

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

IZABEL VOLKWEIS ZADINELO

AVALIAÇÃO DE ELEMENTO FILTRANTE À BASE DE QUITOSANA NA
AQUICULTURA

Marechal Cândido Rondon

2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

IZABEL VOLKWEIS ZADINELO

AVALIAÇÃO DE ELEMENTO FILTRANTE À BASE DE QUITOSANA NA
AQUICULTURA

Tese apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de DOUTORA EM ZOOTECNIA, ao programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Área de Concentração: Produção e Nutrição Animal

Orientador: Dr. Robie Allan Bombardelli

Coorientadores: Dr.^a Lilian Dena dos Santos e Dr. Helton José Alves

Marechal Cândido Rondon

2018

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Zadinelo, Izabel Volkweis

Avaliação de elemento filtrante à base de quitosana na aquicultura / Izabel Volkweis Zadinelo; orientador(a), Robie Allan Bombardelli; coorientador(a), Lilian Dena dos Santos, coorientador(a)II, Helton José Alves, 2018.
108 f.

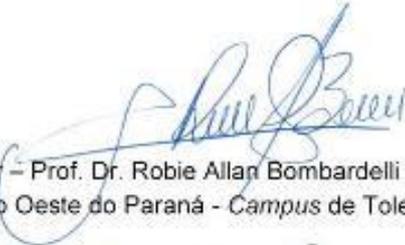
Tese (doutorado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2018.

1. Adsorção. 2. Aquicultura. 3. Qualidade de água. 4. Espuma de quitosana. I. Bombardelli, Robie Allan. II. Santos, Lilian Dena dos. III. Alves, Helton José. IV. Título.

IZABEL VOLKWEIS ZADINELO

Avaliação de elemento filtrante a base de quitosana na aquicultura

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de "Doutora em Zootecnia", Área de Concentração "Produção e Nutrição Animal", Linha de Pesquisa "Aquicultura", APROVADA pela seguinte Banca Examinadora:



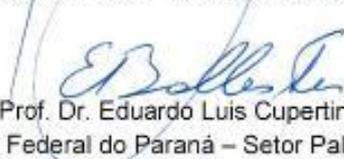
Orientador – Prof. Dr. Robie Allan Bombardelli
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - *Campus* de Toledo (Unioeste)



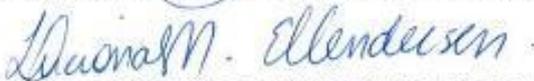
Membro – Prof. Ph.D. Nilton Garcia Marengoni
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - *Campus* de Mal. Cândido Rondon (Unioeste)



Membro – Prof. Dr. Affonso Celso Gonçalves Junior
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - *Campus* de Mal. Cândido Rondon (Unioeste)



Membro – Prof. Dr. Eduardo Luis Cupertino Ballester
Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina (UFPR)



Membro – Dr.^a Luciana de Souza Neves Ellendersen
Fundação da Universidade Federal do Paraná para o Desenvolvimento da Ciência, da Tecnologia e da Cultura (FUNPAR)

Marechal Cândido Rondon, 2 de outubro de 2018.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, por ter me guiado e dado força em todos os momentos;

Ao meu marido, Sidinei Spier, pela amizade, amor, carinho, companheirismo, compreensão e apoio incondicional;

Aos meus pais, Márcia Volkweis Zadinelo e Abel Araújo Zadinelo, por todo apoio e amor durante minha vida;

Ao Prof. Dr. Robie Allan Bombardelli, a Prof^ª Dr^ª Lilian Dena dos Santos e ao Prof. Dr. Helton José Alves, pela orientação, oportunidade, dedicação, atenção e amizade;

À UFPR - Setor Palotina, pela infraestrutura e pelos recursos oferecidos para a realização deste trabalho;

Às professoras doutoras Luciana e Graciela da UFPR - Curitiba, que confeccionaram e cederam uma parte da espuma utilizada neste trabalho, por toda ajuda na redação deste e de outros trabalhos;

Aos Professores e ao secretário Paulo Henrique Morsch, do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Unioeste, *Campus* de Marechal Cândido Rondon, pelos ensinamentos, disponibilidade, amizade, atenção e prontidão;

A todos os meus amigos de Laboratório, Fernanda, Claudia, Luana, Petra, Ana Carla, Micheli, Camila, Sarah, Leonardo, Gabriela, às técnicas Marlise e Rafaela, e às professoras doutoras Lucíola e Lilian Carolina, do Laboratório de Nutrição animal, Laboratório de Qualidade de água e Limnologia (LaQaL) e Laboratório de Produção e Reprodução de Peixes (LAPERP);

A todos do Laboratório de Catálise e Produção de Biocombustíveis (LabCatProBio), em especial aos técnicos Carine e Lazaro, à prof^ª Mabel, e ao Rodolfo, por toda ajuda e esclarecimentos;

À CAPES pela bolsa de estudos;

Aos membros da banca, por aceitarem avaliar este trabalho e pelas sugestões;

A todos cujos nomes não foram mencionados, mas que de alguma forma contribuíram para a concretização deste trabalho.

Muito obrigada!

AValiação DE ELEMENTO FILTRANTE À BASE DE QUITOSANA NA AQUICULTURA

RESUMO

Os sistemas fechados de recirculação de água na aquicultura dependem de meios filtrantes que mantenham a qualidade da água adequada para o cultivo de organismos aquáticos. A quitosana é um biopolímero obtido pela desacetilação da quitina da carapaça de crustáceos; tem características adsorventes e pode ser utilizada no tratamento da água de cultivo. A espuma de quitosana é composta por quitosana e emulsificante neutro, e é maleável. Os objetivos do estudo foram: avaliar a espuma de quitosana como elemento filtrante de poluentes aquícolas em soluções sintéticas, confeccionar um filtro, testar seu uso em sistemas fechados de recirculação na manutenção da qualidade de água durante o cultivo de tilápia do Nilo em duas escalas de volume dos tanques (dois ensaios - Ensaio 1: tanques de 35 L; Ensaio 2: tanques de 130 L), verificar os efeitos da quitosana sobre o desempenho zootécnico e histopatológicos das brânquias e hepatopâncreas dos peixes e, por fim, avaliar a digestibilidade da quitosana nas dietas de tilápia do Nilo. A melhor dosagem da espuma no filtro para a adsorção de poluentes em soluções sintéticas foi de 0,10 (% m v⁻¹). Foram observadas remoções máximas de 32,8% de amônia, 57,2% de nitrito, 89,5% de ortofosfato dissolvido e 99,9% de turbidez. Esta dosagem então foi utilizada nos filtros de três sistemas individuais de recirculação de água durante o cultivo de tilápias do Nilo nos Ensaios 1 e 2 (Ensaio 1: tanques de 35 L; Ensaio 2: tanques de 130 L), e comparados os resultados de qualidade de água, desempenho zootécnico e histopatologia das brânquias e hepatopâncreas, com os obtidos nos tanques dos outros três sistemas de recirculação com o uso de filtros biológicos com *bioballs*. Durante o período experimental dos Ensaios 1 e 2, observou-se que o uso do filtro com espuma de quitosana nos tanques de cultivo em sistemas de recirculação de água resultou em menores ou iguais concentrações de amônia total, nitrato e ortofosfato dissolvido, manteve a alcalinidade igual ou mais alta, do que nos tanques com filtro biológico de *bioballs*. Não foram verificadas diferenças estatísticas no peso final, conversão alimentar, sobrevivência entre os tratamentos ($p > 0,05$) nos dois ensaios, e no índice de órgão (Iorg) no Ensaio 2. É recomendada a troca da espuma de quitosana a cada 30 dias de cultivo. Após a retirada dos filtros, a espuma de quitosana pode ser utilizada nas dietas dos peixes cultivados para evitar descarte. A determinação da digestibilidade aparente foi realizada pelo método indireto de coleta fecal (de tilápia do Nilo com peso médio de 50±5g). Foram utilizados óxido crômico como indicador inerte, ração prática como referência e ração de teste (70% de ração referência e 30% de espuma de quitosana). A espuma de quitosana apresentou 83,7% de matéria seca digestível, 5,7% de proteína digestível, 7,9% de gordura digestível, 0,6% cinzas digestíveis, 17,6% de fibra bruta digestível e 1021 kcal kg⁻¹ de energia digestível, a qual foi parcialmente digestível para a tilápia do Nilo e pode ser utilizada principalmente como fonte alimentar de fibras e gorduras. A espuma de quitosana é eficiente na manutenção da qualidade de água nos sistemas fechados de recirculação durante o cultivo de tilápia do Nilo, e pode ser incluída nas dietas dos peixes, para fechar o ciclo sustentável da cadeia aquícola.

Palavras-chave: adsorção, recirculação, filtros, qualidade de água

EVALUATION OF FILTERING ELEMENT BASED ON CHITOSAN IN AQUACULTURE

ABSTRACT

Closed water recirculation systems in aquaculture depend on filter areas that keeps water quality to crop aquatic organisms. Chitosan is a biopolymer obtained by chitin deacetylation from the shell of crustaceans. It has adsorbent characteristics and can be used in cropping water treatment. Chitosan foam is composed of chitosan and neutral emulsifier, and it is malleable. Thus, this study aimed at evaluating chitosan foam as a filter element for aquaculture pollutants in synthetic solutions, making a filter, testing its use in closed recirculation systems for water quality maintenance during Nile tilapia cropping at two volume scales of tanks (two trials: Trial 1: 35 L tanks; Trial 2: 130 L tanks), checking its effects on zootechnical and histopathological performance of gills and hepatopancreas of fish, and finally evaluating its digestibility in diets of Nile tilapia. The best dosage of foam in filter to adsorb pollutants in synthetic solutions was 0.10 (% m v⁻¹), with maximum removal of 32.8% ammonia, 57.2% nitrite, 89.5% % dissolved orthophosphate and 99.9% turbidity. This dosage was then used in filters of three individual water recirculation systems during Nile tilapia cropping in Trials 1 and 2 (Trial 1: 35 L tanks; Trial 2: 130 L tanks) and compared the results of water quality, zootechnical performance and histopathology of gills and hepatopancrea, with those obtained in tanks of the other three recirculation systems by using biological filters with bioballs. During the experimental term of trial 1 and trial 2, it was observed that the use of filter with chitosan foam in cropping tanks in water recirculation systems resulted in lower or equal concentrations of total ammonia, nitrate and dissolved orthophosphate, remained with the same or higher alkalinity than in biologically bioball filtered tanks. There were no statistical differences in final weight, feed conversion and survival among treatments ($p > 0.05$) in both trials, and in the organ index (Iorg) in trial 2. It is recommended to exchange chitosan foam every 30 days of cropping. After removing the filters, chitosan foam can be used in diets of cropped fish to avoid discarding them. The determination of apparent digestibility was carried out by the indirect fecal collection method (Nile tilapia with average weight of 50 ± 5 g), using chromic oxide as an inert indicator, diet as reference and test diet (70% reference diet and 30% chitosan foam). Chitosan foam showed 83.7% digestible dry matter, 5.7% digestible protein, 7.9% digestible fat, 0.6% digestible ashes, 17.6% of digestible crude fiber and 1,021 kcal kg⁻¹ of digestible energy, which was partially digestible for Nile tilapia and can be used mainly as a food source of fiber and fat. Chitosan foam is efficient in keeping water quality in closed recirculation systems during Nile tilapia cropping, and it can be included in fish diets to end a sustainable cycle of the aquaculture chain.

Keywords: adsorption, recirculation, filters, water quality

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 OBJETIVOS GERAIS.....	11
2 REVISÃO.....	12
2.1 AQUICULTURA.....	12
2.1 SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA NA AQUICULTURA.....	13
2.2 QUALIDADE DE ÁGUA NA AQUICULTURA.....	13
2.3 TRATAMENTO DA ÁGUA EM SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO COM BIOFILTRO.....	18
2.4 ADSORÇÃO.....	19
2.5 QUITINA E QUITOSANA.....	20
2.5.1 Tratamento de água e efluentes utilizando quitosana.....	22
2.5.2 Espuma de quitosana.....	22
2.6 HISTOPATOLOGIA DE PEIXES.....	23
2.7 DIGESTIBILIDADE.....	25
2.8 REFERÊNCIAS.....	27
3 ADSORÇÃO DE POLUENTES AQUÍCOLAS UTILIZANDO BIOPOLÍMERO SUSTENTÁVEL	32
Resumo.....	32
Abstract.....	33
3.1 INTRODUÇÃO.....	34
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.2.1 Métodos de determinação dos poluentes nos efluentes.....	37
3.2.2 Cálculo das eficiências de remoção dos poluentes.....	37
3.2.3 Capacidade de adsorção de poluentes	37
3.2.4 Caracterização das espumas.....	38
3.2.4.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS)	38
3.2.4.2 Densidade aparente.....	38
3.2.4.3 Capacidade de absorção de água.....	39
3.2.5 Adsorção de ortofosfato dissolvido.....	39
3.2.6 Adsorção de nitrito.....	39
3.2.7 Adsorção de amônia total, nitrito e ortofosfato dissolvido.....	40

3.2.8	Confecção dos filtros.....	40
3.2.9	Adsorção de amônia utilizando o filtro	41
3.2.9.1	Ensaio de adsorção de amônia com o uso de diferentes porcentagens de massa de espuma de quitosana por volume de efluente (%m v ⁻¹).....	41
3.2.9.2	Ensaio de adsorção de amônia em efluentes sintéticos com diferentes concentrações iniciais	42
3.3.10	Remoção da turbidez.....	42
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
3.4.1	Caracterização das espumas.....	43
3.4.1.1	Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS)	43
3.4.1.2	Densidade aparente.....	45
3.4.1.3	Capacidade de absorção de água.....	45
3.4.2	Adsorção de amônia	45
3.4.2.1	Ensaio de adsorção de amônia com o uso de diferentes porcentagens de massa de espuma de quitosana por volume de efluente (%m v ⁻¹)	45
3.4.2.2	Ensaio de adsorção de amônia em efluentes sintéticos com diferentes concentrações iniciais.....	47
3.4.3	Adsorção de ortofosfato dissolvido.....	48
3.4.4	Adsorção de nitrito.....	49
3.4.5	Adsorção de amônia, nitrito e ortofosfato dissolvido.....	50
3.4.6	Remoção da turbidez.....	52
3.5	CONCLUSÕES.....	52
3.6	REFERÊNCIAS.....	53
4 FILTRO A BASE DE ESPUMA DE QUITOSANA: MANTENÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA O CULTIVO DE TILÁPIA DO NILO.....		56
Resumo.....		56
Abstract.....		57
4.1	INTRODUÇÃO.....	58
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	59
4.2.1	Análise estatística.....	63
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
4.3.1	Desempenho zootécnico.....	64
4.3.2	Oxigênio dissolvido.....	64

4.3.3 Temperatura.....	65
4.3.4 pH.....	65
4.3.5 Amônia total.....	66
4.3.6 Nitrito.....	69
4.3.7 Nitrato.....	72
4.3.8 Ortofosfato dissolvido.....	74
4.3.9 Alcalinidade total	76
4.3.10 Dureza total.....	78
4.3.11 Condutividade elétrica.....	80
4.3.12 Turbidez.....	82
4.3.5 Histopatologia hepática e branquial.....	83
4.4 CONCLUSÃO.....	88
4.5 REFERÊNCIAS.....	89
5 COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDADE APARENTE DA ESPUMA DE QUITOSANA PARA TILÁPIA DO NILO.....	93
Resumo.....	93
Abstract.....	94
5.1 INTRODUÇÃO.....	95
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	96
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	100
5.3.1 Composição química	100
5.3.2 Coeficientes de digestibilidade aparente	101
5.4 CONCLUSÃO.....	104
5.5 REFERÊNCIAS.....	105
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	108

1 INTRODUÇÃO

A aquicultura está em constante expansão devido à estagnação do fornecimento de pescados por captura, ao aumento populacional e conseqüente ao aumento da demanda e da procura por alimentos mais saudáveis. Porém, a expansão da produção, se não manejada de forma adequada, pode levar a um aumento do impacto ambiental devido à produção de resíduos e ao uso inadequado de água. O tratamento e reuso da água são atualmente alternativas eficazes para a minimização dos impactos ambientais da aquicultura (SILVA et al., 2013; FAO, 2016).

Os sistemas de recirculação de água na aquicultura são baseados no tratamento e reuso da água (BREGNBALLE, 2015) e dependem de meios para os tratamentos biológico, químico e físico, com o objetivo de remover poluentes e resíduos indesejáveis (GULLIAN-KLANIAN; ARÁMBURU-ADAME, 2013). Nestes sistemas, os filtros biológicos são preenchidos com diferentes substratos para a adesão de bactérias que realizam a nitrificação. Bolas plásticas (*bioballs*) são comumente utilizadas como substrato, pois são fáceis de serem obtidas e manuseadas. Elas também dispõem de uma grande área superficial para adesão bacteriana (SUANTIKA et al., 2016); são usadas pedras calcárias (SUANTIKA et al., 2016), zeólitas (SIRAKOV et al., 2015) e outros materiais.

Entretanto, a maioria dos substratos utilizados nos filtros limitam-se à redução de compostos nitrogenados (SUANTIKA et al., 2016; PEDREIRA et al., 2016), e não removem outros poluentes, portanto, é necessária a aplicação de formas adicionais de tratamento. Dessa forma, é importante o uso de um material barato, renovável, disponível, sustentável ambientalmente, que tenha o potencial de remoção de poluentes nitrogenados e fosforados, para garantir a manutenção da qualidade de água durante o cultivo de peixes.

A quitosana é considerada um biopolímero promissor para a aplicação na adsorção de vários poluentes, entre eles os aquícolas, na forma de pó ou solubilizada (CHUNG et al., 2005; BERNARDI et al., 2017), devido aos grupos amino e hidroxila de suas moléculas. Uma desvantagem do uso de quitosana em pó em soluções aquosas é a capacidade de inchar (KYZAS; BIKIARIS, 2015), deixar a água turva (PATIL et al., 2013) e não estar estruturada para sua retirada do meio aquoso após o tratamento. Portanto, são necessárias a criação e a utilização de materiais estruturados com quitosana que facilitem sua utilização e manutenção em filtros nos sistemas de recirculação de água na aquicultura.

A espuma de quitosana é um biopolímero com características adsorventes, tem a vantagem de ser estruturada e maleável, logo é fácil a aplicação em filtros para adsorção de poluentes aquícolas. O estudo de alternativas que busquem a reutilização de resíduos oriundos

da indústria aquícola apresenta-se como importante ferramenta para a minimização dos impactos ambientais. A espuma de quitosana após a adsorção pode ser incluída em rações para peixes, por ser rica em nutrientes.

1.1. OBJETIVOS GERAIS

Os objetivos deste estudo foram: avaliar a espuma de quitosana como elemento filtrante de poluentes aquícolas em soluções sintéticas, confeccionar um filtro, testar seu uso em sistemas fechados de recirculação na manutenção da qualidade de água durante o cultivo de tilápia do Nilo, verificar seus efeitos sobre o desempenho zootécnico e histopatológicos das brânquias e hepatopâncreas e, por fim, avaliar a digestibilidade da espuma de quitosana nas dietas de tilápia do Nilo.

2 REVISÃO

2.1 AQUICULTURA

A produção pesqueira por captura está relativamente estática desde o final dos anos 80, e a aquicultura tem sido responsável pelo crescimento do fornecimento de pescado para consumo humano. Em 2016, a produção mundial de organismos aquáticos (captura e aquicultura) foi de 170,9 milhões de toneladas e a aquicultura foi responsável pela produção de 80,0 milhões de toneladas (FAO, 2018). Dentre as modalidades aquícolas desenvolvidas, a piscicultura é a que mais cresce, fortalecendo-se como uma atividade econômica em plena expansão (FAO, 2016).

O cultivo aquícola de tilápias, incluindo a tilápia do Nilo e algumas outras espécies de ciclídeos, é o mais difundido no Planeta (FAO, 2014). As tilápias têm muitos atributos que as tornam ideais para a aquicultura, tais como: crescimento rápido, tolerância a diferentes condições ambientais de temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, resistência ao estresse e às doenças, capacidade de se reproduzir em cativeiro, aceitação de alimentos artificiais imediatamente após a absorção do saco vitelino (EL-SAYED, 2006).

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é bem aceita no mercado consumidor, pois apresenta carne branca de textura firme, sabor delicado, não possui espinhas em ‘Y’ nem odor desagradável, além de ser de fácil filetagem. O rendimento médio da carcaça de tilápia é de 59,1%, e o de filé de 34,2% (VIEIRA e SILVA et al., 2009). Os fatores mais importantes que determinam o sucesso ou fracasso do cultivo intensivo de tilápia são os parâmetros de qualidade da água, as densidades de estocagem, a nutrição e a alimentação (EL-SAYED, 2006).

Os principais sistemas de produção utilizados na piscicultura são os viveiros escavados, tanques-rede, sistemas com recirculação da água, *raceway* e bioflocos. A piscicultura enfrenta um problema mundial - a disponibilidade de água. Assim, para se evitar o uso excessivo de água para a produção e que os efluentes das pisciculturas sejam fontes poluidoras, a solução seria o tratamento da água antes do retorno para os corpos receptores ou a adoção de sistemas de recirculação de água para produção de peixes (CREPALDI et al., 2006; RODRIGUES et al., 2015).

2.1 SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA NA AQUICULTURA

A intensificação da produção aquícola pode ocasionar impactos, devido à geração de elevada quantidade de matéria orgânica e de nutrientes, como nitrogênio e fósforo nos efluentes, os quais podem comprometer a qualidade da água no próprio cultivo ou nos cursos hídricos a jusante (MACEDO; SIPAÚBA-TAVARES, 2010; SILVA et al., 2013; RAMÍREZ-GODÍNEZ et al., 2013).

Os sistemas de recirculação de água na aquicultura possibilitam o aumento da produção com o reuso da água. Os componentes de um sistema de recirculação são tanques de cultivo, decantadores, filtros, biofiltros, sistema de oxigenação, sistemas de bombas e tubulações de drenagem e retorno. O uso de sistemas fechados com recirculação de água proporciona menor consumo de água por quilo de peixe produzido, além de evitar a emissão inadequada de efluentes (CREPALDI et al., 2006; SILVA et al., 2013; BREGNBALLE, 2015).

A qualidade de água é mantida por biofiltração nos sistemas de recirculação sem troca de água a partir da nitrificação. Para o sucesso desse sistema de produção, o biofiltro deve ter um desempenho estável e confiável (BROWN et al., 2013), com um período mínimo de acondicionamento de 14 dias antes de ser utilizado na produção aquícola, para garantir que a nitrificação esteja estável (SUANTIKA et al., 2016).

Vários materiais, tais como *bioballs*, são utilizados como substrato para a fixação dos biofilmes bacterianos nos biofiltros (BROWN et al., 2013; SUANTIKA et al., 2016; ELLIOTT et al., 2017), pedras calcárias (SUANTIKA et al., 2016), conchas de ostras (BROWN et al., 2013), zeólitas (SIRAKOV et al., 2015) britas graníticas, cascalhos de quartzo e porcelanas (PEDREIRA et al., 2016).

Entretanto, Marengoni et al. (2013) relatam que a eficiência do filtro biológico diminui com o tempo podem ser observados aumentos nos níveis dos compostos nitrogenados, nos níveis de fósforo total, de sólidos totais e suspensos, porém, redução do oxigênio dissolvido, que influencia a qualidade da água do sistema.

2.2 QUALIDADE DE ÁGUA NA AQUICULTURA

A qualidade da água na aquicultura é um conjunto de características físicas, químicas e biológicas ideais que devem ser mantidas no ambiente para garantir o sucesso dos cultivos de forma sustentável (CAGOL et al., 2016; MARENGONI et al., 2013).

Os principais parâmetros de qualidade de água a serem monitorados no cultivo de peixes são o oxigênio dissolvido, pH, amônia, nitrito, nitrato, temperatura, alcalinidade, dureza, condutividade elétrica, fósforo e transparência (SILVA et al., 2013).

O oxigênio é o principal elemento utilizado pelos organismos vivos para extrair energia química dos nutrientes, que é armazenada nas células na forma de ATP, no processo de respiração celular (SÁ, 2012). O oxigênio é o gás mais importante para peixes e camarões. Quando as concentrações de oxigênio dissolvido se encontram muito baixas os organismos são submetidos a estresse respiratório ou imunológico e podem morrer. Os tanques de cultivo possuem quatro fontes de oxigênio dissolvido: por fotossíntese de fitoplâncton e plantas aquáticas, por difusão do ar atmosférico, oxigênio da água por renovação, e oxigênio a partir de aeradores mecânicos. O oxigênio pode ser perdido ou consumido através da respiração, oxidação química, difusão para atmosfera e pelos efluentes (ARANA, 2010).

A temperatura e a salinidade influenciam a solubilidade do oxigênio. Águas mais quentes e com maiores concentrações de sais dissolvidos têm menor capacidade para solubilizar a molécula de oxigênio (SÁ, 2012).

O pH pode causar uma série de fenômenos químicos e biológicos nos organismos cultivados (como toxicidade da amônia), assim como pode oscilar em decorrência de vários fatores (temperatura, respiração, fotossíntese, adubação, calagem, poluição, entre outros) (ARANA, 2010). O pH da água pode afetar significativamente a fisiologia dos animais aquáticos. Os graus de acidez e de basicidade da água podem estressar e perturbar o crescimento normal de peixes e camarões. Os mecanismos de regulação iônica em peixes são ativados por variações do pH da água, em busca de homeostase e manutenção da saúde. De acordo com Kubitza (2011), para a tilápia, a faixa de conforto térmico ideal está entre 27 e 32 °C e o pH deve ser mantido entre 6,00 e 8,50.

As principais fontes de amônia na água em sistemas intensivos de produção aquícola são a excreção nitrogenada, o uso de fertilizantes nitrogenados, a decomposição orgânica de detritos provenientes das fezes dos animais, da ração não consumida, e do plâncton morto. A amônia (NH_3) é um composto resultante da oxidação dos aminoácidos pelas células vivas. A amônia não ionizada (NH_3) em contato com a água forma a amônia ionizada (NH_4^+), e juntas constituem a amônia total. Os principais fatores que afetam proporções de NH_3 e NH_4^+ na água são o pH e a temperatura. Quando ocorre um aumento do pH ou da temperatura da água, há um aumento na proporção de amônia não ionizada (SÁ, 2012).

A amônia não ionizada (NH_3) é tóxica aos organismos aquáticos, enquanto o íon amônio (NH_4^+) é atóxico, isso porque as membranas branquiais dos peixes são permeáveis ao NH_3 por possuírem afinidade com compostos lipofílicos, mas não são permeáveis ao NH_4^+ , que apresenta característica lipofóbica. Quando a concentração de amônia aumenta na água de

cultivo, a excreção deste metabólito diminui, ocasionando aumento no nível de amônia no sangue e nos tecidos e, conseqüentemente, alterações na fisiologia, que podem comprometer a saúde e o crescimento, ou leva-los à morte (ARANA, 2010; SÁ, 2012).

