



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

VICTOR JUNIOR DOS SANTOS BRITO

**O USO DE UM MODELO DE MONITORAMENTO SIMPLIFICADO COMO
FERRAMENTA PARA O ACOMPANHAMENTO DE PARÂMETROS FÍSICO-
QUÍMICOS EM SISTEMA DE AQUAPONIA AMAZÔNICO**

BELÉM
2023

VICTOR JUNIOR DOS SANTOS BRITO

**O USO DE UM MODELO DE MONITORAMENTO SIMPLIFICADO COMO
FERRAMENTA PARA O ACOMPANHAMENTO DE PARÂMETROS FÍSICO-
QUÍMICOS EM SISTEMA DE AQUAPONIA AMAZÔNICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais, área de concentração Avaliação de Recursos Pesqueiros, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Glauber David Almeida Palheta

**BELÉM
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- B862u Brito, Victor Junior dos Santos
 Uso de um Modelo de Monitoramento Remoto Simplificado como Ferramenta para o
 Acompanhamento de Parâmetros Físico-Químicos em Sistema de Aquaponia Amazônico / Victor Junior dos
 Santos Brito. - 2023.
 37 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Aquicultura e Recursos Aquáticos
 Tropicais (PPGARAT), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia,
 Belém, 2023.
 Orientador: Prof. Dr. Glauber David Almeida Palheta
1. Agricultura-inteligente. 2. Internet. 3. Inovação-técnica. I. Palheta, Glauber David Almeida ,
 orient. II. Título
-

VICTOR JUNIOR DOS SANTOS BRITO

**O USO DE UM MODELO DE MONITORAMENTO SIMPLIFICADO COMO
FERRAMENTA PARA O ACOMPANHAMENTO DE PARÂMETROS FÍSICO-
QUÍMICOS EM SISTEMA DE AQUAPONIA AMAZÔNICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais, área de concentração Avaliação de Recursos Pesqueiros, para obtenção do título de Mestre.

Aprovado em 15 de Fevereiro de 2023

Data de Aprovação.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
GLAUBER DAVID ALMEIDA PALHETA
Data: 24/04/2023 11:04:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Glauber David Almeida Palheta (Orientador)

Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA



Documento assinado digitalmente
FABIO CARNEIRO STERZELECKI
Data: 18/04/2023 18:18:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Fabio Carneiro Sterzelecki

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA



Documento assinado digitalmente
NUNO FILIPE ALVES CORREIA DE MELO
Data: 14/04/2023 12:35:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Nuno Filipe Alves Correia De Melo

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

Assinado de forma digital por Rayette Souza da
Silva:77480708220
Dados: 2023.04.13 09:48:28 -03'00'

Prof. Dr^a. Rayette Souza da Silva

Instituto Federal do Pará – IFPA

A Deus por ter me sustentado nos dias bons e ruins, à minha esposa pelo apoio e incentivo à minha filha, Maria Ester, e aos meus familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força, sabedoria e sustento neste período tão complexo e construtivo que foi a pós-graduação. Momento que enfrentei dificuldades financeiras, emocionais e acadêmicas. E, embora tenha passado tais intempéries, reconheço que foram fundamentais para minha maturidade pessoal, acadêmica, emocional e espiritual.

Agradeço à minha família e parentes que sempre estiveram ao meu lado, desde o período da minha primeira graduação, torcendo sempre e ajudando-me no que fosse preciso, a fim de que eu alcançasse meus objetivos e sonhos.

Agradeço especialmente à minha esposa Tainá Brito que, no momento mais difícil da nossa vida, apoiou-me financeiramente, quando fui demitido. A crença dela foi maior em mim do que a minha própria, em minhas capacidades. Daí decorre minha total gratidão a Deus pela esposa incrível que tenho, pois sempre ela incentivou-me a ir em frente, diante das oportunidades que surgissem.

Agradeço a Deus pela vida do meu orientador, Prof. Dr. Glauber David Almeida Palheta, pois, diante do pensamento visionário e científico dele, tive a oportunidade de ser orientado por ele, e ter recebido uma metodologia de ensino inovadora, contribuindo de forma excepcional com a minha formação acadêmica! Como diria ele: “não existem coincidências!”. Sou grato por todo apoio, orientação, motivação, aprendizado e amizade construída ao longo desta jornada acadêmica.

Agradeço aos docentes do Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais da Universidade Federal Rural da Amazônia (PPGAqRAT/UFRA), em especial Prof. Dr. Nuno Filipe Alves de Melo, Prof. Dr. Rodrigo Takata e Prof. Dr. Fábio Carneiro Sterzelecki, os quais contribuíram de forma diferenciada com a minha formação quanto profissional e, didaticamente, formando um profissional diferenciado: tanto técnica, quanto socialmente.

E agradeço aos meus amigos: Fernanda, Adriano, Alex, Larissa, Joane, Bianca, Chistian, Alexandre e tantos outros que me apoiaram, pois sempre tinham uma palavra de incentivo para continuar, principalmente diante das inúmeras adversidades de ordem financeira, de aprendizagem em certos assuntos e das crises emocionais. Agradeço a Deus por ter pessoas tão importantes que, de forma direta ou indiretamente, apoiaram-me, ensinaram-me e contribuíram de forma especial com a minha formação e desenvolvimento do meu trabalho, bem como também pela amizade especial e carinho que tenho por cada uma dessas pessoas.

*O fim de uma coisa vale mais do que o seu
começo. A pessoa paciente é melhor do que a
orgulhosa. Eclesiastes 7:8.*

RESUMO

Diante da necessidade mundial por alimentos, a aquaponia tem ganhado destaque por ser uma técnica que possibilita a produção de alimentos mais saudáveis, em um menor espaço de tempo, sendo assim, esta pesquisa teve como objetivo verificar a instalação, funcionamento e viabilidade de um sistema para monitoramento remoto de uma produção aquopônica, construído com produtos acessíveis comercialmente que possibilitaram a observação de parâmetros físico-químicos e a observação do desenvolvimento do cultivo vegetal. O experimento foi conduzido no Laboratório de Biosistemas Aquícolas Amazônicos (BIOAQUAM) da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). A avaliação do funcionamento do sistema ocorreu em 39 dias, em uma estufa do tipo capela, onde foi instalado um sistema de produção do tipo *floating*, que era acompanhado remotamente e presencialmente, contendo alface *baby leaf* do tipo alface-Creta Roxa, com espaçamentos entre linhas (5x5). A espécie animal utilizada foi o tambaqui (*Colossoma macropomum*), cultivado em uma densidade de 2,5 kg/m³. O sistema remoto de monitoramento contou com uma câmera modelo Smart (Câmera 360° Bot Wi-Fi Positivo), um termo-higrômetro (Balacoo - modelo Thermometer HTC-2) pH contínuo (Juanjuan - modelo pH-990). Foram mensurados de forma presencial a cada 3 dias, o oxigênio dissolvido, nitrito, nitrato e amônia com kit comercial água doce. A temperatura e umidade da estufa foram medidas diariamente com termo-higrômetro digital (WLXY, HF-2^a, SP, Brasil). Para fins de comparação e aferição, os parâmetros da água foram medidos através de equipamentos laboratoriais, na mesma periodicidade dos kits comerciais. Para o oxigênio dissolvido, foi utilizado uma sonda (YSI ProODO, OH, EUA, $\pm 0,01 \text{ mg L}^{-1}$), a condutividade (medidor de condutividade elétrica TDS& EC, SP, Brasil, $\pm 2\% \text{ FS}$) e o pH foi medido pelo aparelho (AKSO®, RS, Brasil, $\pm 0,01$). Amostras de água, posteriormente analisadas em laboratório, foram filtradas em membrana GF/F 0,7 μm . A análise da água incluiu amônia total $\pm 0,03 \text{ mg L}^{-1}$, assim como de nitrito (Griess reaction, RSD 4%), nitrato (RSD 1,14%), lido a 220 nm/270 nm em espectrofotometria Ionlab. Todos os dados foram submetidos ao teste de normalidade, homocedasticidade e análise de variância (ANOVA), pelo teste F ($p < 0,05$), usando o programa Statistica 7.0, verificou-se que o sistema funcionou para o acompanhamento das variáveis mensuradas, podendo ser utilizado como ferramenta auxiliar na tomada de decisão quanto ao cultivo.

