

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

NATÁLIA DE SOUZA PIRES COSTA

MATURAÇÃO DE BIOFILTROS EM RAS UTILIZANDO DIFERENTES
MÍDIAS FILTRANTES

ALEGRE
ESPÍRITO SANTO
2023

NATÁLIA DE SOUZA PIRES COSTA

MATURAÇÃO DE BIOFILTROS EM RAS UTILIZANDO DIFERENTES
MÍDIAS FILTRANTES

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Zootecnia do Centro de Ciências
Agrárias e Engenharias da
Universidade Federal do Espírito
Santo, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Zootecnia. Orientadora: Profa. Dra.
Taís da Silva Lopes

ALEGRE
ESPÍRITO SANTO

2023

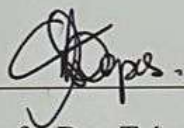
NATÁLIA DE SOUZA PIRES COSTA

MATURAÇÃO DE BIOFILTROS EM RAS UTILIZANDO DIFERENTES
MÍDIAS FILTRANTES

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Zootecnia.

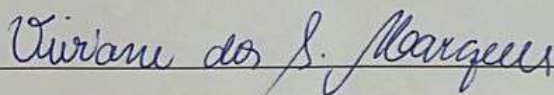
Aprovado em 13 de dezembro de 2023

Comissão examinadora



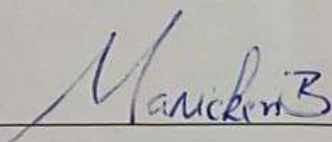
Profª. Dra. Taís da Silva Lopes

Universidade Federal do Espírito Santo



Mestranda em agroquímica Viviane dos Santos Marques

Universidade Federal do Espírito Santo



Profª. Dra. Mariana Ricken Barbosa

Universidade Federal do Espírito Santo

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha querida mãe, Maria, que trabalhou muito durante todos esses anos para que eu tivesse a oportunidade de me dedicar aos meus estudos, graças ao seu amor, confiança e apoio tive sabedoria para chegar até aqui. Obrigada pela sua fé em mim, e por todos os seus esforços para me dar a melhor educação. Todas as minhas conquistas são para você.

*“E não nos cansemos de fazer o bem, pois no tempo próprio
colheremos, se não desanimarmos.” Gálatas 6:9*

AGRADECIMENTOS

Expresso minha gratidão a Deus pela oportunidade de concluir a graduação em Zootecnia. Agradeço por guiar-me até aqui, abençoar minhas escolhas e por conceder-me a força e sabedoria necessárias para alcançar meus propósitos;

Agradeço à minha mãe e ao meu irmão Philipe por todo o amor, incentivo e esforço para estarem presentes nos momentos mais importantes da minha vida. Muitas vezes, viajando por horas para estarem ao meu lado;

A minha família e amigos, que sempre torceram por mim e, de diversas maneiras, contribuíram para o meu percurso durante a graduação;

Aos professores que, ao compartilharem seu conhecimento, despertaram em mim a paixão pela zootecnia;

Agradeço à minha orientadora, Taís, pelo tempo dedicado ao meu aprendizado, sempre com carinho e paciência;

Aos amigos que fiz ao longo da graduação, que foram essenciais na minha jornada, sendo minha família longe de casa;

A todos da equipe Aquali, por toda parceria e companheirismo.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o processo de maturação de diferentes filtros biológicos utilizados em sistemas de recirculação em aquicultura. Para isso, foram utilizados seis biofiltros distintos como tratamentos: A100 (100% argila), A70B30 (70% argila e 30% brita 0), A30B70 (30% argila e 70% brita 0), A50C50 (50% argila e 50% casca de ovo), CN - controle negativo (sem substrato) e CP – controle positivo (mídia comercial - MBBR3), com 3 repetições, totalizando 18 unidades experimentais. O monitoramento dos parâmetros de qualidade da água, como temperatura, oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e alcalinidade, ocorreu nos dias 16, 22 e 30 após início do processo de maturação, a fim de verificar as condições ideais para desenvolvimento das bactérias nitrificantes. Foram coletadas amostras de água da entrada e saída de cada biofiltro para análises de amônia, nitrito e nitrato, a fim de verificar a capacidade filtrante após a maturação. Os resultados obtidos possibilitaram monitorar as condições do processo de maturação dos filtros biológicos ao longo de 30 dias, nos diversos tratamentos. Indicam, assim, que todos os tratamentos proporcionaram condições propícias para o desenvolvimento das bactérias nitrificantes. Além disso, avaliou-se a eficiência do processo de nitrificação, sendo que o CN apresentou a maior concentração de amônia no sistema (entrada e saída do biofiltro); o CP demonstrou maior concentração de nitrito na entrada, mas não diferiu dos demais tratamentos na saída dos biofiltros. Quanto ao nitrato, composto resultante do processo de nitrificação, observou-se que apresentou maiores concentrações, porém sem diferenças significativas entre os tratamentos. Desta forma, concluímos que os biofiltros utilizados nos sistemas de recirculação proporcionaram condições ideais para o desenvolvimento das bactérias nitrificantes, assegurando o processo de maturação em 30 dias.

Palavras-chave: nitrificação, aquicultura, qualidade da água.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTAS DE FIGURAS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Aquicultura	2
2.2 Sistemas de recirculação de água (RAS).....	3
2.3 Biofiltros.....	4
2.3.1 Mídias filtrantes.....	5
2.4 Bactérias	8
2.4.1 Nitrificação	8
2.4.2 Desnitrificação.....	9
2.4.3 Amonificação.....	9
2.5 Maturação.....	9
2.6 Parâmetros de qualidade da água	10
3. METODOLOGIA	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5. CONCLUSÃO	23
6. REFERENCIAS	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Identificação e composição dos tratamentos, de acordo com a mídia filtrante utilizada.	15
Tabela 2. Parâmetros de qualidade da água medidos e respectivos equipamentos utilizados... 16	
Tabela 3. Concentrações de amônia (mg/L), nitrito (mg/L) e nitrato mg/L) na entrada e saída dos biofiltros após 30 dias de maturação.....	21

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de RAS: unidades constituintes do sistema.	4
Figura 2. Mídias filtrantes utilizadas.	6
Figura 3. Unidades experimentais do sistema de recirculação em aquicultura (RAS).....	15
Figura 4. Médias de temperatura (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L) em seis tratamentos aos 16, 23 e 30 dias.	17
Figura 5. Sólidos totais dissolvidos (ppm) e condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) em seis tratamentos, aos 16, 23 e 30 dias.....	18
Figura 6. Alcalinidade (mg/L) e potencial hidrogeniônico (pH) em seis tratamentos aos 16, 23 e 30 dias.	20
Figura 7. Relação entre as concentrações dos compostos nitrogenados na entrada (A) e saída (B) dos tratamentos (biofiltros) ao final do período de maturação.....	22

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura é uma das atividades do agronegócio que mais cresce, tanto no Brasil quanto no mundo (Peixe BR, 2022). Devido a necessidade de minimizar o impacto ambiental e promover a sustentabilidade, os sistemas de recirculação de água (RAS – *Recirculating Aquaculture Systems*) têm se destacado entre os sistemas produtivos em aquicultura (Timmons; Ebeling, 2013). Aliado a isso, esse sistema promove o reuso da água, reduzindo o consumo e os resíduos gerados pela aquicultura (Lima *et al.*, 2013).

Um dos componentes essenciais dos RAS são os filtros biológicos, responsáveis pela remoção de contaminantes orgânicos e inorgânicos presentes na água (Kubitza, 2014). Durante a operação desses filtros, ocorre o estabelecimento de uma comunidade microbiana capaz de degradar esses poluentes (Eding *et al.*, 2011). No entanto, é necessário um período de maturação para que essa comunidade se desenvolva plenamente e atinja sua máxima eficiência (Burford *et al.*, 2003).

Segundo Kubitza (2006), durante a maturação dos filtros, ocorre a colonização por microrganismos responsáveis pela degradação dos compostos orgânicos prejudiciais aos peixes. Esses microrganismos são conhecidos como bactérias nitrificantes. As principais espécies envolvidas nesse processo são as *Nitrosomonas* e as *Nitrobacter*. As *Nitrosomonas* são bactérias aeróbicas que convertem a amônia em nitrito, por meio da enzima amônio monooxigenase. Já as *Nitrobacter* são bactérias aeróbicas estritas que convertem o nitrito em nitrato, utilizando a enzima nitrito oxidase (Másmela *et al.*, 2019).

O processo de maturação dos filtros nada mais é que o estabelecimento e propagação dessas bactérias, de modo a se tornarem capazes de lidar com as cargas de amônia e nitrito geradas pela atividade dos peixes, mantendo a qualidade da água e o bem-estar dos organismos aquáticos.