O nitrito surge na água pela oxidação parcial da amônia, por ação das bactérias aeróbias quimiotróficas. Quando a concentração de oxigênio dissolvido na água é elevada, o nitrito é transformado em nitrato por ação das bactérias aeróbias quimiotróficas. O processo de transformação de amônia em nitrato é conhecido por nitrificação. Quando as concentrações de amônia são elevadas na água de cultivo, e com oxigênio disponível, as bactérias podem transformar toda a amônia em nitrito, e consumir boa parte do oxigênio, a fim de limitar a atividade das bactérias para a transformação em nitrato e ocasionar o acúmulo de nitrito (KROUPOVA et al., 2005; SÁ, 2012).

O nitrito pode ser absorvido pelas brânquias dos peixes e oxidar o ferro da hemoglobina, que passa a ser metahemoglobina, que perde a capacidade de transportar oxigênio para os tecidos e causa morte por asfixia. Os sinais de intoxicação são brânquias com coloração marrom, pontos hemorrágicos e escurecimento da pele (KROUPOVA et al., 2005; Sá, 2012). A toxicidade do nitrito em tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) pode ser inibida pela adição de cloreto à água, com o uso de cloreto de cálcio ou cloreto de sódio (ATWOOD et al., 2001).

A desnitrificação, ou seja, a redução do nitrito para amônia, ocorre em condições anaeróbias, características de ambientes eutrofizados, em que ocorre a decomposição da matéria orgânica. A toxidez do nitrato em organismos aquáticos parece não ser um problema, porém, este composto pode se tornar potencialmente tóxico em sistemas fechados de recirculação, em que concentrações elevadas podem ser atingidas a partir da nitrificação da amônia. A toxidez do nitrato ocorre devido ao seu efeito sobre a osmorregulação e sobre o transporte de oxigênio (ARANA, 1997).

O fósforo pode ser encontrado em viveiros e tanques de aquicultura, em compostos orgânicos e inorgânicos, particulados ou dissolvidos. O fósforo orgânico particulado é encontrado nos seres vivos, tais como plâncton, em detritos orgânicos, como fezes e plâncton morto. O fósforo orgânico dissolvido é formado por fosfoproteínas, fosfolipídios e carboidratos fosfatados. O fosfato inorgânico particulado é aquele constituído por qualquer material mineral que contenha fósforo.

Na água, estão presentes fósforo orgânico particulado, fósforo orgânico dissolvido, fósforo inorgânico particulado e fósforo inorgânico dissolvido (ou ortofosfato). No meio aquático, todos os processos de transformações das formas de fósforo levam à formação do fósforo inorgânico dissolvido (ou ortofosfato) no final do processo. Vale ressaltar que quanto

maior a concentração de fósforo total, pior a qualidade da água. Recomenda-se que a água de cultivo de organismos aquáticos apresente concentrações entre 5 e 200 $\mu\text{g L}^{-1}$ de ortofosfato (SÁ, 2012; CAGOL et al., 2016).

As atividades aquícolas podem levar a um aumento das concentrações de nitrogênio e fósforo na água e são as principais causas de eutrofização. Ambientes eutrofizados são propícios para o rápido desenvolvimento e crescimento de plantas aquáticas e algas como as cianobactérias que, a partir de seu metabolismo secundário, produzem toxinas e metabólitos capazes de causar sabor e odor desagradável no pescado (MACEDO; SIPAÚBA-TAVARES, 2010).

A alcalinidade total e a dureza total são variáveis importantes no que diz respeito à qualidade da água tanto para a produtividade dos ecossistemas aquáticos como para a produção aquícola. A principal fonte de alcalinidade e dureza na água é derivada da dissolução do calcário dos solos e é dependente da concentração de gás carbônico dissolvido (BOYD et al., 2016).

Os principais componentes da alcalinidade total de sistemas aquosos são os bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e os hidróxidos (OH^-). Outros sais de ácidos fracos inorgânicos, tais como boratos, silicatos, fosfatos, ou de ácidos orgânicos, como sais de ácido húmico, etc., também conferem alcalinidade às águas, mas seus efeitos são pouco representativos. A alcalinidade elevada protege a água contra variações de pH, relacionadas às taxas de fotossíntese e respiração, além de aumentar a produtividade primária e diminuir os riscos de toxicidade por íons metálicos adicionados à água intencionalmente ou por poluição (BOYD et al., 2016).

O cálcio, responsável maioritariamente da dureza, precipita CO_3^{2-} como CaCO_3 para minimizar o aumento do pH em águas com pH acima de 8,3, quando a fotossíntese está progredindo rapidamente. O cálcio também tende a bloquear a captação de traços de metais por peixes, por conseguinte, ele diminui a toxicidade. A concentração de Ca^{2+} também é importante para o desenvolvimento e incubação de ovos de peixes e as maiores concentrações de dureza também facilitam tanto a floculação como a precipitação de argila suspensa que causam turbidez (BOYD et al., 2016).

O cálcio e o magnésio são dois minerais essenciais para o desenvolvimento de animais e vegetais. Os peixes e camarões podem obter cálcio e magnésio diretamente da água, principalmente pela absorção através das brânquias. Nos animais, o cálcio é essencial para formação óssea e de carapaças, também atua em diversas funções fisiológicas vitais, assim como na transmissão nervosa, coagulação sanguínea, contração muscular e osmorregulação. A insuficiência de cálcio e de magnésio na água de cultivo pode levar os organismos a terem

vários problemas fisiológicos e de crescimento. Nos vegetais, o magnésio é necessário para a síntese de clorofila, indispensável à realização de fotossíntese. Todavia, a escassez de magnésio leva a baixas taxas de produtividade primária (SÁ, 2012).

As águas doces podem ser classificadas quanto ao grau de dureza, de acordo com os seguintes intervalos: $< 50 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ (água mole), de 50 a $150 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ (moderadamente dura), de 150 a $300 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ (água dura) e $> 300 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ (água extremamente dura) (ARANA, 2010). Na água de cultivo de peixes, é recomendado que a dureza seja maior que $40 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ e a alcalinidade maior que $60 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ (BOYD et al., 2016).

A condutividade elétrica indica a quantidade de íons presentes na água. Logo, valores elevados de condutividade elétrica indicam taxas elevadas de decomposição. Dessa forma, fornecem informações sobre a disponibilidade de nutrientes no meio aquático e ajudam a detectar a incidência de poluição na água (MOREIRA et al., 2001).

A turbidez da água em viveiros de peixes está associada à presença de partículas em suspensão, que podem ser de natureza mineral, como a argila e o silte, ou de natureza orgânica, como plâncton, restos de ração e adubo orgânico (SIPAÚBA-TAVARES, 1995).

O acúmulo de matéria orgânica aumenta a turbidez da água, a qual reduz a transparência e a penetração de luz na água, indispensáveis para a fotossíntese. A redução da fotossíntese e o acúmulo de matéria orgânica aumentam a demanda bioquímica de oxigênio e causam redução nos níveis de oxigênio dissolvido (SANDRE et al., 2009).

Na produção de organismos aquáticos, a carga de resíduos é diretamente proporcional à produção de peixe, em que há a geração de grandes quantidades de águas residuais com compostos tais como sólidos suspensos, nitrogênio e fósforo. Portanto, é necessário aumentar a produção conjuntamente com a adoção de sistemas eficientes de tratamento de águas residuais, tanto para manter a qualidade durante o cultivo, quanto para posterior descarte nos corpos receptores. Vários métodos físicos, químicos e biológicos utilizados no tratamento convencional de águas residuais são aplicados em sistemas de aquicultura (TURCIOS; PAPENBROCK, 2014).

2.3 TRATAMENTO DA ÁGUA EM SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO COM BIOFILTRO

Nos sistemas de recirculação de água, a qualidade de água é mantida por meio de biofiltros que permitem a reciclagem de nutrientes e reduzem a concentração de amônia por oxidação a nitrato, pela ação das bactérias nitrificantes (RAMÍREZ-GODÍNEZ et al., 2013; PEDREIRA et al., 2016).

Marengoni et al. (2013) avaliaram o efeito do filtro mecânico e biológico, e do tempo de cultivo (14, 28, 42, 56, 70 e 84 dias) de alevinos de tilápia do Nilo sobre a qualidade de água de um sistema de recirculação fechado. Eles observaram uma taxa de redução do oxigênio dissolvido de 0,06 mg L⁻¹ para cada dia de cultivo, aumento da condutividade elétrica, aumento da amônia total e aumento linear dos níveis de fósforo total em função do tempo de cultivo. A redução na qualidade da água do sistema foi mais evidente no período de 56 a 84 dias.

Pedreira et al. (2016) avaliaram diferentes tipos de substratos no biofiltro em aquários sobre o desempenho de larvas de tilápia do Nilo, e sobre a qualidade da água em sistemas de recirculação de água por quinze dias. Os biofiltros testados foram (1) controle, sem substrato; (2) brita granítica e concha; (3) brita granítica; (4) cascalho de quartzo e (5) porcelana. Os valores de condutividade, turbidez, pH, nitrato, nitrito e amônia indicam que os biofiltros compostos por brita e concha e por porcelana apresentaram a melhor eficiência do processo de biofiltração. Peixes cultivados em aquários com biofiltros com porcelana e cascalho no substrato apresentaram maior peso e comprimento total e padrão que nos demais substratos. Foi indicado o uso de biofiltro com porcelana para obter melhor desempenho dos peixes e garantir a qualidade de água adequada.

Al- Hafedh et al. (2003) testaram diferentes tipos de mídia plástica como substrato no biofiltro (rolos de plástico, tubos de PVC e esponja de fibra sintética) no cultivo de tilápia do Nilo. Eles observaram que, em média, 25,49% do nitrogênio amoniacal total que entra no filtro foi oxidado em nitrito ou nitrato no biofiltro de rolo de plástico, 21,19% no biofiltro de tubos de PVC, e 21,02% no biofiltro com esponja de fibra sintética. Quanto ao nitrito, foi observada redução média de 26,3% no biofiltro de rolo de plástico, 17,17% no biofiltro de tubo de PVC e 17,36% no biofiltro de esponja de fibra sintética. Os autores verificaram que o uso de rolos de plástico foi mais eficiente na remoção de compostos nitrogenados, com melhor passagem da água pelo substrato, além de ser mais barato e disponível.

Suantika et al. (2016) utilizaram para a remoção de amônia em um biofiltro de água doce dois tipos de substrato, pedra calcária e *bioball*, durante quinze dias. A taxa de remoção de amônia total dos biofiltros foi de 15,12% dia⁻¹ no substrato de pedra calcária e 11,94% dia⁻¹

no substrato de *bioball*. Os autores ressaltaram que é preciso formular um substrato mais adequado, que corresponda a um material com grande área de superfície microporosa, atue como *buffer*, tenha ampla disponibilidade e sirva como substrato para fixação de bactérias nitrificantes.

Sirakov et al. (2015) utilizaram dois sistemas: um com filtro com zeólitas e macrófitas (*Lemna e Elodia*) para tratamento de águas residuárias de sistemas de recirculação de água de criação de truta arco-íris, e compararam com um sistema convencional com filtro biológico. As concentrações dos íons amônio, nitrito, nitrato e fosfato no sistema com o uso zeólitas e macrófitas foram respectivamente 79,5%, 32,8%, 10%, 32,2% menores em relação ao sistema convencional.

2.4 ADSORÇÃO

A adsorção é um processo em que uma ou mais substâncias dissolvidas em uma solução são retidas por ligação física ou química na superfície do adsorvente. A adsorção é um fenômeno de superfície, enquanto a absorção é um fenômeno volumétrico. Adsorção pode ser física (fisissorção) ou química (quimissorção). A fisissorção é um processo reversível, envolve as forças de van der Waals e a ligação de hidrogênio com o adsorvente, enquanto a quimissorção envolve a formação de ligações químicas que consistem em ligações covalentes e eletrostáticas que tornam o processo menos reversível. Os fatores que afetam a adsorção são o tempo de contato, a área dos adsorventes, solubilidade do adsorvato, tamanho da molécula de adsorvato, pH da solução e a temperatura (RASHED, 2013).

Nas últimas décadas, a adsorção passou a ter destaque como um processo alternativo para a recuperação ou remoção de íons metálicos ou compostos orgânicos. Muitos materiais podem ser usados na adsorção, como os quelantes ou resinas de troca iônica, suportes minerais, carvão ativado e resíduos da indústria química, da agroindústria ou pesca. Quando o sorvente é produzido a partir de materiais de origem biológica, o processo de adsorção pode ser chamado de biossorção. A biossorção envolve mecanismos de ligação como complexação, quelação, troca iônica ou atração eletrostática (DESBRIÈRES; GUIBAL, 2018).

2.5 QUITINA E QUITOSANA

A quitina e a quitosana são biomateriais versáteis e promissores. A quitina pode ser encontrada em grandes quantidades nos rejeitos das indústrias de processamento de crustáceos, e também nas cartilagens de moluscos, cutículas de insetos, paredes celulares de microrganismos e escamas de peixes (KUMARI et al., 2015; KYZAS; BIKIARIS, 2015; ZARGAR et al., 2015). É um polímero biodegradável, não-tóxico, insolúvel em água, e apresenta alta biocompatibilidade. A despolimerização da quitina ocorre na presença de temperaturas elevadas ou por reação em ácidos minerais fortes (ASSIS; BRITTO, 2008).

A utilização dos resíduos das indústrias aquícolas é essencial tanto para o meio ambiente como para a economia, pois assim evita-se o descarte inadequado e agrega-se valor a um derivado (BESSA-JUNIOR; GONÇALVES, 2013). Os descartes do processamento de camarão são superiores a 40% do peso do animal. Dessa massa descartada, 30% podem ser recuperadas na forma de quitina. A extração de quitina envolve as etapas de desmineralização, desproteíntização e despigmentação. A desproteíntização dos resíduos de crustáceos pode ser realizada utilizando soluções aquosas alcalinas, como o hidróxido de sódio diluído (1-10%) temperaturas elevadas. A desmineralização pode ser realizada a partir do tratamento do material desproteíntado com ácidos diluídos, como o ácido clorídrico (normalmente em concentrações inferiores a 10%). A despigmentação (retirada da astaxantina), geralmente, é feita com banhos em acetona (ASSIS; BRITTO, 2008).

A quitina (poli- β -(1 \rightarrow 4)-N-acetil-D-glicosamina) pode ser desacetilada para produzir quitosana (poli- β -(1 \rightarrow 4)-2-amino-2-desoxi-D-glicose) (Figura 1) (KYZAS; BIKIARIS, 2015), a partir da reação de hidrólise dos grupos acetila da quitina em meio básico. Normalmente, são usadas soluções concentradas (40-50%) de hidróxido de sódio ou de potássio em temperatura de aproximadamente 100 °C (ASSIS; BRITTO, 2008).

Cerca de 80% da massa de quitina pode ser transformada em quitosana. A quitosana tem 60% ou mais unidades desacetiladas e é solúvel em solução ácida diluída. É caracterizada como uma fibra branca ou com tendência a um tom amarelo ou a castanho suave (ASSIS; BRITTO, 2008).

A quitosana é um polissacarídeo nitrogenado (poli- β -(1 \rightarrow 4)-2-amino-2-desoxi-D-glicose), caracterizado como um material promissor devido às suas características de não toxicidade, biocompatibilidade, biodegradabilidade, baixo custo e pelo potencial de adsorção de corantes, metais pesados (KYZAS; BIKIARIS, 2015) e poluentes aquícolas, sendo utilizada na forma de pó (CHUNG et al., 2005; BERNARDI et al., 2017).

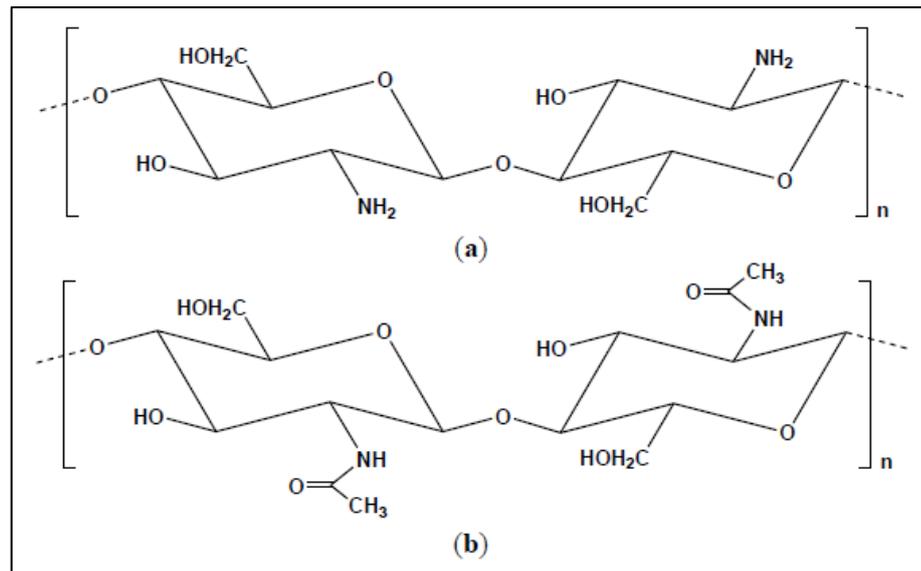


Figura 1. Estrutura química da quitosana (a) e da quitina (b)

Fonte: Kyzas; Bikiaris (2015).

A molécula de quitosana possui muitos grupos amino ($-\text{NH}_2$) e grupos hidroxila ($-\text{OH}$) na cadeia molecular. Assim, várias propriedades são proporcionadas para este composto orgânico, tais como coagulação, floculação e adsorção, possibilitando seu uso no tratamento de águas residuais (ALI et al., 2013). As propriedades da quitosana, como viscosidade, grau de desacetilação e massa molar dependem das fontes de matéria-prima e dos métodos de fabricação (LUCENA et al., 2013).

A quitosana pode ser usada nos processos de quimissorção e fisissorção, na forma sólida ou solubilizada. Na forma sólida para aplicações de adsorção baseadas na presença de grupos amino (complexação de cátions ou moléculas orgânicas, atração eletrostática ou troca iônica em meio ácido para fixar ânions em funções de amônia protonada). Também pode ser usado no estado líquido, ou seja, solubilizada em meio ácido para neutralizar cargas, para coagulação e ou floculação de espécies aniônicas (material dissolvido, coloides e partículas em suspensão) e para a complexação de íons metálicos (DESBRIÈRES; GUIBAL, 2018).

A utilização de quitosana na forma sólida, de pó ou em esferas nos processos de adsorção é muito frequente, porém, nestas formas, a quitosana apresenta desvantagens como a baixa área superficial interna, baixa velocidade de adsorção e a solubilidade em meio ácido, que inviabilizam o processo de reutilização. Esses problemas são minimizados pela mistura do biopolímero com outros produtos que os estruturam e que possam incrementar o desempenho da quitosana como material adsorvente (LUCENA et al., 2013).

2.5.1 Tratamento de água e efluentes utilizando quitosana

A remoção de compostos orgânicos, inorgânicos e microrganismos de águas residuais da aquicultura antes da descarga no corpo receptor pode minimizar a deterioração da qualidade da água ou possibilitar a reutilização da água no próprio cultivo e a quitosana pode ser utilizada para remoção de poluentes aquícolas (CHUNG et al., 2005).

O tratamento de efluentes da aquicultura, quando utiliza quitosana em pó, obtida a partir de rejeitos das indústrias de processamento de camarões, apresenta grande potencial para mitigação dos impactos ambientais causados pela produção intensiva de organismos aquáticos. Em efluentes aquícolas com concentrações iniciais de 0,14; 0,27 e 0,50 mg L⁻¹ de amônia total, uma quitosana comercial na dosagem de 1,0% (m m⁻¹) apresentou 100% de eficiência de remoção de amônia (BERNARDI et al., 2017).

Patil et al. (2013) utilizaram a quitosana para a remoção de nitrato de águas subterrâneas, e observaram que a quitosana em pó na dosagem de 2 g L⁻¹ remove aproximadamente 68% do nitrato de uma solução com 25 mg L⁻¹. Em outro ensaio, os autores testaram o uso de 0,04 g L⁻¹ de quitosana diluída em ácido acético, adicionada à água subterrânea com 25 mg L⁻¹ de nitrato, e obtiveram 100% de remoção de nitrato, porém houve alteração do pH, que ficou em 5,27.

Chung (2006) utilizou quitosana dissolvida em ácido acético (0,2 mol L⁻¹) com diferentes graus de desacetilação na remoção de poluentes de águas residuais de uma lagoa de cultivo de enguias (*Anguilla japonica*). O autor observou que quanto maior o grau de desacetilação maior a eficiência de remoção de poluentes, e menor a dosagem requerida no tratamento. É possível remover até 89% de NH₃ de um efluente com concentração inicial de 4,43-4,62 mg L⁻¹ utilizando 20 mg L⁻¹ de quitosana (98% de desacetilação). Em relação ao ortofosfato dissolvido, no efluente com concentração inicial de 5,2-5,4 mg L⁻¹, pH 5, é possível obter remoção de até 95,5%, utilizando 12 mg L⁻¹ de quitosana com 98% de desacetilação.

2.5.2 Espuma de quitosana

A espuma de quitosana é um material com características adsorventes e tem a vantagem de ser estruturada como uma espuma maleável. É produzida pelo processo de secagem do método da camada de espuma, protegido pelo pedido de patente número BR1020150292597 (MUNIZ et al., 2015).

A espuma de quitosana é composta por quitosana (Polymar Ciência e Nutrição S/A (Fortaleza, Brasil)) e emulsificante neutro comercial (MUNIZ et al., 2015). O grau de desacetilação da quitosana comercial (Polymar Ciência e Nutrição S/A (Fortaleza, Brasil)) é de 72,3%, com área superficial específica de $1,63 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. A composição química é de aproximadamente 73% de carbono, 11% de nitrogênio, 15% de oxigênio, 0,5% de cloro, 0,3% de sódio e 0,2% de cobre (BERNARDI et al., 2017).

Para a preparação da espuma, a quitosana é dissolvida em uma solução de ácido acético e mantida sob agitação para a completa homogeneização. Em seguida, é adicionado emulsificante comercial na solução de quitosana e feita a incorporação mecânica de ar em um misturador doméstico. A espuma obtida é uniformizada sobre formas metálicas, com camada de 1,0 cm de espessura, e mantida em estufa com circulação de ar a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ até peso constante (MUNIZ et al., 2015; ELLENDERSEN et al., 2018).

A espuma de quitosana é caracterizada por duas camadas (A e B). Poros irregulares são observados por microscopia eletrônica de varredura na camada A com diâmetros de 100-350 μm , e na camada B, são observados poros circulares com diâmetros de 2-20 μm . Essa espuma pode reduzir a turbidez da água em até 97% após um tempo de contato de 48 horas, e proporcionar elevada retenção de metais, especialmente ferro e prata, cujas soluções com concentrações iniciais de 200 mg L^{-1} são reduzidas a menos de $0,6 \text{ mg L}^{-1}$ (ELLENDERSEN et al., 2018).

2.6 HISTOPATOLOGIA DE PEIXES

Dentre os órgãos indicados para o estudo histopatológico em peixes, destacam-se principalmente as brânquias, que são expostas permanentemente a potenciais agentes tóxicos no ambiente aquático; os rins e o fígado, por serem órgãos essenciais ao metabolismo, excretam metabólitos e controlam a entrada de água e sais por osmorregulação (BERNET et al., 1999).

A morfologia geral das brânquias da tilápia do Nilo é idêntica à de outros teleósteos, com quatro pares de arcos branquiais situados de cada lado da cavidade bucal. Cada arco branquial tem uma estrutura cartilaginosa e uma fileira dupla de filamentos branquiais achatados dorso-ventralmente, subdivididos em lamelas branquiais dispostas perpendicularmente. Os filamentos branquiais possuem um epitélio estratificado, constituído por vários tipos de células, entre as quais estão as células de cloro, mucosas e pavimentosas.

O epitélio assenta-se sobre o seio venoso central e encontra-se segmentado por eixos vasculares que originam as lamelas, as quais são projeções teciduais acima da superfície externa do epitélio filamentar. As lamelas são constituídas centralmente por um eixo vascular e por um epitélio composto por células pavimentosas de revestimento e indiferenciadas. Esse epitélio assenta-se na lâmina basal de células endoteliais modificadas (células pilares) que suportam e delimitam o compartimento sanguíneo lamelar (GARCIA-SANTOS et al., 2007, TORRES et al., 2010).

Certas condições do meio aquático podem comprometer a integridade estrutural das brânquias e levar a alterações histológicas, as quais podem ser consequência de uma resposta defensiva crônica a infecções parasitárias, bacterianas, ao estresse, metais pesados, elementos da dieta e outros elementos químicos (REIS et al., 2009).

O hepatopâncreas da tilápia do Nilo é formado por dois lóbulos que estão relacionados com o intestino ao longo da cavidade celomática. É constituído pelo estroma e pelo parênquima. O estroma recobre o órgão e o protege. Dele partem tabiques de tecido conjuntivo que fornecem sustentação ao órgão. O parênquima é formado por dois componentes: o hepático e o pancreático. O componente hepático é constituído pelos hepatócitos e um sistema de condutos que drenam a bile. Os hepatócitos são células poliédricas, grandes, geralmente com um núcleo central e nucléolos característicos, alinhados em fileiras que formam cordões dispostos em duas camadas celulares e são rodeados por sinusoides. Ultraestruturalmente, os hepatócitos apresentam elevado conteúdo de glicogênio no citoplasma e organelas relativamente pobres.

Os ductos biliares são geralmente encontrados perto da veia porta e são revestidos por epitélio cuboide simples. Ainda, identifica-se um tecido pancreático exócrino intra-hepático no parênquima hepático, com um arranjo acinar e difuso. O pâncreas, separado por cordões de hepatócitos por meio de uma camada delgada de septos de tecido conjuntivo, forma uma massa de células acinosserosas, de forma piramidal, núcleo arredondado e citoplasma contendo grânulos de zimogênio (TORRES et al., 2010).

Devido a sua função no metabolismo, o fígado tem recebido atenção especial em estudos relacionados à contaminação aquática, pois, nesse órgão, as alterações comprometem o funcionamento normal do organismo (HEATH, 1995). O fígado dos peixes pode apresentar alteração estrutural e metabólica mediante a exposição a poluentes, à alimentação, às toxinas, a parasitas e aos microrganismos (ROCHA et al., 2010).