Palavras-chave: Agricultura-inteligente; Internet; Inovação-técnica

ABSTRACT

Faced with the global need for food, aquaponics has gained prominence as a technique that enables the production of healthier foods in a shorter period of time, therefore, this research aimed to verify the installation, operation and viability of a system for remote monitoring of aquaponic production, built with commercially accessible products that made it possible to observe physical-chemical parameters and observe the development of plant cultivation. The experiment was carried out at the Laboratory of Amazonian Aquaculture Biosystems (BIOAQUAM) of the Federal Rural University of Amazonia (UFRA). The evaluation of the functioning of the system took place in 39 days, in a chapel-type greenhouse, where a floating-type production system was installed, which was monitored remotely and in person, containing baby leaf lettuce of the Purple Crete lettuce type, with spacing between rows (5x5). The animal species used was tambaqui (*Colossoma macropomum*), cultivated at a density of 2.5 kg/m³. The remote monitoring system had a Smart model camera (Camera 360° Bot Wi-Fi Positivo), a thermo-hygrometer (Balacoo - model Thermometer HTC-2) and continuous pH (Juanjuan - model pH-990). Dissolved oxygen, nitrite, nitrate and ammonia were measured in person every 3 days with a commercial freshwater kit. The temperature and humidity of the greenhouse were measured daily with a digital thermo-hygrometer (WLXY, HF-2^a, SP, Brazil). For comparison and measurement purposes, the water parameters were measured using laboratory equipment, at the same frequency as the commercial kits. For dissolved oxygen, a probe (YSI ProODO, OH, USA, ± 0.01 mg L⁻¹), conductivity (electrical conductivity meter TDS& EC, SP, Brazil, ± 2% FS) and pH were used. was measured by the device (AKSO®, RS, Brazil, ±0.01). Water samples, later analyzed in the laboratory, were filtered through a GF/F 0.7 µm membrane. The water analysis included total ammonia ± 0.03 mg L⁻¹, as well as nitrite (Griess reaction, RSD 4%), nitrate (RSD 1.14%), read at 220 nm/270 nm in Ionlab spectrophotometry. All data were submitted to the test of normality, homoscedasticity and analysis of variance (ANOVA), by the F test (p < 0.05), using the Statistica 7.0 program, it was verified that the system worked for the monitoring of the measured variables, can be used as an auxiliary tool in decision-making regarding cultivation.

Keywords: Smart-Agriculture; Internet; Technical innovation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO I – Contextualização

Figura 1 - Integração de IOT e IAS em um sistema de aquicultura20

CAPÍTULO II - o uso de um modelo de monitoramento simplificado como ferramenta para o acompanhamento de parâmetros físico-químicos em sistema de aquaponia amazônico

Figura 1 - Desenho experimental da estufa.....35

Figura 2 - Desenho experimental do sistema aquopônico e do monitoramento. A) câmera 360 positivo - 1; bandejas para o cultivo da alface - 2; régua milimetrada para medir alturas da alface – 3; equipamentos para parâmetros físicos da bandeja – 4; em B) tanque de cultivo animal -1; decantador -2; biofiltro -3; balde da bomba 4.....35

Figura 3 - Disposição da câmara e de sua visão.....35

Figure 4 - Disposição da câmara e de sua visão em relação ao cultivo.....36

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II - o uso de um modelo de monitoramento simplificado como ferramenta para o acompanhamento de parâmetros físico-químicos em sistema de aquaponia amazônico

- Tabela 1** - Controle dos parâmetros externo e interno do ambiente de cultivo. Legenda: Teste ANOVA pelo teste F ($p < 0,05$), usando o programa Past, aplicados para a temperatura. T = temperatura, UR.....**36**
- Tabela 2** - Comparativo dos parâmetros de oxigênio no ambiente de cultivo animal.....**36**
- Tabela 3** - Comparativo dos parâmetros ambiente de cultivo animal. Legenda: Teste ANOVA pelo teste F ($p < 0,005$), usando o programa Past. T = temperatura, pH - potencial hidrogeniônico.**36**
- Tabela 4** - Comparativo da qualidade da água para o cultivo de tambaqui. Legenda: NH₃ – Amônia; NO₂ - Nitrito.....**36**
- Tabela 5** - Análise dos dados obtidos pelo acompanhamento do crescimento vegetal das alfaces baby leaf Alface Creta. Legenda: Teste ANOVA tukey's ($p < 0,005$), usando o programa Past. Primeira coluna análise presencial, segunda coluna análise pela câmera 360.....**36**

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

BIOAQUAM - Laboratório de Biosistemas Aquáticos Amazônicos.

DWT - Deep Water Technique.

HDDs - Dispositivos de Discos Rígidos.

IOT - Internet of Things (Internet das Coisas).

NFT - Nutrient Film Technique.

SRA/RAS - Sistemas de Recirculação de Água.

SMART - Monitoring, Analysis, and Reporting Technology.

SSDs - Dispositivos de Estado Sólido.

TIC - Tecnologia da Informação e Comunicação.

TI - Tecnologia da Informação.

UFRA - Universidade Federal Rural da Amazônia.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - CONTEXTUALIZAÇÃO.....	14
1. INTRODUÇÃO GERAL	15
2. OBJETIVOS	17
2.1. Geral	17
2.2. Específicos	17
3. REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1. História da Tecnologia 4.0	18
3.2. Definições Conceituais.....	19
3.2.1. Automação	19
3.2.2. IOT (Internet of Things)	19
3.2.3. SMART.....	21
3.3. Aplicação na Aquicultura e Aquaponia.....	21
REFERÊNCIAS.....	23
CAPÍTULO II - O USO DE UM MODELO DE MONITORAMENTO SIMPLIFICADO COMO FERRAMENTA PARA O ACOMPANHAMENTO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM SISTEMA DE AQUAPONIA AMAZÔNICO.....	26
Resumo.....	28
Abstract.....	28
Introdução	29
Materiais e Métodos.....	29
Área de estudo	29
Desenho experimental.....	29
Desenvolvimento.....	30
Análises estatísticas.....	31
Resultados e Discussão.....	31
Ambiente de cultivo	31
Qualidade da água.....	32
Conclusão.....	33
AGRADECIMENTOS.....	33
Referências.....	33
CONSIDERAÇÕES FINAIS	37

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZAÇÃO

Elaborado de acordo com as normas da **Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)** e da **Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)**

INTRODUÇÃO GERAL

A aquicultura destaca-se em meio às atividades zootécnicas de maior crescimento nos últimos anos. E consiste no cultivo de organismos de ambientes dulcícolas ou marinhos tanto para fins alimentícios, como para não alimentícios, o qual também sofre influência de fatores socio econômicos em sua cadeia de produção (BUSH et al., 2019). A técnica reúne outras modalidades, dentre estas: a carcinicultura, que consiste na criação de camarão; a malacocultura, cultivo de moluscos, como ostras e mexilhões; entre outras. Porém, a criação de peixes (piscicultura) é o modelo que mais se destaca por apresentar a maior representatividade no sistema aquícola (BARROS et al., 2020).

No Brasil, pode-se observar uma heterogeneidade de modelos de cultivo aquícolas que ocorrem devido às particularidades geológicas, climáticas, técnicas de cultivo e as diferenças das espécies endêmicas (SANTOS, 2018). Na Amazônia, algumas décadas atrás, a técnica não era frequentemente utilizada devido à alta disponibilidade natural de pescado. (RUFFINO; ROUBACH, 2009). Além disso, a ausência de políticas públicas e suporte técnico contribuíram para uma baixa expressividade, em comparação a outros estados. (JÚNIOR; SOUZA, 2014). Entretanto, esse quadro vem mudando. O índice de produção na região norte vem aumentando, passando de 123.500t em 2014 para 158.900t em 2016. (PEIXE BR, 2016). O anuário de PEIXES BR de 2021 mostra que o norte do país é a 3ª região mais importante na produção da piscicultura no Brasil, com um percentual de 149.804 t. (PEIXES BR, 2021).

A piscicultura agrega uma variedade de modelos de produção. O modelo extensivo é o mais tradicional, sendo uma técnica rudimentar e um menor custo. Na Amazônia, este sistema é adotado por 76% dos produtores. O nível de escolaridade do produtor interfere diretamente na permanência do sistema extensivo (JÚNIOR; SOUZA, 2014). Esta condição impede que o produtor ouse aplicar novas técnicas com maior tecnologia e que podem ajudar a elevar a produtividade. (DE-CARVALHO; SOUZA; CINTRA, 2013).

Para superar essas dificuldades, tem crescido, entre a comunidade rural, o uso de tecnologias como smartphones e computadores para gerenciamento da produção, entretanto, cada região do país apresenta particularidades em relação à preferência pelo uso de uma dada tecnologia (CONCEIÇÃO; SCHNEIDER, 2019). No sul e sudeste do país, por exemplo, o uso mais frequente para obtenção de informações ocorre através de computadores. Diferentemente, na região norte e nordeste, o uso do smartphone apresenta-se como principal ferramenta de gestão. Dessa forma, a ausência de políticas públicas, e o custo para implementação de infraestrutura com sistemas telefônicos e antenas de transmissão fazem com que o produtor

opte por opções com menor custo, entretanto, que lhe ofereçam maior mobilidade (CONCEIÇÃO; SCHNEIDER, 2019).

Apesar das dificuldades a que o produtor está sujeito, entre elas a ausência de subsídios e infraestrutura, trabalhos realizados em comunidades rurais na Amazônia Legal mostram que o uso do smartphone, utilizado de forma adequada, apresenta resultados positivos e um baixo custo econômico. Podem ser usados como ferramentas para monitorar, coletar e realizar um banco de dados em comunidades que praticam pesca artesanal (OVIEDO; BURSZTYN, 2017).

