

**UNIOESTE – UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PR
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA
PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL
MESTRADO E DOUTORADO**

RAFAEL LUIS BARTZ

**SENSORIAMENTO REMOTO PARA ANÁLISE DE PARÂMETROS DE
QUALIDADE DA ÁGUA APLICADO À PISCICULTURA**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PR

2021

RAFAEL LUIS BARTZ

**SENSORIAMENTO REMOTO PARA ANÁLISE DE PARÂMETROS DE
QUALIDADE DA ÁGUA APLICADO À PISCICULTURA**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável do Centro de Ciências Agrárias da Unioeste – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito para a obtenção do grau de Doutor em Desenvolvimento Rural Sustentável.

Linha de Pesquisa: Inovações Sócio tecnológicas e Ação Extensionista

Prof. Doutor Aldi Feiden

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PR

2021

Ficha de identificação da obra elaborada através do formulário de geração automática do sistema de bibliotecas da
Unioeste.

BB294s Bartz, Rafael Luis
Sensoriamento remoto para análise de parâmetros de qualidade da água aplicado à piscicultura / Rafael Luis Bartz; orientador Aldi Feiden. -- Marechal Cândido Rondon, 2021.
101 p.

Tese (Campus de Marechal Cândido Rondon) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável, 2021.

1. Manejo em piscicultura. 2. Monitoramento ambiental. 3. Medição sem contato. 4. Sustentabilidade. I. Feiden, Aldi, orient. II. Título.

RAFAEL LUIS BARTZ

**SENSORIAMENTO REMOTO PARA ANÁLISE DE PARÂMETROS DE
QUALIDADE DA ÁGUA APLICADO À PISCICULTURA**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Desenvolvimento Rural Sustentável, Área de Concentração “Inovações Sócio tecnológicas e Ação Extensionista”, para a obtenção do título de “Doutor em Desenvolvimento Rural Sustentável, **aprovado** pela seguinte Banca Examinadora:”

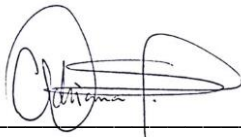
Marechal Cândido Rondon, PR, 04 de agosto de 2021.



Prof. Dr. Aldi Feiden - Orientador
Universidade Estadual do Oeste do Paraná



Prof. Dr. Altevir Signor - Membro
Universidade Estadual do Oeste do Paraná



Prof. Dr. Adriana Maria de Grandi - Membro
Universidade Estadual do Oeste do Paraná



Prof. Dr. Carla Adriana Pizarro Schmidt - Membro
Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Prof. Dr. Humberto Rodrigues Francisco - Membro
Universidade Federal da Fronteira Sul

Esta pesquisa é dedicada à minha filha Agatha Poliana Bartz, que me provou diversas vezes que desafios podem ser vencidos, não importa o quanto são desafiadores, à minha esposa Priscilla Tatiane Gunt Bartz que sempre esteve ao meu lado me apoiando e me incentivando, aos meus pais que me ajudaram a iniciar esta caminhada desde a escola primária, e principalmente ao meu amigo e orientador Aldi Feiden, que me ensinou muitas coisas que vão além desta obra, e a quem sempre serei grato por tudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Estadual do Oeste do Paraná e ao Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável pela oportunidade e por todo apoio prestado;

Agradeço ao grupo de pesquisas em Computação Física, Sistemas Embarcados, Energias, Sustentabilidade, Mobilidade e Inovação do Instituto Federal do Paraná campus Assis Chateaubriand pelo empréstimo do Drone utilizado nesta pesquisa;

Agradeço também pelo apoio da coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior – brasil (capes).

RESUMO GERAL

BARTZ, Rafael, Doutor em Desenvolvimento Rural Sustentável, Unioeste – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 08 – 2021. **Sensoriamento remoto para análise de parâmetros de qualidade da água aplicado à piscicultura.** Orientador: Aldi Feiden.

O uso de tecnologias no meio rural tem contribuído muito para a melhoria de processos agrícolas e diminuição do êxodo rural. Neste contexto, destaca-se a piscicultura, que tem sido fonte de renda para muitos agricultores familiares, os quais ainda carecem de tecnologias para auxiliar no manejo diário dos viveiros, principalmente no que diz respeito ao monitoramento da qualidade da água. O objetivo deste trabalho foi criar uma ferramenta de coleta de temperatura e transparência da água em viveiros escavados de piscicultura, utilizando sensoriamento remoto por meio de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS na sigla internacional). Para tanto, desenvolveu-se um protótipo composto por 2 módulos, os quais foram acoplados a um RPAS, tendo como finalidade a coleta de temperatura e transparência da água em tempo real durante o voo, e realizar o envio dos dados a um aplicativo desenvolvido para dispositivos móveis como *smartphones* ou *tablets*, de forma que os produtores possuam uma forma ágil e facilitada de mensurar estes parâmetros de qualidade da água nos seus viveiros. Testes foram desenvolvidos em uma propriedade rural da cidade de Toledo - PR, e o sistema desenvolvido mostrou-se eficaz, otimizando o manejo dos viveiros escavados e contribuindo para a sustentabilidade na piscicultura, tanto economicamente, quanto de maneira social e ambiental, contribuindo também com os objetivos do desenvolvimento sustentável 2, 8, 9, 12 e 14 da Organização das Nações Unidas (ONU).

Palavras-chave: Manejo em piscicultura. Monitoramento ambiental. Medição sem contato. Sustentabilidade.

GENERAL ABSTRACT

BARTZ, Rafael, PhD in Sustainable Rural Regional Development, Unioeste – Western State University of Paraná, february – 2021. **Remote sensing for analysis of water quality parameters applied to fish farming.** Advisor: Aldi Feiden.

The use of technologies in rural areas has greatly contributed to improving agricultural processes and reducing rural exodus. In this context, fish farming stands out, which has been a source of income for many family farmers, who still lack technologies to assist in the daily management of the nurseries, especially with regard to monitoring water quality. The objective of this work was to create a tool to collect temperature and water transparency in excavated fish ponds, using remote sensing through remotely piloted aircraft (RPAS in the international acronym). Therefore, a prototype was developed consisting of 2 modules, which were coupled to an RPAS, with the purpose of collecting temperature and water transparency in real time during the flight, and sending data to an application developed for mobile devices such as smartphones or tablets, so that producers have an agile and easy way to measure these water quality parameters in their nurseries. Tests were carried out on a rural property in the city of Toledo - PR, and the developed system proved to be effective, optimizing the management of excavated ponds and contributing to the sustainability of fish farming, both economically, socially and environmentally, also contributing to sustainable development goals 2, 8, 9, 12 and 14 of the United Nations (UN).

Keywords: Fish Farming Management. Environmental monitoring. Non-contact measurement. Sustainability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	11
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	GERAL.....	14
2.2	ESPECÍFICOS.....	14
3	ESTADO DA ARTE	15
3.1	AQUICULTURA NO BRASIL E NO MUNDO.....	15
3.2	INOVAÇÃO E TECNOLOGIA NA AQUICULTURA.....	18
3.2.1	IOT, HARDWARE E SOFTWARE LIVRE	19
3.2.2	TECNOLOGIA EMBARCADA PARA PISCICULTURA.....	25
3.3	ESCOPO E CONTRIBUIÇÕES DESTA PESQUISA	33
3.3.1	TEMPERATURA.....	35
3.3.2	TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA.....	36
4	ARTIGO 1	38
4.1	INTRODUÇÃO	41
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.3.1	Protótipo	46
4.3.2	Software.....	48
4.3.3	Testes.....	50
4.3.4	CONCLUSÃO	53
4.3.5	REFERÊNCIAS	53
5	ARTIGO 2	56
5.1	INTRODUÇÃO	59
5.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	62
5.2.1	Desenvolvimento do protótipo.....	62
5.2.2	Procedimentos para avaliar o funcionamento do protótipo	64
5.2.3	Processamento de imagens	65
5.2.4	Análise de eficiência	67
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
5.3.1	Desenvolvimento do protótipo.....	67
5.3.2	Processamento de imagens	69

5.3.3	Análise de eficiência	72
5.4	CONCLUSÃO	76
5.5	REFERÊNCIAS.....	77
6	VISÃO GERAL DOS DIFERENTES MÓDULOS DO SISTEMA.....	81
6.1	DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	81
6.2	DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO DE MONITORAMENTO.....	86
6.3	POSSIBILIDADES DE EXPANSÃO E INTEGRAÇÃO COM OUTROS SISTEMAS	88
7	CONCLUSÕES GERAIS	88
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
8	REFERÊNCIAS GERAIS	94

1 INTRODUÇÃO GERAL

A capacidade de sustentação ou conservação de um processo ou sistema por tempo indeterminado, é conhecido como Sustentabilidade, derivado do latim “sustentare” que significa sustentar, apoiar, conservar e cuidar. Apesar de ser um conceito aplicável a temas diversos, no século XXI ele se refere basicamente à capacidade da biosfera terrestre e a civilização humana coexistirem em harmonia.

Para Lindblom et al. (2017), o caminho para sustentabilidade é estimular as pessoas a praticar atividades mais sustentáveis, com foco na conservação do meio ambiente, porém, apesar do ser humano depender dos recursos naturais para sobrevivência, o aumento da população mundial e o capitalismo trouxe um desequilíbrio entre a geração de lucros e a preservação do meio ambiente, onde o aumento da capacidade produtiva em prol da geração de capital está sempre um passo à frente, deixando a Sustentabilidade em segundo plano.

Esta prática, sendo aplicada no mundo todo, fez com que o planeta começasse a mostrar sinais de colapso, como a extinção de espécies animais e vegetais, aumento da temperatura e frequentes desastres ambientais, ao ponto em que se instalou uma crise ambiental em escala global, ou seja, o meio ambiente já não é capaz de prover insumos para o crescimento econômico desejado (AMORIM e OLIVEIRA, 2011).

A partir de 1971, iniciaram-se as discussões a respeito de uma nova conduta do ser humano em relação ao meio ambiente, e desde então estas discussões vem crescendo e se difundindo cada vez mais (MORAIS et al., 2014). Em 1998 surgiu o chamado “*Triple Bottom Line*” da sustentabilidade, onde a sustentabilidade de uma determinada atividade é avaliada a partir de três dimensões, sendo elas econômica, social e ambiental. Desta forma, além de ser eficiente economicamente, deve-se observar também se a atividade promove equidade social e preservação ambiental (LOURENÇO e CARVALHO, 2013).

As atividades agrícolas, praticadas ao nível mundial, têm tido especial atenção nas discussões em torno das três dimensões da sustentabilidade, devido à alta demanda de alimentos necessária para alimentar a crescente população mundial, e por ser uma atividade diretamente ligada ao uso de recursos naturais. Para Lopes e Contini (2012), serão necessários substanciais avanços em diversos campos do

conhecimento científico e tecnológico para garantir a sustentabilidade da agricultura frente às mudanças climáticas e à intensificação de estresses bióticos e abióticos previstos para as próximas décadas, e que as inovações nas áreas de tecnologia da informação, sensoriamento remoto, instrumentação avançada, automação e robótica feitas até então indicam que a agricultura de precisão será comum nas propriedades do futuro. Para Francisco et al. (2012), os avanços feitos até então, principalmente na área de geoprocessamento, já representam uma importante ferramenta para os avanços na gestão de recursos naturais, levando assim a práticas mais sustentáveis.

Em relação ao cenário brasileiro, Lopes e Contini (2012) destacam que, a medida em que cresce a educação, renda e qualidade de vida dos brasileiros, os agricultores terão cada vez mais dificuldade em encontrar mão de obra no campo, que, aliada ao aumento dos insumos e a necessidade de redução de desperdícios e aumento da sustentabilidade do processo produtivo, os leva a dependerem cada vez mais da mecanização e automação dos processos agrícolas. Para Bojanic (2017), o acesso facilitado a crédito, de forma que os produtores possam financiar máquinas e equipamentos agrícolas, impactaram significativamente para o aumento da produção e a diminuição do serviço braçal no Brasil nas últimas 2 décadas.

A miniaturização de máquinas e equipamentos também auxilia neste processo, pois reduzem seus custos de aquisição enquanto aumentam sua eficiência (WILKINSON, 2018), possibilitando melhorias em processos agrícolas, trazendo novas oportunidades, e motivando muitos jovens a permanecerem no campo.

Apesar dos avanços na mecanização da agricultura, boa parte das práticas sustentáveis ainda depende dos agricultores que, com a ajuda da tecnologia, precisam tomar decisões que promovam a sustentabilidade, e isso precisa ser incentivado à medida que a tecnologia evolui (LINDBLUM et al., 2017).

Neste contexto, destaca-se a aquicultura que, apesar de também ter tido inúmeros avanços em sua mecanização, muitas propriedades que praticam a piscicultura no Brasil não são ecologicamente e economicamente sustentáveis. Os proprietários muitas vezes não se dão conta disso, porque ainda não possuem uma forma eficaz de monitoramento ambiental e econômico de suas atividades, e porque muitas vezes não possuem um plano de negócio sólido, pois em muitos casos a aquicultura é uma atividade secundária que passa a ser financiada pela atividade principal da propriedade (WAGNER et al., 2021).

Já foram criados alguns Indicadores de sustentabilidade para avaliar a sustentabilidade na piscicultura do Brasil (KIMPARA et al., 2012; VALENTI et al., 2018), e suas aplicações já começaram a ser exploradas por pesquisadores (MOURA et al., 2016; PEREIRA et al., 2021), e espera-se que projetos de certificação de propriedades aquícolas contribuam para a melhoria da sustentabilidade nesta atividade nos próximos anos.

No setor de tecnologia, já são vistos equipamentos voltados a sustentabilidade, principalmente no que tange ao uso de fontes renováveis de energia, como é o caso da energia fotovoltaica que está ganhando cada vez mais espaço nas propriedades aquícolas (GORBUNOVA et al., 2020). Em relação ao consumo de pescado, embora o Brasil não possua estatísticas precisas sobre a quantidade de pescado capturado de maneira insustentável no País, o relatório da FAO (2020) aponta que houve uma diminuição de 33% na pesca insustentável entre os anos de 2007 e 2016, representando 5,9% do total de peixes capturados ao nível mundial, o que indica que o país está a caminho de meios mais sustentáveis de cultivo e consumo de peixes. Apesar disso, ainda há um longo caminho a ser seguido para melhorar os serviços de extensão pesqueira, políticas de crédito, legislação, processamento, comercialização e distribuição de pescados no país.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Desenvolver um protótipo e um software para coleta de temperatura e transparência da água em viveiros escavados de piscicultura.

2.2 ESPECÍFICOS

Desenvolver um protótipo para mensuração da temperatura de corpos d'água por meio de aeronaves remotamente pilotados;

Desenvolver um protótipo para mensuração da transparência da água por meio de aeronaves remotamente pilotados;

Desenvolver um aplicativo de monitoramento de temperatura e transparência de viveiros escavados de piscicultura;

Integrar o aplicativo ao protótipo instalado na aeronave remotamente pilotada;

Adequar o design do protótipo para proporcionar ergonomia e voos seguros;

Implementar armazenamento dos dados coletados em um banco de dados central.

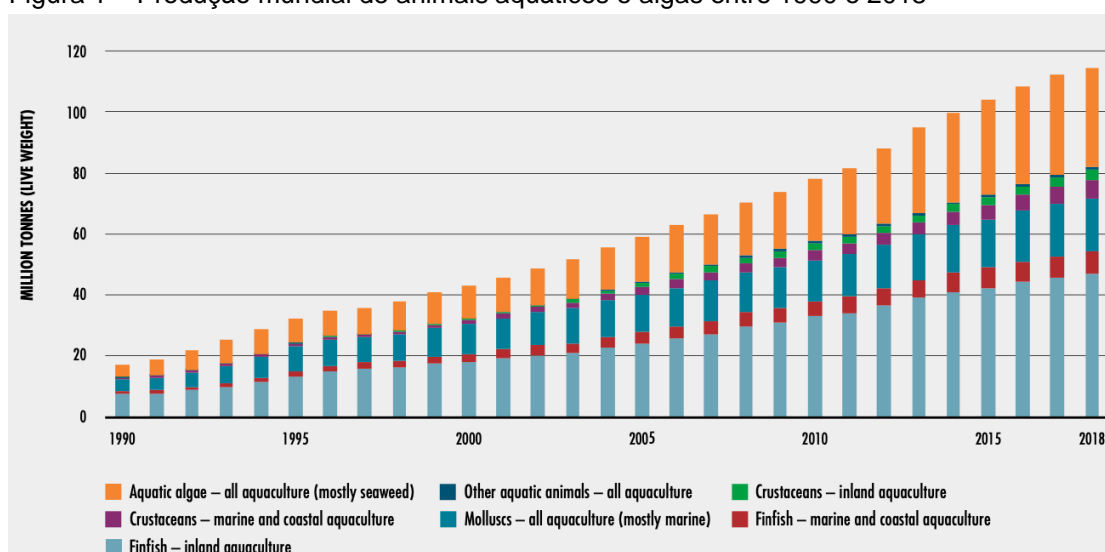
3 ESTADO DA ARTE

Os subtópicos a seguir oferecem uma visão panorâmica da aquicultura no Brasil e no mundo, os avanços tecnológicos feitos nesta área até o momento, e contextualizam o escopo de contribuição desta pesquisa para com estes avanços.

3.1 AQUICULTURA NO BRASIL E NO MUNDO

A aquicultura tem sido vista como uma atividade promissora nas últimas décadas, e vem crescendo ao longo dos anos. A Figura 1 ilustra o crescimento médio no setor aquícola entre os anos de 1990 e 2018.

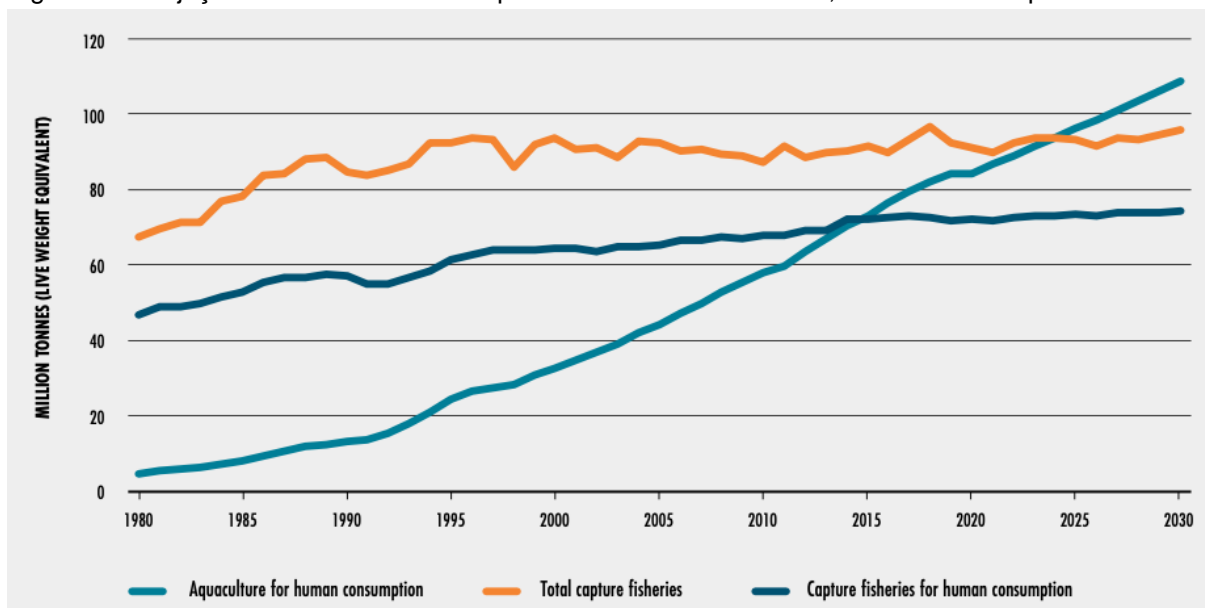
Figura 1 – Produção mundial de animais aquáticos e algas entre 1990 e 2018



Fonte: FAO (2020)

O que chama a atenção neste gráfico, é que em um intervalo de 28 anos houve um crescimento médio exponencial desta atividade, não só na produção de peixes, mas também algas e outros animais aquáticos. De acordo com as projeções feitas pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) em 2020, a estimativa é que o setor continue crescendo pelos próximos anos (Figura 2).

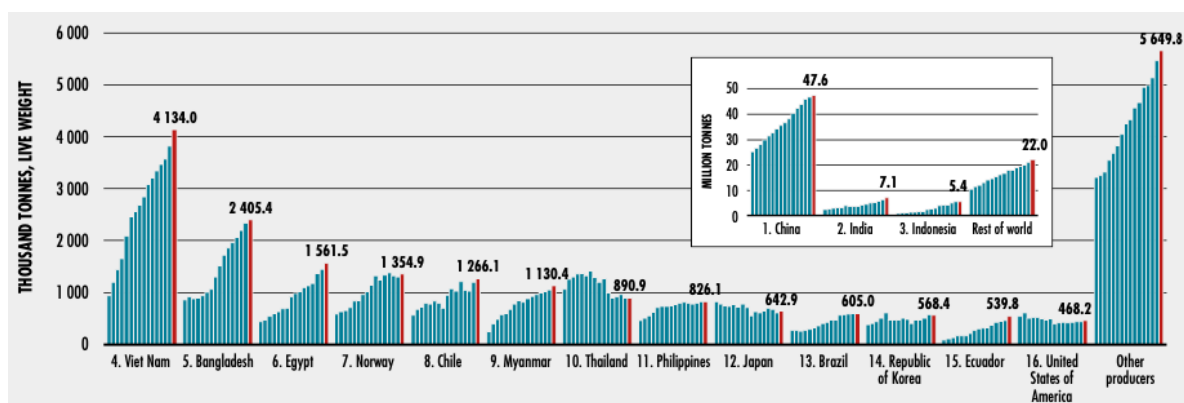
Figura 2 – Projeção de crescimento da aquicultura entre 1980 a 2020, com estimativa para 2030



Fonte: FAO (2020)

Esta projeção também indica que à medida que a aquicultura cresce, a pesca insustentável tende a diminuir ou se estabilizar ao longo dos anos. Dentre os principais produtores de peixes do mundo, o Brasil ocupa o 13º lugar do *ranking* mundial, logo atrás do Japão e Filipinas (Figura 3).

Figura 3 – Projeção de crescimento da aquicultura entre 1980 a 2021, com estimativa para 2030



Fonte: FAO (2020)

No Brasil são produzidas diversas espécies de peixes, porém a Tilápia é a mais comum, representando 61% da produção nacional, seguido pelo Tambaqui (19%) e Tambaçu (8%). O estado do Paraná ocupa o primeiro lugar no ranking de maior produtor de peixes de cultivo a 3 anos consecutivos, e produziu 172.000 toneladas

em 2019, sendo 166.000 compostas por tilápias, o que torna o estado o maior produtor de tilápias do país. A região sul atualmente representa 31,1% da produção total de pescado no país (IBGE, 2020).

Além do consumo local, o Brasil também é um grande exportador de tilápias, sendo os Estados Unidos responsável por 58% das importações, seguido pelo Chile (13%) e a China (8%). O estado do Paraná, no ano de 2019, exportou 1,7 milhões de dólares em tilápias e seus derivados, representando um aumento de 32,59% em relação ao ano anterior (IBGE, 2020). No segundo trimestre de 2021, o Paraná assumiu a liderança nas exportações de tilápia, com faturamento de US\$ 1,22 milhão de abril a junho, superando o Mato Grosso do Sul, cujas vendas internacionais somaram US\$ 993,9 mil no mesmo período.

A ocorrência da pandemia de Coronavírus, cujo primeiro caso no Brasil foi registrado em fevereiro de 2020, e que posteriormente afetou quase todos os segmentos da economia mundial, fez com que o setor pesqueiro tivesse dificuldades com o preço dos insumos, e afetou principalmente os países exportadores, devido à redução do consumo de pescado em alguns países. A cadeia do pescado é bastante complexa, e todas as atividades desde a produção até a entrega do pescado ao consumidor está sujeita a impactos da pandemia por novas medidas sanitárias, mudanças de hábitos dos consumidores, acesso ao mercado ou problemas logísticos decorrentes das restrições de transporte de produtos.

Conforme relatório preliminar publicado pela FAO em maio de 2020, que retratou a visão das organizações regionais a respeito dos impactos negativos da pandemia de COVID-19 na pesca e aquicultura, estes identificaram que a produção e manejo da aquicultura sofreu, e ainda sofreria, o maior impacto, seguido pelo manejo dos estoques pesqueiros, monitoramento, controle e vigilância das atividades pesqueiras, combate à pesca ilegal, empregos no setor pesqueiro e aquícola, e pesquisas científicas na área da pesca e aquicultura a curto e médio prazo. Estes impactos, porém, ainda estão sendo monitorados, e serão compilados mais dados enquanto durar a pandemia (FAO, 2020b).

Apesar da crise econômica, os investimentos no setor encontram-se aquecidos, tendo um aumento de 3,7% na concessão de créditos para custeio em 2020, totalizando R\$ 399,90 milhões (MAPA, 2020), fazendo com que o setor fechasse o ano com alta de 2% na produção global (FAO, 2020).