2.7 DIGESTIBILIDADE

As espécies animais, devido às características fisiológicas e morfológicas, possuem diferentes capacidades para aproveitar os nutrientes e a energia contidos nos alimentos ingeridos. Tais diferenças podem ser quantificadas por determinação dos coeficientes de digestibilidade, que são a fração de nutrientes ou energia dos ingredientes ingeridos que não são excretados nas fezes (ANDRIGUETO et al., 1982).

Os coeficientes de digestibilidade aparente são utilizados com o propósito de determinar o valor nutricional de um alimento, no qual a digestibilidade depende especialmente da composição química e da capacidade digestiva do animal para o alimento (SANTOS et al., 2008). Entretanto, quando se analisa somente a composição química de um alimento, pode-se ter a impressão desse ser uma excelente fonte de nutrientes, mas será de baixo valor nutritivo se seus nutrientes não forem bem digeridos e absorvidos no trato gastrintestinal da espécie-alvo (KOPRUCU; OZDEMIR, 2005).

A determinação dos coeficientes de digestibilidade em peixes pode ser feita pelo método direto, o qual envolve a coleta total de fezes; porém, a coleta de fezes é parcial no método indireto, utilizando-se marcadores como substância-referência (BOMFIM; LANNA, 2004). No método indireto, podem ser usados indicadores externos (óxido crômico e carbonato de bário) e internos (cinza insolúvel em ácido, cinza insolúvel em detergente ácido, fibra bruta e fibra detergente ácido) (VIDAL et al., 2004). Dentre os métodos de coleta de fezes mais utilizados, encontram-se o uso de aquário coletor provido de válvula para concentração de fezes, a extrusão do conteúdo final do intestino, a dissecação da porção distal do intestino, a sucção mecânica anal e a captação das fezes liberadas no aquário (PEZZATO et al., 2002; BOMFIM; LANNA, 2004).

O uso dos resíduos do processamento de camarão pode ser uma alternativa para alimentação da tilápia do Nilo e para o destino adequado desses resíduos, assim, garante-se a sustentabilidade da aquicultura (GONÇALVES; VIEGAS, 2007). Os resíduos são normalmente utilizados para a produção de farinha de pescado, porém, esse uso reduz a qualidade nutricional do produto. Uma forma de agregar valor aos resíduos do camarão é a produção de quitosana, utilizada nas indústrias alimentícia, farmacêutica e química (MOURA et al., 2006). Os valores de coeficiente de digestibilidade são importantes parâmetros para determinar o nível de utilização desses ingredientes na alimentação animal (GONÇALVES; VIEGAS, 2007).

O valor nutricional da farinha de resíduo de camarão depende da quantidade de exoesqueleto, composto principalmente de quitina (FANIMO et al., 2000). Olsen et al. (2006) relatam que a quitina contida em farinha de *Euphausia superba*, fornecida em dietas para *Salmo salar*, não afeta o crescimento, os parâmetros sanguíneos, a digestibilidade da matéria seca nem a proteína; e possui efeitos benéficos aos peixes, pois age como prebiótico, com atuação nas bactérias patogênicas do trato gastrintestinal dos peixes.

Cha et al. (2008) observaram que o revestimento da dieta com quitosana, obtida a partir da desacetilação da quitina, apresentou melhora no sistema imune de *Paralichthys olivaceus*, além de refletir na melhoria da qualidade da água.

2.8 REFERÊNCIAS

- AL-HAFEDH, Y.S.; ALAM, A.; ALAM, M.A. Performance of plastic biofilter media with different configuration in a water recirculation system for the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquacultural Engineering**, v. 29, p. 139- 154, 2003.
- ALI, Z.M.; LAGHARI, A.J.; ANSARI, A.K.; KHUHAWAR, M.Y. Extraction and characterization of chitosan from Indian Prawn (*Fenneropenaeus indicus*) and its applications on waste water treatment of local ghee industry. **IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)**, v. 3, n.10, p.28–37, 2013. DOI:10.9790/3021-031022837
- ANDRIGUETO, J.M.; PERLY, L.; MINARDI, I. et al. **Nutrição animal**. Paraná: Nobel, 1982. v.1. 395p.
- ARANA, L.V. **Princípios químicos da qualidade da água em aquicultura**: uma revisão para peixes e camarões. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1997, 166 p.
- ARANA, L.V. **Princípios químicos da qualidade da água em aquicultura**. 3ª ed. rev. e modif. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2010, 238 p.
- ASSIS, O.B.G.; BRITTO, D. Processo básico de extração de quitinas e produção de quitosana a partir de resíduos da carcinicultura. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 14, n. 1, p. 91-100, 2008.
- ATWOOD, H.L.; FONTENOT, Q.C.; TOMASSO, J.R.; ISELY, J.J. Toxicity of nitrite to Nile tilapia: Effect of fish size and environmental chloride. **North American Journal of Aquaculture** v.63, p.49–51, 2001. DOI:10.1577/1548-8454(2001)063<0049:TONTNT>2.0.CO
- BESSA-JUNIOR, A.P.; GONÇALVES, A.A. Análises econômica e produtiva da quitosana extraída do exoesqueleto de camarão. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v. 1, n. 1, p.13-28, 2013. DOI 10.2312/ActaFish.2013.1.1.13-28.
- BERNARDI, F.; ZADINELO, I.V.; ALVES, H.J.; MEURER, F. SANTOS, L.D. Chitins and chitosans for the removal of total ammonia of aquaculture effluents. **Aquaculture**, v.483, 20, p.203-212, 2017. DOI:10.1016/j.aquaculture.2017.10.027.
- BERNET, D.; SCHMIDT, H.; MEIER, W.; BURKHARDT-HOLM, P.; WAHLI, T. Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. **Journal of Fish Diseases**, v. 22, p. 25-34, 1999.
- BREGNBALLE, J. A Guide to Recirculation Aquaculture: An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and EUROFISH International Organisation**, 2015, 100p. Disponível em: < <http://www.fao.org/3/a-i4626e.pdf>> Acesso em: 27/02/2018.
- BROWN, M.N.; BRIONES, A.; DIANA, J.; RASKIN, L. Ammonia-oxidizing archaea and nitrite-oxidizing nitrospiras in the biofilter of a shrimp recirculating aquaculture system. **Microbiology Ecology**, v. 83, p. 17–25, 2013. DOI: 10.1111/j.1574-6941.2012.01448.x

BOMFIM, M.A.D.; LANNA, E.A.T. Fatores que afetam os coeficientes de digestibilidade nos alimentos para peixes. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 1, n. 1, p. 20-30, 2004.

BOYD, C.E.; TUCKER, C.S.; SOMRIDHIVEJ, B. Alkalinity and hardness: critical but elusive concepts in aquaculture. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 47, p. 6-41, 2016. DOI:10.1111/jwas.12241.

CAGOL, L.; et al. Concentrações letais de fósforo na água para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Acta Iguazu**, v. 5, n. 3, p. 71-82, 2016.

CHA, S.H.; LEE, J. S.; SONGA, C.B.; LEE, K.J.; YOU, J.J. Effects of chitosan-coated diet on improving water quality and innate immunity in the olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. **Aquaculture**, v. 278, p. 1100-118, 2008.

CHUNG, Y.C. Improvement of aquaculture wastewater using chitosan of different degrees of deacetylation. **Environmental Technology**, v. 27, n. 11, p. 1199-1208, 2006. DOI: 10.1080/09593332708618734.

CHUNG, Y.C.; LI, Y.H.; CHEN, C.C. Pollutant removal from aquaculture wastewater using the biopolymer chitosan at different molecular weights. **Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering**, v. 40, n. 9, p. 1775-1790, 2005. DOI: 10.1081/ESE-200068058.

CREPALDI, D.V.; TEIXEIRA, E.A.; FARIA, P.M.C.; RIBEIRO, L.P.; MELO, D.C.; CARVALHO, D.; SOUSA, A.B.; SATURNINO, H.M. Sistemas de produção na piscicultura. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 30, n. 3/4, p. 86-99, 2006.

DESBRIÈRES, J.; GUIBAL, E. Chitosan for wastewater treatment. **Polymer International**, v. 67, p. 7-14, 2018. DOI: 10.1002/pi.5464.

EL-SAYED, A-F.M. **Tilapia culture**. CABI Publishing, Cambridge, 2006. 277p. DOI: 10.1079/9780851990149.0000.

ELLENDERSEN, L.S.N et al. Biopolymer foam for remediation of aquatic environments contaminated with particulates and heavy metals. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 2018. DOI:10.1016/j.jece.2018.09.019

ELLIOTT, O. et al. Design and manufacturing of high surface area 3D-printed media for moving bed bioreactors for wastewater treatment. **Journal of Contemporary Water Research and Education**, v. 160, n. 1, p. 144-156, 2017. DOI:10.1111/j.1936-704X.2017.03246.x.

FANIMO, A. O. et al. Protein quality of shrimp-waste meal. **Bioresource Technology**, v. 72, p.185-188, 2000.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The State of World Fisheries and Aquaculture: opportunities and challenges**. Rome, 2014, 243p. E-ISBN 978-92-5-108276-8 (PDF)

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The State of World Fisheries and Aquaculture 2016**: Contributing to food security and nutrition for all. Rome, 2016, 200p. ISBN 978-92-5-109185-2.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The State of World Fisheries and Aquaculture 2018** - Meeting the sustainable development goals. Rome, 2018, 227p. ISBN 978-92-5-130562-1.

GARCIA-SANTOS, S. et al. Alterações histológicas em brânquias de tilápia nilótica *Oreochromis niloticus* causadas pelo cádmio. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, n. 2, p. 376-381, 2007.

GONÇALVES, L. U.; VIEGAS, E. M. M. Produção, caracterização e avaliação biológica de silagens de resíduos de camarão para tilápia-do-Nilo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, n. 4, p. 1021-1028, 2007.

GULLIAN-KLANIAN, M.; ARÁMBURU-ADAME, C. Performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings in a hyper-intensive recirculating aquaculture system with low water exchange. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 41, n. 1, p. 150-162, 2013. DOI: 103856/vol41-issue1-fulltext-12.

HEATH, A. G. **Water Pollution and Fish Physiology**. 2^a ed., 384p. 1995. ISBN 9780873716321.

KOPRUCU, K.; OZDEMIR, Y. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 250, p. 308-316, 2005.

KROUPOVA, H.; MACHOVA, J.; SVOBODOVA, Z. Nitrite influence on fish: a review. **Veterinární medicína - Czech**, v. 50, n. 11, p. 461-471, 2005. ISSN: 0375-8427.

KUBITZA, F. Tilápia: Tecnologia e planejamento na produção comercial. 2^a ed. rev., Jundiaí: Aqua Supre Com. Suprim. **Aquicultura**, 2011. 316p.

KUMARI, S.; RATH, P.; SRI HARI KUMAR, A.; TIWARI, T.N. Extraction and characterization of chitin and chitosan from fishery waste by chemical method. **Environmental Technology & Innovation**, v. 3, p. 77-85, 2015. DOI: 10.1016/j.eti.2015.01.002.

KYZAS, G.Z; BIKIARIS, D.N. Recent modifications of chitosan for adsorption applications: a critical and systematic review. **Marine Drugs**, v. 13, p. 312-337, 2015. DOI:10.3390/md13010312.

LUCENA, G.L.; SILVA, A.G.; HONÓRIO, L.M.C., SANTOS, V.D. Remoção de corantes têxteis a partir de soluções aquosas por quitosana modificada com tioacetamida. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 8, n. 1, p. 144-154, 2013. DOI:10.4136/ambi-agua.973.

MACEDO, C.F.; SIPAÚBA-TAVARES, L.H. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 36, n. 2, p.149-163, 2010.

MARENGONI, N. G et al. Qualidade física e química da água em sistema fechado de recirculação durante o cultivo de juvenis de tilápia-do-Nilo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, p. 927-934, 2013. DOI:10.5433/1679-0359.

MOREIRA, H. L. M.; VARGAS, L.; COUTINHO, R.; ZIMMERMANN, S. **Fundamentos da Moderna Aquicultura**. Canoas: Ed. ULBRA, 1ª Ed, Brazil, 2001, 200 pp. ISBN 85-7528-020-1.

MOURA, C. et al. **Quitina e quitosana produzidas a partir de resíduos de camarão e siri: Avaliação do processo em escala piloto**. Vetor, Rio Grande, v. 16, p. 37-45, 2006.

MUNIZ, G. I. B. et al. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR1020150292597: Uso e obtenção de espuma seca e pó de quitosana e nanoquitosana por processo de secagem pelo método de camada de espuma, Instituição de registro: **INPI - INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL**. Depósito: 23/11/2015, Brasil, 2015.

OLSEN, R. E. et al. The replacement of fish meal with Antarctic krill, *Euphausia superba* in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar*. **Aquaculture Nutrition**, v. 1, p. 280-290, 2006.

PATIL, I.D.; HUSAIN, M.; RAHANE, V. R. Ground water nitrate removal by using ‘Chitosan’ as an adsorbent. **International Journal of Modern Engineering Research**, v. 3, n. 1, p. 346-349, 2013. ISSN: 2249-6645.

PEDREIRA, M. M. et al. Substrates for biofilter in recirculating system in Nile tilapia larviculture production. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 17, n. 3, p. 553-560, 2016. DOI:10.1590/S1519-99402016000300020.

PEZZATO, L. E. et al. Avaliação de dois métodos de determinação do coeficiente de digestibilidade aparente com a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.). **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 24, p. 965-971, 2002.

RAMÍREZ-GODÍNEZ, J. et al. Recirculating systems for pollution prevention in aquaculture facilities. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 5, p. 5-9, 2013.

RASHED, M. N. Adsorption technique for the removal of organic pollutants from water and wastewater. **Organic Pollutants - Monitoring, Risk and Treatment**, InTech, p. 167-194, 2013. DOI: 10.5772/54048.

REIS, A. B. et al. Alterações do epitélio branquial e das lamelas de tilápias (*Oreochromis niloticus*) causadas por mudanças do ambiente aquático em tanques de cultivo intensivo. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 303-311, 2009.

ROCHA, R. M. et al. Avaliação histopatológica do fígado de *Brachyplatystoma rousseauxii* (castelnau, 1855) da baía do Guajará, Belém, Pará. **Ciência Animal Brasileira**, v. 11, n. 1, p. 101-109, 2010.

RODRIGUES, R. B. et al. Tecnologia de bioflocos no cultivo de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). **Acta tecnológica** v. 10, n. 2, p. 75-89, 2015.

- SÁ, M. V. C. **Limnocultura: limnologia para aquicultura**. Fortaleza: Edições UFC, 2012, 218p.
- SANDRE, L. C. G. et al. Influência dos fatores climáticos na qualidade de água em pesque-pagues. **Veterinária e Zootecnia**, v. 16, n. 3, p. 509-518, 2009.
- SANTOS, E. L. et al. Digestibilidade de ingredientes alternativos para tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*): Revisão. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 3, n. 2, p. 135-149, 2008.
- SIPAÚBA-TAVARES, L. H. **Limnologia aplicada à aquicultura**. Jaboticabal: FUNEP, 1995, 70p.
- SILVA, M. S. G. M.; LOSEKANN, M. E.; HISANO, H. **Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2013, 39 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/972692/1/Doc95.pdf>> Acesso em 06/03/2018.
- SIRAKOV, I. K. et al. Application of natural zeolites and macrophytes for water treatment in recirculation aquaculture systems. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v. 21, n. 1, p. 147–153, 2015.
- SUANTIKA, G. et al. Ammonium removal by nitrifying bacteria biofilm on limestone and bioball substrate established in freshwater trickling biofilter. **Poultry, Fisheries & Wildlife Sciences**, v. 4, n. 2, p. 157-162, 2016. DOI:10.4172/2375-446X.1000157.
- TORRES, R. G. A.; GONZÁLEZ, P. S.; PEÑA, S. E. Descripción anatómica, histológica y ultraestructural de la branquia e hígado de tilapia (*Oreochromis niloticus*). **International Journal of Morphology**, v. 28, p.7 03-712, 2010.
- TURCIOS, A. E.; PAPENBROCK, J. Sustainable treatment of aquaculture effluents - what can we learn from the past for the future? **Sustainability**, v. 6, p. 836-856, 2014. DOI:10.3390/su6020836.
- VIDAL JR., M.V. et al. Determinação da digestibilidade da matéria seca e da proteína bruta do fubá de milho e do farelo de soja para tambaqui (*Colossoma macropomum*), utilizando-se técnicas com uso de indicadores internos e externos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 6, p. 2193-2200, 2004. DOI: 10.1590/S1516-35982004000900003.
- VIEIRA E SILVA, F. et al. Características morfométricas, rendimento de carcaça, filé, vísceras e resíduos em tilápias-do-nilo em diferentes faixas de peso. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 8, p. 1407-1412, 2009.
- ZARGAR, V.; ASGHARI, M.; DASHTI, A. A Review on chitin and chitosan polymers: structure, chemistry, solubility, derivatives, and applications. **ChemBioEng Reviews**, v. 2, p. 1-24, 2015. DOI: 10.1002/cben.201400025.

3 ADSORÇÃO DE POLUENTES AQUÍCOLAS UTILIZANDO BIOPOLÍMERO SUSTENTÁVEL

Resumo: A aquicultura intensiva necessita de métodos alternativos de cultivo que atuem em prol da sustentabilidade. Os sistemas fechados com recirculação de água tornam a produção intensiva compatível com sustentabilidade ambiental, pois não há troca de água e nem lançamento de efluentes para o ambiente. Para isso, há a demanda de sistemas de filtração eficientes que mantenham a qualidade da água adequada para a criação dos organismos aquáticos. Haja vista a quitosana ser um resíduo industrial da carcinicultura, um material natural renovável, biodegradável e com características de adsorventes, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a espuma de quitosana como adsorvente de poluentes aquícolas. A espuma de quitosana foi aplicada como parte estrutural do filtro, para remoção de poluentes aquícolas. A espuma de quitosana foi caracterizada por microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de energia dispersiva e, tanto a densidade aparente como a capacidade de absorção de água foram determinadas. Foi utilizada na remoção de amônia, nitrito, ortofosfato e turbidez, de efluentes aquícolas. A espuma de quitosana é caracterizada por bicamada lisa e porosa de baixa densidade e flexível, com elevada capacidade de absorção de água. A melhor dosagem (% m v⁻¹) da espuma no filtro foi de 0,10, sendo observados os percentuais quanto à remoção máxima de 32,8%, 57,2%, 89,5% e 99,9% de amônia, nitrito, ortofosfato e turbidez, respectivamente. O material produzido com matéria-prima oriunda de resíduos é biodegradável, porém, quando saturado pelos compostos orgânicos da aquicultura e não puder mais ser reaproveitado como material filtrante, pode ser utilizado como fertilizante, assim, fecha-se o ciclo sustentável da cadeia aquícola.

Palavras-chave: aquicultura, quitosana, remoção de compostos orgânicos, tratamento de água.

* Artigo publicado

Zadinelo, I.V.; Santos, L.D.; Cagol, L.; Muniz, G.I.B.; Ellendersen, L.S.N.; Alves, H.J.; Bombardelli, R.A. Adsorption of aquaculture pollutants using a sustainable biopolymer. *Environmental Science and Pollution Research*, v.5, n.25, p.4361-4370, 2018. DOI:10.1007/s11356-017-0794-4

ADSORPTION OF AQUACULTURE POLLUTANTS USING A SUSTAINABLE BIOPOLYMER

Abstract: Intensive aquaculture needs to adopt techniques that contribute to sustainability. Closed systems that employ water recirculation can combine intensive and compatible production with environmental sustainability, since there is no exchange of water or discharge of effluents into the environment. There is a demand concerning effective filtration systems, which ensure that water quality is satisfactory for aquatic organisms farming. Chitosan, an industrial waste material derived from crustacean farming, is a renewable natural material that is biodegradable and possesses adsorbent characteristics. Thus, this trial aimed at evaluating chitosan foam as an adsorbent of aquaculture pollutants. Chitosan foam was applied as a structural part of filter to remove aquaculture pollutants. Chitosan foam was characterized by scanning electron microscopy and energy dispersive spectroscopy, and both apparent density and water absorption capacity were determined. It was used to remove ammonia, nitrite, orthophosphate, and turbidity from aquaculture effluents. Chitosan foam consisted of a bilayer with smooth and porous sides, which presented low density, flexibility, and high-water absorption capacity. The best dosage ($\% \text{ m v}^{-1}$) of foam in the filter was 0.10. The following percentages regarding maximum removal were 32.8, 57.2, 89.5, and 99.9% of ammonia, nitrite, orthophosphate, and turbidity, respectively. This produced material is biodegradable and when saturated with organic compounds from aquaculture, and no longer suitable for reuse as a filter material, can be applied as a fertilizer, hence closing the sustainability cycle of the aquaculture production chain.

Keywords: aquaculture, chitosan, removal of organic compounds, treatment

3.1 INTRODUÇÃO

A preocupação com os resíduos gerados a partir da criação de organismos aquáticos é um fator decisivo na sustentabilidade da aquicultura atualmente e para os próximos anos. Com a intensificação dos sistemas de criação, a carga de resíduos lançados na água de cultivo e nos rios aumentou significativamente. Os compostos nitrogenados e fosforados são os principais produtos de excreção dos peixes, e ambos podem afetar não somente a água de cultivo, mas também todo o ambiente (LAZZARI; BALDISSEROTTO, 2008). Dessa forma, é preciso buscar técnicas de cultivo que mantenham a qualidade da água, minimizem o descarte de efluentes aquícolas e permitam a produção intensiva.

Os sistemas fechados com recirculação de água tornam a produção intensiva compatível com sustentabilidade ambiental (MARTINS et al., 2010), e é a forma de cultivo em que a água, após passar pelos tanques de peixes segue para o tratamento em filtros mecânico e biológico, retorna ao sistema por bombeamento. Assim, é possível manter um fluxo elevado de água que passa no sistema sem que os elementos poluidores sejam lançados para o meio ambiente. Considera-se assim como um sistema mais seguro, economicamente viável e ecologicamente correto (BREGNBALLE, 2015).

Há a demanda de eficientes sistemas de filtração que mantêm a qualidade da água adequada para a criação dos organismos aquáticos para que os sistemas de produção de organismos aquáticos com recirculação de água funcionem.

Os resíduos gerados na criação, constituídos por alimentos não ingeridos e produtos do metabolismo dos peixes, liberados no ambiente aquático, aumentam principalmente a concentração de nitrogênio e de fósforo na água (MALLASEN et al., 2008). Quando a concentração de amônia aumenta na água de cultivo, a excreção deste metabólito nos organismos aquáticos diminui. Por conseguinte, há um aumento na concentração interna de amônia total, que excede as concentrações toleradas pelos organismos aquáticos e pode levar à mortalidade (ARANA, 2010). Os valores letais de amônia total ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) para peixes variam entre 2,0 e 3,0 mg L^{-1} e de amônia tóxica (NH_3) acima de 0,20 mg L^{-1} (MORO et al., 2013).

O nitrito pode ser tóxico para os organismos aquáticos, pois suas fontes são a oxidação da amônia em ambientes oxidantes, e a redução do nitrato, em ambientes redutores. Em sistemas fechados com elevadas densidades de estocagem, o nitrito pode atingir rapidamente níveis letais acima de 11,65 mg L^{-1} (YANBO et al., 2006).

As elevadas concentrações de nitrogênio e de fósforo na água favorecem a proliferação de organismos vegetais tais como algas e plantas aquáticas e causam eutrofização. A eutrofização leva à deterioração da qualidade da água, pode ocasionar modificações na estrutura das comunidades aquáticas e comprometer a estabilidade do ecossistema (MALLASEN et al., 2008).

Ambientes eutrofizados são propícios para o desenvolvimento de algas cianofíceas, das quais muitas liberam toxinas prejudiciais à saúde; outras produzem metabólitos como a geosmina e o 2-metil-isoborneol, identificados como causadores de sabor ou odor de terra na carne do peixe, conhecido como “off-flavor”. As elevadas concentrações dessas algas na água para criação de peixes prejudicam a qualidade da carne do pescado e o consumo, causam marketing negativo em relação ao peixe proveniente deste tipo de criação e pode inviabilizar o próprio empreendimento (MALLASEN et al., 2008).

Neste contexto, busca-se a manutenção dos níveis de concentrações dos nutrientes baixos na água, tanto durante o cultivo dos organismos aquáticos, quanto no lançamento dos efluentes resultantes da criação de peixes para o meio ambiente.

Biopolímeros têm sido considerados uma classe promissora de bioadsorventes e usados para remoção de poluentes orgânicos e inorgânicos de ambiente aquático. A quitosana, principal derivado da quitina, é um biopolímero que tem sido extensivamente utilizada como bioadsorvente em meio aquoso (FAVERE et al., 2010). As carapaças de crustáceos são resíduos abundantes da indústria pesqueira, ricas em quitina, a partir da qual se obtém a quitosana. A utilização dessas carapaças reduz o impacto ambiental causado pelo acúmulo daquelas nos locais onde são geradas ou estocadas (AZEVEDO et al., 2007).

A quitosana é um biopolímero formado por unidades de β -(1 \rightarrow 4)-2-amino-2-desoxi-D-glicopirranose, obtido durante o processo de desacetilação parcial da quitina, biopolímero constituído de unidades β -(1 \rightarrow 4)-2-acetamido-2-desoxi-D-glicopirranose extraída de exoesqueletos de crustáceos e da parede celular de fungos (SILVA et al., 2011; LUCENA et al., 2015; GAOUAR YADI et al., 2015). Esse biopolímero apresenta características importantes para ser utilizado, tais como: não toxicidade, biodegradabilidade, biocompatibilidade e bioatividade (JABAR et al., 2014). Sua capacidade adsorptiva advém da grande quantidade de grupamentos funcionais amino e hidroxila, presentes em sua estrutura, uma vez que os grupos amino servem como sítios de coordenação (SILVA et al., 2011). Já existem trabalhos na literatura que utilizaram a quitosana como adsorvente, floculante e/ou coagulante de poluentes da indústria aquícola, seja no tratamento de águas residuais da criação de peixes (CHUNG et

al., 2005; CHUNG, 2006), seja no tratamento de águas residuais da indústria de processamento de peixes (GARCIA et al., 2016).

A quitosana é um resíduo industrial, um material natural renovável, biodegradável e com características de adsorventes, assim, foi aplicada uma espuma de quitosana como parte estrutural do filtro para valorizá-la e diminuir o resíduo industrial. A aplicação e o reuso da espuma de quitosana nos sistemas de criação são facilitados devido ao material não estar na forma de pó, mas estruturado como espuma maleável. Logo, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a espuma de quitosana como adsorvente de poluentes aquícolas.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

A espuma de quitosana utilizada no filtro é produzida pelo processo de secagem pelo método de camada de espuma, processo protegido pelo pedido de patente, número BR1020150292597 (MUNIZ et al., 2015). O processo de elaboração da espuma permite proporcionar à quitosana um suporte para sua utilização no equipamento filtrador sem que haja perda de material adsorvente para o meio a ser filtrado. Como resultado, obtém-se uma espuma com uma superfície lisa e uma porosa (Figura 2).