Os aplicativos de redes sociais também são aliados quando se trata de transmissão de informações e suporte entre os produtores aquícolas. O uso dessas ferramentas funciona como canal para o compartilhamento de informações, para o desenvolvimento de um sistema mais sustentável. (SANTOS et al., 2021)

Sendo assim, este trabalho visa à construção de um modelo IOT de monitoramento remoto, através da rede Wi-Fi, baseado em interação via constituintes físicos (câmera, ip, smartphone, pHmetro, termo higrômetro), digitais (aplicativo de monitoramento, captura de imagem) com usuários finais (técnicos e produtores) e verificar seu uso como ferramenta para auxiliar a produtividade, em sistema de aquaponia. Portanto, busca-se avaliar o processo de coleta de dados e sua aplicação durante um ciclo de produtivo, visando à formação de um banco de dados

OBJETIVOS

1.1. Geral

- objetivo deste trabalho é construir um sistema de monitoramento remoto, para acompanhamento das variáveis de cultivo em aquaponia, utilizando equipamentos e materiais já disponíveis comercialmente.

1.2. Específicos

- Construir um modelo simples e de fácil manuseio para o monitoramento remoto de sistema aquaponico;
- Testar a viabilidade da coleta de dados físico-químicos de forma remota (pH, temperatura do ar, temperatura da água, umidade do ar), assim como observar o crescimento do vegetal via remotamente;
- Verificar a possibilidade da coleta de informações e assessoramento através da interação, por meio do uso de aplicativos de mensagens.

REVISÃO DE LITERATURA

1.3. História da Tecnologia 4.0

A aquaponia é uma tecnologia milenar que tem sido amplamente utilizada. Os astecas e babilônios já se valiam dessa tecnologia para a produção de alimentos de origem animal e vegetal, sendo as "Chinampas", por exemplo, muito aplicadas nos jardins flutuantes astecas (TURCIOS; PAPENBROCK, 2014). Atualmente, o nome da tecnologia é derivado da combinação das palavras aquicultura e hidroponia, para a produção de peixes e vegetais (KLEDAL; THORARINSDOTTIR, 2018).

Os sistemas aquapônicos podem ser divididos em três tipos, sendo: Nutrient Film Technique (NFT), o leito com mídia e o Deep Water Technique (DWT). No NFT, o volume de água é baixo, para estabelecer a cultura. No leito com mídia, os substratos são empregados para a fixação das plantas. E, por fim, no DWT, as plantas ficam flutuando na coluna de água (LENNARD; GODDEK, 2019).

Nos últimos 35 anos, a aquicultura deixou de empregar grandes cultivos escavados para sistemas menores de recirculação de água (RAS). Neste sistema recirculante, a densidade de peixes criados é maior, reduzindo a necessidade de espaço. Seguindo esta tendência, de maximizar a produção em menores espaços, os aquicultores depararam-se com a problemática de lidar com os resíduos dos peixes. Começou-se então a analisar a capacidade de plantas aquáticas filtrarem a água dos peixes. À medida que as pesquisas foram sendo desenvolvidas, logo constataram que as plantas terrestres também poderiam estar sendo utilizadas para purificação da água (RAKOCY, 2012; ENDUTA; ALI; WAN, 2011).

Em outro sistema de cultivo, a hidroponia, os nutrientes estão disponíveis para as plantas em forma de sais (adquiridos em lojas especializadas), que recirculam no sistema até serem substituídos por uma nova solução (MATTSON; HEINRICH LIETH, 2019). Com a aquaponia, os peixes disponibilizam 10 dos 13 nutrientes essenciais para as plantas, faltando apenas Cálcio, Potássio e Ferro (BLANCHARD, 2020). Isto permite uma redução considerável nos custos e ainda fornece uma nova fonte de alimento. Os peixes alimentam as plantas que, por sua vez, devolvem a água limpa para o tanque, em um ciclo fechado, com baixo consumo de água e energia elétrica (TIMMONS; EBELING, 2013.). Apesar de todos os benefícios que aquaponia oferece, a dependência de energia elétrica para sua operacionalidade ainda é um fator limitante para sua implementação (CARNEIRO et al., 2015.)

A aquaponia é um sistema consolidado para a produção de alimentos de qualidade, unindo a criação de animais aquáticos e plantas ao mesmo tempo. Essa tecnologia se comporta como uma alternativa mais eficaz e sustentável do que os recursos tradicionais, gerando inúmeros benefícios, tanto sociais quanto ambientais. (MCMURTRY et al., 1997; COHEN et al., 2014).

Em virtude da demanda de consumo e da necessidade de conservação dos recursos naturais, em especial a água, os meios de produção exigem técnicas inovadoras que possibilitam o consumo sustentável (GREENFELD, 2018). Essa não é uma preocupação recente, principalmente em países como Canadá, Estados Unidos e Israel que possuem pouca disponibilidade hídrica.

A aquaponia surge como uma solução de integração dos sistemas de recirculação e de hidroponia. Esses sistemas já são utilizados e estão em desenvolvimento no Brasil, onde os cultivos aquícolas são elaborados conforme a características climáticas de cada região, assim como as espécies nativas ou adaptadas a cada clima. Apesar do crescimento de adeptos desta técnica de cultivo, o Brasil ainda apresenta baixa representatividade em relação a comercialização e um dos motivos é a necessidade da pesquisa científica existente se adequar de forma acessível, em uma linguagem compreensível, conforme o público consumidor (MACHADO et al., 2011).

1.4. Definições Conceituais

1.4.1. Automação

A automação consiste na troca do trabalho humano pela operação de uma máquina autônoma ou com a mínima interferência de atividade humana. O sistema automático tem uma configuração de atuação própria, deve reagir e agir de acordo com os tempos prescritos ou sob certas condições (SHARMA et al., 2020).

1.4.2. IOT (Internet of Things)

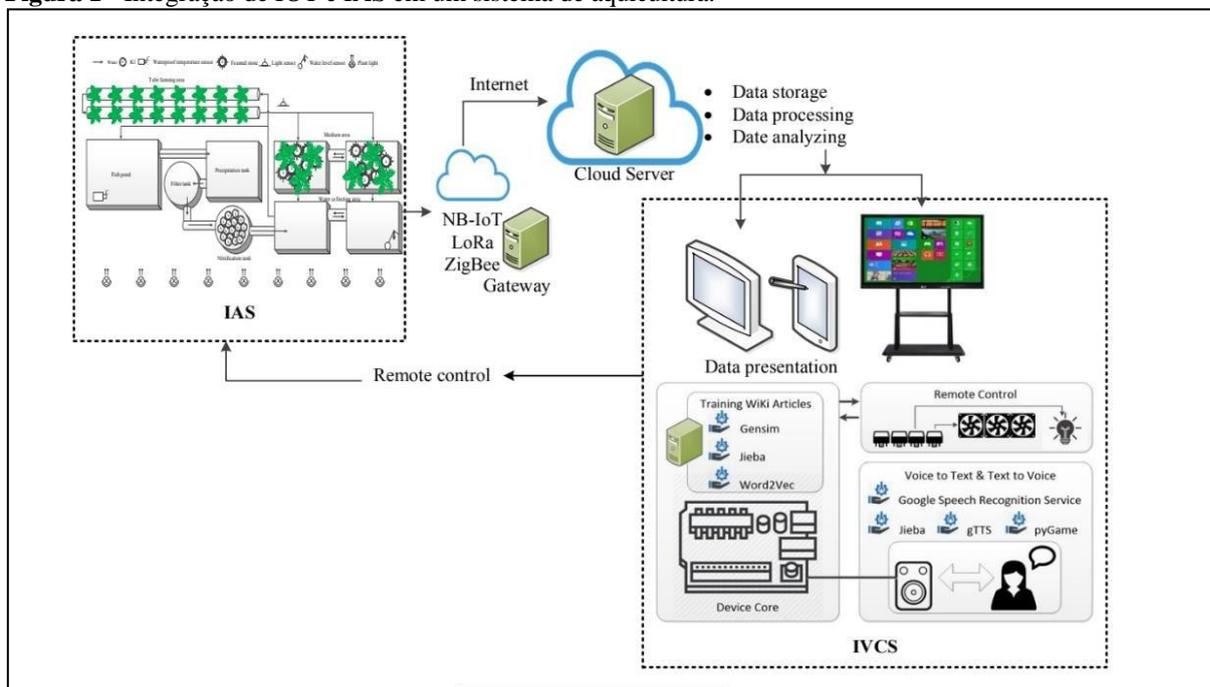
O conceito de IoT consiste em uma rede global de objetos inteligentes conectados por meio de tecnologias expandidas da internet, um conjunto de sensores e dispositivos para tornar possível a comunicação entre esses objetos, e a aplicações e os serviços que possam centralizar os dados e informações obtidas, servindo como impulso para novos negócios e oportunidade de mercado (WANG et al., 2015).

