

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM UM SISTEMA AQUAPÔNICO

IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATED WATER QUALITY MONITORING SYSTEM IN AN AQUAPONIC SYSTEM

Carla Fernanda Pereira da Rocha*
Ricardo Henrique Franco de Oliveira**
Adriano Rogerio Bruno Tech***

RESUMO

A aquaponia é a junção de sistema de hidroponia e aquicultura sem o uso de solo. O foco desse tipo de sistema é a produção de alimentos saudáveis e reutilização total da água. A fim de monitorar a qualidade da água nesse tipo de processo, o presente trabalho teve como objetivo implementar um sistema automatizado em um tanque aquapônico, que contava com uma estrutura de arduino e sensores para o estudo e controle de três variáveis ambientais da qualidade da água, o pH do tipo SEM 0161, a temperatura do tipo termopar e o sensor de oxigênio dissolvido implementados em um microcontrolador arduino UNO. Esses três parâmetros são responsáveis por manter o sistema em equilíbrio e tem como resultado eficiência e economia. O experimento foi conduzido na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP), em uma estufa experimental de dimensões 13 x 10 metros, totalizando uma área de 130 m², sendo as medições realizadas de forma manual e automatizada. Os resultados permitem concluir que é possível monitorar a qualidade da água em um sistema aquapônico utilizando o microcontrolador arduino.

Palavras-chave: Aquaponia. Cultivo sem Solo. Sistema Automatizado.

ABSTRACT

Aquaponics is the combination of hydroponics and aquaculture systems without the use of soil. The focus of this type of system is the production of healthy food and the total reuse of water. In order to monitor water quality in this type of process, the present work aimed to implement an automated system in an aquaponic tank, which had an arduino structure and sensors for the study and control of three environmental variables of water quality, SEM 0161 type pH, thermocouple type temperature and dissolved oxygen sensor implemented in an Arduino UNO microcontroller. These three parameters are responsible for keeping the system in balance and result in efficiency and economy. The experiment was carried out at the Faculty of Animal Science and Food Engineering (FZEA/USP), in an experimental greenhouse measuring 13 x 10 meters, totaling an area of 130 m², with

* Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA/USP. Engenheira de Biosistemas Av. Duque de Caxias Norte, 225 – Jardim Elite, 13.635-900, Pirassununga – SP, Brasil. carla.rocha@usp.br

** Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA/USP. Doutor em Qualidade e Produtividade Animal. Endereço: Av. Duque de Caxias Norte, 225 – Jardim Elite, 13.635-900, Pirassununga – SP, Brasil. Autor para correspondência. ricohfo@usp.br

*** Docente Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA/USP. LTSI – ZAB - Av. Duque de Caxias Norte, 225 – Jardim Elite, 13.635-900, Pirassununga – SP, Brasil. adriano.tech@usp.br

manual and automated measurements being performed. The results allow us to conclude that it is possible to monitor the water quality in an aquaponic system using the arduino microcontroller.

Keywords: Aquaponics. Cultivation without soil. Automated system.

Introdução

A crescente demanda por técnicas de produção agropecuária alternativas decorre devido ao momento atual, onde a falta de recursos hídricos é notória no cenário mundial. Logo, para atender a progressiva busca por alimentos devido ao aumento da população no mundo, é necessário desenvolver soluções inovadoras para produzir alimentos, mas com baixo consumo de água. Com isso, a aquaponia vem ganhando reconhecimento e espaço, principalmente pela efetividade no uso de recursos hídricos, favorecendo, também, o aproveitamento dos subprodutos derivados da produção de peixes.

A aquaponia é uma técnica de integração entre a aquicultura e hidroponia para a produção de organismos aquáticos e organismos vegetais, sem o uso do solo. Em outras palavras, pode ser compreendida como a produção de pescado interligada à produção de vegetais, principalmente de verduras e legumes (MOURA-SILVA; LOSEKANN; HISANO, 2013). Esse sistema de produção natural de biomassa animal e vegetal é tratada, atualmente, como uma alternativa sustentável na produção de alimentos e com grande eficiência das unidades produtivas, tanto em zonas rurais quanto urbanas. Segundo Love *et al.* (2015), em alguns países asiáticos, além de Estados Unidos e Austrália, essa modalidade de produção já é bem desenvolvida e, no Brasil, ainda se encontra em estágios iniciais de utilização.

Um sistema aquapônico contribui na produção de alimentos saudáveis e na gestão dos recursos naturais, tendo como objetivo principal, a reutilização total da água evitando, assim, o seu desperdício e diminuindo, ou até eliminando, resíduos no meio ambiente. Como consequência, a quantidade de água necessária para alimentar um sistema é baixa, comparando com os sistemas tradicionais de produção aquícola. De acordo com Carneiro *et al.* (2015), uma vez instalado e em funcionamento, o sistema atua de maneira integrada e por tempo indeterminado e, sem a necessidade de reposição de água, exceto para completar os níveis, em função da evaporação e transpiração.

