricultura (ex: pastagem, florestas plantadas, etc) e qualificando esses sistemas

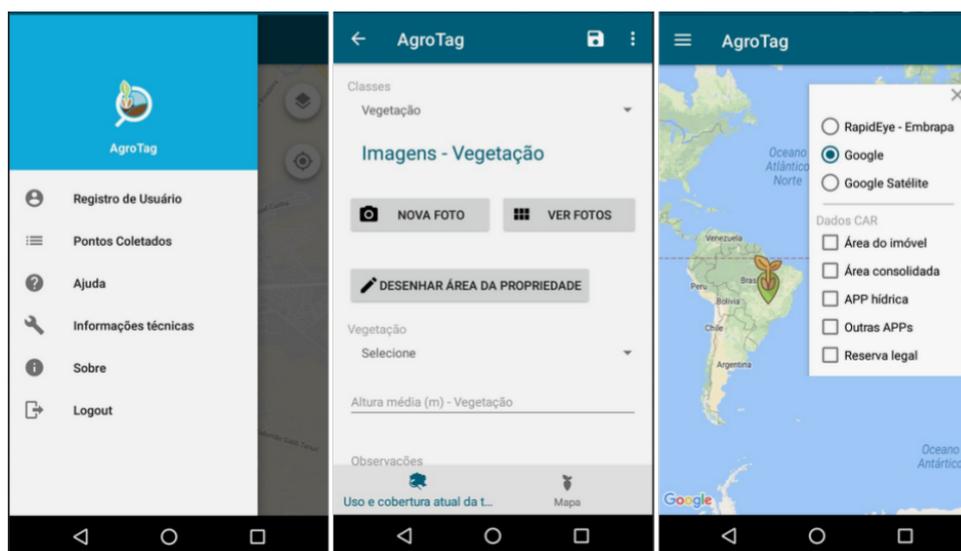
¹ WebGIS é um Sistema de Informação Geográfico online.

² RapidEye é uma constelação de 5 micro-satélites controlada pela empresa RapidEye AG.

com informações sobre o cultivo.

Os técnicos em campo fazem os levantamentos utilizando o aplicativo para cadastrar os dados, os enviados para para um banco de dados e desses dados são gerados relatórios em tempo real para sua visualização em uma plataforma webgis (mapas e imagens de satélite) integrada com o AgroTag.

Figura 5 – Exemplos de telas do AgroTag.



Fonte: Adaptada de (EMBRAPA, 2019).

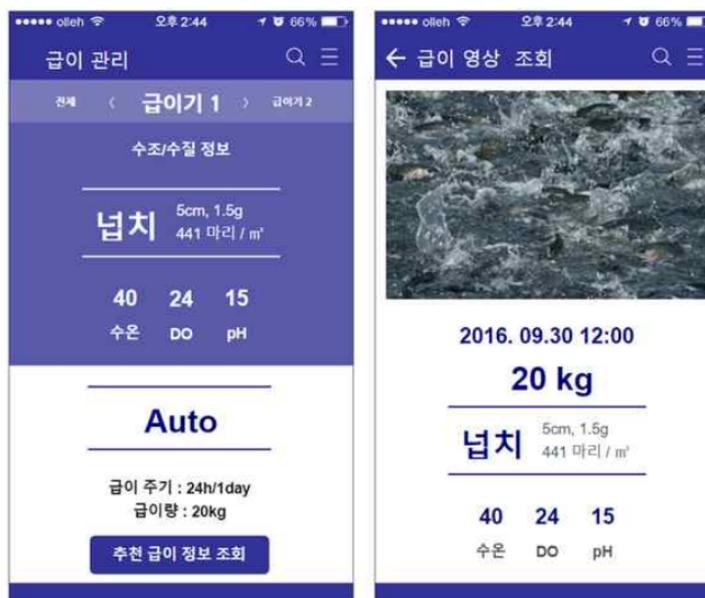
3.3 Sistema de Alimentação Inteligente

O Sistema de Alimentação Inteligente (DOKKO, 2016) tem como objetivo melhorar a produtividade utilizando a rede *Low Power Wide Area (LPWA)*, uma rede projetada para comunicação IoT, com comunicações de longo alcance e com uma baixa taxa de bits (ex: rede LoRa), para espalhar os serviços em diferentes pontos da fazenda visando gerenciar a qualidade da água a aferição dos dados é feita durante a alimentação.

Por meio do painel da Web, um usuário pode verificar as informações básicas e o *status* atual de cada alimentador registrado, além de executar funções de gerenciamento de contas, consulta de falhas e estatísticas. O aplicativo móvel realiza consulta e controle remoto para cada alimentador. Além disso, possui uma função para definir a quantidade de alimentação e o tempo de injeção. Exibida na Figura 6 Portanto, a tela de consulta exibe informações como as espécies de peixes e o *status* da qualidade da água do tanque correspondente, o ciclo de alimentação e a quantidade de alimentação, e quando a quantidade restante de alimentação do alimentador é insuficiente o alarme é enviado ao celular pelo servidor de gerenciamento de alimentação que o sis-

tema possui. Também é possível pesquisar a imagem do *status* atual de alimentação do tanque (DOKKO, 2016).

Figura 6 – Exemplos de telas do aplicativo móvel do Sistema de Alimentação Inteligente.

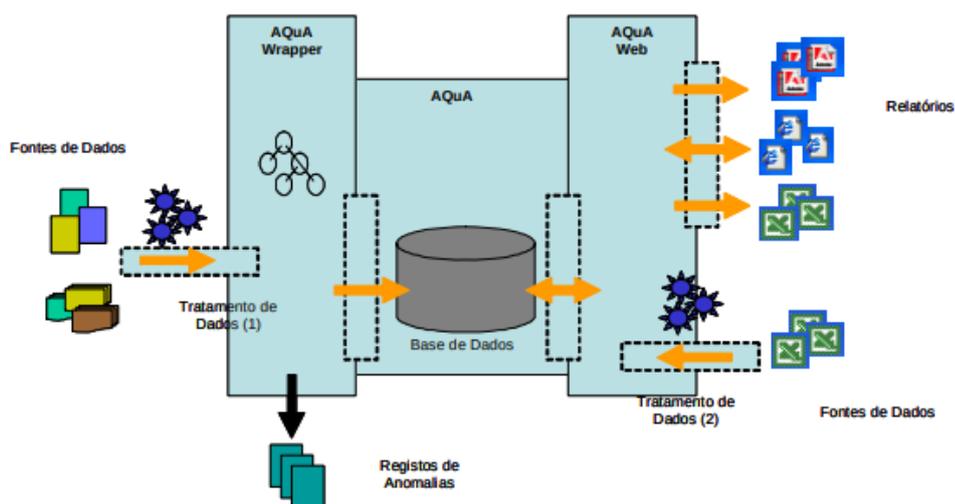


Fonte: (DOKKO, 2016).

3.4 AQuA

O Sistema de Informação para Análise e Validação de Parâmetros da Água (AQuA) (BELO ANÁLIA LOURENÇO, 2006) propõe uma análise e validação de parâmetros com relação à qualidade da água na reserva estratégica de água da empresa Alqueva. A implementação do sistema é composta de dois módulos operacionais: (i) AQuA Wrapper, que é responsável por tratar dos serviços relacionados à extração, processamento e armazenamento dos dados; (ii) AQuA Web, sendo encarregado por tratar os serviços de validação e exploração dos dados recolhidos para serem gerenciados pela plataforma Web, ficando responsável pela visualização dos dados (BELO ANÁLIA LOURENÇO, 2006). A Figura 7 exibe a arquitetura do sistema AQuA Web disponibilizada pelos autores.

Figura 7 – Tela de acompanhamento animal.



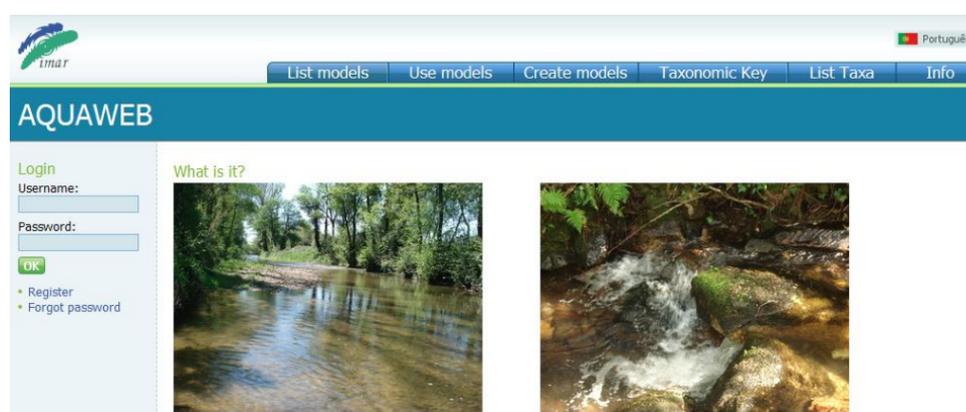
Fonte: (BELO ANÁLIA LOURENÇO, 2006).