3.2 INOVAÇÃO E TECNOLOGIA NA AQUICULTURA

Buscando entender como as inovações na aquicultura são concebidas e gerenciadas, Joffre et al. (2017) fez um estudo sistemático envolvendo diversos avanços tecnológicos na área, e descobriu que grande parte das inovações voltadas a aquicultura ainda está voltado a criação acelerada de produtos para o mercado local, e que atendem igualmente a uma demanda local, ou seja, não tendo foco direcionado a mudança do cenário global da aquicultura. Isto acaba fragmentando o conhecimento e os avanços gerais nesta área. O autor destaca, porém, que os estudos interdisciplinares voltados a aquicultura feitos nos últimos anos trouxeram novas visões a este setor, e possuem potencial para alavancar novas soluções.

A aquicultura envolve, de fato, interações complexas, como recursos naturais, animais, pessoas e investimento de capital (SUN, 2020), o que exige uma visão ampla a respeito da gestão das interações entre estes diferentes componentes. Neste contexto, as pesquisas envolvendo inteligência artificial (IA) e análise de grandes massas de dados (Big Data) trouxeram, e potencialmente ainda irão trazer, avanços significativos não somente à aquicultura, mas em diversas outras áreas, por proporcionarem a análise de padrões históricos extensos, e extração de características que muitas vezes não são perceptíveis a humanos. Com base na observação destes padrões, é possível realizar diversos experimentos que resultam em inovações tecnológicas em todos os setores da cadeia produtiva de pescado.

As fontes de dados que servem de base para aplicação de algoritmos de inteligência artificial são bastante variadas. Zhao et al. (2018), por exemplo, utilizou inteligência artificial para classificar comportamentos normais e anormais em 1000 vídeos de diferentes espécies de peixes, e obteve um percentual de eficiência de 89,89% no reconhecimento dos padrões comportamentais de cada espécie, o que é importante para determinar anomalias que interferem no bem-estar dos peixes, e podem levar a previsão das causas prováveis, e possíveis ações corretivas.

Em ambientes controlados, como é o caso das linhas de produção industriais, o uso de técnicas de inteligência artificial se mostra ainda mais eficiente, como mostra Misimi et al. (2017), que desenvolveu um mecanismo de classificação de filés de peixes defeituosos (fora do tamanho padrão) à medida que iam sendo produzidos, por meio da captura e processamento de imagens em tempo real, e que obteve 100% de eficácia em um total de 1340 imagens utilizadas nos testes.

Li et al. (2018) e Chen et al. (2018) desenvolveram uma forma de prever a quantidade de oxigênio dissolvido na água treinando uma rede de inteligência artificial com os dados de oxigênio dissolvido, temperatura da água e do ar, pH, direção e velocidade do vento, radiação solar, humidade do ar, pressão atmosférica, temperatura e humidade do solo, sendo a quantidade de amônia na água adicionado também no experimento de Chen et al. (2018). Os dados foram medidos a cada 10 minutos por um total de 20 dias. Após este período de treinamento, os dados atuais de as variáveis foram submetidos à rede neural, a qual conseguiu realizar a previsão da concentração de oxigênio dissolvido com até 12 horas de antecedência com um percentual de erro médio absoluto de 0,013%.

Os avanços na análise de dados conseqüentemente envolveram avanços nas áreas de captura de imagens, vídeos e aquisição de dados por sensoriamento, cuja aferição manual não é mais viável devido à quantidade de dados necessária e o nível de precisão dos mesmos. Para tanto, um paradigma tecnológico chamado de IoT (*Internet of Things*, também conhecido como Internet das Coisas ou Internet Industrial) emergiu, e desempenha um papel fundamental nos recentes avanços tecnológicos, pois consiste na interligação de máquinas e sensores em rede, incluindo a internet, de forma que possam trocar dados entre si. Por esta razão, IoT é um paradigma reconhecido como um dos mais importantes propulsores dos avanços tecnológicos feitos nas últimas décadas, principalmente na Indústria (LEE, 2015).

3.2.1 IOT, HARDWARE E SOFTWARE LIVRE

O ecossistema IoT também trouxe avanços significativos na redução da complexidade e tempo para se desenvolver, testar e utilizar sistemas embarcados. O maior exemplo disso é plataforma Arduino, idealizada na Itália em 2005 pelo professor Massimo Banzi com o objetivo de concretizar projetos de baixo custo para estudantes. Banzi criou uma placa, a qual chamou de “Arduino”, que teve tanto sucesso que recebeu uma menção honrosa na categoria “Comunidades Digitais” em 2006. O projeto foi disponibilizado a todos na qualidade de projeto *Open Source*, ou seja, qualquer placa criada com a mesma estrutura do Arduino original e que utilizasse sua linguagem padrão consegue realizar as mesmas funções que um Arduino original (MCROBERTS, 2011).

Em termos práticos, um Arduino é um pequeno computador de baixo custo que pode ser programado para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele, por isso ele também pode ser chamado “plataforma de computação física ou embarcada”, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de *hardware* e *software*.

Existem vários modelos de Arduino no mercado, a Figura 4 demonstra um destes modelos, que é o Arduino Mega 2560.

Figura 4 – Placa de prototipação Arduino Mega 2560



Fonte: McRoberts (2011)

O Arduino também pode se conectar a pequenos módulos de *hardware* para desempenhar tarefas específicas, como por exemplo botões, interruptores, motores, sensores de temperatura, sensores de pressão, sensores de distância, receptores GPS, módulos de conexão com redes de computadores, redes de telefonia GSM (*Global System for Mobile*), ou qualquer outro dispositivo que manipule dados ou possa ser controlado (MCROBERTS, 2011). O Arduino não é constituído de uma única peça, trata-se de um microcontrolador com um processador base, instalado em uma placa de entradas e saídas que pode variar dependendo do modelo da placa e do processador utilizado. Por ele ter esta flexibilidade, existem inúmeros modelos de Arduino no mercado, bem como sensores e placas auxiliares compatíveis com Arduino, fazendo com que o mesmo tenha um potencial muito grande de colaborar com projetos de alta complexidade a um baixo custo.

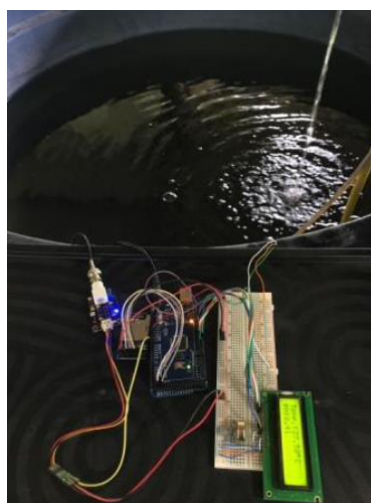
Já foram desenvolvidos uma série de protótipos utilizando Arduino aplicado à piscicultura, como, por exemplo o projeto desenvolvido por Santos et al. (2019), ilustrado na Figura 5 e o de Santos et al. (2018), Figura 6.

Figura 5 – Protótipo de medição de qualidade da água utilizando Arduino desenvolvido por Santos et al. (2019).



Fonte: Santos et al. (2019)

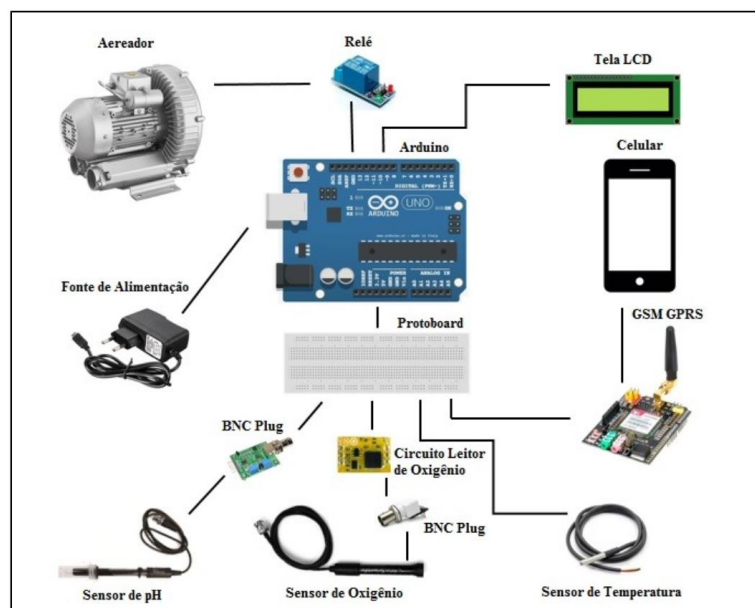
Figura 6 – Protótipo de medição de pH e temperatura da água utilizando Arduino desenvolvido por Santos et al. (2018).



Fonte: Santos et al. (2018)

Estes projetos utilizaram um Arduino Mega 2560 acoplado a um conjunto de sensores capaz de ler a temperatura, turbidez, pH e o nível da água de um reservatório. Zaccharias et al. (2016) apresenta ainda um projeto semelhante utilizando um Arduino modelo UNO, porém com capacidade de acionar um aerador, com base nos valores coletados por um sensor de oxigênio dissolvido na água, e de enviar os dados para um *smartphone* através da internet. Os componentes principais deste sistema estão ilustrados na Figura 7.

Figura 7 – Protótipo de medição de qualidade da água utilizando Arduino desenvolvido por Santos et al. (2019).



Fonte: Zaccharias et al. (2016)

Apesar de promissores, nem todos os sensores ou protótipos desenvolvidos e publicados na literatura possuem robustez suficiente para resistir a longos períodos de funcionamento em campo, e sensores mais robustos muitas vezes não são diretamente compatíveis com a plataforma Arduino. Os protótipos demonstram, no entanto, que dispositivos que utilizam o mesmo processador que um Arduino, e que possuem compatibilidade com o padrão de entrada e saída do mesmo, podem vir a se tornar produtos para uso em ambiente real de piscicultura, desde que adaptados para resistir às condições do ambiente em que serão instalados. Um bom exemplo disso são os ambientes industriais, onde pode haver umidade e temperaturas extremas, alto grau de interferência eletromagnética e complexos sistemas de acionamento e controle que exigem diferentes tempos de resposta.

Devido à confiabilidade exigida em ambientes industriais, existem dispositivos similares ao Arduino, chamados de CLP (Controlador Lógico Programável), que são adaptados, certificados e homologados para serem eficientes em diferentes condições de uso, e que na maioria das vezes são programados por linguagens baseadas em blocos esquemáticos, como a linguagem Ladder, onde os programas são semelhantes a um esquema elétrico. Como são dispositivos pensados para uso industrial, estes possuem uma série de vantagens em relação às tecnologias livres, e suas funcionalidades podem ser expandidas por módulos que se conectam entre

si, comandados por uma única central de processamento (ALPHONSUS, 2016). A Figura 8 ilustra um modelo de CLP industrial.

Figura 8 – Controlador Lógico Programável de uso Industrial



Fonte: Alphonsus e Abdullah (2016)

Existem diversos modelos no mercado, todos possuem um invólucro e conexões elétricas projetadas para uso em painéis elétricos industriais, podendo ainda se comunicar com outros controladores por meio de redes industriais que operam em diversos protocolos.

Apesar de ainda não estarem tão presentes no meio industrial, existem empresas que já disponibilizam algumas versões de CLP com núcleo Arduino, ou seja, podem ser programados da mesma maneira que qualquer Arduino, porém possuem uma infraestrutura de *hardware* adaptada para uso nas indústrias (SENEVIRATNE, 2017). A Figura 9 ilustra um modelo de CLP baseado no Arduino modelo Leonardo, e a Figura 10 ilustra outro modelo, mais compacto, baseado no Arduino modelo UNO, ambos com robustez de qualidade industrial.

Figura 9 – M-DUINO CLP Arduino



Fonte: Seneviratne (2017).

Figura 10 – Controllino Mini CLP Arduino



Fonte: Seneviratne (2017).

De acordo com Seneviratne (2017), CLPs baseados em Arduino tem a possibilidade de ser instalados e se comunicarem junto aos CLPs tradicionais por diferentes protocolos de comunicação. Apesar de já estarem sendo comercializados no mundo todo, estes controladores ainda não estão tão difundidos no meio

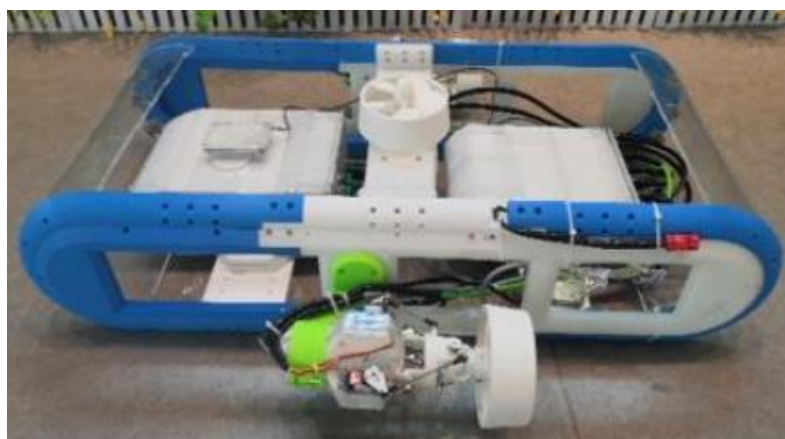
industrial quanto os CLPs convencionais, pois possuem uma velocidade de resposta reduzida em relação a alguns modelos de CLP do mercado, fazendo com que este seja restrito apenas a projetos cujo tempo de resposta não seja um fator crítico.

3.2.2 TECNOLOGIA EMBARCADA PARA PISCICULTURA

Apesar da maioria dos estudos envolvendo o uso de sistemas embarcados na piscicultura se basear em uma infraestrutura de sensores fixos posicionados nos viveiros com capacidade para monitoramento contínuo, outros ainda vão além, utilizando sensores em dispositivos que podem se deslocar no ambiente de medição, como é o caso dos RPAS (aeronaves remotamente pilotadas), que realizam as medições por meio de sensoriamento remoto, os VAS (veículo autônomo submarino, ou AUV na sigla inglesa) ou VSNTs (veículos de superfície não tripulados, ou USV na sigla inglesa), que realizam as medições por meio do contato com a água.

O VAS desenvolvido por Huang et al. (2020), Figura 11, é um exemplo de sensoriamento submarino por contato, que possui a bordo um sensor de temperatura, pH e oxigênio dissolvido, cujos dados são medidos durante seu deslocamento na água e transmitidos através de ondas de rádio até um receptor fora da água.

Figura 11 – Veículo Autônomo Submarino desenvolvido por Huang et al. (2020) para medição de qualidade da água



Fonte: Huang et al. (2020)

Veículos como este, além de poderem ser utilizados também para monitoramento do comportamento dos peixes, agregam outras tecnologias diversas, que incluem algoritmos com inteligência artificial como o de Gaya et al. (2016) que propôs uma solução para desvio de obstáculos subaquáticos, de modo que veículos submarinos possam se locomover, achando rotas alternativas para evitar colisões com margens ou outros equipamentos subaquáticos.

Shen (2017), no que lhe concerne, utilizou a abordagem aérea, adaptando um RPAS para comportar equipamentos necessários para realização de batimetria, que é a medição da profundidade de lagoas. O protótipo proposto ainda possui a possibilidade de pousar na água, utilizando-se de uma plataforma flutuante fixada abaixo do RPAS, como pode ser observado na Figura 12.

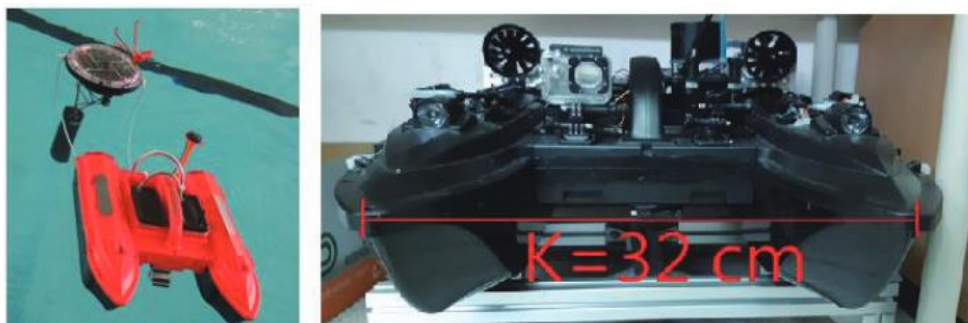
Figura 12 – Veículo aéreo remotamente pilotado adaptado por Shen et al. (2017) para batimetria de lagoas



Fonte: Shen et al. (2017)

Yang et al. (2018), apresenta ainda um exemplo de VSNT, que da mesma forma como os RPAS, podem ser construídos para este propósito, ou adaptados para que comportem os equipamentos necessários para a medição e transmissão de dados.

Figura 13 – Veículo de superfície não tripulado adaptado por Yang et al. (2018) para monitoramento de qualidade da água



Fonte: Yang et al. (2018)

O veículo demonstrado na Figura 13 possui um sensor capaz de medir a temperatura, o pH, a condutividade e a Turbidez da água. Estes veículos também podem ser adaptados com controladores de rota, ou equipamentos de pilotagem a distância.

Shareef et al. (2020) apresenta ainda um modelo de módulo flutuante fixo de monitoramento, que consiste em um compartimento flutuante dotado de um painel solar para alimentação do sistema, que faz a leitura da qualidade da água e envia os dados por ondas de rádio para um receptor na margem. Este sistema pode ser replicado em vários pontos do viveiro produtivo, fornecendo dados de diversos pontos distintos em tempo real, como ilustra a Figura 14.

Figura 14 – Equipamento fixo de monitoramento da qualidade da água proposto por Shareef et al. (2020)



Fonte: Shareef et al. (2020)

Existem ainda módulos flutuantes fixos de outros modelos com diferentes aprimoramentos, como o de Bartz (2017) que desenvolveu uma boia com carcaça de aço inoxidável e blindagem superior que protege os equipamentos internos de serem destruídos por chuvas de granizo, como ilustra a Figura 15.

Figura 15 – Equipamento fixo de monitoramento da qualidade da água proposto por Bartz (2017)



Fonte: Bartz (2017)

Este modelo de plataforma de sensoriamento é bastante dinâmico, e pode aparecer em diferentes formatos construtivos, tipos de sensores a bordo e tipos de transmissão ou armazenamento de dados. Diferente de Shareef et al. (2020), por exemplo, Bartz (2017) utilizou um módulo GSM que, através do sinal de uma operadora de telefonia local, enviava os dados medidos pelos sensores diretamente para um banco de dados remoto.

Gorbunova et al. (2020) destaca que a automação completa do processo produtivo, não somente a aferição da qualidade da água, desde a preparação dos viveiros até a comercialização do pescado pode melhorar a eficiência de todo processo produtivo de 70 a 80%, além de aumentar a renda gerada de 20 a 30%. O autor demonstra ainda alguns produtos no mercado destinados ao manejo diário dos viveiros, como alimentadores e aeradores autônomos alimentados por energia fotovoltaica, (Figura 16), que podem ser interligados a sistemas de monitoramento de qualidade da água, gerando um grande ecossistema de troca de dados, de modo que todo o processo produtivo se torne mais preciso e eficiente.

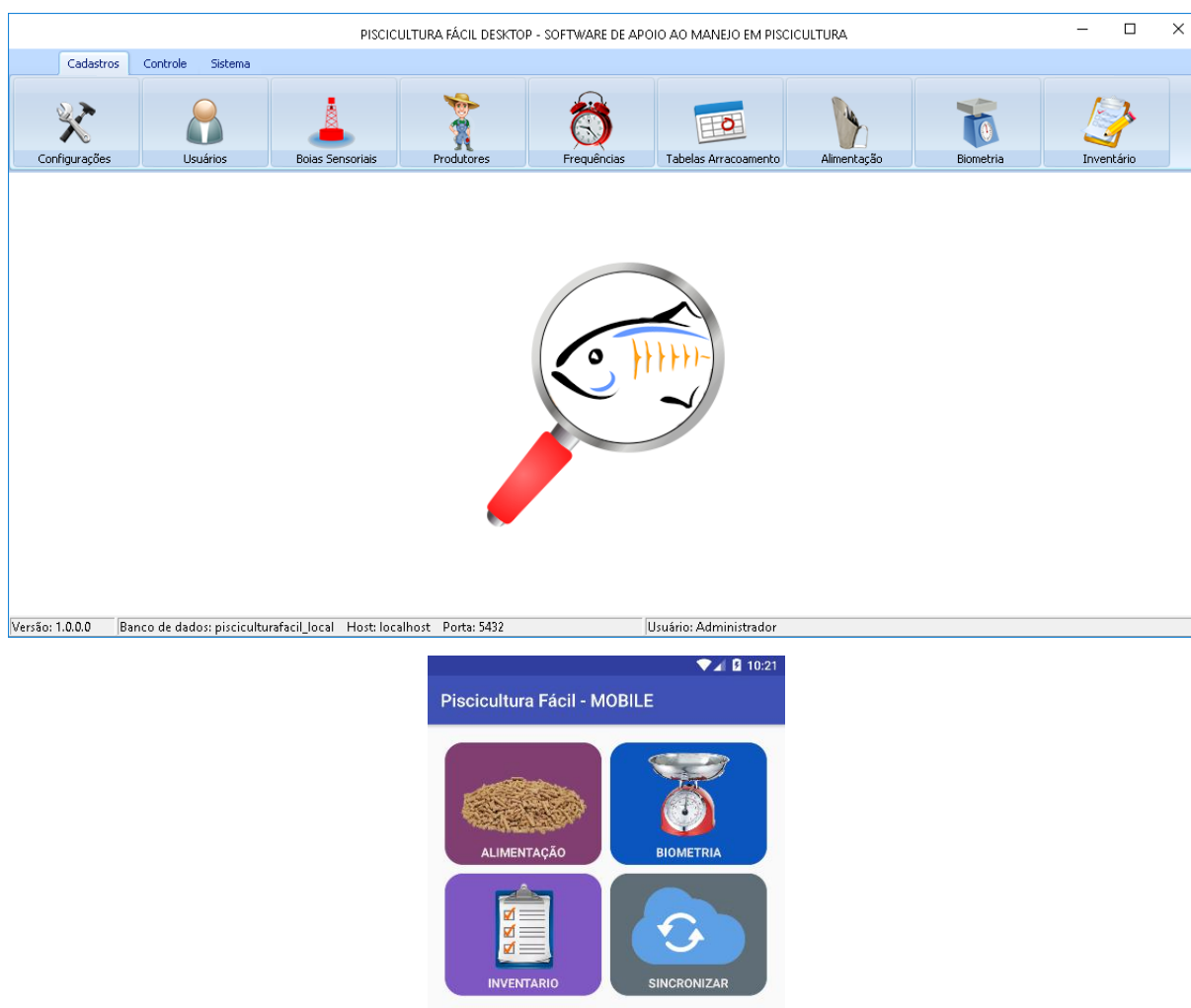
Figura 16 – Aeradores e alimentadores autônomos



Fonte: Gorbunova et al. (2020)

Estes aeradores podem ser programados para oxigenarem a água em horários específicos, ou até ter seu funcionamento baseado nos níveis de oxigênio dissolvido na água em um determinado momento. Os alimentadores também podem atuar desta maneira, dispensando, muitas vezes, quantidades variadas de alimento de acordo com as condições ambientais.

Geralmente equipamentos físicos vem acompanhados de *softwares* de monitoramento e gestão do manejo na piscicultura. A Figura 17 ilustra o *software* proposto por Bartz (2017), que possui um módulo para computador, e outro para dispositivos móveis (*Smartphones* e *Tablets*) para coletas de dados em campo, e que se interliga com a boia sensorial ilustrado na Figura 15 para efetuar o cálculo de fornecimento de ração com base na qualidade da água, acompanhamento de crescimento dos peixes, dentre outros recursos.