Com base em uma consulta realizada na base de dados Science Direct (2023), identificou-se uma escassez de trabalhos relacionados ao processo de maturação em biofiltros de RAS, totalizando apenas 9 estudos disponíveis. Diante dessa limitação, o presente experimento foi conduzido com o objetivo de avaliar a maturação, em um período de 30 dias, de diferentes filtros biológicos e sua influência na presença de compostos nitrogenados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aquicultura

A aquicultura, que inclui a produção de peixes, crustáceos e moluscos, tem crescido significativamente em todo o mundo nas últimas décadas, respondendo à crescente demanda por proteína animal (SEBRAE, 2022). No Brasil, a aquicultura é uma indústria em expansão, sendo o país o quarto maior produtor mundial de tilápia, espécie que representa 64% da produção do país (Peixe BR, 2023).

De acordo com o Relatório da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) sobre o Estado Mundial da Pesca e Aquicultura (SOFIA), os alimentos aquáticos representam uma contribuição cada vez mais crítica para a segurança alimentar e nutricional no século XXI. O crescimento da pesca e da aquicultura é vital em nossos esforços para acabar com a fome e a desnutrição globais, visto que, a aquicultura é a mais rápida das atividades agropecuárias em termos de resultados produtivos, e uma das poucas capazes de responder com folga ao crescimento populacional (FAO, 2022).

Segundo a Associação Brasileira de Piscicultura (Peixe BR), como resultado do aprimoramento de toda a cadeia produtiva, e da dedicação para estimular o cultivo sustentável dessa proteína, a produção brasileira de peixe de cultivo chegou a 860.355 toneladas. Esse número representa aumento de 2,3% sobre as 841.005 toneladas produzidas em 2021 (Peixe BR, 2022).

A piscicultura no Brasil está em seus estágios iniciais, sendo gerida de maneira profissional. Ele destaca que o setor está apenas começando no país, com três décadas consecutivas de crescimento. Além disso, existe uma grande expectativa em relação ao espaço que o peixe produzido localmente pode conquistar no mercado internacional (Peixe BR, 2023).

Segundo Timmons e Ebeling (2013), os sistemas convencionais de aquicultura se tornarão insustentáveis a longo prazo, tanto por problemas ambientais como por biossegurança. Dessa forma para aumentar a produção de alimentos em uma mesma dimensão de área é necessária a intensificação sustentável, a fim de reduzir os impactos ambientais. Nesse sentido, outros modelos de produção surgem de forma a atender a demanda por sustentabilidade, entre eles os sistemas de recirculação para aquicultura, conhecidos pela sigla em inglês, RAS “Recirculating Aquaculture Systems” (Owatari *et al.*, 2016).

As principais tendências neste setor incluem a adoção responsável de práticas de cultivo, com ênfase em sistemas com baixo consumo de água, e reaproveitamento dos nutrientes gerados

pela produção (Embrapa, 2021). A constante busca em obter técnicas eficientes, de baixo custo, para garantir a qualidade da água, sustentabilidade e a preservação dos recursos hídricos no cultivo de pescado, mostra-se indispensável para que a aquicultura se desenvolva de forma responsável (Sá *et al.*, 2021).

2.2 Sistemas de recirculação de água (RAS)

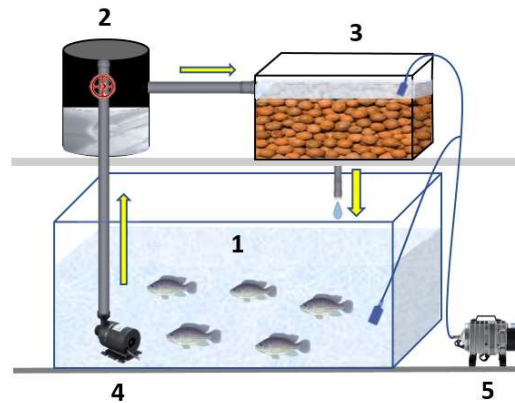
Os sistemas de recirculação de água (RAS) são uma tecnologia importante na aquicultura moderna. Eles permitem a criação de organismos aquáticos em ambientes controlados e fechados, reduzindo a dependência da água de fontes naturais. Os RAS reciclam e purificam a água continuamente, minimizando o desperdício de água e a poluição ambiental. Esses sistemas são altamente eficientes e adequados para produção em áreas com recursos hídricos limitados (Lima *et al.*, 2015).

O RAS é um sistema que possibilita o controle dos parâmetros da qualidade da água, como pH, amônia, nitrito, turbidez, temperatura e oxigênio dissolvido. Além disso, proporciona um acompanhamento mais preciso dos peixes, monitorando seu ganho de peso diário e possíveis patologias, facilitando a correção dos parâmetros da água quando necessário (Lima, *et al.*, 2015). Segundo Kubitza (2006), o êxito na operação de um sistema de recirculação depende, em grande medida, da implementação de uma estratégia eficaz e econômica para o tratamento da água, bem como da adoção de práticas apropriadas na condução do cultivo.

2.2.1 Componentes do sistema de recirculação

Um sistema de recirculação possui seis componentes fundamentais. Equipamentos adicionais podem ser inseridos junto aos componentes principais para melhorar a eficiência de recomposição da qualidade da água e, assim, otimizar a produção do sistema (Kubitza, 2006). Estes componentes são: 1. tanques de cultivo; 2. decantadores e/ou filtros mecânico; 3. biofiltros; 4. sistema de bombeamento; 5. sistema de aeração/oxigenação que inclui tubulações de drenagem/retorno (Figura 1); e 6. unidade de quarentena. Dentre esses componentes, os biofiltros assumem um papel de destaque, sendo reconhecidos como o componente mais importante do RAS.

Figura 1. Modelo de RAS: unidades constituintes do sistema.



1-Tanque de criação; 2- Filtro mecânico; 3- Biofiltro; 4- Sistema de bombeamento (bomba submersa); 5- Soprador que abastece o sistema de aeração. FONTE: Marques et al., 2023.

2.3 Biofiltros

Os filtros biológicos desempenham um papel fundamental nos sistemas RAS. Eles são projetados para abrigar uma comunidade de microrganismos, especialmente bactérias nitrificantes, que convertem compostos orgânicos e inorgânicos tóxicos, como amônia e nitrito, em formas menos prejudiciais, como nitrato (Kubitza, 2006).

Nos biofiltros as bactérias oxidam a amônia à nitrato. Geralmente os biofiltros devem ser projetados para receber todo o fluxo de água que passa pelo RAS, e há diversos modelos de biofiltros que podem ser usados. Em geral, o biofiltro consiste em um compartimento (tanque, gaiola ou cesto, caixa d'água etc.) que é preenchido com um substrato, o que possui área de superfície adequada para a fixação das bactérias nitrificantes (Kubitza, 2022).

Segundo Kubitza (2006), o biofiltro deve ser adequadamente dimensionado para suportar a taxa de alimentação planejada para o sistema, de modo que a nitrificação ocorra a taxas mais rápidas, ou no mínimo iguais, a taxa de produção de amônia do sistema. Isso previne o acúmulo da amônia na água e seus consequentes prejuízos ao desempenho e a saúde dos peixes. Pode-se observar, em biofiltros avaliados em sistemas de recirculação com peixes, que a capacidade de remoção dos compostos nitrogenados varia de acordo com o substrato utilizado, sendo cerca de 0,2 a 0,6g de amônia/m² de área de contato do substrato no interior do biofiltro (Kubitza, 2006).

Sendo assim, a eficiência dos filtros biológicos e dos processos de nitrificação em sistemas de recirculação de água está intimamente ligada aos tipos de mídias de suporte biológico utilizados para a adesão de bactérias. É crucial que as mídias utilizadas proporcionem

uma área superficial mais ampla, o que possibilita um maior crescimento bacteriano por unidade de volume nos filtros. Isso, por sua vez, resulta em uma maior eficiência na eliminação de compostos nitrogenados (Lekang; Kleppe, 2000).

De acordo com Kubtiza (2006), os filtros biológicos podem ser compostos por inúmeros tipos de substrato, sendo mais comum a utilização de areia grossa, cascalho, brita e esfera plástica, que oferecem uma superfície para o crescimento das bactérias nitrificantes. A maturação desses filtros, por sua vez, é um processo crítico, cujo desafio é permitir que a população de bactérias nitrificantes alcance níveis suficientemente alto, para que sejam capazes de lidar com as cargas de poluentes geradas pelos organismos aquáticos (Kuhn *et al.*, 2010).

Neste sentido, o uso de diferentes substratos, como biofiltros, tem como função fornecer material que melhor proporcione ambiente capaz de manter os parâmetros ideais da água utilizada na produção de peixes. O uso de substratos não comerciais, como brita, argila expandida e até outros materiais alternativos, em sistemas de recirculação de água, vem sendo amplamente adotado, e mostram-se capazes de promover condições ideais para as bactérias nitrificantes e, reduzem os custos de implantação do sistema, pois trata-se de materiais de baixo ou nenhum custo (Pedreira, 2016).