3.5 AQUAWEB

Em (MELO, 2011), o autor apresenta um sistema para avaliação de ecossistemas de córregos e rios inerentes à criação e utilização de modelos preditivos baseados em dois tipos existentes: (i) *River Invertebrate Prediction and Classification System* (RIVPACS), sistema de biomonitoramento aquático para avaliação da qualidade da água em rios de água doce no Reino Unido e se baseia nas espécies de macroinvertebrados encontradas no local do estudo durante a amostragem; (ii) *Benthic Assessment of Sediment* (BEAST), uma abordagem derivada da RIVPACS que estabelece relações preditivas entre a fauna de macroinvertebrados e a qualidade de ambientes ribeirinhos para detectar ameaças potenciais e evitar deterioração desses ecossistemas e o desenvolvimento de critérios de qualidade de sedimentos nas áreas costeiras dos grandes lagos Laurentianos na América do Norte.

O autor relata que a solução é uma aplicação Web construída para gerenciar os dados obtidos em campo sem qualquer tratamento prévio, oferecendo uma visão dos resultados para verificação e edição dos dados recolhidos para detecção de casos anormais. A aplicação disponibiliza os dados para o usuário através de imagens, tabelas e texto como ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Exemplo de tela do AQUAWEB.



Fonte: (MELO, 2011).

3.6 Comparação entre os Trabalhos Relacionados

A seguir estão os pontos selecionados a serem comparados entre alguns dos trabalhos relacionados e a LADDIE:

- **Sensoriamento:** Uso de sensores para captação dos parâmetros voltados para o monitoramento da qualidade da água.

- **Atuadores:** Uso de mecanismos para o acionamento automático ou não de equipamentos eletrônicos que possuem a finalidade de executar uma ação.
- **Monitoramento da qualidade da água:** Práticas que incluem a coleta de dados em locais específicos da água, realizadas em intervalos regulares de tempo, com o propósito de utilizar as informações geradas para a definição das condições presentes da qualidade da água.
- **Sistema de alertas:** Funcionalidade de *software* focada em gerar alertas informando algo para a execução de ação corretiva sobre o parâmetro indicado.
- **Visualização de dados:** Aplicação voltada para exibição dos dados coletados (ex: gráficos, históricos, texto, imagens), emissão de alertas e geração de relatórios.

Na Tabela 1 são elencados os pontos da relacionado utiliza na sua composição, visando comparar suas funcionalidades. Entre as desvantagem dos trabalhos relacionados em relação à LADDIE, temos: (i) O uso de atuadores para a execução de ações corretivas; (ii) Sistema de alertas para os usuários.

Tabela 1 – Comparação entre Trabalhos Relacionados.

	AQUAWEB	Alimentador	AquaWeb	LADDIE
Sensoriamento	Sim	Sim	Sim	Sim
Atuadores	Não	Não	Não	Sim
Monitoramento da qualidade da água	Sim	Sim	Sim	Sim
Sistema de alertas	Não	Não	Não	Sim
Visualização dos dados	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: Elaborada pelo autor.

As principais vantagem da LADDIE em comparação dos trabalhos apresentados acima são: i utilização de um atuador para controle dos parâmetros da água; ii sistema de alerta para informar sobre um possível perigo. Essas funcionalidades viabilizam uma maior dinamicidade ao processo de tomada de decisão.

Isto posto, é perceptível que a utilização da IoT em conjunto a aquicultura não é exclusividade deste trabalho, outros autores também defendem que esta abordagem pode levar grandes vantagens ao aquicultor.

Logo, a IoT aliada a sensores e atuadores possuem grande potencial para modernizar a aquicultura. Além disso, o uso da IoT em conjunto com aplicações mó-

veis ou sistemas *web*, contribui de forma significativa para os processos de tomada de decisões.

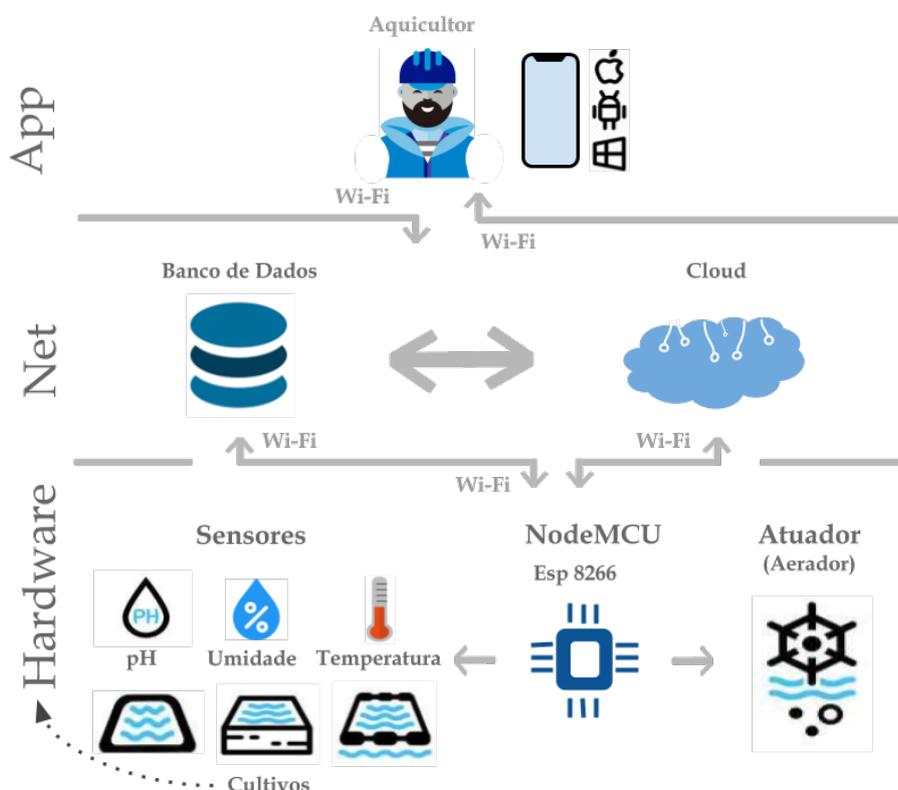
Deste modo, essa seção comparou a LADDIE com os trabalhos ([MELO, 2011](#)), ([AQUAWEB, 2020](#)) e ([DOKKO, 2016](#)), visto que tais trabalhos se aproximam mais da solução proposta.

4 PROPOSTA

Esse capítulo apresenta a LADDIE, uma plataforma de Apoio à tomada de decisão na gestão de aquicultura. O objetivo da LADDIE é proporcionar informações em tempo real sobre a qualidade da água, tornando possível a realização de ações preventivas e corretivas nas fazendas de aquicultura. Deste modo, a proposta busca a aquisição de três principais objetivos: (i) reduzir a intervenção humana na coleta de dados manuais em fazendas de aquicultura; (ii) melhorar o manejo da água; (iii) maximizar a produção aquícola para aumentar a produção de alimentos.

Conforme ilustra a Figura 9, a arquitetura da LADDIE é dividida em três camadas principais intituladas Hardware, Net e App. Nota-se que as camadas da LADDIE correspondem, respectivamente, às Camadas de Percepção, Rede e Aplicação detalhadas na arquitetura da Seção 2.2. Nas seções seguintes, são apresentadas a arquitetura, o desenvolvimento e as funcionalidades de cada camada.

Figura 9 – Arquitetura da LADDIE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1 LADDIE Hardware

A LADDIE Hardware é a solução de hardware desenvolvida para ser utilizada dentro e nas adjacências da água para acompanhar seus parâmetros (ex: Temperatura, pH). Além disso, é disposto um atuador (aerador) que é acionado pelo aquicultor através da LADDIE App ou de forma automática. Na Figura 9, é possível analisar que o hardware se divide entre sensores, NodeMCU ESP8266 e Atuador. É destacado cada componente a seguir e, posteriormente, é disponibilizado o circuito completo da LADDIE.

4.1.1 NodeMCU ESP8266 ESP-12E

Projetada pela empresa *Espressif Systems*, a placa de desenvolvimento NodeMCU foi escolhida por ser *open source* e possuir, integrado na placa, o módulo ESP-12E com o chip ESP8266 que contém capacidade de conexão Wi-Fi nativa, no qual suporta conexões com a Internet nos padrões 802.11 b/g/n e diversos protocolos de segurança como WEP, WPA, WPA2, etc (ANAND; MISHRA; GUPTA, 2020). O hardware do NodeMCU utiliza uma arquitetura de 32 bits e um *clock* de 80MHz que pode operar até 160MHz, além de conter 32 KBytes de RAM para instruções, 96 KBytes de RAM para dados e 11 pinos de GPIO (I2C, SPI, PWM) e conector micro-usb para programação/alimentação. (SCHWARTZ, 2016).