Como citado anteriormente, por integrar três tipos de organismos vivos, esse sistema precisa padronizar as variáveis da qualidade da água, com a finalidade de atender

as condições necessárias. Sendo assim, um sistema automatizado auxiliaria no monitoramento para as tomadas de decisões e possibilitaria uma maior eficiência do sistema e, por fim, uma máxima produção.

O objetivo do presente trabalho foi implementar um sistema automatizado de monitoramento da qualidade da água em um sistema aquapônico, utilizando tecnologia IoT (Internet das Coisas) para a coleta e armazenamento dos dados.

1 Revisão de Literatura

1.1 Aquaponia

Definida como uma interação de sistemas hidropônico e de aquicultura, a aquaponia visa tornar esses dois tipos de produção menos impactantes ao ambiente para produzir, com maior eficiência, alimentos saudáveis (HUNDLEY; NAVARRO, 2013).

O sistema aquapônico utiliza a técnica de recirculação de água onde a perda de água é baixa, quando comparada com os sistemas convencionais de cultivos de plantas e de pescado (CARNEIRO *et al.*, 2015).

De acordo com Diver (2006), a água é perdida apenas para o ambiente de duas maneiras: perda por evaporação da água dos tanques de criação dos peixes e pela evapotranspiração das plantas.

Já Carneiro *et al.* (2015), citam que algumas vantagens da aquaponia seriam a necessidade de um baixo volume de água para as duas produções, total aproveitamento de água e da ração que é um insumo muito importante nesse tipo de sistema, baixo custo com adubos, produção ecológica e livre de defensivos químicos (agrotóxicos e antibióticos), capacidade de ser implantada em centros urbanos (uma vez que é possível o cultivo intensivo em pequenas áreas) e competência de produção de alta densidade de peixes e hortaliças. Em contrapartida, o sistema depende de energia elétrica, com custo inicial elevado para a implantação do sistema. Também é necessário o conhecimento breve sobre a biologia que compõem o sistema (bactérias, peixes e plantas) e monitoramento constante dos parâmetros da qualidade da água.

1.2 Simbiose

O sistema aquapônico é constituído por um tanque para a criação dos peixes, ambiente para o cultivo das plantas e um sistema de biofiltros que funcionará como o mecanismo principal para que haja equilíbrio no sistema (SOMERVILLE *et al.*, 2014).

A ração fornecida aos peixes é o insumo mais importante num sistema aquapônico, e as excretas produzidas pelos peixes serão absorvidas pelas plantas, mas, para que isso ocorra, as bactérias nitrificantes dos gêneros *Nitrobacter* e *Nitrosomonas* farão a conversão da amônia (NH_3) em nitrito (NO_2^-) para, seguidamente, convertê-lo em nitrato (NO_3^-). Por fim, as bactérias e as plantas garantem uma condição adequada para a sobrevivência e desenvolvimento dos peixes (CARNEIRO *et al.*, 2015) (FIGURA 1).

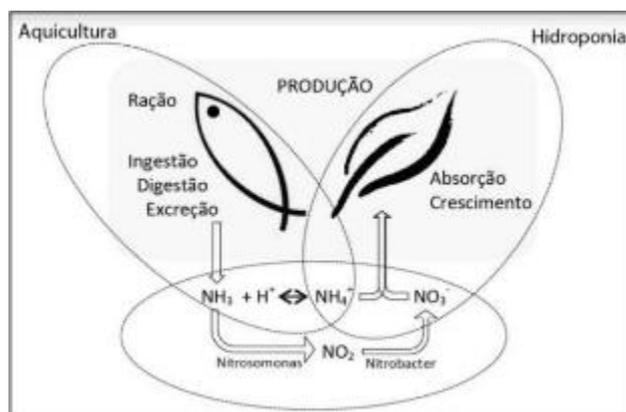


Figura 1 - Interações no sistema de aquaponia de seus componentes biológicos
Fonte: Carneiro (2015)

1.3 Parâmetros da qualidade da água

1.3.1 pH

Por envolver três organismos muito distintos, o pH é um dos pontos críticos em um sistema aquapônico, sendo necessário encontrar uma faixa que atenda todos de maneira apropriada (CARNEIRO *et al.*, 2015). De acordo com Somerville e colaboradores (2014), para as plantas, faixas de pH que estão fora de suas exigências, acarretam em dificuldade em assimilar nutrientes. As bactérias nitrificantes apresentam problemas na conversão de amônia (NH_3) quando estão em ambientes com pH que não satisfaz as suas necessidades. Para Lopes, Silva e Baldisserotto (2001), faixas de pH com valores baixos podem reduzir o crescimento dos peixes e interferir na reprodução.

Carneiro *et al.* (2015), citaram que o pH da água do sistema deve ser mantido entre 6,5 e 7,0, podendo atender as exigências dos três tipos de organismos, uma vez que o pH exigido pelas plantas é em torno de 5,5 e 6,5 e para os peixes, o pH ideal deve ser na faixa entre 7 e 9. Já as bactérias nitrificantes, que em sua grande maioria são aeróbicas, tem o pH ótimo na faixa entre 7,0 e 8,0.

É necessário fazer correção de pH de forma contínua do sistema para atender às necessidades dos três tipos de organismos. Para isso, deve-se utilizar substâncias tamponantes à base de potássio e cálcio (CARNEIRO *et al.*, 2015).