Figura 17 – *Software* de apoio ao manejo em piscicultura proposto por Bartz (2017)

Fonte: Bartz (2017)

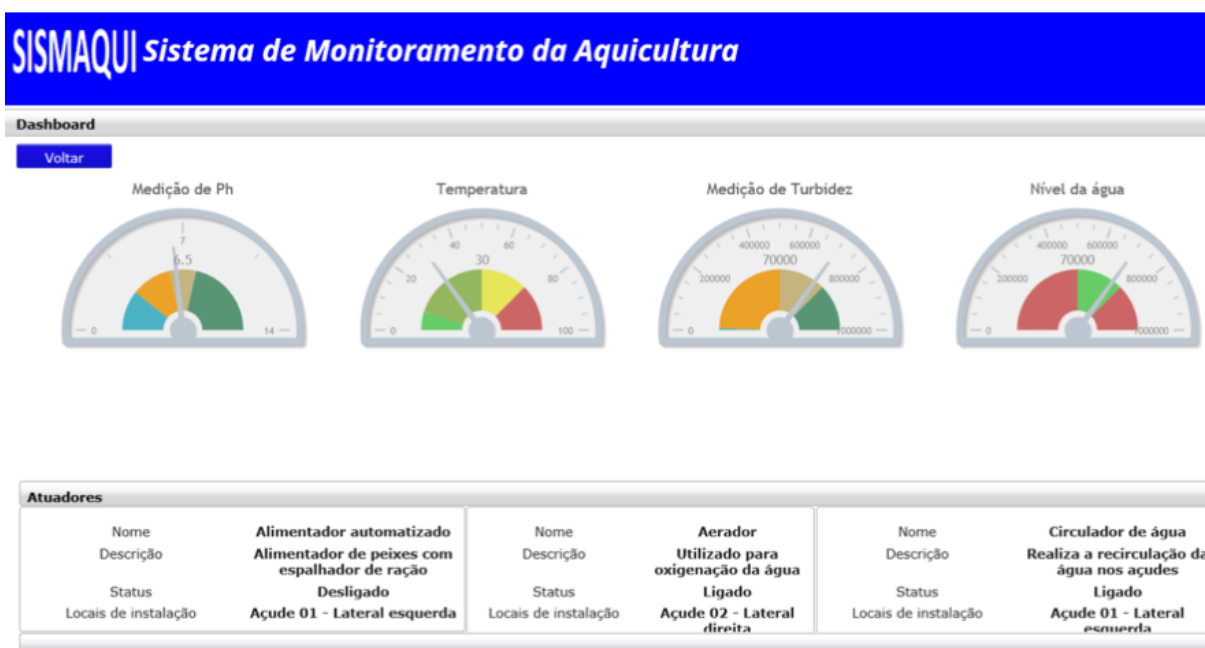
Este modelo de *software* costuma ser bastante variado, tanto em funcionalidades, quanto em conectividade, podendo ainda ser independente de outros sistemas, servindo como uma ferramenta de cálculo e tomada de decisão, como o aplicativo desenvolvido por Boranga et al. (2018), onde é possível calcular a quantidade de ração a ser fornecida aos peixes após o preenchimento de alguns dados sobre biometria, população de peixes e temperatura (Figura 18).

Figura 18 – Aplicativo para piscicultura proposto por BORAGA et al. (2018)

Fonte: BORANGA et al. (2018)

Existem ainda *softwares* que, além de proporcionar um painel de observação contendo os dados lidos pelos sensores na água, também possibilitam visualizar o estado atual de atuadores, como alimentadores, aeradores, etc. Um exemplo deste tipo de arranjo pode ser visto no *software* desenvolvido por Santos et al. (2019), ilustrado na Figura 19.

Figura 19 – Sistema de monitoramento para piscicultura proposto por Santos et al. (2019)



Fonte: Santos et al. (2019)

A interligação de diversos sistemas, tais quais *softwares* e equipamentos, para que trabalhem juntos em prol de um processo produtivo maior foi chamado de “Quarta revolução industrial”, ou “Revolução 4.0”, a qual atualmente já se prospecta melhorias dando origem ao termo “Quinta revolução industrial”.

3.3 AQUICULTURA 5.0

Ao longo dos anos houveram evoluções tecnológicas que facilitaram a vida das pessoas, separando o trabalho humano do trabalho feito por máquinas. O desenvolvimento do motor a vapor no século 18 foi fundamental para o aumento da produção na época, pois uma máquina a vapor fazia o trabalho de muitos homens em um espaço de tempo muito menor. Isto proporcionou o surgimento das primeiras indústrias que viriam a substituir o trabalho artesanal. Por ser algo revolucionário, este marco foi batizado de “Revolução Industrial” (BLOEM et al., 2014).

Entre os anos de 1850 e 1945 houve a segunda revolução industrial, com o desenvolvimento de indústrias químicas, elétricas, de petróleo e aço, além do progresso dos meios de transporte e comunicação. Entre 1950 e 2010 houve a terceira revolução industrial, marcada pela substituição gradual da mecânica analógica pela digital, pelo uso de microcomputadores e pela criação da *internet* em 1969 (SCHWAB, 2017).

A partir de 2011 iniciou-se a quarta revolução industrial, também conhecida como “Indústria 4.0”, com o objetivo de utilizar todas as tecnologias atualmente disponíveis para gerar conhecimento e produtividade. Basicamente o processo da indústria 4.0 consiste na obtenção de dados, interpretação dos mesmos, e tomada de decisão, sendo estas efetivadas por uma ou mais ações que resultem em uma resposta previsível no processo produtivo (MORRAR et al., 2017).

A aquicultura, por se tratar de um processo produtivo, também segue esta nomenclatura, dando origem ao termo “Aquicultura 4.0”, onde os dados são obtidos por equipamentos de monitoramento, tais como os que foram apresentados na sessão anterior, sendo armazenados em bancos de dados compartilhados que podem ser acessados por computadores ou *smartphone*.

Uma vez disponíveis, os dados podem ser lidos por algoritmos que desempenham o papel de interpreta-los e processá-los, para que resultem em decisões sugeridas a um operador ou mesmo repassadas diretamente para

máquinas ou equipamentos que executam uma determinada ação. O veículo submarino da Figura 11, por exemplo, ao coletar um ou mais parâmetros de qualidade da água poderia enviá-los a um banco de dados remoto, um computador ligado a *internet* ler estes dados e verificar que o oxigênio dissolvido na água está baixo, e enviar um comando ao aerador da Figura 16 para que este aumente os níveis de oxigênio da água, cujo retorno do processo retroalimenta a próxima leitura feita pelo submarino. Outro comando poderia ser enviado ao alimentador automático da Figura 16, indicando a quantidade de ração que deve ser disponibilizada de acordo com a qualidade da água no momento.

Este processo teria como ser ajustado para monitoramento direto, por um *smartphone* em qualquer lugar do mundo, ou seja, são muitas as possibilidades que a tecnologia atual nos proporciona, e o processo inovativo se retroalimenta de maneira que a tecnologia proporciona o desenvolvimento de mais artefatos tecnológicos. Já estamos em fase inicial da quinta revolução industrial, que também pode ser considerada como um complemento da quarta revolução industrial, onde a tecnologia deve servir para melhorar a qualidade de vida das pessoas, colocando os sistemas inteligentes ao serviço do ser humano, ajudando-o a resolver problemas como o envelhecimento da população, a limitação de energia elétrica, desastres naturais, segurança e desigualdade social (ALKHATIB e LEBDY, 2021).

A quinta revolução industrial também dá origem ao termo “Aquicultura 5.0”, que combinará habilidades humanas com a velocidade das máquinas, fazendo com que seja possível interagir com processos produtivos de maneira natural, por comandos de voz ou realidade aumentada, e usar robôs colaborativos no campo, aproveitando fontes de energias renováveis para criar sistemas autossuficientes.

3.3 ESCOPO E CONTRIBUIÇÕES DESTA PESQUISA

Esta pesquisa teve como objetivo contribuir para o desenvolvimento e aplicação da aquicultura 5.0, melhorando o processo de aquisição de dados de qualidade da água em viveiros de piscicultura. Avaliando o estado da arte da tecnologia destinada à leitura de qualidade da água, analisou-se que há um problema de logística que dificulta o uso de veículos submarinos (VAS), de superfície (VSNT), ou até sensores fixos para aferição da qualidade da água, pois estes veículos precisam ser transportados de um viveiro para outro, ou mesmo tendo

que ser replicados em cada um dos viveiros, fazendo com que os custos de aquisição e manutenção destes equipamentos inviabilize o processo.

Neste sentido, o uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS) é muito mais eficiente, pois além de não haver obstáculos no deslocamento aéreo de um RPAS entre um viveiro e outro, estes ainda podem ser programados para voos autônomos, de maneira que se comportem como robôs colaborativos. Por não haver muitos avanços na área de sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento instantâneo de parâmetros de qualidade da água por RPAS, esta pesquisa teve foco na criação de um protótipo de coleta de temperatura e transparência da água com um baixo custo, que pudesse ser acoplado a qualquer RPAS, de maneira que ao sobrevoar um viveiro de piscicultura, o sistema conseguisse coletar um ou mais parâmetros de qualidade da água e enviá-los instantaneamente para um banco de dados, podendo o processo ser monitorado e gerenciado por um aplicativo instalado e um *smartphone*, que também foi desenvolvido nesta pesquisa.

A ideia geral foi proporcionar uma forma ágil de medição que possa ser usado tanto de maneira manual, com um operador pilotando o drone durante as aferições nos viveiros, que representa uma ferramenta importante para técnicos e engenheiros de pesca que prestam serviços para os piscicultores em suas propriedades, e também, de maneira automática, em que o drone levanta voo, percorre os viveiros escavados fazendo as devidas aferições, e retorna ao ponto de partida pousando novamente. Uma vez estando os dados concentrados em um banco de dados, estes se integram ao ecossistema da aquicultura 5.0, podendo ser utilizado para diversas finalidades.

Como existem diversos parâmetros de qualidade da água que influenciam no manejo produtivo dos viveiros, e cada um deles possui suas próprias características de aferição, esta pesquisa teve como escopo o desenvolvimento do aplicativo de gerenciamento, criação do protótipo contendo o canal de comunicação entre o RPAS e o operador, e prover a leitura da temperatura e transparência da água. As sessões 4 e 5 apresentam 2 artigos, onde no primeiro é detalhado a construção do protótipo e do aplicativo de coleta, com ênfase na aferição da temperatura, e no segundo é detalhado o desenvolvimento do mecanismo de aferição da transparência da água. Ao final, na sessão 6, foi detalhado a união dos dois mecanismos de aferição em um único sistema acoplado ao RPAS.

As próximas sessões detalharão a influência que a temperatura e a transparência da água exercem sobre a piscicultura, e como isso impacta na sustentabilidade do setor.

3.3.1 TEMPERATURA

A temperatura da água influencia diretamente a capacidade metabólica dos peixes, o que significa que diferentes espécies de peixes podem ter diferentes faixas de conforto térmico. Alterações metabólicas impactam muito nos custos envolvidos na piscicultura, pois prejudicam a conversão alimentar dos peixes. Por este motivo, é importante que a temperatura esteja sempre dentro da faixa ideal de cultivo de cada espécie (QIANG et al., 2013; BHATNAGAR e DEVI, 2013; SANTOS et al., 2014).

Além disso, a temperatura também tem relação com outros parâmetros de qualidade da água, podendo influenciar na capacidade de fotossíntese de algas, oxigênio e outros gases dissolvidos, condutividade, salinidade e pH. Altas temperaturas aumentam a solubilidade de compostos tóxicos, como a amônia, que pode chegar a dobrar sua concentração em variações de 10 graus Celsius. Isto também se aplica a quantidade de oxigênio dissolvido, porém de maneira inversa, ou seja, à medida que a temperatura da água aumenta, a concentração de oxigênio dissolvido tende a diminuir (DEVI et al. 2017).

Em ambiente de piscicultura, são normalmente cultivadas espécies em águas neutras, ou seja, com pH igual a 7, onde íons de hidrônio e hidróxido possuem a mesma concentração. Esta concentração, no entanto, se mantém estável a 25 graus Celsius, o que significa que alterações na temperatura afetam esta estabilidade, afetando também o pH da água, que pode se tornar imprópria para cultivo. A condutividade é um indicador de produção primária, onde é possível avaliar se os compostos químicos presentes na água propiciam um bom ambiente produtivo. A mobilidade iônica depende da sua viscosidade. Esta viscosidade diminui com o aumento da temperatura da água, impactando também em sua condutividade. Os níveis de condutividade da água desejáveis para a piscicultura podem variar conforme a espécie cultivada (BHATNAGAR e DEVI, 2013).

Por ser um fator crítico para a piscicultura, e que precisa de um monitoramento ágil e constante, a temperatura da água foi escolhida como parâmetro a ser incluído no sistema de medição de qualidade da água por RPAS proposto nesta pesquisa.

3.3.2 TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA

A transparência é definida pela distância em que a luz consegue penetrar na água, podendo chegar à distância máxima de 200 metros devido às suas características de absorção de luz, mesmo ela sendo cristalina. A transparência da água é afetada diretamente pela presença de partículas sólidas suspensas ou dissolvidas na água. Partículas com tamanho maior que 2 microns são consideradas em suspensão, enquanto as menores são consideradas dissolvidas, e podem ser oriundas de sedimentos, lodo, areia, plâncton, algas, ou mesmo decorrentes da decomposição de matéria orgânica na água (BREZONIK et al., 2019).

Quando a luz solar incide sobre a água, parte dela se choca com essas partículas, sendo ela absorvida ou refletida em diversas direções, dependendo da composição das mesmas. Este efeito faz com que menos luz consiga penetrar na água, diminuindo a transparência da mesma. A reflexão da luz nestas partículas causa um efeito óptico, o qual é chamado Turbidez, onde a água tem um aspecto turvo, de cor alterada, diferente da sua composição cristalina original. Portanto, a Turbidez está diretamente relacionada a transparência da água, pois aumenta enquanto a transparência diminui, em decorrência do aumento de sólidos na água (RÜGNER et al., 2013).

Águas salgadas tendem a ser mais transparentes, pois os íons de sal unem pequenas partículas suspensas, aumentando o seu peso, e por consequência, fazendo com que estas fiquem no fundo do reservatório, facilitando a passagem da luz. Estes sólidos depositados, ou mesmo em movimento no nível mais profundo estão inclusos na contagem do total de sólidos suspensos na água, enquanto não afetam sua turbidez. Por este motivo, a relação entre o total de sólidos suspensos e a turbidez da água não é exata.

A transparência é uma medida importante, pois pode indicar sinais de erosão do solo, escoamento, descargas, sedimentos de fundo agitados ou proliferação de algas. Nem sempre as partículas em suspensão provêm do próprio reservatório onde são observados, podendo ser decorrentes de fontes de captação de água que, além de partículas sólidas, podem ainda despejar agrotóxicos, como é o caso de escoamento de lavouras, e metais pesados, como é o caso de efluentes industriais que são retornados a rios e córregos.

Ao realizar a captação de água para a aquicultura, o desempenho produtivo dos organismos aquáticos depende da boa qualidade desta água, que irá garantir a saúde dos peixes cultivados, que podem ser afetados de diferentes modos de acordo com as substâncias presentes na água. As partículas em suspensão podem afetar ainda as habilidades de busca por alimento dos peixes (LOWE et al., 2015), o que ainda pode impactar no aumento da temperatura da água, em decorrência de maior absorção da luz solar. O aumento da temperatura, faz com que os níveis de oxigênio da água caiam, afetando os peixes de maneira indireta, podendo ainda gerar estratificação térmica, que consiste no surgimento de camadas mais quentes que outras, e que por sua vez geram uma cadeia de eventos, como decomposição acelerada de matéria orgânica e áreas menos oxigenadas que outras.

Os níveis de oxigênio dissolvido também são comumente afetados pela proliferação de algas, que apesar de produzirem oxigênio durante o dia, enquanto recebem luz, o consomem a noite. Portanto, a quantidade descontrolada de algas e plantas aquáticas prejudica a piscicultura, podendo ser esta controlada pela turbidez da água, que em determinados níveis, impede a incidência de raios solares no fundo dos reservatórios, impedindo o crescimento descontrolado destas algas e plantas (BHATNAGAR e DEVI, 2013; DOMINGUES et al., 2011).

Dada sua importância na aquicultura, esta pesquisa irá explorar as características de reflexão de partículas sólidas na água para estimar a transparência da mesma em ambiente de piscicultura utilizando-se de imagens capturadas por RPAS.

4 ARTIGO 1

SISTEMA DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA DA ÁGUA EM AMBIENTE DE PISCICULTURA POR MEIO DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPAS)

Manuscrito publicado na revista científica International Journal of Development Research. ISSN 2230-9926.

Interdisciplinar – conceito A2

DOI: <https://doi.org/10.37118/ijdr.19527.07.2020>

RESUMO

Apesar da ampla utilização da tecnologia em diversas atividades agrícolas, a maioria dos processos de produção na piscicultura não é automatizada. Isso inclui o controle da qualidade da água e o fornecimento de ração, que estão relacionados, visto que a temperatura da água é a chave para determinar a quantidade de ração que deve ser dispensada nos viveiros em um determinado momento. Neste artigo foi descrito um sistema para estimar a temperatura da água em uma piscicultura por meio de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS) e mostrou-se como ele pode melhorar o manejo diário dos viveiros. Um protótipo foi construído com um sensor de temperatura infravermelho térmico de longo alcance e um microcontrolador embutido em um RPAS, reunindo e enviando dados para um aplicativo móvel especialmente desenvolvido, que usa coordenadas GPS para identificar qual viveiro de peixes está sendo sobrevoado. Os dados de infravermelho foram comparados com as medidas coletadas por um termômetro à base de mercúrio na superfície da água usando a análise de correlação de Pearson, mostrando uma forte correlação ($r = 0,80$). O sistema desenvolvido mostrou-se eficaz na coleta de dados, otimizando o manejo da piscicultura.

PALAVRAS CHAVE: Manejo em piscicultura, Qualidade da água, Sensoriamento remoto, Sustentabilidade.

ABSTRACT

Despite the widespread use of technology in several agricultural activities, most of the production processes in fish farming are not automatized. That includes water quality control and feed supply, which are related given that water temperature is key to determine how much feed should be dispensed in the fishponds at a given time. In this work, we describe a system to estimate the water temperature in a fish farm via unmanned aerial vehicles (uav) and show how it can enhance the fishponds daily management. A prototype was built with a long-range thermal infrared temperature sensor and a microcontroller embedded in a uav, gathering and sending data to a specially developed mobile application, which uses GPS coordinates to identify which fishpond is being flown over. The infrared data were compared against measures gathered by a mercury-based thermometer on the water surface by using pearson's correlation analysis, showing a strong correlation ($r = 0.80$). The developed system proves effective in gathering and analyzing data, thus optimizing fish farming management.

KEYWORDS: Fish Farming Management, Water Quality, Remote Sensing, Sustainability.

4.1 INTRODUÇÃO

A aquicultura é uma atividade em constante crescimento, e que demanda cada vez mais melhorias e inovações tecnológicas que proporcionem ao processo produtivo a máxima eficiência possível. O que mais impacta a sustentabilidade de atividades agrícolas são as técnicas de manejo produtivo, que devem ser otimizadas para maximizar o desempenho produtivo, e minimizar custos, desde a compra de insumos até equipamentos, principalmente quando são cultivadas espécies com menor valor agregado. É de suma importância identificar quais são os pontos chave do manejo que podem ser melhorados de acordo com a realidade de cada propriedade, e quais são os custos de produção que mais pesam no orçamento.

Na aquicultura, principalmente na criação de peixes, uma importante variável a ser considerada é a otimização do fornecimento de alimento aos peixes, que representa boa parte dos custos totais de produção. Para maximizar a eficiência no fornecimento de ração, é muito importante observar os parâmetros de qualidade da água, principalmente a temperatura, que influencia diretamente nas atividades fisiológicas dos peixes, e por consequência influencia também em seu desenvolvimento (Qiang et al., 2013; Santos et al., 2014).

A alimentação dos peixes é feita diversas vezes ao dia, dependendo da espécie, e o processo de medição da temperatura dos viveiros produtivos deve ser ágil, principalmente no caso de produtores que possuem muitos viveiros, pois o tempo gasto com as medições, além de comprometer a eficiência do processo produtivo, acaba ainda acarretando em mais custos de produção decorrentes do tempo despendido no processo e, em alguns casos, custos de deslocamento entre os viveiros escavados, caso seja utilizado algum veículo automotor para auxiliar nesta tarefa.

Os avanços tecnológicos possuem uma tendência de miniaturização, trazendo para os produtores agrícolas produtos e processos que antes eram acessíveis apenas pelas indústrias, tais como robótica, *softwares* e sensores de ponta, os quais estão propiciando acesso a dados importantes em tempo real, incluindo parâmetros de qualidade da água em piscicultura (Ravalli et al., 2017). Isto abre portas para que os produtores possam melhorar seus processos com equipamentos cada vez mais modernos, e de baixo custo.

A automação de processos e o futuro da tecnologia está diretamente ligada ao conceito de *Internet* das coisas, conhecida pela sigla IoT advinda do termo “Internet of Things”, que é uma tecnologia em evolução com o objetivo de conectar objetos do mundo real a pessoas, visando facilitar a vida de quem as utiliza (Mota et al., 2013). Este conceito está cada vez mais sendo utilizado para conectar sensores à agricultores, visando facilitar a tomada de decisões no processo produtivo agrícola (Zhang et al., 2013), (Chen et al., 2017). Com uma demanda crescente de conectar sensores e dispositivos, milhares de novos microcontroladores estão disponíveis no mercado a cada dia com as mais diversas funcionalidades, os quais podem ser utilizados em diferentes projetos de acordo com a necessidade.

A agricultura de precisão combina diversos artefatos tecnológicos úteis para as mais diversas aplicações agrícolas, dentre eles posicionamento por GPS (*Global Positioning System*, ou Sistema de Posicionamento Global), ferramentas de mapeamento e análise de dados, *softwares* de apoio e sensores que podem ser montados em locais fixos ou em robôs e drones, podendo ainda transmitir dados a distâncias relativamente grandes. Este conjunto de técnicas e equipamentos está resultando em ganho de tempo, redução de desperdício, melhoria de qualidade nos produtos cultivados, e aumento significativo da produção (Ling, 2017), (Lindblom et al., 2016).

Com o aumento da gama de sensores disponível no mercado, também é possível explorar outras formas de interação sensorial. A forma mais conhecida de interação com a água para captura de temperatura é por meio de contato físico, possibilitando a troca térmica entre o sensor e o meio aquoso, de forma que esta troca térmica possa ser transformada em impulsos elétricos que resultem em uma medida digital, ou mesmo transformada em uma alteração óptica, no caso dos sensores a base de mercúrio. Outro meio, explorado principalmente pelas geotecnologias, é a interação de corpos d’água com o espectro de radiação eletromagnética. As pesquisas envolvendo sensoriamento remoto analisam, em sua maioria, as respostas espectrais dos objetos estudados em diferentes comprimentos de onda, e são realizadas principalmente por meio de imagens de satélites, que mapeiam uma determinada área em diferentes comprimentos de onda. Por meio destas pesquisas, muitos comportamentos espectrais de diversos objetos já foram mapeados, e são atualmente utilizados para extração de informações, como por exemplo, a identificação de pragas e doenças em lavouras.

Certas faixas do espectro eletromagnético podem servir para uma finalidade comum, como é o caso da faixa de radiação infravermelha que varia entre 2,5 e 14 micrômetros (μm). Esta faixa é chamada de Infravermelho térmico, pois a reflectância de corpos submetidos a este comprimento de onda tem sua reflectância proporcional a temperatura de sua superfície, portanto pode ser utilizada para avaliar a temperatura de objetos, inclusive a temperatura de corpos d'água (Glass, 2013).

A análise de reflectância infravermelha da água pode ser analisada a partir de diferentes sensores, desde equipamentos de bancada em laboratórios até satélites, como é o caso da pesquisa conduzida por Alcântara et. al (2011), que obteve bons resultados na utilização da banda infravermelho térmico do satélite MODIS para monitorar as variações de temperatura na represa da hidrelétrica de Itumbiara no estado de Goiás - Brasil.

A escolha do sensor a ser utilizado para realizar análises de temperatura em ambientes aquáticos de piscicultura depende muito das condições ambientais do local, como por exemplo o tamanho e a distância entre os viveiros, bem como a quantidade de viveiros que precisam ser analisados. No sul do Brasil, onde se concentra a maior produção intensiva de peixes de águas continentais, a produção é feita majoritariamente em viveiros escavados com uma área pequena de lâmina d'água, logo os piscicultores normalmente possuem diversos viveiros em suas propriedades (Coldebella et al., 2018), sendo uma configuração difícil de se analisar através de imagens de satélite, por exemplo, devido a necessidade de haver um alta resolução e baixa interferência atmosférica para analisar áreas tão pequenas. A maioria destes piscicultores realiza a medição da temperatura da água de seus viveiros produtivos de forma manual, através de termômetros a base de mercúrio mergulhados na água.

