



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA

RILDISSON DORIS OLIVEIRA DE BRITO JUNIOR

**AUTOMAÇÃO NO MONITORAMENTO E CONTROLE DO OXIGÊNIO
DISSOLVIDO NA ÁGUA DE UM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO PARA CULTIVO
DE TILÁPIA DO NILO**

FORTALEZA

2023

RILDISSON DORIS OLIVEIRA DE BRITO JUNIOR

AUTOMAÇÃO NO MONITORAMENTO E CONTROLE DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO
NA ÁGUA DE UM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO PARA CULTIVO DE TILÁPIA DO
NILO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Pesca, do Departamento de Engenharia de Pesca, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Federal do Ceará

Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

J1a

Junior, Rildisson Doris Oliveira de Brito.

Automação no monitoramento e controle do oxigênio dissolvido na água de um sistema de recirculação para cultivo de tilápia do nilo / Rildisson Doris Oliveira de Brito Junior. – 2023. 40 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto.

1. Aquicultura. 2. Arduíno. 3. Bolhas ultrafinas. 4. Temperatura. I. Título.

CDD 639.2

RILDISSON DORIS OLIVEIRA DE BRITO JUNIOR

AUTOMAÇÃO NO MONITORAMENTO E CONTROLE DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO
NA ÁGUA DE UM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO PARA CULTIVO DE TILÁPIA DO
NILO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Pesca, do Departamento de Engenharia de Pesca, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Pesca.

Aprovada em: 04/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Daniele Ferreira Marques

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Alberto Jorge Pinto Nunes

Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

À Deus, que nunca me desamparou no decorrer de toda minha jornada, não apenas na graduação, mas na vida.

À minha família, que ao longo de 23 anos me educou, amou e incentivou a alcançar meus objetivos, sem nunca ter me deixado à mão, agradeço a meu pai Rildisson, minha mãe Rosileide e meus irmãos Miguel, Jonas e Ana.

Ao meu orientador Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto, que desde o começo topou em seguir com a ideia de fazer algo totalmente novo para o curso me estendendo a mão, ensinando, ouvindo, colocando a mão na massa e também ajudando a abrir um novo caminho de oportunidades para quem deseja inovar dentro da Engenharia de Pesca.

À Engenheira de Pesca Dra. Daniele Ferreira Marques, que no decorrer de todo o processo desse TCC foi uma mão amiga que orientou, apoiou e ajudou e incentivou em cada etapa.

Ao Prof. Dr. Alberto Jorge Pinto Nunes por sua participação na banca de avaliação e sugestões que foram de grande ajuda.

Aos amigos da Estação de Aquicultura Prof. Dr. Raimundo Saraiva da Costa, que contribuíram no acompanhamento do experimento, valendo menção a eles: Caio Vinicius, Lucas Batalha, Dyjhorg Lucas, Heloísa Campelo, Paulo Henrique, Francisco Eugênio e Jonnathan Wenderson. Obrigado pelo apoio e pelos momentos de risadas.

Ao Programa de Educação Tutorial, que no decorrer da graduação contribuiu em muito para o meu desenvolvimento e formação profissional. Em especial aos amigos Ana Caroline, Egídia Andrade e Rodrigo Gomes.

Ao meu GC Naôs, que em muitas vezes foi meu apoio e me acompanhou em toda essa jornada. Com grande menção ao Rodrigo Xavier, meu líder e amigo.

RESUMO

O avanço no desenvolvimento de novas tecnologias tem transformado a realidade do setor aquícola. A exemplo disso tem-se sistemas modernos autônomos que realizam atividades repetitivas e auxiliam na manutenção de um ambiente produtivo mais estável. Dentre estes sistemas temos alimentação automatizada e monitoramento e controle de parâmetros de qualidade de água, como temperatura, pH e oxigênio dissolvido, sendo este último considerado o de maior importância. Esse trabalho teve como objetivo instalar um sistema de automação no monitoramento e controle do oxigênio dissolvido na água de um sistema de recirculação para ativar e desativar o sistema de oxigenação economizando o consumo de energia elétrica. A pesquisa foi desenvolvida na Estação de Aquicultura da Universidade Federal do Ceará. O sistema de recirculação contou com seis tanques circulares com volume de 250 L e um sistema de tratamento da água contendo um decantador primário, decantador secundário, filtragem mecânica, reator biológico e equalizador. Acoplado ao equalizador foi instalado um sistema de oxigenação composto por um gerador de bolhas ultrafinas e um concentrador de oxigênio. Cada tanque foi estocado com 1.150 g de tilápia do Nilo com peso médio aproximado de 130 g. O sistema de automação foi constituído por um microcontrolador Arduino, um sensor de oxigênio, uma placa inversora de sinal, um *display* OLED e um relé que realizava o acionamento e o desligamento do concentrador de oxigênio do sistema de oxigenação. As tilápias do Nilo apresentaram desempenho zootécnico dentro do esperado para a espécie com a sobrevivência de $100 \pm 0,0 \%$, e um crescimento de $19,7 \pm 0,5$ cm, com ganho de biomassa médio aproximado de 118,3 g para cada um dos seis tanques. Os parâmetros de qualidade de água apresentaram-se dentro da faixa de conforto para os espécimes, com a amônia total em $2,2 \pm 0,5$ mg/L, a amônia não ionizada em $0,01 \pm 0,0$ mg/L e o pH em $6,9 \pm 0,1$. Os valores da concentração de oxigênio dissolvido (OD) mantiveram-se dentro dos limites estabelecidos na programação ($4,0$ mg/L < OD < $8,5$ mg/L) durante todo o período experimental. Com base nos resultados encontrados, foi possível aferir que o equipamento garantiu um fornecimento de oxigênio dissolvido para as tilápias estocadas no sistema sem qualquer necessidade de interferência humana.

Palavras-chave: Aquicultura; Arduíno; Bolhas ultrafinas; Temperatura.

ABSTRACT

Advances in the development of new technologies have transformed the reality of the aquaculture sector. Nowadays, there are modern autonomous systems that perform repetitive activities and help maintain a stable production environment. Among these systems there are automated feeding and monitoring and control of water quality parameters, such as temperature, pH and dissolved oxygen, considered the most important. This work aimed to install an automation system to monitor and control dissolved oxygen in the water of a recirculation system to turn on and turn off the oxygenation system, saving electricity consumption. The research was carried out at the Estação de Aquicultura of the Federal University of Ceará. The recirculation system included 6 circular tanks with a volume of 250 L and a water treatment system containing a primary clarifier, secondary clarifier, mechanical filtration, biological reactor and equalizer. Coupled to the equalizer, an oxygenation system was installed comprising an ultrafine bubble generator and an oxygen concentrator. Each tank was stocked with approximately 1,150 g of Nile tilapia weighing approximately 130 g. The automation system consisted of an Arduino microcontroller, an oxygen sensor, a signal inverter board, an OLED display and a relay that activated and turned off the oxygen concentrator of the oxygenation system. Nile tilapia presented zootechnical performance as expected for the species, with survival of $100 \pm 0,0\%$, and growth of $19,7 \pm 0,5$ cm, with an average biomass gain of approximately 118.3 g for each of the six tanks. The water quality parameters were within the comfort range for the specimens, with total ammonia at $2,2 \pm 0,5$ mg/L, non-ionized ammonia at $0,01 \pm 0,0$ mg/L and pH at $6,9 \pm 0,1$. Dissolved oxygen concentration (DO) values remained within the limits established in the programming ($4,0$ mg/L < DO < $8,5$ mg/L) throughout the experimental period. Based on the results found, it was possible to see that the equipment guaranteed the supply of oxygen to the tilapia stored in the system without any need for human interference.

Keywords: Aquaculture; Arduino; Ultrafine bubble; Temperature.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de recirculação para produção de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) utilizado para avaliar a automação do controle de OD.	20
Figura 2 – Sistema de tratamento da água do sistema de recirculação destinado a avaliar a automação do controle de OD. 1ª Câmara: decantador primário; 2ª Câmara: decantador secundário; 3ª Câmara: filtro mecânico; 4ª Câmara: reator biológico; e 5ª Câmara: equalizador.	21
Figura 3 - Gerador de bolhas ultrafinas que recebe oxigênio do concentrador	22
Figura 4 - Concentrador de oxigênio para iniciar a geração de bolhas ultrafinas	22
Figura 5- Divisões estruturais para entendimento dos componente do Arduíno.....	23
Figura 6 - Esquema elétrico para a ligação entre o Arduíno	24
Figura 7 - Ampliação das ligações para colocação do display OLED e do relé no Arduíno com o SEN0237-A	25
Figura 8 - Tanque circular de 150 L com bomba aeradora para realização do pré-teste do equipamento	26
Figura 9 - Tilápias estocadas no Tanque 1 para o experimento	27
Figura 10 - Cano perfurado para proteção do sensor SEN0237-A.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Preços correspondetes a cada componente comprado para a montagem do equipamento de monitoramento e controle do oxigênio dissolvido na água	30
Tabela 2 - Valores médios \pm desvio padrão de peso, comprimento, densidade de estocagem, biomassa, ganho de biomassa, taxa de crescimento específico (TCE), sobrevivência, número de peixes por tanque (250 L) e fator de conversão alimentar (FCA) da tilápia de Nilo estocadas no sistema experimental de recirculação	32
Tabela 3 - Valores médios \pm desvio padrão dos parâmetros da água analisados.	32
Tabela 4 - Registro de ativação e tempo de funcionamento do gerador de bolhas ultrafinas. .	33
Tabela 5 - Média de OD \pm desvio padrão (mg/L) para os 6 tanques e para o sistema de filtragem (SF).....	34
Tabela 6 - Registro dos valores de temperatura e comparação dos valores de OD do AK-87 e do SEN0237-A sob a influência de variação desse parâmetro.....	34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variação das leituras médias de OD(\pm desvio padrão) no tanque T1 de 08h00min até 17h00min de acordo com os registros do SEN0237-A	32
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	Aquicultura	14
2.2	Sistema de recirculação de água (SRA)	14
2.3	Importância do oxigênio na produção de organismos aquáticos	15
2.4	A automação na aquicultura	17
3	MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1	Sistema de recirculação de água com gerador de bolhas ultrafinas	20
3.2	Arduíno	23
3.3	Equipamento de monitoramento e controle do oxigênio	23
3.4	Período de montagem e ajustes do equipamento	25
3.5	Período de pré-testagem do equipamento	25
3.6	Validação do sistema de monitoramento e controle do OD no sistema de recirculação de água	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5	CONCLUSÃO	36
	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a FAO (*Food and Agriculture Organization*) a aquicultura é definida como o cultivo de organismos aquáticos que podem ser peixes, crustáceos, moluscos ou plantas realizado tanto em água doce quanto em água salgada, contanto que seja em ambiente controlado. Dentro da aquicultura há várias ramificações de produção, dentre as quais a piscicultura, que é o ramo voltado para a produção de peixes (CARVALHO, 2009). Nos últimos anos, novas técnicas de cultivo de peixes têm ganhado espaço, como por exemplo, o sistema de recirculação de água (SRA) ou *Recirculating Aquaculture System* (RAS). Este tipo de sistema se caracteriza pela água de saída dos tanques fluir para um sistema de remoção de sólidos que posteriormente levará a um reator biológico, e então segue para outros sistemas de tratamento a depender de outros fatores (BREGNBALLE, 2015). Pode haver uma integração entre o sistema de recirculação da água e o cultivo de hortaliças que caracteriza uma outra técnica, a aquaponia. Esta consiste no reaproveitamento direto de dejetos dos peixes ao recircular os nutrientes da água de cultivo dos animais para os vegetais (MATEUS-RODRIGUEZ, 2009).