A programação pode ser transmitida por meio de uma IDE do Arduino utilizando a interface USB-serial para comunicação via cabo Micro-USB que pode ser conectado diretamente no computador (SCHWARTZ, 2016). Deste modo, o NodeMCU ESP8266 proporciona um desempenho suficiente para as necessidades da LADDIE, ou seja, em relação à comunicação de dados pela rede e velocidade de captação de dados dos sensores conectados. No mais, a programação também pode ser

4.1.2 Sensores

Para diminuir a intervenção humana na coleta de dados, a LADDIE Hardware utiliza dois sensores para obtenção dos indicadores de qualidade da água. Um dos sensores é o Potencial Hidrogenado (pH), que possibilita indicar a neutralidade, acidez ou mesmo a alcalinidade de uma solução líquida. Esse sensor envia os dados por meio do módulo de leitura PH4502C para o NodeMCU.

O outro sensor é o DHT11, responsável por medir a temperatura e umidade do ar. Como mostra a Figura 9, os dados captados dos sensores a partir das mudanças no ambiente são enviados para o NodeMCU, que, por sua vez, os envia para a camada

LADDIE Net. Assim, o banco de dados é atualizado e a camada LADDIE App identifica que houve a mudança e busca os novos valores de cada sensor para disponibilizá-los ao aquicultor.

O algoritmo gravado no NodeMCU ESP8266 via porta serial é escrito na linguagem C, sendo codificado através da Arduíno IDE, uma aplicação multiplataforma de hardware livre que possui um editor de código com recursos de realce de sintaxe, parênteses correspondentes e indentação automática, sendo capaz de compilar e carregar programas para uma placa com capacidade de armazenar códigos em C/C++. O código é responsável por captar, manipular e armazenar os dados dos sensores conectados no NodeMCU. Além disso, o chip ESP8266 age como um nó e um *gateway*, coletando instruções para manipulação do atuador e enviando novas informações para a camada LADDIE Net.

4.1.3 Atuador

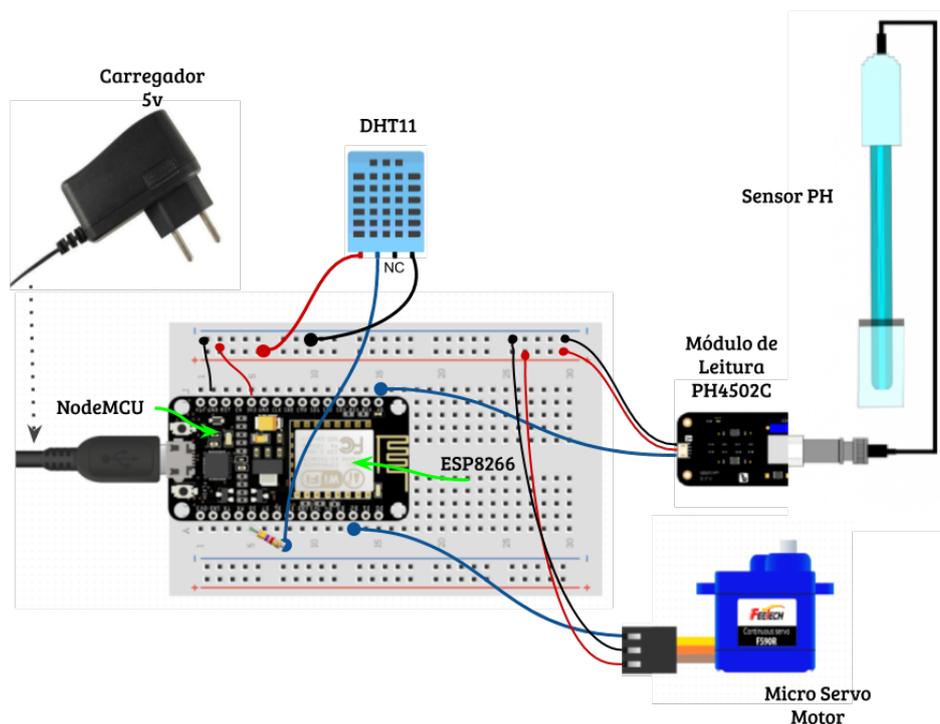
Neste trabalho, o atuador tem como finalidade simular o acionamento de um aerador projetado para realizar a incorporação de oxigênio na água. Composto por um Micro Servo Motor, esse atuador rotaciona suas hélices entre 0° e 180° graus, sendo ligado automaticamente quando o valor obtido do sensor de temperatura (DHT11) estiver em níveis acima ou abaixo do preestabelecido pelo usuário para um determinado cultivo.

Esse sensor foi escolhido pois a temperatura é um parâmetro indireto do oxigênio. Visto que, quando existe um aumento na temperatura, ocorre também o aumento no metabolismo dos animais, logo aumenta o consumo de oxigênio. Além disso, o aumento da temperatura, acelera os processos químicos e biológicos que consomem oxigênio, assim como aumenta a volatilidade do oxigênio em sua difusão para atmosfera, reduzindo deste modo o oxigênio na água.

Para adequar a LADDIE App com a funcionalidade de tomar decisões em qualquer lugar, os dados são enviados por meio da internet (ex: Wi-Fi, rede celular) para manipular o atuador da LADDIE Hardware. Para o aquicultor, essa funcionalidade irá manter o aerador ligado sempre que preciso. Visto que, para as pequenas fazendas de aquicultura localizadas em áreas urbanas, não é incomum existir oscilação na rede elétrica, ocasionando por vezes, o desligamento de aeradores (SEGUNDO; MOTA, 2015).

A Figura 10 detalha o circuito da camada LADDIE Hardware. O primeiro componente é uma fonte elétrica que converte a corrente alternada (220v/110v) em uma corrente contínua de até 9 volts de saída para alimentar o NodeMCU ESP8266 de forma adequada (SCHWARTZ, 2016). O DHT11 possui um termistor do tipo NTC

Figura 10 – Circuito da camada LADDIE Hardware.



Fonte: Elaborada pelo autor.

para aferição da temperatura e um sensor de umidade do tipo HR202.

As entradas digitais só podem assumir dois estados, HIGH e LOW, ou seja, 0v ou 5v. Dessa forma só é possível ler apenas dois estados. O sensor DHT11 possibilita a leitura de dados em grandezas digitais e analógicas, na leitura digital, os dados só podem assumir dois valores *HIGH* e *LOW*, ou seja, 0v ou 3.3v. Já as leitura analógicas tem sua grandeza variando entre 0 e 1023, que é significa variar entre 0v até 3.3v. O DHT11 faz a leitura dos parâmetros e se comunica com o microcontrolador através de um sinal serial. Como é possível identificar na Figura 10, o DHT11 possui três filamentos ligados a ele. Contudo, um de seus pinos não está ligado a nenhum filamento. Este conector é responsável por fornecer dados no formato analógico, entretanto é usado o pino que proporciona dados do tipo digital por limitação de portas analógicas no NodeMCU, no qual está conectada o filamento de cor azul. NodeMCU só possui uma porta que capta sinais analógicos e está ocupada por outro sensor. Através de um circuito eletrônico (Módulo PH4502C) para condicionar adequadamente o sinal, o sensor de pH mede a diferença de potencial entre um eletrodo de referência (prata/cloreto de prata) e um eletrodo de vidro que é sensível ao íon hidrogênio. O circuito da LADDIE conta também com um Micro Servo Motor, uma máquina eletromecânica cujo ângulo de movimento é proporcional ao comando dado por meio de um sinal de controle para simular um aerador. Para manipulação de um aerador que utiliza

tensão entre 0v e 220v, é necessário adicionar um módulo relé, modificar o algoritmo da camada LADDIE Hardware e o conectar na ligação elétrica do aerador.

A comunicação entre as camadas LADDIE Hardware e LADDIE Net é realizada por meio das bibliotecas ESP8266WiFi e FirebaseArduino. A biblioteca ESP8266WiFi é utilizada para estabelecer uma conexão com a internet, enquanto isso a biblioteca FirebaseArduino é encarregada de realizar a comunicação entre o NodeMCU e o banco de dados.

4.2 LADDIE Net

Responsável por interligar as demais camadas, a LADDIE Net implementa mecanismos como o gerenciamento da comunicação, armazenamento e processamento de dados. Além disso, é agregado a essa camada a funcionalidade de gerar alertas. Para que a camada LADDIE Hardware possa enviar os dados e a camada LADDIE App consiga captá-los e gerar os alertas, esta camada é dividida entre banco de dados e *Cloud Messaging*.

4.2.1 Banco de Dados

O banco de dados da LADDIE, além de armazenar os dados captados da camada LADDIE Hardware, os deixa disponível para a camada LADDIE App. Foi escolhido o banco de dados *Firebase* por fornecer um servidor de banco de dados em tempo real e ser NoSQL¹. Dentre suas várias funcionalidades, a LADDIE Net utiliza o *Realtime Database* do *Firebase* por ter um escalonamento para cerca de 200.000 conexões simultâneas e cerca de 1.000 gravações por segundo (GOOGLE FIREBASE, 2020).