Tendo em vista a necessidade de melhorar estas técnicas de mensuração, e as possibilidades oferecidas pelos recursos tecnológicos existentes até então, esta pesquisa aborda a construção de um sistema de monitoramento de temperatura para viveiros aquícolas que se utiliza de uma aeronave remotamente pilotada (RPAS) para realizar as medições por meio de um termômetro infravermelho de longo alcance, transmitindo os dados em tempo real a longas distâncias para um aplicativo instalado em um *smartphone*, que contém módulos desenvolvidos para uso em piscicultura. Desta forma, os piscicultores tem acesso rápido a temperatura

dos viveiros, não sendo necessário o contato com a água para realizar as medições, nem o deslocamento até os viveiros.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema proposto é composto por três módulos. O primeiro módulo é instalado no RPAS, e é responsável por processar a leitura da temperatura da água e transmiti-la a longas distâncias, de modo que possam ser recebidos pelo operador em tempo real. Após recebidos os dados, estes precisam ser retransmitidos em uma frequência compatível para que possam ser processados em um aplicativo instalado em um dispositivo móvel, tal qual um *smartphone*. Para tanto, o sistema conta com um segundo módulo que recebe as transmissões de dados de longa distância, e os retransmite mediante um ponto de acesso Wireless, mais conhecido como WiFi, que é uma tecnologia de transmissão de dados atualmente suportada por todos os *smartphones* modernos. Finalmente, os dados são processados e manipulados em um terceiro módulo, que consiste em um aplicativo para dispositivos móveis, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma de funcionamento do sistema, composto por módulo de sensoriamento, receptor de longa distância e aplicativo móvel para medição da temperatura da água em viveiros de piscicultura



Fonte: Autoria Própria

Para o desenvolvimento do primeiro módulo, instalado no RPAS, utilizou-se um microcontrolador ESP32 com processador de 240MHZ e 320 KB de memória RAM, embarcado em uma placa contendo um módulo GPS de navegação modelo NEO-6M com precisão de 2,5 metros e um módulo de transmissão de ondas de

rádio que utiliza a tecnologia LoRa®, conhecida pela transmissão de rádio a longas distâncias com baixo consumo de energia. No Brasil esta tecnologia está licenciada para a frequência de 915 MHz, logo o microcontrolador foi programado para atuar nesta frequência específica. Os equipamentos foram ligados a uma bateria modelo 18650 de 3.7V 2200 mAh. O microcontrolador foi conectado a um sensor de temperatura infravermelho do fabricante MELEXIS®, modelo MLX90614ESF-DCI, dotado de um filtro de captura de ondas longas do espectro infravermelho que emite ondas de radiação entre 5,5 e 14 μm , e é calibrado com precisão de 0,02 °C, podendo ser usado para uma vasta gama de aplicações tais como equipamentos médicos de alta precisão, aparelhos de ar condicionado e medição de temperatura de peças móveis em equipamentos industriais (Melexis, 2020). O Sensor fornece a medição da temperatura em duas perspectivas, as quais são o ambiente a qual se encontra, e do alvo ao qual está sendo direcionado. Neste projeto, ele foi utilizado para medição da temperatura da superfície da água dos viveiros produtivos, e por sua característica de medição a distâncias relativamente longas, em torno de 10 metros, se mostrou apto para uso em RPAS, tendo em vista também as vantagens de mobilidade que estes veículos proporcionam. A interação entre todos os componentes eletrônicos foi implementada por meio de *software* desenvolvido na linguagem de programação C++.

Os equipamentos foram embarcados em invólucros modelados no programa TinkerCAD, que é um *software* livre para modelagem 3D, e posteriormente impressos em uma impressora 3D da marca 3DCloner modelo LAB utilizando filamento plástico PLA a uma temperatura de 210°C. Para leitura e armazenamento dos dados, um aplicativo foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Dart, por meio da ferramenta Visual Studio Code versão 1.46, que é uma ferramenta livre para uso pessoal e comercial.

Para realização dos testes com o sistema, e avaliação de sua eficiência, realizou-se a coleta de amostras de temperatura em 15 viveiros escavados de um produtor rural da cidade de Toledo – PR - Brasil, nas proximidades do ponto de latitude -24.696540° e longitude -53.779778°, dispostos conforme a Figura 2.

Figura 2 - Viveiros escavados de piscicultura de um produtor Rural da Cidade de Toledo – PR onde foram coletadas amostras para análise de temperatura da água



Fonte do Mapa: Google (2019)

As coletas foram realizadas no dia 14 de julho de 2020, entre 14 e 16 horas, horário em que o céu estava claro, com poucas nuvens e pouco vento. Em cada viveiro foram obtidas oito amostras de temperatura, sendo quatro delas por meio do sistema proposto embarcado em um RPAS a uma altitude de 3 metros da lâmina d'água para fins de padronização, e quatro por meio de um termômetro de mercúrio em contato com a água. Para comparação dos dados, primeiramente utilizou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Após constatado a normalidade dos dados, utilizou-se a análise paramétrica linear de Pearson para verificar se houve diferença significativa entre as medições provindas dos dois tipos de sensores, considerando $\alpha = 0,05$ em ambos os testes.

Todos os testes estatísticos foram realizados por meio do ambiente R (R CORE TEAM, 2018) e pacote estatístico complementar "agricolae" (Mendiburu, 2017).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Protótipo

O invólucro contendo os equipamentos do RPAS foi acoplado a uma base modelada para ser fixada em um RPAS da marca DJI modelo Phantom 4 Advanced,

que foi utilizado para realizar os testes em campo. Apesar de ter sido projetada para este modelo específico de RPAS, a base pode ser adaptada ou reprojeta facilmente para ser utilizada em outros modelos de RPAS. O invólucro dispõe de uma tampa fixada com dois parafusos, a qual contém uma lâmpada de sinalização, indicando quando o equipamento está ligado, um botão de contato momentâneo para ligar e desligar o sistema, e um orifício para conexão de um cabo micro USB para carregamento da bateria, cuja carga pode ser feita utilizando um carregador comum de telefone celular.

Na extremidade inferior do invólucro, foi projetado um orifício para conexão da antena de transmissão dos dados, e um suporte para encaixe do sensor infravermelho, de modo que fique apontado para a água.

Figura 3 - Módulo sensor de temperatura infravermelho acoplado a um RPAS para medição de temperatura em viveiros escavados de piscicultura



Fonte: Aatoria Própria

A fixação deste módulo foi projetada para que o peso do equipamento fique próximo ao centro de massa do RPAS, de modo a não causar prejuízo na estabilidade do aparelho durante o voo.

O segundo módulo também foi projetado para ser encaixado abaixo do controle remoto do drone utilizado nos testes, proporcionando assim uma característica anatômica de utilização. Ele conta com as mesmas características de montagem do módulo instalado no RPAS, porém dispõe dos botões de controle na lateral.

Figura 4 - Módulo receptor de dados que se comunica com sensor de temperatura infravermelho acoplado a um RPAS para medição de temperatura em viveiros escavados de piscicultura



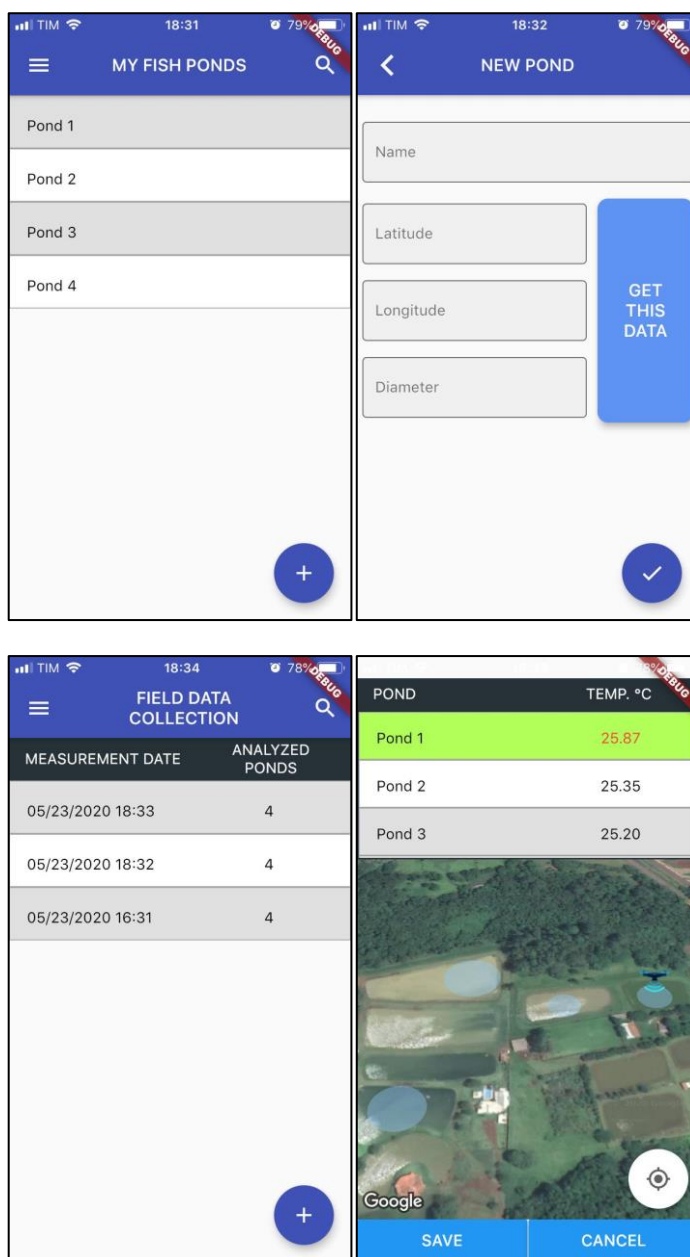
Fonte: Autoria Própria

Além de não atrapalhar o manuseio do RPAS, o equipamento acoplado ao controle não requer interação do piloto durante o voo, apenas exige que o operador ligue o módulo antes da decolagem, e desligue o mesmo após o término do voo.

4.3.2 Software

O aplicativo desenvolvido teve como foco principal a facilidade de uso, onde os dados pudessem ser coletados em campo com o mínimo de interação possível por parte do usuário. Para tanto, foi desenvolvido um módulo de cadastro de viveiros produtivos a serem analisados, que conta com campos para o georreferenciamento de cada viveiro produtivo, e um módulo de coleta de dados em campo que detecta automaticamente o viveiro que está sendo sobrevoado através das coordenadas GPS fornecidas pelo microcontrolador instalado no RPAS, dispondo os dados em um mapa disponibilizado pela Plataforma de Mapas da Google. O recurso de georreferenciamento de viveiros possibilita, além de voos manuais, que as medições sejam feitas automaticamente por meio de um plano de voo pré-programado, onde o RPAS faz o trajeto sem a interação do usuário, pousando ao final da rota no mesmo ponto de decolagem, o que, segundo Vivaldini et al. (2019), impacta significativamente na performance das medições em campo.

Figura 5 - Layout dos módulos do aplicativo de coleta de dados desenvolvido para medição de temperatura em viveiros de piscicultura georreferenciados.



Fonte do Mapa: Google (2020)

O *software* desenvolvido é compatível com os sistemas operacionais Android a partir da versão 4.1 e iOS a partir da versão 8. O banco de dados escolhido para armazenamento dos dados foi o SQLite, que é um banco de dados relacional muito utilizado em aplicações para dispositivos móveis por exigir um baixo poder computacional e ser de fácil utilização.

4.3.3 Testes

Após coletados os dados em campo, obteve-se a média de cada conjunto amostral, as quais estão dispostas na Tabela 1.

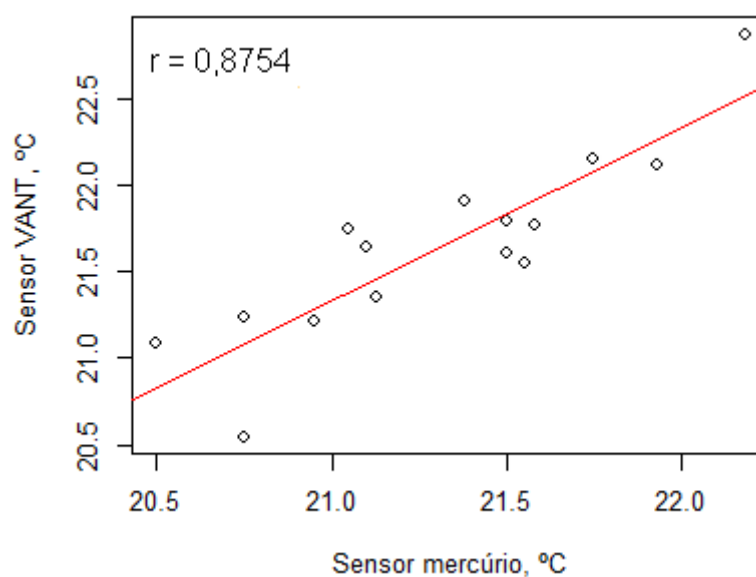
Tabela 1 - Temperatura média da água de 15 viveiros produtivos de piscicultura coletados com 2 tipos de sensores diferentes para fins de comparação

VIVEIRO	AMOSTRAS POR CONTATO °C	MÉDIA AMOSTRAS POR CONTATO °C	AMOSTRAS POR RPAS °C	MÉDIA AMOSTRAS POR RPAS °C
V1	21.50 - 21.50 - 21.50 - 21.50	21.50 ± 0.00	21.59 - 21.55 - 21.63 - 21.63	21.60 ± 0.04
V2	20.50 - 21.00 - 20.50 - 21.00	20.75 ± 0.29	20.59 - 20.51 - 20.49 - 20.57	20.54 ± 0.05
V3	21.00 - 21.00 - 22.00 - 21.50	20.75 ± 0.29	21.15 - 21.27 - 21.29 - 21.21	21.23 ± 0.06
V4	21.00 - 21.50 - 21.00 - 22.00	21.38 ± 0.48	21.83 - 21.75 - 22.01 - 22.03	21.91 ± 0.14
V5	21.50 - 21.20 - 21.50 - 22.00	21.55 ± 0.33	21.57 - 21.47 - 21.35 - 21.81	21.55 ± 0.20
V6	21.00 - 21.20 - 21.00 - 21.00	21.05 ± 0.10	21.59 - 21.69 - 21.87 - 21.81	21.74 ± 0.12
V7	21.00 - 21.20 - 21.00 - 21.30	21.13 ± 0.15	21.33 - 21.37 - 21.29 - 21.39	21.35 ± 0.04
V8	21.00 - 20.80 - 21.00 - 21.00	20.95 ± 0.10	21.17 - 21.19 - 21.25 - 21.21	21.21 ± 0.03
V9	21.50 - 22.00 - 21.50 - 22.00	21.75 ± 0.29	22.19 - 22.11 - 22.07 - 22.23	22.15 ± 0.07
V10	21.50 - 22.00 - 22.00 - 22.20	21.93 ± 0.30	22.13 - 22.11 - 22.07 - 22.13	22.11 ± 0.03
V11	21.00 - 21.20 - 21.00 - 21.20	21.10 ± 0.12	21.61 - 21.75 - 21.63 - 21.55	21.64 ± 0.08
V12	20.50 - 20.70 - 20.50 - 20.30	20.50 ± 0.16	21.03 - 21.13 - 21.11 - 21.09	21.09 ± 0.04
V13	22.50 - 22.20 - 22.00 - 22.00	22.18 ± 0.24	22.99 - 22.95 - 22.73 - 22.81	22.87 ± 0.12
V14	21.20 - 21.50 - 21.80 - 21.50	21.50 ± 0.24	21.81 - 21.71 - 21.77 - 21.85	21.79 ± 0.06
V15	21.50 - 22.00 - 21.50 - 21.30	21.58 ± 0.30	21.57 - 21.77 - 21.87 - 21.87	21.77 ± 0.14

Fonte: Autoria Própria

O resultado do teste de Shapiro-Wilk apontou que os dados seguiam uma distribuição normal, cuja relação entre as médias pode ser observada na Figura 6. Também não foram identificados pontos discrepantes nas amostras.

Figura 6 - Gráfico de dispersão das médias amostrais de temperatura da água de viveiros escavados de piscicultura obtidos por meio de dois sensores de temperatura diferentes.



Fonte: Autoria Própria

O teste de correlação de Pearson revelou uma forte correlação positiva ($r = 0.8754$, $n = 15$ com 4 réplicas por variável) entre os dados medidos pelos 2 sensores, o que indica que o sensor infravermelho é eficiente, mesmo sendo utilizado em um dispositivo em movimento.

Durante a coleta das amostras, o sensor infravermelho utilizado mostrou não sofrer interferência do ângulo de medição, tal qual ocorreu no experimento de Shen et al. (2017) que utilizou um sensor a laser para batimetria de lagos, onde o ponto focal do laser na água sofreu interferências devido ao ângulo de inclinação do drone, por este se basear na refração do laser na água. Neste quesito, o sensor infravermelho mostrou-se extremamente eficiente, não ocorrendo variações bruscas nas medições de temperatura durante o estágio de aproximação, manobra e afastamento do UAV na lâmina d'água, o que indica que o sistema possui flexibilidade para coleta de temperatura em diferentes altitudes, podendo ainda realizar as medições enquanto se movimenta sobre a água, facilitando muito a manobra do RPAS durante as coletas.

A utilização de um módulo microcontrolado ESP32 compacto e que dispõe de um módulo de GPS embarcado na mesma placa se mostrou vantajoso em relação a projetos que utilizam a plataforma padrão Arduino, onde se faz necessário conectar diversas placas a fim de atingir um determinado objetivo, o que no caso deste projeto aumentaria o volume e o peso do equipamento embarcado no RPAS.

As placas com base no ESP32 também possuem a vantagem de vir com uma antena de Wi-Fi embutida, o que facilita projetos que requerem conectividade. Graças ao sensor GPS embarcado foi possível o desenvolvimento do recurso de georreferenciamento desenvolvido no aplicativo, o qual se mostrou fundamental para agilizar o processo de captura dos dados, pois desta forma o operador necessita apenas interagir com o aplicativo uma vez antes da decolagem, iniciando uma nova coleta de campo, e outra após o pouso, salvando os dados coletados no banco de dados através do click de um botão. Sendo assim, durante o voo, o operador não precisa soltar os controles do RPAS para operar o aplicativo, aumentando a segurança na operação do equipamento, e economizando tempo durante o processo de medição. Este funcionamento foi observado durante a realização dos testes.

Tendo em vista que o sistema proposto possui um mecanismo de coleta e armazenamento de dados de qualidade da água importantes para a gestão das atividades em piscicultura, como o fornecimento de alimento aos peixes, este mostrou ter potencial de ser integrado futuramente a sistemas de alimentação automatizados comandados remotamente, como o de Imai et al. (2019), que desenvolveu um mecanismo de controle de alimentadores por meio de *smartphones* onde é possível ligar e desligar remotamente um alimentador com base na observação do comportamento dos peixes na água. O sistema também mostrou ter uma vantagem econômica em relação a soluções de monitoramento com boias ou veículos aquáticos que utilizam sensores de contato com a água. Apesar destes sistemas transmitirem seus dados em tempo real a longas distâncias, como o sistema proposto por Souza et al. (2019), estes ainda necessitam que haja um ou mais dispositivos de coleta de dados dispostos em cada ambiente a qual se deseja monitorar, o que aumenta o custo de implantação destas soluções, sendo mais vantajoso o sensoriamento de diversos ambientes por um único RPAS.

O sistema proposto também apresenta uma vantagem de não precisar realizar a coleta de uma amostra de água para posteriormente realizar as medições, tal qual o sistema proposto por Kimura et al. (2019) para análise de algas. Sendo assim, o módulo instalado no RPAS é muito mais simples, e a solução se mostrou superior pela agilidade e rapidez em relação às medições feitas de forma manual.

4.3.4 CONCLUSÃO

O protótipo foi desenvolvido utilizando-se de componentes de baixo custo para permitir que seja um produto compatível para uso por produtores com menor poder aquisitivo. O sensor escolhido mostrou um bom custo-benefício, visto ser bastante preciso e custar pouco, em torno de 30 dólares. Para fins de padronização das análises, os dados foram coletados a uma altitude de voo fixa, porém durante os testes percebeu-se que o sensor apresentou capacidade de medição em diferentes altitudes, podendo chegar até dez metros da lâmina d'água. Os testes também revelaram que não houve interferência nas medições causadas pelo deslocamento de ar das hélices e vibrações do RPAS, o que mostra que não são necessários cuidados específicos de voo ao realizar a coleta dos dados.

O aplicativo desenvolvido mostrou-se eficaz para rápida coleta da temperatura da água em viveiros de piscicultura, sendo uma solução muito mais ágil comparado as rotinas de coleta e anotação de dados feita manualmente, visto que nem requer interação do usuário durante o processo de coleta, graças ao sistema de georreferenciamento de viveiros escavados. O aplicativo também mostrou ter grande potencial de expansão futura para um sistema completo de gestão de piscicultura, devido a relação entre qualidade da água e manejo produtivo.

Da maneira como o aplicativo foi desenvolvido, há a possibilidade de os dados do aplicativo serem direcionados para um banco de dados central à medida que forem sendo coletados, para realizar análises estatísticas e extração de características e padrões que visem contribuir para o manejo produtivo.

4.3.5 REFERÊNCIAS

ALCANTARA, E. H.; STECH, L. J.; LORENZZETTI, J. A. MORAES NOVO, M. L. Time series analysis of water surface temperature and heat flux components in the Itumbiara Reservoir (GO), Brazil. **Acta Limnol. Bras.**, Rio Claro, v. 23, n. 3, p. 245-259, Sept. 2011.

CHEN, Y.; ZHEN, Z.; YU, H.; XU, J. Application of fault tree analysis and fuzzy neural networks to fault diagnosis in the Internet of Things (IoT) for aquaculture. **Sensors**, v. 17, n. 1, p. 153, Jan. 2017.

COLDEBELLA, A.; GENTELINI, A. L.; PIANA, P. A.; COLDEBELLA, P. F.; BOSCOLO, W. R.; FEIDEN, A. Effluents from Fish Farming Ponds: A View from the Perspective of Its Main Components. **Sustainability**. v. 10, n. 1, p. 3, Dec. 2018.

GLASS, C. E. Interpreting Aerial Photographs to Identify Natural Hazards. **Elsevier**. 2013. 184 p.

GOOGLE (2019). Mapa de localização de viveiros escavados de piscicultura na cidade de Toledo - PR. Obtido em 14 de julho de 2020. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-24.6964571,-53.7800911,323m/data=!3m1!1e3>>.

GOOGLE (2020). APIs de geolocalização. Disponível em: <<https://cloud.google.com/maps-platform/>>. Acesso em: 28 jun. 2020.

IMAI, T.; ARAI, K. T.; KOBAYASHI, T. Smart Aquaculture System: A Remote Feeding System with Smartphones. **2019 IEEE 23rd International Symposium on Consumer Technologies (ISCT)**, Ancona, Italy, p. 93-96, 2019.

KIMURA, F. *et al.* Early Detection System of Harmful Algal Bloom Using Drones and Water Sample Image Recognition. **Sensors and Materials**. v. 31, p. 4155, 2019.

LINDBLOM, J.; LUNDSTRÖM, C.; LJUNG M.; JONSSON, A. Promoting sustainable intensification in precision agriculture: review of decision support systems development and strategies. **Precis Agric**. v. 18, n. 3, p. 309–331, 2016.

LING, G.; BEXTINE, B. Precision Farming Increases Crop Yields. **Scientific American**, 2017.

MELEXIS TECHNOLOGIES NV. MLX90614 Datasheet. Disponível em: <<https://br.mouser.com/ProductDetail/Melexis/MLX90614ESF-DCI-000-TU?qs=KuGpMAKtFKXYpWHB8NwOZw%3D%3D>>. Acesso em: 16 mai. 2020.

MENDIBURU, F. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research (2017). R package version 1.2-8. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>>. Acesso em 17 jul. 2020.

MOTA, R. P. B.; BATISTA, D. Um mecanismo para garantia de qos na “internet das coisas” com rfid. In: Proceedings of the SBRC2013 (Brazilian Symposium on Computer Networks and Distributed Systems). **Brasília: SBRC**. p. 297–310, 2013.

QIANG, J.; WANG H.; KPUNDEH M. D.; HE J.; XU, P. Effect of water temperature, salinity, and their interaction on growth, plasma osmolality, and gill Na⁺, K⁺-ATPase activity in juvenile GIFT tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). **Journal of Thermal Biology**. v. 38, n. 6, p. 331-338, 2013.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2018. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em 09 jul. 2020.

RAVALLI, A.; ROSSI, C.; MARRAZZA, G. Bio-inspired fish robot based on chemical sensors. **Sensors Actuators B Chem**, v. 239, p. 325–329, 2017.

SANTOS, E. L.; SANTOS I. V.; LIRA, R. C.; SILVA, C. F.; MOUR, S. C.; FERREIRA A. J.; SILVA, R. M. Frequência de arraçoamento para alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Agropecuária Técnica**, v. 35, n. 1, p. 171-177, 2014.

SHEN, K.; LU, H.; BAIG S.; JIANG, G.; MCMANUS, J.; WANG, M. Laser-based water depth measurement system deployed via unmanned aerial vehicle. **Journal of Applied Remote Sensing**. v. 11. p. 32409, 2017.

SOUSA, D.; HERNANDEZ, D.; OLIVEIRA, F.; LUÍS, M.; SARGENTO, S. A Platform of Unmanned Surface Vehicle Swarms for Real Time Monitoring in Aquaculture Environments. **Sensors 2019**, v. 19, p. 4695, 2019.

VIVALDINI K. C.; MARTINELLI T. H.; GUIZILINI V. C. UAV route planning for active disease classification. **Auton Robot**. v. 43, p. 1137–1153, 2019.

ZHANG, Y.; HUA, J.; WANG, Y. B. Application effect of aquaculture IOT system. In Applied Mechanics and Materials. **Trans Tech Publications**, v. 303, p. 1395-1401, 2013.

5 ARTIGO 2

UTILIZAÇÃO DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPAS) PARA COLETA DE TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA EM AMBIENTE DE PISCICULTURA

Manuscrito a ser submetido para revista científica Computers and Electronics in Agriculture. ISSN 0168-1699.