Figura 2. Espumas de quitosana utilizadas nos experimentos.

3.2.1 Métodos de determinação dos poluentes nos efluentes

Foram realizadas análises para determinar a amônia total pelo método do indofenol (KOROLEFF, 1976), o nitrito pelo método da reação de Griess (BAUMGARTEN, 1996) e o ortofosfato dissolvido foi obtido pelo método do ácido ascórbico (APHA, 2005). As leituras das absorvâncias foram feitas em espectrofotômetro Belphotonics SP2000UV[®]. O pH foi aferido em pHmetro Kasvi AI03449[®], e a turbidez em um turbidímetro Poli Control AP2000[®].

3.2.2 Cálculo das eficiências de remoção dos poluentes

Os percentuais de remoção de poluentes das soluções foram calculados segundo a Equação 1.

$$\text{Eficiência de Remoção (\%)} = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

C_i = concentração inicial (mg L^{-1})

C_f = concentração final (mg L^{-1})

3.2.3 Capacidade de adsorção de poluentes

As capacidades de adsorção (Q) dos poluentes pelas espumas de quitosana foram determinadas segundo a Equação 2.

$$Q = \frac{(C_i - C_f) V}{m} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

Q = capacidades de adsorção (mg g^{-1})

C_i = concentração inicial (mg L^{-1})

C_f = concentração final (mg L^{-1})

V = volume da solução (L)

m = massa do adsorvente (g)

3.2.4 Caracterização das espumas de quitosana

3.2.4.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS)

As espumas de quitosana foram caracterizadas em ambos os lados da superfície (lisa e porosa) por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS). Foram avaliadas antes do seu uso nos ensaios de adsorção, e após seu uso no ensaio de adsorção de ortofosfato dissolvido.

O MEV foi utilizado por fornecer informações sobre a espuma de quitosana em relação à morfologia da estrutura, a partir da visualização de imagens com alta ampliação e resolução, e permitir o registro de imagens tridimensionais das amostras. O sistema de EDS (*Energy Dispersive System*) pode ser acoplado ao equipamento de MEV, o qual possibilita a determinação da composição química qualitativa e semiquantitativa das amostras, a partir da emissão de raios X característicos.

As amostras de espuma de quitosana foram colocadas em um porta-amostra sobre uma fita de carbono dupla face e, posteriormente foram secas e metalizadas com uma fina camada de ouro na superfície (*sputtering*). As análises foram realizadas pelo equipamento da marca TESCAN, modelo VEGA3. As micrografias foram obtidas em diversos aumentos em módulo SE (*secondary electron*) com detector de elétrons secundários. A composição química das microrregiões das amostras foi analisada por EDS (Espectroscopia de Energia Dispersiva) com detector de raios X da marca OXFORD INSTRUMENTS, modelo x-act.

3.2.4.2 Densidade aparente

As amostras de espumas de quitosana utilizadas foram cortadas, medidas as dimensões com um paquímetro, sendo depois mensuradas as massas de cada uma das amostras em uma balança eletrônica com precisão de 0,001 g. O valor é expresso como massa total (g) da amostra de espuma por unidade de área (cm³), sendo denominada densidade aparente do material. As determinações foram repetidas três vezes.

3.2.4.3 Capacidade de absorção de água

As amostras de utilizadas espumas de quitosana foram cortadas e as massas foram mensuradas em balança eletrônica com precisão de 0,001 g. As amostras foram mergulhadas em 1000 mL de água destilada, e após 1 hora, retiradas e verificada a quantidade de água absorvida pela espuma. O valor é expresso como volume (mL) de água absorvida por grama (g) de espuma, para denominar a capacidade de absorção de água. As determinações foram feitas em triplicata.

3.2.5 Adsorção de ortofosfato dissolvido

Soluções com $1,01 \text{ mg L}^{-1}$ de ortofosfato dissolvido (pH 7,1) foram preparadas sinteticamente, a partir de uma solução-estoque de fosfato de potássio. Foram adicionadas a um litro das soluções diferentes porcentagens de massa de espuma de quitosana a solução (0,10; 0,25; 0,50; 0,75% m v^{-1}). As soluções foram mantidas sob agitação, a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e foi realizada a coleta de água nos tempos de 1, 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 180 e 240 minutos. Em seguida, determinou-se a concentração final de ortofosfato dissolvido ao longo do tempo. Foi também calculada a eficiência de remoção de ortofosfato dissolvido pela espuma de quitosana (Equação 1).

3.2.6 Adsorção de nitrito

Foram preparadas sinteticamente soluções com $0,64 \text{ mg L}^{-1}$ de nitrito (pH 6,8), a partir de uma solução-estoque de nitrito de sódio. Foram adicionadas a um litro das soluções diferentes porcentagens de massa de espuma de quitosana a solução (0,10; 0,25; 0,50; 1,00% m v^{-1}). As soluções foram mantidas sob agitação a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, foi realizada a coleta de água nos tempos de 10, 15, 30, 60, 120 e 180 minutos, e determinada a concentração final de nitrito ao longo do tempo. Em seguida, foi calculada a eficiência de remoção de nitrito pela espuma de quitosana (Equação 1).

3.2.7 Adsorção de amônia total, nitrito e ortofosfato dissolvido

Foram preparadas sinteticamente de soluções compostas por 1,06 mg L⁻¹ de nitrito, 1,06 mg L⁻¹ de ortofosfato dissolvido, 0,20 mg L⁻¹ de amônia e pH 6,9. Foram adicionadas a um litro das soluções diferentes porcentagens de massa de espuma de quitosana a solução (0,10; 0,25; 0,50; 1,00% m v⁻¹). As soluções foram mantidas sob agitação a 25 °C; foi realizada a coleta de água nos tempos de 0, 10, 15, 30, 60, 120 e 180 minutos e determinada a concentração final de amônia total, nitrito e ortofosfato dissolvido ao longo do tempo. Em seguida, foram calculadas a eficiência de remoção de cada poluente (amônia, nitrito e ortofosfato dissolvido) pela espuma de quitosana (Equação 1) e a capacidade de adsorção (Equação 2).

3.2.8 Confeção dos filtros

Foram confeccionados filtros preenchidos com espuma de quitosana (Figura 3) para atuarem na remoção (adsorção) de poluentes da água, de acordo com o procedimento descrito e protegido pelo pedido de patente número BR1020160138990 (MUNIZ et al., 2017). O filtro foi confeccionado com canos e peças de policloreto de polivinila (PVC). Conforme observado na Figura 3, telas plásticas de malha 1x1mm foram encaixadas nas extremidades da entrada e saída [1 e 7], para aprisionar o material adsorvente [2 e 6]. Logo após as telas foram colocadas pérolas de vidro com diâmetro de 0,5 mm para evitar a compactação do adsorvente [3 e 5] e, no meio, foram dispostas as espumas de quitosana (adsorvente) cortadas 10x10x5 mm [4].

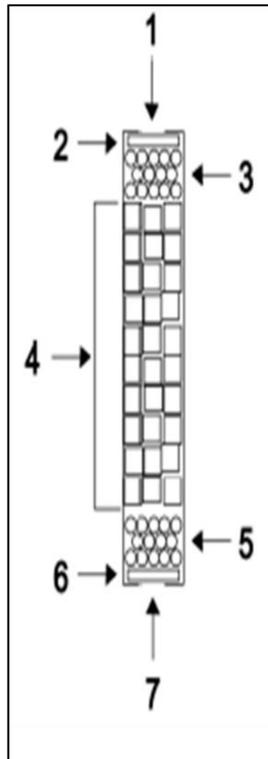


Figura 3. Esquema de confecção dos filtros preenchidos com espuma de quitosana.

[1 e 7] extremidades para entrada e saída do efluente; [2 e 6] telas plásticas de malha 1x1mm; [3 e 5] pérolas de vidro com diâmetro de 0,5 mm) e [4] espumas de quitosana (adsorvente) cortadas 10x10x5mm.

3.2.9 Adsorção de amônia utilizando o filtro

3.2.9.1 Ensaio de adsorção de amônia com o uso de diferentes porcentagens de massa de espuma de quitosana por volume de efluente (% $m v^{-1}$)

Os filtros preenchidos com diferentes porcentagens de massa de espuma de quitosana por volume de efluente aquoso contaminado com amônia (0,05; 0,10; 0,15 e 0,20% $m v^{-1}$) foram acoplados, separadamente, aos tanques de 8 litros de volume útil (Figura 3). Foi efetuada a recirculação da água contaminada com amônia com concentração inicial de 0,25 $mg L^{-1}$ (pH 7,0 a 26 °C) no primeiro uso da espuma, e de 0,15 $mg L^{-1}$ (pH 7,0 a 26 °C) com o auxílio de uma bomba elétrica submersa para reutilização após a secagem a 45 °C.

As mesmas proporções foram mantidas para a confecção e o preenchimento dos filtros, como descrito a seguir. Os filtros preenchidos com 0,05% ($m v^{-1}$) possuíam uma coluna de 6 cm altura por 4 cm de diâmetro, com volume de 75 cm^3 e capacidade de vazão de 113 $L h^{-1}$. No filtro com 0,10% ($m v^{-1}$), a coluna tinha 12 cm de altura por 4 cm de diâmetro, com volume de

150 cm³ e vazão de 37 L h⁻¹. No filtro com 0,15% (m v⁻¹), a coluna possuía 18 cm de altura por 4 cm de diâmetro, com volume de 225 cm³ e vazão de 12 L h⁻¹. No filtro preenchido com 0,20% (m v⁻¹), a coluna tinha 24 cm de altura por 4 cm de diâmetro, volume de 300 cm³ e vazão de 5 L h⁻¹.

Para a secagem, as espumas foram retiradas dos filtros e dispostas em estufa a 45 °C por 24 horas. Em seguida, foram devolvidas aos seus filtros originais. A partir do início da recirculação, a água foi coletada nos tempos de 1, 5, 10, 30, 90, 120, 1140, 1200, 1440, 1560, 2160 e 2500 minutos e determinada a concentração final de amônia ao longo do tempo. Depois, a eficiência de remoção de amônia pela espuma de quitosana foi calculada (Equação 1).

3.2.9.2 Ensaio de adsorção de amônia em efluentes sintéticos com diferentes concentrações iniciais

Foram preparadas soluções de efluente sintético com diferentes concentrações iniciais de amônia (0,24; 0,37; 0,47 e 1,11 mg L⁻¹, pH 7,0 a 26 °C) e os filtros foram confeccionados com 0,10% de massa de espuma de quitosana por volume do efluente (m v⁻¹) foram acoplados aos tanques de 8 litros de volume útil. A recirculação da água foi efetuada com auxílio de uma bomba elétrica submersa (de aquário). A coleta de água nos tempos de 1, 5, 10, 30, 90, 120, 300, 360, 420, 480, 1140, 1200, 1380, 1440, 1500 e 1560 minutos foi realizada a partir do início da recirculação e determinada a concentração final de amônia ao longo do tempo. Em seguida, a eficiência de remoção de amônia pela espuma de quitosana foi calculada (Equação 1).

3.3.10 Remoção da turbidez

Uma amostra de água de piscicultura com 155,6±7,4 NTU e pH 5,8 foi coletada para avaliar a remoção da turbidez, na qual foi adicionado 0,05% (m v⁻¹) de nanobiopolímero em triplicata, e 0,10% (m v⁻¹) em triplicata. A remoção da turbidez foi avaliada após 24 e 48 horas de contato, sob agitação de 100 rpm em shaker (SPlabor - SP 223[®]), na temperatura de 25°C. A turbidez foi determinada em Turbidímetro Poli Contol - AP2000[®].

3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Caracterização das espumas

O uso do processo de adsorção é uma alternativa sustentável para tratamento de águas, e podem ser utilizados resíduos agroindustriais de alta disponibilidade e baixo custo, os quais agregam valor à cadeia produtiva agroindustrial e fornecem um novo destino a estes resíduos sólidos (COELHO et al., 2014). Ali et al. (2014) destacam que as principais vantagens da quitosana são a biodegradabilidade, a natureza não tóxica, dosagem baixa, alta eficiência de remoção e baixo custo.

3.4.1.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS)

As espumas de quitosana em sua superfície porosa apresentam uma região interna formada por células que se intercomunicam, e com diferentes tamanhos (Figura 4).

A quitosana é considerada um dos materiais promissores e aplicável para adsorção. A existência de grupos amino e hidroxila em suas moléculas contribui para muitas interações de adsorção possíveis entre quitosana e poluentes (KYZAS; BIKIARIS, 2015). A presença de nitrogênio somente na superfície porosa da espuma de quitosana confirma a presença de grupos amino funcionais, característicos da estrutura do biopolímero quitosana (Tabela 1).

A adsorção pode ser classificada em física ou química. Neste estudo, a espectroscopia de energia dispersiva das superfícies da espuma de quitosana confirmou que a adsorção de ortofosfato dissolvido ocorreu com o lado superficial poroso (Tabela 1) e caracterizou a ocorrência de adsorção química.

A troca ou partilha de elétrons entre as moléculas do adsorvato e a superfície do adsorvente está envolvida durante a adsorção química, que resulta em uma reação química. É específica e ocorre devido à presença de sítios ativos capazes de adsorver quimicamente o adsorvato. Na adsorção física, a ligação do adsorvato à superfície do adsorvente envolve uma interação fraca, inespecífica, e que ocorre em toda a superfície do adsorvente (NASCIMENTO et al., 2014).

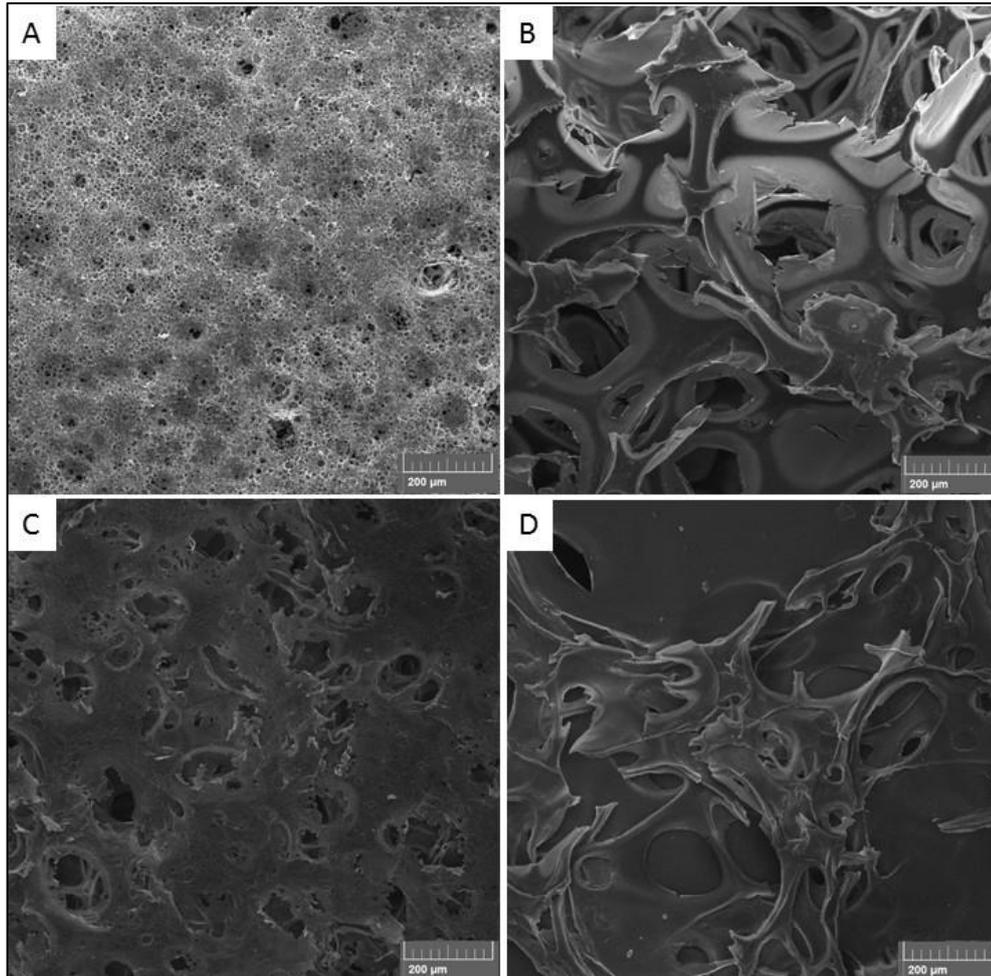


Figura 4. Micrografias das espumas de quitosana sem uso (A – lado liso, B – lado poroso) e após o uso no ensaio de adsorção de ortofosfato dissolvido (C – lado liso, D – lado poroso).

A interação entre a quitosana e o agente espumante permitiu formar uma espuma com estrutura apropriada para sua utilização como material filtrante, pois, a camada menos porosa retém a água por tempo suficiente para que ocorra o contato entre os adsorvatos e os grupo amino funcionais da quitosana responsáveis pela adsorção.

Tabela 1. Composição química semiquantitativa obtida por espectroscopia de energia dispersiva (EDS)

Superfície da espuma de quitosana	Elementos químicos (%)						
	C	N	O	P	Cl	K	Outros
Lado liso (sem uso)	56,0	0,0	43,0	0,0	0,3	0,0	0,7
Lado poroso (sem uso)	50,0	10,0	39,0	0,0	0,3	0,2	0,5
Lado Liso (usada na adsorção de ortofosfato dissolvido)	57,0	0,0	42,0	0,0	0,2	0,0	0,8
Lado Poroso (usada na adsorção de ortofosfato dissolvido)	48,0	8,9	35,0	7,0	0,1	0,5	0,5

* C: Carbono; N: Nitrogênio; O: Oxigênio; P: fósforo; Cl: Cloro; K: Potássio.

3.4.1.2 Densidade aparente

As espumas têm propriedades características resultantes da natureza do polímero, da densidade aparente e da morfologia. A densidade aparente determina propriedades mecânicas, como a resistência à compressão, definida a uma deformação de 10%. O polímero é responsável pela resistência a elevadas temperaturas, a substâncias químicas e ao fogo. A morfologia é responsável pelas particularidades térmicas e acústicas. Morfologia e polímero respondem pelo comportamento de absorção e difusão de água. As espumas flexíveis são constituídas por células abertas, permeáveis ao ar, com deformação reversível, resistência limitada, enquanto as rígidas têm células fechadas, reduzida permeabilidade e baixa resiliência (CARVALHO; FROLLINI, 1999).

A espuma de quitosana utilizada nos experimentos apresenta densidade aparente de $0,047 \pm 0,002 \text{ g cm}^3$. Tem baixa densidade e apresenta as características de espuma flexível. Segundo Pereira et al. (2014), a quitosana tem baixas propriedades mecânicas em comparação aos polímeros derivados do petróleo.

3.4.1.3 Capacidade de absorção de água

As espumas de quitosana têm capacidade de absorção de água de $15,45 \pm 1,50 \text{ mL g}^{-1}$. A elevada capacidade de absorção de água apresentada pela espuma de quitosana pode ser atribuída ao mecanismo de capilaridade que envolve o fluxo da água para os espaços internos formados durante o processamento do material, que favorece a sua aplicação na adsorção de poluentes da água de criação de organismos aquáticos.

3.4.2 Adsorção de amônia

3.4.2.1 Ensaio de adsorção de amônia com o uso de diferentes porcentagens de massa de espuma de quitosana por volume de efluente ($\% \text{ m v}^{-1}$)

Foi observado que com aumento nas porcentagens de espuma de quitosana utilizadas no filtro ($\% \text{ m v}^{-1}$), as eficiências de remoção de amônia do efluente foram maiores (Figura 5), devido à área superficial do adsorvente ser maior, assim como a disponibilidade de mais sítios de adsorção causados pelo aumento da dosagem adsorvente. O uso de 0,20% de espuma de

quitosana adsorveu (removeu) 67% de amônia do efluente após 1.800 minutos de recirculação, restando 0,08 mg L⁻¹ de amônia no efluente.

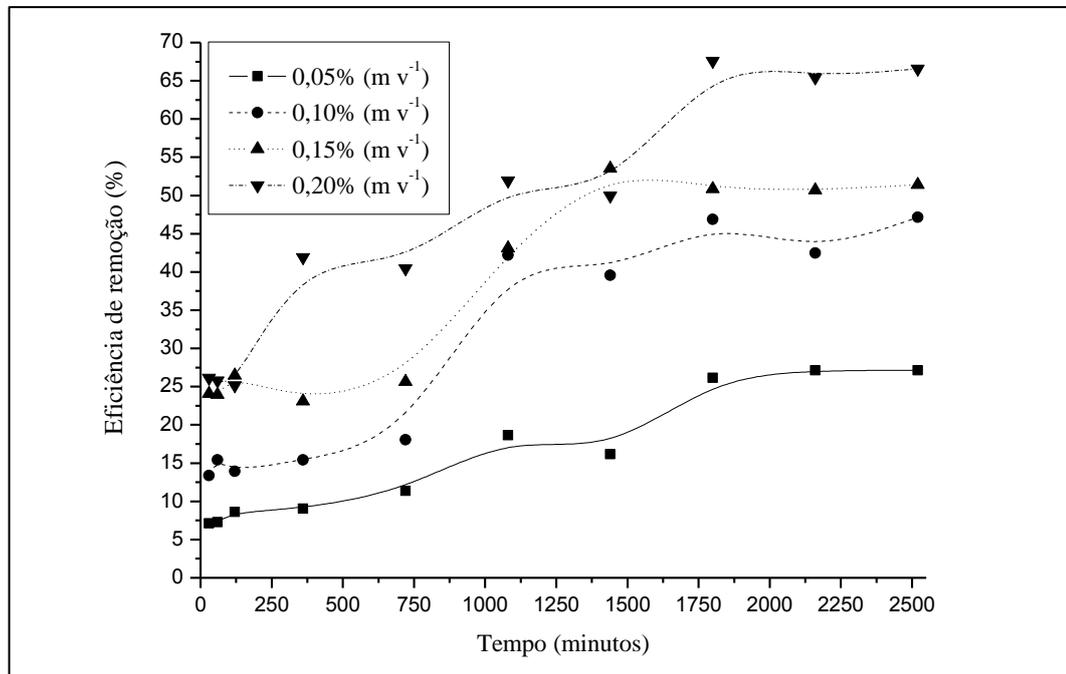


Figura 5. Efeito do tempo de recirculação (minutos) sobre a remoção de amônia do efluente sintético com concentração inicial de 0,25 mg L⁻¹.

A amônia é um problema ambiental devido a sua toxidez, em especial para organismos aquáticos. O nível de amônia em sistemas aquáticos pode aumentar devido ao escoamento agrícola e à decomposição de resíduos biológicos. Níveis elevados de amônia no ambiente podem prejudicar a excreção de amônia nos organismos aquáticos. Isto resulta em uma elevação interna das concentrações de amônia nos animais, que leva a uma cascata de reações intracelulares e, por conseguinte, à morte do organismo. É sugerido que concentrações elevadas de amônia deslocam K⁺, despolarizam os neurônios e causam uma ativação excessiva de receptores do tipo NMDA (receptores N-metil-D-aspartato), o que leva ao influxo excessivo de Ca²⁺ e subsequente morte celular no sistema nervoso central (RANDALL; TSUI, 2002).

A espuma de quitosana foi aquecida para que fosse volatilizada a amônia, e assim ser reutilizada na adsorção. Eddy (2005) relata que a amônia é continuamente volatilizada a partir da superfície terrestre e entra na atmosfera onde é destruída por reações fitolíticas. Portanto, esse procedimento não ocasiona danos ambientais subsequentes.

Na reutilização da espuma de quitosana (Figura 6), foram observadas menores eficiências de remoção, quando comparado a espuma nova. Observou-se também que as

espumas reutilizadas em 0,05% (m v^{-1}) obtiveram a maior eficiência de remoção, 20%, restando 0,12 mg L^{-1} de amônia no efluente.

Como o biopolímero quitosana é um material adsorvente biodegradável e a amônia adsorvida é um nutriente, o adsorvente saturado pode ser utilizado como fertilizante para fins agrícolas (HASEENA et al., 2016) após seu uso nos sistemas de recirculação de água do cultivo de peixes.

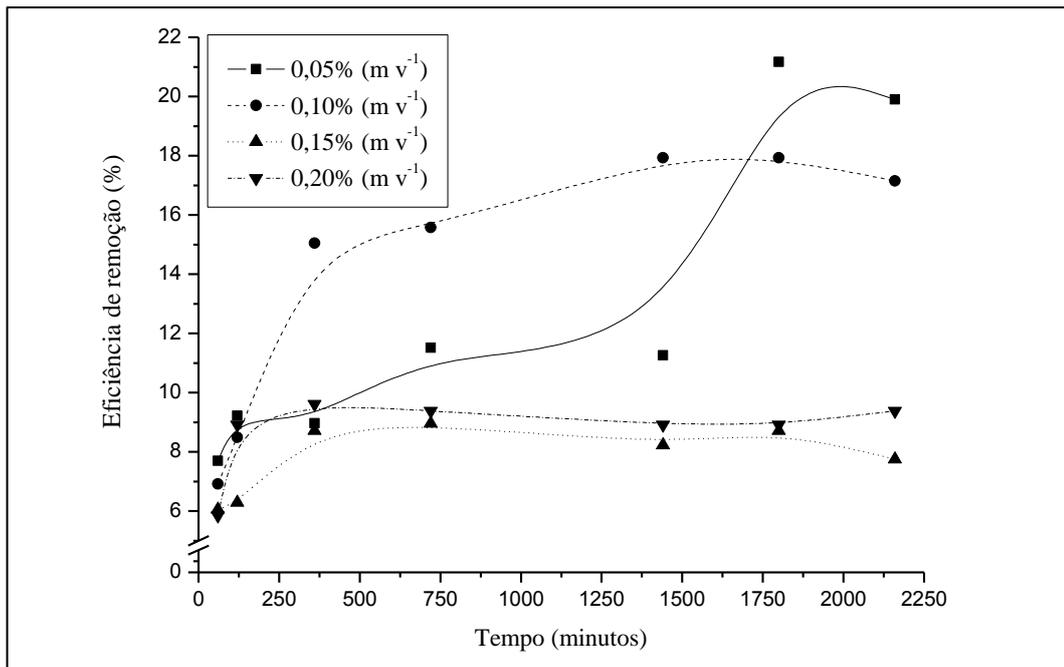


Figura 6. Efeito do tempo de recirculação (minutos) sobre a remoção de amônia do efluente sintético com concentração inicial de 0,15 mg L^{-1} , reutilizando a espuma de quitosana. 0,05% (m v^{-1}) - Coluna 6 cm altura por 4cm de diâmetro; Volume da coluna 75 cm^3 ; Vazão 250 L h^{-1} 0,10% (m v^{-1}) - Coluna 12 cm altura por 4cm de diâmetro; Volume da coluna 150 cm^3 ; Vazão 190 L h^{-1} 0,15% (m v^{-1}) - Coluna 18 cm altura por 4cm de diâmetro; Volume da coluna 225 cm^3 ; Vazão 120 L h^{-1} 0,20% (m v^{-1}) - Coluna 24 cm altura por 4cm de diâmetro; Volume da coluna 300 cm^3 ; Vazão 105 L h^{-1}

3.4.2.2 Ensaio de adsorção de amônia em efluentes sintéticos com diferentes concentrações iniciais

Verificou-se que quanto menor a concentração inicial de amônia, maior a eficiência de remoção. O uso de 0,10% de espuma de quitosana resultou em remoção de 43% de um efluente sintético com concentração inicial de amônia de 0,24 mg L^{-1} , 54% em 0,37 mg L^{-1} , 47% em 0,47 mg L^{-1} e 22% em 1,11 mg L^{-1} , após 1500 minutos de recirculação (Figura 7).