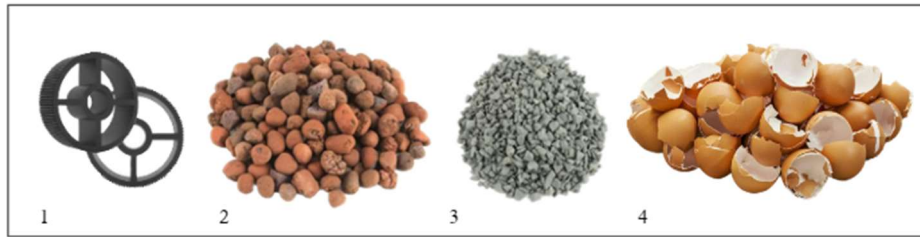
2.3.1 Mídias filtrantes

Os materiais suporte, também conhecidos como mídias filtrantes, de um biofiltro são frequentemente avaliados e comparados pela quantidade total de área superficial disponível por metro cúbico de mídia. Cada tipo de substrato possui uma superfície específica, que nada mais é do que a superfície de contato disponível para a fixação das bactérias (expressa em m^2) para cada metro cúbico de volume do substrato (Kubitza, 2006).

No entanto, calcular as taxas de nitrificação com base na área superficial teórica muitas vezes pode ser enganoso, uma vez que o biofilme que se forma sobre as mídias tem a capacidade de alterar as características dessas estruturas e criar uma nova área superficial. Isso resulta na redução da área disponível para as bactérias nitrificantes (Guerdat *et al.*, 2010).

Conhecer as características específicas dessas mídias são de fundamental importância para o dimensionamento do biofiltro, combinação entre diferentes substratos, bem como planejamento dos custos de implantação de um RAS. Na Figura 2 estão representados os substratos que serão abordados neste trabalho.

Figura 2. Mídias filtrantes utilizadas.



1) Mídia comercial MBBR3; 2) Argila; 3) Brita; 4) Casca de ovo. FONTE: Próprio autor.

2.3.1.1 Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR3)

A mídia comercial Reator Biológico com Leito Móvel, também conhecido como “Moving Bed Biofilm Reactor” MBBR3 destaca-se pela sua elevada especificidade para biofilme, garantida pela incorporação da inteligência biológica à peça. Essa inteligência é conferida por um conjunto exclusivo de características intrínsecas, capazes de catalisar a formação de um biofilme maduro e biocompetente, sem a necessidade de aumentar a taxa de carregamento (características fornecidas pelo fabricante).

A nanomídia MBBR3 foi projetada considerando o potencial iônico, material, geometria, topografia da superfície, grau de robustez/dureza, densidade e espessura, influenciando diretamente as características de um biofilme ideal (características fornecidas pelo fabricante).

A mídia comercial MBBR3 é caracterizada por seu diâmetro de 16 mm e altura de 6 mm, destaca-se como uma solução versátil para diversas aplicações no âmbito de aquicultura e de tratamento de água. Sua aplicação abrange desde aquários de água doce ou salgada até lagos e filtros compactos, sendo eficaz em Biofiltros Aerados submersos ou fixos. Projetada para realizar o tratamento biológico e a retenção de sólidos, essa mídia apresenta 545.000 peças por metro cúbico, com uma área de superfície específica de $985 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (características fornecidas pelo fabricante).

Com um peso variando de $0,96 \text{ g}/\text{cm}^3$ a $1,00 \text{ g}/\text{cm}^3$, a MBBR3 é construída com material de alta durabilidade, composto por polipropileno, aditivo HD e tratamento UV. Além disso, destaca-se por sua resistência a temperaturas entre 15°C a 90°C , assegurando um desempenho consistente em diversas condições ambientais. Sua durabilidade é estimada em 25 a 30 anos, o que a confere longa vida útil (características fornecidas pelo fabricante).

2.3.1.2 Argila expandida

A argila expandida é um produto de argila, seco e expandido, em formato de pequenas esferas. Alguns relatos na literatura indicam que a área de superfície específica da argila expandida varia entre 500 e 1000 m²/m³, suficiente para nitrificação, porém pequena quando comparada a outras mídias. A argila expandida é um material de baixo custo de implantação, sendo o seu uso bastante difundido como biofiltro (Owatari *et al.*, 2016).

Segundo Metcalf e Eddy (2003), a argila expandida reduz a ocorrência de colmatação no sistema e melhora sua eficiência de tratamento, devido à sua elevada porosidade e área de superfície específica. Essas características propiciam uma maior adesão do biofilme bacteriano. Albuquerque *et al.* (2010) verificaram altas taxas de remoção para amônia, sólidos totais suspensos e demanda química de oxigênio com uso de argila expandida, quando em comparação com a brita.

2.3.1.3 Brita

Ainda se tratando da filtragem de sólidos, há a possibilidade de um filtro para partículas em suspensão ser feito de camadas de britas (Kubitza, 2006). A brita é obtida a partir da trituração de rochas. Segundo a Norma NBR 7211 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os diferentes tipos de brita são classificados de acordo com a sua granulometria, ou seja, o tamanho dos grãos. Assim, temos o pó de brita e as britas 0, 1, 2, 3 e 4. A brita 0 (ou pedrisco), possui granulometria de 4,8 mm a 9,5 mm.

A superfície específica da brita pode variar em função do tamanho das partículas e da textura da superfície. Em geral, quanto menor o tamanho das partículas ou mais irregular a superfície desse material, maior será a superfície específica (Lang *et al.*, 2006). É importante que o meio filtrante tenha uma grande área superficial, onde o biofilme possa crescer. Uma área maior permite que mais bactérias cresçam por unidade de volume de meio filtrante e resulta em maior remoção de amônia por unidade de volume de filtro (Lekang; Kleppe 2000).

Por outro lado, a presença de brita nos filtros biológicos influencia a alcalinidade. A brita, por ser uma rocha composta principalmente por carbonato de cálcio, pode contribuir para o aumento da alcalinidade da água ao liberar íons carbonato e bicarbonato durante o processo de dissolução. Essa reação química altera as características da água, tornando-a mais alcalina (Rocha, 2022). Essa é uma característica interessante, visto que a alcalinidade confere o poder tampão do pH, que deve oscilar o mínimo possível para garantir o ambiente adequado para as bactérias nitrificantes, e mesmo para os organismos aquáticos cultivados (Rodrigues *et al.*, 2013).

2.3.1.4 Casca de ovo

A casca de ovo é uma fonte natural de minerais, composta em 94% de carbonato de cálcio, com pequenas quantidades de fosfato de cálcio e carbonato de magnésio e matéria orgânica (Figueira, 2014). Liberados gradualmente ao longo do tempo, esses minerais soltos na água podem atuar como tamponadores, ajudando a manter o pH estável e, consequentemente, influenciando indiretamente a alcalinidade.

Apesar de suas características interessantes, a casca de ovo ainda não é considerada uma mídia filtrante. Isso pode ser atribuído à falta de estudos sobre seu potencial, bem como à ausência de protocolos de tratamento adequados para evitar a contaminação por bactérias indesejáveis.

2.4 Bactérias

As bactérias desempenham um papel vital na maturação dos filtros biológicos em RAS. Duas espécies principais de bactérias estão envolvidas nesse processo: o gênero *Nitrosomona*, que convertem a amônia em nitrito; e *Nitrobacter*, que transformam o nitrito em nitrato. O RAS depende dessa comunidade microbiana, nitrificante e desnitrificante, diversificada que habita biofiltros. Elas são responsáveis pelos processos de oxidação dos compostos nitrogenados restantes no sistema (Van Rijn, 2013; Yep; Zheng, 2019).

Durante a maturação, essas bactérias colonizam os filtros biológicos e se multiplicam, formando uma comunidade microbiana. A maturação dos filtros não é um processo automático e requer condições ambientais controladas, incluindo temperatura, pH, alcalinidade e oxigênio dissolvido, para garantir que as bactérias nitrificantes se desenvolvam plenamente e atinjam sua máxima eficiência (Kuhn *et al.*, 2010).

2.4.1 Nitrificação

A nitrificação é um processo microbiológico que envolve a oxidação da amônia, resultando no nitrato como produto. Para que essa transformação ocorra, é essencial a presença de bactérias específicas, e o processo é dividido em duas etapas distintas. Na primeira etapa, conhecida como nitritação, a amônia é oxidada para nitrito por meio da atividade bioquímica das bactérias do gênero *Nitrossomonas*. Na segunda etapa, denominada nitratação, o nitrito é oxidado por bactérias do gênero *Nitrobacter*. Ambos os gêneros de bactérias são classificados

como aeróbios obrigatórios, o que significa que realizam suas atividades apenas em ambientes com oxigênio dissolvido (Sá *et al.*, 2021).

Segundo Owatari (2022), as bactérias nitrificantes convertem principalmente a amônia em nitrato (NO₃). A transformação de compostos nitrogenados ocorre em comunidades microbianas distintas e diversificadas de bactérias, capazes de oxidar amônia e nitrito, podendo ser mais abundantes em biofiltros de nitrificação.