A IoT, abreviatura do termo Internet of Things, pode ser definida como a comunicação Machine-to-Machine, traduzindo para o português “máquina a máquina”, e representa as tecnologias que permitem a comunicação entre dispositivos (ALAM; EL SADDIK, 2017). A

internet, possibilita que objetos físicos, dos mais variados tipos, possam se comunicar, compartilhar dados e informações, tornando assim, os sistemas ainda mais conectados. A internet das coisas pode ser utilizada em inúmeros setores, na indústria nas cidades, ou até mesmo servindo como um facilitador para a vidas dos cidadãos, (THIBAUD et al., 2018).

A capacidade de objetos inteligentes de interagir no ambiente físico é possível devido à existência de dispositivos que podem detectar e converter fenômenos físicos no ambiente, ou o ambiente, em um conjunto de dados e informações, além de possibilitar comportamentos provocativos no ambiente físico e no meio ambiente (Figura 1) (ALAM; EL SADDIK, 2017).

Figura 1 - Integração de IOT e IAS em um sistema de aquicultura.



Fonte: Wang et al. (2020).

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

A implementação de projetos, em conjunto com a IOT, para a produção é possível, ainda que haja limitações neles, pois, mesmo com toda carência de infraestrutura, trabalhos recentes mostram que as regiões Norte e Nordeste, em comparação a outras do Brasil, possuem produtores mais familiarizados com o uso de smartphones do que com computadores. Com celulares, o acesso à internet, via pacotes de dados, torna-se mais flexível, além de não precisarem de outros acessórios para captar o sinal. Por outro lado, o uso de computadores, em algumas áreas, torna-se inviável devido à falta de políticas públicas e o alto custo para a

aquisição de computadores e acessórios para ter acesso à internet. Com isso, o uso de smartphone constitui-se como a ferramenta mais viável na implementação de projetos em propriedades rurais (CONCEIÇÃO; SCHNEIDER, 2019).

1.4.3. SMART

Self-Monitoring, Analysis, and Reporting Technology (SMART), em português significa “tecnologia de automonitoramento, análise e relatório”, é um sistema de monitoramento incluído em dispositivos de discos rígidos (HDDs) e dispositivos de estado sólido (SSDs). Atualmente, a maioria dos discos rígidos está equipada com um sistema de monitoramento chamado SMART. É um sistema de detecção de anomalias, baseado nos limites que uma coleta faz a um grande número de parâmetros de desempenho, e verifica se eles excedem os limites predefinidos (WANG; LIN; HSIEH, 2020).

As anomalias detectadas pelo SMART podem indicar uma falha iminente. Embora o SMART seja amplamente usado em discos modernos, pesquisas recentes mostram que ele atinge apenas uma taxa de detecção de falhas de 3% a 10% (RAJASHEKARAPPA1; SUNJIV, 2011). Para modelar a série temporal de estados do disco e assim obter um modelo de degradação progressiva, descrevemos os nós com esses atributos SMART como descendentes do nó RUL no modelo G. Outliers, para determinados atributos SMART, podem indicar possíveis falhas (RAJASHEKARAPPA1; SUNJIV, 2011; REITSEMA; HORDIJK, 2015).

As falhas do disco rígido são previsíveis, causadas pelo desgaste mecânico e degradação das superfícies de armazenamento. O monitoramento pode determinar quando essas falhas estão próximas de acontecer, mas falhas imprevisíveis também podem ocorrer sem aviso, como falhas em componentes eletrônicos ou mecânicas (HUDSON-SMITH; HÜGEL; ROUMPANI, 2020).

1.5. Aplicação na Aquicultura e Aquapionia

A automação dos sistemas ajuda a eliminar atividades desnecessárias que geram estresse (quando executadas de forma manual e diária por pessoas), ajudando a criar demanda por mão de obra especializada e isto gera oportunidades de empregos, nas quais o ser humano é mais valorizado, podendo trabalhar na construção, vendas, operação e manutenção das máquinas, ao invés de apenas executar as atividades (JIANG, 2018). Os sistemas inteligentes possibilitam contribuir para aumentar a produção e reduzir os custos aplicados na aquicultura de água doce, quando usados para monitorar variáveis ambientais da água em tempo real, tais como: concentração de oxigênio, temperatura e pH (TOLENTINO et al., 2020; GAYAM et al., 2022).

A aplicação dessa tecnologia pode trabalhar em conjunto, trazendo resultados e benefícios para os sistemas aquapônicos (KARIMANZIRA; RAUSCHENBACH, 2019). Gayam et al. (2022) apresentam uma análise da implementação e progresso da tecnologia sem fios em sistemas aquapônicos. O estudo discute os parâmetros significativos da água em ambientes da aquaponia. Com o avanço dos sensores sem fios e a utilização da Internet das Coisas (IoT), é possível monitorar em tempo real, controlar e fazer a gestão de sistemas aquapônicos, com a aquisição de dados pelo sensor de intensidade luminoso, do ar, pH, temperatura da água e pelo sensor de temperatura e umidade, em sistemas de recirculação (TOLENTINO et al., 2020).

REFERÊNCIAS

- ALAM, K. M.; EL SADDIK, A. C2PS: A Digital Twin Architecture Reference Model for the Cloud-Based Cyber-Physical Systems. **IEEE Access**, v. 5, p. 2050–2062, 2017. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2663759.
- BARROS, K. D. DAS N. et al. Protocolo para avaliação de boas práticas de manejo na piscicultura no estado do Pará: um estudo de caso. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e512985639–e512985639, 18 jul. 2020.
- BLANCHARD, C.; WELLS, D. E.; PICKENS, J. M.; BLERSCH, D. M. Effect of pH on Cucumber Growth and Nutrient Availability in a Decoupled Aquaponic System with Minimal Solids Removal. **Horticulturae**, v. 6, n. 1, p. 10, 2020.
- BUSH, S. R. et al. Emerging trends in aquaculture value chain research. **Aquaculture**, v. 498, p. 428–434, jan. 2019.
- CARNEIRO, P.C.F. et al. **Aquaponia: produção sustentável de peixes e vegetais**. Macapá, 2015. 683–706p. v 2.
- COHEN, M.; PANTANELLA, E.; STANKUS, A.; LOVATELLI, A. **Small-scale Aquaponic Food Production**. FAO, Rome. 2014.
- CONCEIÇÃO, A. F de.; SCHNEIDER, S. Internet e agricultura familiar: Algumas percepções sobre as mudanças no meio rural. **MARGENS - Revista Interdisciplinar**, v.13, n. 20, p. 59-71, 2019.
- DE-CARVALHO, P.R.V.; SOUZA, G.R.; CINTRA, I.H.A. Tecnologias na piscicultura e sua influência na produtividade do pescado: uma revisão de literatura. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 39, n. 2, p. 101-111, 2013.
- DING, K.; JIANG, P. RFID-based production data analysis in an IoT-enabled smart job-shop. **IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica**, v. 5, n. 1, p. 128–138, jan. 2018.
- ENDUTA, J. A.; ALI, N.; WAN, N. W. B. Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system. **Desalination and Water Treatment**, 32(1–3): 422–430. 2011.
- GAYAM, M.; GUPTA, A.; OJHA, V. K.; DUTTA, S. A review on smart technologies for aquaculture: Current status, challenges and future directions. **Journal of Environmental Management**, v. 298, p. 113515, 2022. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113515.
- GREENFELD, A., BECKER, N., MCILWAIN, J., FOTEDAR, R., & BORNMAN, J. F. Economically viable aquaponics? Identifying the gap between potential and current uncertainties. **Reviews in Aquaculture**, doi:10.1111/raq.12269. 2018.
- HUDSON-SMITH, A.; HÜGEL, S.; ROUPANI, F. Self-monitoring, analysis and reporting technologies: Smart cities and real-time data. **In**: A. Karvonen, M. Cugurullo, & J. Caprotti (Eds.), *The Routledge Companion to Smart Cities* (pp. 383-394). Routledge. 2020.
- JÚNIOR, C. R. M. O. DE A.; SOUZA, R. A. L. DE. Aquicultura No Nordeste Paraense, Amazônia Oriental (Brasil). **Boletim Técnico Científico do CEPNOR**, v. 13, n. 1, p. 33–42, 17 jun. 2014.