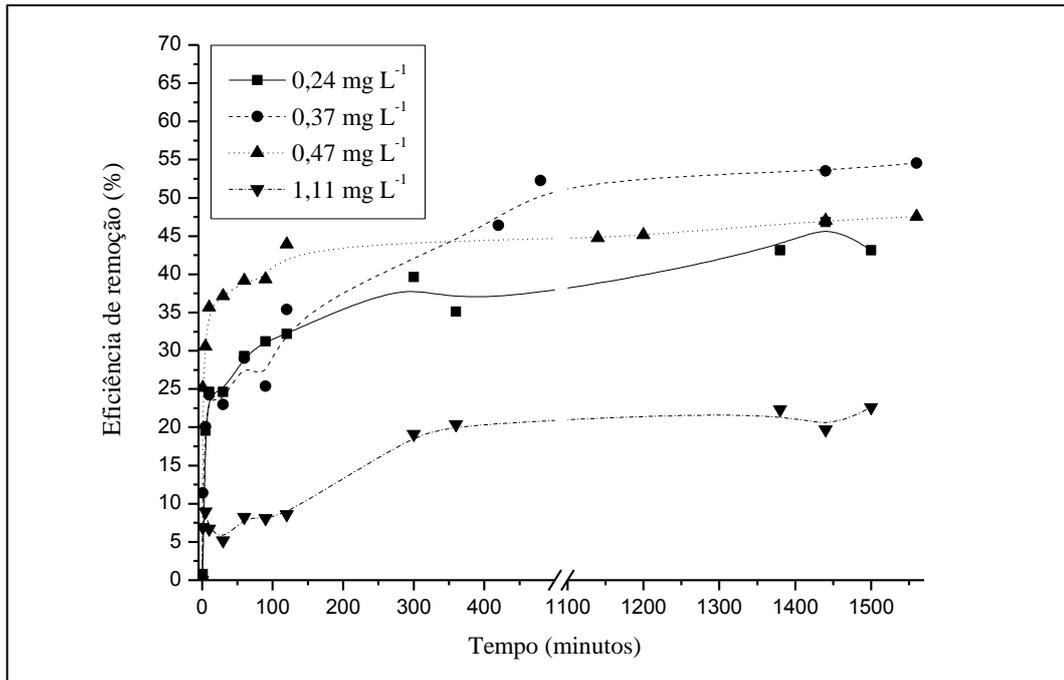


Figura 7. Efeito do tempo de recirculação (minutos) sobre a remoção de amônia dos efluentes sintéticos com diferentes concentrações iniciais, usando 0,10% de massa de espuma de quitosana por volume do efluente ($m v^{-1}$).

3.4.3 Adsorção de ortofosfato dissolvido

Foi observada mais rápida e maior eficiência de remoção na dosagem de 0,50% de massa de espuma por volume de solução ($m v^{-1}$) contendo ortofosfato dissolvido. No entanto, a dosagem de 0,10% foi igualmente eficaz após 240 minutos de agitação (Figura 8). A adsorção foi em decorrência da interação dos grupos amino protonados da quitosana com os grupos fosfatos em solução (SRINATHA et al., 2008).

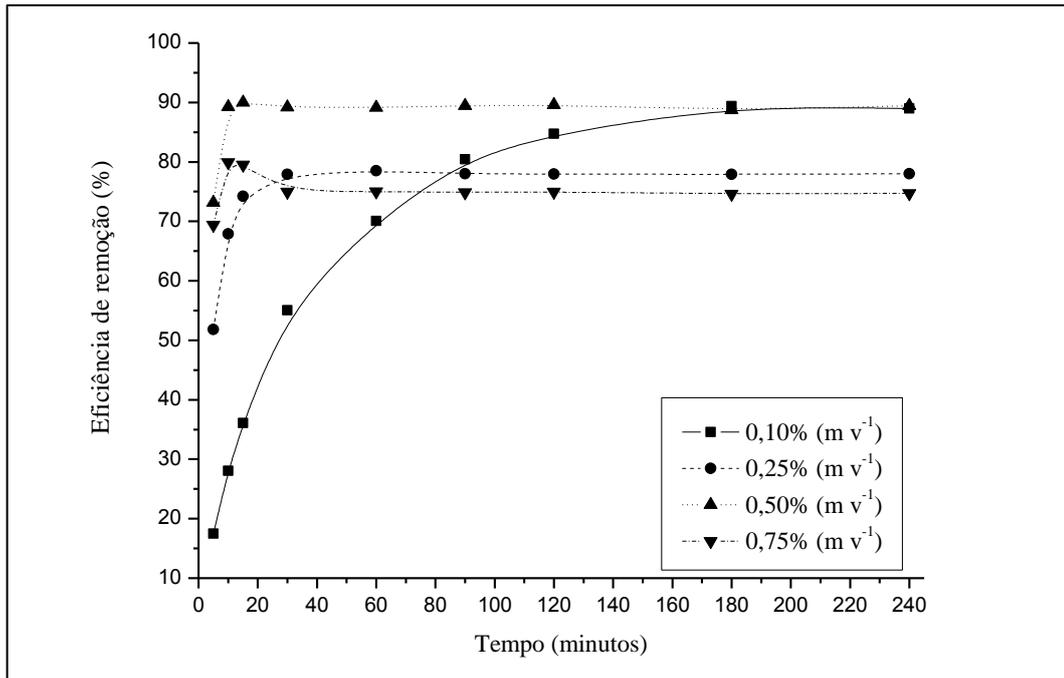


Figura 8. Efeito do tempo de agitação (minutos) sobre a remoção de ortofosfato dissolvido do efluente sintético com concentração inicial de $1,01 \text{ mg L}^{-1}$.

3.4.4 Adsorção de nitrito

A dosagem de $0,10\% \text{ (m v}^{-1}\text{)}$ de espuma de quitosana adsorveu 63% de nitrito da água após 10 minutos de agitação e manteve a mesma eficiência até os 180 minutos. A dosagem de $0,25\% \text{ (m v}^{-1}\text{)}$ de espuma de quitosana adsorveu 73% de nitrito após 30 minutos, e a dosagem de $0,50\% \text{ (m v}^{-1}\text{)}$ de espuma de quitosana adsorveu 72% de nitrito após 180 minutos. A dosagem de $1,00\% \text{ (m v}^{-1}\text{)}$ de espuma de quitosana adsorveu 78% de nitrito somente após os 120 minutos de agitação (Figura 9).

O mecanismo dominante na adsorção de nitrito pela quitosana reticulada é a adsorção física intermolecular causada pela força de van der Waals (simples atração eletrostática). Além da adsorção física, a quitosana reticulada também possui alguns mecanismos de adsorção únicos, logo a quitosana reticulada- NH_2 pode ser protonada em quitosana reticulada- NH_3^+ como formas de coordenação onde os grupos amino formam o complexo de transferência de carga com nitrito em condição ácida. A adsorção é influenciada por condições externas, como pH, temperatura, entre outras (LIU et al., 2008).

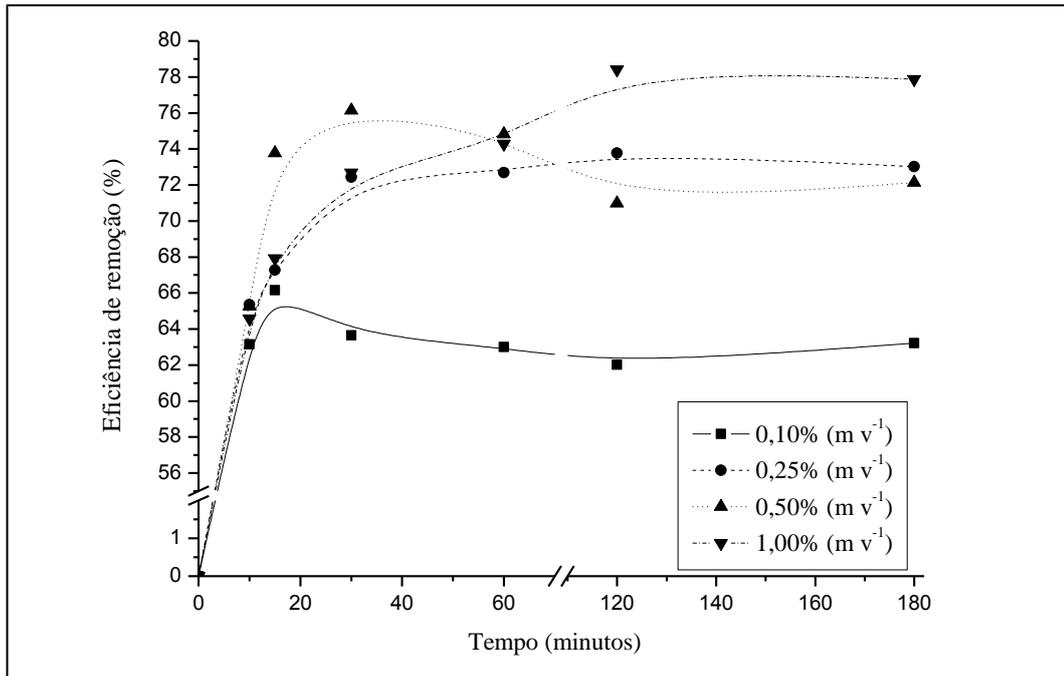


Figura 9. Efeito do tempo de agitação (minutos) sobre a remoção de nitrito do efluente sintético com concentração inicial de $0,64 \text{ mg L}^{-1}$.

A quitosana é um biopolímero promissor que pode ser usado como biofiltro alternativo para fixação de bactérias oxidantes de nitrito (NOB). A imobilização de NOB na superfície de flocos de quitosana tem elevado potencial para remover o excesso de nitrito das águas residuais da aquicultura. NOB imobilizadas em quitosana com 91% de desacetilação podem remover $0,82 \pm 0,05 \text{ mg-N}/(\text{g dia})$ de nitrito; enquanto, NOB imobilizadas apenas com quitina removem $0,44 \pm 0,03 \text{ mg-N}/(\text{g dia})$ (LERTSUTTHIWONG et al., 2013).

3.4.5 Adsorção de amônia, nitrito e ortofosfato dissolvido

A remoção de amônia não apresentou equilíbrio linear de adsorção com o uso da dosagem de $0,10\% \text{ (m v}^{-1}\text{)}$ de espuma de quitosana. Assim, há um comportamento de adsorção/dessorção, provavelmente, devido à competição dos sítios ativos do material pelos outros poluentes em solução. A remoção de nitrito apresentou equilíbrio a partir de 30 minutos de coleta, e o ortofosfato a partir de 60 minutos de coleta. Foi observada remoção máxima de 32,8%, 57,2% e 89,5% de amônia, nitrito e ortofosfato, respectivamente (Tabela 2).

O uso de $0,25\% \text{ (m v}^{-1}\text{)}$ de espuma de quitosana não resultou em equilíbrio linear de adsorção de amônia. A remoção de nitrito apresentou equilíbrio a partir de 60 minutos de coleta,

e o ortofosfato apresentou equilíbrio a partir de 30 minutos de coleta. A remoção de amônia, nitrito e ortofosfato apresentou equilíbrio após 120, 30 e 60 minutos de coleta com o uso da dosagem de 0,50% (m v⁻¹) de espuma de quitosana, respectivamente. A remoção de amônia, nitrito e ortofosfato manteve-se em equilíbrio após 10 minutos de coleta quando se utilizou a dosagem de 1,00% (m v⁻¹) de espuma de quitosana (Tabela 2).

A maior quantidade adsorvida foi de íons de ortofosfato (0,96 mg g⁻¹) (Tabela 2), na dosagem de 0,10% (m v⁻¹). De acordo com os resultados, a estrutura da espuma de quitosana aparenta ter maior afinidade por ortofosfato dissolvido, seguido por nitrito e amônia.

Resultados semelhantes de remoção de ortofosfato, utilizando a quitosana em pó, foram encontrados por Chung (2006). O autor obteve remoções de até 95,6% de PO₄³⁻, 89,2% de NH₃, 69,7% de matéria orgânica, e 61% de sólidos, de águas residuais do cultivo de *Anguilla japonica*. Ele destaca que as concentrações residuais aceitáveis de PO₄³⁻ (0,23 mg L⁻¹), e de NH₃ (0,5 mg L⁻¹) foram encontradas, e são consideradas adequadas para descarga em águas naturais ou para a reutilização da água no cultivo. A quitosana também apresentou remoção seletiva de bactérias sem afetar as bactérias nitrificantes, mas, foi eficaz contra a *Edwardsiella ictaluri* e teve vantagem sobre outros bactericidas famosos.

Quanto maior a dosagem de espuma de quitosana, menor é a capacidade de adsorção de poluentes. A quitosana tem uma densidade de carga elevada, por essa razão, ela requer menos doses para desestabilizar as partículas. A dosagem de quitosana envolve um excesso de adsorvatos nas superfícies coloidais e produz coloides reestabilizados. Assim, não há locais disponíveis nas superfícies das partículas para a formação de uniões entre partículas (GARCIA et al., 2016).

Tabela 2. Eficiência máxima de remoção e capacidade de adsorção após 180 minutos de contato de amônia, nitrito e ortofosfato dissolvido, pela espuma de quitosana.

Dosagem (% m v ⁻¹)	Eficiência de Remoção (%)			Capacidade de adsorção (Q)			
	Amônia	Nitrito	Ortofosfato	Q (mg g ⁻¹)* Amônia	Q (mg g ⁻¹)* Nitrito	Q (mg g ⁻¹)* Ortofosfato	Q (mg g ⁻¹)* total
0,10	32,8	57,2	89,5	0,08	0,60	0,96	1,64
0,25	49,1	69,1	88,7	0,04	0,29	0,38	0,71
0,50	37,1	74,4	71,3	0,05	0,36	0,31	0,72
1,00	25,3	73,3	74,2	0,05	0,35	0,18	0,58

* Quantidade adsorvida (mg g⁻¹)

3.4.6 Remoção da turbidez

O uso de 0,1% (m v^{-1}) de espuma de quitosana foi mais eficiente na remoção da turbidez da água de piscicultura, cuja retenção foi de 99,9%.

Tabela 3. Eficiência de remoção da turbidez de água de piscicultura pela espuma de quitosana.

Dosagem ($\% \text{m v}^{-1}$ - em g mL^{-1})	Turbidez em função dos tempos (h)			Remoção da turbidez (%) nos tempos (h)	
	0	24	48	24	48
0,05	153,3±10,2	12,1±1,5	14,5±8,38	92,0±1,4	90,6±5,2
0,10	127,4±4,3	13,3±0,6	0,1±0,0	91,6±9,6	99,9±0,0

O uso de coagulantes naturais como quitina e quitosana para a remoção da turbidez está crescendo, posto que são altamente versáteis, biodegradáveis, derivados de recursos renováveis, e têm uma boa relação entre benefício e custo. O uso de 100 mg L^{-1} de qualquer desses coagulantes é suficiente para a remoção eficiente da turbidez (96,7%) (Comiotto et al., 2014).

O uso de pó ou esferas de quitosana é eficiente na remoção de poluentes aquáticos (CHUNG, 2006; LIU et al., 2008; COMIOTTO et al., 2014), mas é difícil sua recuperação ou retirada do ambiente aquático. Pode-se observar que mesmo quando o componente ativo da quitosana está estruturado como uma espuma, ele permanece eficiente no tratamento de efluentes, e pode ser usado em filtros de fácil manutenção, sendo uma vantagem sobre outros materiais.

3.5 CONCLUSÕES

A espuma compósita de quitosana é caracterizada por bicamada lisa e porosa de baixa densidade e flexível, com elevada capacidade de absorção de água.

A melhor dosagem ($\% \text{ m v}^{-1}$) da espuma no filtro para adsorção foi de 0,10, e foi eficiente na remoção por adsorção de amônia, nitrito, ortofosfato e turbidez. A utilização da espuma no filtro mostrou-se promissora na recuperação de águas contaminadas pela aquicultura.

O biopolímero produzido com matéria prima oriunda de resíduos é biodegradável, e pode ser utilizado como fertilizante quando for saturado pelos compostos orgânicos da aquicultura e não mais puder ser reaproveitado como material filtrante. Assim, fecha-se o ciclo sustentável da cadeia aquícola.

3.6 REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21^a ed. Washington, 2005.

ALI, Z. M. et al. Extraction and characterization of chitosan from Indian Prawn (*Fenneropenaeus Indicus*) and its applications on waste water treatment of local ghee industry. **IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)**, v. 3, n. 10, p. 28-37, 2013. DOI:10.9790/3021-031022837.

ARANA, L. V. **Qualidade da água em aquicultura: princípios e práticas**. 3^a ed. rev. e modif. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2010, 238p, ISBN13:9788532804891.

AZEVEDO, V. V. C. et al. Quitina e quitosana: aplicações como biomateriais. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 2, n. 3, p. 27-34, 2007. ISSN 1809-8797.

BAUMGARTEN, M. G. Z. **Manual de análises em oceanografia química**. Rio Grande: Ed. Furg, 1996, 132p. ISBN: 858504246X.

BREGNBALLE, J. A Guide to recirculation aquaculture: an introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and EUROFISH International Organisation**, 2015, 100p., ISBN 978-92-5-108776-3. Available in: <<http://www.fao.org/3/a-i4626e.pdf>> Acesso em: 11/08/2016.

CARVALHO, G.; FROLLINI, E. Lignina em espumas fenólicas. **Polímeros**, v. 9, n. 1, 1999. DOI: 10.1590/S0104-14281999000100009

CHUNG, Y. C.; LI, Y. H.; CHEN, C. C. Pollutant removal from aquaculture wastewater using the biopolymer chitosan at different molecular weights. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 40, n. 9, p. 1775-1790, 2005. DOI: 10.1081/ESE-200068058.

CHUNG, Y. C. Improvement of aquaculture wastewater using chitosan of different degrees of deacetylation. **Environmental Technology**, v. 27, n. 11, p. 1199-1208, 2006. DOI: 10.1080/09593332708618734.

COELHO, G. F. et al. Use of adsorption techniques utilizing agroindustrial waste in the removal of contaminants in Waters. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 3, p. 291-317, 2014.

COMIOTTO, C.E.G. et al. Remoção de turbidez e sólidos totais de efluentes do processo de obtenção de quitina. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 1, 2014. DOI: 10.5151/chemeng-cobec-ic-01-ea-024.

EDDY, F. B. Ammonia in estuaries and effects on fish. **Journal of Fish Biology**, v. 67, p. 1495-1513, 2005. DOI:10.1111/j.1095-8649.2005.00930.x.

FAVERE, V. T.; RIELLA, H. G.; ROSA, S. Cloreto de n-(2-hidroxil) propil-3-trimetil amônio quitosana como adsorvente de corantes reativos em solução aquosa. **Química Nova** [online], v. 33, n. 7, p. 1476-1481, 2010. DOI:10.1590/S0100-40422010000700010.

GAOUAR-YADI, M. et al. Adsorption of ammonia from wastewater using low-cost bentonite/chitosan beads. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 45, 2015. DOI: 10.1080/19443994.2015.1119747.

GARCÍA, M. A. et al. Treatment of wastewater from fish processing industry using chitosan acid salts. **International Journal of Water and Wastewater Treatment**, v. 2, n. 2, 2016. DOI:10.16966/2381-5299.121.

HASEENA, P. V. et al. Adsorption of ammonium nitrogen from aqueous systems using chitosan-bentonite film composite. **Procedia Technology**, v. 24, p. 733-740, 2016. DOI: 10.1016/j.protcy.2016.05.203.

KYZAS, G. Z.; BIKIARIS, D. N. Recent modifications of chitosan for adsorption applications: a critical and systematic review. **Marine Drugs**, v. 13, p. 312-337, 2015. DOI:10.3390/md13010312.

KOROLEFF, F. Determination of nutrients. In *Methods of seawater analysis* (K. Grasshoff, ed.). **Verlag Chemie Weinheim**, New York, 1976, p. 117-181.

LAZZARI, R.; BALDISSEROTTO, B. Nitrogen and phosphorus waste in fish farming. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 34, n. 4, p. 591-600, 2008.

LERTSUTTHIWONG, P. et al. Immobilization of nitrite oxidizing bacteria using biopolymeric chitosan media. **Journal of Environmental Sciences**, v. 25, n. 2, p. 262-267, 2013. DOI:10.1016/S1001-0742(12)60059-X.

LIU, J.; TAN, K.; GU, Z. Study on the adsorption of nitrite in water with crosslinked chitosan. **Second International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering**, Shanghai, 2008, p. 3673-3676, 2008. DOI:10.1109/ICBBE.2008.420.

LUCENA, G. L. et al. Avaliação da capacidade de adsorção da quitosana quaternizada na remoção de íons Cu^{2+} e Cr^{3+} . **Revista Virtual de Química**, v. 7 n. 6, p. 2166-2179, 2015. DOI: 10.5935/1984-6835.20150128.

MALLASEN, M.; BARROS, H. P.; YAMASHITA, E. Y. Produção de peixes em tanques-rede e a qualidade da água. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 47-51, 2008.

MARTINS, C. I. M. et al. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. **Aquacultural Engineering**, v. 43, n. 3, p. 83-93, 2010. DOI:10.1016/j.aquaeng.2010.09.002.

MORO, G. V. et al. Monitoramento e manejo da qualidade da água em pisciculturas. In: LIMA, A. F. (Org). **Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 440p.

MUNIZ, G. I. B. et al. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR1020150292597: "Uso e obtenção de espuma seca e pó de quitosana e nanoquitosana por processo de secagem pelo método de camada de espuma", Instituição de registro: **INPI** -

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. Depósito: 23/11/2015, Brasil, 2015.

MUNIZ, G. I. B. et al. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR1020170138070: Equipamento - filtro a base de espuma de quitosana e/ou nanoquitosana, Instituição de registro: **INPI** - INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. Depósito: 26/06/2017, Brasil, 2017.

NASCIMENTO, R. F. et al. **Adsorção**: aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 256p. ISBN: 978-85-7485-186-0.

PEREIRA, F. V. et al. Bionanocompósitos preparados por incorporação de nanocristais de celulose em Polímeros biodegradáveis por meio de evaporação de solvente, automontagem ou Eletrofiação. **Química Nova**, v. 37, n. 7, p. 1209-1219, 2014. DOI:10.5935/0100-4042.20140141.

RANDALL, D. J.; TSUI, T. K. N. Ammonia toxicity in fish. **Marine Pollution Bulletin**, v. 45, p. 17-23, 2002. DOI:10.1016/S0025-326X(02)00227-8.

SRINATHA, A.; PANDIT, J. K.; SINGH, S. Ionic cross-linked chitosan beads for extended release of ciprofloxacin: *in vitro* characterization. **Indian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 70, n. 1, p. 16-21, 2008. DOI:10.4103/0250-474X.40326.

SILVA, A. P. O. et al. Remoção de íons chumbo (Pb^{2+}) de efluentes sintéticos através de adsorção em vermiculita revestida com quitosana. **Revista Liberato**, v. 12, n. 17, p. 101-106, 2011.

YANBO, W. et al. Acute toxicity of nitrite on tilapia (*Oreochromis niloticus*) at different external chloride concentrations. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 32, n. 1, p. 49-54, 2006. DOI: 10.1007/s10695-005-5744-2.

4 FILTRO À BASE DE ESPUMA DE QUITOSANA: MANTENÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA O CULTIVO DE TILÁPIA DO NILO

Resumo: Os sistemas de recirculação necessitam de meios filtrantes alternativos que mantenham a qualidade de água adequada para o cultivo de peixes. A espuma de quitosana é adsorvente e eficaz na remoção de poluentes aquícolas. Assim, os objetivos desta pesquisa foram: verificar a manutenção da qualidade de água pelo uso de filtros com espuma de quitosana nos sistemas de recirculação de água durante o cultivo de tilápia do Nilo e verificar o desempenho zootécnico e alterações histopatológicas hepática e branquial, em comparação com o uso do filtro biológico com *bioballs*. Foram realizados dois ensaios de cultivo de tilápia do Nilo (Ensaio 1: tanques de 35 L; Ensaio 2: tanques de 130 L). Nos Ensaios 1 e 2 foram utilizados seis sistemas individuais de recirculação de água (unidades experimentais), composto por tanque de cultivo (35 ou 130 L), tanque de decantação (5 L ou 21 L), bomba submersa para recirculação (400 ou 1000 L h⁻¹) e filtro externo. Os ensaios foram divididos em: filtros com espuma de quitosana (triplicata) e filtros biológicos (triplicata). No Ensaio 1, Fase I, foram alojados vinte alevinos com peso médio de 0,86 ± 0,03g por unidade experimental e, na Fase II, dez alevinos de 5,95 ± 0,60g. No Ensaio 2, foram alojados dez alevinos de 29,8 ± 4,5g por unidade experimental. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com dois tratamentos e três repetições. Os parâmetros físicos e químicos referentes à qualidade de água foram avaliados a cada 48 horas. Ao final de cada ensaio, os peixes foram mantidos em jejum por 24 horas e realizadas biometria para obtenção de peso final, conversão alimentar e sobrevivência. No Ensaio 2, três peixes foram eutanasiados por tanque, para coleta do hepatopâncreas e das brânquias, para análise histopatológica e cálculo do índice de órgão (Iorg). As médias diárias dos parâmetros físicos e químicos da qualidade de água, do desempenho zootécnico dos peixes e dos índices dos órgãos dos tratamentos dos Ensaios 1 e 2 foram comparados pelo teste t ($p \leq 5\%$). Não foram verificadas diferenças estatísticas no peso final, na conversão alimentar, na sobrevivência nem nos índices dos órgãos entre os tratamentos ($p > 0,05$) em relação aos dois ensaios. Foi observado que o uso do filtro com espuma de quitosana nos sistemas de recirculação de água resultou em menores ou iguais concentrações de amônia total, nitrato e ortofosfato dissolvido, e manteve a alcalinidade igual ou mais elevada do que nos tanques com filtro biológico de *bioballs*. É recomendada a troca da espuma de quitosana a cada trinta dias de cultivo. O uso de sistemas de recirculação de água com tratamento pelo uso de filtros preenchidos com espuma de quitosana durante o cultivo de tilápia do Nilo é igualmente eficaz ou melhor do que o uso de filtro biológico com *bioballs*.