Conforme Queiroz *et al.* (2017), em casos que é necessário a redução dos níveis de pH, deve-se fazer o uso de ácidos (fosfórico e nítrico), sulfato de alumínio e vinagre.

1.3.2 Temperatura

Outro fator de grande influência para o sistema aquapônico é a temperatura. Deve-se levar em conta as espécies, tanto de plantas quanto dos peixes, na adoção de temperatura ideal do sistema (BRAZ FILHO, 2000).

De acordo com Braz Filho (2000), os peixes sofrem influência da temperatura, sendo que o seu aumento ou diminuição está diretamente ligado ao fator de crescimento dos peixes. O aumento ou queda de temperatura, fora dos limites toleráveis podem provocar dormência e estresse calórico, respectivamente, nos animais e, em último caso, pode causar até mesmo a morte.

A eficiência do biofiltro é a mais afetada pela temperatura, uma vez que a capacidade de conversão da amônia em nitrato diminui, como consequência da redução das taxas metabólicas das bactérias. Sendo assim, o intervalo indicado de temperatura para a aquaponia deve variar entre 18°C e 30°C (SOMERVILLE *et al.*, 2014).

Para a implementação de um sistema aquapônico, deve-se atentar aos meios e componentes a fim de auxiliar no controle de temperatura. Recomenda-se um local de implantação com mínima de 5h de incidência de luz, tal qual o uso de estruturas, como coberturas e estufas, que auxiliarão no controle de temperatura. Também pode-se fazer a utilização de cores escuras ou claras em tanques e área de cultivo de plantas e, por fim, se necessário, aquecedores (CASTELLANI; CAMARGO; ABIMORAD, 2009; SILVA, 2016).

1.3.3 Oxigênio dissolvido

O oxigênio é essencial para todos os três organismos encontrados no sistema aquapônico. A concentração do oxigênio dissolvido é dada por miligramas por litro de solução. No processo de nitrificação, o oxigênio é usado como reagente e sem ele, essa reação oxidante é interrompida. Para que isso não ocorra, os parâmetros de concentração

de oxigênio dissolvido devem estar entre 4 e 8 miligramas/litro e, abaixo disso, há uma redução significativa do processo de nitrificação (SOMERVILLE *et al.*, 2014).

Na produção de peixes, o consumo de oxigênio é influenciado pela temperatura da água, fase de desenvolvimento do animal e tamanho e, por fim, são utilizados como parâmetros para determinar alimentação em níveis ótimos, ou seja, o consumo de oxigênio é parâmetro constante para a alimentação (BRAZ FILHO, 2000).

Carneiro *et al.* (2015), enfatizaram que a aeração não é apenas exigida pelos peixes, mas pelas raízes das plantas também, sendo que a concentração de oxigênio dissolvido pode ser garantida com o auxílio de um sistema composto por compressores e aeradores. Como referido por Rackoy, Masser e Losordo (2007), em maiores níveis de concentração de oxigênio dissolvido na água, há maiores chances de micro-organismos considerados benéficos se fixarem nas raízes das plantas. Em contrapartida, microrganismos prejudiciais às plantas se estabelecem em suas raízes quando há baixas concentrações de oxigênio dissolvido na água.

1.4 Composição de um sistema aquapônico

1.4.1 Ambiente de criação de peixes

O ambiente de criação de peixes pode ser composto por um ou mais tanques, com dimensões e materiais variáveis (desde que não liberem substâncias tóxicas para os animais). O fluxo de água que passa pelo tanque deve possuir velocidade moderada, uma vez que esse fluxo não pode ser tão rápido, pois exige um esforço natatório dos animais e acarreta problemas em seu crescimento, sendo indicada uma velocidade de fluxo que auxilia na retirada de resíduos dos animais, evitando seu acúmulo no tanque (CARNEIRO *et al.*, 2015).

1.4.2 Filtros

1.4.2.1 Filtros mecânicos

No mercado existem vários tipos de filtros mecânicos. Como exemplo, há tanques de sedimentação, clarificadores com defletores ou filtros de areia e clarificadores de fluxo radial (SOMERVILLE *et al.*, 2014).

A necessidade do uso de filtros mecânicos é resultado do tamanho da produção de peixes no sistema aquapônico. Caso o sistema possua uma criação de peixes com valores

de biomassa abaixo de 5kg/m³, o próprio filtro biológico conseguiria capturar e degradar os resíduos. Em compensação, densidades de produção mais elevadas (acima de 10kg/m³) exigem um mecanismo para retirar com frequência resíduos sólidos. É importante que o filtro tenha uma válvula instalada em sua base para a retirada de resíduos sedimentados. Para resíduos sólidos suspensos, sua retirada deve ser feita por meio de filtros de telas ou peneiras finas. O destino dos resíduos coletados, por serem ricos em matéria orgânica, podem ser usados como adubo na agricultura. Há também a possibilidade de usar os resíduos em um biodigestor anaeróbio, visando a produção de gás que poderá ser utilizado para combustão em algum outro processo (CARNEIRO *et al.*, 2015).