Carneiro *et al.* (2015) descrevem que na aquicultura parâmetros físicos e químicos como o pH, temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e amônia devem ser controlados visando a qualidade da água para garantir o desenvolvimento ideal e o equilíbrio dos componentes do cultivo. O oxigênio dissolvido (OD) é um dos parâmetros mais importantes pois influencia diretamente na saúde, crescimento e sobrevivência dos peixes (CUNHA, 2019). Para manter uma concentração adequada de OD na água, tem-se como um dos recursos, a aeração, que pode ser realizada com o uso de diferentes sistemas de aeração. Dentre as principais formas de oxigenar a água nos cultivos tem-se os aeradores de pás, aeradores do tipo chafariz e o compressor radial (SOUZA *et al.*, 2021).

Entretanto, os sistemas convencionais de aeração não atendem de forma satisfatória a necessidade de OD dos sistemas superintensivos de criação de organismos aquáticos. Dentre os métodos de oxigenação mais modernos podemos citar os cones de saturação de gases e os geradores de bolhas ultrafinas. O gerador de bolhas ultrafinas funciona por meio da incorporação direta do oxigênio na água. Para isso, utiliza-se um concentrador de oxigênio, uma caixa incorporadora de oxigênio e o gerador multiestágio de bolhas ultrafinas que compõem múltiplas fases do sistema para dissolver o oxigênio na água (ALMEIDA *et al.*, 2021).

Conforme as décadas avançam a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias tem transformado a realidade do setor aquícola. A exemplo disso temos sistemas modernos de alimentação automatizada para peixes que dispensam a interferência direta do

homem no serviço, devendo este apenas supervisionar o equipamento. Além disso, sistemas de monitoramento, alerta e controle permitem aos produtores realizar a leitura e o registo de parâmetros da água de seus cultivos remotamente, por exemplo, temperatura, OD, pH, turbidez entre outros. Para isso se faz uso de múltiplos sensores, inteligência artificial e equipamentos específicos para que o produtor possa ter seu trabalho facilitado pela tecnologia (LARANJEIRA, 2014). Dentro dessa realidade tecnológica em constante evolução, existe a automação. De acordo com Silveira Junior *et al.* (2015) a automação pode ser definida como sendo a união de ferramentas precisas para que uma determinada atividade possa ser realizada cumprindo seu designado objetivo permitindo seu controle de modo que há pouca ou nenhuma intervenção humana enquanto acontece o processo.

Com os vários avanços tecnológicos nos setores eletrônicos e digitais de dispositivos computacionais, um que é bastante relevante é o setor de circuitos eletrônicos, os mesmos circuitos que compõem microprocessadores e microcontroladores. Capella (2010) descreve que com este setor de circuitos eletrônicos foi aberta uma nova linha de pesquisa que possibilita a criação de soluções eletrônicas com baixo custo comercial, pouco gasto de energia e com capacidade para transportar dados.

Dentre os vários avanços tecnológicos que o setor digital realizou nos últimos anos, um em específico se faz presente neste trabalho, que é o microcontrolador. Este consiste basicamente um sistema eletrônico programável na linguagem C++ de *software* aberto, capaz de transportar dados para sensores e controladores com baixo custo de energia permitindo um monitoramento ou controle do sistema montado (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Esse trabalho teve como objetivo instalar um sistema de automação no monitoramento e controle do OD na água de um sistema de recirculação de cultivo de tilápia para ativar e desativar o sistema de oxigenação economizando no consumo de energia elétrica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aquicultura

Gomes *et al.* (2012) descrevem que com o aumento da demanda por recursos naturais de origem aquática em decorrência do crescimento populacional no mundo, foi notória a diminuição desses recursos, o que em contra partida provocou o desenvolvimento de tecnologias e o aumento das produções de organismos aquáticos em cativeiro para suprir a demanda de mercado. Os autores ainda afirmaram que é a aquicultura que vem garantindo o aumento na oferta de pescado nas últimas décadas. Valenti *et al.* (2010) relatam que a pesca extrativista por muitos anos explorou os estoques pesqueiros sem qualquer controle industrial ou político, buscando o lucro máximo possível. Entretanto, é de conhecimento comum a necessidade de sistemas produtivos que levem em consideração a sustentabilidade econômica, ambiental e social. A ausência de um desses três componentes no cultivo de organismos aquáticos pode resultar no colapso produtivo, tal qual a pesca. Atualmente a aquicultura já é regulamentada com bases documentais direcionadas ao desenvolvimento sustentável, protegendo o ecossistema no local de sua instalação (SILVA *et al.*, 2018).

O Brasil possui uma grande capacidade para a produção aquícola, levando-se em consideração, o fato do país conter a maior quantidade de água doce do planeta, que corresponde a uma reserva hídrica de mais de 8 mil km³ de água doce (VALENTI *et al.*, 2021). Outro fator primordial em qualquer cultivo de organismos aquáticos é o clima, fator esse que no Brasil contribuiu para a rápida adaptação da produção de espécies muito demandadas pelo mercado, como a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Tamanho tem sido o progresso da piscicultura brasileira que em 2022 a produção de peixes em cativeiro alcançou 841 mil ton., representando um crescimento de 4,7% (PEIXE BR, 2022).

2.2 Sistema de recirculação de água (SRA)

O sistema de recirculação de água (SRA) atualmente possui vários modelos, mas todos seguem o mesmo princípio de funcionamento, de modo que da tubulação de saída dos tanques a água passa diretamente para a remoção de sólidos por decantação de modo que há a sedimentação da matéria orgânica e então a filtração mecânica separando a matéria sólida

flutuante da água por meio de escovas, telas, areia ou outras estruturas. Em seguida, a água passa pelo tratamento no reator biológico para a remoção de poluentes, para então chegar a uma aeração contínua para promover incorporação de OD e remoção de compostos novos aos organismos aquáticos cultivados, como dióxido de carbono, por meio de aeradores ou oxigenadores. Por fim, a água retorna às unidades de produção. De acordo com o capital e a demanda do produtor, outras estruturas adjacentes podem ser implementadas no sistema de recirculação, tais como lâmpadas ultra violetas, injetores de oxigênio puro, fracionadores de espuma, entre outros (BREGNBALLE *et al.*, 2015).

O SRA tem por grande vantagem possibilitar a produção de organismos aquáticos em praticamente qualquer local. Por demandar menor quantidade de água, pode ser instalado em locais onde há déficit hídrico, além de permitir um descarte de efluentes mais controlados. No trabalho de Kubitza (2006), é descrito uma outra vantagem do SRA, que é realizar a produção aquícola de forma simples e direta em um sistema que tem a mínima renovação de água possível de acordo com a demanda. Deste modo, a água inserida no sistema deve ser apenas para repor as perdas que ocorrem devido a evaporação e lavagem dos filtros. Desde a década de 1980, já haviam estudos que se direcionavam ao uso do sistema de recirculação e que acabaram por se desenvolver em países como Japão, Estados Unidos e Israel. De acordo com Soares *et al.* (2015), os sistemas de recirculação, podem representar em 2030, até 40% de toda produção aquícola mundial. Hundley *et al.* (2013) corroboram esta previsão e enfatizam a necessidade de se produzir alimentos com perda mínima de água, o que torna esses sistemas uma opção viável para alcançar tal objetivo.

2.3 Importância do oxigênio na produção de organismos aquáticos

A qualidade da água em uma produção comercial é um fator primordial que determina o sucesso ou não da aquicultura, com efeitos determinantes para a saúde adequada e condições esperadas de crescimento dos indivíduos. Dentre os parâmetros mais importantes da qualidade da água, o OD é considerado crítico, devendo ser monitorado e controlado diariamente pelo produtor (TIMMONS *et al.* 2001). O oxigênio encontra-se dissolvido na água de duas formas: por difusão a partir do oxigênio atmosférico que é misturado na água por aeração e por meio da flora aquática (algas, principalmente) que liberam o O₂ em decorrência da fotossíntese.

Timmons e Ebeling (2010) relatam que apesar da atmosfera conter cerca de 20% de oxigênio, a fração de OD na água é muito pequena quando comparada a atmosfera. A difusão

do oxigênio da atmosfera para água aumenta quando ocorrem turbulências. Quando se trata da movimentação do oxigênio na água, a sua retirada do meio deve-se, além da respiração dos organismos, por reações inorgânicas químicas e pela decomposição da matéria orgânica por microrganismos.

Atualmente existe uma grande diversidade de tecnologias para incorporar o OD na água em sistemas de cultivo. Dentre os equipamentos mais utilizados tem-se os aeradores de pás, aeradores do tipo chafariz e o compressor radial que incorporam o oxigênio atmosférico na água. Existem também geradores de bolhas ultrafinas que produzem bolhas de tamanho nanométrico com alta estabilidade (GNANAMANI *et al.*, 2018; SOUZA *et al.*, 2021). Além disso, outros equipamentos tem notória eficiência em seu uso como os sopradores que geram grandes volumes de ar e de baixa pressão levando diretamente o ar para difusores no fundo do tanque que distribuem o oxigênio na água por meio de pedras porosas ou mangueiras perfuradas. Outro equipamento é o modelo de bomba centrífuga que promove a recirculação da água enquanto realiza a aspiração do ar do ambiente por meio de tubos e o injeta diretamente na água enquanto há a circulação (BOYD, 1998; KRUMMENAUER *et al.* 2016).

A presença do OD também está diretamente ligada a outros parâmetros da água como o pH, pressão atmosférica, temperatura, salinidade, presença de algas e fitoplâncton e a quantidade de matéria orgânica. Entretanto, o consumo de O₂ na água varia de acordo com as condições do cultivo e de acordo com os fatores da biologia do organismo produzido, como tamanho, idade, peso corporal, consumo energético, alimentação e a densidade populacional adotada no espaço de criação (MORALES, 1983).