Palavras-chave: tratamento de água, biopolímero, recirculação de água.

CHITOSAN FOAM FILTER: MAINTENANCE OF WATER QUALITY FOR NILE TILAPIA FARMING

Abstract: Recirculation systems require alternative filter as media to maintain adequate water quality for fish farming. Chitosan foam is adsorbent and effective in removing aquaculture pollutants. Thus, the objectives of this research were: to verify the maintenance of water quality by using filters with chitosan foam in water recirculation systems during Nile tilapia farming, to verify the zootechnical performance and histopathological changes in their livers and gills, in comparison with the use of biological filter with bioballs. Two Nile tilapia farming trials were carried out (Trial 1: 35 L tanks; Trial 2: 130 L tanks). In trials 1 and 2, six individual water recirculation systems (experimental units) were used, consisting of a farming tank (35 or 130 L), decantation tank (5 L or 21 L), submerged pump for recirculation (400 or 1000 L h⁻¹) and external filter. The trials were divided into: filters with chitosan foam (triplicate), and biological filters (triplicate). In Trial 1, Phase I, 20 fingerlings were housed with an average weight of 0.86 ± 0.03 g per experimental unit, and in Phase II, 10 fingerlings weighed 5.95 ± 0.60 g. In Trial 2, 10 fingerlings with 29.8 ± 4.5 g per experimental unit were housed. The experimental design was completely randomized with two treatments and three replicates. Physical and chemical parameters of water quality were evaluated at every 48 hours. At the end of each trial, fish were fasted for 24 hours and biometry was carried out to obtain final weight, feed conversion and survival. In Trial 2, three fish per tank were euthanized to collect their hepatopancreas and gills, for histopathological analysis and calculation of organ index (Iorg). Daily averages of physical and chemical parameters of water quality, fish performance and treatment indices of trial 1 and 2 were compared by the t test ($p \leq 0.05$). No statistical differences were observed in the final weight, feed conversion, survival and organ indices among treatments ($p > 0.05$) in both Trials. It was observed that the filter use with chitosan foam in water recirculation systems resulted in lower or equal concentrations of total ammonia, nitrate and dissolved orthophosphate, kept the alkalinity equal to or higher than in biologically bioball filtered tanks. It is recommended to exchange chitosan foam every 30 farming days. The use of water recirculation systems with treatment by the use of filters filled with chitosan foam during Nile tilapia farming is equally effective or better than biological filter use with bioballs.

Keywords: water treatment, biopolymer, water recirculation.

4.1 INTRODUÇÃO

A aquicultura tornou-se uma alternativa eficaz para suprir a demanda de alimentos para a população crescente do Planeta. Simultaneamente, os aquicultores devem buscar uma produção sustentável devido à limitação quanto ao uso e à disponibilidade de água doce e à maior ênfase na conservação e utilização dos recursos hídricos (SILVA et al., 2013a; BREGNBALLE, 2015; VILBERGSSON et al., 2016).

Os sistemas de recirculação para a aquicultura são projetados para tratar e recircular a água de cultivo a fim de minimizar o uso da água, gerenciar os resíduos e reciclar nutrientes. São construídos a partir de subsistemas projetados para controlar os parâmetros da qualidade da água (VILBERGSSON et al., 2016). Os componentes necessários para um sistema de recirculação são os tanques de cultivo, decantadores, filtros e/ou biofiltros, sistema de aeração/oxigenação, bombas e tubulações de drenagem e retorno (SILVA et al., 2013a).

A recirculação é uma tecnologia tradicional, baseada no uso de filtros mecânicos e biológicos. As águas residuais que saem do processo de recirculação geralmente são direcionadas para um filtro mecânico, onde as fezes, e a matéria orgânica, como restos de ração, são separadas antes de entrarem no filtro biológico. O material orgânico acumulado no filtro mecânico pode ser espalhado no solo como fertilizante na agricultura (BREGNBALLE, 2015).

Os filtros biológicos são usados para reduzir a concentração de amônia por oxidação a nitrato, por ação de bactérias nitrificantes (PEDREIRA et al., 2016). É necessário um período mínimo de acondicionamento do biofiltro de quatorze dias, para garantir um processo de nitrificação estável antes de ser utilizado na produção aquícola (SUANTIKA et al., 2016). Nos filtros biológicos podem ser utilizados vários tipos de materiais como substrato para a formação dos biofilmes bacterianos, como concha, brita granítica, cascalho de quartzo, porcelana (PEDREIRA et al., 2016) ou os mais variados tipos de mídias comercialmente disponíveis (ELLIOTT et al., 2017).

Os processos de adsorção e coagulação estão sendo utilizados com carvão ativado, zircônia, argilominerais, cloreto de polialumínio, dentre outros produtos, para melhorar ainda mais a qualidade da água e reduzir as concentrações de outros poluentes aquícolas simultaneamente. No entanto, podem não ser efetivos para tratamento de águas residuais aquícolas por suas baixas capacidades de tratamento, custos elevados, resíduos tóxicos e elevada seletividade para poluentes específicos. Dessa forma, é necessário o uso de materiais filtrantes não tóxicos, baratos e multifuncionais para melhorar a qualidade da água de cultivo e do efluente da aquicultura (CHUNG et al., 2005).

A quitosana é um biopolímero não tóxico e policatiônico e, em efluentes aquícolas, pode desempenhar as funções de adsorção, coagulação, neutralização de carga, ponte interpartícula, desinfecção bacteriostática ou uma combinação dessas. Vale ressaltar que a quitosana que permanecer na água é segura para os organismos aquáticos e consumidores (CHUNG et al., 2005). A existência dos grupos amino e hidroxila em suas moléculas possibilita interações de adsorção entre a quitosana e vários tipos de poluentes ambientais. Entretanto, até o presente, o uso industrial da quitosana como adsorvente foi limitado devido à desvantagem de que o pó incha em soluções aquosas (KYZAS; BIKIARIS, 2015), deixa a água turva (PATIL et al., 2013) e não está estruturado.

A utilização da espuma de quitosana em filtros para tratamento da água nos sistemas de cultivo aquícola é facilitada devido ao material não estar na forma de pó, e sim estruturado e maleável. A dosagem de 0,10 (% m v⁻¹) de espuma de quitosana no filtro foi a indicada para adsorção eficiente de amônia, nitrito, ortofosfato e turbidez e sua utilização na recuperação de águas residuais da aquicultura mostra-se promissora (ZADINELO et al., 2018).

O objetivo deste trabalho foi verificar a manutenção da qualidade de água pelo uso da espuma de quitosana em filtros nos sistemas de recirculação de água durante o cultivo de tilápia do Nilo, em comparação ao uso do filtro biológico com *bioballs*. Também foram verificadas as possíveis alterações histopatológicas hepática e branquial e verificados os efeitos sobre o peso final, a sobrevivência e a conversão alimentar, decorrentes dos dois sistemas de cultivo.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Produção e Reprodução de Peixes (LAPERP) e no Laboratório de Qualidade de água e Limnologia (LaQaL), da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina. Os procedimentos experimentais foram conduzidos conforme os Princípios Éticos da Experimentação Animal adotados pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), de acordo com o protocolo nº 10/2018 aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais do Setor Palotina da UFPR (CEUA/Palotina).

Foram realizados dois ensaios de cultivo de alevinos de tilápia do Nilo, em duas escalas de volume (Ensaio 1: tanques de cultivo de 35 L; Ensaio 2: tanques de cultivo de 130 L).

Seis sistemas individuais de recirculação de água para cultivo foram utilizados nos Ensaios 1 e 2, compostos por um tanque de cultivo (35 ou 130 L, respectivamente), um tanque

de decantação (5 L ou 21 L, respectivamente), uma bomba submersa para recirculação (400 ou 1000 L h⁻¹) e filtro externo. Em ambos os ensaios, a água que saía do tanque de cultivo era direcionada para o tanque de decantação e desse era bombeada para passagem pelo filtro, e, então, voltava para o tanque de cultivo. A estrutura foi alocada dentro de uma sala fechada, com fotoperíodo de 12 horas de luz: 12 horas de escuro.

Destes seis sistemas de cada ensaio, três continham filtros preenchidos com espuma de quitosana, e nos outros três, os filtros eram preenchidos com *bioballs*, caracterizando-se como um material que dispõe de grande área de contato para fixação de bactérias, considerado como filtro biológico. Em ambos os ensaios, os *bioballs* usados no filtro biológico já estavam maduros, ou seja, colonizados pelas bactérias nitrificantes, pois foram obtidos de um biofiltro de um sistema de recirculação com peixes do sistema experimental do laboratório. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com dois tratamentos e três repetições. Em cada ensaio, todos os suportes dos materiais filtrantes possuíam o mesmo volume útil e foram fabricados de acordo com o descrito em Zadinelo et al. (2018).

Em ambas as escalas de volume dos tanques foram acompanhados os parâmetros físicos e químicos da qualidade de água: amônia total, nitrito, nitrato, ortofosfato dissolvido, alcalinidade, dureza, pH, condutividade elétrica, temperatura e oxigênio dissolvido. E as determinações foram realizadas a cada 48 horas.

A amônia total foi determinada pelo método do indofenol (KOROLEFF, 1976) e o nitrito pelo método da reação de Griess (BAUMGARTEN, 1996). O ortofosfato dissolvido foi obtido pelo método do ácido ascórbico, e o nitrato pelo método da triagem espectrofotométrica no ultravioleta (APHA, 2005). As determinações foram feitas em espectrofotômetro Belphotonics SP2000UV[®]. Alcalinidade total e dureza total foram determinadas por titulação seguindo a metodologia proposta por Macêdo (2003). O pH foi aferido em pHmetro Kasvi AI 03449[®] e a condutividade elétrica em um condutivímetro TecnoPON NT-CVM[®]. O Oxigênio dissolvido e a temperatura foram aferidos em um oxímetro Alfakit AT160[®].

No Ensaio 1, ou seja, tanques de 35 L, o experimento foi dividido em duas fases (Fase I e Fase II). A Fase I compreendeu o período entre o dia 1 e o dia 31, e a Fase II compreendeu o período entre o dia 31 e o dia 75. Entre estas duas fases houve a troca da espuma no filtro. Os filtros possuíam uma coluna de 23,5 cm altura por 6 cm de diâmetro, com volume de 664 cm³. Os filtros biológicos foram preenchidos com vinte *bioballs* de 3,2 cm de diâmetro. Não foi realizada troca de água, somente a reposição de aproximadamente 0,5 L por tanque (1,43% do volume total) por dia, devido às perdas por evaporação.

Na Fase I, os filtros foram preenchidos com 0,05% ($m v^{-1}$ em $g mL^{-1}$), de espuma de quitosana, menos do que o recomendado por Zadinelo et al (2018), pois os tanques foram cheios com água limpa e estavam isentos de poluentes. Os tanques foram cheios com água da rede de abastecimento, declorada com tiosulfato de sódio e permaneceram com recirculação de água com passagem pelos filtros e aeração por 24 horas, antes dos peixes serem alojados. Foram utilizados 120 alevinos de tilápias do Nilo revertidos sexualmente com peso médio de $0,86 \pm 0,03g$, e em cada tanque (unidade experimental) foram alojados 20 peixes.

Os peixes foram alimentados às 9:00h e às 18:00h, com ração comercial extrusada, com 38% de proteína bruta e um milímetro de diâmetro. A mesma quantidade de alimento (3% da biomassa) foi diariamente fornecida para os peixes de todos os tanques de cultivo. O peso do alimento consumido diariamente em cada tanque foi registrado para cálculo da conversão alimentar. O experimento foi conduzido por 30 dias. Após este período, os peixes foram deixados em jejum por 24 horas, foram posteriormente capturados e anestesiados por curta duração de tempo com o uso de $75 mg L^{-1}$ de eugenol (VIDAL et al., 2008) e então foi realizada a biometria para obtenção do peso final dos peixes.

Para a Fase II, os filtros de espuma utilizados na Fase 1 foram substituídos por novos filtros preenchidos com 0,10% ($m v^{-1}$ em $g mL^{-1}$) de espuma de quitosana. Os filtros novos foram colocados em tanques de recirculação com água limpa e declorada, com aeração por 24 horas antes de serem utilizados nos tanques experimentais. Após a biometria da primeira fase, sessenta alevinos de tamanho uniforme foram selecionados: 30 alevinos dos tanques com filtro preenchido com espuma de quitosana e 30 alevinos dos tanques com filtro biológico.

O peso médio dos peixes selecionados foi de $5,95 \pm 0,60g$, e esses foram distribuídos nos tanques dos seus respectivos tratamentos (10 peixes por tanque). Foi utilizado o mesmo manejo alimentar da Fase I, porém, os peixes foram alimentados com ração comercial extrusada, com 32% de proteína bruta e três milímetros de diâmetro. A Fase II do Ensaio I foi conduzida durante 44 dias. Ao final desse período, os peixes foram deixados em jejum por 24 horas, posteriormente, foram capturados e anestesiados por curta duração de tempo com o uso de $75 mg L^{-1}$ de eugenol (VIDAL et al., 2008) e então foi novamente realizada a biometria para obtenção do peso final.

O Ensaio 2 (em tanques de 130L) foi conduzido em uma única fase. Dos seis sistemas de recirculação utilizados, três tanques continham filtros preenchidos com espuma de quitosana na dosagem de 0,10% ($m v^{-1}$ em $g mL^{-1}$) e nos outros três tanques havia filtros biológicos preenchidos com 87 *bioballs* de 3,2 cm de diâmetro. Os filtros utilizados possuíam uma coluna de 41,5 cm de altura por 10 cm de diâmetro, com volume de $3258 cm^3$. Foram utilizados 60

alevinos de tilápias do Nilo revertidas sexualmente com peso médio de $29,8 \pm 4,5$ g, onde foram alojados 10 peixes em cada tanque (unidade experimental). Os peixes foram alimentados às 9:00h e às 18:00h, com ração comercial extrusada com 28% de proteína bruta e cinco milímetros de diâmetro. A mesma quantidade de alimento (3% da biomassa) foi diariamente fornecida para os peixes de todos os tanques de cultivo. O peso do alimento diariamente consumido em cada tanque foi registrado para cálculo da conversão alimentar.

Durante todo o período experimental não foi realizada troca de água, somente reposição de aproximadamente 2,1 L por tanque (1,4% do volume total) por dia, devido às perdas por evaporação. Após 30 dias experimentais, os filtros de espuma de quitosana foram trocados por novos filtros, preenchidos com uma dosagem de 0,10% (m v^{-1} em g mL^{-1}). O experimento foi conduzido por 60 dias. Após esse período, os peixes foram deixados em jejum por 24 horas, posteriormente capturados e anestesiados por curta duração de tempo com o uso de 75 mg L^{-1} de eugenol (VIDAL et al., 2008) e então foi realizada a biometria para obtenção do peso final dos peixes.

No Ensaio 2, foram selecionados três peixes por unidade experimental para a coleta e análise histológica dos órgãos para avaliar as possíveis alterações histopatológicas hepáticas e branquiais em tilápias do Nilo após o cultivo com o uso do filtro biológico com *bioballs* e filtro com espuma de quitosana. Os peixes selecionados foram submetidos à eutanásia com $286,55 \text{ mg L}^{-1}$ de eugenol durante 600s (VIDAL et al., 2008) ou até ser observado o cessar do movimento opercular. Foram coletados dois segmentos da brânquia direita e esquerda (porção medial do segundo arco branquial) e uma amostra de hepatopâncreas por peixe.

As amostras dos órgãos foram fixadas em solução de Davis, acomodadas em cassetes e desidratadas em uma série crescente de álcoois (70%, 80%, 90% e absoluto), diafanizadas em xilol (três banhos) e impregnadas em parafina histológica a $56 \text{ }^\circ\text{C}$, ambos com duração de 40 minutos. Após a inclusão, foram realizados cortes com espessura de $5 \mu\text{m}$ em micrótomo (Leica, modelo RM2245). As amostras foram coradas com ácido periódico-Schiff (PAS) e/ou Hematoxilina e Eosina (HE). As imagens dos órgãos foram capturadas com câmera digital 2048×15636 megapixels (Leica, modelo DFC295) acoplada em microscópio (Leica, modelo DM1000) e visualizada pelo software Leica Application Suite V3 (Leica, modelo LAS V3.8).

As alterações observadas nos órgãos foram avaliadas de acordo com o Índice do Órgão (Iorg.) Para cada órgão investigado, as alterações patológicas são classificadas em cinco padrões de reação: distúrbios circulatórios, mudanças regressivas, mudanças progressivas, inflamação e tumor. Em cada padrão de reação, foi atribuído para cada alteração um fator de importância (w) de acordo com o grau de reversibilidade, onde: “1” = alterações facilmente

reversíveis; “2” = alterações moderadas, reversíveis com o fim da exposição e “3” = alterações irreversíveis, apresentando perda parcial ou total da função do órgão. O valor de pontuação (a) foi aplicado de acordo com o grau de distribuição e intensidade da lesão do órgão, onde: "0" = ausência; "1-2" = ocorrência leve; "3-4" = ocorrência moderada e "5-6" = ocorrência acentuada (BERNET et al., 1999). A partir das classificações acima, foi calculado o Índice do Órgão (Iorg):

$$Iorg = \sum alt (a.w)$$

Onde:

“Iorg” = índice do Órgão;

"alt" = alteração;

"a" = valor de pontuação;

"w" = fator de importância.

Iorg é o índice que representa o grau de lesão dos órgãos, sendo que um valor elevado do índice representa um elevado grau de lesão do órgão.

4.2.3 Análise estatística

As médias diárias dos parâmetros físico e químicos referentes à qualidade de água (amônia total, nitrito, nitrato, ortofosfato dissolvido, alcalinidade, dureza, condutividade elétrica e turbidez), do desempenho zootécnico dos peixes (peso final, conversão alimentar e sobrevivência) e dos índices dos órgãos (Iorg) dos tratamentos dos Ensaio 1 e 2 foram submetidas para verificar a normalidade de distribuição dos dados e homogeneidade das variâncias. Depois de confirmados estes pressupostos, os dados foram comparados pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade, no programa Statistica 7.0 (StatSoft Inc., 2004).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Desempenho zootécnico

Nos Ensaio 1 e 2, não foram observadas diferenças estatísticas ($p > 0,05$) para os parâmetros de peso total, conversão alimentar e sobrevivência ao final de ambas as Fases (I e II), entre os tratamentos (tanques com filtro com espuma de quitosana e tanques com filtro biológico com *bioballs*).

Tabela 4. Desempenho zootécnico de alevinos de tilápia do Nilo dos Ensaio 1 e 2, dos tanques que continham o filtro com espuma de quitosana e dos tanques que continham o filtro biológico com *bioballs*

Ensaio 1 (tanques de 35 L)			
Fase I			
Tratamentos	Peso final (g)	Sobrevivência (%)	Conversão alimentar
Filtro com espuma de quitosana	5,45 ± 0,89	95 ± 5,00	0,87 ± 0,24
Filtro biológico com <i>bioballs</i>	5,86 ± 0,24	85 ± 15,00	0,89 ± 0,21
Fase II			
Tratamentos	Peso final (g)	Sobrevivência (%)	Conversão alimentar
Filtro com espuma de quitosana	33,95 ± 2,47	100 ± 0	0,85 ± 0,06
Filtro biológico com <i>bioballs</i>	33,99 ± 2,17	97 ± 5,77	0,87 ± 0,05
Ensaio 2 (tanques de 130 L)			
Tratamentos	Peso final (g)	Sobrevivência (%)	Conversão alimentar
Filtro com espuma de quitosana	75,9 ± 27,1	97 ± 5,77	1,47 ± 0,26
Filtro biológico com <i>bioballs</i>	70,5 ± 34,6	80 ± 26,45	1,85 ± 0,82

Os resultados de ambos os ensaios indicam que o uso da espuma de quitosana nos filtros em sistemas de recirculação de água não afeta o desempenho de alevinos de tilápia do Nilo, quando comparado ao uso de sistemas de recirculação com filtro biológico de *bioballs*.

4.3.2 Oxigênio dissolvido

No Ensaio 1, durante o período da Fase I, o oxigênio dissolvido médio na água dos tanques que continham o filtro com espuma de quitosana foi de $7,66 \pm 1,12 \text{ mg L}^{-1}$ e nos tanques que continham filtro biológico, a média foi de $7,91 \pm 0,83 \text{ mg L}^{-1}$. Já na Fase II, o oxigênio

dissolvido médio nos tanques que continham o filtro com espuma de quitosana foi de $4,39 \pm 0,27 \text{ mg L}^{-1}$ e nos tanques que continham filtro biológico, a média foi de $4,41 \pm 0,56 \text{ mg L}^{-1}$.

No Ensaio 2, na água dos tanques com filtro com espuma de quitosana, o oxigênio dissolvido médio nos primeiros 31 dias de cultivo foi de $6,71 \pm 0,42 \text{ mg L}^{-1}$, enquanto na água dos tanques com filtro biológico de *bioballs*, o resultado para o oxigênio dissolvido médio foi de $6,77 \pm 0,52 \text{ mg L}^{-1}$. Já nos últimos 30 dias, o resultado para esse parâmetro foi de $5,80 \pm 0,66 \text{ mg L}^{-1}$ na água dos tanques com filtro com espuma de quitosana, e de $5,85 \pm 0,68 \text{ mg L}^{-1}$ na água dos tanques com filtro biológico de *bioballs*.

Em ambos os ensaios, foi observado decréscimo do oxigênio dissolvido ao longo do período experimental, corroborando com Marengoni et al. (2013), os quais verificaram que, ao longo de cultivo intensivo de juvenis de tilápia do Nilo em sistema de recirculação, os níveis de oxigênio dissolvido decrescem e se aproximam de 2 mg L^{-1} aos 84 dias de cultivo. Tais resultados são considerados críticos para a tilapicultura intensiva, atingindo o limite da capacidade suporte do sistema.

4.3.3 Temperatura

No Ensaio 1, a temperatura média da água durante a Fase I em ambos os tratamentos ($p > 0,05$) foi de $26 \pm 2^\circ\text{C}$, e durante a Fase II, foi de $25 \pm 1^\circ\text{C}$. No Ensaio 2, a temperatura média da água de cultivo foi de $25 \pm 0,67^\circ\text{C}$ para ambos os tratamentos.

A temperatura da água entre 25 a 30°C é mais adequada para o cultivo de alevinos de tilápia do Nilo para obtenção de ótimo desempenho de crescimento e taxa de sobrevivência (EL-SHERIF; EL-FEKY, 2009). Em ambos os ensaios a temperatura da água se manteve dentro da zona de conforto térmico para ótimo desempenho dos alevinos de tilápia. Entretanto, vale ressaltar que não havia sistema de aquecimento da água nos tanques de cultivo com sistema de recirculação da água utilizados para os testes com ambos os filtros (de espuma de quitosana e de *bioballs*), e as variações de temperatura eram decorrentes do ambiente externo.

4.3.4 pH

O pH da água utilizada para início do Ensaio 1 (na Fase I) era de 6,00. Durante o período experimental da Fase I, nos tanques com filtro biológico com *bioballs*, o pH médio foi de 5,85

$\pm 0,76$, e nos tanques com filtro com espuma de quitosana, os valores médios foram de $6,41 \pm 0,52$. Na Fase II, nos tanques com filtro biológico com *bioballs*, o pH médio foi de $6,77 \pm 0,31$, e nos tanques com filtro com espuma de quitosana, os valores médios foram de $6,56 \pm 0,42$.

No Ensaio 2, o pH médio foi de $8,43 \pm 0,25$ na água dos tanques com filtro com espuma de quitosana e de $8,23 \pm 0,36$ na água dos tanques com filtro biológico com *bioballs*.

Rebouças et al. (2016) indicam que a faixa de pH da água suportada para cultivo de tilápia do Nilo varia de 5,5 a 9,0. Entretanto, de acordo com Kubitza (2011), para um ótimo crescimento da tilápia, a faixa de pH deve ser mantida entre 6,00 e 8,50. Os valores de pH da água de cultivo de ambos os tratamentos estiveram dentro da faixa tolerada pela espécie.

4.3.5 Amônia total

Na Fase I do Ensaio 1, entre o 15° e o 27° dias, foi detectado aumento crescente da amônia total na água dos tanques que continham filtro biológico, que chegou a $0,098 \text{ mg L}^{-1}$, enquanto na água dos tanques com filtro com espuma de quitosana, a amônia total alcançou valores de até $0,025 \text{ mg L}^{-1}$ (9° dia) (Figura 10).

Durante a Fase II (Ensaio 1), na água dos tanques que continham o filtro com espuma de quitosana, foram detectados os seguintes resultados: $0,023$; $0,017$ e $0,013 \text{ mg L}^{-1}$ de amônia total no 31°, 35° e 37° dias, respectivamente, não sendo mais detectada amônia até o 65° dia; a partir de então foram detectados níveis crescentes de amônia, devido à saturação do material filtrante, que alcançou $0,43 \text{ mg L}^{-1}$ no 74° dia. Na água dos tanques que continham filtro biológico, foram detectados $0,88 \text{ mg L}^{-1}$ de amônia total, no 37° dia, que alcançou concentrações de $2,40 \text{ mg L}^{-1}$ no 65° dia (Figura 10).

No Ensaio 1, foram verificadas diferenças estatísticas nas concentrações de amônia total ($p < 0,05$), nos dias 27, 31, 33, 39-67 e 73. O uso do filtro com espuma de quitosana nos tanques de cultivo mostrou-se mais eficiente e as concentrações diárias de amônia total se mantiveram estatisticamente menores ou iguais durante todo o período experimental.