Além disso, as leituras e gravações a partir de um Kit de desenvolvimento de software (SDK, do inglês, *Software Development Kit*) para dispositivos móveis são protegidas pelas regras do *Realtime Database*². Essas regras residem nos servidores do *Firebase* e são aplicadas automaticamente. Logo, as solicitações de leitura e gravação só serão concluídas através do autenticação do SDK existente no banco de dados.

¹ NoSQL é um termo genérico para representar um bancos de dados não relacional (ex: MongoDB, Apache Ignite).

² Regras do Realtime Database: <https://firebase.google.com/docs/database/security?hl=pt-br>

4.2.2 Cloud Messaging

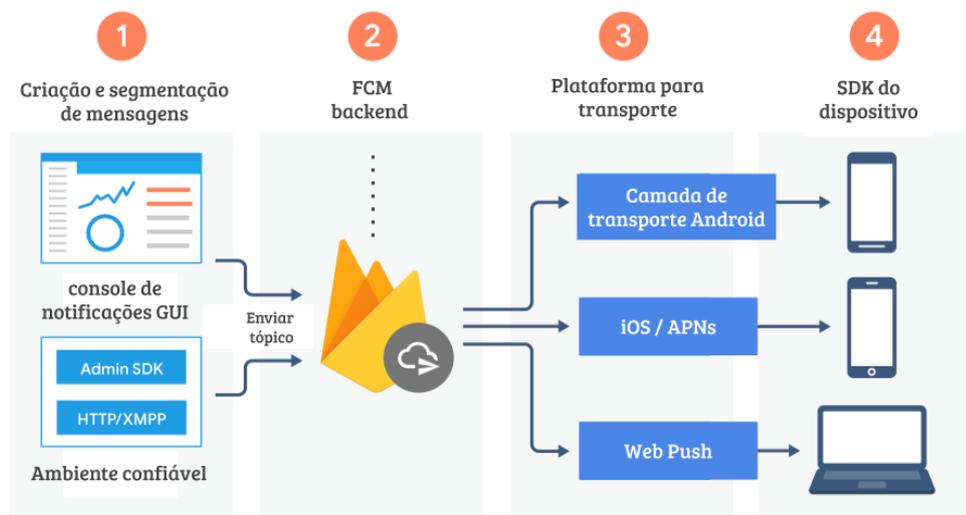
A LADDIE Net utiliza o recurso *Firebase Cloud Messaging* (FCM) na criação, configuração e envio das notificações para o usuário. O FCM é uma solução que permite a transmissão de mensagens para *Android*, *iOS* e aplicativos da *Web* através da internet ([GOOGLE FIREBASE, 2020](#)). Para gerar e transmitir os alertas, o FCM possui um conjunto de componentes que constroem, transportam e recebem mensagens. Alguns desses mecanismos são:

1. Uma ferramenta para criar, configurar, segmentar e enviar as solicitações de mensagens chamada *Cloud Functions* (CF), que utiliza funções *JavaScript* executadas em um ambiente *Node.js*³. O código *JavaScript* executado no ambiente *Node.js* é enviado somente uma vez e executado apenas quando um evento específico é acionado. Além disso, o CF é programado de forma independente da aplicação para tornar as funções privadas, seguras e não sofrer engenharia reversa ([GOOGLE FIREBASE, 2020](#)).
2. O processamento interno do FCM habilita as solicitações de mensagens, realizando o *fanout* (APIs em tempo real simplificadas) por meio de um cruzamento entre o servidor de rede e um intermediário de mensagens que particiona a mensagem em tópicos e gera metadados, como o ID da mensagem. Com isso, os clientes que tiverem o SDK da LADDIE App recebem os dados publicados em tempo real que são enviados do servidor do FCM pela internet.

Segundo ([GOOGLE FIREBASE, 2020](#)), na transmissão das mensagens para dispositivos *Android*, são utilizados os serviços *Google Play*. Já para dispositivos *iOS* é utilizado o serviço de notificação por *push* da *Apple*. Além disso, é usado o protocolo *Web push* para envio de mensagens para aplicações *web*. A Figura 11 disponibilizada por ([GOOGLE FIREBASE, 2020](#)) demonstra da criação ao envio das mensagens para os dispositivos que possuem o SDK de uma aplicação móvel.

Como visto na figura, da criação ao envio da mensagem é segmentado em quatro partes, que correspondem a: (i) o FCM cria, segmenta e envia solicitações de notificação por meio de uma interface gráfica do usuário (GUI, do inglês *Graphical User Interface*) utilizando o SDK da LADDIE; (ii) o FCM realiza o *fanout* de mensagens por tópicos e gerar metadados; (iii) o FCM identifica o dispositivo de destino e entregar mensagens via internet; (iv) é exibida a mensagem para o usuário que detém o SDK da LADDIE, contudo a mensagem é diferente dependendo se o aplicativo da LADDIE App está em primeiro ou segundo plano.

³ Node.js: Interpretador assíncrono de códigos em *JavaScript* orientado a eventos.

Figura 11 – Enviando mensagens com *Firestore*.

Fonte: Adaptada de (GOOGLE FIREBASE, 2020).

4.3 LADDIE App

Desenvolvido com o objeto de auxiliar os produtores aquícolas nos processos de planejamento, monitoramento e controle, a LADDIE App foi desenvolvida por meio do *framework* Flutter, que incorpora todas as diferenças críticas de plataforma, como rolagem, navegação, ícones e fontes através dos *widgets*⁴, e utiliza os compiladores nativos da linguagem Dart para o desempenho de aplicações em dispositivos *iOS* e *Android* (FLUTTER, 2020). Para permitir uma navegação de fácil controle, a LADDIE App é dividida em sete telas principais, que são apresentadas a seguir.

4.3.1 Login

A tela de login da LADDIE App é apresentada na Figura 12. Para reconhecer o usuário, a LADDIE App aplica lógica de negócios do componente (BLoC, do inglês Business Logic of Component) nos *widgets* de inserção de dados na tela para validar em tempo real se o usuário apresentou dados de login corretos.

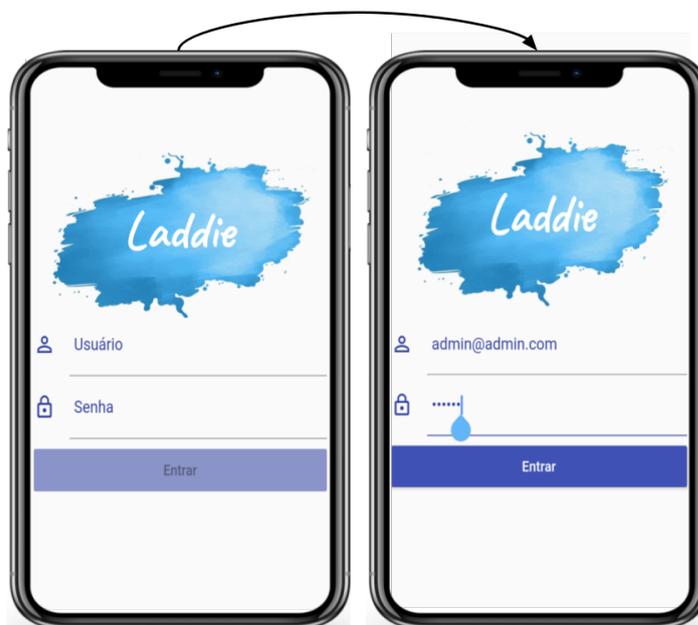
Desse modo o botão de login só é habilitado caso os campos de e-mail e senha, preenchidos pelo usuário estiverem dentro das regras de negócios desenvolvidas. Os BLoCs dessa tela utilizam os recursos do *SDK do Firebase Authentication* que por sua vez, fornece métodos para gerenciar usuários realizando autenticação e lidando com o envio de e-mails de redefinição de senha (GOOGLE FIREBASE, 2020).

Além disso, a LADDIE foi desenvolvida de modo que só o administrador é capaz de disponibilizar todas as funcionalidade da plataforma. Logo, somente o ad-

⁴ *Widgets* são as partes da interface de usuário, como textos, botões, imagens, etc.

ministrador da LADDIE consegue adicionar um novo usuário, pois primeiro é preciso que o e-mail e a senha sejam cadastrados no *Firebase Authentication*. Essa regra de negócio foi inserida para prevenir que o banco de dados seja utilizado por usuários que não poderão ter acesso aos serviços da plataforma LADDIE.

Figura 12 – Tela de Login da LADDIE App.



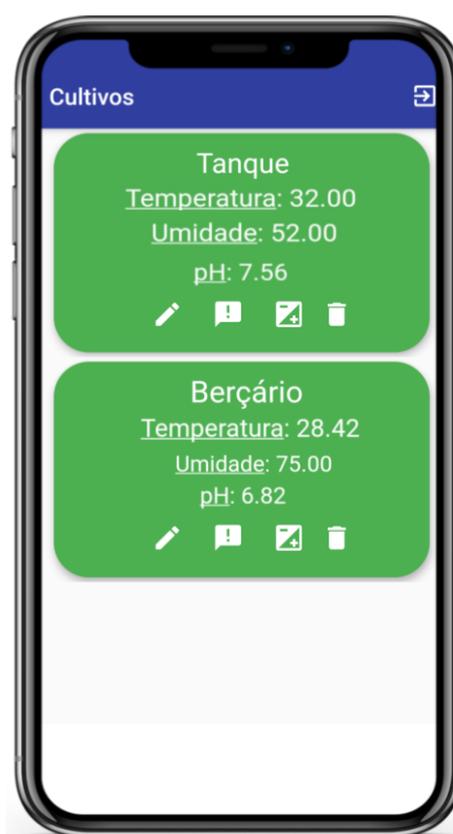
Fonte: Elaborada pelo Autor.