- KARIMANZIRA, D., RAUSCHENBACH, T. Enhancing aquaponics management with IoT-based Predictive Analytics for efficient information utilization. **Information Processing in Agriculture**, 6(3), 375-385. 2019.
- KLEDAL, P. R.; THORARINSDOTTIR, R. Aquaponics: A Commercial Niche for Sustainable Modern Aquaculture. **Sustainable Aquaculture**, 173–190. doi:10.1007/978-3-319-73257-2_6. 2018.
- LENNARD, W.; GODDEK, S. Aquaponics: the basics. **Aquaponics food Prod. Syst.**, v. 113, 2019.
- MACHADO, L.; A.; Z.; BALBINO, L.; C.; CECCON, G.; **Integração lavoura-pecuária floresta. 1. Estruturação dos sistemas de integração lavoura-pecuária.** Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 46 p. 2011.
- MATTSON, N.; HEINRICH, J. L. Chapter 12 - Liquid Culture Hydroponic System Operation. **In: RAVIV, M.; LIETH, J. H.; BAR-TAL, A. Soilless Culture.** 2. ed. Elsevier, 2019. p. 567-585. ISBN 9780444636966. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696-6.00012-8>.
- MCMURTRY, M. R, SANDERS, D. C, CURE, J. D, HODSON, R. G, HANING, B. C, ST. AMAND E. C. Efficiency of water use of an integrated fish/vegetable co-culture system. **Journal of the World Aquaculture Society**, 28(4): 420–428.1997.
- OVIEDO, A. F. P.; BURSZTYN, M. Community-based monitoring of small-scale fisheries with digital devices in Brazilian Amazon. **Fisheries Management and Ecology**, v. 24, n. 4, p. 320–329, 2017.
- PEIXES BR. **Anuário Brasileiro da Piscicultura Peixes BR 2016.** Associação Brasileira da Piscicultura, 2016.
- PEIXES BR. **Anuário Brasileiro da Piscicultura Peixes BR 2021.** Associação Brasileira da Piscicultura, 2021.
- RAKOCY, J. E. Aquaponics - integrating fish and plant culture. **In: TIDWELL, J. (Ed.). Aquaculture Production Systems.** Hoboken: Wiley Online Library, 2012. p. 603-612.
- RAJASHEKARAPPA, K.M. SUNJIV SOYJAUDAH. Self monitoring analysis and reporting technology (SMART) copyback. In International Conference on Information Processing (pp. 463-469). **Springer**, Berlin, Heidelberg August, 2011.
- REITSEMA, A.; HORDIJK, D. Towards a SMART Bridge: A Bridge with Self-Monitoring, Analysing, and Reporting Technologies. In: Proceedings of the SMAR 2015 - The Second Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures. **Elsevier**, p. 175-180, 2015.
- RUFFINO, M. L.; R. ROUBACH. **A pesca e aqüicultura na Amazônia brasileira.** **In: Zamudio, HB, CHS Hernando, MO Olalde, MA Tarancón (Eds.). Amazônia y Agua: desarrollo sostenible en el Siglo XXI.** UNESCO, 249-258, 2009.
- SANTOS, M. C. et al. Comunidades de prática digitais e sustentabilidade da aqüicultura na Amazônia brasileira. O caso da rede social on-line WhatsApp “Peixe de Rondônia”. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, 20 jan. 2021.
- SANTOS, S. M. dos. **Efeitos da piscicultura em canais de igarapés sobre a ictiofauna na Amazônia Central.** 2018. 112 f. Tese, (Doutorado em Ciências Pesqueiras nos Trópicos) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

SHARMA, M.; SINGLA, M. K.; NIJHAWAN, P.; GANGULI, S.; RAJEST, S. S. An Application of IoT to Develop Concept of Smart Remote Monitoring System. **In: Business Intelligence for Enterprise Internet of Things**. Cham: Springer, 2020. p. 233-239.

TIMMONS, M. B., EBELING, J. M. **Recirculating Aquaculture**, 3rd ed. Ithaca Publishing Company LLC, Ithaca. 2013.

TURCIOS, A. E.; PAPENBROCK, J. Sustainable treatment of aquaculture effluents what can we learn from the past for the future? **Sustainability (Switzerland)**, v. 6, n. 2, p. 836-856, 2014.

TOLENTINO, L. K. S., FERNANDEZ, E. O., AMORA, S. N. D., BARTOLATA, D. K. T., SARUCAM, J. R. V., SOBREPENÑA, J. C. L., & SOMBOL, K. Y. P. Yield evaluation of brassica rapa, Lactuca Sativa, and brassica Integrifolia using image processing in an IoT-based Aquaponics with temperature-controlled greenhouse. **AGRIVITA, Journal of Agricultural Science**, 42(3), 393-410. 2020.

THIBAUD, M. et al. Internet of Things (IoT) in high-risk Environment, Health and Safety (EHS) industries: A comprehensive review. **Decision Support Systems**, v. 108, p. 79–95, 1 abr. 2018.

WANG, F. et al. A Survey from the Perspective of Evolutionary Process in the Internet of Things. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 11, n. 3, p. 462752, 1 mar. 2015.

WANG, S. C., LIN, W. L., HSIEH, C. H. To improve the production of agricultural using IoT-based aquaponics system. **International Journal of Applied Science and Engineering**, 17(2), 207-222. (2020).

CAPÍTULO II

O USO DE UM MODELO DE MONITORAMENTO SIMPLIFICADO COMO FERRAMENTA PARA O ACOMPANHAMENTO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM SISTEMA DE AQUAPONIA AMAZÔNICO

Artigo elaborado de acordo com as normas da revista **Agrivita Journal of Agricultural Science** (eISSN: 2477 - 8516)

COVER PAGE**I. THE USE OF A SIMPLIFIED REMOTE MONITORING MODEL AS A TOOL FOR MONITORING PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS IN AN AMAZONIAN AQUAPONICS SYSTEM**

Victor junior dos Santos BRITO¹⁾, Glauber David Almeida PALHETA²⁾, Fabio Carneiro STERZELECKI³⁾, Nuno Filipe Alves Correia de MELO⁴⁾, Joane Natividade de SOUZA⁵⁾

II. First author

1. **Name:** Victor junior dos Santos Brito
2. **Afiliation:** Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA
3. **E-mail:** victorbrito.biologo@gmail.com
4. **Orcid ID:** <https://orcid.org/0009-0006-6197-5487>
5. **Contribution to this Manuscript:** Conceptualization, Methodology, Validation, Formal analysis, Investigation, Resources, Data curation, Writing - original draft.

III. Second author

1. **Name:** Glauber David Almeida PALHETA
2. **Afiliation:** Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA
3. **E-mail :** gpalheta@gmail.com
4. **Orcid ID:** <https://orcid.org/0000-0002-8032-8377>
5. **Contribution to this Manuscript:** Formal analysis, Investigation, Resources, Funding.

IV. Third author

1. **Name:** Fabio Carneiro Sterzelecki
2. **Afiliation:** Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA
3. **E-mail:** sterzelecki@gmail.com
4. **Orcid ID:** <https://orcid.org/0000-0002-4094-4693>
5. **Contribution to this Manuscript:** Investigation, Visualization, review & editing.

IV. Four author

1. **Name:** Nuno Filipe Alves Correia De Melo
2. **Afiliation:** Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA
3. **E-mail:** nuno.melo@ufra.edu.br
4. **Orcid ID:** <https://orcid.org/0000-0003-4163-4133>
5. **Contribution to this Manuscript:** Investigation, Visualization, review & editing.

Five author

1. **Name:** Joane Natividade de Souza
2. **Afiliation:** Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA
3. **E-mail:** joanenatividade@gmail.com
4. **Orcid ID:** <https://orcid.org/0000-0003-4910-2203>
5. **Contribution to this Manuscript:** Investigation, Visualization, review & editing.

V. Acknowledgement

This study was supported by CAPES, the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior, project PROCAD-Amazônia.

VI. Reviewer Candidates**Requirements for the candidates:**

1. The candidates should have speciality in authors' research topic
2. The candidates should come from different institutions with authors (especially from different countries)
3. The candidates should not join the authors' research project

1. Scopus/Orcid ID: E-mail:
2. Scopus/Orcid ID: E-mail:
3. Scopus/Orcid ID: E-mail:

The Use of a Simplified Remote Monitoring Model as a Tool for Monitoring Physicochemical Parameters in an Amazonian Aquaponics System

ABSTRACT

Aquaponics has stood out for its benefits and versatility, such as less water use and the offer of healthy foods. It is necessary to consider that in order to obtain a positive result, the observation, measurement and interpretation of data must be done constantly. The objective of this study is to demonstrate the feasibility of remote observation, through a simplified system, of physical-chemical data and the development of an aquaponic production of the baby leaf type of Cretan lettuce. The experiment was conducted at the Laboratory of Amazonian Aquatic Biosystems (BIOAQUAM). Data were evaluated by statistical comparison remotely and in person. The animal species cultivated in the system was the tambaqui (*Colossoma macropomum*), at a density of 2.5 kg/m³. A 360° Bot Camera was used, with Wi-Fi, from the Positivo brand, installed close to the cultivation of creta lettuces, capturing in real time the growth of the vegetable, the data obtained from the respective equipment: pHmeter and Thermo-hygrometer, both with probes inserted in the water system of the plant. The physical-chemical data obtained were compared in person with the remote information, in order to obtain the validation of the system. The results obtained proved the viability of using the remote model, in a complementary way.

Keywords: automation system, baby leaf, production control, tambaqui.