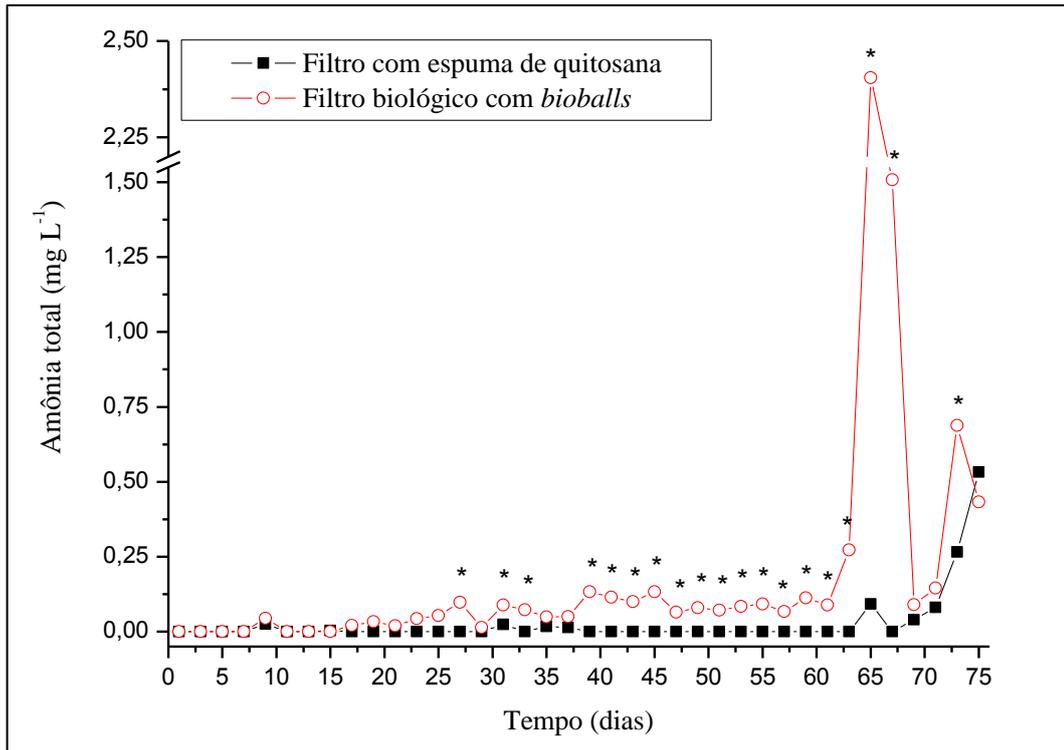


Figura 10. Concentrações médias de amônia total dos tanques com o uso de filtro com espuma de quitosana e dos tanques com uso do filtro biológico com *bioballs*, durante o período experimental de 74 dias.

* Presença de asteriscos indica diferenças estatísticas, no dia, entre os tratamentos pelo teste t (5% de probabilidade).

No Ensaio 2, nos tanques com filtro biológico com *bioballs*, as concentrações máximas detectadas foram nos dias 7 (0,20 mg L⁻¹), 17 (0,28 mg L⁻¹), 33 (0,39 mg L⁻¹), 37 (0,45 mg L⁻¹) e 61 (0,60 mg L⁻¹), enquanto nos tanques com filtro com espuma de quitosana, as concentrações máximas detectadas foram nos dias 7 (0,17 mg L⁻¹), 25 (0,24 mg L⁻¹) e 35 (0,17 mg L⁻¹). A partir de então permaneceram abaixo de 0,10 mg L⁻¹. Porém, foram verificadas diferenças estatísticas nas concentrações de amônia total ($p < 0,05$), somente nos dias 3, 59 e 61.

Observou-se que, a partir do 56º dia, os níveis dos compostos nitrogenados aumentam em sistemas fechados de recirculação de água durante o cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, e a eficiência do filtro biológico diminui. Este resultado influencia na qualidade da água do sistema (MARENGONI et al., 2013). Resultado semelhante foi encontrado nesse trabalho nos Ensaio 1 e 2, em que, a partir do 61º dia, as concentrações de amônia aumentaram nos tanques com filtro biológico e, a partir do 69º dia, foi verificado aumento exponencial da amônia total nos tanques com uso do filtro com espuma de quitosana, devido à saturação da espuma.

A concentração letal mediana em 96 horas pós-exposição (CL_{50-96h}) da amônia não ionizada (NH₃) para a tilápia do Nilo ($12,6 \pm 2,9g$) é de 0,98 mg L⁻¹. As alterações bioquímicas, fisiológicas, histológicas e comportamentais provocadas por níveis subletais induzem à

supressão do crescimento e ao comprometimento imunológico. Os sinais de intoxicação em concentrações subletais são hiperatividade e perda de equilíbrio e, em casos mais graves, os sinais são diminuição da atividade de natação, letargia, coloração escurecida e mortalidade (EVANS et al., 2006).

Durante todo o período experimental, considerando os valores de amônia total, pH e temperatura, em ambos tratamentos e ensaios, não foi ultrapassada a CL_{50-96h} de amônia não ionizada de $0,098 \text{ mg L}^{-1}$ definida por Evans et al. (2006). Os valores máximos calculados de amônia não ionizada no Ensaio 1 foram de $0,002 \text{ mg L}^{-1}$ no 75º dia (24°C , pH 7,0) nos tanques com filtro com espuma de quitosana e de $0,014 \text{ mg L}^{-1}$ no 75º dia (26°C , pH 7,0) nos tanques com filtro biológico. Já no Ensaio 2, as concentrações de amônia não ionizada calculadas foram de $0,038 \text{ mg L}^{-1}$ no 25º dia (26°C , pH 8,4) nos tanques com filtro com espuma de quitosana e de $0,072 \text{ mg L}^{-1}$ no 37º dia (26°C , pH 8,4) nos tanques com filtro biológico (Figura 11).

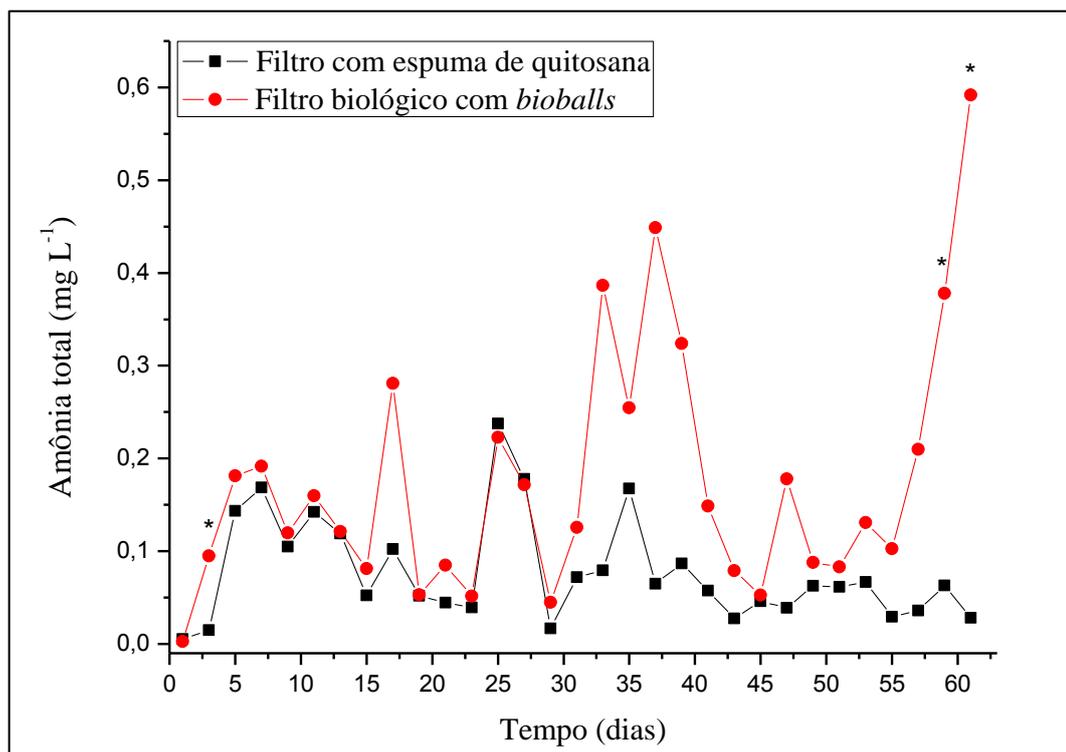


Figura 11. Concentrações médias de amônia total dos tanques com o uso de filtro com espuma de quitosana e dos tanques com uso do filtro biológico com *bioballs*, durante o período experimental de 61 dias.

*Presença de asteriscos indica diferenças estatísticas, no dia, entre os tratamentos pelo teste t (5% de probabilidade).

4.3.6 Nitrito

No Ensaio 1, na Fase I, as concentrações médias diárias de nitrito foram maiores ($p < 0,05$) na água dos tanques que continham o filtro com espuma de quitosana. Os resultados alcançaram o valor máximo de $0,90 \text{ mg L}^{-1}$ no 11º dia. Após esse período, houve decréscimo, e a estabilidade ocorreu no 25º dia, com $0,075 \text{ mg L}^{-1}$, igualando ($p > 0,05$) as concentrações com nos tanques que continham filtro biológico (Figura 12). Esse fato pode ter ocorrido devido à dosagem de espuma utilizada no filtro ($0,05\% \text{ m v}^{-1}$) no início do período experimental, para o fenômeno de adsorção, ser menor do que a recomendada ($0,05\% \text{ m v}^{-1}$) por Zadinelo et al. (2018). Tais autores também apontam que quanto maior a dosagem, maior a capacidade de adsorção de nitrito. Outro fato que pode ter contribuído é a ausência de uma comunidade bacteriana estabelecida nos tanques com filtro com espuma de quitosana, diferentemente do filtro biológico, onde foram utilizados filtros maduros (>14 dias) (SUANTIKA et al., 2016).

Na Fase II, as concentrações médias de nitrito foram maiores ($p < 0,05$) na água dos tanques que continham o filtro com espuma de quitosana, entre o 31º e 39º dia. Após esse período, as concentrações se mantiveram menores ($p < 0,05$) que na água dos tanques onde foram utilizados filtros biológicos (Figura 12). Foram observadas diferenças estatísticas ($p < 0,05$) nos dias 5-13 e 37, em que o uso do filtro biológico com *bioballs* manteve menores concentrações de nitrito e nos dias 43-69, o filtro com espuma de quitosana foi mais eficiente. No 74º dia, as concentrações de nitrito foram estatisticamente superiores ($p < 0,05$) na água dos tanques que continham o filtro com espuma de quitosana, devido à saturação do material adsorvente.

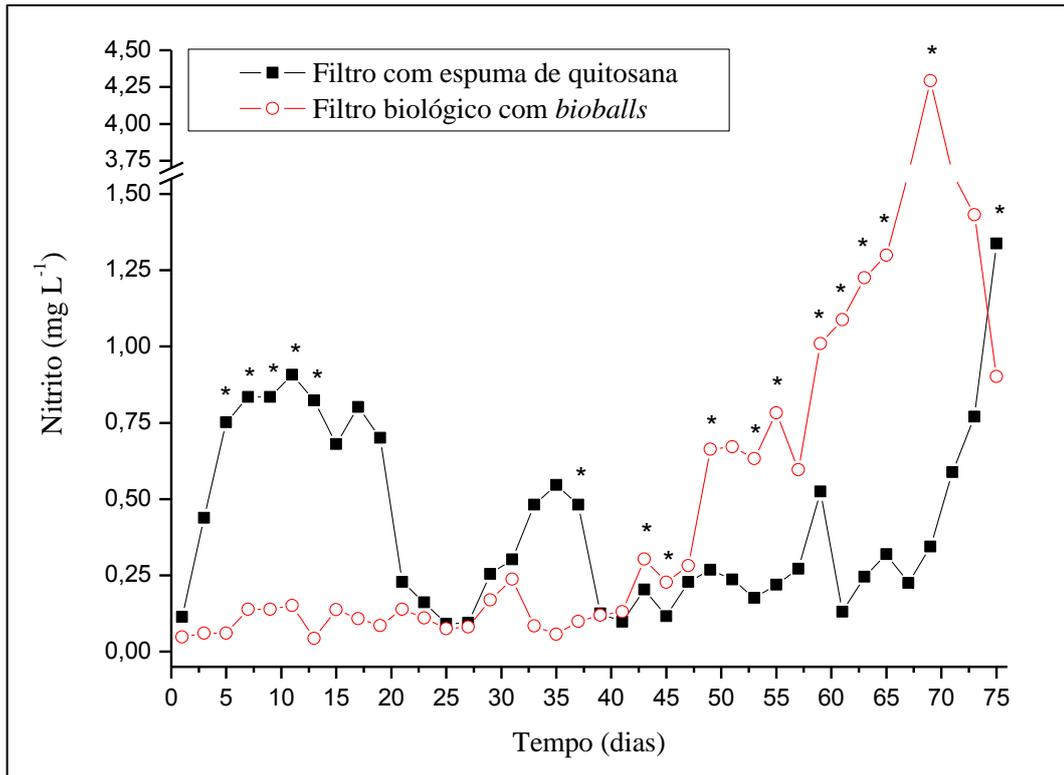


Figura 12. Concentrações médias de nitrito dos tanques com o uso de filtro com espuma de quitosana e dos tanques com uso do filtro biológico com *bioballs*, durante o período experimental de 74 dias.

*Presença de asteriscos indica diferenças estatísticas, no dia, entre os tratamentos pelo teste t (5% de probabilidade).

No Ensaio 2, concentrações crescentes de nitrito foram detectadas no início do período experimental em ambos os tratamentos, as quais alcançaram valores máximos no 27º dia, com média de 2,85 mg L⁻¹ na água dos tanques com filtro biológico com *bioballs*, e de 1,80 mg L⁻¹ na água dos tanques com filtro com espuma de quitosana. Após esse período, as concentrações permaneceram abaixo de 1,1 mg L⁻¹ na água dos tanques com filtro com espuma de quitosana, e nos tanques com filtro biológico com *bioballs*, abaixo de 1,97 mg L⁻¹. Foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos nos dias 5, 7, 13, 43, 49 e 51 (Figura 13).

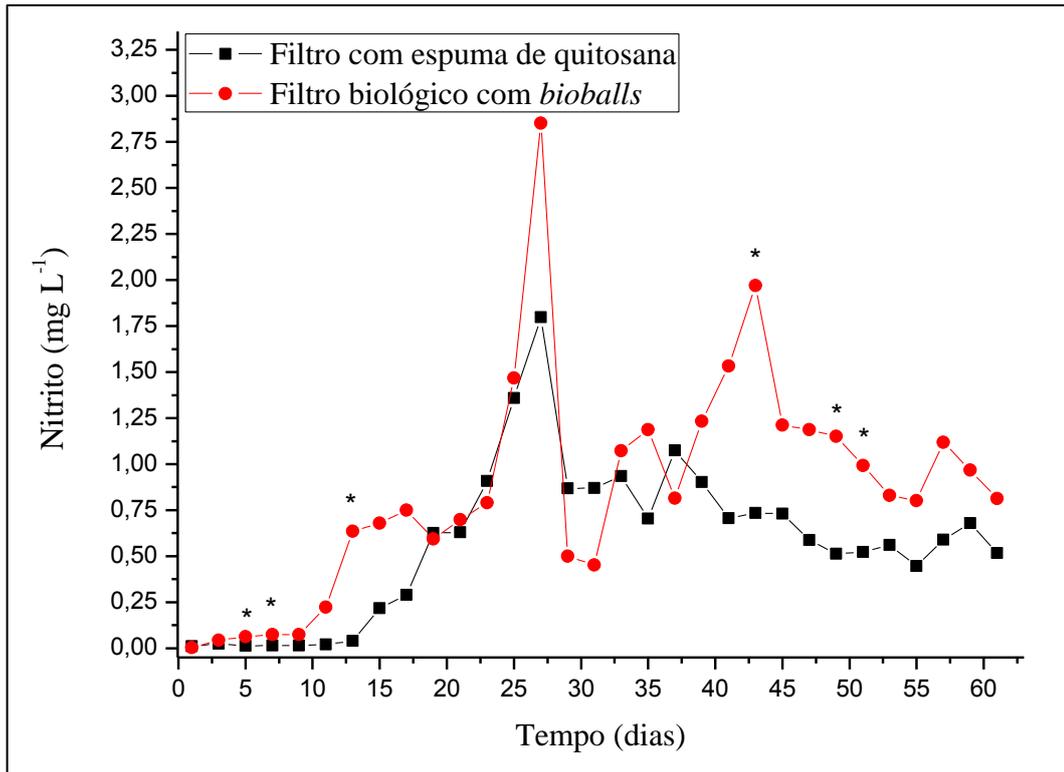


Figura 13. Concentrações médias de nitrito dos tanques com o uso de filtro com espuma de quitosana e dos tanques com uso do filtro biológico com *bioballs*, durante o período experimental de 61 dias.

*Presença de asteriscos indica diferenças estatísticas, no dia, entre os tratamentos pelo teste t (5% de probabilidade).

A toxicidade do nitrito em tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) pode ser inibida pela adição de cloreto à água, com o uso de cloreto de cálcio ou cloreto de sódio. A concentração letal mediana de 96 horas de nitrito-N foi de 81 mg L⁻¹ em tilápias com peso médio de 4,40 ± 1,50g, e de 8 mg L⁻¹ para tilápias com peso médio de 90,7 ± 16,43g (ATWOOD et al., 2001). Tanto no Ensaio 1 (Fases I e II) quanto no Ensaio 2, as concentrações de nitrito mantiveram-se adequadas para o cultivo em ambos os tratamentos. A espuma de quitosana pode contribuir na redução da toxicidade do nitrito para os peixes, já que contém em sua composição cloretos (ZADINELO et al., 2018), e é igualmente eficaz ao filtro biológico com *bioballs* na manutenção das concentrações de nitrito.

4.3.7 Nitrato

Na Fase I, em ambos os tratamentos, as concentrações médias de nitrato na água se mantiveram entre 0 e 15 mg L⁻¹, porém, na Fase II, as concentrações na água dos tanques com filtro biológico com *bioballs* a partir do 67º dia foram crescentes e atingiram 46,91 mg L⁻¹ no 73º dia. Em contrapartida, as concentrações médias de nitrato no filtro com espuma de quitosana atingiram o nível máximo de 28,01 mg L⁻¹ no 69º dia (Figura 14). Foram detectadas diferenças estatísticas ($p < 0,05$) nos dias 3-9, e 55, 57, 73 e 74, em que o uso do filtro com espuma de quitosana manteve menores concentrações de nitrato.

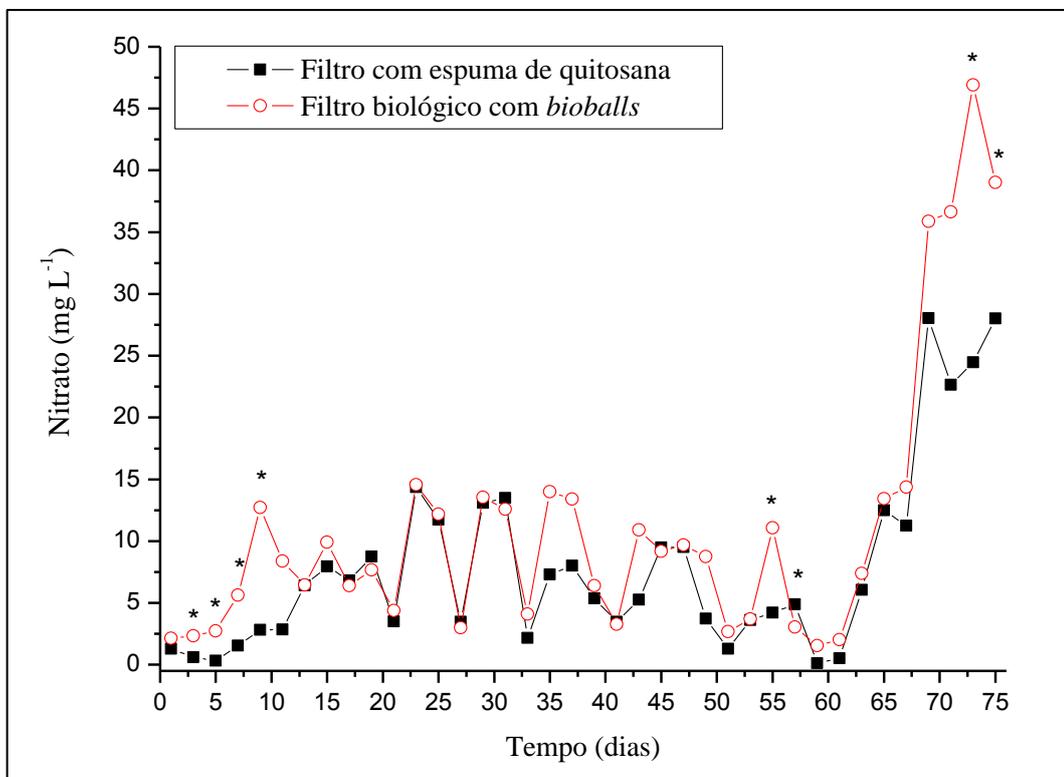


Figura 14. Concentrações médias de nitrato dos tanques com o uso de filtro com espuma de quitosana e dos tanques com uso do filtro biológico com *bioballs*, durante o período experimental de 74 dias.

*Presença de asteriscos indica diferenças estatísticas, no dia, entre os tratamentos pelo teste t (5% de probabilidade).

No Ensaio 2, as concentrações médias de nitrato na água dos tanques com filtro biológico com *bioballs* permanecerão entre 0,10 e 69,20 mg L⁻¹ (máxima observada no 47º dia), enquanto na água dos tanques com filtro com espuma de quitosana, as concentrações permanecerão entre 0,05 e 11,17 mg L⁻¹ (máxima observada no 53º dia). Foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos nos dias 3, 17 e 47 (Figura 15).

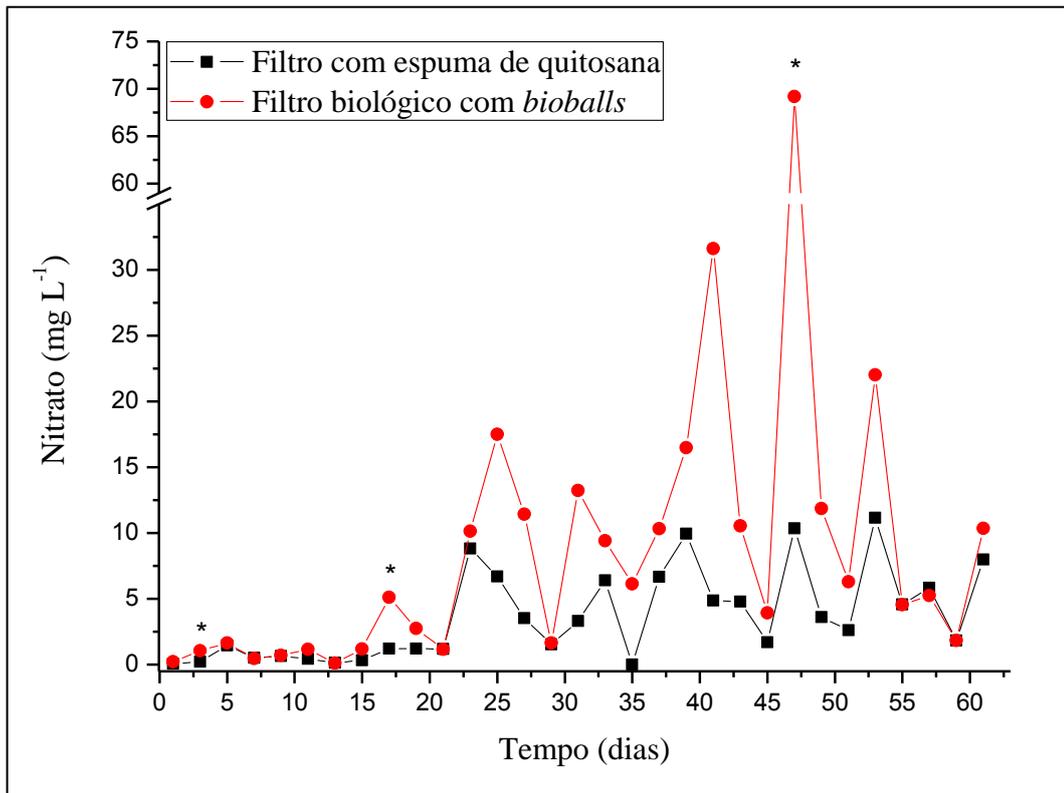


Figura 15. Concentrações médias de nitrato dos tanques com o uso de filtro com espuma de quitosana e dos tanques com uso do filtro biológico com *bioballs*, durante o período experimental de 61 dias.

*Presença de asteriscos indica diferenças estatísticas, no dia, entre os tratamentos pelo teste t (5% de probabilidade).

O nitrato é relativamente não tóxico para a tilápia, porém, a exposição prolongada a altas concentrações de nitrato pode diminuir a resposta imune e causar mortalidade (EL-SAYED, 2006). No presente estudo, as concentrações de nitrato não excederam o recomendado por Monsees et al. (2016), que é de até 500 mg L^{-1} nitrato-N no cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, para garantir a saúde e o crescimento do peixe.

No cultivo de tilápia em sistema de recirculação com descarga zero de água e sem retirada da matéria orgânica, é observado que o lodo é digerido biologicamente e o nitrato é reduzido a nitrogênio gasoso (EL-SAYED, 2006). No presente estudo não houve retirada de água nem de matéria orgânica durante o período experimental. Com base nos resultados de ambos os ensaios, foi possível verificar que o uso da espuma de quitosana nos filtros resultou em níveis menores ou iguais de nitrato, quando comparados ao uso do filtro biológico com *bioballs*.

4.3.8 Ortofosfato dissolvido

No Ensaio 1, durante a Fase I, o ortofosfato dissolvido foi detectado em maiores concentrações na água dos tanques que continham filtro biológico, do primeiro ao 27º dia experimental ($p < 0,05$) e alcançou níveis máximos de $2,55 \text{ mg L}^{-1}$ no 23º dia. Todavia, na água dos tanques que continham o filtro com espuma de quitosana, foi detectado o máximo de ortofosfato dissolvido no mesmo dia, onde foi detectado apenas $1,95 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 16). Já na Fase II, o ortofosfato foi detectado em maiores concentrações na água dos tanques que continham filtro biológico do 33º ao 75º dia experimental ($p < 0,05$) e alcançou níveis máximos de $9,97 \text{ mg L}^{-1}$ no 71º dia. Porém, na água dos tanques que continham o filtro com espuma de quitosana, foi detectada concentração máxima de ortofosfato dissolvido de $6,40 \text{ mg L}^{-1}$ (no 73º dia (Figura 16).