1.4.2.2 Filtros biológicos

O processo de filtração biológica consiste em converter a amônia em nitrito e então em nitrato e é realizado por um biofiltro. A instalação do biofiltro deve ser entre o filtro mecânico e o ambiente em que vai cultivar os vegetais sendo que ela garante uma maior eficiência na remoção de sólidos particulados que ficaram depois da filtragem mecânica (CARNEIRO *et al.*, 2015).

A estrutura do biofiltro conta com um meio sólido contido em um recipiente em cima do qual a água de efluente já filtrada é bombeada, sendo necessário dimensionar, de forma eficaz, para a remoção da amônia e do nitrito, com pouca manutenção e que esteja integrado no sistema no qual está operando (BRAZ FILHO, 2000).

1.4.3 Ambiente de cultivos de vegetais

O ambiente de cultivos vegetais possui várias possibilidades quanto a sua configuração. Os três tipos de ambientes mais comuns são: cultivo em bandejas flutuantes, cultivo em canaletas e cultivo em substrato.

O cultivo em bandejas flutuantes ou DWC (*Deep Water Culture*) é preferível em sistemas de média e grande escala. A característica desse sistema é o grande volume de água contido, resultando numa maior estabilidade no controle da temperatura e do pH. As placas de poliestireno possuem orifícios com espaçamentos entre si, onde as plantas utilizadas (geralmente folhosas) são apoiadas. Por fim, as raízes ficam submersas o tempo inteiro, fazendo necessário a presença de uma fonte de aeração (CARNEIRO *et al.*, 2015).

O NFT (*Nutrient Film Technique*), ou cultivo em canaletas, é o método mais utilizado no mundo para a produção em hidroponia. As raízes das plantas ficam em contato com a água que possui nutrientes, de forma que ficam embebidas pela solução parcialmente. As canaletas ficam dispostas em bancadas de maneira que tenha um desnível de 8% a 12%, para a passagem da água por gravidade (CARNEIRO *et al.*, 2015).

O ambiente de cultivo em substrato (*media-filled bed*) é uma alternativa para a produção com baixa densidade de peixes. É necessário utilizar substrato, uma vez que ele irá servir como um suporte para os vegetais e também como filtro biológico, uma vez que as bactérias também o utilizam como suporte. Os materiais que podem ser utilizados como suporte são: argila expandida, areia grossa, perlita, pedra brita e outros. Materiais com partículas muito pequenas não são recomendados (SOMERVILLE *et al.*, 2014).

1.4.4 Componentes vivos do sistema

1.4.4.1 Organismos aquáticos

Diversas espécies de peixes podem ser introduzidas na aquaponia. Uma das espécies mais populares do mundo é a tilápia e é muito utilizada para sistemas de criação na aquicultura. Resistente a patógenos, parasitas e ao manejo, essa espécie tolera temperaturas entre 16°C e 30°C, porém, elas não crescem e nem se alimentam quando se encontram em ambientes com temperaturas abaixo de 17°C. É recomendado que a criação de tilápias seja feita em regiões que não tenham um inverno tão rigoroso ou que o sistema de criação forneça água aquecida para esses animais. Por fim, a temperatura ótima para o crescimento e desenvolvimento do animal seja entre 27°C e 30°C (SOMERVILLE *et al.*, 2014).

1.4.4.2 Vegetais

Atualmente, existe um leque de vegetais que podem ser cultivados em ambiente aquapônico. Espécies de plantas que foram adaptadas a hidroponia são uma possibilidade para a aquaponia. As espécies mais utilizadas são os vegetais folhosos, como agrião, rúcula e alface, podendo também utilizar pepino, tomate, morango, entre outras. Para o sucesso do sistema, é recomendado atender as necessidades e limitações dos vegetais como aeração, nutrição, temperatura, radiação solar e espaçamento (CARNEIRO *et al.*, 2015).

A alface (*Lactuca sativa* L.) é classificada como uma hortaliça folhosa que possui um elevado valor comercial e apresenta alto teor de vitaminas e minerais. É sensível às condições climáticas, como luminosidade, temperatura e concentração de dióxido de carbono (BEZERRA *et al.*, 2011).

Deve-se levar em consideração que a alface tem a sua produção favorecida em ambientes com faixas de temperatura entre 15 e 25°C (CANAL RURAL, 2019).

1.5 Arduino

Com a necessidade de facilitar a automatização de processos, uma nova tecnologia surgiu e vem ganhando espaço pela sua fácil utilização. O Arduino é um microcontrolador versátil e que aprimora funções, como controlar dispositivos que interagem com o ambiente e para a aquisição de dados, sendo assim, se necessário, uma tomada de decisão. Esse dispositivo é uma plataforma de *hardware open source*, onde o desenvolvimento dos programas de controle é de acesso livre e gratuito (SOUZA *et al.*, 2011).

Segundo Souza *et al.* (2011), a linguagem de programação desse dispositivo é baseada em C/C++, onde sua entrada é dada através de sensores de medições de grandezas físicas (temperatura, som, luminosidade e outros) e, como resposta de saída, a funcionalidade de leds, motores, displays, elaborando uma gama de projetos diversificados. No mais, os projetos utilizando Arduino são mais acessíveis e podem alcançar resultados desejáveis e de fácil manuseio e manutenção.