RESUMO

A aquaponia tem se destacado por apresentar benefícios e versatilidade, como menor uso hídrico e oferta de alimentos saudáveis. É preciso considerar que para se obter resultado positivo, a observação, mensuração e interpretação dos dados deve ser feita de forma constante. O objetivo desse estudo é demonstrar a viabilidade da observação remota, por meio de um sistema simplificado, de dados físico-químicos e do desenvolvimento de uma produção aquopônica do tipo *baby leaf* de Alfaces Creta Roxa. O experimento foi conduzido no Laboratório de Biosistemas Aquáticos Amazônicos (BIOAQUAM). Os dados remotos e presenciais foram avaliados estatisticamente. A espécie de animal cultivada no sistema foi o tambaqui (*Colossoma macropomum*), em uma densidade de 2,5 kg/m³. Foi utilizada uma Câmera 360° Bot, com Wi-Fi, da marca Positivo, instalada próximo ao cultivo das Alfaces Creta Roxa, capturando em tempo real, os dados obtidos dos respectivos equipamentos: pHmetro e Termo-higrômetro, ambos com sondas inseridas no sistema hídrico do vegetal assim como na observação do crescimento do cultivo. Os dados físico-químicos obtidos foram presencialmente comparados com as informações remotas, de modo a se obter a validação do sistema. Os resultados obtidos comprovaram a viabilidade do uso do modelo remoto, de forma complementar.

Palavras-chave: sistema de automatização, controle de produção, *baby leaf*, tambaqui.

INTRODUÇÃO

A produção de alimentos vem se tornando cada vez mais informatizada. Com os avanços tecnológicos, existem inúmeras ferramentas físicas e virtuais que são utilizadas, reduzindo o tempo das etapas de produção (Thar, et al., 2021). E todo esse processo é possível graças ao uso da TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação) que possibilita o encurtamento da distância entre o produtor e sua produção. A internet também contribui com este processo, gerando conectividade entre equipamentos e possibilitando a troca de informações (Fabrício; Behrens; Bianchini, 2020).

Sabe-se que, nos últimos anos, ocorreu o crescimento de trabalhos sobre o uso da robótica, associada à tecnologia da informação e comunicação. Essas ferramentas contribuem significativamente para o acompanhamento da produção, até mesmo de forma remota. (Luna et al., 2017).

Os sistemas aquapônicos utilizam conceitos de economia de um sistema recircular e biométricos naturais para minimizar insumos e desperdícios (Kledal; Thorarinsdottir, 2018). A automação inteligente trouxe inúmeros benefícios para esse tipo de produção: uma redução significativa do trabalho manual e um maior controle robusto do processo, aumentando a acessibilidade e conectividade dos parâmetros, utilizando capacidades informáticas para as tomadas decisões, orientadas por dados (Martinez et al., 2019).

Em uma solução para reduzir os custos de produção e aumentar a qualidade é utilizado a Tecnologia da Informação (TI) a favor desta demanda de produção de alimentos. Na área de cultivo aquapônicos seria possível utilizar a IoT para conectar sensores nos tanques de cultivo animal e vegetal, na estufa para detecção de umidade, a fim de obter mais precisão para controle, câmeras para análise de imagens, visando identificar a presença de anomalias tais como: insetos, doenças, e o compartilhamento dessas imagens, entre o produtor e o consultor, a fim de melhorar e garantir a produção (Manju, 2017).

No presente trabalho, o conceito de IoT é aplicado para os sistemas de aquaponia, no monitoramento do ambiente de cultivo, na produção de *baby leaf* Alface Creta Roxa, com sensores e equipamentos de baixo custo econômico, sendo acessível para pequeno e médio produtor e com padrão de montagem simplificado.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O experimento foi conduzido no Laboratório de Biosistemas Aquáticos Amazônicos (BIOAQUAM), da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

Desenho experimental

Foi construída uma estufa capela não climatizada de 144 m², com 3,5 m de altura, 12 m de largura e 12 m de comprimento, coberta por material plástico de baixa densidade com espessura de 0,15 mm e sem sombrite nas laterais. A estrutura foi feita em madeira com altura do pé direito de 3,00 m. (Figura 1).

A implementação do projeto durou 39 dias, sendo iniciado no dia 5 de novembro e concluído no dia 13 de dezembro de 2021. Este trabalho foi realizado de forma remota e presencial, acompanhando um experimento de alfaces *baby leaf*, cultivado em aquaponia.

Dentro da estufa, foi instalada uma bandeja de germinação floating em uma estrutura de madeira de 1,84 m de largura, 4,10 m de comprimento e 1 m de altura. Os animais foram criados em um tanque retangular de 5 mil litros. O cultivo dos vegetais ocorreu em uma mesa retangular de 0,75 m de altura, 2,06 m de largura e 3,25 m de comprimento, com capacidade de armazenamento de cerca de 1m³ conforme (Ribeiro; Testezlaf; Ferrarezi, 2017).

Em uma piscina de 5 mil litros eram cultivados os tambaquis cujos efluentes eram direcionados para o cultivo correspondente a *baby leaf* Alface Creta Roxa (Figura 2).

Para a coleta de dados de maneira remota, foi usada uma câmera Smart Câmera 360° Bot Wi-Fi positivo para coletar dados dos equipamentos próximos da bancada de cultivo de baby leaf. As imagens capturadas foram compartilhadas por um aplicativo de mensagens de texto e os dados foram extraídos e organizados em planilhas para controle. Os equipamentos utilizados para mensurar as informações físicas e químicas foram, respectivamente, termo-higrômetro e pHmetro, além de uma régua milimetrada para observar o crescimento do cultivo. Utilizou-se também os kits de OD, amônia e nitrito (LabconTest®), para análises de oxigênio, amônia e nitrito em campo.

DESENVOLVIMENTO

Depois de construir as estruturas, iniciou-se o cultivo aquaponico. Efluentes oriundo dos tambaquis foram tratados em um biofiltro e usados para irrigar alface baby leaf do tipo Alface Creta Roxa com espaçamento (5x5), com 3 plântula. célula⁻¹, com 32 células úteis, e total de 96 plantas.m².

Por meio de uma câmera Wi-Fi, foi possível observar os dados fornecidos através dos mostradores digitais do pHmetro (Juanjuan - modelo pH-990) e do termo-higrômetro (Balacoo - modelo Thermometer HTC-2) que variavam conforme as alterações químicas e físicas que ocorriam no meio hídrico do cultivo de Alface Creta Roxa assim como da variação de temperatura e umidade do ar da estufa. Estes dados eram coletados diariamente hora em hora iniciando as 7h da manhã e finalizando as 16h

Uma vez ao dia no período matutino, eram registrados os valores de temperatura e umidade do ar interno, utilizando um termo-higrômetro modelo WLXY® modelo HF-2^a e fora da estufa o aplicativo Termômetro++ media a temperatura do ar. A temperatura da água e o oxigênio dissolvido (YSI ProODO, OH, EUA, ± 0,01 mg L⁻¹), a condutividade (medidor de condutividade elétrica TDS& EC, SP, Brasil, ± 2% FS), a intensidade de luz no sistema foi medida por medidor de precisão digital, modelo Tasi Ta8121 e também por meio do aplicativo Luxímetro já o pH foi utilizado (medidor de pH AKSO®, RS, Brasil, ±0,01).

As coletas para verificação de compostos nitrogenados foram realizadas a cada 3 dias, a partir da colocação das mudas no sistema de aquaponia. As amostras foram coletadas da água do tanque de peixes, 30 cm abaixo da superfície. Foram acondicionadas em potes de 200 ml, devidamente identificadas (etiquetadas com data, hora, e acondicionados de forma a conservar o material). Também foram feitas análises em campo, por meio do kit nitrogenados e oxigênio dissolvido (LabconTest®). A coleta ocorria de de 3 em 3 dias.

Em laboratório as amostras foram filtradas em membrana GF/F 0,7 µm. A análise incluiu amônia total (BOLLETER et al. (1961), $\pm 0,03$ mg L⁻¹), nitrito (Griess reaction, RSD 4%), nitrato (RSD 1,14%), lido a 220 nm/270 nm em espectrofotometria Ionlab, PR, Brasil, usando a metodologia APHA (1995). Para validação do monitoramento do crescimento do cultivo foram comparados estatisticamente os dados obtidos remotamente e presencialmente. Para medir remotamente o crescimento das Alfaces Creta Roxa foi utilizado uma régua milimetrada de 5 em 5 cm. (Figura 4).

Análises estatísticas

Os dados de qualidade da água, características agronômicas e zootécnicas, foram submetidos ao teste de normalidade, homocedasticidade e análise de variância (ANOVA), pelo teste F ($p < 0,05$), usando o programa Statistica 7.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período experimental deste trabalho, verificou-se que a produção zootécnica em aquaponia, necessita de acompanhamento diário para análise e observação de dados do cultivo. A observação presencial demanda tempo, mas é indispensável para a medição de parâmetros físico-químicos que interferem diretamente na qualidade da água (Nichani, et al., 2017). Entretanto, alguns dados podem ser monitorados remotamente, gerando economia de tempo e custo de produção, experiência semelhante a países como a China (Ji et al., 2015).