Interdisciplinar – conceito A1

RESUMO

A transparência da água em ambiente de piscicultura é um parâmetro importante no desenvolvimento dos peixes, e é importante que os piscicultores fiquem atentos ao controle da mesma. No entanto, o processo de aferição da transparência da água nos viveiros de piscicultura normalmente é feito de maneira manual, o que o torna dispendioso e ineficiente. Com vistas a solucionar este problema, um protótipo foi desenvolvido contendo 2 sensores ópticos capazes de capturar imagens nas bandas NIR, R, G e B, interligados a um microcomputador acoplado a um RPAS, com o objetivo de capturar imagens aéreas da água e estimar a transparência da mesma por meio de um algoritmo de processamento de imagens. O protótipo foi testado por meio de um experimento conduzido em uma propriedade rural da cidade de Toledo – PR, onde foram capturadas 66 imagens obtidas sobre um alvo cônico, construído para servir de referência refletiva para as imagens, comparando os resultados com as medidas coletadas por um disco de Secchi, usando a análise de correlação de Pearson. Os resultados apontaram uma forte correlação ($r = 0,98$) nas estimativas feitas pelo processamento da banda NIR, seguido das bandas RGB, R, G e B. O sistema desenvolvido mostrou-se eficaz na coleta, processamento e análise de dados, otimizando o manejo da piscicultura.

PALAVRAS CHAVE: Manejo em piscicultura, Qualidade da água, Sensoriamento remoto, Sustentabilidade.

ABSTRACT

Since water transparency is a critical parameter for fish growing in aquaculture, fish farmers must monitor it and keep it under control. As a rule, this parameter is measured by using Secchi disks in a procedure which, although straightforward, is manual and laborious. In this work, we introduce an automated method to measure the water transparency through aerial pictures of the fishponds and some image processing techniques combined into a single pattern recognition framework. The prototype built to test the framework contains 2 optical sensors capable of capturing images in the NIR, R, G and B bands attached to a microcomputer embedded into an Unmanned Aerial Vehicle (UAV), which overflies the fishponds. Some experiments were conducted at a fish farm in Toledo city, state of Paraná - Brazil, where a conical reflectance target immersed in the farm's ponds was analyzed by the prototype to estimate the transparency of the water. These transparency estimates were then compared with a set of measurements made conventionally with a Secchi disk by using the Pearson correlation analysis. The results show a strong correlation ($r = 0.98$) in the measurements yielded by both methods in the NIR band, followed by the combined bands RGB, R, G and B bands. Therefore, the proposed framework proved not only convenient but also accurate to collect, process and analyze data, thus optimizing the management of fish farming.

KEYWORDS: Fish farming management, Water Quality, Remote Sensing, Sustainability.

5.1 INTRODUÇÃO

A piscicultura é uma atividade que vem crescendo ao longo dos anos. De acordo com relatórios de crescimento médio anual feito pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) em 2020, entre os anos 1990 e 2018 houve crescimento desta atividade em várias regiões do mundo, e há sugestões de que o setor continue crescendo. Esta projeção também indica que à medida que a aquicultura cresce, a pesca insustentável tende a diminuir ou se estabilizar ao longo dos anos (FAO, 2020).

Este aumento na demanda de pescados aliado a escassez de água que vem se tornando um problema cada vez maior, tem levado os piscicultores a buscarem formas de produzir cada vez mais peixes em áreas cada vez menores, aumentando, desta maneira, a preocupação dos piscicultores com a manutenção da qualidade da água dos viveiros, pois a mesma é mantida nos viveiros pelo máximo de tempo possível, diminuindo sua recirculação. Um efeito colateral disso é o aumento de partículas sólidas em seu interior, deixando-a com um aspecto turvo.

As partículas na água podem ser de origem orgânica ou inorgânica, como lodo, sedimentos, areia, algas, etc. As que mais influenciam na transparência são a biomassa provinda de algas, a argila e outros minerais, que podem aumentar em decorrência de erosões provocadas por tempestades, e a matéria orgânica dissolvida na água (BREZONIK et al., 2019).

Toda partícula à deriva ou flutuando na água com tamanho maior que 2 microns são consideradas partículas em suspensão, sendo as demais consideradas dissolvidas. Quando há muitas partículas na água, a luz se choca com elas, sendo em parte absorvida, e em parte refletida, dificultando, desta maneira, sua passagem, dando à água um aspecto turvo, cuja percepção óptica é chamada de Turbidez. A Turbidez, portanto, é diretamente proporcional à quantidade de sólidos suspensos na água, e inversamente proporcional à sua transparência (RÜGNER et al., 2013).

Estudos revelam que determinados níveis de turbidez, ou transparência da água, exercem influência sobre a aquicultura. Lowe et al. (2015) conduziu um experimento que envolveu cinco grupos de peixes submetidos a cinco níveis de turbidez diferentes, a fim de verificar se a turbidez da água afetava suas habilidades de busca e consumo de alimentos. Ao final do experimento o autor descobriu que os peixes submetidos a níveis de turbidez maiores ou iguais as 40 NTU apresentavam

uma perda significativa de peso em relação aos peixes submetidos a águas menos turvas. Um resultado semelhante também foi relatado por Huenemann et al. (2012).

Chapman et al. (2014) revela que há um impacto geral negativo do aumento da transparência da água no desenvolvimento de embriões de peixes, comportamento alimentar e riqueza de espécies. Hasenbein et al. (2013) afirma ainda que o aumento da transparência da água está relacionado com a diminuição da taxa alimentar dos peixes, o que sugere que a mesma é um importante fator a ser considerado no cálculo da quantidade de ração fornecida aos peixes em um determinado momento, e por isso é importante que seja monitorada constantemente.

Águas muito turvas ou muito transparentes também exercem impacto indireto aos peixes, pois o impedimento da penetração de luz em águas muito turvas impede a formação de algas que servem de alimento aos peixes, e que também ajudam na manutenção do oxigênio dos viveiros durante o dia através da fotossíntese. Águas muito transparentes, por outro lado, fazem com que a produção de algas seja muito grande, afetando a oxigenação dos viveiros, tendo em vista que estas algas consomem oxigênio da água durante a noite, podendo fazer com que o nível de oxigênio fique crítico em períodos de pouca luz (DOMINGUES et al., 2011; BHATNAGAR e DEVI, 2013).

O método mais conhecido para medir a transparência de corpos d'água é o disco de Secchi, criado por Pietro Ângelo Secchi em 1865, que consiste em um disco com faixas pretas e brancas a qual pode ser mergulhado na água para avaliar a máxima profundidade a qual os raios solares podem incidir na água, tomando como parâmetro a máxima profundidade na qual o disco de Secchi pode ser visto pelo olho humano depois de mergulhado. Esta técnica não se baseia somente na observação da cor da água, mas na resposta espectral da luz penetrando na água e refletindo em um disco nas cores preta e branca, fazendo com que o observador possa quantificar, através de um cordão graduado, a profundidade em que a luz está penetrando na água, determinando assim sua transparência.

Muitos piscicultores utilizam o disco de Secchi para medição da transparência da água de seus viveiros, principalmente por ser uma técnica simples e de baixo custo, mas que, por outro lado, é uma técnica manual que requer o deslocamento de uma pessoa a cada viveiro para aferir e documentar a transparência da água, para posteriormente utilizar estes dados como auxílio na tomada de decisões em relação ao manejo. Este processo leva tempo, portanto acaba não sendo eficiente.

Uma outra forma de medição é utilizando sensores, mais conhecidos como turbidímetros, que emitem uma fonte de luz através da água, onde parte da luz sofre refração ou é absorvida pelas partículas sólidas presentes na água, podendo a luz resultante ser medida em uma outra extremidade (PARRA-BORONAT, 2018). Quanto mais turva estiver a água, menos luz chegará até a outra extremidade do sensor, podendo esta diferença ser convertida em impulsos elétricos que geram uma escala digital de transparência da água, e que pode ser visualizada em uma interface gráfica pelo observador.

A maioria dos sensores deste tipo ainda necessitam que as coletas sejam feitas manualmente, ou seja, os piscicultores precisam se deslocar individualmente até cada um dos viveiros para realizar a aferição da água, fazendo com que não haja muita diferença entre um sensor automático e um disco de Secchi. Uma vantagem, porém, é que como sensores geram sinais digitais, estes podem ser adaptados para transmitirem as medições a longas distâncias, o que soluciona o problema de deslocamento dos piscicultores até os viveiros, economizando tempo, mas acaba criando outro problema, que são os custos para aquisição de um sensor automatizado por viveiro produtivo, o que na maioria dos casos inviabiliza a implantação deste tipo de método.

Técnicas de sensoriamento remoto também podem ser utilizadas para medição de transparência da água, como, por exemplo, o uso de imagens multiespectrais, onde são analisados os níveis de refletância da água submetidos a radiação solar em diferentes comprimentos de onda, cujos resultados são correlacionados à transparência medida na água. Lim e Choi (2015) investigaram as respostas espectrais do satélite Landsat 8 no rio Nakdong no sul da Coreia, e seus resultados apontaram que a refletância das bandas 2 a 5 estava correlacionada com a transparência da água, sendo possível a construção de um modelo de regressão para estimar os valores. Um resultado semelhante também foi observado por Huovinen et al. (2019).

Devido a resolução e trajetória dos satélites, estes não apresentam uma solução muito eficiente para piscicultura, pois as imagens providas dos mesmos normalmente são utilizadas para analisar séries temporais de grandes porções de água, como, por exemplo, oceanos ou grandes lagos. Para observação de áreas menores, imagens capturadas por aeronave remotamente pilotada (RPAS) são mais eficientes, pois permitem uma maior aproximação do alvo a qual se deseja analisar,

e ainda permitem o transporte de diferentes equipamentos e sensores acoplados, tornando-os uma solução atrativa para sensoriamento em ambiente de piscicultura.

Um dos problemas comumente enfrentados ao se capturar imagens de corpos d'água por RPAS são reflexos provocados pelo ambiente, principalmente dependendo da posição do sol no momento da captura da imagem, bem como ondas provocadas pelo vento, que podem acentuar distorções que prejudicam a análise das mesmas, fazendo com que seja necessário escolher a banda espectral correta para uma determinada análise, e uma etapa de processamento destas imagens para mitigar estes problemas.

Esta pesquisa tem como objetivo o desenvolvimento e avaliação de um protótipo de medição de transparência da água por meio de RPAS, que captura e processa imagens de corpos d'água para estimar seus níveis de transparência.

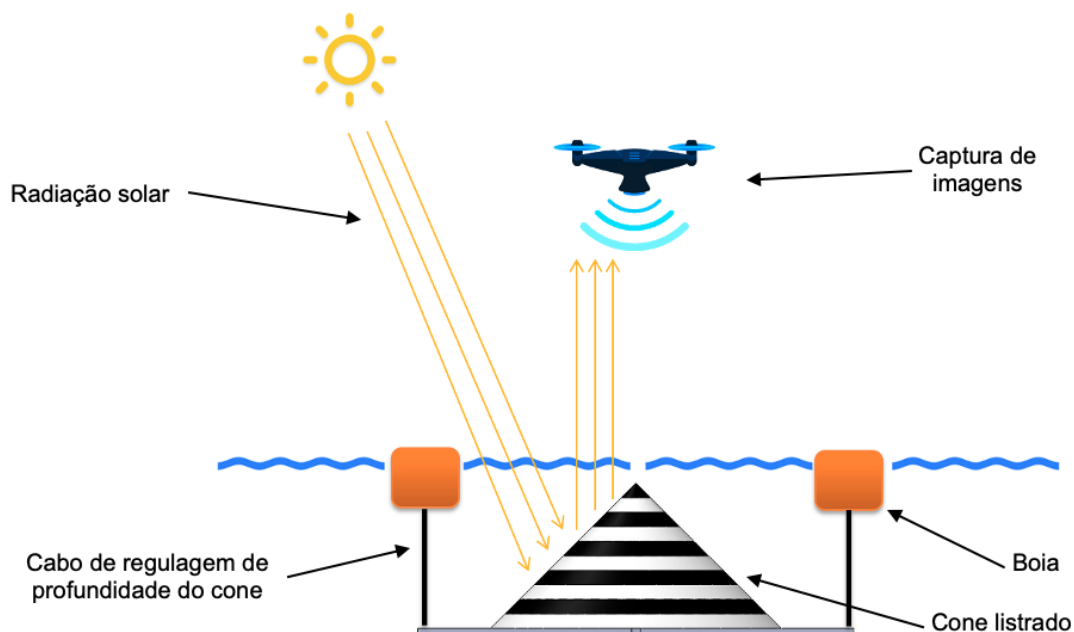
5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

5.2.1 Desenvolvimento do protótipo

Um disco de Secchi normalmente mede entre 25 e 45 centímetros de diâmetro, e por este motivo possíveis reflexos na água normalmente não atrapalham a visão do disco inteiro, ainda sendo possível realizar a aferição da transparência. Com o intuito de utilizar este princípio para maximizar a precisão nas medições realizadas pelo RPAS, desenvolveu-se um cone utilizando uma chapa de aço galvanizado de 0,5mm de espessura, com 40 centímetros de altura e diâmetro iniciando em 0 até 93 centímetros na parte inferior. O cone foi pintado com faixas pretas e brancas de modo que cada faixa tenha 4 centímetros de altura linear, totalizando 10 faixas, sendo 5 faixas pretas e 5 faixas brancas.

Ao observar o cone de uma vista superior, tem-se uma figura similar a um alvo. O intuito deste formato é permitir que, quando mergulhado na água imediatamente abaixo da superfície, o dispositivo de captura possa analisar quantas faixas estão visíveis, ou seja, quanto mais transparente a água, mais faixas estarão refletindo a radiação solar, podendo a transparência ser quantificada por meio da contagem das faixas visíveis. O modo de captura das imagens está ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Ilustração do funcionamento do dispositivo de captura que se utiliza de um cone graduado para quantificar a transparência da água de viveiros de piscicultura



Fonte: Autoria Própria

Para nivelamento do cone logo abaixo da superfície da água, utilizou-se quatro boias para segurar o cone na posição correta com a ajuda de cabos, que permitiram a regulagem do mesmo para que ficasse com a ponta ajustada com a superfície da água, e permitindo também que o cone fosse deslocado e reutilizado nos outros viveiros escavados de forma a propiciar uma interface padrão de observação.

Para a captura das imagens desenvolveu-se um dispositivo de captura específico, montado a partir de componentes eletrônicos adquiridos separadamente, que consiste em um minúsculo computador com um processador ARMv8 de 64 bits e frequência de 1.2GHz e 1GB de memória LPDDR2 SDRAM, acoplado em uma placa de entrada e saída com duas interfaces seriais especialmente projetadas para comunicação com sensores de captura de imagens. Para este projeto utilizou-se 2 sensores da marca Sony modelo IMX219 de 8 megapixel e resolução de 3280 x 2464 pixels.

O primeiro sensor foi disposto para captura de imagens de infravermelho próximo (NIR), faixa do espectro eletromagnético de radiação entre 700 e 2500 nanômetros, por isso neste sensor utilizou-se um filtro de captura de ondas acima de 720 nanômetros, eliminando a faixa de luz visível, que varia de 400 a 700 nanômetros. O segundo sensor foi disposto para captura de luz visível, portanto

utilizou-se neste sensor um filtro que permite a passagem da frequência nas bandas vermelho (R), faixa entre 600 e 700 nanômetros, verde (G), faixa entre 500 e 600 nanômetros, e azul (B) na faixa entre 400 e 500 nanômetros.

Foram utilizados 2 sensores para que fosse possível analisar a resposta espectral das imagens capturadas em 4 bandas diferentes (NIR, R, G e B), de forma a verificar qual banda apresenta o melhor desempenho para avaliação da transparência da água. Os componentes eletrônicos do dispositivo de captura foram montados em um invólucro projetado e modelado no programa Thinkercad, que é um *software* gratuito de modelagem 3D, e posteriormente impresso em uma impressora 3D utilizando filamento PLA de 1,75mm a uma temperatura de 210 graus Celsius.

Para o gerenciamento da captura das imagens, um sistema operacional baseado na distribuição Debian Linux foi instalado no dispositivo de captura, onde um programa especificamente desenvolvido para este propósito é responsável por capturar as imagens nos dois sensores de captura simultaneamente, após um comando externo, e armazenar as mesmas em uma memória interna, juntamente com seus meta dados, como por exemplo, a data e hora da captura, a posição geográfica, direção do RPAS e iluminação do ambiente no momento da captura.

5.2.2 Procedimentos para avaliar o funcionamento do protótipo

Depois de montados e preparados os equipamentos, realizou-se a captura de 66 imagens em 11 viveiros escavados de um produtor rural da cidade de Toledo – PR - Brasil, nas proximidades do ponto de latitude -24.696540° e longitude -53.779778° , dispostos conforme a Figura 2.

Figura 2 - Viveiros escavados de piscicultura de um produtor Rural da Cidade de Toledo – PR onde foram coletadas amostras para análise de transparência da água



Fonte do Mapa: Google (2020)

As coletas foram realizadas no dia 26 de dezembro de 2020, entre 10 e 14 horas, horário em que o céu estava claro, com poucas nuvens e pouco vento. Em cada viveiro mediu-se a transparência utilizando um disco de Secchi de 30 centímetros de diâmetro, imediatamente antes de capturar as imagens com um RPAS da marca DJI modelo Phantom 4 Advanced a uma altitude de 5 metros da lâmina d'água para fins de padronização. Em cada viveiro foram feitas 6 repetições, sendo o cone retirado a cada novo viveiro, limpo para evitar interferências providas de um viveiro mais turvo que outro, e novamente posicionado no novo viveiro a ser testado. As medições providas do disco de Secchi foram planilhadas, e as imagens foram armazenadas no dispositivo de captura onde foram posteriormente copiadas para um outro computador, para fins de análise e processamento.

O objetivo da coleta de dados em campo foi prover insumos para o desenvolvimento de um algoritmo automatizado, capaz de processar as imagens capturadas e estimar a transparência da água em uma escala correspondente as medidas feitas por meio de um disco de Secchi. Estas imagens também foram posteriormente utilizadas para avaliação da eficiência do algoritmo desenvolvido.

5.2.3 Processamento de imagens

O algoritmo de processamento de imagens foi desenvolvido na linguagem Python utilizando a biblioteca OpenCV (*Open Source Computer Vision*) (BRADSKI, 2000). O primeiro estágio de processamento do algoritmo desenvolvido consiste no

carregamento e detecção da posição do cone na imagem. Para tanto, primeiramente os pixels da imagem foram transformados em tons de cinza, onde cada pixel representa um valor inteiro de intensidade que varia de 0 a 255. Depois foram eliminados pequenos ruídos na imagem através de uma matriz de convolução que normaliza cada pixel em relação a seus pixels vizinhos.

Após este processo, utilizou-se a transformata de Hough, que é uma técnica matemática que realiza a detecção de formas geométricas em imagens digitais, originalmente elaborada por Paul Hough em 1962 (HOUGH, 1962). Como um cone redondo se distingue bem em relação a água, o algoritmo foi utilizado para detecção de formas circulares na imagem, sendo possível detectar o pixel que determina a coordenada do ponto central do cone.

Para otimização do desempenho dos estágios seguintes de processamento, uma vez detectado o ponto central do cone, a imagem foi segmentada a partir deste ponto central para o tamanho de 800 pixels de altura e 800 pixels de largura, escala que foi observada ser equivalente ao enquadramento do cone em imagens capturadas a altitudes de 3 metros ou mais da lâmina d'água, ficando o cone centralizado nesta nova imagem. O estágio seguinte de processamento consistiu na binarização dos pixels da imagem, de modo que cada pixel seja considerado branco ou preto com base em um limiar adaptativo, que consistiu na média de um conjunto de pixels em relação aos seus pixels vizinhos. Este processo foi importante para a contagem de faixas do cone e eliminação de interferências na superfície da água com menores níveis de refletividade em relação as faixas brancas pintadas no mesmo.

Finalmente, em um último estágio, foram analisadas as variações tonais dos pixels, a partir do ponto central do cone, em 4 direções, através da varredura em forma de linhas contendo derivações capilares que foram importantes para detectar onde terminam as faixas visíveis do cone, e onde se iniciam possíveis interferências da água não eliminadas no estágio de binarização, como reflexos de grande intensidade luminosa que não possuem um padrão listrado. Em imagens obtidas através de diferentes ângulos, algumas faixas podem estar mais visíveis em uma direção de amostragem que outra. Desta forma, definiu-se que a contagem final de faixas na imagem seria o resultado estatístico da moda entre as contagens das faixas nas 4 direções (superior, inferior, esquerda e direita).

Ao final, multiplicou-se o número de faixas encontrada na imagem por 4, que é a resolução de cada faixa para o cone que foi construído para este experimento, resultando em um valor em centímetros, correspondente a profundidade de Secchi.

5.2.4 Análise de eficiência

Após desenvolvido o algoritmo, este foi utilizado para processar as 66 imagens capturadas em campo em 5 diferentes arranjos espectrais, sendo eles Infravermelho Próximo (NIR), Vermelho (R), Verde (G), Azul (B) e RGB, que é a imagem colorida resultante da combinação das bandas R, G. e B. Os valores estimados foram planilhados junto as medidas feitas por meio do disco de Secchi, e foram comparados estatisticamente para verificação da acurácia de cada banda espectral frente ao algoritmo proposto.

Primeiramente utilizou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Após constatado a normalidade dos dados, utilizou-se a análise paramétrica linear de Pearson para verificar se houve diferença significativa entre as medições provindas dos dois tipos de sensores, considerando $\alpha = 0,05$ em ambos os testes. Todos os testes estatísticos foram realizados por meio do ambiente R (R CORE TEAM, 2018) e pacote estatístico complementar “agricolae” (Mendiburu, 2017).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Desenvolvimento do protótipo

Para realização dos testes de campo utilizou-se um RPAS da marca DJI modelo Phantom 4 Advanced, portanto o invólucro do dispositivo de captura de imagens foi projetado para ser acoplado neste modelo específico de RPAS, como pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 – Equipamento projetado para captura de imagens em ambiente de piscicultura por meio de uma RPAS



Fonte: Autoria Própria

Além de plugs para periféricos como HDMI, USB e ETHERNET, importantes para interação com o computador de bordo para extração de dados e programação dos sensores, também foi disponibilizado em sua extremidade superior um plug micro USB que permite que sua bateria, com autonomia de cerca de 3 horas de voo, seja recarregada utilizando um carregador de telefone celular comum. Em uma das laterais, projetou-se dois plugs de comunicação para interface com uma bússola e um luxímetro digital, que foram dispostos em um suporte acima das hélices do RPAS a fim de eliminar interferências, e um canal de comunicação serial por onde podem ser enviados comandos externos de captura de imagens e recepção e respostas em relação ao sucesso nas capturas das mesmas, se necessário. O protótipo também pode ser programado para capturar imagens de maneira intermitente durante o voo, com um tempo pré-determinado em segundos entre uma captura e outra.

Em relação ao cone, este foi suspenso por 4 flutuadores, que consistiram em 4 garrafas pet tubulares, suspensos em um fio de nylon de 3 mm de diâmetro, cujo comprimento fora dimensionado in-loco, mediante teste de flutuação e nivelamento do cone. O resultado deste processo pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Cone de referência para imagens aéreas, para fins de análise de transparência de corpos d'água em ambiente de piscicultura



Fonte: Autoria Própria

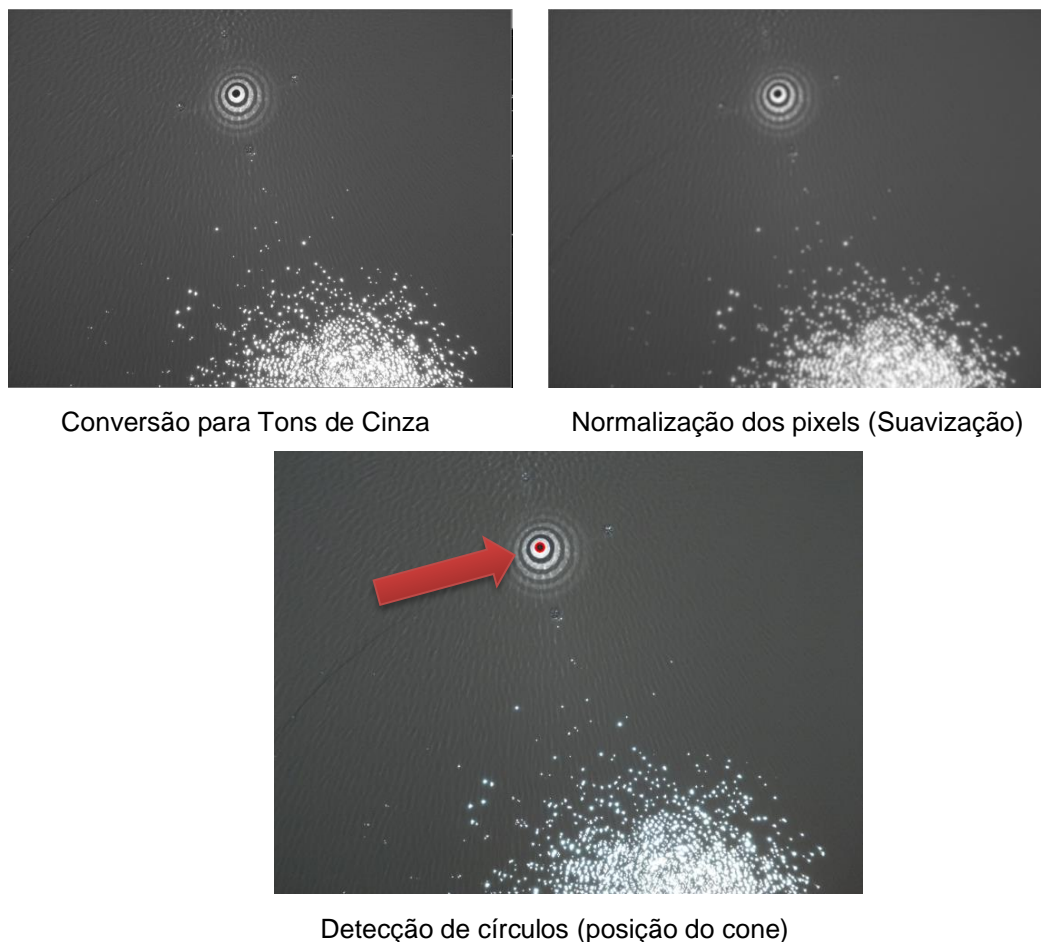
A calibração dos cabos de nivelamento do cone foi realizada na propriedade de um piscicultor de Maripá – PR, nas proximidades do ponto de Latitude -24.403353° e Longitude -53.845610° , onde também foram feitos testes preliminares utilizando o RPAS para definir o melhor enquadramento da imagem e testar se o equipamento estava funcionando, e se todos seus componentes eletrônicos e de *software* estavam respondendo adequadamente.