2.4.2 Desnitrificação

A desnitrificação, por outro lado, é o resultado da redução (ganho de elétrons) do nitrato e outros óxidos de nitrogênio até a forma de nitrogênio molecular (N₂). O nitrato assume o papel de receptor de elétrons no lugar do oxigênio molecular. Este processo ocorre principalmente em condições anaeróbias, e é importante pois remove o nitrogênio do ambiente após ter sido fixado pelos organismos (Rodrigues *et al.*, 2013).

Em comparação com os organismos nitrificantes, os desnitrificantes são menos sensíveis aos fatores ambientais. No entanto, é importante destacar que algumas condições devem ser atendidas para garantir uma eficiência adequada no processo. O oxigênio dissolvido é um parâmetro que requer controle, pois a presença dele pode interromper a desnitrificação. Outro aspecto a ser observado é a alcalinidade, uma vez que o processo de desnitrificação pode resultar em aumento do pH, sendo a faixa ótima para os microrganismos entre 7 e 8. Além disso, a temperatura é um fator que influencia a velocidade da desnitrificação (Sá *et al.*, 2021).

2.4.3 Amonificação

A amonificação refere-se à redução do nitrogênio particulado presente em substâncias orgânicas heterotróficas, como na decomposição de organismos mortos. O nitrogênio inorgânico é devolvido no ambiente a partir da matéria orgânica, resultante de processos como autólise, putrefação e decomposição de material biológico, sendo a amônia a forma predominante do nitrogênio nesse contexto. Este processo pode ocorrer tanto em condições aeróbias quanto anaeróbias (Rodrigues *et al.*, 2013).

2.5 Maturação

O período de maturação dos filtros biológicos pode variar dependendo de diversos fatores, incluindo o tipo de RAS, a espécie cultivada e as condições ambientais. Em geral, Kuhn *et al.* (2010), afirmam que esse processo pode levar um tempo relativamente longo (4 a 8

semanas) para estabelecer uma população saudável e viável de bactérias oxidantes de amônia e nitritos. Durante esse período, a população microbiana se adapta às condições do sistema, aumentando sua diversidade e atividade metabólica.

É importante ressaltar que a maturação dos filtros biológicos não ocorre de forma automática e requer cuidados específicos. Um controle adequado dos parâmetros de operação, como pH, alcalinidade, temperatura e oxigênio dissolvido, é essencial para proporcionar condições favoráveis ao desenvolvimento das bactérias nitrificantes (Kuhn *et al.*, 2010).

Uma vez que os filtros biológicos atinjam a maturação completa, eles serão capazes de remover eficientemente os poluentes da água, mantendo a qualidade necessária para o cultivo dos organismos aquáticos. Essa etapa é fundamental para o sucesso e a viabilidade dos RAS, contribuindo para a redução do consumo de água e a minimização dos impactos ambientais (Bracino *et al.*, 20020).

2.6 Parâmetros de qualidade da água

Os parâmetros físicos constantemente monitorado em RAS são: temperatura, sólidos totais dissolvidos (TDS) e condutividade elétrica (CE); enquanto os parâmetros químicos são: oxigênio dissolvido, pH, alcalinidade, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato (Ferreira *et al.*, 2005). Conhecer a faixa ideal de tolerância de cada parâmetro é de fundamental importância, uma vez que o sistema fechado possibilita a manipulação desses parâmetros, permitindo intervenções rápidas em casos de oscilações fora da faixa aceitável, durante o cultivo (Owatari *et al.*, 2022).

2.6.1 Temperatura

Além do metabolismo dos peixes, a temperatura influencia outros fatores como alguns parâmetros de qualidade da água, desenvolvimento de micro-organismos, disponibilidade de nutrientes e toxicidade de contaminantes, sendo importante seu constante monitoramento na piscicultura (MORO *et al.*, 2013).

A temperatura também desempenha um papel crítico, uma vez que influencia diretamente o crescimento e a atividade das bactérias nitrificantes. A faixa de temperatura adequada varia de acordo com as espécies de bactérias presentes, sendo a faixa de temperatura para a cultura de *Nitrosomonas* entre 30 e 36°C, com crescimento ótimo em 35°C, e para a cultura de *Nitrobacter* variando de 8 a 28°C, com crescimento ótimo em 28°C (Nocko, 2008).

2.6.2 Oxigênio dissolvido

Segundo Kubitza (2017), o oxigênio dissolvido, é um gás essencial à sobrevivência dos peixes e camarões e a diversos processos biológicos que ocorrem nos ambientes aquáticos. A concentração de oxigênio é o primeiro fator limitante a produção e a sobrevivência dos animais no cultivo. Logo, fica explícito a necessidade de uso de aeração para manter adequados os níveis de oxigênio na água em sistemas intensivos.

As bactérias nitrificantes são organismos aeróbicos e requerem níveis adequados de oxigênio dissolvido para sobreviver e executar suas funções metabólicas. Estudos realizados por Hidaka *et al* (2002), demonstraram que baixas concentrações de oxigênio dissolvido podem limitar parcial ou totalmente a atividade dessas bactérias.

2.6.3 Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico é o parâmetro que indica se a água possui uma reação ácida ou alcalina, condições que dependem da relação entre os íons H^+ e OH^- (Kubitza, 2017).

Valores desejáveis do pH em RAS são entre 7,0 e 8,0. Acima de 8,0 ou abaixo de 7,0 é preciso atenção. As bactérias dos biofiltros trabalham melhor com pH entre 8,0 e 8,5. O pH muito elevado ($>8,5$) aumenta demasiadamente o risco de problemas com amônia. Valores extremos de pH causam desconforto e prejudicam o desempenho dos animais. Valores abaixo de 5 e acima de 11 são letais para boa parte dos peixes (Kubitza, 2022).

O pH na água dos RAS deve ser monitorado diariamente. Isso é feito com um pHmetro ou com testes colorimétricos. (Kubitza, 2022). O pH da água é influenciado por outros parâmetros de sua qualidade, como alcalinidade e dureza.

2.6.4 Alcalinidade

A alcalinidade é um parâmetro químico que está relacionado à capacidade de uma solução neutralizar ácidos. Ela é medida pela concentração de íons carbonato e bicarbonato presentes na água (Kubitza, 2017). As bactérias nitrificantes consomem íons H^+ durante a nitrificação, e esse consumo reduz a acidez do meio, aumentando o pH e, conseqüentemente, a alcalinidade (Martins *et al.*, 2019).

Durante o período de maturação do filtro biológico de sistemas de recirculação em Aquicultura (RAS), o crescimento e atividade das bactérias nitrificantes influenciam diretamente a alcalinidade do sistema. Um processo de nitrificação bem estabelecido e eficiente

contribui para o aumento da alcalinidade, tornando o meio menos ácido e promovendo condições favoráveis para o desenvolvimento das bactérias nitrificantes (Martins *et al.*, 2019).

Nos RAS a alcalinidade deve ser mantida próxima de 80 a 100 mg de CaCO₃/litro. A respiração dos peixes e bactérias continuamente aporta gás carbônico na água. O gás carbônico tem reação ácida na água. Na transformação da amônia a nitrato (nitrificação), as bactérias usam o bicarbonato e ainda geram acidez, que também reage com a alcalinidade da água, reduzindo gradativamente seu valor. Por isso é necessário corrigir (restaurar) continuamente a alcalinidade total da água através da aplicação de cal hidratada ou de bicarbonato de sódio (Kubitza, 2022).

2.6.5 Sólidos totais dissolvidos (TDS)

Os resíduos orgânicos do sistema têm sua principal origem nos sólidos produzidos nos tanques de cultivo, que incluem fezes e restos de ração (Kubitza, 2006). A extensão do impacto das fezes sobre a qualidade da água aumenta à medida que permanecem em contato com a água do sistema por mais tempo. Assim, a instalação de um filtro mecânico eficiente é de vital importância para a remoção dos resíduos sólidos, reduzindo os efeitos adversos sobre a qualidade da água (Kubitza, 2022).

Quando presentes em excesso, os sólidos podem ocasionar modificações nas condições de luminosidade, interferindo de maneira direta no metabolismo de organismos autótrofos, pois dificultam a realização da fotossíntese, além de afetarem os organismos heterótrofos, que dependem do oxigênio produzido. Esse excesso também pode impactar adversamente a circulação eficiente do sistema, causando entupimento ou obstrução da passagem de água pelos componentes, reduzindo o tempo de circulação da água no sistema (Leira *et al.*, 2017, apud Marques *et al.*, 2023).

A presença de sólidos dissolvidos, além de se correlacionar diretamente com a cor e turbidez, está também relacionada à condutividade elétrica da água. Essa relação ocorre devido à variação da resistência da solução à passagem de corrente, que depende da temperatura da água (Leira *et al.*, 2017, apud Marques *et al.*, 2023).

2.6.6 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica indica a capacidade da água de conduzir corrente elétrica, fornecendo informações importantes sobre o metabolismo do ecossistema e ajudando a detectar

fontes poluidoras nos sistemas aquáticos e avaliando indiretamente a disponibilidade de íons e nutrientes presentes (Kubitza, 2006).