Como demonstrado neste estudo, utilizou-se a tecnologia IoT (internet das coisas) que consiste na transmissão sem fios, por meio de uma câmera Wi-Fi, em conjunto com medidores de pH e temperatura, os quais funcionaram de forma contínua para acompanhar a produção aquopônica. Através do monitoramento a distância foi possível obter dados físico-químicos, que dispõem sobre a qualidade da água e, conseqüentemente, interferem o desenvolvimento do cultivo (Ji et al., 2015).

Ambiente de cultivo

O experimento ocorreu a partir da observação e coleta de dados presenciais e remotamente de uma produção aquopônica, alocada em uma estufa, pois cultivar em ambientes protegidos, como estufas agrícolas, permite uma gestão ambiental mais eficiente (Di Gioia *et al.*, 2017).

Dos resultados obtidos com o monitoramento do ambiente de cultivo, as temperaturas externas e internas obtiveram valores, respectivamente, de $27,5 \pm 0,2$ e $27,1 \pm 0,3$ presencialmente, e remotamente $27,2 \pm 0,2$. E em relação à média da umidade relativa do ar, no ambiente interno da estufa foi de 89,1%, em comparação com a umidade do ar de 75,6%, obtida remotamente. Os valores de intensidade de luz obtidos por meio de um medidor de precisão digital, modelo Tasi Ta8121 foi de 81769 ± 3947 e 20246 ± 2250 e para o aplicativo Luxímetro foi de $2965,1 \pm 712,4$ e $6670,1 \pm 672,9$ (Tabela 1). O crescimento de plantas é afetado principalmente pela temperatura, umidade e iluminação, que são fatores importantes. Quando esses fatores estão fora do ideal, podem inibir o crescimento das plantas, a alface cresce melhor em temperaturas ideais entre 17 e 28 °C (Karnoutsos et al., 2021). Os resultados do pH apresentaram diferença estatística $6,96 \pm 0,71$ e $7,56 \pm 0,04$, porém esses valores são aceitáveis para o cultivo de baby leaf. Outros trabalhos apresentam valores entre 6,8 (Calori et al., 2019), sendo possível encontrar valores até mais baixos de pH entre 5,6, 6,3 e 6,9 (Evans et al., 1996; Vasconcelos; Junior, 2022).

Na aquaponia, os níveis de saturação do oxigênio dissolvido (Tabela 2) devem ser fornecidos na quantidade superior a 60%, acima de 5 ppm ou 5 mg/l. Para este estudo, os valores encontrados foram dentro do esperado $5,1 \pm 0,99$ e $5,949 \pm 0,11$, com o oxigênio dissolvido apresentando valor entre 4 e 8 mg/L, ideal no sistema de recirculação com tambaqui (Pinho et al., 2021).

Qualidade da água

Observou-se que o monitoramento da temperatura e da água foram fundamentais para o experimento, pois essas variáveis representam parâmetro significativo para a produção (Wahyuningsih et al, 2015). Pode-se analisar que mudanças na temperatura causam sérios danos aos animais e às plantas. As temperaturas mais altas, por exemplo, podem restringir a absorção de nutrientes (Demartelaere et al., 2020). Sendo assim a temperatura mostrou-se adequada para as plantas e para o tambaqui, cujo intervalo de temperatura ótima é de 26 a 30 °C (Garcez et al., 2021)., já para as plantas temperatura $28,6 \pm 0,9$, para pH $7 \pm 0,7$, respectivamente (Tabela 3).

Os sensores na água, combinados com a câmera de monitoramento, assim como o uso do kit de análise de oxigênio, possibilitaram um monitoramento acessível, barato e eficaz, ajudando a manter uma boa qualidade da água. Na aquaponia, é necessário fornecer níveis de saturação de oxigênio dissolvido em quantidades superiores a 60%, com mais de 5 ppm ou 5 mg/L. Para este trabalho, os valores encontrados estavam dentro do esperado, com $5,1 \pm 0,99$ e $5,949 \pm 0,11$, o que é considerado aceitável para o cultivo de tambaqui em sistemas de recirculação, cujos valores adequados variam entre 4 e 8 mg/L (Pinho et al., 2021).

Em relação a amônia e nitrito, para este estudo, não apresentaram valores de substâncias tóxicas entre o kit e a análise feita em laboratório (Tabela 4), estando em conformidade para peixes e plantas, supondo assim, a presença de bactérias no sistema, as quais servem como filtros biológicos, transformando substâncias tóxicas, produzidas pelos peixes, em nutrientes assimiláveis pelas plantas, sendo possível encontrar valores para o kit de amônia até 0,500 ppm não tóxico, estando em conformidade com este estudo que apresenta valores de $0,31 \pm 0,032$ (Vasconcelos; Junior, 2022). Os nutrientes oriundos dos resíduos dos peixes são uma fonte de amônia e nitrogênio para as plantas, resultando em um pH equilibrado dentro da água (Timmons; Ebeling, 2013).

A análise a partir dos kits de amônia e nitrito, podem ser uma alternativa para pequeno o médio produtor, a análise pode ser feita de 3 em 3 dias e garantir que o sistema aquapônico esteja em conformidade, tanto no tanque dos animais quanto no biofiltro, onde ocorre a transformação desse nitrogênio pelas bactérias. Se no tanque dos peixes está entrando uma grande quantidade de amônia, pode ser que as plantas não estejam absorvendo esse nutriente ou que o biofiltro não esteja em total eficácia (Wongkiew et al., 2017). Portanto, garante um controle e o bom funcionamento em todos os componentes do sistema aquapônico.

Alguns fatores podem interferir na qualidade da água em sistemas aquapônicos, sendo fundamental e indispensável a análise desses parâmetros no campo com o produtor, que, ao menor sinal de anormalidade, pode conduzir os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no sistema.

Com relação aos parâmetros de crescimento das variáveis do *baby leaf* A. Creta Roxa, de forma presencial quanto remota. Para validação, foi comparado dados obtidos presencialmente e remoto os quais não apresentarem diferença significativa (Tabela 5).

Foi possível observar, pela câmera, o desenvolvimento vegetativo das alfaces *baby leaf*, tornando possível o acompanhamento da produção a distância assim como a possibilidade de vigilância do local do cultivo (Ji et al., 2015).

CONCLUSÃO

O monitoramento, através dos equipamentos utilizados, contribuiu para acompanhamento cultivo. Apesar da variação do pH, os valores obtidos ainda eram aceitáveis para o cultivo de baby leaf. Para os demais dados coletados presencialmente e remotamente não apresentaram diferença significativa ao serem comparados. Os kits de OD, amônia e nitrito confirmaram a adequação do sistema de aeração e dos níveis de toxicidade, assim como análises em laboratório. A proposta visa otimizar o tempo e garantir custo-benefício para pequenos e médios produtores. Por meio desta ferramenta o produtor poderá acompanhar parâmetros físico-químicos, que são fundamentais para uma boa qualidade de água que implicara no crescimento do cultivo além da possibilidade de vigilância em tempo real.

AGRADECIMENTOS

This study was supported by CAPES, the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior, project PROCAD-Amazônia.

REFERÊNCIAS

- Calori, A. H.; Purquerio, L. F. V.; Factor, T. L.; Júnior, S. L.; Moraes, L. A. S. (2019). Effects of electric conductivity and plant density on lettuce baby leaf production in NFT hydroponic system. *Acta Horticulturae*, 1249, 5–10.
- Demartelaere, A. C. F.; Preston, H. A. F.; Feitosa, S. Dos S.; Preston, W.; Silva, R. M. Da. (2020). A influência dos fatores climáticos sob as variedades de alface cultivadas no Rio Grande do Norte. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 11, p. 90363-90378. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-447>.
- Di Gioia, F., Renna, M., Santamaria, P. (2017). Sprouts, Microgreens and “Baby Leaf” Vegetables. Em F. Yildiz & R. C. Wiley (Orgs.), *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables* (p. 403–432). Springer US.
- Evans, Mr., Konduro, S., Stamps, Rh. (1996). Source variation in physical and chemical properties of coconut coir dust. *HortScience* 34: 965-967. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.31.6.965>.
- Fabício, M. A.; Behrens, F. H.; Bianchini, D. (2020). Monitoring of Industrial Electrical Equipment using IoT. **IEEE Latin America Transactions**, v. 18, n. 08, p. 1425–1432, ago. <https://doi.org/10.1109/TLA.2020.9111678>.
- Garcez, J. R., Nóbrega, V. S. L. Da, Torres, T. P., Signor, A. A. (2021). Cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em tanques-rede: Aspectos técnicos. *Research, Society and Development*, 10(8), e45810817560.
- Ji, C. et al. (2015). An IoT and mobile cloud based architecture for smart planting. **Materials and Information Technology Applications, China**. <https://doi.org/10.2991/icmmita-15.2015.184>.