4.3.2 Home

A tela de *Home* da LADDIE App é ilustrada na Figura 13. Essa tela é responsável por disponibilizar, em tempo real, as informações captadas de cada cultivo pela LADDIE Hardware. Cada card disposto nessa tela é responsável por um cultivo e pode assumir além da cor cinza inicial, mais duas cores, verde e vermelho. A cor verde indica que os valores captados dos sensores estão dentro dos limites para o cultivo. Logo, indica que os valores captados estão entre os valores mínimos e máximos de todos os parâmetros que foram cadastrados para o cultivo. Caso algum parâmetro ultrapasse o limite estabelecido no momento do cadastro, é emitido um alerta e o card referente ao cultivo ficará da cor vermelha até que todos os sensoriamentos estejam captando valores dentro dos limites do cultivo.

Além disso, através dessa tela é possível navegar para as outras telas com o auxílio dos botões dispostos em cada card. No canto superior direito é disposto um botão para o caso do aquicultor desejar sair da conta.

Figura 13 – Tela de *Home* da LADDIE App.



Fonte: Elaborada pelo Autor.

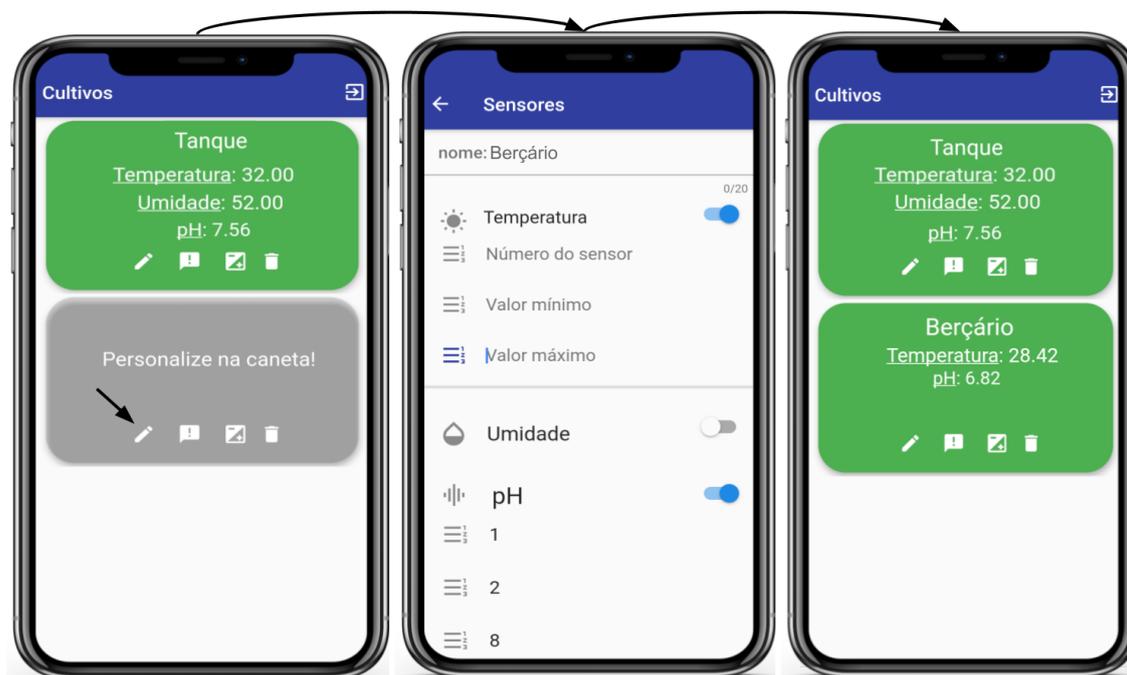
4.3.3 Cadastro

Para novos cultivos, o código desenvolvido para a LADDIE Hardware deve ser enviado para um novo NodeMCU que, por sua vez, é adicionado na camada LADDIE Net automaticamente. Isso ocorre por meio do endereço de controle de acesso à mídia (MAC) do chip ESP8266 acoplado no NodeMCU. O MAC é um identificador único atribuído a uma interface de rede utilizada pelas tecnologias de rede do padrão IEEE 802, como *Ethernet* e Wi-Fi. A adição de um novo cadastro implica que mais um cultivo dentro da fazenda de aquicultura será monitorado, o mesmo procedimento ocorre caso seja o primeiro cultivo da fazenda. Na rede, cada novo cadastro implica em um novo *gateway* e um novo nó a mais na plataforma. A LADDIE Net capta dados de cada cultivo de forma independente ao separar cada cultivo em um nó específico a partir de um identificador único no banco de dados.

Como visto na Figura 14, referente ao dispositivo recém adicionado na tela principal, é visto um *widget* (card) cinza, que pode ser configurado a partir do ícone de edição (botão semelhante à uma caneta). Na tela de cadastro, o usuário tem a opção de adicionar o nome do cultivo, bem como selecionar se aquele cultivo deve ou não receber novos valores dos sensores de temperatura (DHT11), umidade (DHT11) e/ou pH (PH4502C), além de permitir estabelecer os valores mínimos e máximos para cada sensor. Após a confirmação do cadastro, o card que representava o cultivo, agora terá o nome escolhido, bem como os valores em tempo real dos sensores que o usuário selecionou.

4.3.4 Modificação

Nas telas da Figura 14 também é realizada a funcionalidade de modificação dos cultivos permite que o aquicultor adicione e remova os sensoriamentos de um determinado cultivo. Para acionar um novo sensoriamento, é necessário modificar o estado do botão da classe *SwitchListTile* para ativo, adicionar o sensor desejado no NodeMCU referente ao cultivo, além de colocar o número do sensor e os valores mínimos e máximos no local da tela relacionado ao sensor desejado. O algoritmo da LADDIE Hardware possui funções de comunicação com o estado do botão armazenado no banco de dados. Logo, o novo sensoriamento acontece somente quando acontece os seguintes passos: (i) o estado do botão referente ao sensor desejado for modificado para ativo no aplicativo (LADDIE App); (ii) o estado do botão é atualizado no banco de dados (LADDIE Net); (iii) o sensor desejado é adicionado ao NodeMCU (LADDIE Hardware). Para remover um sensoriamento, é preciso modificar o estado do botão da classe *SwitchListTile* do sensor para desativado. Ao remover o sensoriamento, o estado do botão é atualizado no banco de dados e o algoritmo da LADDIE

Figura 14 – Telas de Cadastro e Modificação da LADDIE App.

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Hardware interpreta que os dados relacionados ao sensor não irão ser mais captados, resultando na remoção dos dados em tempo real referente ao sensor.

4.3.5 Histórico de Eventos

Acessada por meio do segundo botão na tela *Home*, essa tela exibe três colunas: data, hora e tipo de evento ocorrido. A Figura 15 ilustra um histórico dos eventos notificados pela LADDIE Net, revelando os eventos ocorridos sobre a temperatura elevada de um determinado dia. Com essa funcionalidade, a LADDIE App é capaz de construir um histórico de todos os eventos que ultrapassam dos padrões preestabelecidos pelo usuário para um cultivo.

Como a LADDIE App busca exibir as informações atualizadas, essa tela mostra os dados do dia atual. Além disso, no canto superior direito da tela é disposto um botão que permite a visualização de uma data específica. Assim, a LADDIE App torna disponível todas as informações referentes aos eventos ocorridos.

Figura 15 – Tela de Histórico de Eventos.