Dentre os parâmetros físicos que impactam a solubilidade do OD na água, o mais importante é a temperatura. Há muitos anos vários estudos determinaram a relação direta entre esses dois fatores. Powers *et al.* (1978) relataram que conforme a temperatura aumenta na água, a disponibilidade de oxigênio tende a diminuir devido à queda da solubilidade de OD conforme há o aumento da agitação das moléculas. De forma direta, em temperaturas mais elevadas, os organismos aquáticos demandam mais OD para sobreviver. Este por sua vez, se torna menos disponível.

Quando há baixas concentrações de OD na água, a consequência sobre o animal é a diminuição na taxa de crescimento e a maior susceptibilidade a doenças. A busca por alimento e a assimilação de nutrientes do organismo está ligada de forma direta a disponibilidade de OD no meio que é direcionada para o metabolismo (TOM, 1998). Alguns estudos evidenciam os efeitos prejudiciais da manutenção de baixos níveis de OD na água, pois há um efeito notório

na taxa de crescimento do peixe, do aumento de estresse do animal, redução na atividade natatória e queda no sistema imunológico. A baixa disponibilidade de OD leva a uma redução na atividade metabólica do animal, reduzindo sua sobrevivência, já que este respira com um déficit na concentração de OD (MORALES, 1983; STICKNEY, 2000). Entre outras ocorrências, a baixa disponibilidade de OD afeta também diretamente a osmoregulação dos animais e o comportamento natural, uma vez que os peixes tendem a se concentrar na superfície da água ou próximo dos aeradores na tentativa de respirar e podem até mesmo pular para fora do tanque (ARAÚJO, 2014).

2.4 A automação na aquicultura

De acordo com Sarquis (2011), o constante avanço nas inovações tecnológicas aumenta a demanda por eficiência na escala de produção, pois ocorre aumento na competitividade na medida em que há facilidade de se comercializar um produto. Quando se trata do comércio internacional, a vantagem pertencerá àqueles produtores que conseguem de forma otimizada diminuir os custos de produção na medida em que há o aumento na qualidade do produto comercializado.

Segundo Ji *et al.* (2015), para atender a demanda dos produtores, uma possibilidade de baixar os custos de produção e elevar a qualidade do produto é por meio de um conceito recente da tecnologia, surgido a partir de 2010, chamado de Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*). O *IoT* é ligado as plataformas emergentes que são um conglomerado de ferramentas tecnológicas. Ganhando cada vez mais notoriedade com o passar dos anos, o *IoT* se deriva da tecnologia da informação, pois essa nova área da tecnologia assegura a capacidade de conexão e interação entre diversos dispositivos diferentes, além de garantir um alto grau de operação dos sistemas demandados pelos usuários. A aplicabilidade do *IoT* é tão alta que o mesmo é capaz de alinhar uma rede de dispositivos conectados à Internet, geralmente *wireless*, e receber serviços de rede por meio desses dispositivos. Atualmente já existem exemplos práticos dessa tecnologia emergente no mercado internacional como o *smartwatch* e o *Google glass*, que armazenam e repassam informações do usuário para um endereço virtual determinado.

A automação exige uma mão de obra capacitada, pois a ampla aplicação desse recurso em operações, máquinas e construções permite a valorização do trabalho humano de forma que o mesmo busque reduzir o esforço em outra tarefa, reduzindo também atividades repetitivas e estressantes.

O *IoT*, por outro lado, é um recurso mais imersivo, não sendo simplesmente aplicado em uma automação simples, esses dois elementos funcionam em conjunto quando aliados. Primariamente a automação busca reduzir ao máximo possível o esforço físico do ser humano em uma determinada atividade, fazendo com que a tecnologia trabalhe em seu favor executando por ele o esforço. Entretanto a automação se limita, até certo ponto, a utilizar um controle remoto, por exemplo, e nesse ponto o *IoT* entra como uma ferramenta mais avançada buscando exigir menos ainda a interação direta do homem utilizando a internet para a comunicação direta apenas entre as máquinas (DOS SANTOS *et al.*, 2019).

Um modelo de comunicação interativa entre máquinas acontece quando há uso de um microcontrolador para analisar a concentração de OD na água de acordo com limites predefinidos pela programação, de modo que as informações obtidas pelo controlador se tornam instruções para o acionamento do aerador caso os valores de leitura estejam abaixo do que foi definido anteriormente. Porém se o inverso ocorrer e o controlador analisar que a concentração de OD está acima do que foi estabelecido como ideal, o aerador é desligado (QIUWEI, 2015).

Lee (2000) descreve que atualmente as dificuldades para que a automação se estabeleça em alguns setores são: a falta de mão de obra qualificada e o custo para obter essa mão de obra qualificada. As plataformas embarcadas do *IoT* possuem uma porta de comunicação constituídas de vários componentes que são programados por um *software* que atua como um intermediário entre a plataforma, os sensores, o computador, o usuário e a internet. Dentre várias vantagens, a porta de comunicação realiza a proteção das variáveis mais complexas para instalação e realização das rotinas de operação, o que simplifica a utilização dessa tecnologia nas mais variadas aplicações. Uma outra vantagem é a versatilidade, que significa evitar gastos extras com recursos desnecessários. O *hardware* também possui sua versatilidade permitindo que transmissores, sensores e atuadores, possam ser colocados, utilizados, removidos ou trocados com grande versatilidade. O autor ainda pontua que o *design* modular agrega ainda outra vantagem, pois se projetado, implementado e bem sucedido, um sistema de monitoramento e controle para tanques de aquicultura pode ser diretamente replicado para implementação nos outros tanques do sistema.

De acordo Benavent (2018), para o monitoramento dos organismos aquáticos em cativeiro é necessária uma habilidade de alta delicadeza para evitar ao máximo o estresse dos animais e ocasionar a mínima interferência no meio. Contudo, quando é necessário realizar amostragem para o monitoramento, as metodologias são no geral, caras e demoradas. Nesse aspecto, a presença de sensores e atuadores coordenados por uma máquina se provam como uma metodologia mais adequada para um trabalho de menor custo, mais rápido e de menor

interferência no meio. Segundo Jiang (2018), a implementação de sistemas inteligentes para realizar o controle e monitoramento das variáveis físico-químicas da água na aquicultura, como a quantidade de OD, pH e temperatura, é um pilar de contribuição direto para elevar a produção do sistema e diminuir os custos que as variações inadequadas desses parâmetros podem causar. Entretanto, é necessário avaliar que quanto mais tecnologia for desenvolvida e aplicada na área, menores serão os custos para automatizar tarefas de forma eficiente (CHU *et al.*, 2018).

Simbeye (2014), em seu trabalho relata alguns setores da aquicultura que podem ser automatizados, dentre eles a parte da alimentação, o acionamento e o desligamento do abastecimento, aeração e o monitoramento e controle dos parâmetros físico-químicos como temperatura e OD. Massimo, Banzi e David Cuartielles, criadores do Arduíno, projetaram e produziram esse componente com o objetivo de tornar mais fácil e acessível para que estudantes de diversas áreas conseguissem manusear e trabalhar com uma tecnologia de baixo custo e simples utilização, permitindo ao estudante criar e desenvolver projetos independentes conforme sua própria vontade (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

Tamanha é a eficiência do Arduino, que esse microcontrolador permite a montagem de sistemas automatizados capazes de reagirem a mudanças programadas, de modo, que são utilizados sensores e/ou atuadores que respondem a programação definida realizando uma comunicação entre o próprio dispositivo, o Arduíno e o ambiente com troca de informações constantes. Dessa forma, no mercado podem ser encontrados inúmeros modelos, não apenas de Arduínos, mas de outros microcontroladores que atendem a demanda de seu usuário, bem como variados tipos de sensores com capacidade de monitorar a temperatura do ar ou da água, umidade relativa do ar, quantidade de oxigênio atmosférico ou dissolvido em água, detecção de gases, sensores ultrassônicos, entre outros (CUNHA; ROCHA, 2015).

Pule (2017), relata que os sensores que podem ser utilizados na aquicultura podem ser de tecnologia *wireless* (tecnologias sem fio), que nos últimos anos têm ganhado imensa notoriedade em pesquisas. Estes sensores permitem monitoramento de forma remota e controle sobre sistemas de forma segura, com a menor interferência humana possível, menores custos e maior agilidade nas tarefas. Segundo Gupta e Kotha (2017), o *IoT* é bem aplicado no setor do agronegócio e pode ser mais bem direcionado para a aquicultura. Quando a *Internet* das Coisas é aplicada na aquicultura desenvolvendo automações e sistemas inteligentes o produtor tem muito mais facilidade de monitorar seus cultivos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Sistema de recirculação de água com gerador de bolhas ultrafinas

O local de realização do presente estudo foi a Estação de Aquicultura Prof. Dr. Raimundo Saraiva da Costa, do Departamento de Engenharia de Pesca, do Centro de Ciências Agrárias, do *Campus* do Pici, da Universidade Federal do Ceará. O sistema de recirculação no qual foi implantado o sensor de monitoramento e controle do OD foi constituído por seis tanques circulares de 250 L e sistema de tratamento de água (FIGURA 1).

Figura 1 - Sistema de recirculação para produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) utilizado para avaliar a automação do controle de OD.