5.3.2 Processamento de imagens

O processamento de cada imagem amostral em cada banda analisada fora feito utilizando o mesmo algoritmo, o qual fora otimizado para funcionar da forma mais precisa possível com o cenário proposto, levando em consideração também algumas condições adversas como reflexos, ondas e captura de margens contendo vegetação. A Figura 5 ilustra uma destas amostras, onde em um primeiro momento a imagem original fora convertida para tons de cinza, depois normalizada suavizando os pixels passíveis de interferir no processo de limiarização, e em seguida o

resultado da transformata de Hough, identificando a ponta superior do cone, não sendo neste exemplo identificados falsos positivos.

Figura 5 – Cone de referência para imagens aéreas, para fins de análise de transparência de corpos d'água em ambiente de piscicultura



Fonte: Autoria Própria

Considera-se que a detecção do cone foi satisfatória, levando em conta que o diâmetro da ponta pintado em preto visto de cima possui apenas 95 mm e diâmetro, e que a imagem foi capturada a uma altitude de 5 metros. Estudos semelhantes, como o de Alsalam et al. (2017) utilizam alvos com diâmetro bem maior, em torno de 25 cm nesta mesma altitude.

A altitude de voo, em alguns casos, pode ser considerado uma restrição, como no estudo de Peña et al. (2013) que tinha por objetivo identificar ervas daninhas em meio a uma plantação de milho, onde foi necessário adquirir imagens a uma altitude de 30 metros do solo para se obter uma visão mais ampla da área a ser analisada. Na piscicultura, no entanto, não há necessidade de uma visão tão ampla da lâmina

d'água, sendo observado neste experimento que 5 metros é uma altitude suficiente para realizar a análise de transparência da água, bem como minimizar ondas na mesma, provocadas pelas hélices do RPAS, sendo uma altura boa para se manter a segurança dos equipamentos durante o voo.

Após obtidas as coordenadas do cone de referência na imagem, pôde-se eliminar as áreas da imagem que não interessam, binarizar a imagem e efetuar a contagem das faixas. O resultado da contagem das faixas está ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Extração de ponto de interesse, binarização e contagem de faixas em imagem de cone listrado utilizado como referência para análise de transparência de corpos d'água em ambiente de piscicultura por meio de RPAS



Fonte: Autoria Própria

Nota-se na Figura 6 que pequenos pontos de interferência, como reflexos e ondas, provocam ruídos na imagem que podem ser identificados como faixas, mas que não são, como foi o caso da contagem de faixas da Figura 6, onde um ruído na

parte inferior da imagem foi considerado como uma faixa branca, devido ao intervalo simétrico entre a interferência e uma região preta da imagem, sendo semelhante a uma nova faixa. O aparecimento destes falsos-positivos foi minimizado através da criação da técnica de varredura capilarizada, onde em cada 4 pixels lineares, uma faixa transversal de 10 pixels é analisada, no intuito de identificar a continuidade da faixa, o que não é o caso de ruídos, que normalmente aparecem como pequenos objetos isolados na imagem, ou em formato irregular.

Esta implementação foi feita desta maneira porque em imagens de superfícies aquáticas são observadas pequenas ondas, que refletem a luz solar, formando ruídos de grande proporção que se misturam com ruídos menores conhecidos como “sal e pimenta”, sendo os de maior proporção difíceis de serem removidos com filtros de médias, tais quais foram abordados por Erkan et al. (2018) e Alqadi (2018). Sendo assim, a varredura capilar se sobressaiu na identificação de falsas faixas na imagem.

Verificou-se também, nos experimentos, que o ângulo de captura da imagem também prejudicou a contagem de faixas, como observa-se na contagem de faixas a esquerda da Figura 6, onde a inclinação do drone causou a contagem de 2 faixas a menos. Graças ao mecanismo de varredura em 4 direções e aplicação da operação estatística de moda, o algoritmo pôde, neste caso, determinar que a quantidade correta de faixas visíveis foi de 10 faixas, tendo em vista que este resultado fora encontrado em 2 direções de análise. Isto contribuiu bastante para que não seja necessário sobrevoar o cone em uma posição perfeita e específica, podendo a transparência ser detectada em qualquer ponto onde o cone esteja visível na imagem, mesmo que não esteja centralizado.

5.3.3 Análise de eficiência

Após processadas as imagens e planilhados os resultados, obteve-se o conjunto amostral disposto na Tabela 1.

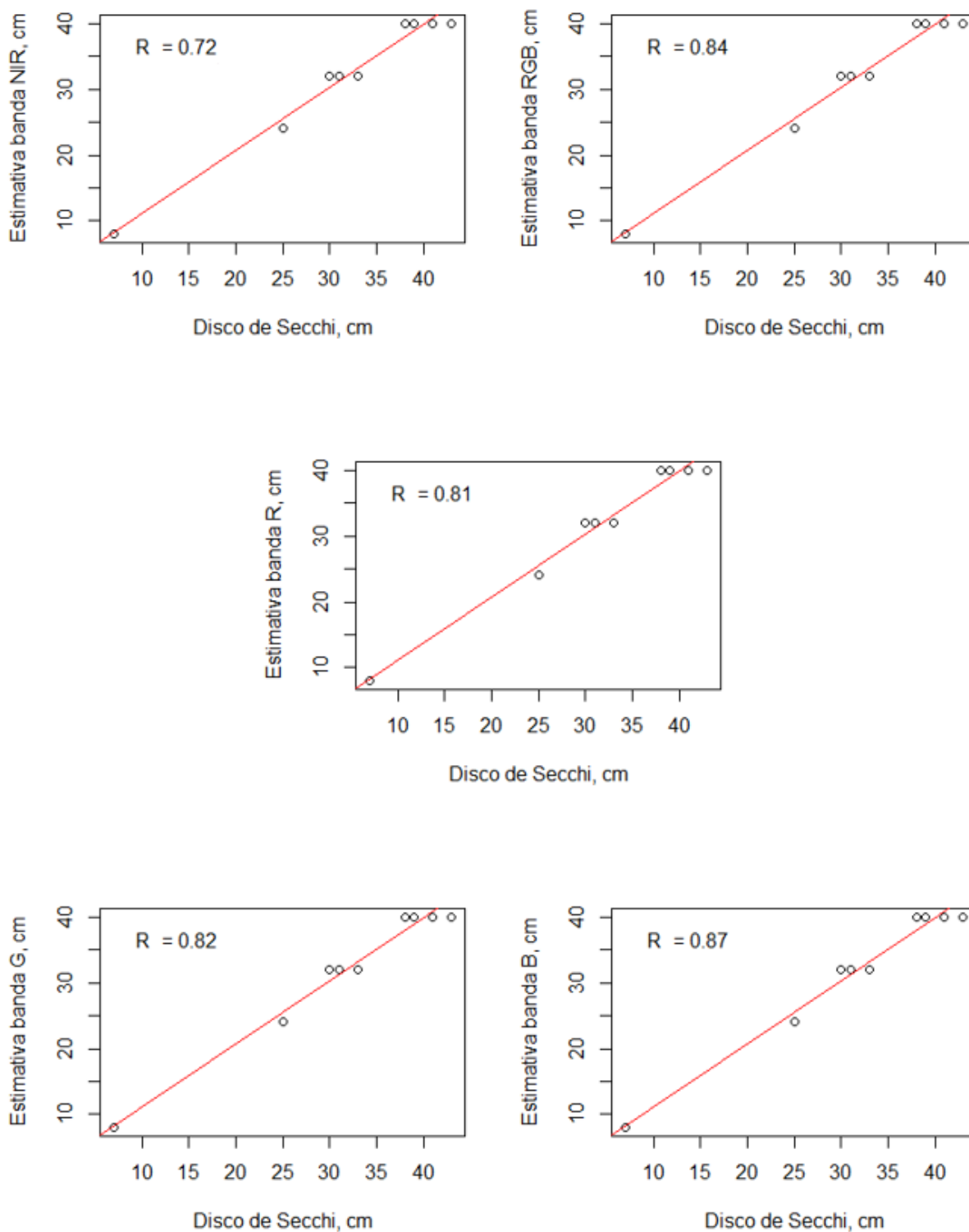
Tabela 1 – Resultados das análises de transparência obtidos por meio de um disco de Secchi em uma propriedade rural da cidade de Toledo - PR, e as estimativas obtidas por um algoritmo de processamento de imagens capturadas por RPAS

VIVEIRO	DISCO DE SECCHI (cm)	RESULTADO BANDA NIR (cm)	RESULTADO BANDA RGB (cm)	RESULTADO BANDA R (cm)	RESULTADO BANDA G (cm)	RESULTADO BANDA B (cm)
V1	31 - 31 - 31	32 - 32 - 32	24 - 24 - 24	24 - 24 - 24	24 - 24 - 28	04 - 08 - 16
	31 - 31 - 31	32 - 32 - 32	28 - 28 - 28	24 - 28 - 24	28 - 28 - 28	28 - 16 - 16
V2	25 - 25 - 25	24 - 24 - 24	08 - 16 - 16	24 - 24 - 24	08 - 16 - 16	60 - 08 - 56
	25 - 25 - 25	24 - 24 - 24	16 - 16 - 16	24 - 24 - 24	16 - 16 - 16	44 - 44 - 08
V3	38 - 38 - 38	40 - 40 - 40	24 - 28 - 40	36 - 24 - 24	24 - 24 - 28	24 - 24 - 24
	38 - 38 - 38	40 - 40 - 40	36 - 24 - 24	36 - 32 - 28	24 - 24 - 24	28 - 24 - 32
V4	39 - 39 - 39	40 - 40 - 40	28 - 32 - 32	32 - 32 - 32	24 - 28 - 28	28 - 24 - 24
	39 - 39 - 39	40 - 40 - 40	32 - 32 - 32	32 - 32 - 32	28 - 28 - 32	24 - 24 - 24
V5	38 - 38 - 38	40 - 40 - 40	24 - 24 - 24	32 - 32 - 32	24 - 24 - 24	16 - 12 - 12
	38 - 38 - 38	40 - 40 - 40	24 - 24 - 24	32 - 32 - 32	24 - 24 - 24	12 - 12 - 12
V6	30 - 30 - 30	32 - 32 - 32	24 - 24 - 24	24 - 24 - 24	24 - 24 - 24	08 - 08 - 64
	30 - 30 - 30	32 - 32 - 32	24 - 24 - 24	24 - 24 - 24	24 - 24 - 24	64 - 08 - 08
V7	41 - 41 - 41	40 - 40 - 40	32 - 32 - 32	32 - 32 - 32	32 - 32 - 32	48 - 24 - 24
	41 - 41 - 41	40 - 40 - 40	32 - 32 - 32	32 - 32 - 32	32 - 32 - 32	24 - 24 - 24
V8	43 - 43 - 43	40 - 40 - 40	32 - 32 - 32	32 - 36 - 32	32 - 32 - 32	24 - 24 - 24
	43 - 43 - 43	40 - 40 - 40	32 - 32 - 32	32 - 36 - 32	32 - 32 - 32	24 - 24 - 24
V9	33 - 33 - 33	32 - 32 - 32	24 - 24 - 24	28 - 24 - 28	24 - 24 - 24	16 - 28 - 28
	33 - 33 - 33	32 - 32 - 32	24 - 32 - 28	32 - 24 - 24	24 - 36 - 32	24 - 36 - 28
V10	33 - 33 - 33	32 - 32 - 32	32 - 32 - 32	40 - 36 - 36	32 - 32 - 32	24 - 28 - 24
	33 - 33 - 33	32 - 32 - 32	32 - 32 - 32	36 - 36 - 36	32 - 32 - 32	24 - 24 - 24
V11	07 - 07 - 07	08 - 08 - 08	08 - 28 - 08	08 - 24 - 08	08 - 24 - 08	44 - 32 - 08
	07 - 07 - 07	08 - 08 - 08	08 - 08 - 08	08 - 08 - 08	24 - 08 - 08	48 - 08 - 44

Fonte: Autoria Própria

Os resultados obtidos através da medição feita por meio do disco de Secchi fora comparado com os resultados estimados mediante processamento das bandas NIR, RGB, R, G e B respectivamente. O resultado do teste de Shapiro-Wilk apontou que os dados seguiam uma distribuição normal, cuja relação entre as médias pode ser observada na Figura 7. Não foram observados pontos discrepantes nas amostras.

Figura 7 – Distribuição dos dados estimados para as bandas NIR, RGB, R, G e B em relação a medidas de transparência feitas por meio de um disco de Secchi em viveiros de piscicultura na cidade de Toledo – PR



Fonte: Autoria Própria

O teste de correlação de Pearson revelou uma forte correlação positiva ($r = 0.9861427$, $n = 11$ com 6 repetições por variável) entre os dados medidos pelos disco de Secchi, e as estimativas feitas mediante processamento da banda NIR das imagens capturadas pelo RPAS, sendo esta a banda que apresentou a melhor correlação, seguida pelas bandas R ($r = 0.8409687$), RGB ($r = 0.7917608$), G ($r = 0.7355359$) e B ($r = -0.1879405$).

Em geral, águas totalmente transparentes tem pouca reflexão de luz visível, e nenhuma reflexão de luz infravermelha. Porém, Bowo et al. (2019) observou que à medida que aumentam as partículas sólidas suspensas na água, que afetam sua transparência, há uma alteração nos níveis de refletância da banda R entre 600 e 700nm, e a banda NIR entre 750 e 1400nm, o que também está de acordo com Song et al. (2012) e Amanollahi et al. (2017), sendo este fenômeno também observado neste experimento.

Ainda segundo Bowo et al. (2019), altas concentrações de clorofila, proveniente de algas que se desenvolvem na água, refletem principalmente a banda G, entre 500 e 600nm, o que sugere que as bandas de comprimento de onda mais altos, a partir de 600nm, não são tão afetadas pela refletividade da própria superfície da água e plantas, e sim, de partículas sólidas que fazem com que a água tenha aspecto turvo, o que está de acordo com Lotfi et al. (2019) e Pereira-Sandoval et al. (2019), que também observaram uma correlação maior entre a transparência da água e os níveis de refletância na banda R em relação a banda B.

Este fenômeno foi confirmado neste experimento, onde observou-se que as imagens processadas nas bandas NIR e R tiveram um índice de acerto muito maior que as demais bandas. Observou-se também que a banda R apresentou uma transparência menor que a estimativa feita na banda NIR em 64% das imagens analisadas, demonstrando que quanto menor for o comprimento de onda, maior são as interferências que impedem as ondas refletidas pelo cone de referência de chegarem ao sensor óptico instalado no RPAS, principalmente porque a luz precisa penetrar na água, refletir no cone e voltar até ser percebido pelo sensor óptico, sendo que neste trajeto ela pode ser bloqueada ou mesmo irradiada para diferentes direções.

O valor máximo do comprimento de Secchi possível de ser estimado neste experimento foi de 40 centímetros, que é a altura do cone projetado para as análises. Isto de certa maneira prejudicou a estimativa do viveiro escavado número

8, cuja transparência medida pelo disco de Secchi foi de 43 centímetros, sendo estimado apenas 40 centímetros pelo algoritmo. Apesar deste comprimento limitante neste viveiro, os demais estavam com transparência na faixa dos 40 centímetros, e foram estimados com uma margem de erro de até 2 centímetros na banda NIR. Cabe ressaltar que o algoritmo desenvolvido não se limita ao tamanho do cone de referência, sendo possível a inclusão de cones com mais faixas e maior altura.

A largura das faixas pintadas no cone para este experimento representou 4 centímetros de profundidade, o que, de certa maneira, estipula uma faixa de erro natural nas estimativas de 4 centímetros para mais ou para menos, visto que o algoritmo não mede a largura das faixas, o que ainda é uma margem considerada excelente se comparada com outros estudos baseados na refletância da água apenas, sem o uso de um ponto de referência para refletividade, tal qual Pereira-Sandoval et al. (2019) que obteve uma precisão de 0.88 metros em uma escala de transparência de Secchi que variou de 0.26 a 8.1 metros utilizando imagens do satélite Landsat OLI. De acordo com Cillero Castro et al. (2020), o uso de imagens capturadas por RPAS ampliam muito a resolução espaço-temporal quando combinadas a imagens de satélite, porém apesar de apresentar bons resultados, análises por satélite ainda não são ideias para uso na piscicultura, devido ao nível de precisão mais elevado necessário. Neste sentido, o uso do RPAS para obtenção das imagens demonstrou um nível de eficácia superior.

Em relação a outros estudos envolvendo estimativa de transparência da água por imagens multiespectrais, sem o uso de alvos refletivos, o coeficiente de correlação obtido neste experimento foi superior a Prior et al. (2019) que obteve uma correlação máxima de 0.78, e McEliece et al. (2020) que obteve uma correlação de 0.74. Isto sugere que a análise de reflectância em alvos fixos na água para estimar sua transparência é menos sensível a interferências, quando comparado a reflectância direta.

5.4 CONCLUSÃO

O protótipo desenvolvido para captura das imagens demonstrou ser vantajoso, principalmente pelos seus sensores de captura de baixo custo, em torno de 150 dólares, que obtiveram imagens com qualidade adequada para o correto

processamento das imagens, não sendo observadas interferências provenientes de vibrações dos motores do RPAS, mesmo não tendo sido projetado um sistema de amortecimento nos sensores de captura das imagens. O fato deste dispositivo possuir internamente a capacidade de processamento de *softwares*, o torna apto para processamento das imagens em tempo real, disponibilizando a outros sistemas as leituras de transparência durante o voo, o que o faz um equipamento apto para uso em ambiente de piscicultura.

O algoritmo desenvolvido para processar as imagens mostrou ser eficiente no processamento de imagens com comprimento de onda acima de 720nm, apresentando um erro máximo de 5% em suas estimativas. O mesmo, no entanto, foi menos eficiente para comprimentos de onda menores.

5.5 REFERÊNCIAS

AMANOLLAHI, J.; KABOODVANDPOUR, S.; MAJIDI, H. Evaluating the accuracy of ANN and LR models to estimate the water quality in Zarivar International Wetland, Iran. **Nat Hazards**, n. 85, p. 1511-1527, 2017.

ALQADI, Z. Salt and Pepper Noise: Effects and Removal. **International Journal on Electrical Engineering and Informatics**. v. 2, p. 252-256, 2018.

ALSALAM, B. H.; MORTON, K.; CAMPBELL, D.; GONZALEZ, F. Autonomous UAV with vision based on-board decision making for remote sensing and precision agriculture. **2017 IEEE Aerospace Conference**, p. 1-12, 2017. DOI: 10.1109/AERO.2017.7943593.

BHATNAGAR, A.; DEVI, P. Water quality guidelines for the management of pond fish culture. **International Journal of Environmental Science**, v. 3, p. 1980-2009, 2013.

BREZONIK, P. L. *et al.* Color, chlorophyll a and suspended solids effects on Secchi depth in lakes: implications for trophic state assessment. **Ecological Applications**, v. 29, n. 3, 2019.

CAHYONO, B. E.; JAMILAH, U. L.; NUGROHO, A. T.; SUBEKTI, A. Analysis of Total Suspended Solids (TSS) at Bedadung River, Jember District of Indonesia Using Remote Sensing Sentinel 2A Data. **Singapore Journal of Scientific Research**, v. 9, n. 4, p. 117-123, 2019.

CASTRO, *et al.* An UAV and Satellite Multispectral Data Approach to Monitor Water Quality in Small Reservoirs. **Remote Sensing**, v. 12, n. 9, p. 1514, 2020.

CHAPMAN, J. M. *et al.* Clear as mud: A meta-analysis on the effects of sedimentation on freshwater fish and the effectiveness of sediment-control measures. **Water Research**, v. 56, p. 190-202, 2014.

DEVI, P.; PADMAVATHY, P.; AANAND, S.; ARULJOTHI, K. Review on water quality parameters in freshwater cage fish culture. **International Journal of Applied Research**, v. 3, n. 5, p. 114-120, 2017.

DOMINGUES, R. B.; ANSELMO, T. P.; BARBOSA, A. B.; SOMMER, U.; GALVÃO, H. M. Light as a driver of phytoplankton growth and production in the freshwater tidal zone of a turbid estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v. 91, n. 4, p. 526-535, 2011.

ERKAN, U.; GÖKREM, L.; ENGINOĞLU, S. Different applied median filter in salt and pepper noise. **Computers & Electrical Engineering**, v. 70, p. 789-798, 2018.

FAO - Food and Agriculture Organization. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. **Sustainability in action. Rome**. DOI: <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

GOOGLE (2020). Mapa de localização de viveiros escavados de piscicultura na cidade de Toledo - PR. Obtida em 26 de dezembro de 2020. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-24.6964571,-53.7800911,323m/data=!3m1!1e3>.

HASENBEIN, M.; KOMOROSKE, L. M.; CONNON, R. E.; GEIST, J.; FANGUE, N. A. Turbidity and Salinity Affect Feeding Performance and Physiological Stress in the Endangered Delta Smelt. **Integrative and Comparative Biology**, v. 53, n. 4, p 620–634, Oct. 2013.

HOUGH, P. V. C. Methods and means for recognizing complex patterns. Depositante: Paul V. C. Hough. US patent 3069654. Depósito: 25 mar. 1960. Concessão: 18 dez. 1962.

HUENEMANN, T. W.; DIBBLE, E. D.; FLEMING, J. P. Influence of turbidity on the foraging of Largemouth Bass. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 141, p. 107–111, 2012.

HUOVINEN, P; RAMÍREZ, J.; CAPUTO, L.; GÓMEZ, I. Mapping of spatial and temporal variation of water characteristics through satellite remote sensing in Lake Panguipulli, Chile. **Science of The Total Environment**, v. 679, p. 196-208, 2019.

LIM, J.; CHOI, M. Assessment of water quality based on Landsat 8 operational land imager associated with human activities in Korea. **Environ. Monit. Assess**, v.187, p. 1-17, 2015.

LOTFI, G.; AHMADI NADOUSHAN, M.; ABOLHASANI, M. The feasibility of using Landsat OLI images for water turbidity estimation in Gandoman wetland, Iran. **Journal of Radar and Optical Remote Sensing**, v. 2, n. 2, p. 49-62, 2019.

LOWE, M. L.; MORRISON, M. A.; TAYLOR, R. B. Harmful effects of sediment-induced turbidity on juvenile fish in estuaries. **Mar Ecol Prog Ser**, v. 539, p. 241-254, 2015.

MCELIECE, R.; HINZ, S.; GUARINI, J. M.; COSTON-GUARINI, J. Evaluation of Nearshore and Offshore Water Quality Assessment Using UAV Multispectral Imagery. **Remote Sensing**, v. 12, n. 14, p. 2258, 2020.

MENDIBURU, F. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research (2017). R package version 1.2-8. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>>. Acesso em 17 jul. 2020.

PARRA-BORONAT, L.; LLORET, M. G.; LLORET, J.; RODILLA, M. Physical Sensors for Precision Aquaculture: A Review. **IEEE Sensors Journal**. v. 18, n. 10, p. 3915-3923, 2018.

PEÑA, J. M.; TORRES-SANCHEZ, J.; CASTRO, A. I.; KELLY, M.; LÓPEZ-GRANADOS, F. Weed mapping in early-season maize fields using object-based analysis of unmanned aerial vehicle uav images. **PLoS ONE**, v. 8, 2013.