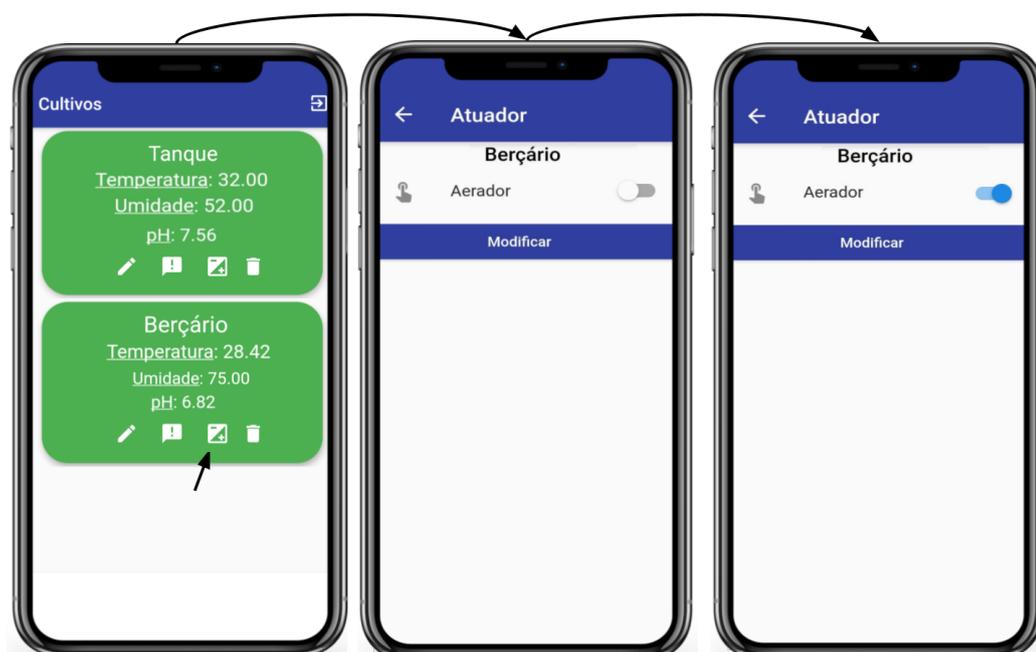
Fonte: Elaborada pelo Autor.

4.3.6 Atuador

A tela do Atuador é responsável por ligar e desligar o atuador de forma manual. Como mostra a Figura 16, o aquicultor pode acessar essa tela por meio do terceiro botão na tela *Home* e na tela de controle do atuador, pode alterar o estado do botão da classe *SwitchListTile* para ativar ou desativar o atuador. Ao modificar o estado do botão, a LADDIE App atualizará o novo estado na camada LADDIE Net, alterando o valor que representa o botão do atuador no banco de dados por meio do identificador único do cultivo. Assim, quando a camada LADDIE Hardware buscar o estado do botão referente ao atuador no banco de dados, irá acionar a ação de ligar ou desligar o aerador (Micro Servo Motor).

Como mencionado na Seção 4.1.3, caso o aerador desligue por conta de uma oscilação de energia, é a partir dessa tela que a LADDIE App torna possível que o aquicultor ligue ou desligue o aerador manualmente de qualquer lugar por meio da internet (ex: Wi-Fi, rede celular).

Figura 16 – Tela de Controle do Atuador.



Fonte: Elaborada pelo Autor.

4.3.7 Gráficos

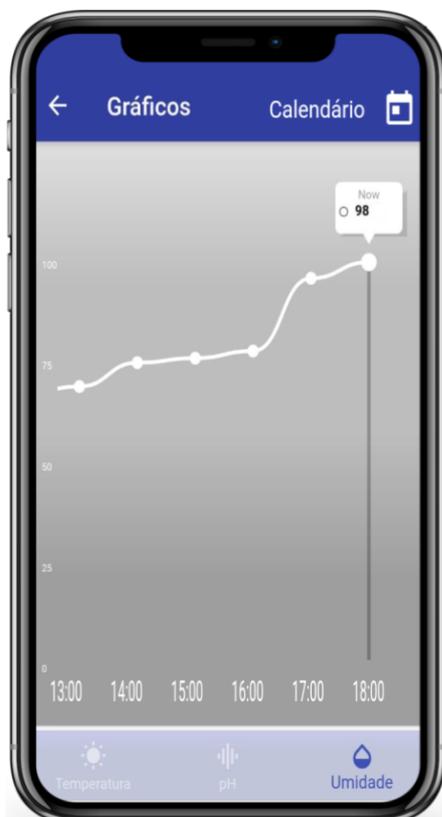
A LADDIE App disponibiliza os dados de cada sensor (temperatura, pH e umidade) por meio de gráficos. Na Figura 17, é possível visualizar que em cada gráfico, o eixo x representa as horas referentes aos dados dos sensores dispostos no eixo y. Para exibir os dados desta forma, a cada uma hora a LADDIE App computa uma média aritmética com todos os valores captados e atualiza os gráficos com os novos valores. Além disso, como na tela de notificações, nessas telas também existe um botão no canto superior direito para visualizar dados de outros dias.

Figura 17 – Telas dos Gráficos.



(a) Temperatura.

(b) pH.



(c) Umidade.

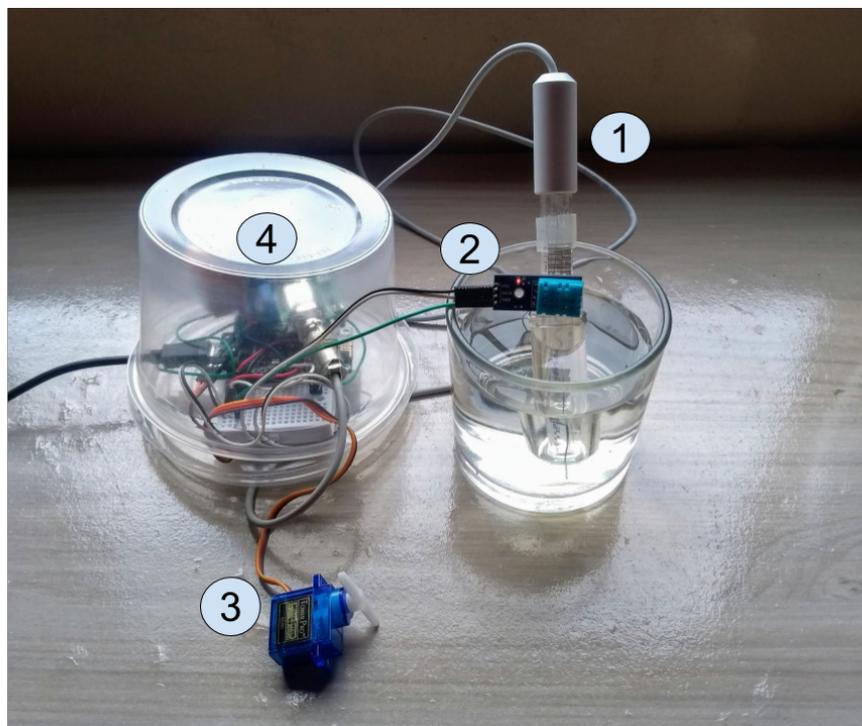
Fonte: Elaborada pelo Autor.

5 Estudo de Caso

Conforme detalhado no Capítulo 4, a utilização da LADDIE torna possível monitorar os cultivos de uma fazenda de aquicultura com pouca intervenção humana, além de auxiliar o aquicultor no processo de tomada de decisões de qualquer lugar por meio da Internet (Wi-Fi, rede celular). Como estudo de caso para validação da proposta, o protótipo da LADDIE Hardware detalhado na Seção 4.1 foi utilizado para realizar o monitoramento da qualidade da água em um recipiente. O estudo de caso ocorreu durante quatro dias, de 28/03/2020 a 31/03/2020.

A Figura 18 retrata o cenário no qual a LADDIE Hardware e o recipiente foram postos. No lado direito, encontra-se o recipiente monitorado pela LADDIE Hardware. Na Figura é possível visualizar o sensor de pH (1) imerso no recipiente, bem como os sensores de temperatura e umidade (2) próximos à borda do recipiente, além do atuador Micro Servo Motor (3) (representando o aerador) sobre a mesa e os demais componentes do circuito da LADDIE Hardware (4) dentro do recipiente transparente à esquerda.

Figura 18 – Protótipo da LADDIE Hardware.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O ambiente onde o protótipo do estudo de caso foi submetido é um local cuja incidência de iluminação varia de acordo com a hora do dia, o que permitiu averiguar as variações dos parâmetros da água. Para o estudo de caso, foi cadastrado um

cultivo chamado Berçário com o seu pico de temperatura à 30°C, o máximo de pH 7 e a máxima da umidade 90, e com seus mínimos respectivamente 20°C, 4 de pH e 40 de umidade. Logo, uma notificação sobre o evento irá ocorrer caso algum valor obtido pelos sensores ultrapassem ou sejam inferiores aos valores cadastrados.

Em todos os dias do estudo, foi perceptível as mudanças em tempo real visualizadas na tela *Home* retratada na Seção 4.3.2, bem como a capacidade de acionar e desligar o atuador de forma automática e manual.

A temperatura tem um grande impacto no desenvolvimento dos peixes, visto que eles não possuem a capacidade de regular a temperatura corporal. Então, quando são submetidos a temperaturas abaixo ou acima do ideal, o apetite, o crescimento e a saúde podem ser prejudicados (SENAR, 2017).