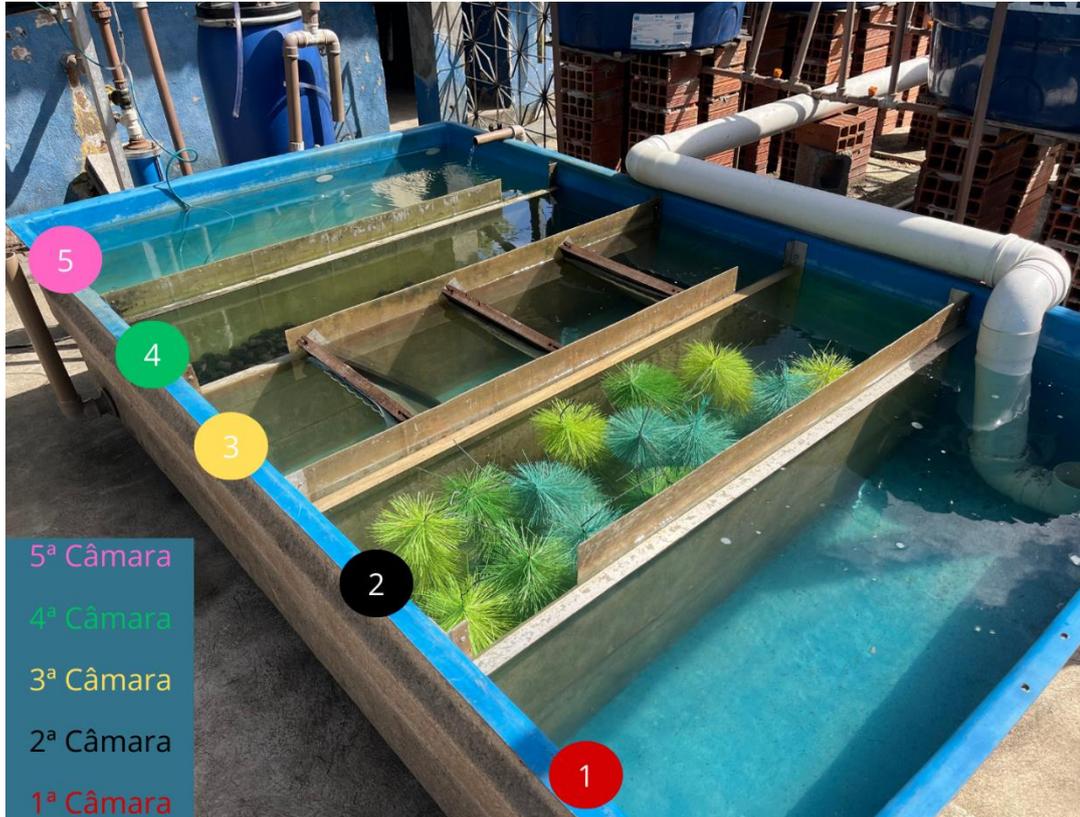


Fonte: Autor, 2023.

O sistema de tratamento de água, com volume total de 2.000 L, foi dividido em cinco câmaras de 400 L cada (FIGURA 2). A primeira câmara foi constituída pelo decantador primário onde ocorria a sedimentação da matéria orgânica de maior granulometria. Na segunda câmara encontrava-se o decantador secundário com escovas filtrantes. Na terceira câmara foram instaladas as telas para filtragem mecânica. A quarta câmara funcionou como reator biológico

preenchido por mídias biológicas. A quinta câmara foi equalizador.

Figura 2 – Sistema de tratamento da água do sistema de recirculação destinado a avaliar a automação do controle de OD. 1ª Câmara: decantador primário; 2ª Câmara: decantador secundário; 3ª Câmara: filtro mecânico; 4ª Câmara: reator biológico; e 5ª Câmara: equalizador.



Fonte: Autor, 2023.

Acoplado ao equalizador do sistema de tratamento de água do sistema de recirculação havia um gerador de bolhas ultrafinas (FIGURA 3) conectado a um concentrador de oxigênio com vazão de 0,3 L/min (FIGURA 4).

Figura 3 - Gerador de bolhas ultrafinas que recebe oxigênio do concentrador



Fonte: Autor, 2023.

Figura 4 - Concentrador de oxigênio para iniciar a geração de bolhas ultrafinas



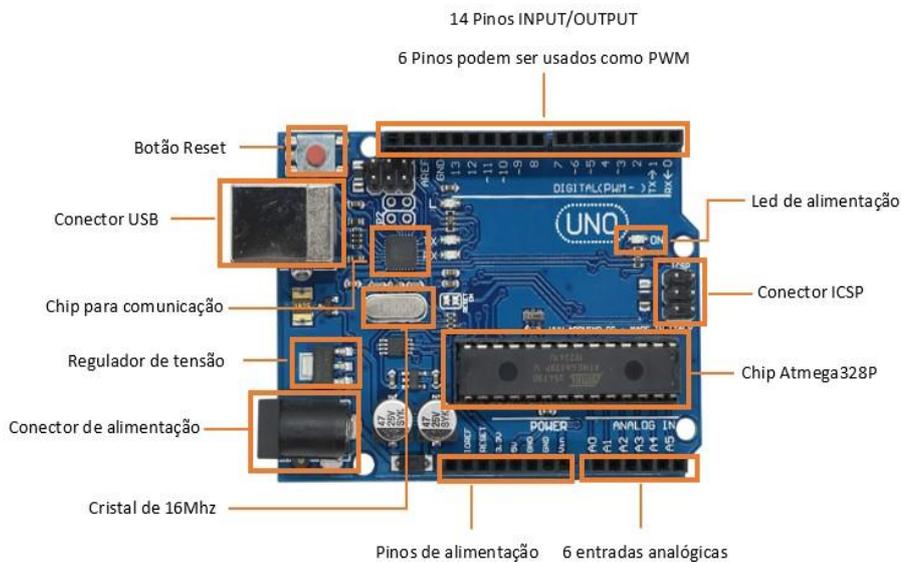
Fonte: Autor, 2023.

3.2 Arduíno

Para realizar a interação entre o Arduíno e os demais componentes utilizados no equipamento, o microcontrolador foi programado em sua própria ferramenta de desenvolvimento do Arduíno (IDE) que por ser um software livre para usuários e totalmente baseada nas linguagens de programação C, C++ e Java, facilitou o desenvolvimento de um *script* com mais comandos em menos linhas. A IDE possibilitou desenvolver instruções em blocos de códigos (*Void Setup* e *Void loop*) que determinam qual tarefa o Arduíno deveria executar. Para isso, foi feita a conexão direta entre o Arduíno e o computador pela porta USB.

A Figura 5 mostra as divisões estruturais do Arduíno, que por sua vez é dividida em seis partes práticas: os pinos de entrada e saída digitais, os pinos de entrada e saída analógicas, o *plug* para cabo USB com conversor serial/USB, encaixe para fonte de alimentação externa com entrada de 7 a 12 V, pinos de alimentação e CPU (MCROBERTS, 2011).

Figura 5- Divisões estruturais para entendimento dos componente do Arduíno



Fonte: Google imagens, 2023.

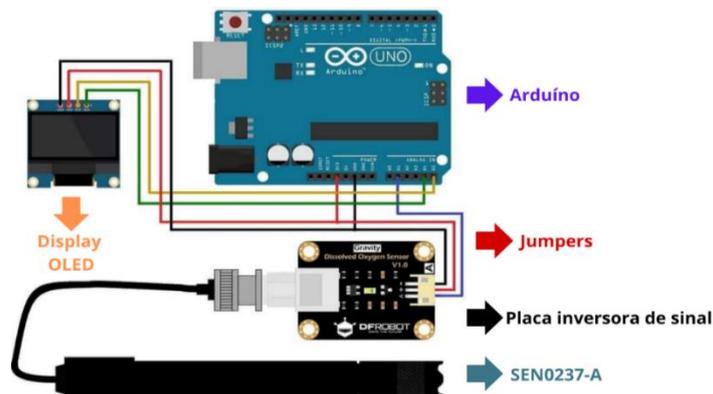
3.3 Equipamento de monitoramento e controle do oxigênio

Cada componente necessário para a montagem do equipamento apresentou uma faixa de preço. Portanto os componentes foram comprados por meio do site de vendas *online* AliExpress que apresentou preços mais acessíveis comparado a outras plataformas. O sensor

de OD (SEN0237-A), fabricado pela empresa DFROBOT, com um cabo de 2 m de comprimento. Este equipamento permite leituras de OD entre 0 e 20 mg/L com precisão de aproximadamente 0,05 mg/L e saturação em porcentagem que pode ser visualizado pela porta serial pela IDE do Arduino. O sensor em questão não realiza compensação de temperatura, apenas de pressão e salinidade. A sonda galvânica na ponta do sensor não demanda tempo de polarização, portanto, o mesmo não precisa ser calibrado antes de cada acionamento. Além disso, o sensor possui uma solução de preenchimento e uma membrana, ambos substituíveis e de baixo custo. Para ser alimentado, o sensor demanda uma faixa de entrada de energia entre 3,3 e 5,5 V e uma saída 0 a 3,0 V que é compatível com diversos microcontroladores incluindo o Arduino. Este equipamento também possui uma interface de gravidade, *plug and play*, e dentro do *kit* comercializado pela empresa, é colocado em conjunto uma placa conversora de sinal de 42 mm x 32 mm que funciona em uma tensão operacional de 3,3 a 5,5 V e saída de 0 a 3,0 V. As informações são captadas e transmitidas pelo sensor, convertidas e repassadas para o Arduino fazendo uma troca de informações entre o sensor e o microcontrolador (DFROBOT, 2023).

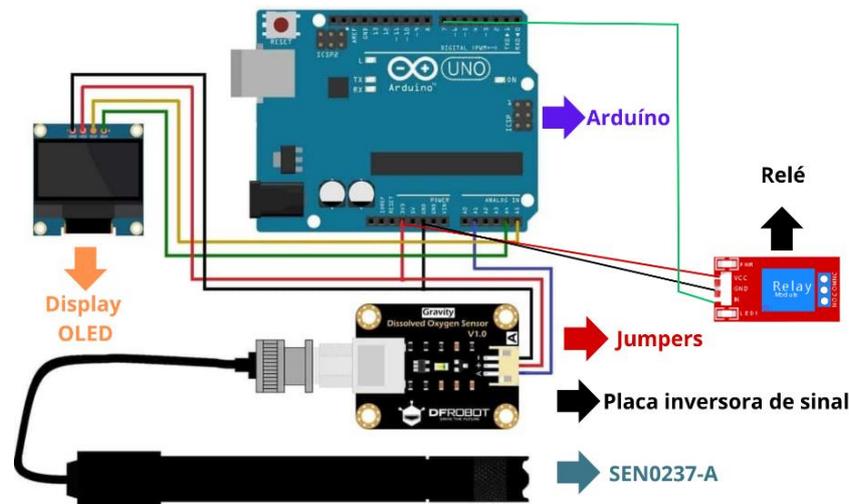
O equipamento de monitoramento e controle do OD foi constituído por um Arduino que realizou o controle de toda a operação, *jumpers* que energizavam os demais componentes por meio do Arduino e que repassavam as informações dos componentes para o Arduino, um sensor de OD (SEN0237-A), realizou as leituras do oxigênio, e um módulo conversor de sinal que converteu os dados do sensor para o Arduino, um *display* OLED 0,96 polegadas para visualização dos dados obtidos (FIGURA 6). Para que o Arduino tivesse o controle de ligar e desligar o concentrador de oxigênio, foi instalado um relé com adaptador de 12 V para 110 - 220 V (FIGURA 7).

Figura 6 - Esquema elétrico para a ligação entre o Arduino e o sensor SEN0237-A



Fonte: DFROBOT, 2023.

Figura 7 - Ampliação das ligações para colocação do display OLED e do relé no Arduino com o SEN0237-A



Fonte: Autor, 2023.