2 Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido em uma estufa experimental, localizada nas instalações do Laboratório de Tecnologia e Sistemas de Informação (LTSI), no Departamento de Ciências Básicas (ZAB) da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP). As dimensões da estufa são de 13 x 10 metros, totalizando uma área de 130 m². A Figura 2 mostra a estufa experimental e o sistema aquapônico (Figura 3), no qual foi desenvolvido o projeto.



Figura 2 - Estufa experimental para o experimento



Figura 3- Sistema aquapônico do Laboratório de Tecnologia e Sistema de Informação

A composição do sistema aquapônico era composto de uma caixa d'água de 500 litros para o cultivo de 30 exemplares de Tilápias (*Oreochromis niloticus*), com média e desvio padrão de $350 \pm 10g$ cada, totalizando uma densidade $21kg/m^3$. Duas bombonas de 80 litros como filtros decantadores, uma caixa d'água de 350 litros como filtro biomecânico (plantas aquáticas junto com argila expandida) para a fixação das colônias de bactérias nitrificantes *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, que tem finalidade de transformar a amônia em nitrito que, por sua vez, é transformada em nitrato. O nitrato é utilizado pelas plantas para sua nutrição e crescimento.

Como suporte para implantação das hortaliças (Alface - *Lactuca sativa*) foram utilizadas duas bombonas de 200 litros cortadas ao meio, totalizando quatro camas de cultivo com substrato de argila expandida, configurando como um sistema *media-filled bed*.

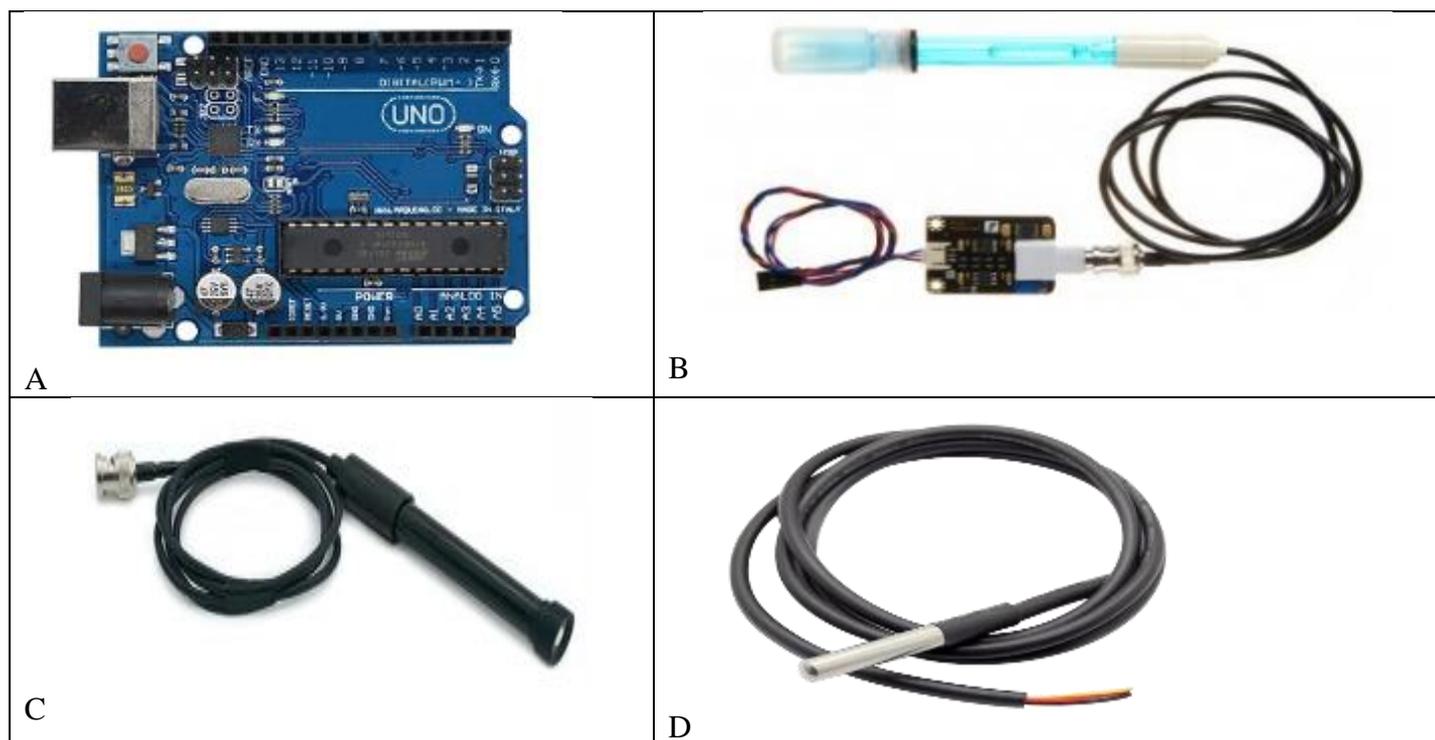
No final do sistema, utilizou uma caixa IBC (*Intermediate Bulk Container*) de 1000L cortada ao meio, com função de tanque de decantação e recepção da bomba de

água com capacidade de processamento de 4000 litros/hora, responsáveis pela recirculação da água no sistema.