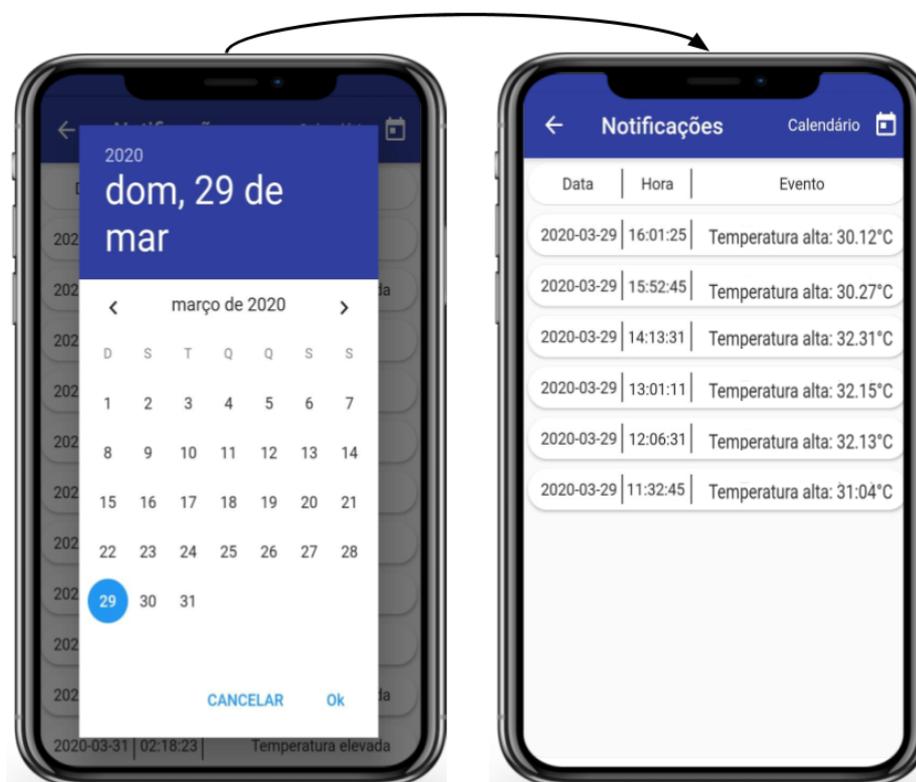
Durante o estudo de caso, a LADDIE Sensores captou picos de temperatura acima do permitido e foram geradas notificações que podem ser observados através das telas da Figura 20, onde é exibida a lista dos alertas que ocorreram durante o dia 29/03/2020. A Figura 19 exibe uma das notificações que foram gerada no mesmo dia e é possível perceber que o card de nome Berçário está da cor vermelha. A partir das telas na Figura 20, é possível perceber que os eventos são mais recorrentes entre 11 e 16 horas, com o sensor de temperatura (DHT11) captando dados acima do limite permitido para o cultivo. Nesse mesmo horário do dia, também foi observado que o atuador foi acionado automaticamente em todas as ocasiões que a temperatura excedeu o seu limite.

Figura 19 – Exemplo de notificação do dia 29/03/2020 para o estudo de caso.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 20 – Exemplos de alertas do dia 29/03/2020 para o estudo de caso.

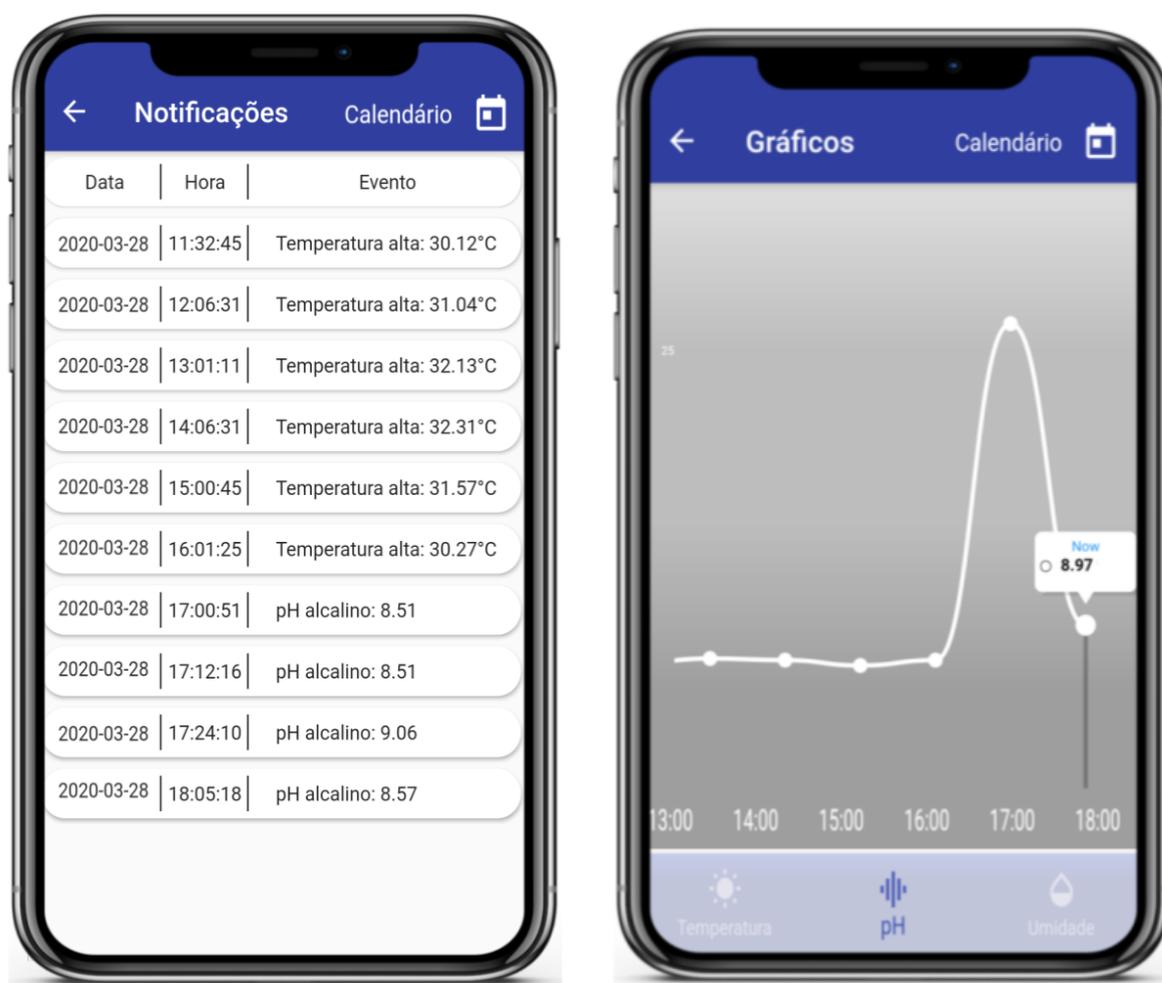


Fonte: Elaborado pelo autor.

Em ocasiões de tratamento da água, por vezes ocorre a necessidade de alterar o valor do pH das águas, de forma a atender alguma exigência, pois oscilações do pH em cultivos de organismos aquáticos causam alterações na permeabilidade das membranas branquiais, dificulta a osmorregulação e trocas gasosas (SILVA et al., 2015).

Para testar se a LADDIE App conseguiria emitir um alerta caso a água do recipiente excedesse o limite de concentração do pH, foi adicionado hidróxido de sódio (soda cáustica ou NaOH) na água no dia 28/03/2020 às 16 horas e 54 minutos com o objetivo de aumentar a concentração de pH da água. O aumento do pH pode ser analisado através da Figura 21. Na tela (a) é possível visualizar os alertas emitidos a partir das 17 horas e finalizando às 18 horas, pois pouco tempo depois a água que estava no recipiente foi renovada. Na tela (b) é possível analisar que no gráfico ocorreu uma elevação da concentração de pH no mesmo intervalo de tempo que o hidróxido de sódio estava inserido na água.

Figura 21 – Variação do pH no estudo de caso



(a) Notificações do dia 28/03/2020.

(b) Gráfico do pH no dia 28/03/2020.

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Mediante aos resultados do estudo de caso aqui apresentados, as funcionalidades proporcionadas pela LADDIE foram utilizadas com sucesso para:

- Atualizar os dados em tempo real e mostrar na tela principal (*home*);
- Cadastrar novos cultivos;
- Alertar quando algum sensor ultrapassa o limite preestabelecido;
- Atualizar o histórico de eventos;
- Ligar o atuador de forma manual;
- Acionar o atuador de forma automática;
- Atualizar os gráficos.

Destaca-se que as informações captadas pela LADDIE podem de fato ajudar o aqüicultor na tomada de decisão, além de ser colaborar na redução de erros durante o cultivo dos organismos aquáticos e na coleta e análises dos dados.

6 Conclusões

Os impactos essenciais da LADDIE podem ser notados em quatro principais tópicos: *(i)* Disponibilização de diversas informações ao usuário; *(ii)* A visualização dos dados em tempo real das condições do cultivo; *(iii)* Eficiência do atuador, de modo que o mecanismo só era ligado só quando necessário ou por meio do LADDIE App até atingir seu objetivo. *(iv)* Registro de todos os eventos ocorridos ao longo de todo o cultivo.

É plausível perceber que a LADDIE atuou de forma esperada quando sujeita à situações adversas, informando ao aquicultor, em tempo real, os parâmetros de cada cultivo e quais aspectos estiverem fora do ideal, permitindo que o aquicultor possa tomar decisões. Além disso, como explícito no Capítulo 4, os alertas foram gerados de forma precisa, evidenciando as problemáticas que o cultivo foi exposto e acionando o atuador quando necessário, auxiliando o aquicultor quando o mesmo não perceber a necessidade de ligá-lo.