3.4 Período de montagem e ajustes do equipamento

Após a montagem do *hardware* do equipamento, foi preciso realizar alguns ajustes na programação do *software* do sistema, de modo que o equipamento atendesse a proposta da ideia inicialmente estabelecida. Foi preciso escrever um *loop* no *script* da programação para definir a “chave” certa no equipamento que ligasse e desligasse o concentrador de oxigênio. De modo que, em 10 linhas de *loop*, utilizando os comandos *if* e *else if*, foi definido que o relé, que controla o concentrador de oxigênio, iniciasse ligado assim que todo o equipamento fosse ativo, mas que acima da concentração de oxigênio de 8,5 mg/L o relé se desligasse, e que assim permanecesse até chegar na concentração de 4,0 mg/L.

3.5 Período de pré-testagem do equipamento

Inicialmente foi realizada a troca da solução de calibração do sensor. Para a etapa de pré-testagem, foi utilizado um tanque circular de 150 L, em que foi aplicado metabissulfito de sódio e cloreto de colbato para exaurir o OD e assim aferir a eficiência do equipamento no controle do acionamento de uma bomba aeradora (FIGURA 8).

Figura 8 - Tanque circular de 150 L com bomba aeradora para realização do pré-teste do equipamento



Fonte: Autor, 2023.

O sensor SEN0237-A é pré-definido de fábrica com apenas 41 valores de leitura de oxigênio em mg/L. Fora destes 41 valores pré-definidos, a base de programação do Arduino calcula o valor do OD, entretanto, com uma maior variação e oscilação dos valores. Para que esta oscilação fosse minimizada e a precisão melhorada, 19 novos valores foram inseridos diminuindo a variação para 1,0 a 0,5 mg/L.

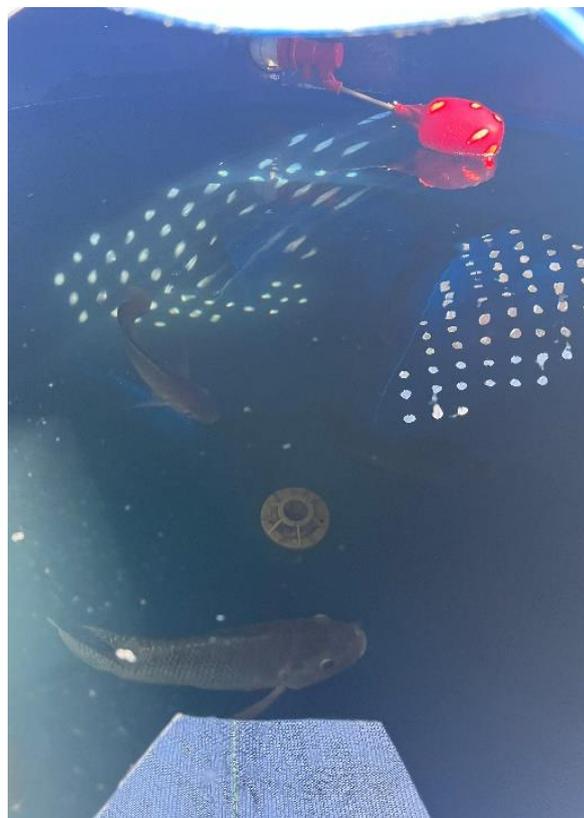
Outro fator de extrema importância no pré-teste do equipamento foi a temperatura. O equipamento foi, então, programado para a temperatura de 30,0°C, valor médio da temperatura no sistema experimental de recirculação. Para fins de comparação, foi realizado um registro dos valores de OD utilizando um oxímetro AKSO, modelo AK-87.

Devido a um conflito de diálogo gerado entre várias das bibliotecas utilizadas na programação do equipamento, não foi possível programar o dispositivo para ligar e desligar diretamente pelo valor de OD obtido pela leitura do sensor, mas sim pela voltagem emitida por cada leitura na comunicação entre o sensor e o Arduino. Este fato foi possível, pois cada valor de OD lido pelo sensor corresponde a um valor de voltagem que passa as informações do sensor para o Arduino. Nesse aspecto, para a testagem final do equipamento, a temperatura da água foi previamente registrada, e seu valor inserido no *script* juntamente com os valores de *ADC_Voltage* correspondente àquela temperatura.

3.6 Validação do sistema de monitoramento e controle do OD no sistema de recirculação de água

Cada tanque do sistema de recirculação da água foi estocado com tilápia do Nilo com peso médio aproximado de 130 g de modo a obter uma biomassa de 1.150 g por tanque (FIGURA 9).

Figura 9 - Tilápias estocadas no Tanque 1 para o experimento



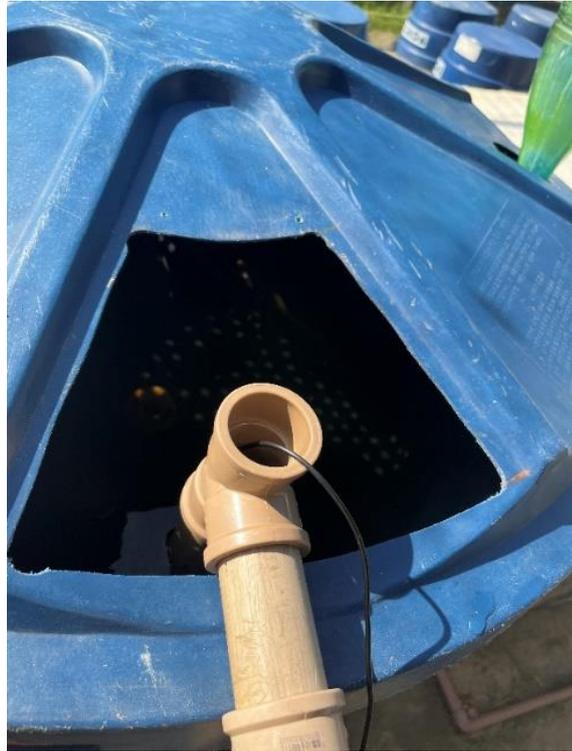
Fonte: Autor, 2023.

O sensor (calibrado com 0,5 mol/L NaOH antes de ser ligado) permaneceu 24 h imerso na água de um dos tanques do sistema realizando a leitura constante do OD durante um período experimental de sete dias e exibido seu valor em um display OLED 0,96 polegadas. A faixa de concentração de OD adotada para o experimento foi definida com o mínimo de 4,0 mg/L e com o valor máximo 8,5 mg/L. Portanto, o Arduino foi o responsável por receber os dados do sensor ligando o concentrador de oxigênio quando o OD atingia 4,0 mg/L e desligando-o quando a concentração atingia 8,5 mg/L.

De modo a proteger o sensor de monitoramento de OD, o mesmo foi instalado

dentro de um cano perfurado (FIGURA 10) para que não houvesse risco de os peixes danificarem o equipamento.

Figura 10 - Cano perfurado para proteção do sensor SEN0237-A



Fonte: Autor, 2023.

Foram realizadas duas biometrias (peso e comprimento total) de todo o lote dos peixes no início e no final do período experimental, com o uso de uma balança e um paquímetro para determinação do peso e do comprimento, respectivamente. Os peixes foram alimentados quatro vezes ao dia de acordo com as informações fornecidas pelo fabricante da ração nos horários de 09h30min, 11h30min, 14h30min e 16h30min.

Ao final do experimento, foi possível determinar os valores do fator de conversão alimentar (FCA) (EQUAÇÃO 1), e também os valores da taxa de crescimento específico (TCE) (EQUAÇÃO 2).

$$\text{Fator de conversão alimentar (FCA g/g)} = \frac{\text{Consumo total de ração (g)}}{\text{Ganho de biomassa (g)}} \quad (1)$$

$$\text{TCE (\%/dia)} = \frac{\ln \text{ peso médio final (g)} - \ln \text{ peso médio inicial (g)}}{\text{n}^\circ \text{ de dias}} \quad (2)$$

Durante o experimento foi realizada a observação e anotações dos valores de OD lido pelo sensor SEN0237-A e mostrados no display do Arduíno a cada 30 min, 08h00min até 17h00min. Neste mesmo intervalo de tempo, a cada 60 min, o OD e a temperatura foram medidos em cada tanque no sistema de filtragem utilizando o oxímetro AK-87. Adicionalmente também foram aferidas uma vez ao dia a amônia total nitrogenada e amônia não ionizada por teste colorimétrico e o pH por meio de um medidor digital AKSO.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre todos os componentes necessários para a montagem do equipamento, o relé, os *jumpers* e o *display* OLED apresentaram os menores custos de aquisição de R\$ 23,00, R\$ 24,00 reais e R\$ 25,88 reais, respectivamente. O Arduíno foi adquirido por R\$ 45,99, sem taxa de frete para esses quatro itens. Com o maior custo se destacou o sensor SEN0237-A com a placa inversora de sinal com o preço de R\$ 896,00, levando em conta o acréscimo da taxa de frete de R\$ 141,00, totalizando R\$ 1.037,00. O custo total de montagem do equipamento ficou em R\$ 1.155,87, como pode ser observado na Tabela 1. Comparativamente, em outras plataformas de vendas, oxímetros e sondas multiparâmetros que realizam o monitoramento do OD na água apresentam uma faixa de valor que varia de R\$ 800,00 à R\$ 3.000,00, de acordo com marca, modelo e precisão de funcionalidade (ALIEXPRESS, 2023).

Entretanto, ressalta-se que o equipamento montado com os componentes listados na Tabela 1, realizou não apenas o monitoramento do OD, mas também o controle de acionamento e desligamento da oxigenação, com um valor de custo bem abaixo (R\$ 1.155,87) quando comparado aos oxímetros mais caros que podem ser encontrados para venda (R\$ 3.000,00) que apenas realizam o monitoramento do oxigênio dissolvido.

Tabela 1 - Preços correspondetes a cada componente comprado para a montagem do equipamento de monitoramento e controle do oxigênio dissolvido na água

Componente	Valor (reais)
Arduíno	45,99
Jumpers	24,00
Display OLED	25,88
Relé	23,00
Sensor SEN0237-A	1.037,00
Total de custos	1.155,87

Fonte: AliExpress, 2023

A escolha dos comandos *if* e *else if* se deu pela necessidade de criar um laço de repetição na programação, de modo que o Arduíno fosse capaz de manter sua programação contínua, realizando a operação de acionar ou desligar o relé de acordo com a interpretação dos dados analisados em rotina. Portanto, foi realizada na programação do Arduíno a definição dos valores de oxigênio para ligar o concentrador de oxigênio em 4,0 mg/L e desligar em 8,5 mg/L. O valor de 4,0 mg/L foi adotado por ser considerado o limite inferior para que a tilápia do Nilo expresse todo seu potencial zootécnico (SÁ, 2012). Após os processos de montagem do equipamento, os ajustes na programação utilizando as linguagens C e C++ da IDE do Arduíno

foram os processos que mais demandaram tempo para realização, pois foram necessárias várias revisões e correções no *script* para que o programa funcionasse de acordo com o objetivo do equipamento.