No experimento foram monitoradas três variáveis ambientais de qualidade da água, que são: pH, temperatura e oxigênio dissolvido. As medições foram realizadas de forma manual e automatizada.

O sistema de automatização é composto por uma estrutura contendo um Arduino Uno R3, um sensor pH do tipo SEM 0161, sensor para e temperatura do tipo termopar e de um sensor de oxigênio dissolvido. As configurações e montagens necessárias para a implementação do sistema automatizado na aquaponia foram realizadas em conjunto com vários outros pesquisadores do Laboratório de Tecnologia e Sistema de Informação. No Quadro 1 são apresentados os equipamentos utilizados no desenvolvimento do sistema de monitoramento e controle da qualidade da água no sistema aquapônico.

Quadro 1 - Equipamentos utilizados no sistema de monitoramento e da qualidade da água em sistema aquapônico



A - Arduino Uno R3 Fonte: <https://www.saravati.com.br/ArduinoUnoR3>.

B - Sensor de pH do tipo SEM 0161 Fonte: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter\(SKU:_SEN0161\)](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter(SKU:_SEN0161)).

C - Sensor para oxigênio dissolvido Fonte: <https://www.cooking-hacks.com/shop/sensors/water-quality>.

D - Sensor de temperatura tipo termopar <https://www.robocore.net/sensor-ambiente/sensor-de-temperatura>.

As medições manuais dos parâmetros de qualidade da água foram feitas utilizando um medidor de pH da marca *Extech* e um de oxigênio dissolvido da marca *Lutron*, no

qual foi possível aferir também a temperatura da água. As Figuras 4 e 5 mostram os aparelhos utilizados para mensurar as variações.



Figura 4 - Medidor de oxigênio dissolvido



Figura 5 - Medidor de pH

Foram inseridas no sistema 15 mudas com 15 dias de desenvolvimento adquiridas comercialmente. A justificativa para escolha da hortaliça alface (*Lactuca sativa*), se dá por ser uma planta muito consumida e a mais popular entre as hortaliças utilizadas na gastronomia, compondo os mais variados pratos (FIGURA 6).



Figura 6 - Mudanças de alface

As medições das alfaces foram feitas com o auxílio de uma régua, semanalmente. A mensuração foi feita considerando a maior folha da muda, com o marco zero no caule próximo a raiz. A avaliação pode ser observada na Figura 7.



Figura 7 - Medição da alface

3 Resultados e Discussão

3.1 Parâmetros da qualidade da água

O delineamento experimental foi conduzido num período de 60 dias, onde as medições foram realizadas semanalmente.

A Tabela 1 apresenta os valores resultantes das medições feitas manualmente do pH, temperatura e O₂ dissolvido:

Tabela 1 - Valores resultantes das medições manuais

	Valor Médio	Valor Máximo	Valor Mínimo
pH	7,57	7,94	7,13
O2 Dissolvido	7,5	8,7	6,7
Temperatura	26,8	31,5	21,7

Na Tabela 2 são apresentados os valores relativos a pH e temperatura da água que foram aferidos com a sonda e sensor interligados via Arduino.

Tabela 2 - Valores resultantes das medições automatizadas

	Valor Médio	Valor Máximo	Valor Mínimo
pH	7,54	7,96	7,13
Temperatura	26,77	31,50	21,69

Para as variáveis de temperatura e pH não foram observadas diferenças quando comparadas à forma de registro, seja via equipamentos ou Arduino, respectivamente.

Os valores referentes ao oxigênio dissolvido neste estudo foram aferidos somente utilizando-se equipamento convencional de medição. O Arduino para este fim não foi devidamente configurado e, não foi possível a padronização dos valores e calibração da sonda de oxigênio.

Independente da forma de monitoramento da qualidade da água, não foram observadas diferenças entre os métodos utilizados, embora que o sistema via Arduino proporciona uma facilidade em monitoramento e possibilidades de se construir um banco de dados de maneira remota (FIGURA 8)



Figura 8 - Módulo sensor de temperatura da água

Segundo Braz Filho (2000), a temperatura tem grande influência na aquaponia. Para os peixes, a temperatura interfere no crescimento dos animais e, fora dos limites considerados toleráveis, pode provocar estresse calórico, dormência e até mesmo morte. A temperatura também afeta diretamente a concentração de oxigênio dissolvido na água, prejudicando a eficiência do biofiltro.

Na aquaponia, a temperatura média de 26°C é considerada ideal e satisfaz as exigências da maioria das hortaliças e peixes (QUEIROZ *et al.*, 2017). Ao observar os valores médios obtidos manualmente e de maneira automatizada, as temperaturas satisfazem as condições exigidas.