Com relação aos trabalhos futuros, planeja-se a adição de um módulo assuntos básicos através de telas com textos informativos sobre manutenção de equipamentos, regras básicas de manejo e noções básicas de eliminação de efluentes visando auxiliar os novos e pequenos aquicultores. Além de agregar mais sensores e atuadores a fim de gerar uma base de dados para futuras pesquisas.

REFERÊNCIAS

- AGGARWAL, R.; DAS, M. L. Rfid security in the context of "internet of things". In: *Proceedings of the First International Conference on Security of Internet of Things*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 51–56. Citado na página 20.
- AGROCAMPO. Agricultura de precisão: a tecnologia aliada ao produtor rural. *AGROCAMPO*, 2017. Citado na página 17.
- ANAND, R.; MISHRA, A.; GUPTA, R. lot based smart energy meter using node mcu. *TEST Engineering & Management*, v. 82, p. 4297–4301, 2020. Citado na página 34.
- AQUAWEB. *AquaWeb*. 2020. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.fcatec.aquawebwebviewhl=pt>>. Acesso em: 21 mar. 2020. Citado 3 vezes nas páginas 25, 26 e 32.
- BACCARIN, A. B. Indústria 4.0: lot, big data e produtos digitais. *Design de Produto na Era Digital-Unisul Virtual*, 2018. Citado na página 20.
- BELO ANÁLIA LOURENÇO, P. S. A. M. J. L. P. M. L. J. V. O. Aqua – um sistema de informação para análise e validação da qualidade da água em alqueva. In: 2006. [S.l.]: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2006. Citado na página 29.
- BR, P. Anuário peixebr da piscicultura 2019 veículo oficial da associação brasileira da piscicultura. 2019. Citado na página 16.
- CHUNG, T.-Y. et al. Social web of things: a survey. In: IEEE. *2013 International Conference on Parallel and Distributed Systems*. [S.l.], 2013. p. 570–575. Citado na página 23.
- DOKKO, S. Design of the smart feeding system based on the lpwa network for inland fish farms. *Journal of The Korea Internet of Things Society*, Korea Internet of Things Society, v. 2, n. 3, p. 31–35, 2016. Citado 3 vezes nas páginas 27, 28 e 32.
- DORNELES, L. A. Análise temporal dos preços do pescado no brasil: no período de 1990-2014. Universidade Federal do Pampa, 2017. Citado na página 16.
- EMBRAPA. *AgroTag*. 2019. Disponível em: <https://play.google.com/store/search?q=agrotagc=appshl=pt_BR>. Acesso em: 15 mar. 2020. Citado na página 27.
- ESPINOSA-FALLER, F. J.; RENDÓN-RODRÍGUEZ, G. E. A zigbee wireless sensor network for monitoring an aquaculture recirculating system. *Journal of applied research and technology*, UNAM, Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, v. 10, n. 3, p. 380–387, 2012. Citado na página 23.
- FAO, U. N. F.; ORGANIZATION, A. Permanent meadows and pastures. faostat, trade – crops and livestock products. *FAO*, 2015. Citado na página 15.
- FILHO, J. D. S. O agronegócio da aqüicultura: perspectivas e tendências. *Texto apresentado no Zootec*, 2004. Citado na página 16.

FLUTTER. *Documentação do Flutter*. 2020. Disponível em: <<https://flutter.dev/docs>>. Acesso em: 17 nov. 2019. Citado na página 39.

GOOGLE FIREBASE. *Documentação do Firebase*. 2020. Disponível em: <<https://firebase.google.com>>. Acesso em: 17 nov. 2019. Citado 3 vezes nas páginas 37, 38 e 39.

IBGE, I. B. d. G. e. E. Produção da pecuária municipal. v. 44. 2016. Citado na página 16.

JR, P. B. B.; LLANTOS, O. E. Design and implementation of real-time mobile-based water temperature monitoring system. *Procedia Computer Science*, Elsevier, v. 124, p. 698–705, 2017. Citado na página 24.

KHOSHAFIAN, S. Omni-channel to omni-device: Evolved customer experience with iot. *Medium*, Medium, 2017. Citado na página 21.

MADAKAM, S.; RAMASWAMY, R.; TRIPATHI, S. Internet of things (iot): A literature review journal of computer and communications. 2015. Citado na página 21.

MAHMOUD, R. et al. Internet of things (iot) security: Current status, challenges and prospective measures. In: IEEE. *2015 10th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST)*. [S.l.], 2015. p. 336–341. Citado na página 21.

MELO, M. d. Aquaweb: Ferramenta de avaliação da qualidade da água. *Universidade de Aveiro*, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 32.

MINERVA, R.; BIRU, A.; ROTONDI, D. Towards a definition of the internet of things (iot). *IEEE Internet Initiative*, v. 1, n. 1, p. 1–86, 2015. Citado na página 21.

MORALES, I. L.; RENÓ, D.; ALBINO, J. P. Internet das coisas: os benefícios dos dispositivos móveis-wearables. *Experimentações Narrativas, Roteiros, Mobilidade e Marketing*, Ria Editorial, p. 104, 2018. Citado na página 22.

ONU, O. d. N. U. Perspectivas mundiais de população. *United nations*, 2019. Citado na página 15.

OSTRENSKY, A.; BOEGER, W. A. Principais problemas enfrentados atualmente pela aquicultura brasileira. *OSTRENSKY, Antonio; BORGHETTI, José Roberto, SOTO, Dóris. Aquicultura no Brasil: o desafio é crescer*, p. 135–158, 2008. Citado na página 16.

PAULY, D.; ZELLER, D. Agreeing with fao: Comments on sofia 2018. *Marine Policy*, Elsevier, v. 100, p. 332–333, 2019. Citado na página 15.

PORTINHO, J. L. et al. An interactive webgis platform for enhanced support of integrated environmental management of aquaculture. In: IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, SANTOS. ANAIS *Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. [S.l.], 2019. Citado na página 26.

- REZENDE, F. P.; MATAVELLI, M. Impactos da mancha branca nos custos de produção do camarão no nordeste. *Embrapa Pesca e Aquicultura-Outras publicações técnicas (INFOTECA-E)*, Brasília, DF: CNA, 2017., 2017. Citado na página 16.
- RIO, L. S. D. et al. Proposta de ambientes inteligentes iot sob a ótica da eficiência energética. *Anais do Encontro Anual de Tecnologia da Informação*, p. 86–93, 2018. Citado na página 21.
- SANTOS, B. P. et al. Internet das coisas: da teoria a prática. *Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, v. 31, 2016. Citado na página 20.
- SCHWARTZ, M. *Internet of Things with ESP8266*. [S.l.]: Packt Publishing Ltd, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 35.
- SEARCHINGER, T. et al. Creating a sustainable food future: a menu of solutions to feed nearly 10 billion people by 2050. *World Resources Institute*, 2019. Citado na página 15.
- SEGUNDO, D. N.; MOTA, M. A. Aerador de piscicultura alimentado com fonte de energia solar. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 4, n. 2, 2015. Citado na página 35.
- SENAR. Piscicultura: manejo da produção de peixes em viveiros. *Coleção SENAR 206*, 2017. Citado na página 48.
- SHAH, S. H.; YAQOOB, I. A survey: Internet of things (iot) technologies, applications and challenges. In: IEEE. *2016 IEEE Smart Energy Grid Engineering (SEGE)*. [S.l.], 2016. p. 381–385. Citado na página 23.
- SILVA, J. W. A. da et al. Effect of nitrate depletion on lipid accumulation by the marine microalga *nannochloropsis oculata*. *Boletim do Instituto de Pesca*, Instituto de Pesca, v. 41, n. Special, p. 811–816, 2015. Citado na página 50.
- SIQUEIRA, T. V. d. Aquicultura: a nova fronteira para aumentar a produção mundial de alimentos de forma sustentável. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2017. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- SUNDMAEKER, H. et al. Cluster of european research projects on the internet of things. *European Commision Vision and challenges for realising the Internet of Things*, 2010. Citado na página 20.
- SUNDMAEKER, H. et al. Uma introdução à internet da coisas(iot). *Lopez Research LLC*, 2013. Citado na página 20.
- TAN, L.; WANG, N. Future internet: The internet of things. In: IEEE. *2010 3rd international conference on advanced computer theory and engineering (ICACTE)*. [S.l.], 2010. v. 5, p. V5–376. Citado na página 22.
- TAO, F. et al. Iot-based intelligent perception and access of manufacturing resource toward cloud manufacturing. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, IEEE, v. 10, n. 2, p. 1547–1557, 2014. Citado na página 21.

VITOR VIDAL. *IoT: protocolo LoRaWAN e principais placas de desenvolvimento LoRa*. 2017. Disponível em: <<http://www.3glteinfo.com/lora/lora-architecture/>>. Acesso em: 27 mar. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.