Conforme pode ser observado na Tabela 2, o tanque T6 apresentou o menor peso médio inicial e final, $122,4 \pm 32,4$ g e $131 \pm 40,8$ g, respectivamente, enquanto que o T2 apresentou o maior peso médio inicial ($140,8 \pm 38$ g) e o T1 apresentou o maior peso médio final ($143,2 \pm 31,2$ g). Com relação aos comprimentos, o T1 apresentou o menor resultado, não havendo aumento de crescimento, permanecendo em $19,9 \pm 1,7$ cm. Já o T2 apresentou maior crescimento, passando de $19,9 \pm 1,3$ cm para $20,5 \pm 1,7$ cm. Considerando os 6 tanques a média de crescimento ficou em $19,7 \pm 0,5$ cm.

Durante os sete dias do experimento em nenhum dos quatro tratos realizados houve sobras de ração, garantindo um aproveitamento de 100% da ração ofertada. Dessa forma, foi possível determinar ganho de biomassa dos peixes em cada tanque e o fator de conversão alimentar (FCA, TABELA 2).

Os peixes do tanque T2 foram os que apresentaram maior ganho de biomassa, correspondendo ao total de 145,8 g, enquanto que os peixes do T6 apresentaram o menor ganho, um total de 77,8 g. Considerando os 6 tanques, houve um ganho médio aproximado de 128,3 g de biomassa. Segundo Ono e Kubitza (2003), a conversão alimentar esperada para tilápias quando estas são adequadamente alimentadas é entre 1,4 e 1,8. Os peixes dos tanques T5 e T6 apresentaram valores de 2,6 e 2,8, respectivamente, fora da faixa ideal de FCA (TABELA 2). Entretanto os tanques T1 (1,6), T2 (1,5), T3 (1,8) e T4 (1,6) apresentaram valores de FCA dentro do ideal definido pela literatura.

Como não houve mortalidade durante o experimento, a sobrevivência (TABELA 2), alcançou $100 \pm 0,0$ % para os seis tanques. Com relação a taxa de crescimento específico (TCE), os peixes que apresentaram maior valor foram os do T2 com 4,4 %/dia. Enquanto os que apresentaram a menor taxa foram os que estavam estocados no T6 com 4,2 %/dia. Watanabe *et al.* (1997) obtiveram uma taxa de crescimento específico de 6,77 %/dia em 30 dias de experimento com alevinos de peso inicial de 1,76 g. Dessa forma, com a duração de apenas sete dias de experimento e com os peixes sendo de um peso médio superior a 100 g em todos os 6 tanques, mesmo a menor taxa de 4,18%/dia para o T6 se mostra uma taxa de crescimento específico adequada quando se considera os fatores de tempo de experimento e o peso médio inicial.

Tabela 2 - Valores médios \pm desvio padrão de peso, comprimento, densidade de estocagem, biomassa, ganho de biomassa, taxa de crescimento específico (TCE), sobrevivência, número de peixes por tanque (250 L) e fator de conversão alimentar (FCA) da tilápia de Nilo estocadas no sistema experimental de recirculação

TANQUE	T 1	T 2	T3	T4	T5	T6
Peso médio inicial (g)	128,1 \pm 25,2	140,8 \pm 38,0	136,4 \pm 38,6	125,1 \pm 26,4	124,2 \pm 23,3	122,4 \pm 32,4
Peso médio final (g)	143,2 \pm 31,2	159,1 \pm 45,6	150,5 \pm 45,2	140,7 \pm 41,7	133,5 \pm 31,3	131,0 \pm 40,8
Comprimento inicial (cm)	19,9 \pm 1,7	19,9 \pm 1,3	19,5 \pm 2,0	18,9 \pm 1,8	19,0 \pm 1,5	19,3 \pm 1,3
Comprimento final (cm)	19,9 \pm 1,8	20,5 \pm 1,7	20,1 \pm 2,0	19,0 \pm 1,9	19,2 \pm 1,4	19,5 \pm 1,6
Densidade inicial (g)	4,6	4,5	4,9	4,5	4,5	4,4
Densidade final (g)	5,2	5,1	5,4	5,1	4,8	4,7
Biomassa inicial (g)	1153,1	1126,7	1227,7	1126,3	1118	1101,3
Biomassa final (g)	1288,9	1272,5	1354,1	1266,3	1201,9	1179,1
Ganho de Biomassa (g)	135,8	145,8	126,4	140	83,9	77,8
TCE (%/dia)	4,3	4,4	4,3	4,6	4,2	4,2
Sobrevivência (%)	100 \pm 0,0					
Nº peixes por tanque	9	8	9	9	9	9
FCA	1,6	1,5	1,8	1,6	2,6	2,8

Fonte: Autor, 2023

A Amônia total, amônia não ionizada e pH permaneceram estáveis por 7 dias (TABELA 3). Entretanto no sétimo dia, a amônia total apresentou um aumento de 2,0 mg/L para 3,5 mg/L. Segundo Kubitzka (2003), as concentrações de amônia total se tornam letais para os peixes em valores acima de 3,8 mg/L e a amônia não ionizada acima de 0,3 mg/L. Com relação ao pH, o valor ideal é entre 6,0 e 8,5. Valores fora dessa faixa podem prejudicar o crescimento e a reprodução dos peixes. Na Tabela 3 observa-se que o pH ficou dentro da margem segura de 6,9.

Tabela 3 - Valores médios \pm desvio padrão dos parâmetros da água analisados.

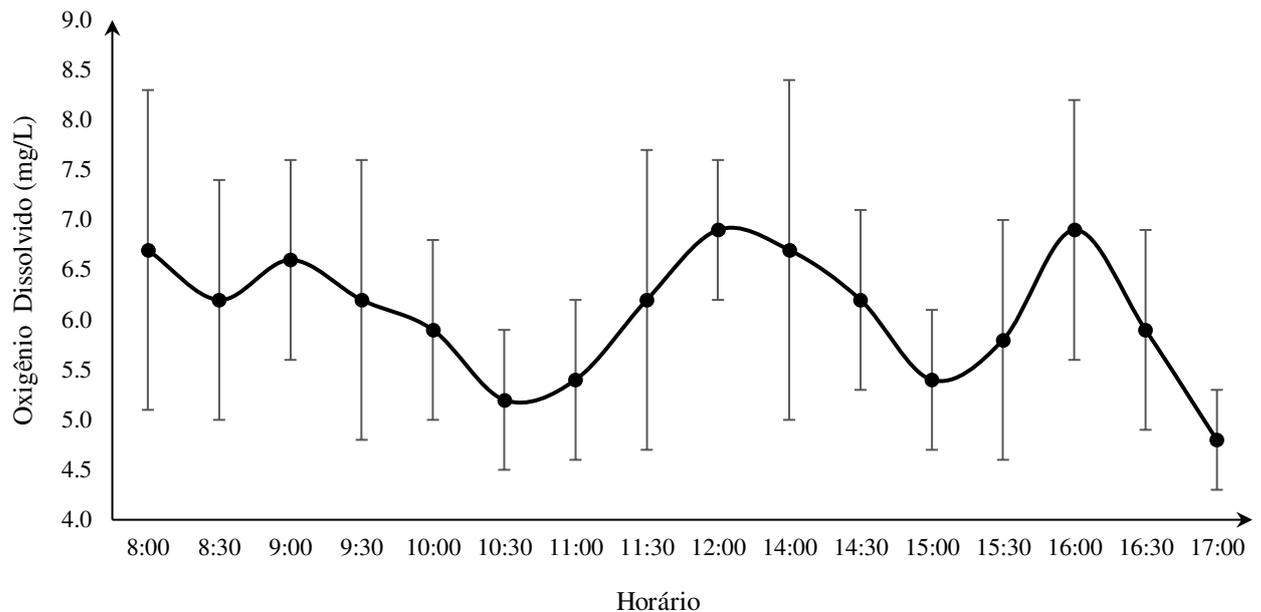
Parâmetro	Valor
Amônia total (mg/L)	2,2 \pm 0,5
Amônia não ionizada (mg/L)	0,01 \pm 0,0
pH	6,9 \pm 0,1

Fonte: Autor, 2023

Os dados do Gráfico 1 mostram a variação de oxigênio registrada a cada meia hora de 08h00min até 17h00min. Nele é possível observar que há dois picos de OD, 12h00min e outro 16h00min, mas logo após, o sensor registra os valores mais baixos de oxigênio. Também é possível observar que há um padrão de estabilidade maior na parte da manhã (08h00min até 12h00min), como pode ser visto as curvas do OD são mais suaves quando comparado ao turno da tarde (14h00min até 17h00min). De acordo com Sá (2012), a concentração mínima de oxigênio para os organismos aquáticos em um cultivo é de 4 mg/L. Portanto, no Gráfico 1 é possível visualizar que o OD não ficou abaixo de 4 mg/L em nenhum horário, devido à alta

velocidade de incorporação de oxigênio no sistema pelo gerador logo após o oxigênio chegar a 4 mg/L e dessa forma, permanecendo dentro da faixa de concentração de oxigênio ideal para os peixes.

Gráfico 1 - Variação das leituras médias de OD(\pm desvio padrão) no tanque T1 de 08h00min até 17h00min de acordo com os registros do SEN0237-A



Fonte: Autor, 2023

Os tempos de acionamento do concentrador de oxigênio registrados formaram um padrão ao longo dos sete dias, de modo que se observou que de 3 a 4 vezes o concentrador foi acionado (TABELA 4). Ressalta-se o pouco tempo de funcionamento médio do concentrador, não chegando a ultrapassar os 50 min de trabalho em nenhum dos sete dias. Isto mostra a alta eficiência em oxigenar o sistema e com um longo tempo de descanso para o concentrador, chegando até mesmo a alcançar 3 horas e 20 minutos de parada. Este tempo que o concentrador permanece desligado representa grande economia de energia e aumento da vida útil do equipamento.

Tabela 4 - Registro de ativação e tempo de funcionamento do gerador de bolhas ultrafinas.