O valor estabelecido para a CE em sistemas de recirculação pode variar dependendo do tipo de espécie cultivada, da fase de crescimento dos animais e das condições específicas do sistema, é recomendado valores de 300 a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Valores abaixo dessa faixa podem indicar baixa dureza e concentração insuficiente de íons essenciais, enquanto valores acima podem indicar acumulação excessiva de sais e outros contaminantes (Rodrigues *et al.*, 2013).

2.6.7 Compostos nitrogenados

Amônia ionizada (NH_4^+) e amônia não ionizada (NH_3) são as principais formas da amônia encontradas na água, sendo a amônia não ionizada a forma mais tóxica. Ambas as formas são encontradas simultaneamente em ambientes aquáticos, porém a temperatura e o pH influenciam na forma em que a amônia será encontrada em maior concentração. A presença desses compostos na água é causada principalmente pela excreção dos peixes (urina e fezes). A concentração tóxica desses compostos fica entre 2,0 e 3,0 mg/L. Concentrações acima dessas são letais para os peixes. Rações com alta digestibilidade melhoram a qualidade da água, pois reduzem a eliminação de amônia (Sá *et al.*, 2021).

Segundo Kubitza (2022), o nitrito (NO_2^-) desempenha um papel fundamental como composto intermediário durante o processo de oxidação da amônia (NH_3) até o nitrato (NO_3^-). As bactérias pertencentes ao gênero *Nitrosomonas* são responsáveis pela oxidação do nitrito a nitrato. Em geral, a elevação dos níveis de nitrito na água é decorrente de práticas alimentares inadequadas, resultando do excesso de fornecimento de ração que não é completamente consumida, além da possibilidade de uma adubação excessiva, seja de forma isolada ou combinada (Rodrigues *et al.*, 2022). Recomenda-se manter os níveis de nitrito abaixo de 0,3 mg/l para garantir condições adequadas nos RAS, sendo que concentrações superiores a 0,5 mg/l demandam atenção especial (Kubitza, 2022).

O nitrato é o produto da oxidação da amônia pelas bactérias nitrificantes. Nos RAS, os níveis de nitrato podem chegar a valores próximos de 100 a 200 mg/l (Kubitza, 2022). A presença elevada de nitrato na água resulta de uma concentração significativa de amônia, que é convertida primeiro em nitrito e, subsequentemente, em nitrato (Rodrigues *et al.*, 2022).

Rodrigues *et al.* (2022), ressaltam que mesmo em águas com o processo de maturação estabelecido, é possível encontrar níveis elevados de amônia e nitrito. Isso se deve à capacidade das colônias de bactérias de lidar com a liberação de compostos nitrogenados até certo limite.

Portanto, quando o sistema de produção ou as práticas de manejo não são apropriados, é observado um aumento desses compostos na água.

Segundo Bregnballe (2015), é de suma importância monitorar a integração dos parâmetros a fim de assegurar uma nitrificação compatível. Para que o processo ocorra de maneira adequada, é crucial manter os níveis de pH entre 7 e 8, e a temperatura dentro da faixa de 20 a 35°C, sendo 30°C a temperatura ideal.

3. METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – Alegre no setor de Aquicultura, no Laboratório de Nutrição e Produção de Espécies Ornamentais (LNPEO), com latitude de 20°45'37.0" e longitude 41°27'04.0", entre os meses de abril e maio de 2023.

O período de maturação teve duração de 30 dias. Para tal, foram utilizados seis tratamentos (biofiltros) em sistema de recirculação de água (RAS) (Tabela 1), com três repetições cada, totalizando dezoito unidades experimentais. O tempo de coleta foi considerado um fator, uma vez que foram realizadas coletas aos 16, 23 e 30 dias, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial (6x3x3).

Cada RAS era composto por: unidade de cultivo, caixa de polietileno com capacidade de 40 L para alojar os juvenis de tilápia; filtros, caixa de 6L, sendo o filtro mecânico em recipiente interno com volume de 1L, e 4L úteis para receber as mídias filtrantes. Desta forma, o sistema de filtragem correspondeu a, aproximadamente, 10% do volume do tanque de criação (Somerville *et al.*, 2014).

O filtro mecânico era formado por recipiente plástico, com furos na parte inferior para passagem da água, preenchido com cinco camadas de tela do tipo sombrite 80%, mais seis camadas de manta acrílica, posicionados logo na entrada de água proveniente da unidade de cultivo. Para compor os sistemas, utilizou-se ainda canos de PVC, torneiras, conexões e bombas submersas com capacidade de vazão de 400 – 1000 L/h (Figura 3).

Figura 3. Unidades experimentais do sistema de recirculação em aquicultura (RAS).



Composto por: (1) unidade de cultivo (2) filtro mecânico; (3) biofiltro. Fonte: Próprio autor (2023).

No laboratório de bromatologia da Universidade Federal do Espírito Santo - Alegre, procedeu-se à preparação do substrato alternativo "casca de ovo" para a condução do experimento. Nesse processo, as cascas foram submetidas a etapas de limpeza, incluindo lavagem com detergente neutro, para remover o excesso de albumina e impurezas. Posteriormente, as cascas foram submetidas à secagem em uma estufa de recirculação de ar a uma temperatura de 55°C, overnight.

Todos os biofiltros possuíam sistema de aeração para manter os níveis de OD adequados e auxiliar no desenvolvimento e fixação da microbiota nos substratos, desde o período início da maturação.

Tabela 1. Identificação e composição dos tratamentos, de acordo com a mídia filtrante utilizada.

Tratamentos	Mídia filtrante
A100	100% Argila
A70B30	70% argila e 30% brita 0
A30B70	(30% argila e 70% brita 0
A50C50	50% argila e 50% casca de ovo
CP	Controle positivo (MBBR3)
CN	Controle negativo (sem substrato)

FONTE: próprio autor

Os parâmetros físico-químicos da água: temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (TDS) foram monitorados aos 16, 23 e

30 dias após início da recirculação da água, a fim de acompanhar as condições para maturação dos biofiltros, utilizando os equipamentos descritos seguinte tabela:

Tabela 2. Parâmetros de qualidade da água medidos e respectivos equipamentos utilizados.

Parâmetros	Equipamentos
Temperatura °C	Modelo C-600 ^a
Potencial hidrogeniônico (pH)	pHmetro Portátil Digital – B-MAX
Oxigênio dissolvido (OD) (mg/L)	DO Basic – Akso
Condutividade elétrica (CE) (µS/cm)	Condutivímetro Portátil Digital – B-MAX
Sólidos totais dissolvidos (TDS) (mg/L)	Modelo C-600 ^a

FONTE: Próprio autor

Além disso, foi realizada coleta de água de cada unidade experimental nos dias 16, 23 e 30 após o início do processo de maturação, e levada ao Laboratório de Bromatologia para realização imediata da análise de alcalinidade da água, de acordo com a metodologia de titulação com ácido sulfúrico (Funasa, 2013).

Essa análise é realizada adicionando uma solução padronizada de ácido sulfúrico a uma amostra de água contendo íons alcalinos e alcalino-terrosos. O ácido sulfúrico reage com os íons alcalinos presentes na água, resultando em uma diminuição do pH. A adição do ácido sulfúrico é feita gradualmente até que ocorra uma mudança de cor indicando o ponto de equivalência, onde toda a alcalinidade presente na amostra foi neutralizada. A quantidade de ácido sulfúrico utilizado é então registrada e pode ser utilizada para determinar a concentração de alcalinidade na água (Funasa, 2013).

Ao final do período de maturação, foi realizada a análise dos compostos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato), a fim de verificar o potencial de nitrificação dos tratamentos pós maturação, no Laboratório de Bromatologia da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), localizado no campus Alegre. A análise dos compostos nitrogenados foi conduzida seguindo a metodologia delineada por Sipaúba-Tavares (1994). Essa metodologia consiste na análise de amônia, nitrito e nitrato em água, utilizando um método colorimétrico com leitura em espectrofotômetro.

Os dados coletados foram submetidos a uma análise estatística utilizando o software STATISTICA, versão 14.1 (TIBCO Inc., 1983-2023). Para tanto, as médias foram inicialmente submetidas ao teste de homoscedasticidade, visando verificar a normalidade, por meio do teste de Shapiro-Wilk. Nos casos em que se constatou uma distribuição normal, aplicou-se o teste

de Tukey ou Fisher, com um nível de significância de 95%. Em situações de distribuição não paramétrica, optou-se pelo teste de Kruskal-Wallis, adotando um nível de significância de 95%, para a comparação dos diferentes tratamentos em relação às características da água.