PRIOR, E.; & O'DONNELL, F.; BRODBECK, C.; RUNION, G. B.; SHEPHERD, S. Investigating small unoccupied aerial systems (sUAS) multispectral imagery for total suspended solids and turbidity monitoring in small streams. **International Journal of Remote Sensing**, v. 42, p. 1-26, 2020.

OpenCV. 2015. Open Source Computer Vision Library. <http://docs.opencv.org>.

PEREIRA, S. A.; KIMPARA, J. M.; VALENTI, W. C. Sustainability of the seaweed *Hypnea pseudomusciformis* farming in the tropical Southwestern Atlantic. **Ecol. Indic.**, v. 121, p. 1-9, 2021.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2018. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em 09 jul. 2020.

RÜGNER, H.; SCHWIENSTEK, M.; BECKINGHAM, B.; KUCH, B.; GRATHWOHL, P. Turbidity as a proxy for total suspended solids (TSS) and particle facilitated pollutant

transport in catchments. **Environmental Earth Sciences**, v. 69, n. 2, p. 373–380, 2013.

SONG, K.; LI, L.; WANG, Z.; LIU, D. Retrieval of total suspended matter (TSM) and chlorophyll-a (Chl-a) concentration from remote-sensing data for drinking water resources. **Environ Monit Assess**, v. 184, p. 1449–1470, 2012.

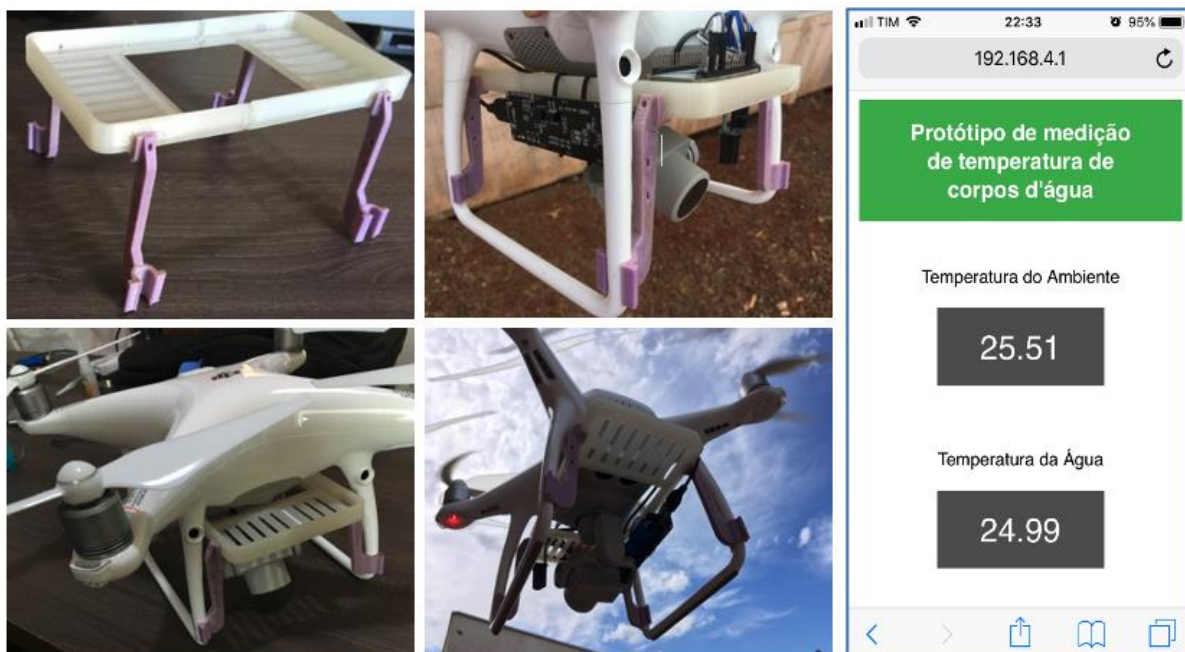
6 VISÃO GERAL DOS DIFERENTES MÓDULOS DO SISTEMA

Como visto nos capítulos anteriores, a indústria 4.0 e 5.0 contam com a colaboração entre diferentes equipamentos e sistemas, cada qual com a sua devida responsabilidade, colaborando para com um todo. O sistema proposto nesta pesquisa foi projetado para que funcione de maneira modular, de modo que diversos módulos de monitoramento, cada qual com seu princípio específico de funcionamento, possa ser integrado a um único *software* de gerenciamento, e este possa ser moldado para colaborar com outros sistemas futuramente. Os subtópicos a seguir detalham a forma como os módulos de mensuração de temperatura e transparência estão interligados, e como é realizada a transmissão e recepção dos dados medidos.

6.1 Desenvolvimento do Protótipo

Os testes foram conduzidos utilizando um RPAS da marca DJI modelo Phantom 4 Advanced, que por padrão não possui nenhum suporte para acoplamento de cargas, onde fosse possível acoplar o protótipo em desenvolvimento. Para solucionar este problema, um suporte foi projetado e impresso em uma impressora 3D, o qual possibilitou uma plataforma entre as extremidades do trem de pouso do mesmo, para possibilitar que fossem acopladas com segurança diversos equipamentos. Inicialmente foram conduzidos experimentos em relação ao sensor de temperatura e transmissão de dados, onde os equipamentos foram acoplados a esta base ainda sem nenhum invólucro de proteção, conforme ilustra a Figura 20.

Figura 20 – Testes preliminares do protótipo, ainda em fase inicial de desenvolvimento



Fonte: Autoria Própria

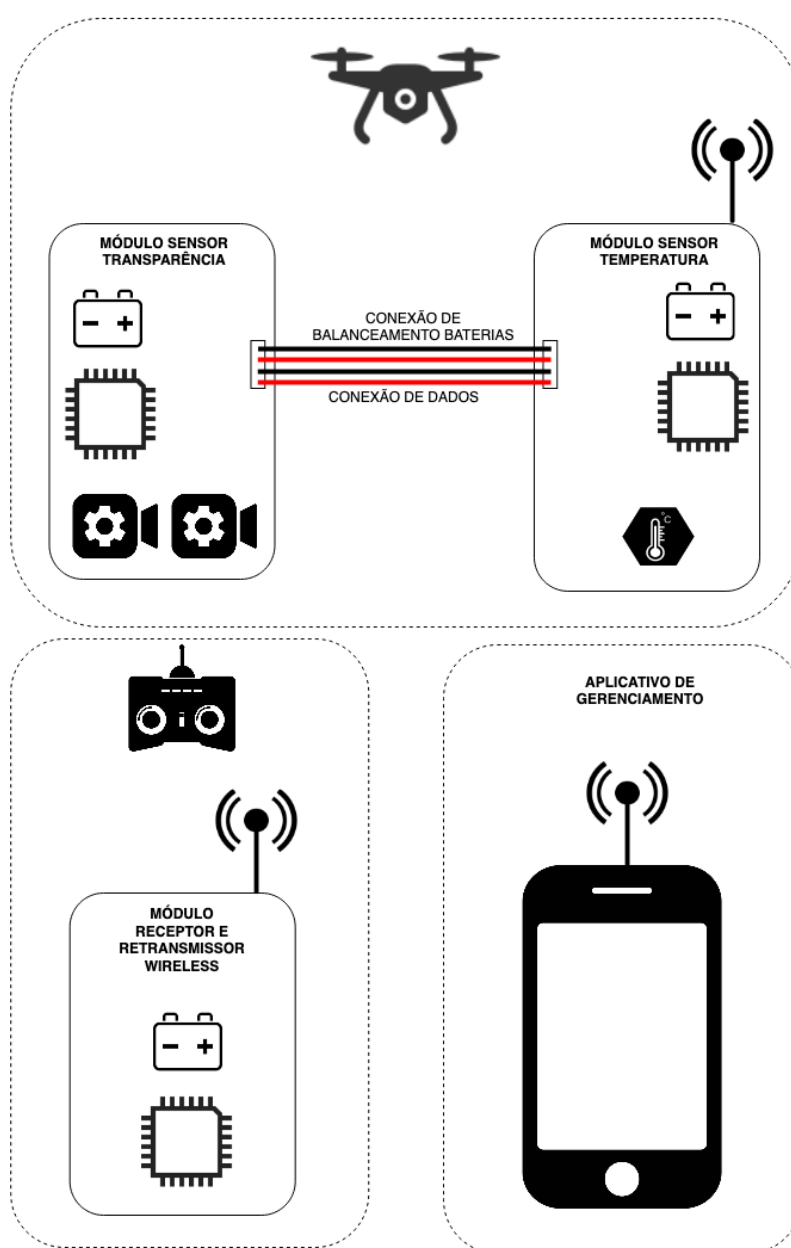
Durante os testes preliminares os dados do RPAS foram transmitidos a um dispositivo móvel por meio de uma rede sem fio de curto alcance (Wi-Fi), e os dados foram acompanhados em uma página de *internet* gerada pelo microcontrolador usado no RPAS.

Após o protótipo provisório ter demonstrado bons resultados nos testes preliminares, projetou-se uma arquitetura mais robusta do sistema, com possibilidade de transmissão de dados a longas distâncias, e incluindo também um módulo de processamento de imagens que foi posteriormente utilizado para análise de transparência da água. Este módulo de processamento de imagens foi equipado com um microcomputador capaz de realizar o processamento de imagens em tempo real, podendo ainda ser interligado a um conjunto de sensores, expandindo a possibilidade para análise de outros parâmetros de qualidade da água em futuros estudos, sem necessidade de alterações de *hardware*.

Uma das principais preocupações que se teve no projeto foi o balanceamento de carga, visto que um RPAS precisa ter seu peso distribuído em torno do seu centro de massa, e qualquer desequilíbrio neste centro de massa requer que alguns motores do RPAS girem mais rápido que outros. Quando este desequilíbrio é muito grande, pode ocorrer superaquecimento dos motores, ou mesmo instabilidades durante o voo. Por este motivo, optou-se por distribuir a carga dos equipamentos,

dispondo em um dos lados do RPAS os equipamentos responsáveis pela transmissão de dados, recepção de GPS e sensoriamento de temperatura, e na outra extremidade os equipamentos responsáveis pela aquisição e processamento de imagens. A Figura 21 ilustra a arquitetura geral do sistema, desde a captura de dados no RPAS até o gerenciamento dos dados feito via *smartphone*. Nesta arquitetura parte dos equipamentos estão acoplados no RPAS, e parte no controle remoto do mesmo, junto ao *smartphone*.

Figura 21 – Arquitetura do sistema de medição de parâmetros de qualidade da água por meio de RPAS

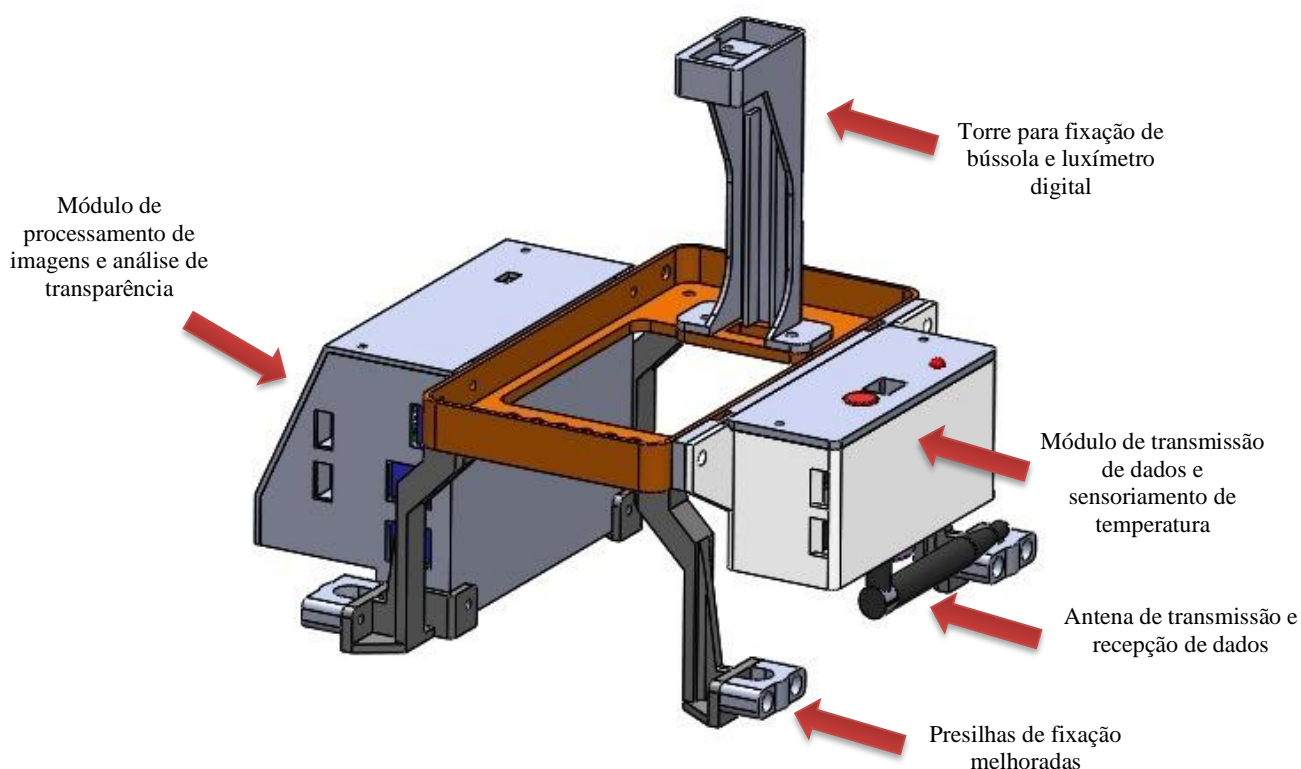


Fonte: Autoria Própria

Para possibilitar a comunicação entre os dois módulos no RPAS, disponibilizou-se um conector em cada um, de modo que estes pudessem ser interconectados por fios. A bateria necessária para o funcionamento do protótipo possui um peso relativamente grande, sendo 37 gramas por célula. Por este motivo optou-se por criar um balanceamento de carga entre as células de bateria, disponibilizando, além da comunicação de dados entre os dois módulos, um canal de compartilhamento de baterias, de modo que um módulo possa usufruir da carga da bateria do outro, caso precise. Desta maneira foi possível alocar duas células de bateria em um lado do RPAS, e mais uma célula do outro lado, melhorando o balanceamento de carga total dos equipamentos.

Uma vez projetado a arquitetura do sistema, foram modelados invólucros para cada módulo do protótipo, também impressos em uma impressora 3D, e fixados a uma base que foi melhorada, para se encaixar melhor ao trem de pouso do RPAS, conforme ilustra a Figura 22.

Figura 22 – Estrutura de acoplamento do protótipo no RPAS, e que comporta todos os equipamentos necessários para o seu funcionamento



Fonte: Autoria Própria

De modo a compensar possíveis desequilíbrios na iluminação durante a captura das imagens, acoplou-se um luxímetro digital e uma bússola ao módulo de processamento de imagens, os mesmos foram dispostos em uma torre que os eleva a uma altura acima das hélices do RPAS, para que as mesmas não bloqueiem a iluminação que incide sobre o luxímetro, e para que possíveis campos magnéticos gerados pelos circuitos eletrônicos não afetem o funcionamento da bússola.

Figura 23 – Protótipo finalizado e montado no RPAS



Fonte: Autoria Própria

O peso final do protótipo incluindo os parafusos de fixação totalizou 778 gramas, e os testes de voo indicaram uma boa estabilidade durante o deslocamento entre os viveiros escavados.

6.2 Desenvolvimento do Aplicativo de Monitoramento

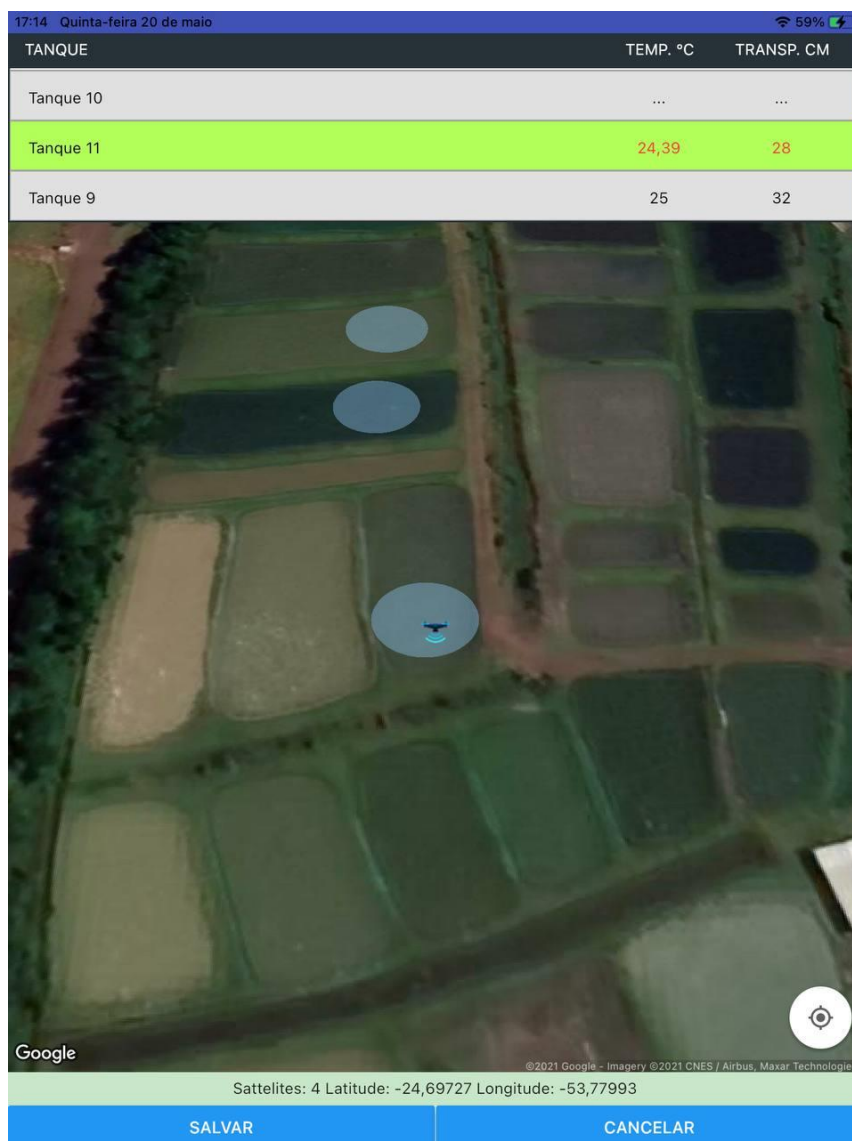
Apesar da arquitetura modular do protótipo instalado no RPAS, este dispõe de um único canal de comunicação de longo alcance, onde os dados trafegam entre o RPAS e o receptor junto ao controle remoto do RPAS, concentrando neste receptor toda mecânica envolvida na troca de dados entre aplicativo de monitoramento e sensores.

Para evitar um forte acoplamento do aplicativo à estrutura de *hardware* do receptor de longa distância, as trocas de mensagens, tanto de requisição quanto de resposta, foram implementadas utilizando um formato conhecido como JSON (*JavaScript Object Notation*), que é um padrão de estruturação de dados que não exige muito processamento, altamente expansível, ou seja, não é necessário alterar a lógica de funcionamento da troca de mensagens caso seja incluído a leitura de mais um parâmetro de qualidade da água futuramente. As requisições também foram implementadas por intermédio do protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), que atualmente também é utilizado para prover acesso a páginas da *internet*. Desta maneira, o aplicativo pode ainda funcionar com outras fontes de dados, possibilitando alto engajamento no ecossistema de Aquicultura 5.0.

Independente da fonte de dados, o aplicativo consegue reunir de maneira transparente todos os dados em uma única ferramenta, e coordenar a leitura das mesmas utilizando-se de requisições feitas pelo mesmo. Nesta primeira versão proposta, o aplicativo recebe o posicionamento do RPAS, como latitude, longitude e altitude de voo, bem como a transparência e temperatura da água em intervalos que variam de 600 milissegundos a 1 segundo. Este tempo foi estipulado devido à baixa frequência de transmissão, e para que seja possível atualizar a posição do RPAS no mapa, de forma que o aplicativo detecte quando o RPAS está na posição correta de medição.

A Figura 24 ilustra a interface vista pelo operador durante o sobrevoo dos viveiros, usando a perspectiva de um aparelho com tela de 10 polegadas.

Figura 24 – Protótipo finalizado e montado no RPAS



Fonte: Autoria Própria

Esta funcionalidade é a mais importante do sistema, pois é através dela que podem ser vistas as áreas de medição pré-cadastradas, que são as áreas circulares sobre os viveiros, podendo ser visto o deslocamento do RPAS, que iniciará a leitura automaticamente após o RPAS entrar na área de medição.

Logo acima do mapa, pode ser visto a lista de viveiros escavados, e uma coluna para cada parâmetro de qualidade da água. Os dados são georreferenciados e datados no momento em que são lidos, e posteriormente armazenados em um banco de dados que acumula o histórico de medições individuais de cada viveiro.

Além deste módulo, o aplicativo conta também com um cadastro de viveiros, onde é possível georreferenciar os pontos onde se deseja que o RPAS faça as

medições. O processo de cadastramento é feito apenas uma vez, e serve como base para o módulo ilustrado na Figura 24.

6.3 Possibilidades de expansão e integração com outros sistemas

Os resultados desta pesquisa caracterizam uma base sólida, funcional e modular de um sistema de monitoramento de qualidade da água por RPAS, em que todos os componentes foram desenvolvidos para facilitar a expansão futura, e a colaboração com outros sistemas.

Nos capítulos anteriores foram mencionadas formas de expansão do protótipo no RPAS, o que é bastante vantajoso, mas o que caracteriza maior impacto são os dados armazenados pelo aplicativo, pois estes podem ser utilizados para colaborar com inúmeros subsistemas. Após uma coleta de dados, por exemplo, um sistema de alimentação automático poderia, com base na temperatura e transparência da água, calcular a quantidade de ração que deve ser fornecida aos peixes. Estes dados poderiam também se unir a outras fontes, como por exemplo estações fixas de medição de oxigênio dissolvido ou pH. Com o passar do tempo, esta base de dados pode passar a ter um volume de informações suficiente para ser utilizada em algoritmos de aprendizagem de máquina, que podem ter inúmeras finalidades.

Além destes exemplos, inúmeros outros podem vir a ser identificados, podendo ainda gerar, ou se integrar, a uma linha de pesquisa voltada a aquicultura 5.0.

7 CONCLUSÕES GERAIS

A tecnologia existe para abrir portas e romper barreiras, principalmente nos meios produtivos como a agricultura, que gera renda para os agricultores familiares brasileiros. Com base nisso, este estudo teve como foco o desenvolvimento de um sistema de coleta de qualidade da água utilizando-se de veículos aéreos remotamente pilotados, que conseguisse aferir a temperatura e a transparência da água. Para tanto desenvolveu-se e avaliou-se uma nova tecnologia para esta finalidade, baseada em *hardware* e *software*, e os resultados apontaram que o sistema desenvolvido é eficiente e altamente aplicável para melhoria do manejo,

principalmente por sua agilidade e por seus componentes de baixo custo de aquisição, o que facilita sua implantação.

Este estudo também mostrou ser possível utilizar tecnologias consolidadas, como é o caso dos RPAS, como propulsor para ampliar possibilidades dentro de outras tecnologias e aplicabilidades. Os resultados obtidos também se mostraram alinhados com as expectativas iniciais, demonstrando ainda um nível de precisão nas medições, superior ao esperado, tendo em vista que os sensores foram instalados em um veículo instável, com mudanças constantes de inclinação, direção e vibrações, além de submetidos às correntes de ar resultantes dos propulsores do RPAS. Os passos metodológicos tomados para se chegar nestes resultados também puderam ser executados com êxito, e não necessitaram de adaptações.