Dia	1	2	3	4	5	6	7
Quantidade de ativações de 08h00min até 17h00min	3	4	3	3	4	4	4
Tempo médio de funcionamento (minuto)	22	47	45	41	36	46	39
Tempo médio de descanso (minuto)	153,6	94,2	130,8	168,0	132,0	126,0	138,0

Fonte: Autor, 2023

A Tabela 5 apresenta os valores de OD a cada 1 hora registrados pelo oxímetro para

os 6 tanques e para o sistema de filtragem (SF). Não houve grande diferença na concentração de oxigênio entre os seis tanques. Portanto, não é necessário ter um sensor em cada tanque para que o controle do sistema seja efetivo, desde que se faça as leituras de OD no tanque mais adensado, cujo consumo de O₂ será maior.

Tabela 5 - Média de OD \pm desvio padrão (mg/L) para os 6 tanques e para o sistema de filtragem (SF).

Horário	T1	T2	T3	T4	T5	T6	SF
08h00min	8,5 \pm 2,0	9,1 \pm 2,0	7,5 \pm 1,9	8,5 \pm 1,8	9,1 \pm 2,0	7,7 \pm 1,8	8,3 \pm 0,8
09h00min	8,4 \pm 0,9	9,0 \pm 1,1	8,7 \pm 1,2	8,4 \pm 1,5	9,0 \pm 1,0	8,1 \pm 1,0	8,3 \pm 0,6
10h00min	7,8 \pm 0,8	8,0 \pm 1,0	7,9 \pm 1,0	7,8 \pm 0,9	8,3 \pm 1,1	7,7 \pm 1,1	8,2 \pm 0,5
11h00min	7,1 \pm 1,1	7,5 \pm 0,7	6,5 \pm 0,7	7,1 \pm 0,7	7,5 \pm 0,6	6,5 \pm 0,6	7,8 \pm 0,3
12h00min	7,9 \pm 1,1	8,7 \pm 1,0	8,3 \pm 1,1	7,9 \pm 1,0	8,7 \pm 1,1	8,3 \pm 1,0	7,8 \pm 0,4
14h00min	8,4 \pm 1,6	8,8 \pm 1,5	9,1 \pm 1,2	8,4 \pm 1,6	8,8 \pm 1,7	9,0 \pm 1,5	7,8 \pm 0,8
15h00min	6,9 \pm 1,0	7,4 \pm 1,0	7,3 \pm 1,1	6,9 \pm 1,0	7,4 \pm 1,0	7,0 \pm 1,2	7,5 \pm 0,3
16h00min	8,0 \pm 1,3	8,5 \pm 1,6	7,9 \pm 1,6	8,0 \pm 1,6	8,5 \pm 1,7	7,7 \pm 1,3	7,5 \pm 0,8
17h00min	6,7 \pm 0,9	7,0 \pm 1,1	6,2 \pm 1,1	6,7 \pm 1,2	7,0 \pm 1,1	6,2 \pm 1,0	7,1 \pm 0,7

Fonte: Autor, 2023

De acordo com Kubitza (1999), a temperatura ideal para os peixes tropicais, como a tilápia, varia de 28°C a 32°C. Foi observada grande variação nos valores de temperatura medidos entre o primeiro horário de 08h00min, e o último, 17h00min, chegando a uma variação média de 2,7°C, mas em nenhum momento essa variação ficou fora da faixa considerada ideal pela literatura para a tilápia, com a temperatura média mínima de 28,7°C e a máxima de 31,4°C (TABELA 6).

Tabela 6 - Registro dos valores de temperatura e comparação dos valores de OD do AK-87 e do SEN0237-A sob a influência de variação desse parâmetro

Horário	Temperatura (°C)	AK-87 - OD (mg/L)	SEN0237-A OD (mg/L)
08h00min	28,7 \pm 0,5	8,5 \pm 2,0	6,7 \pm 1,6
09h00min	28,9 \pm 0,7	8,4 \pm 0,9	6,6 \pm 1,0
10h00min	29,1 \pm 0,5	7,8 \pm 0,8	5,9 \pm 0,9
11h00min	29,5 \pm 0,4	7,1 \pm 1,1	5,4 \pm 0,8
12h00min	29,8 \pm 0,4	7,9 \pm 1,1	6,9 \pm 0,7
14h00min	30,6 \pm 0,4	8,4 \pm 1,6	6,7 \pm 1,7
15h00min	30,8 \pm 0,1	6,9 \pm 1,0	5,4 \pm 0,7
16h00min	31,1 \pm 0,3	8,0 \pm 1,3	6,9 \pm 1,3
17h00min	31,4 \pm 0,2	6,7 \pm 0,9	4,8 \pm 0,5

Fonte: Autor, 2023

Naturalmente, por estar em um ambiente aberto, exposto ao sol e por ter um volume pequeno (3.500 L, tanques e sistema de filtragem), o sistema de recirculação ficou sujeito a

tamanha variação de temperatura na água. Mas como pode ser observado na Tabela 6, esse fator influencia diretamente nas leituras do sensor SEN0237-A, que não possui compensação térmica e considerando ainda que o sensor foi pré-programado para leituras recorrentes a 30 °C durante a montagem do sistema, e por isso, tem valores divergentes aos do AK-87.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados, é possível perceber que o equipamento atendeu muito bem ao que era esperado, garantindo o fornecimento de OD para as tilápias estocadas no sistema sem qualquer necessidade de interferência humana para controlar a ativação do concentrador de oxigênio.

Foi possível observar também que a ação direta da temperatura nas medições do sensor SEN0237-A, tendo em vista a falta de compensação térmica, influenciou nas leituras do sensor de acordo com os valores previamente definidos em sua programação, sem comprometer, contudo, o suprimento de OD para os peixes.

Pesquisas futuras devem abordar de forma mais aprofundada os benefícios gerados pela economia de energia elétrica, bem como o aumento da vida útil do equipamento.

REFERÊNCIAS

- ALIEXPRESS. **Arduíno e componentes**. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/w/wholesale-arduino-e-componentes.html?spm=a2g0o.productlist.search.0>. Acesso em: 20 de jun. 2023.
- ALIEXPRESS. **Oxímetros para água**. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/w/wholesale-ox%C3%ADmetros-para-%C3%A1gua.html?spm=a2g0o.productlist.search.0>. Acesso em: 20 de jun. 2023.
- ALMEIDA, M. V. S.; DA SILVA, I. L. S.; SALES, R. N.; MARTINS, J. M. M. F. C.; DA SILVA B. R.; PASSOS NETO, O.P. **Construção de um sistema experimental para avaliar a utilização de um gerador de bolhas ultrafinas de oxigênio no cultivo intensivo de tilápia do Nilo em sistema de recirculação de água**. V Encontro de Iniciação Acadêmica. 2021. v. 5 n. 12. Disponível em: <http://www.periodicos.ufc.br/eu/article/view/63648>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- ARAÚJO, R.L. **Efeitos do oxigênio dissolvido e densidade no cultivo de dourada (*Sparus aurata*)**. 2014. Dissertação (Mestrado em Biologia Marinha). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, 2014. Disponível em: <https://sapientia.ualg.pt/handle/10400.1/7771>. Acesso em: 11 ago. 2023.
- BENAVENT, M. P. *et al.* **Enhanced fish bending model for automatic tuna sizing using computer vision**. Computers and Electronics in Agriculture. Espanha. v. 150. 2018. Disponível em: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic>. Acesso em: 16 ago. 2023.
- BOYD, C. E. Pond water aeration systems. **Aquacultural Engineering**. v. 18, p. 18-40, 1998.
- BREGNBALLE, J. **A guide to recirculation aquaculture: an introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems**. FAO/ EUROFISH–Roma, p.100, 2015. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i4626e/i4626e.p df>. Acesso em: 12 ago. 2023.
- CAPELLA, J.; BONASTRE, A.; ORS, R.; PERIS, M. **A wireless sensor network approach for distributed in-line chemical analysis of water**. Talanta, v. 80, n. 5, p. 9, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0039914009008145?via %3Dihub>. Acesso em: 14 ago. 2023.
- CARNEIRO, P. C. F.; MORAIS, C. A. R. S.; NUNES, M. A. C.; MARIA, A. N.; FUJIMOTO, R. Y. **Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia**. EMBRAPA. Tabuleiros Costeiros. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. DOC 189. ISSN 1678-1937. 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142630/1/Doc-189.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2023.
- CARVALHO, R.; LEMOS, D. **Aquicultura e consumo de carnes no Brasil e no mundo**. Panorama da aquicultura, v.19, n.122, p.49, 2009. Disponível em: <https://panoramadaaquicultura.com.br/fatos-e-figuras-aquicultura-e-consumo-de-carnes-no-brasil-e-no-mundo/>. Acesso em: 12 ago. 2023.
- CHU, C. S.; SU, C. J. **Optical fiber sensor for dual sensing of H₂O₂ and DO based on CdSe/ZnS QDs and Ru(dpp) 32+ embedded in EC matrix**. Sensors and Actuators B: Chemical, Taiwan, v. 255, 2018. Disponível em: https://www.periodicos.capes.gov.br/?option=com_pcollection&mn=

70&smn=79&cid=81. Acesso em: 16 ago. 2023.

CUNHA, K. C. B.; ROCHA, R. V. **Automação no processo de irrigação na agricultura familiar com plataforma Arduíno**. RECODAF – Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar, Tupã, v. 1, n. 2, p. 62-74, 2015. ISSN: 2448-0452.

CUNHA, Ricardo Almeida. **Polypus: Sonda de baixo custo para análise de parâmetros físico-químicos em águas superficiais**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologias Ambientais). Programa de Pós-graduação da Universidade Federal do Sul da Bahia e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia. Porto Seguro, BA, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ifba.edu.br/jsp/ui/b/itstream/123456789/233/1/Ricardo%20Almeida%20Cunha.pdf>. Acesso em 15 ago. 2023.

DFROBOT. **Gravity Analog Dissolved Oxygen Sensor / Meter Kit for Arduino**. 2023. Disponível em: <https://www.dfrobot.com/product-1628.html>. Acesso em 03 ago. 2023.

DOS SANTOS, I. B.; SANDMANN, A.; DE SOUZA, B. E.; SCHMIDT, C. A. P.; DE PAULA FILHO, P. L.; MELGES, A. I.; MARCOLIN, J. F. 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**. 2019.

EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. **Arduíno em Ação**. Novatec. São Paulo, 2013.

GOMES, R.N. *et al.* **Análise técnica da produção de Tilápias no município de Bananeiras-Pb**. Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. v.2, n1, p.1- 4. 2012.

HENRY-SILVA, G.G.; CAMARGO, A.F.M. Impacto das atividades de aquicultura e sistemas de tratamento de efluentes com macrófitas aquáticas. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.34, n.1, p.163-173, 2008.

HUNDLEY, G. C. **Aquaponia, uma experiência com tilápia (*Oreochromis niloticus*), manjeriço (*Ocimum basilicum*) e manjerona (*Origanum majorana*) em sistemas de recirculação de água e nutrientes**. Monografia (Graduação em Agronomia), Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 2013. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/5977/1/2013_GuilhermeCrispimHundley.pdf. Acesso em 18 ago. 2023.