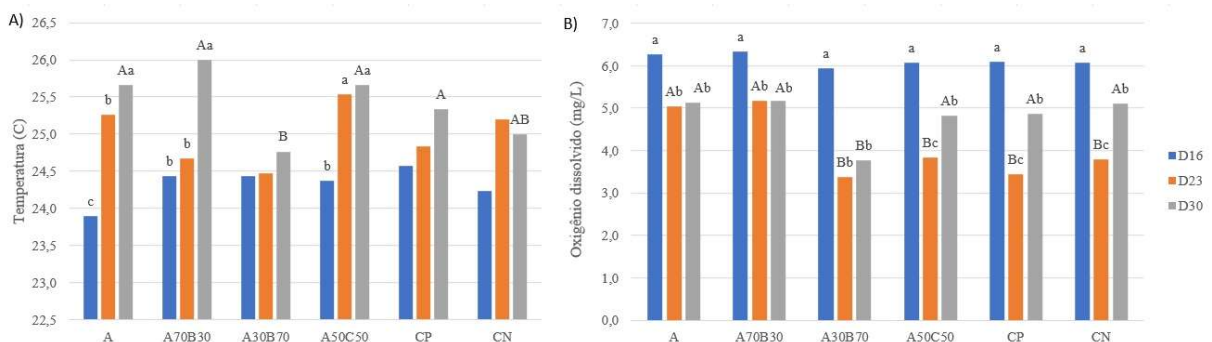
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias de temperatura e oxigênio dissolvido em RAS, utilizando diferentes biofiltros como tratamento, aos 16, 23 e 30 dias pós maturação, podem ser visualizadas na Figura 4. Para temperatura, não houve diferença estatística entre os tratamentos aos 16 e 23 dias. Aos 30 dias, podemos observar que o tratamento A30B70 foi estatisticamente inferior aos demais, não diferindo apenas do CN. Houve diferenças estatísticas no tempo apenas para A, A70B30 e A50C50, sendo as médias de temperatura superior aos 30 dias.

A temperatura adequada é necessária para o crescimento das bactérias nitrificantes e reações bioquímicas nos biofiltros (Ruiz *et al.*, 2020). Conforme destacado por Nocko (2008), a faixa de temperatura ideal para as bactérias *Nitrosomonas* situa-se entre 30 e 36°C, enquanto para as *Nitrobacter*, varia de 8 a 28°C.

Durante o período de maturação, observou-se uma temperatura inicialmente baixa nas primeiras semanas, o que potencialmente poderia inibir o desenvolvimento das bactérias nitrificantes. Entretanto, ao término do experimento, verificou-se um aumento para uma média de 25,4°C, criando condições mais propícias para o desenvolvimento das bactérias nitrificantes.

Figura 4. Médias de temperatura (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L) em seis tratamentos aos 16, 23 e 30 dias.



Letras minúsculas representam diferença estatística ao longo dos dias (D16, D23 e D30), e letras maiúsculas entre os tratamentos (biofiltros) (Fisher $p < 0,05$).

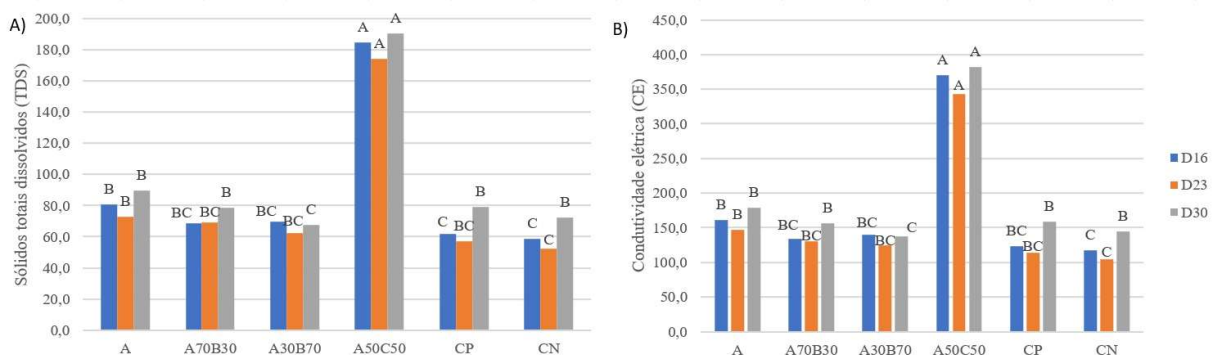
O oxigênio dissolvido apresentou diferenças estatísticas tanto no tempo, quanto entre os tratamentos. Quando observadas as médias de cada tratamento, os valores foram estatisticamente superiores aos 16 dias, ou seja, no início do experimento havia maior

quantidade de oxigênio disponível no sistema. Quando comparados os tratamentos, aos 23 dias os valores foram estatisticamente superiores apenas para A e A70B30. Aos 30 dias, os valores de OD voltaram a subir para todos os tratamentos, sendo estatisticamente inferiores apenas para A30B70.

Cada espécie cultivada possui uma necessidade específica de oxigênio, a qual varia conforme o seu estágio de vida e as condições de cultivo (Duarte, 2011). A concentração de oxigênio dissolvido na água, exerce uma influência significativa nas taxas de crescimento das bactérias nitrificantes, em tratamentos biológicos (Ferreira, 2000). As bactérias nitrificantes necessitam de níveis de oxigênio na faixa de 0,5 a 2,5 mg/L (Ferreira, 2000). Concentrações inferiores a 2 mg/L de O₂ podem limitar a atividade das bactérias nitrificantes (Braz Filho, 2000). Portanto, ao longo do período de maturação este estudo observou valores dentro dos requisitos para máxima proliferação de bactérias nitrificantes.

Observou-se uma redução do oxigênio dissolvido ao longo do período de maturação. Essa redução pode ter sido em função do aumento da atividade das bactérias, que passaram a consumir maior quantidade de OD (Ferreira, 2000). As médias de sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica, podem ser visualizadas na Figura 5.

Figura 5. Sólidos totais dissolvidos (ppm) e condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) em seis tratamentos aos 16, 23 e 30 dias.



Letras maiúsculas representam diferença estatística entre os tratamentos (biofiltros) (Fisher $p < 0,05$).

Os sólidos totais dissolvidos e a condutividade elétrica foram mensurados para cada tratamento ao longo do período de maturação, e as médias podem ser observadas na Figura 5. Observou-se um comportamento semelhante nos dados para esses dois parâmetros, isso pode ser comprovado pela correlação entre eles ($R = 0,982$). Assim, não foram identificadas diferenças estatísticas ao longo do tempo, dentro de cada tratamento. Quando comparados os tratamentos, o A50C50 foi estatisticamente superior tanto para TDS, quanto CE, seguido de A.

Os biofiltros A70B30 e A30B70 apresentaram desempenho intermediário, enquanto CP e CN mostraram resultados estatisticamente inferiores a A50C50.

A presença de sólidos totais dissolvidos está diretamente associada à condutividade elétrica da água (Leira *et al.*, 2017). Cada substrato tem uma capacidade de dissolução que influencia a sua eficiência na remoção de sólidos e na manutenção da qualidade da água ao longo do tempo.

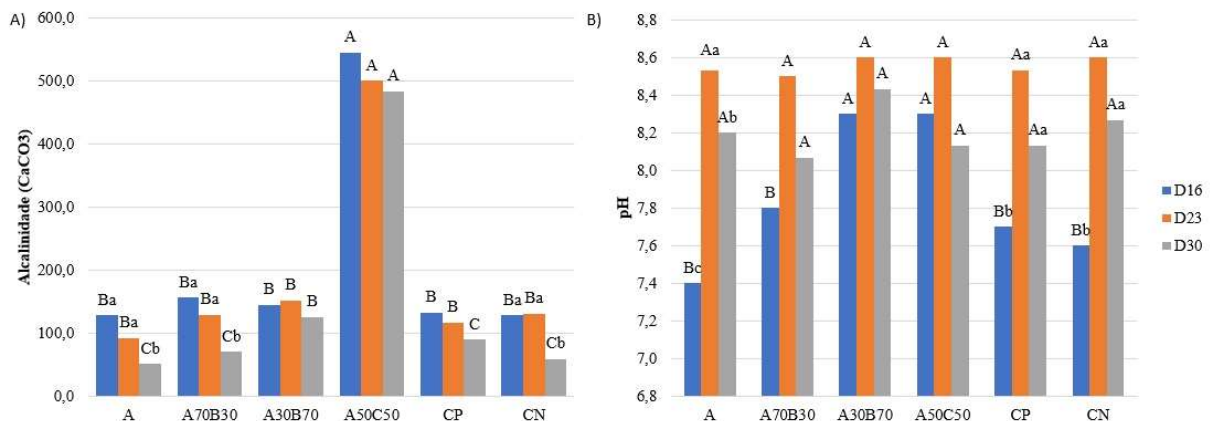
A argila expandida tem uma capacidade de dissolução menor em comparação com outros substratos, devido a suas características químicas e físicas. Segundo Moravia (2006), a argila expandida é composta principalmente por silicatos e alumínio, que têm baixa solubilidade em água. No entanto, oferece uma grande área de superfície para o crescimento de bactérias nitrificantes (Metcalf; Eddy, 2003).