Os valores médios de pH, obtidos tanto de maneira manual como automatizada, atendem as necessidades das bactérias nitrificantes e dos peixes. Em contrapartida, o pH foi um fator limitante para o crescimento dos vegetais, uma vez que quando esses organismos são inseridos em faixas fora do que se é exigido, eles têm dificuldade em assimilar nutrientes.

Vale ressaltar, como já dito por Carneiro *et al.* (2015), o pH exigido pelas plantas é em torno de 5,5 e 6,5, para os peixes, a faixa ideal de pH é entre 7,0 e 9,0, e para as bactérias nitrificantes, o pH ótimo deve variar entre 7,0 e 8,0. Por fim, para o funcionamento do sistema, o pH da água deve ser mantido entre 6,5 e 7,0, atendendo as exigências dos três tipos de organismos.

Segundo Somerville *et al.* (2014), os parâmetros de concentração de oxigênio dissolvido devem estar entre 4 e 8 miligramas/litro e, abaixo disso, há uma redução significativa do processo de nitrificação. Sendo assim, a concentração do oxigênio dissolvido do ambiente aquapônico em questão, atende às exigências necessárias para o desenvolvimento dos organismos vivos do sistema. Foi possível concluir também que,

apesar de atingir valores máximos de oxigênio dissolvido fora da faixa ideal, não houveram interferências na produção.

3.2 Crescimento dos vegetais

As mudas foram inseridas no sistema do tipo *media-filled bed*. O motivo para a escolha desse tipo sistema seria o design simples e ideal para iniciantes, além de um consumo baixo de energia (FIGURA 9) (SOMERVILLE *et al.*, 2014).

A média e o desvio padrão dos tamanhos em centímetros das plantas (n=15) inseridas é de $3,5 \pm 0,67$ cm, indicando uma padronização dos tamanhos. No sétimo dia de ciclo, as plantas apresentaram uma média de crescimento e desvio padrão igual a $4,4 \pm 0,80$ cm.



Figura 9 - Mudas com 1 e 7 dias, respectivamente

Com cerca de 15 dias, as alfaces apresentaram uma média e desvio padrão de $5,3 \pm 0,79$ cm. Com 21 dias, as mudas mostraram um crescimento de $6,5 \pm 0,62$ cm de média e desvio padrão, respectivamente. Com 28 e 35 dias, as médias e os desvios padrão chegaram a $7,1 \pm 0,57$ cm e $9,0 \pm 0,85$ cm, nesta ordem (FIGURA 10).



Figura 10 - Mudas com 15 e 21 dias.

Com 45 dias, as plantas apresentaram média e desvio padrão de $11,1 \pm 0,81$ cm. Aos 50 dias foi possível notar o crescimento das folhas em torno do caule, apresentando a característica de “pé”. Também, com 50 dias, a média e desvio padrão foram de $13,1 \pm 1,12$ cm (FIGURA 11).



Figura 11 - Alfaces com 45 e 50 dias

A colheita foi realizada com 60 dias e as alfaces apresentaram um crescimento médio de $14,2 \pm 1,08$ cm. Apesar do desenvolvimento, já descrito anteriormente, as plantas não atingiram um tamanho considerado ideal para os padrões de comercialização (FIGURA 12).



Figura 12 - Alface com 60 dias.

Na Figura 13, pode-se observar a linha de crescimento médio da alface (*L. Sativa*) em função do tempo de manutenção no sistema aquapônico.

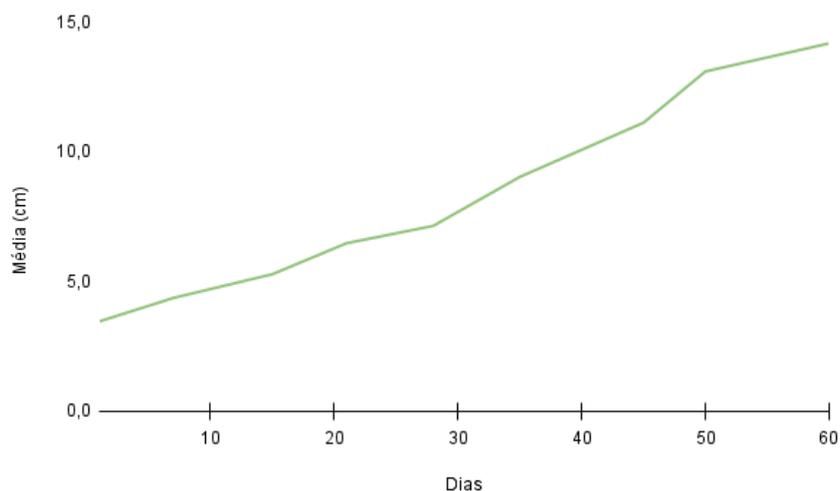


Figura 13 - Curva de crescimento da alface (*L. Sativa*) em função do tempo

Embora as variáveis da qualidade da água estivessem de acordo para manutenção e criação de peixes e cultivo de vegetais (alface), não houve um crescimento visualmente desejável comparando às maneiras de cultivo tradicional ou hidropônica. Esse fator pode ser atribuído em decorrência do pH do sistema estar fora da faixa ideal para a viabilidade do sistema, sendo necessário fazer correção. Outra possível causa que afetou o crescimento dos vegetais foi a morte dos animais do sistema, devido à queda de temperatura proveniente de um evento climático (microexplosão) ocorrido em outubro de 2021, na cidade de Pirassununga/SP.