- Karnoutsos, P., Karagiovanidis, M., Bantis, F., Chatzistathis, T., Koukounaras, A., & Ntinis, G. K. (2021). Controlled root-zone temperature effect on baby leaf vegetables yield and quality in a floating system under mild and extreme Weather conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(9), 3933 - 3941.
- Kledal, P. R., & Thorarinsdottir, R. (2018). Aquaponics: A Commercial Niche for Sustainable Modern Aquaculture. *Sustainable Aquaculture*, 173–190. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73257-2_6.
- Luna, F. D. V. B. et al. (2017). Robotic System for Automation of Water Quality Monitoring and Feeding in Aquaculture Shadehouse. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Syst*, vol. 47, no. 7, pp. 1575-1589, July 2017. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2016.2635649>.
- Manju, M., Karthik, V., Hariharan, S., & Sreekar, B. (2017). Real time monitoring of the environmental parameters of an aquaponic system based on Internet of Things. Third International Conference on Science Technology Engineering & Management (ICONSTEM), Chennai, India, 2017, pp. 943-948. <https://doi.org/10.1109/ICONSTEM.2017.8261342>.
- Martinez, P., Al-Hussein, M., Ahmad, R. (2019). A scientometric analysis and critical review of computer vision applications for construction. *Autom. ConStruct.* 107, 102947 <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102947>.
- Nichani, Akhil., Kumar, Angad., Iyer, Suchet., Ramya, Ms. A. (2017). Environmental parameter monitoring and Data acquisition for Aquaponics. *International Journal of Emerging Technology in Computer Science & Electronics (IJETCSE)*, v. 24, n. 9.
- Pinho, S. M., David, L. H., Garcia, F., Keesman, K. J., Portella, M. C., & Goddek, S. (2021). South American fish species suitable for aquaponics: A review. *Aquaculture International*, 29(4), 1427–1449. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00674-w>.
- Ribeiro, M. D., Testezlaf, R., Ferrarezi, R. S. (2017). Validação de parâmetros operacionais para o manejo de mesas de subirrigação. *Horticultura Brasileira*, 35 (4), <https://doi.org/10.1590/S0102-053620170412>.
- Timmons, M. B., Ebeling, J. M. (2013). *Recirculating Aquaculture*, 3rd ed. Ithaca Publishing Company LLC, Ithaca.
- Thar, S. P., Ramilan, T., Farquharson, R. J., Pang, A., & Chen, D. (2021). An empirical analysis of the use of agricultural mobile applications among smallholder farmers in Myanmar. *The Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries*, 87(2), e12159.
- Vasconcelos, A. L. A., Junior, C. A. da C. (2022). Avaliação da capacidade produtiva de vegetais baby leaf em sistema aquaponico na estação chuvosa e seca. *International law and climate litigation*. v. 19, n. 1. <https://doi.org/10.5102/pic.n1.2018.6337>.

Wahyuningsih, S., Effendi, H., Wardiatno, Y. (2015). Nitrogen removal of aquaculture wastewater in aquaponic recirculation system. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation International Journal of the Bioflux Society* 8(4) 491 – 499.

Wongkiew, S., Hub, Z., Chandran, K., Lee, J. W., Khanal, S. K. (2017). Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural Engineering*, v. 76, p. 9 - 19. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.01.004>.



Figura 1 - Desenho experimental da estufa.

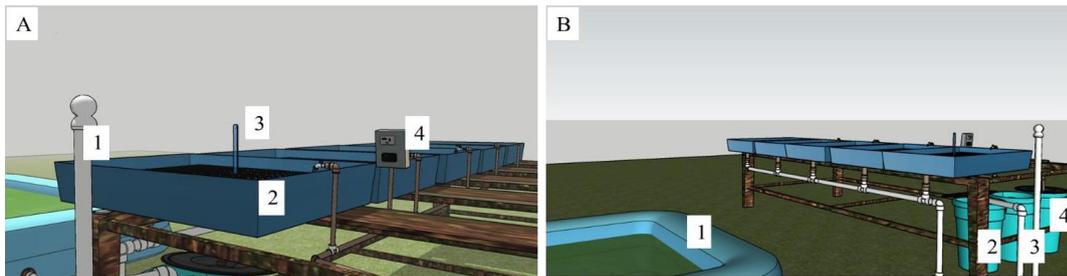


Figura 2 - Desenho experimental do sistema aquopônico e do monitoramento. A) câmera 360 positivo - 1; bandejas para o cultivo da alface - 2; régua milimetrada para medir alturas da alface - 3; equipamentos para parâmetros físicos da bandeja - 4; em B) tanque de cultivo animal -1; decantador -2; biofiltro -3; balde da bomba 4.

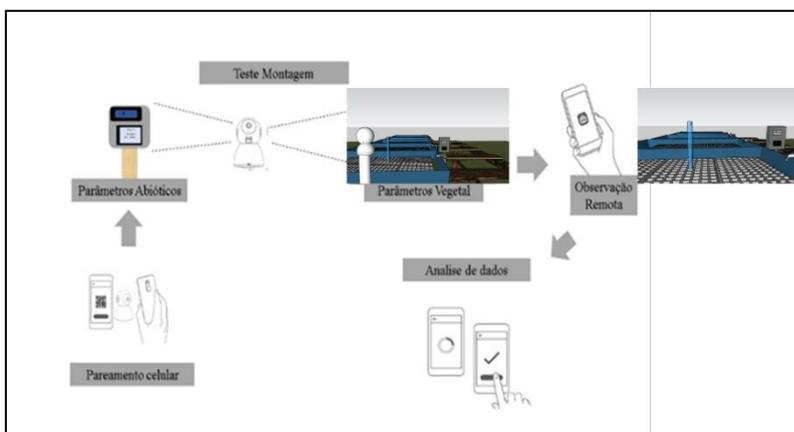


Figura 3 - Disposição da câmera e de sua visão.



Figura 4 - Disposição da câmara e de sua visão em relação ao cultivo.

Tabela 1. Controle dos parâmetros externo e interno do ambiente de cultivo. Legenda: Teste ANOVA pelo teste F ($p < 0,005$), usando o programa Past, aplicados para a temperatura. T = temperatura, UR.

Parâmetro	Externo	Interno	Remotamente
T (°C)	27,5 ± 0,2	27,1 ± 0,3	27,2 ± 0,2
UR(%)		89,1 ± 1,4	75,6 ± 1,5
Luxímetro (Aparelho)	81769,0 ± 3947,0	20246,0 ± 2250,0	
Luxímetro (Aplicativo)	2965,1 ± 712,4	6670,1 ± 672,9	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 1. Comparativo dos parâmetros de oxigênio no ambiente de cultivo animal.

Parâmetro	Oxigênio
Coleta semanal	6 ± 0,1 m/l
Kit semanal	5,1 ± 0,9 mg/l

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 3. Comparativo dos parâmetros ambiente de cultivo animal. Legenda: Teste ANOVA pelo teste F ($p < 0,005$), usando o programa Past. T = temperatura, pH - potencial hidrogeniônico.

Parâmetro	Remotamente	Sonda
T°	28,6 ± 0,9	28,2 ± 0,4
pH	6,96 ± 0,71 ^b	7,56 ± 0,04 ^a

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4. Comparativo da qualidade da água para o cultivo de tabaqui. Legenda: NH₃ – Amônia; NO₂ – Nitrito.

Tabaqui	Parâmetro	
	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)
Coleta semanal	0,8 ± 0,1	0,2 ± 0,1
Kits semanais	0,3 ± 0,1	0,3 ± 0,1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5. Análise dos dados obtidos pelo acompanhamento do crescimento vegetal das alfaces *baby leaf Alface Creta*. Legend a: Teste ANOVA tukey's ($p < 0,005$), usando o programa Past. Primeira coluna análise presencial, segunda coluna análise pela câmara 360.

Tratamento	Presencial x Remotamente	
Creta	4,6 ± 1,2	4,3 ± 1,1

Fonte: Elaborado pelo autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou como o sistema aquopônico pode ser integrado a uma tecnologia de fácil construção e manuseio, por meio de equipamentos de baixo custo econômico disponíveis no mercado, contribuindo para a coleta de informações.

Ao coletar os dados e analisar as informações do cultivo, observou-se que os dados coletados presencial e remotamente eram semelhantes, mostrando a eficácia do acompanhamento à distância através do monitoramento remoto.

Destaca-se ainda a redução de custo e tempo como benefícios da utilização da tecnologia para acompanhamento da produção, assim como o uso de um kit alternativo para verificação dos níveis de oxigênio, nitrito e amônia. Além disso, o acompanhamento em tempo real contribui para obtenção de informações de forma mais rápida, visto que dados físico-químicos, por exemplo, são fundamentais e influenciam diretamente na qualidade da água e do cultivo consequentemente na produção e qualidade.

No entanto, apesar das significativas contribuições, ainda há um enorme campo de informações a ser explorado, e novas formas de se monitorar, simplificar e adaptar equipamentos para atender a necessidade e a realidade do pequeno e médio produtor que tem como fonte de alimento e subsistências os sistemas aquaponicos.