Já a condutividade elétrica, pode ser influenciado por diversos fatores, como a presença de íons dissolvidos na água, a temperatura e a concentração de matéria orgânica e inorgânica. Ela pode variar ao longo do tempo e entre diferentes sistemas de recirculação (Rodrigues *et al.*, 2013). A composição química das mídias filtrantes utilizadas nos biofiltros, também pode influenciar na condutividade elétrica da água. A brita, por ser uma rocha composta principalmente por carbonato de cálcio, pode contribuir para o aumento da condutividade elétrica da água ao liberar íons carbonato e bicarbonato durante o processo de dissolução (Rocha, 2022).

Além disso, a casca de ovo, por ser composta por carbonato de cálcio (CaCO_3) e outros minerais (Figueira, 2014), tem a capacidade de liberar esses íons na água, resultando no aumento condutividade elétrica. Dessa forma, a presença de íons, como cálcio, magnésio, sódio, potássio e carbonatos, contribuem com a condutividade elétrica da água (Rocha, 2022), especialmente o Ca, como podemos ver no biofiltro onde a casca de ovo está presente.

As médias de alcalinidade e pH, podem ser visualizadas na Figura 6. Os tratamentos A30B70, A50C50 e CP, não apresentaram diferença estatística para alcalinidade ao longo do período de maturação.

Figura 6. Alcalinidade (mg/L) e potencial hidrogeniônico (pH) em seis tratamentos aos 16, 23 e 30 dias.



Letras minúsculas representam diferença estatística ao longo dos dias (D16, D23 e D30), e letras maiúsculas entre os tratamentos (biofiltros) (Tukey, $p < 0,05$).

Nos biofiltros A, A70B30 e CN, a alcalinidade foi estatisticamente inferior no D30, em relação aos dias anteriores. Por outro lado, A50C50 apresentou médias de alcalinidade estatisticamente superiores. Isso pode ter ocorrido devido a capacidade da casca de ovo em disponibilizar íons carbonato e bicarbonato (Figueira, 2014).

Para pH, os tratamentos A30B70 e A50C50 não mostram diferenças estatísticas ao longo do tempo de maturação. Comparando os tratamentos, em cada dia de maturação, aos 16 dias A30B70 e A50C50 foram estatisticamente superiores aos demais. Aos 23 e 30 dias não houve diferença entre os tratamentos. A presença da casca de ovo, no tratamento A5050, liberando gradualmente minerais na água, pode ter atuado como um fator tamponante, auxiliando na menor oscilação do pH neste tratamento, o que favorece o desenvolvimento das bactérias responsáveis pela degradação dos compostos nitrogenados tóxicos (Figueira, 2014).

A nitrificação, por sua vez, é altamente influenciada pelo pH, e sua eficiência diminui consideravelmente quando os valores de pH estão abaixo de 6,8 (Tomaszewski *et al.*, 2017). Na aquicultura recirculante, a alcalinidade é empregada para garantir menor oscilação do pH. Neste estudo, o pH do sistema manteve-se estável, variando de 7,4 a 8,6. Esses valores de pH são considerados ideais para promover a nitrificação (Guerrero; Fernandez, 2018).

Segundo Kuhn *et al.* (2010), o processo de maturação pode se estender de quatro a oito semanas (28 a 56 dias). Esse tempo é necessário para estabelecer uma população saudável e viável de bactérias oxidantes de amônia e nitritos. Durante esse período, a população microbiana se adapta às condições do sistema, aumentando sua diversidade e atividade metabólica.

A fim de avaliar a eficiência dos tratamentos ao fim do período de 30 dias de maturação, foram avaliadas as concentrações de compostos nitrogenados na entrada e saída dos biofiltros (Figura 3).

Tabela 3. Concentrações de amônia (mg/L), nitrito (mg/L) e nitrato (mg/L) na entrada e saída dos biofiltros após 30 dias de maturação

Tratamento	Amônia (mg/L)		Nitrito (mg/L)		Nitrato (mg/L)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
A	0,078±0,032 ^b	0,056±0,03 ^b	0,093±0,02 ^b	0,105±0,02	21,06±2,44	22,48±2,41
A70B30	0,072±0,012 ^b	0,039±0,01 ^b	0,080±0,01 ^b	0,097±0,002	16,06±2,88	22,44±5,12
A30B70	0,035±0,021 ^b	0,063±0,04 ^b	0,090±0,01 ^b	0,096±0,01	22,54±2,72	43,91±46,42
A50C50	0,056±0,006 ^b	0,036±0,002 ^b	0,078±0,01 ^b	0,095±0,01	28,86±7,45	34,40±2,93
CP	0,083±0,010 ^b	0,053±0,01 ^b	0,132±0,02 ^a	0,080±0,01	24,62±7,81	23,58±0,43
CN	4,056±0,45 ^a	3,402±0,39 ^a	0,077±0,01 ^b	0,094±0,01	22,89±4,27	22,41±3,14

Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística entre os tratamentos. FONTE: Próprio autor

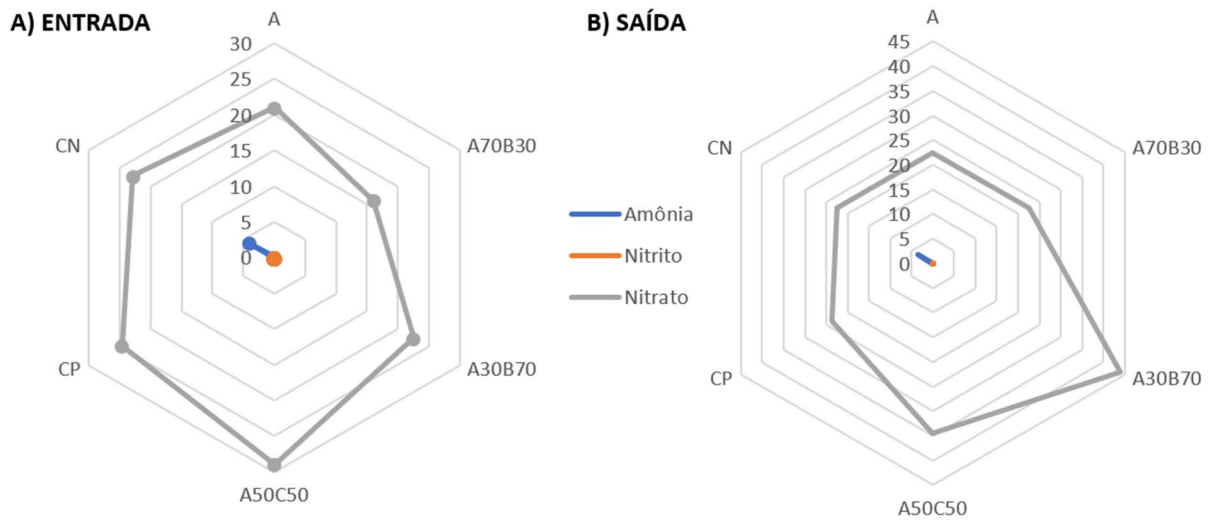
Para amônia (NH), tanto na entrada, quanto saída do biofiltro, o CN apresenta concentrações estatisticamente superior aos demais tratamentos. Enquanto os tratamentos A, A70B30, A30B70, A50C50 e CP não apresentaram diferenças estatísticas entre si.

O valor para concentração de nitrito, na entrada do biofiltro, no CP foi estatisticamente superior aos demais tratamentos. Esse mesmo composto nitrogenado, na saída do biofiltro, não apresentou diferenças estatísticas entre os tratamentos. Isso sugere um eficiente processo de nitrificação das bactérias presente, que foram capazes de reduzir a concentração de nitrito após a passagem pelo biofiltro, em todos os tratamentos, inclusive naquele que a concentração inicial era maior. As concentrações de nitrato, na entrada e saída dos biofiltros, não mostraram diferenças estatísticas entre os tratamentos.

As concentrações de NH₃ observadas na coleta realizada ao fim do período de maturação, foram significativamente baixas em todos os tratamentos, o que pode ser explicado pela ausência de peixes nos sistemas. Durante a maturação, uma quantidade mínima de ração foi disponibilizada como fonte de amônia, contribuindo apenas para a colonização inicial das bactérias nitrificantes nos substratos.

Na Figura 7 é possível observar a relação entre a proporção dos diferentes compostos nitrogenados presentes nos sistemas, ao final dos 30 dias de maturação.

Figura 7. Relação entre as concentrações dos compostos nitrogenados na entrada (A) e saída (B) dos tratamentos (biofiltros) ao final do período de maturação.



FONTE: Próprio autor.

A quantidade de nitrato é consistentemente maior em relação a amônia e nitrito, respectivamente. Isto pode indicar o bom funcionamento dos biofiltros, após maturação. Ou seja, esses valores sugerem que as etapas de conversão de amônia para nitrito e, posteriormente, para nitrato, estão ocorrendo adequadamente nos sistemas de filtragem.