Considerações Finais

O trabalho permite concluir que foi possível a implementação de um sistema automatizado de monitoramento da qualidade da água em um sistema aquapônico. Entretanto, ocorreram alguns percalços durante a execução deste projeto.

O Arduino é confiável para este tipo de sistema, mas a calibração de sondas e sensores e a “conversa” entre os componentes se faz necessária para um resultado fidedigno e confiável. Em suma, a automatização do sistema facilita o monitoramento para as tomadas de decisões.

Como sugestão de melhoria para o sistema, seria indicado um sensor para acionamento de aeração configurado previamente, para funcionar em três casos: o primeiro seria juntamente com o sensor de oxigênio dissolvido que, caso detectasse um valor muito abaixo do recomendado para o sistema, o aerador seria ligado. O segundo caso seria num cenário onde a bomba do sistema parasse de funcionar, o que levaria a morte dos peixes do sistema, podendo neste caso, ser acoplado um gerador e um sistema de aviso por mensagem. Por fim, a terceira situação seria esse sensor atuando no período noturno, pois há um maior consumo de oxigênio dissolvido na água por parte dos organismos vegetais.

Em relação aos vegetais cultivados no sistema, o crescimento da alface foi satisfatório, não atingindo um tamanho “ideal” comparado aos métodos convencionais, mas pode-se inferir que a manutenção deste crescimento se deu com água proveniente da criação de peixes, sem custos com insumos no desenvolvimento do vegetal.

Referências

BEZERRA, F. C. FERREIRA, F. V. M.; SILVA, T. C.; ARAÚJO, D. B. Produção de mudas de alface em Sistema Hidropônico. **Circular Técnico**, Fortaleza, n. 183, p. 1-2, 2011.

BRAZ FILHO, M. D. S. P. **Qualidade na produção de peixes em sistema de recirculação de água**. 2000. 42 f. Monografia (Especialização em Qualidade nas Empresas) - Centro Universitário Nove de Julho, São Paulo, 2000.

CANAL RURAL. **Embrapa desenvolve alface que suporta até 10 dias a mais de calor**. 2019. Disponível em:

<https://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/embrapa-desenvolve-alface-que-suporta-ate-10-dias-mais-o-calor/>. Acesso em: 17 nov. 2022.

CARNEIRO, P. C. F. MORAIS, C. A. R. S.; NUNES, M. U. C.; MARIA, A. N.; FUJIMOTO, R. Y. **Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia**. Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. (Série Documentos, 189)

CASTELLANI, D.; CAMARGO, A. F. M.; ABIMORAD, E. G. Aquaponia: aproveitamento do efluente do berçário secundário do Camarão-da-Amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) para produção de alface (*Lactuca sativa*) e agrião (*Rorippa nasturtium aquaticum*) hidropônicos. **Bioikos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 67-75, 2009.

DIVER, S. **Aquaponics**: integration of hydroponics with aquaculture. Washington, EUA: National Sustainable Agriculture Information Service, 2006. p. 1-27.

HUNDLEY, G. M. C.; NAVARRO, R. D. Aquaponia: a integração entre piscicultura e a hidroponia. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v. 3, p. 52-61, 2013.

LOPES, J. M.; SILVA, L. V. F.; BALDISSEROTTO, B. Survival and growth of silver catfish larvae exposed to different water pH. **Aquaculture International**, v. 9, p. 73-80, 2001.

LOVE, D. C.; FRY, J. P.; LI, X., HILL, E. S.; GENELLO, L.; SEMMENS, K.; HOMPSON, R. E. Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 435, p. 67-74, 2015.

MOURA E SILVA, M. S. G.; LOSEKANN, M. E.; HISANO, H. **Aquicultura**: manejo e aproveitamento de efluentes. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2013.

QUEIROZ, J. F. D.; FREATO, T. A.; LUIZ, A. J. B.; ISHIKAWA, M. M.; FRIGHETTO, R. T. S. **Boas práticas de manejo para sistemas de aquaponia**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2017.

RACKOY, J.; MASSER, M.; LOSORDO, T. Ten Guidelines for Aquaponic Systems. **Aquaponics Journal**, v. 46, p. 14-17, 2007.

SILVA, C. E. V. D. **Montagem e operação de um sistema de aquaponia: um estudo de agricultura urbana para produção de jundiá (*Rhamdia quelen*), tilápia (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*)**. 2016. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Aquicultura) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SOMERVILLE, C.; COHEN, M.; PANTANELLA, E.; STANKUS, A.; LOVATELLI, A. **Small-scale aquaponic food production**: integrated fish and plant farming. Rome: FAO, 2014. (Fisheries and Aquaculture Technical Paper, n. 589).

SOUZA, A. R.; PAIXÃO, A. C.; UZÊDA, D. D.; DIAS, M. A.; DUARTE, S.; AMORIM, H. S.; A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, 1702-1707, 2011.