Os testes foram desenvolvidos em um protótipo que, agora comprovada sua eficiência, pode ser amplamente melhorado diminuindo ainda mais seu peso, tamanho e custo, bem como pode ser integrado a outras soluções de aquicultura 5.0. Apesar das possíveis melhorias, o protótipo desenvolvido se mostra alinhado com a tendência de miniaturização de equipamentos agrícolas e automação de processos produtivos, e os resultados atingidos até então demonstram que este sistema contribui substancialmente para o tripé econômico, social e ambiental da sustentabilidade, melhorando a renda e qualidade de vida dos agricultores e contribuindo com a preservação do meio ambiente, bem como está alinhado com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Agenda 2030 das Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015, composta por 17 objetivos que visam acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima, e garantir que as pessoas possam desfrutar de paz e prosperidade em todos os lugares (ONU, 2021), indo de encontro principalmente com os seguintes objetivos, da seguinte maneira:

- a) Objetivo 2 - Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável: Desenvolvimento de tecnologias para melhorar a infraestrutura rural, aumentar a capacidade de produção agrícola aplicando-se práticas agrícolas resilientes e sistemas sustentáveis de produção de alimentos, além de aumentar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores de alimentos;

- b)** Objetivo 8 - Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo, e trabalho decente para todas e todos: Melhoria da produtividade por meio da diversificação, modernização tecnológica e inovação, e apoiar atividades produtivas, geração de emprego decente, empreendedorismo, criatividade e inovação, e incentivar a formalização e o crescimento das micro, pequenas e médias empresas;

- c)** Objetivo 9 - Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável, e fomentar a inovação: Desenvolvimento de uma infraestrutura de qualidade, confiável, sustentável e resiliente, para apoiar o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano, com foco no acesso equitativo e a preços acessíveis para todos, contribuindo também com uma industrialização inclusiva e sustentável por meio da modernização da infraestrutura da cadeia produtiva de pescado;

- d)** Objetivo 12 - Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis: Alcançar padrões mais sustentáveis de produção e consumo por meio da gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais, redução do desperdício de alimentos e melhorar o manejo de resíduos decorrentes da cadeia produtiva, bem como promover a melhoria de suas capacidades científicas e tecnológicas para auxiliar a mudança para padrões mais sustentáveis de produção e consumo;

- e)** Objetivo 14 - Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável: A maioria dos resíduos provenientes da aquicultura vão para os rios e córregos, e estes para os oceanos, logo todas as ações que visam conservar e melhorar a qualidade da água na aquicultura contribui para melhoria de todo ecossistema fluvial e marinho.

Os resultados desta pesquisa contribuem também para os 3 eixos do tripé de sustentabilidade na aquicultura, da maneira como segue abaixo:

- a) **ECONÔMICO:** O uso de RPAS para realização do monitoramento da qualidade da água possibilita diminuição no trabalho e custos de deslocamento até os viveiros, bem como envolve a aquisição de um único equipamento para monitoramento de todos os viveiros, sendo este projetado para ser de baixo custo. Os dados provenientes das medições feitos pelo RPAS podem ser utilizados para melhoria da eficiência de todo o processo produtivo, principalmente na melhoria do fornecimento de ração, que representa atualmente o maior custo de produção, impactando também substancialmente na conversão alimentar dos peixes;
- b) **SOCIAL:** O aumento da renda na piscicultura com a ajuda do sistema proposto e a diminuição do trabalho envolvido no processo de aferição da qualidade da água dos viveiros melhora a qualidade de vida dos piscicultores, e é um atrativo para a sucessão dos jovens no campo;
- c) **AMBIENTAL:** O manejo inadequado dos viveiros e a falta de monitoramento da qualidade da água causa diversos prejuízos ambientais, principalmente porque a água dos viveiros normalmente é devolvida a rios e córregos dos quais é captada, porém com uma qualidade muito inferior. O projeto desenvolvido nesta pesquisa melhora desde o acompanhamento da qualidade da água até a tomada de decisões no manejo que faz com que a água tenha uma melhor qualidade decorrente do processo produtivo mais eficiente. Os resultados obtidos possuem aplicabilidade também para fiscalização de áreas afetadas pela piscicultura.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo foi particularmente desafiador, pois foi desenvolvido em meio a uma pandemia mundial, que causou muitas incertezas com relação ao futuro das atividades agrícolas no país, bem como agravou o corte de verbas e investimentos que já não eram abundantes.

Inicialmente contava-se com a aquisição de uma câmera multiespectral de alta qualidade, de forma que pudessem ser comparadas mais bandas espectrais nas análises visuais de qualidade da água, onde também seriam feitas comparações de reflexão da água sem uso de qualquer objeto refletivo na água. Com a indisponibilidade deste equipamento, optou-se pela construção de um instrumento de captura de imagens feita com recursos próprios, que apesar de possuir características adequadas para o projeto, provocou o atraso do escopo geral das atividades, e fez com que houvesse uma quantidade menor de comparações refletivas da água no final.

Analisando as imagens capturadas, percebeu-se uma forte interferência provocada por reflexos solares na água. Apesar de diversas tentativas de amenizar estes reflexos sem comprometer as imagens, não houve sucesso, sendo que o uso de um cone refletivo se mostrou uma alternativa para contornar este problema.

Por conta disso, como proposta de continuidade nos estudos, pesquisas podem ser conduzidas para se conseguir, através da reflexão das partículas em suspensão na água, o mesmo grau de precisão que este estudo apresentou para medição de transparência com relação à reflexão em um cone de referência. Encontrar uma forma de minimizar os reflexos na água também pode ser uma peça chave para se conseguir analisar padrões visuais de qualidade da água por meio de algoritmos de inteligência artificial.

Caso isto não seja possível ou viável, se faz necessário melhorar este cone, de forma que sua reflexão não seja afetada pela incidência de algas, visto que para uso em campo se faz necessário que o mesmo esteja instalado em cada viveiro de forma permanente. Apesar do cone refletivo ser algo a mais a ser considerado na manutenção geral de um sistema como este, observou-se que o mesmo também pode ser utilizado como estação física para outros subsistemas, como, por exemplo, abrigar sensores que medem parâmetros químicos da água, como pH e oxigênio

dissolvido, que não apresentam padrões ópticos precisos o suficiente para serem medidos a distância.

Este arranjo também potencializa uma integração de dados entre o RPAS e possíveis estações aquáticas, onde ao sobrevoar os viveiros escavados, o RPAS serviria como um coletor de dados, dada a distância reduzida entre os equipamentos na água e o RPAS durante o sobrevoo. Isto diminuiria consideravelmente os custos de equipamentos fixos, visto que não seria necessário investir em infraestrutura de comunicação de dados a longas distâncias.

Por fim, esta pesquisa, além de conectar conceitos que estão em alta, como agricultura de precisão, aquicultura 5.0 e *Internet das coisas*, também abre um leque grande de oportunidades de continuidade nas pesquisas relacionadas a este tema, bem como sua associação com outros projetos em potencial.

8 REFERÊNCIAS GERAIS

- ALCANTARA, E. H.; STECH, L. J.; LORENZZETTI, J. A. MORAES NOVO, M. L. Time series analysis of water surface temperature and heat flux components in the Itumbiara Reservoir (GO), Brazil. **Acta Limnol. Bras.**, Rio Claro, v. 23, n. 3, p. 245-259, Sept. 2011.
- ALPHONSUS, E. R.; ABDULLAH, M. O. A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 60, p. 1185–1205, 2016. doi: 10.1016/j.rser.2016.01.025
- ALKHATIB, R.; LEBDY, R. Digital Manufacturing and the Fifth Industrial Revolution. In: Analyzing Future Applications of AI, Sensors, and Robotics in Society. **IGI Global**, p. 69-86, 2021.
- ALQADI, Z. Salt and Pepper Noise: Effects and Removal. **International Journal on Electrical Engineering and Informatics**. v. 2, p. 252-256, 2018.
- ALSALAM, B. H.; MORTON, K.; CAMPBELL, D.; GONZALEZ, F. Autonomous UAV with vision based on-board decision making for remote sensing and precision agriculture. **2017 IEEE Aerospace Conference**, p. 1-12, 2017. DOI: 10.1109/AERO.2017.7943593.
- AMANOLLAHI, J.; KABOODVANDPOUR, S.; MAJIDI, H. Evaluating the accuracy of ANN and LR models to estimate the water quality in Zarivar International Wetland, Iran. **Nat Hazards**, n. 85, p. 1511-1527, 2017.
- AMORIM, L. T.; OLIVEIRA, I. P. As relações entre o surgimento da sociedade pós-industrial e a revolução ambiental. **Revista Faculdade Montes Belos**, v. 4, n. 1, set. 2011.
- BARTZ, R. L. Desenvolvimento de um sistema de monitoramento em tanques de piscicultura para auxiliar no manejo de tilápias. Dissertação de Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira - PR. 2017.
- BHATNAGAR, A.; DEVI, P. Water quality guidelines for the management of pond fish culture. **International Journal of Environmental Science**, v. 3, p. 1980-2009, 2013.
- BLOEM, J. et al. The fourth industrial revolution. **Things Tighten**, v. 8, p. 11-15, 2014.
- BOJANIC, H. A. (2017). The Rapid Agricultural Development of Brazil in the Last 20 Years. **EuroChoices**, v. 16, n. 1, p. 5–10, 2017. doi:10.1111/1746-692x.12143.
- BORANGA, R. S.; FAVELA, J. A.; HONORATO, C. A.; MARTINS, E. A. S.; NEU, D. H. AquiNutri – aplicativo de celular para otimização do arraçoamento de peixes. **Brazilian Journal of Development**, v. 4, n. 6, p. 3553-3564, 2018.
- BRADSKI, G. The OpenCV Library. **Dr Dobb's Journal of Software Tools**. 2000.

BREZONIK, P. L. *et al.* Color, chlorophyll a and suspended solids effects on Secchi depth in lakes: implications for trophic state assessment. **Ecological Applications**, v. 29, n. 3, 2019.

CAHYONO, B. E.; JAMILAH, U. L.; NUGROHO, A. T.; SUBEKTI, A. Analysis of Total Suspended Solids (TSS) at Bedadung River, Jember District of Indonesia Using Remote Sensing Sentinel 2A Data. **Singapore Journal of Scientific Research**, v. 9, n. 4, p. 117-123, 2019.

CASTRO, *et al.* An UAV and Satellite Multispectral Data Approach to Monitor Water Quality in Small Reservoirs. **Remote Sensing**, v. 12, n. 9, p. 1514, 2020.

CHAPMAN, J. M. *et al.* Clear as mud: A meta-analysis on the effects of sedimentation on freshwater fish and the effectiveness of sediment-control measures. **Water Research**, v. 56, p. 190-202, 2014.

CHEN, Y.; CHENG, Q.; FANG, X.; YU, H.; LI, D. Principal component analysis and long short-term memory neural network for predicting dissolved oxygen in water for aquaculture. **Proc. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, 2018.

CHEN, Y.; ZHEN, Z.; YU, H.; XU, J. Application of fault tree analysis and fuzzy neural networks to fault diagnosis in the Internet of Things (IoT) for aquaculture. **Sensors**, v. 17, n. 1, p. 153, Jan. 2017.

COLDEBELLA, A.; GENTELINI, A. L.; PIANA, P. A.; COLDEBELLA, P. F.; BOSCOLO, W. R.; FEIDEN, A. Effluents from Fish Farming Ponds: A View from the Perspective of Its Main Components. **Sustainability**, v. 10, n. 1, p. 3, Dec. 2018.

DEVI, P.; PADMAVATHY, P.; AANAND, S.; ARULJOTHI, K. Review on water quality parameters in freshwater cage fish culture. **International Journal of Applied Research**, v. 3, n. 5, p. 114-120, 2017.

DOMINGUES, R. B.; ANSELMO, T. P.; BARBOSA, A. B.; SOMMER, U.; GALVÃO, H. M. Light as a driver of phytoplankton growth and production in the freshwater tidal zone of a turbid estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 91, n. 4, p. 526-535, 2011.

ERKAN, U.; GÖKREM, L.; ENGINOĞLU, S. Different applied median filter in salt and pepper noise. **Computers & Electrical Engineering**, v. 70, p. 789-798, 2018.

FAO - Food and Agriculture Organization. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. **Sustainability in action. Rome**. DOI: <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. de B.; LIMA, E. R. V. de. Mapeamento das terras para mecanização agrícola - Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.5, n.2, p.233-249, 2012.

GAYA, J. O.; GONÇALVES, L. T.; DUARTE, A. C.; BZANCHETTA, B.; DREWS, P.; BOTELHO, S. S. Vision-based obstacle avoidance using deep learning. **Proc. 2016 XIII Latin American Robotics Symposium and IV Brazilian Robotics Symposium (LARS/SBR)**, 2016.

GLASS, C. E. Interpreting Aerial Photographs to Identify Natural Hazards. **Elsevier**. 2013. 184 p.

GOOGLE (2019). Mapa de localização de viveiros escavados de piscicultura na cidade de Toledo - PR. Obtido em 14 de julho de 2020. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-24.6964571,-53.7800911,323m/data=!3m1!1e3>>.

GOOGLE (2020). APIs de geolocalização. Disponível em: <<https://cloud.google.com/maps-platform/>>. Acesso em: 28 jun. 2020.

GOOGLE (2020). Mapa de localização de viveiros escavados de piscicultura na cidade de Toledo - PR. Obtida em 26 de dezembro de 2020. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-24.6964571,-53.7800911,323m/data=!3m1!1e3>>.

GORBUNOVA, A. V. *et al.* Prospects and opportunities for the introduction of digital technologies into aquaculture. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 422, p. 1755-1315, 2020.

HASENBEIN, M.; KOMOROSKE, L. M.; CONNON, R. E.; GEIST, J.; FANGUE, N. A. Turbidity and Salinity Affect Feeding Performance and Physiological Stress in the Endangered Delta Smelt. **Integrative and Comparative Biology**, v. 53, n. 4, p 620–634, Oct. 2013.

HOUGH, P. V. C. Methods and means for recognizing complex patterns. Depositante: Paul V. C. Hough. US patent 3069654. Depósito: 25 mar. 1960. Concessão: 18 dez. 1962.

HUANG, L.; LI, Z.; LI, S.; LIU, L.; SHI, Y. Design and Application of a Free and Lightweight Aquaculture Water Quality Detection Robot. **Journal Européen des Systèmes Automatisés**, v. 53, p. 111-122, 2020.

HUENEMANN, T. W.; DIBBLE, E. D.; FLEMING, J. P. Influence of turbidity on the foraging of Largemouth Bass. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 141, p. 107–111, 2012.

HUOVINEN, P.; RAMÍREZ, J.; CAPUTO, L.; GÓMEZ, I. Mapping of spatial and temporal variation of water characteristics through satellite remote sensing in Lake Panguipulli, Chile. **Science of The Total Environment**, v. 679, p. 196-208, 2019.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa da Pecuária Municipal 2017, 2018 e 2019. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

- IMAI, T.; ARAI, K. T.; KOBAYASHI, T. Smart Aquaculture System: A Remote Feeding System with Smartphones. **2019 IEEE 23rd International Symposium on Consumer Technologies (ISCT)**, Ancona, Italy, p. 93-96, 2019.
- JOFFRE, O. M.; KLERKX, L.; DICKSON, M.; VERDEGEM, M. How is innovation in aquaculture conceptualized and managed: A systematic literature review and reflection framework to inform analysis and action. **Aquaculture**, v. 470, p. 129-148, 2017.
- KIMURA, F. *et al.* Early Detection System of Harmful Algal Bloom Using Drones and Water Sample Image Recognition. **Sensors and Materials**. v. 31, p. 4155, 2019.
- KIMPARA, J.M.; ZAJDJBAND, A. D.; VALENTI, W. C. Métodos para medir a sustentabilidade na aquicultura. **Embrapa Meio Norte**, Teresina, (Embrapa. Documentos, 218) 2012. 78 p.
- LEE, I.; LEE, K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, v. 58, n. 4, p. 431–440, 2015.
- LI, Z. B.; PENG, F.; NIU, B. S.; LI, G. Y.; WU, J.; MIAO, Z. Water quality prediction model combining sparse auto-encoder and LSTM network. **IFAC PapersOnLine**, v. 51, n. 17, p. 831-836, 2018.
- LIM, J.; CHOI, M. Assessment of water quality based on Landsat 8 operational land imager associated with human activities in Korea. **Environ. Monit. Assess**, v.187, p. 1-17, 2015.
- LINDBLOM, J.; LUNDSTRÖM, C.; LJUNG M.; JONSSON, A. Promoting sustainable intensification in precision agriculture: review of decision support systems development and strategies. **Precis Agric**. v. 18, n. 3, p. 309–331, 2016.
- LING, G.; BEXTINE, B. Precision Farming Increases Crop Yields. **Scientific American**, 2017.
- LOPES, M. A.; CONTINI, E. Agricultura, sustentabilidade e tecnologia. **Agroanalysis**, p. 28-34, fev. 2012.
- LOTFI, G.; AHMADI NADOUSHAN, M.; ABOLHASANI, M. The feasibility of using Landsat OLI images for water turbidity estimation in Gandoman wetland, Iran. **Journal of Radar and Optical Remote Sensing**, v. 2, n. 2, p. 49-62, 2019.
- LOURENÇO, M. L.; CARVALHO, D. Sustentabilidade Social e Desenvolvimento Sustentável. Revista de Administração, Contabilidade e Economia - RACE, Unoesc, v. 12, n. 1, p. 9-38, 2013.
- LOWE, M. L.; MORRISON, M. A.; TAYLOR, R. B. Harmful effects of sediment-induced turbidity on juvenile fish in estuaries. **Mar Ecol Prog Ser**, v. 539, p. 241-254, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Balanço 2020. Brasília, DF: Mapa, 2020.

MCELIECE, R.; HINZ, S.; GUARINI, J. M.; COSTON-GUARINI, J. Evaluation of Nearshore and Offshore Water Quality Assessment Using UAV Multispectral Imagery. **Remote Sensing**, v. 12, n. 14, p. 2258, 2020.

MCROBERTS, Michael. Arduino Básico. São Paulo: Novatec, 2011. 456 p.

MELEXIS TECHNOLOGIES NV. MLX90614 Datasheet. Disponível em: <<https://br.mouser.com/ProductDetail/Melexis/MLX90614ESF-DCI-000-TU?qs=KuGPmAKtFKXYpWHB8NwOZw%3D%3D>>. Acesso em: 16 mai. 2020.

MENDIBURU, F. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research (2017). R package version 1.2-8. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>>. Acesso em 17 jul. 2020.

MISIMI, E.; ØYE, E. R.; ØYSTEIN, S.; MATHIASSEN, J. R. Robust classification approach for segmentation of blood defects in cod fillets based on deep convolutional neural networks and support vector machines and calculation of gripper vectors for robotic processing. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 139, p. 138-152, 2017.

MORAIS, D. O. C de; OLIVEIRA, N. Q. da S.; SOUZA, E. M. de. As Práticas de Sustentabilidade Ambiental e suas Influências na Nova Formatação Institucional das Organizações. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS**. v. 3, n. 3, 2014.

MORRAR, R.; ARMAN, H.; MOUSA, S. The fourth industrial revolution (Industry 4.0): A social innovation perspective. **Technology Innovation Management Review**, v. 7, n. 11, p. 12-20, 2017.

MOTA, R. P. B.; BATISTA, D. Um mecanismo para garantia de qos na “internet das coisas” com rfid. In: Proceedings of the SBRC2013 (Brazilian Symposium on Computer Networks and Distributed Systems). **Brasília: SBRC**. p. 297–310, 2013.

MOURA, R. S.; VALENTI, W. C.; HENRY-SILVA, G. G. Sustainability of Nile tilapia net-cage culture in a reservoir in a semi-arid region. **Ecol. Indic.**, V. 66, p. 574-582, 2016.

ONU - Organização das Nações Unidas. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 30 jun. 2021.

OpenCV. 2015. Open Source Computer Vision Library. <http://docs.opencv.org>.

PARRA-BORONAT, L.; LLORET, M. G.; LLORET, J.; RODILLA, M. Physical Sensors for Precision Aquaculture: A Review. **IEEE Sensors Journal**. v. 18, n. 10, p. 3915-3923, 2018.

PEÑA, J. M.; TORRES-SANCHEZ, J.; CASTRO, A. I.; KELLY, M.; LÓPEZ-GRANADOS, F. Weed mapping in early-season maize fields using object-based analysis of unmanned aerial vehicle uav images. **PLoS ONE**, v. 8, 2013.

PEREIRA, S. A.; KIMPARA, J. M.; VALENTI, W. C. Sustainability of the seaweed *Hypnea pseudomusciformis* farming in the tropical Southwestern Atlantic. **Ecol. Indic.**, v. 121, p. 1-9, 2021.

PEREIRA-SANDOVAL, M. *et al.* Calibration and validation of algorithms for the estimation of chlorophyll-a concentration and secchi depth in inland waters with Sentinel-2. **Limnetica**, v. 38, p. 471-487, 2019.

PRIOR, E.; & O'DONNELL, F.; BRODBECK, C.; RUNION, G. B.; SHEPHERD, S. Investigating small unoccupied aerial systems (sUAS) multispectral imagery for total suspended solids and turbidity monitoring in small streams. **International Journal of Remote Sensing**, v. 42, p. 1-26, 2020.

QIANG, J.; WANG H.; KPUNDEH M. D.; HE J.; XU, P. Effect of water temperature, salinity, and their interaction on growth, plasma osmolality, and gill Na⁺, K⁺-ATPase activity in juvenile GIFT tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). **Journal of Thermal Biology**. v. 38, n. 6, p. 331-338, 2013.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2018. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em 09 jul. 2020.

RAVALLI, A.; ROSSI, C.; MARRAZZA, G. Bio-inspired fish robot based on chemical sensors. **Sensors Actuators B Chem**, v. 239, p. 325–329, 2017.

RÜGNER, H.; SCHWIENSTEK, M.; BECKINGHAM, B.; KUCH, B.; GRATHWOHL, P. Turbidity as a proxy for total suspended solids (TSS) and particle facilitated pollutant transport in catchments. **Environmental Earth Sciences**, v. 69, n. 2, p. 373–380, 2013.

SANTOS, E. L.; SANTOS I. V.; LIRA, R. C.; SILVA, C. F.; MOUR, S. C.; FERREIRA A. J.; SILVA, R. M. Frequência de arraçoamento para alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Agropecuária Técnica**, v. 35, n. 1, p. 171-177, 2014.

SANTOS, I.; SANDMANN, A.; SOUZA, B.; SCHMIDT, C.; FILHO, P.; MELGES, A.; MARCOLIN, J. Internet das coisas (IoT) aplicada ao agronegócio: Projeto e implementação de um gateway de IoT sobre a plataforma Arduino para simplificar a automatização da aquicultura. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, p. 26631-26653, 2019. doi: 10.34117/bjdv5n11-292.

SANTOS, M. V. B; DOMICIANO, C. A. R.; ROCHA, F. G.; LIMA, C. J. B.; JESUS, L. A.; MOURA, J. R. F. Desenvolvimento de Sistema Automático de Análise de pH e Temperatura da Água para Aquicultura. *Anais do Computer on the Beach*, p. 325-333, 2018. doi: <https://doi.org/10.14210/cotb.v0n0.p325-333>

SCHWAB, K. The fourth industrial revolution. Currency, 2017.

SENEVIRATNE, P. Building Arduino PLCs. Udumulla: Apress, 2017. doi: 10.1007/978-1-4842-2632-2

SHAREEF, Z.; REDDY, S. R. Deployment of sensor nodes for aquaculture in western Godavari delta: results, challenges and issues. **J Reliable Intell Environ**, v. 6, p. 153-167, 2020.

SHEN, K.; LU, H.; BAIG S.; JIANG, G.; MCMANUS, J.; WANG, M. Laser-based water depth measurement system deployed via unmanned aerial vehicle. **Journal of Applied Remote Sensing**. v. 11. p. 32409, 2017.

SONG, K.; LI, L.; WANG, Z.; LIU, D. Retrieval of total suspended matter (TSM) and chlorophyll-a (Chl-a) concentration from remote-sensing data for drinking water resources. **Environ Monit Assess**, v. 184, p. 1449–1470, 2012.

SOUSA, D.; HERNANDEZ, D.; OLIVEIRA, F.; LUÍS, M.; SARGENTO, S. A Platform of Unmanned Surface Vehicle Swarms for Real Time Monitoring in Aquaculture Environments. **Sensors 2019**, v. 19, p. 4695, 2019.

SUN, M.; YANG, X.; XIE, Y. Deep learning in aquaculture: A review. **J. Comput**, v. 31, p. 294–319, 2020.

VALENTI, W. C.; BARROS, H. P.; VALENTI, P. M.; BUENO, G. W.; CAVALLI, R. O. Aquaculture in Brazil: past, present and future. **Aquaculture Reports**, v 19, p. 100611, 2021.

VALENTI, W. C.; KIMPARA, J. M.; PRETO, B. L.; VALENTI, P. Indicators of sustainability to assess aquaculture systems. **Ecol. Indic.**, v. 88, p. 402-413, 2018.

VIVALDINI K. C.; MARTINELLI T. H.; GUIZILINI V. C. UAV route planning for active disease classification. **Auton Robot**. v. 43, p. 1137–1153, 2019.

WILKINSON, John; RAMA DELLEPIANE, Ruth. Estudo de sistema produtivo agroindústria. 2018.

YANG T. H. *et al.* Development of unmanned surface vehicle for water quality monitoring and measurement. **2018 IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI)**, p. 566-569, 2018.

ZACCHARIAS, R. L.; DA ROCHA, R. V. Automação dos processos de produção e controle para aumento de produtividade e redução de desperdícios na piscicultura. **RECoDAF – Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, Tupã, v. 2, n. 2, p. 52-67, jul./dez. 2016. ISSN: 2448-0452

ZHAO, J. *et al.* Modified motion influence map and recurrent neural network-based monitoring of the local unusual behaviors for fish school in intensive aquaculture. **Aquaculture**, v. 493, n. 1, 2018.

ZHANG, Y.; HUA, J.; WANG, Y. B. Application effect of aquaculture IOT system. In Applied Mechanics and Materials. **Trans Tech Publications**, v. 303, p. 1395-1401, 2013.