HUNDLEY, G. C. *et al.* Aproveitamento do efluente da produção de tilápia do Nilo para o crescimento de manjerona (*Origanum majorana*) e manjeriço (*Origanum basilicum*) em sistemas de Aquaponia. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.3, p.51-55, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/rbas/article/view/2779>. Acesso em: 18 ago. 2023.

JI, C. *et al.* **An IOT and Mobile Cloud based Architecture for Smart Planting**. Materials and Information Technology Applications. China. 2015. Disponível em: <https://scholar.google.com.br/>. Acesso em: 16 ago. 2023.

JIANG, J. **A wireless sensor network-based monitoring system for freshwater fishpond aquaculture**. Biosystems Engineering, Austrália, v. 172, p. 57 – 66, 2018. Disponível em: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic>. Acesso em: 16 ago. 2023.

KOTHA, H. D.; GUPTA, V. M. IOT Application, a survey. **International Journal of Engineering and Technology**. India, v. 7, p. 891-896, 2018. Disponível em: <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/11089>. Acesso em: 13 ago. 2023.

- KRUMMENAUER, D.; ADVENT, B.; GAONA, C.A.P.; FÓES, G.; SILVEIRA, L.G.P.; MOURA, P.S.; POERSCH, L.H.; WASIELESKY, W.J. Sistemas de injetores de ar nos cultivos superintensivos em meio aos bioflocos. **Panorama da Aquicultura** 155, 24–31. 2016.
- KUBITZA, F. Sistemas de recirculação: Sistemas fechados com tratamento e reuso de água. **Panorama da Aquicultura**, vol. 16, nº 95. 2006.
- KUBITZA, F. **Qualidade da água no cultivo de peixes e camarões**. ResearchGate. São Paulo, 2003.
- KUBITZA, F. **Qualidade da água na produção de peixes**. CIP – USP, 1999.
- LANDAU, M. **Introduction to Aquaculture** New York: John Wiley & Sons, Inc. 1992.
- LARANJEIRA, R. R. **Controlo remoto e autónomo de um sistema de aquacultura**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Automação Industrial). Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade de Aveiro, Cidade de Aveiro, Portugal. 2014. Disponível em: <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/15598/1/Tese.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2023.
- LEE, P. G. Process control and artificial intelligence software for aquaculture. **Aquacultural Engineering**. United States, v. 23, p. 13–36, 2000. Disponível em: https://www.periodicos.capes.gov.br/?option=com_pcollection&mn=70&smn=79&cid=81. Acesso em: 13 ago. 2023.
- MCROBERTS, M. Arduíno Básico. **Novatec**. São Paulo, 2011.
- MATEUS, J. Acuaponía: hidroponía y acuacultura, sistema integrado de producción de alimentos. **Red Hidroponía Boletín**, v.44, p.7-10, 2009.
- MATEUS-RODRIGUEZ, J. F. Acuaponía: hidroponía y acuacultura, sistema integrado de producción de alimentos. **Red Hidroponía Boletín**, v.44, p.7, 2009. Disponível em: [https://agriperfile.s.agri-d.net/display/AS-pubFDA2C0A86AF20960A15399C965E09C75#:~:text=L+a%20acuapon%C3%ADa%20\(de%20ingl%C3%A9s%20aquaponics,de%20nutrientes%20para%20las%20plantas](https://agriperfile.s.agri-d.net/display/AS-pubFDA2C0A86AF20960A15399C965E09C75#:~:text=L+a%20acuapon%C3%ADa%20(de%20ingl%C3%A9s%20aquaponics,de%20nutrientes%20para%20las%20plantas). Acesso em: 12 ago. 2023.
- MORALES, J.C. Acuicultura Marina Animal. **Mundi-Premsa**. Madri, 1983 Ed. v1., 423p. 1983.
- NOGUEIRA FILHO, H.; SANTOS, O.; BORCIONI, E.; SINCHAK, S.; PUNTEL, R. **Aquaponia: interação entre alface hidropônica e criação superintensiva de tilápias**. Horticultura Brasileira, v. 21, n. 2, p. 1-4, 2003.
- OLIVEIRA, P.; SOUSA, S.; ARAUJO, P.; RODRIGUES, W.; ARAÚJO, A.; **Modelagem, Implementação e Simulação de um Protocolo de Comunicação em Tempo Real para uma Rede de Sensores sem Fio**. Conferência: IX Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica. 2014. v. 1, n. 4, p.11. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, IFCE. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/275529104_Modelagem_Implementacao_e_Simulacao_de_Um_Protocolo_de_Comunicacao_em_TempoReal_para_Um_a_Rede_de_Sensores_Sem_Fio. Acesso em: 12 ago. 2023.
- ONO, E.A.; KUBITZA, F. Cultivo de peixes em tanques rede. **Jundiaí**. 3.ed. 2003.
- PEIXE BR. **Anuário Peixe BR da Piscicultura (2021)**. Associação Brasileira de Piscicultura. São Paulo: Peixe BR, 2021.

POERSH, L.H.; ALMEIDAM, M.; GAONA, C.A. et al. Bioflocos: Uma alternativa econômica viável para produtores de camarão em viveiro. **Panorama da Aquicultura**, p.37, 2012.

POWERS, D. A.; MARTIN, J. P.; GARLICK, R. L.; FYHN, H. J.; FYHN, U. E. H. **O efeito da temperatura sobre os equilíbrios de oxigênio das hemoglobinas de peixe em relação à variabilidade térmica ambiental**. Acta Amazônica. 1978. p.113–123. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-43921978084s113>. Acesso em 13 ago. 2023

QIUWEI, B. et al. **Real-time remote monitoring system for aquaculture water quality**. **International Journal Of Agricultural And Biological Engineering**. China, v. 8, 2015. Disponível em: https://www.periodicos.capes.gov.br/?option=com_pcollection&mn=70&smn=79&cid=81. Acesso em: 12 ago. 2023.

RAKOCY, J. E. Virgin Islands Agricultural Experiment Station: Saint Croix, VI, USA. **Island Perspectives**. p. 5-10, 1989.

RAKOCY, J. E., BAILEY, D. S., THOMAN, E. S., & SHULTZ, R. C. Intensive tank culture of tilapia with a suspended, bacterial-based, treatment process. In: RAKOCY, J. E., BAILEY, D. S., THOMAN, E. S., & SHULTZ, R. C. **New Dimensions on Farmed Tilapia: Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture**. 2004. p. 584-596.

RAKOCY, J. E.; MASSER, M. P.; LOSORDO, T. M. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics—integrating fish and plant culture. **Southern Regional Aquaculture Center**. publication n°. 454. 2006.

RIZAL, A., DHAHIYAT, Y., ANDRIANI, Y., HANDAKA, A. A., & SAHIDIN, A. **The economic and social benefits of an aquaponic system for the integrated production of fish and water plants**. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP publishing, 2018. p. 012098.

SÁ, M. V. C. **Limnocultura: limnologia para aquicultura**. 1.ed. Fortaleza: Edições UFC, 2012.

SARQUIS, J. B. **Comércio Internacional e Crescimento Econômico no Brasil**. Fundação Alexandre Gusmão. Brasília. 2011.

STICKNEY R.R. Encyclopedia of Aquaculture. **A Wiley-Interscience publication**. Program at Texas A&M University. 2000.

SEBRAE. **Aquicultura no Brasil: Série Estudos Mercadológicos**. Formação Profissional Ltda – Me. Brasília – DF. Discovery. 2015. Disponível em: [https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/4b14e85d5844cc99cb32040a4980779f/\\$File/5403.pdf](https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/4b14e85d5844cc99cb32040a4980779f/$File/5403.pdf). Acesso em: 12 ago. 2023.

SILVEIRA JUNIOR, C. R.; ALVES, A. R.; CORREIA, L. H. **O uso do celular no monitoramento do ambiente de piscicultura**. X Congresso Brasileiro de Agroinformática. Anais do X SBIAGRO. 2015. Disponível em: http://www.eventos.uepg.br/sbiagro/2015/anais/SBIAGro2015/pdfresumos/17/17_leandro_henrique_correia_179.pdf. Acesso em: 14 ago. 2023.

SILVA, W.L.M.; FROZZI, J.C.; FONSECA, J.C.; SALVADOR, J.S.P.; RIBEIRO, P.N.T.; COSTA CAMPOS, M.C. Sustentabilidade na aquicultura: dimensões social, econômica e ambiental – uma revisão de literatura. **Revista EDUCAmazônia**, v. 20, n. 1, p. 87-108, 2018.

SIMBEYE, D. S.; ZHAO, J.; YANG, S. Design and deployment of wireless sensor networks for aquaculture monitoring and control based on virtual instruments. **Computer and Electronics in Agriculture**. China, v. 102, p. 31 – 42, 2014. Disponível em: https://www.periodicos.capes.gov.br/?option=com_pcollection&mn=70&smn=79&cid=81. Acesso em: 16 ago. 2023.

SOARES, E. C. *et al.* Peixe com salada: aquaponia possibilita o cultivo de peixes e alfaces sem agrotóxicos. **Panorama da Aquicultura**. v.148, p. 24-29. 2015.

SOUZA, M. L. R.; GOES, E. S. R.; KRONKA, S. N.; CASTAGNOLLI, N. **Aeration systems and stocking densities on water quality and production of Nile tilapia**. 2021. Research, Society and Development, [S. l.], v.10, n. 8. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/17238>. Acesso em: 03 ago.2023.

TIMMONS M.B.; JAMES M.E.; FRED W.W.; SREVEN T.S.; BRIAN J. V. **Recirculating Aquaculture Systems**. NRAC publication. 2001.

TIMMONS M.B.; EBELING J.M. **Recirculating Aquaculture**. Northeastern Regional Aquaculture Center, 1.ed. v.1, 2010.

TOM L. **Nutritional and feeding of fish**. Kluwer Academic Publishers. 2. ed. 1998.

VALENTI, W. C.; BARROS, H. P.; MORAES-VALENTI, P.; BUENO, G. W.; CAVALLI, R. O. Aquicultura no Brasil: uma indústria de 1 bilhão de dólares. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 182, p. 34-49. 2021.

VALENTI, W.C.; KIMPARA, J.M.; ZAJDBAND, A.D. Métodos para medir a sustentabilidade da aquicultura. **Panorama da Aquicultura**. 2010.

WATANABE, W.O. et al. **Saltwater culture of the florida and other saline-tolerant tilapia: review**. World Aquaculture Society, v.1, p 55-129. 1997.