Especificamente, nos tratamentos localizados mais distantes do centro, nota-se uma maior eficiência na redução da amônia e nitrito, à nitrato. Logo, os tratamentos A50C50 e A30B70 são os biofiltros que se destacam, sugerindo que essas combinações de mídias filtrantes são capazes de promover ambiente adequado para o desenvolvimento das bactérias nitrificantes e conseqüente eficiência no processo de nitrificação em RAS, garantindo assim condições ideais para alojamento de organismos aquáticos, neste que são considerados sistemas intensivos de produção.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que, ao longo do período de maturação, os biofiltros utilizados nos sistemas de recirculação propiciaram condições ideais para o desenvolvimento das bactérias nitrificante, garantindo o processo de maturação. Ao fim dos 30 dias de maturação, todos os biofiltros apresentaram eficiência no processo de nitrificação dos compostos nitrogenados, com destaque para os biofiltros composto por 50% argila expandida + 50% casca de ovo e 30% argila + 70% brita 0.

6. REFERENCIAS

ALBUQUERQUE, Antonio et al. Evaluation of the effectiveness of horizontal subsurface flow constructed wetlands for different media. *Journal of Environmental Sciences*, v. 22, n. 6, p. 820-825, 2010.

ANUÁRIO 2022 PEIXE BR. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2023/>. Acesso em: 04 jun. 2023.

ANUÁRIO 2023 PEIXE BR. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario2022/>. Acesso em: 04 jun. 2023.

Base de dados Sciencedirect.com. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/>. Acesso em: 19 dez. 2023.

BRACINO, A. A. et al. Biofiltration for Recirculating Aquaponic Systems: A Review. 2020 IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM). Anais...IEEE, 2020.

BRAZ FILHO, Manuel dos Santos Pires. Qualidade na produção de peixes em sistemas de recirculação de água. São Paulo, SP: Centro Universitário Nove de Julho, 2000.

BREGNBALLE, J. A guide to recirculation aquaculture: an introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. Roma: FAO and EUROFISH, p.100, 2015.

BURFORD, M. A.; THOMPSON, P. J.; MCINTOSH, R. P. Potential application of commercial probiotics in intensive shrimp farming. *Journal of the World Aquaculture Society*, v. 34, n. 1, p. 19-26, 2003.

DUARTE, Eglerson. Cultivo de pós-larvas de tilápia do Nilo utilizando diferentes proporções de substrato concha/brita no biofiltro. 2011.

EDING, E. H. et al. Nutrient Management in Integrated Multitrophic Aquaculture Systems: Reducing the Ecosystem Footprint. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42(5), 625-639, 2011.

- FAO. 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome (2022).
- FERREIRA, Eduardo S. I-121-Cinética química e fundamentos dos processos de nitrificação e denitrificação biológica. 2000.
- FIGUEIRA, Catarina Henriques. Aproveitamento de casca de ovo para aplicações industriais. 2014. Dissertação de Mestrado.
- FUNASA. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. Manual prático de análise de água. 4ª Ed. Brasília: Funasa, 150 p., 2013.
- GUERDAT, T. C., LOSORDO, T. M., CLASSEN, J. J., OSBORNE, J. A., & DELONG, D. P. An evaluation of commercially available biological filters for recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 42(1), 38-49 (2010).
- GUERRERO, Rafael D.; FERNANDEZ, Pepito R. Aquaculture and water quality management in the Philippines. *Water Policy in the Philippines: Issues, Initiatives, and Prospects*, p. 143-162, 2018.
- HIDAKA, T.; YAMADA, H.; KAWAMURA, M.; TSUNO, H. Effect of dissolved oxygen conditions on nitrogen removal in continuously fed intermittent-aeration process with two tanks. *Water Science and Technology*, v. 45, n. 12, p. 181-188. 2002.
- KUBITZA, F. A relação entre pH, gás carbônico, alcalinidade e dureza sua influência no desempenho e saúde dos peixes e camarões. *Panorama da aquicultura*, v. 27, nº 163. 2017.
- KUBITZA, F. Fundamentos da piscicultura em sistemas de recirculação – Cursos avançados em piscicultura. Jundiaí – 2014.
- KUBITZA, F. Oxigênio dissolvido e sua importância para o desempenho e saúde dos peixes e camarões. *Panorama da Aquicultura*, v. 27, nº 162. 2017.

KUBITZA, F. Particularidades e componentes básicos dos Sistemas de Recirculação na Aquicultura – SRAs. *Panorama da Aquicultura*, v. 31, nº 187. 2022.

KUBITZA, F. Qualidade da água nos SRAs – monitoramento e correção. *Panorama da Aquicultura*, v. 31, nº 189. 2022.

KUBTIZA, F. Sistemas de recirculação: Sistemas fechados com tratamento e reuso de água. *Panorama da Aquicultura*, v. 16, nº 95. 2006.

KUHN, D. D., et al. Evaluation of nitrifying bacteria product to improve nitrification efficacy in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 43(2), 78-82 (2010).

LANG, Cezar Luiz et al. Avaliação do uso de areia britada de origem basáltica lavada e não lavada para utilização em concreto à base de cimento portland. 2006.

LEKANG, O. I., & KLEPPE, H. Efficiency of nitrification in trickling filters using different filter media. *Aquacultural Engineering*, 21(3), 181-199 (2000).

LIMA, J. de F. et al. Sistema fechado simples de recirculação para recria de peixes ou camarões de água-doce. 2015.

MARQUES. V. S. et al. *Tópicos Especiais em Agroquímica III*. 1ed. Alegre: UFES, 2023.

MARTINS, Guilherme et al. Cultivo de bactérias nitrificantes a partir do biofilme de filtro biológico aerado submerso tratando esgoto. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 10, n. 6, p. 77-91, 2019.

MÁSMELA-MENDOZA, J. E. et al. Bacterias nitrificantes cultivables de la zona limnética del lago de Tota, Boyacá. *Revista Udeca Actualidad & Divulgacion Cientifica*, v. 22, n. 2, 2019.

METCALF & EDDY. *Wastewater Engeneering: Treatment, Disposal and Reuse*, 4a ed. McGraw-Hill, NY, USA. 2003.

MORO, Giovanni Vitti et al. Monitoramento e manejo da qualidade da água em pisciculturas.

RODRIGUES, APO; LIMA, AF; ALVES, AL; ROSA, DK, p. 141-169, 2013.

NANOPLASTIC. MBBR. Disponível em: <https://www.nanoplastic.com.br/mbbr>. Acesso em: 22 nov. 2023.

NOCKO, L.M. Remoção de carbono e nitrogênio em reator de leito móvel submetido à aeração intermitente. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2008.

OWATARI, Marco Shizuo et al. Fibra sintética como suporte biológico em sistemas de recirculação para aquicultura (RAS). 2017.

OWATARI, Marco Shizuo et al. Mídias biológicas para sistemas de recirculação em aquicultura (RAS). 2016.

OWATARI, Marco Shizuo. et al. Sistemas de recirculação e reuso de água na aquicultura: uma ferramenta para sustentabilidade. Em: Ciências agrárias: a multidisciplinaridade dos recursos naturais. 2022.

PEDREIRA, M. M. et al. Biofiltração da água e tipos de substrato na larvicultura do pacamã. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 55, n. 5, 2016.

ROCHA, A. de F. Adaptabilidade de juvenis de tilápia nos diferentes sistemas de cultivo. 2022. 95 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Programa de Pós-graduação em Biologia Animal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2022.

RODRIGUES, A. P. O. et al. Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos. EMBRAPA, Brasília, DF, 2013.

RUIZ, Pamela et al. Overview and future perspectives of nitrifying bacteria on biofilters for recirculating aquaculture systems. Reviews in Aquaculture, v. 12, n. 3, p. 1478-1494, 2020.

SÁ, M. Y. M. de. Contribuição para a melhoria da qualidade da água proveniente do cultivo de tilápias em pequenos tanques. 2022. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

SEBRAE. Aquicultura: um mercado em crescimento no Brasil e no mundo. Disponível em: <<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/aquicultura-um-mercado-em-crescimento-no-brasil-e-no-mundo,ac99bb738c910810VgnVCM100000d701210aRCRD>>. Acesso em: 22 nov. 2023.

SIPAÚBA-TAVARES, L.H. Limnologia Aplicada à Aquicultura. Jaboticabal: FUNEP, 70 p. 1994.

SOMERVILLE, C.; COHEN, M.; PANTANELLA, E.; STANKUS, A.; LOVATELLI, A. Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming. Fisheries and Aquaculture Technical Paper, n. 589, p. 262, 2014.

TIMMONS, M.B.; EBELINGEBELING, J.M. Recirculating Aquaculture. 2^a ed. Cayuga Aqua Ventures. 2013.

TOMASZEWSKI, Mariusz; CEMA, Grzegorz; ZIEMBIŃSKA-BUCZYŃSKA, Aleksandra. Influence of temperature and pH on the anammox process: a review and meta-analysis. Chemosphere, v. 182, p. 203-214, 2017.

VAN JIJN. Aquaculture Water Reuse Systems: Engineering Design and Management. Elsevier. 2013.

YEP, B., & ZHENG, Y. Aquaponic trends and challenges—A review. Journal of Cleaner Production, 228, 1586-1599 (2019).

1- A; 2- A70B30; 3- A30B70; 4