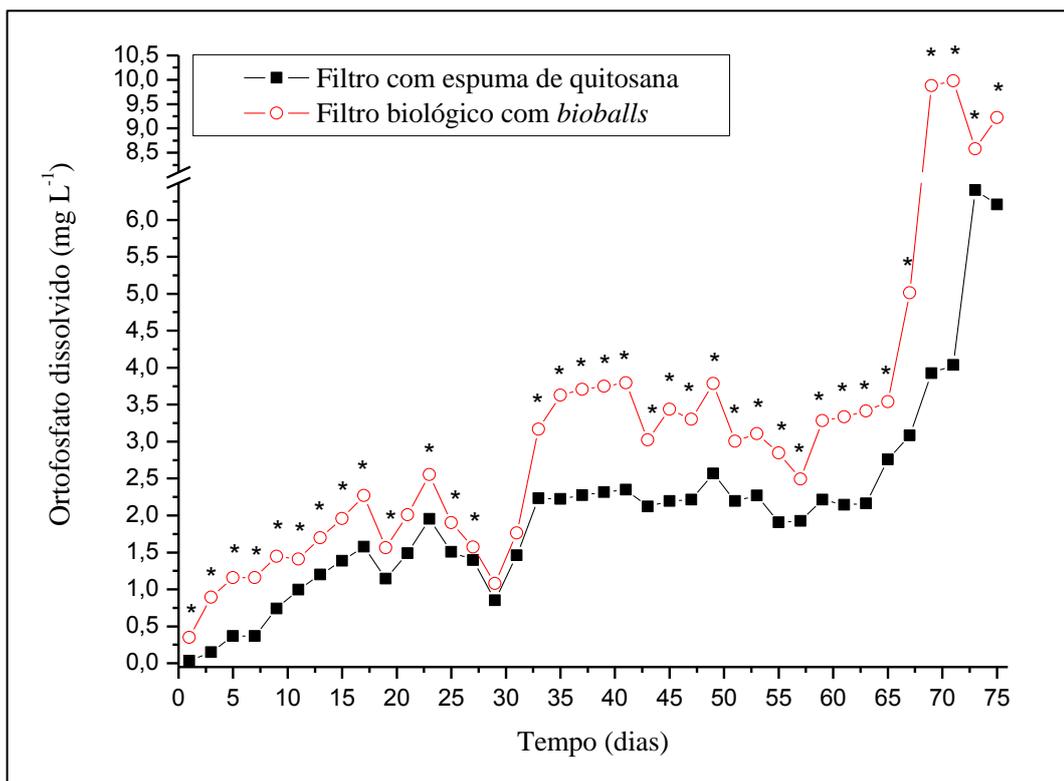


Figura 16. Concentrações médias de ortofosfato dissolvido dos tanques com o uso de filtro com espuma de quitosana e dos tanques com uso do filtro biológico com *bioballs*, durante o período experimental de 74 dias.

*Presença de asteriscos indica diferenças estatísticas, no dia, entre os tratamentos pelo teste t (5% de probabilidade).

No Ensaio 2, foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos somente no 25º dia, quando foram verificadas concentrações médias de $17,50 \text{ mg L}^{-1}$ na água dos tanques

com filtro biológico com *bioballs* e de 6,69 mg L⁻¹ na água dos tanques com filtro com espuma de quitosana (Figura 17). Após o 30º dia de cultivo, foi verificada a tendência de aumento crescente nas concentrações de ortofosfato dissolvido na água em ambos os tratamentos.

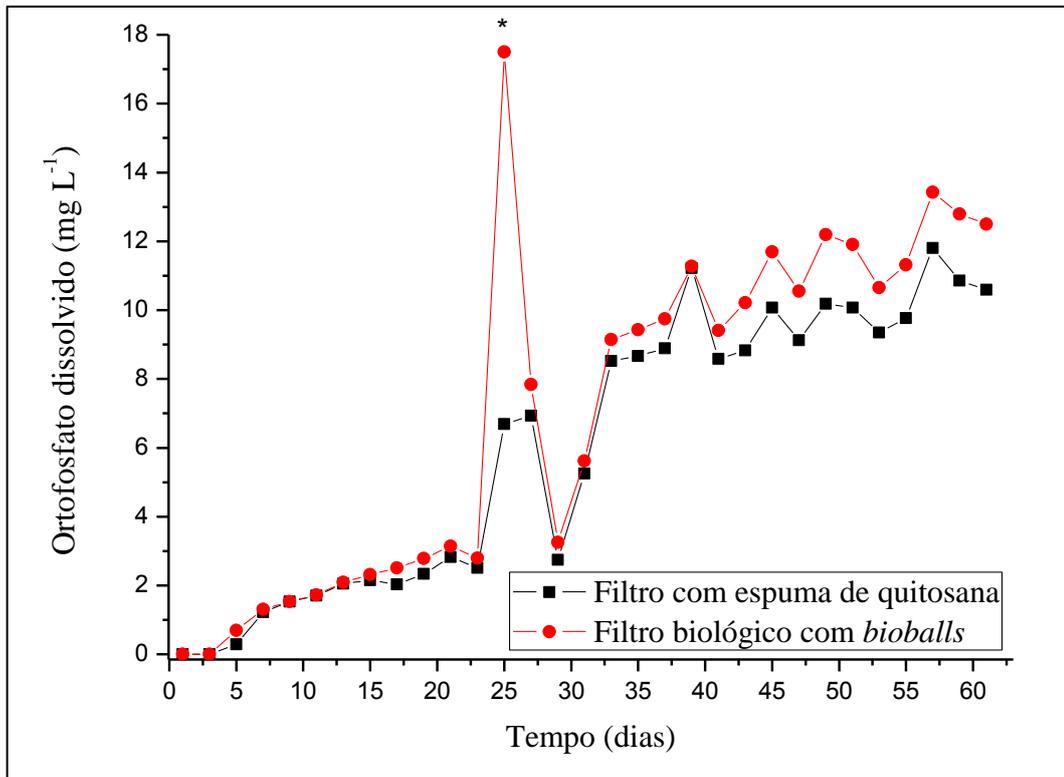


Figura 17. Concentrações médias de ortofosfato dissolvido dos tanques com o uso de filtro com espuma de quitosana e dos tanques com uso do filtro biológico com *bioballs*, durante o período experimental de 61 dias.

*Presença de asteriscos indica diferenças estatísticas, no dia, entre os tratamentos pelo teste t (5% de probabilidade).

O fósforo parece não ser um sério problema quanto ao risco de intoxicações, pois as concentrações letais são elevadas e estão muito longe de serem encontradas em águas de cultivo. Um nível de segurança para exposição de juvenis de tilápia é de até 100 mg L⁻¹ de fósforo, que representa 10% da concentração letal em 24 horas. Apesar de altas concentrações de fósforo não causarem efeito sobre a sobrevivência dos peixes, o efeito acumulativo está diretamente relacionado ao crescimento excessivo da comunidade fitoplanctônica e do potencial de crescimento das cianobactérias que produzem metabólitos secundários tóxicos que ocasionam doenças e até mortalidades (CAGOL et al., 2016).

Assim como neste trabalho, Marengoni et al. (2013) observaram que os níveis de fósforo total aumentam em função dos dias de cultivo em um sistema de recirculação. Isso pode ter sido

ocasionado pela liberação de compostos fosfatados provenientes da decomposição da matéria orgânica proveniente de sobras de ração e da excreção metabólica dos peixes.

A espuma de quitosana tem maior afinidade por ortofosfato dissolvido, seguida por nitrito e amônia total, porém, é capaz de realizar a adsorção desses poluentes em conjunto (ZADINELO et al., 2018). O uso do filtro com espuma de quitosana nos tanques de cultivo manteve as concentrações médias de ortofosfato dissolvido menores ou iguais durante todo o período experimental, quando comparada ao filtro biológico com *bioballs*.

4.3.9 Alcalinidade total

A alcalinidade total foi maior durante todo o período experimental em ambas as fases na água dos tanques com filtro com espuma de quitosana e variou entre 45 e 145 mg L⁻¹ CaCO₃. Contudo, nos tanques com filtro biológico com *bioballs*, a alcalinidade apresentou variação entre 9 e 82 mg L⁻¹ CaCO₃ (Figura 18). Porém, não foram observadas diferenças estatísticas (p>0,05) nos dias 23, 27, 29 e 51-74.

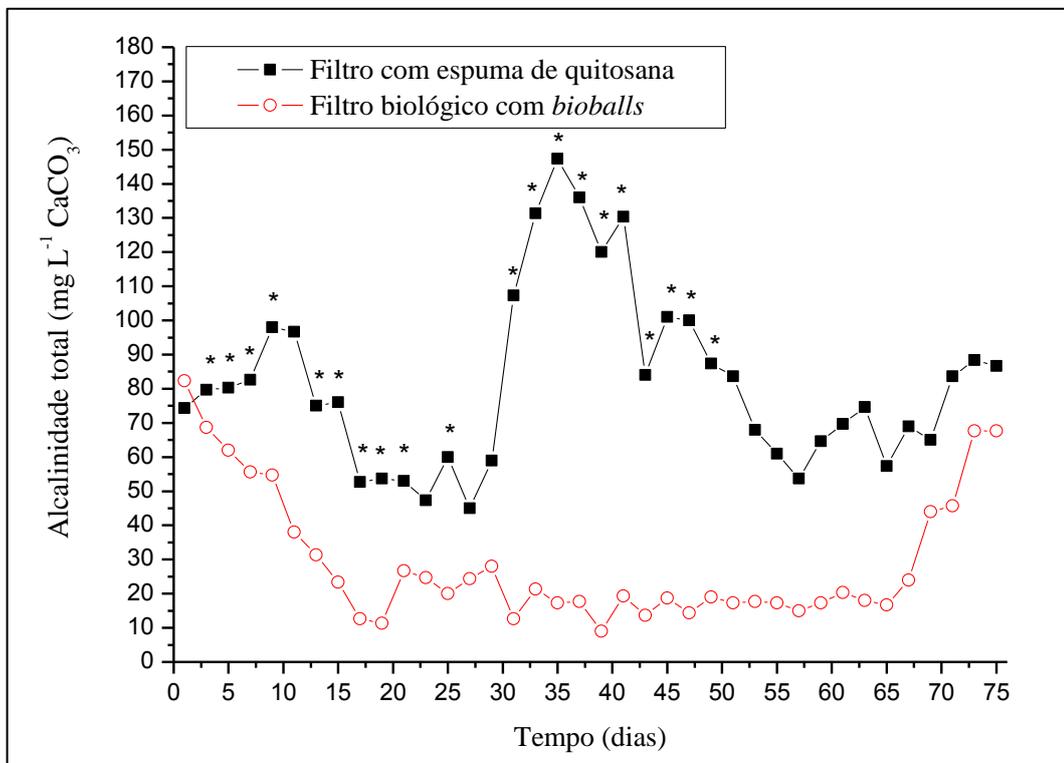


Figura 18. Concentrações médias de alcalinidade total dos tanques com o uso de filtro com espuma de quitosana e dos tanques com uso do filtro biológico com *bioballs*, durante o período experimental de 74 dias.

*Presença de asteriscos indica diferenças estatísticas, no dia, entre os tratamentos pelo teste t (5% de probabilidade).

No Ensaio 2, a alcalinidade total foi maior durante todo o período experimental em ambas as fases na água dos tanques com filtro com espuma de quitosana e variou entre 30 e 147 mg L⁻¹ CaCO₃. Todavia, na água dos tanques com filtro biológico com *bioballs*, a alcalinidade apresentou variação entre 30 e 127 mg L⁻¹ CaCO₃ (Figura 19) e foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos nos dias 11, 15, 17, 19, 21 e 29 (Figura 19).

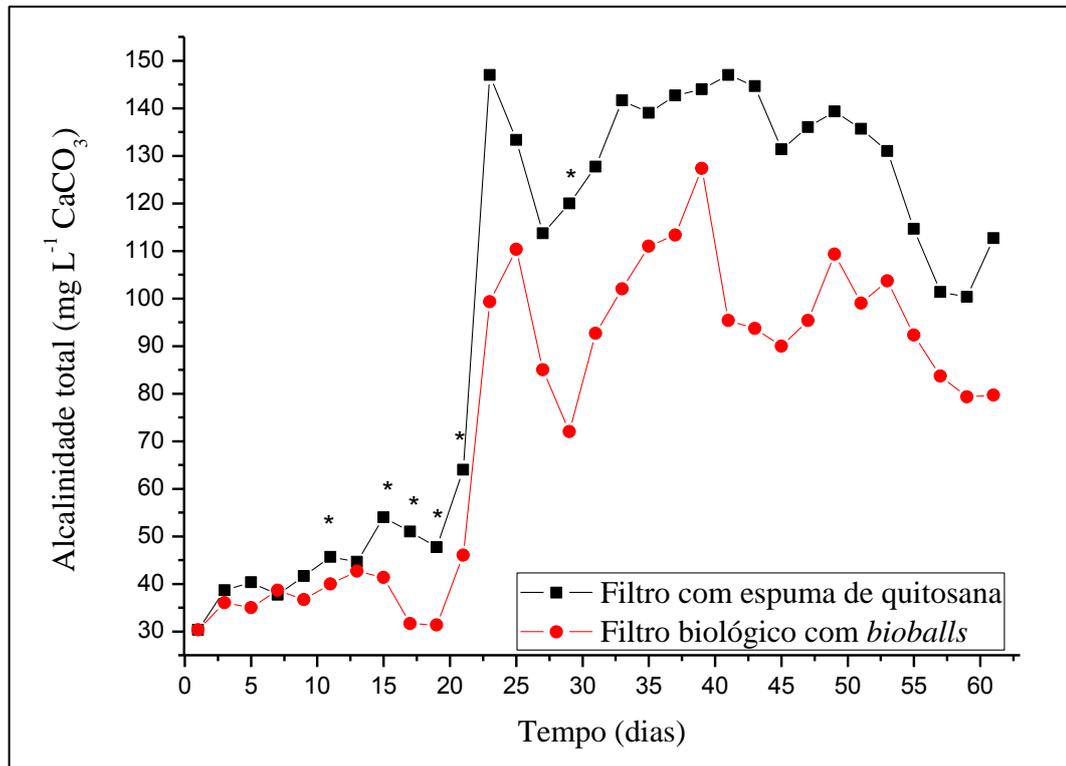


Figura 19. Concentrações médias de alcalinidade total dos tanques com o uso de filtro com espuma de quitosana e dos tanques com uso do filtro biológico com *bioballs*, durante o período experimental de 74 dias.

*Presença de asteriscos indica diferenças estatísticas, no dia, entre os tratamentos pelo teste t (5% de probabilidade).

A alcalinidade na água dos viveiros de cultivo de peixes para alimentação humana deve ser de 60 mg L⁻¹ ou mais (BOYD et al., 2016). A formação de íons hidrogênio ocorre durante a conversão de amônia em nitrato por ação das bactérias nitrificantes e, no processo de tamponamento destes íons, há consumo de alcalinidade (na forma de carbonato de cálcio), conseqüentemente há a redução tanto da alcalinidade como do pH. Em um sistema de cultivo semicomercial do salmão do Atlântico, com recirculação de água, verificou-se que o aumento da alcalinidade conduz a concentrações mais baixas de nitrogênio amoniacal total, mas não afeta a remoção de nitrito ou CO₂ (SUMMERFELT et al., 2015).

Neste estudo, em ambos os tratamentos, a alcalinidade foi menor do que o recomendado em alguns dias experimentais. Porém, tanto para o bem-estar dos peixes como para manter os parâmetros de qualidade da água, é interessante o uso da espuma de quitosana nos filtros, que mantém a alcalinidade em níveis mais altos do que o filtro biológico.

4.3.10 Dureza total

A dureza total da água apresentou tendência crescente ao longo de todo o período experimental em ambas as fases, para os dois tratamentos, mas os valores foram superiores nos tanques com filtro biológico com *bioballs*, os quais atingiram $264 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ no 59º dia. Na água dos tanques com filtro com espuma de quitosana atingiu-se a concentração máxima de $213 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ no 71º dia (Figura 20). Foram observadas diferenças estatísticas ($p < 0,05$) nos dias 21, 27 e 33-69, onde as maiores concentrações de dureza total foram na água dos tanques com filtro biológico de *bioballs*.

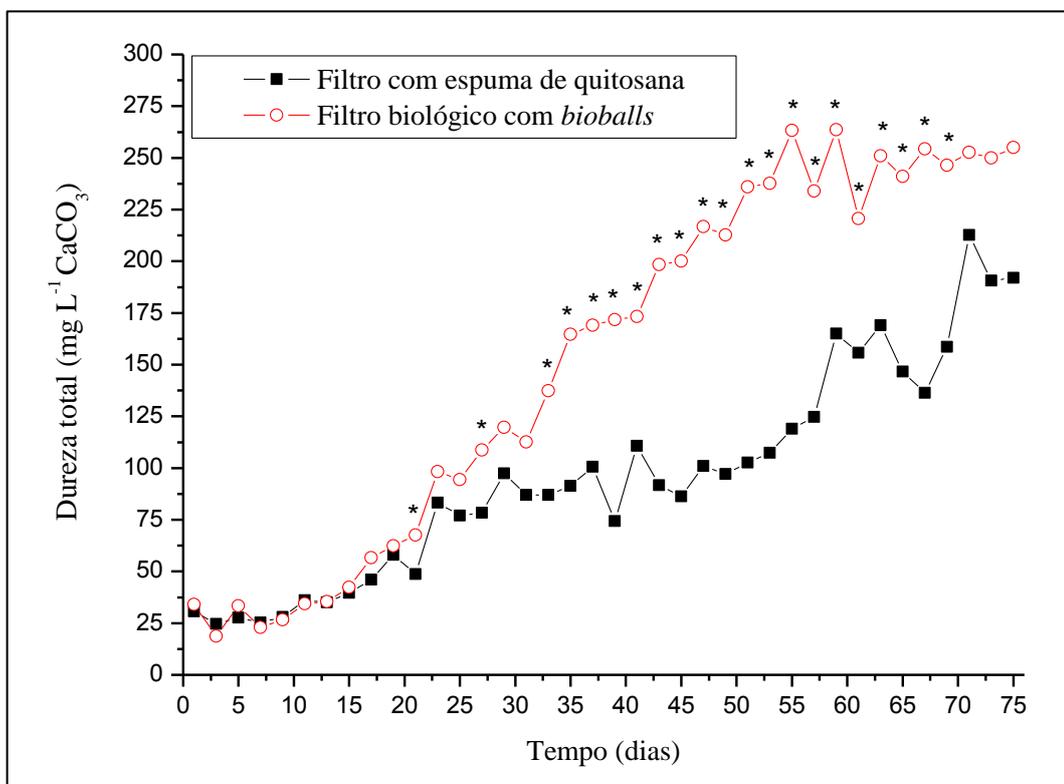


Figura 20. Concentrações médias de dureza total dos tanques com o uso de filtro com espuma de quitosana e dos tanques com uso do filtro biológico com *bioballs*, durante o período experimental de 74 dias.

*Presença de asteriscos indica diferenças estatísticas, no dia, entre os tratamentos pelo teste t (5% de probabilidade).

No Ensaio 2, a dureza total na água apresentou tendência crescente ao longo de todo o período experimental em ambas as fases, para os dois tratamentos, mas os valores foram superiores nos tanques com filtro biológico com *bioballs* e atingiram $154 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ no 59º dia. A concentração máxima atingiu $137 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ no 59º dia, nos tanques com filtro com espuma de quitosana (Figura 21). Foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos nos dias 13, 17, 19, 23, 25 e 29 (Figura 21).

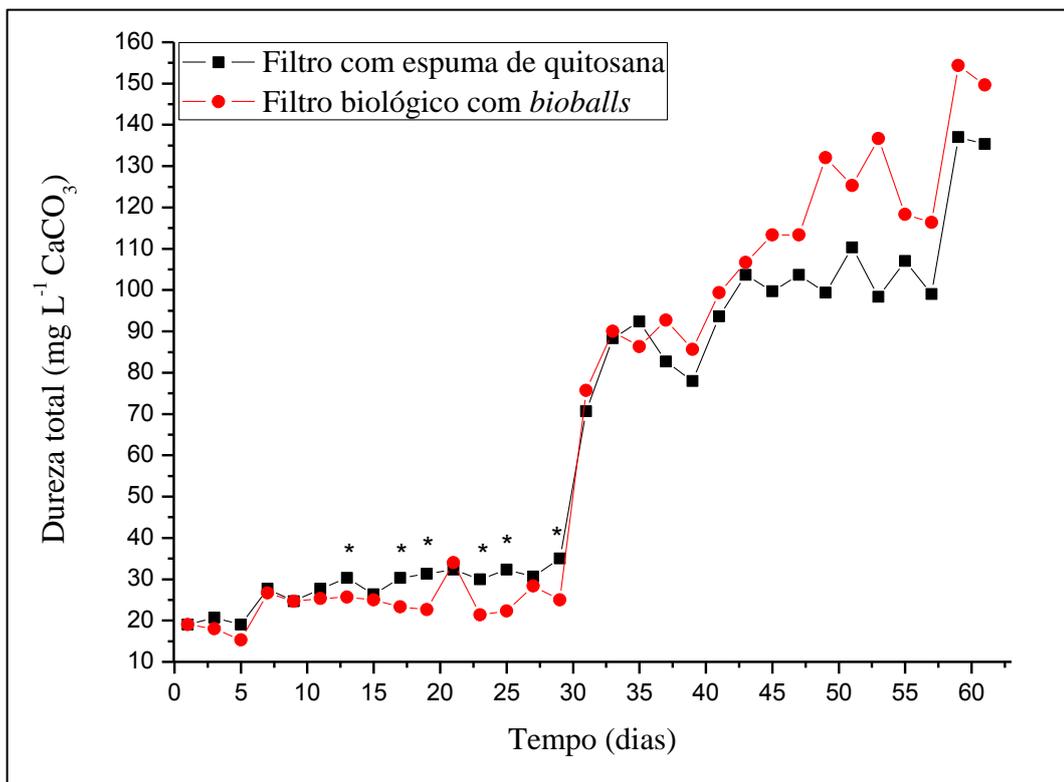


Figura 21. Concentrações médias de dureza total dos tanques com o uso de filtro com espuma de quitosana e dos tanques com uso do filtro biológico com *bioballs*, durante o período experimental de 61 dias.

*Presença de asteriscos indica diferenças estatísticas, no dia, entre os tratamentos pelo teste t (5% de probabilidade).

A dureza da água dos viveiros de água doce deve ser de 40 mg L^{-1} ou mais (BOYD et al., 2016). No Ensaio 1, a partir do 15º dia, e no Ensaio 2, a partir do 31º dia, as concentrações de dureza total foram adequadas para o cultivo em ambos os tratamentos.

4.3.11 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica da água apresentou tendência predominantemente crescente durante as duas fases experimentais. Foram aferidos valores máximos de $2447 \mu\text{S cm}^{-1}$ nos tanques com filtro com espuma de quitosana e $3220 \mu\text{S cm}^{-1}$ nos tanques com filtro biológico com *bioballs* no 74º dia (Figura 22). A condutividade elétrica foi estatisticamente menor ($p < 0,05$) na água dos tanques com o uso do filtro com espuma de quitosana nos dias 36-41 e 49-74.

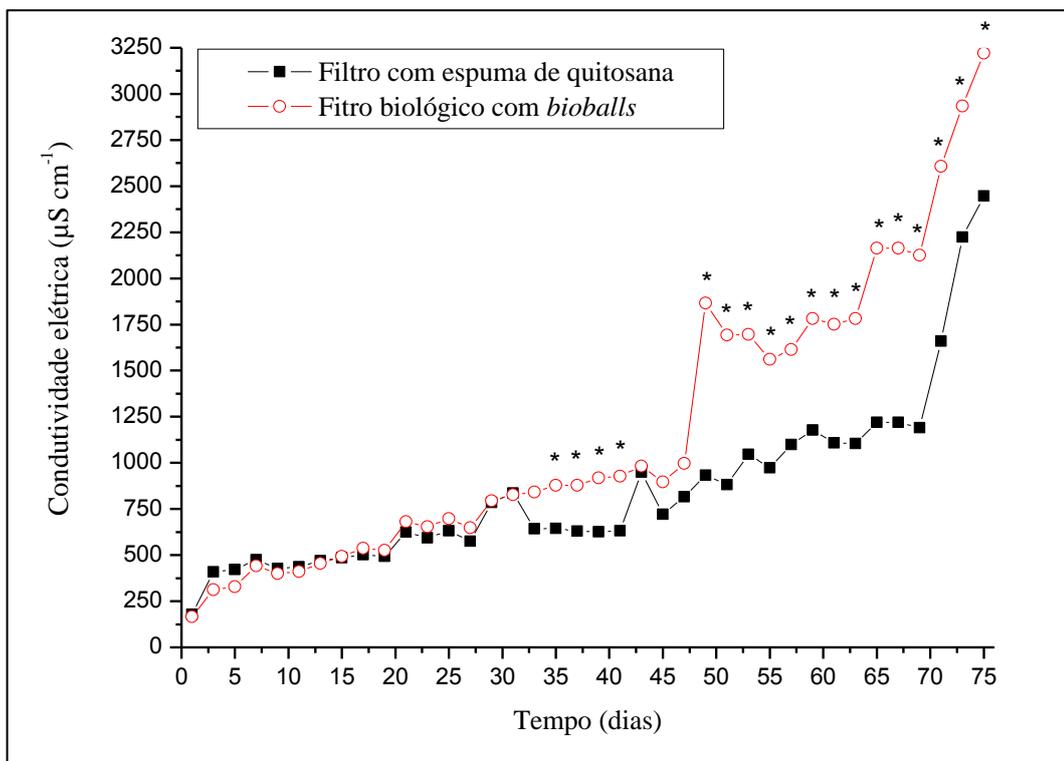


Figura 22. Valores médios de condutividade elétrica da água dos tanques com o uso de filtro com espuma de quitosana e dos tanques com uso do filtro biológico com *bioballs*, durante o período experimental de 74 dias.

*Presença de asteriscos indica diferenças estatísticas, no dia, entre os tratamentos pelo teste t (5% de probabilidade).

No Ensaio 2, a condutividade elétrica da água apresentou tendência predominantemente crescente durante as duas fases experimentais. Foram aferidos valores máximos de $490 \mu\text{S cm}^{-1}$ nos tanques com filtro com espuma de quitosana e $709 \mu\text{S cm}^{-1}$ nos tanques com filtro biológico com *bioballs* no 74º dia (Figura 23). Foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos nos dias 27- 41, e 45-55 (Figura 23).

A condutividade elétrica indica a quantidade de íons na água. Quanto maior a concentração iônica, maior será a capacidade da água em conduzir eletricidade. Valores elevados de condutividade evidenciam altas taxas de decomposição, e consequente aumento da disponibilidade de nutrientes no meio aquático, os quais ajudam a constatar a incidência de poluição aquática (MOREIRA et al., 2001).

A elevação dos níveis de condutividade pode estar associada ao aumento da matéria orgânica na água proveniente da excreção dos peixes e resto de ração não consumida, e contribui para o acúmulo de íons no ambiente de cultivo (SILVA et al., 2013b). A espuma de quitosana parece ter a capacidade de adsorver parte dos íons poluentes dissolvidos na água, já que resultou em menores valores de condutividade.

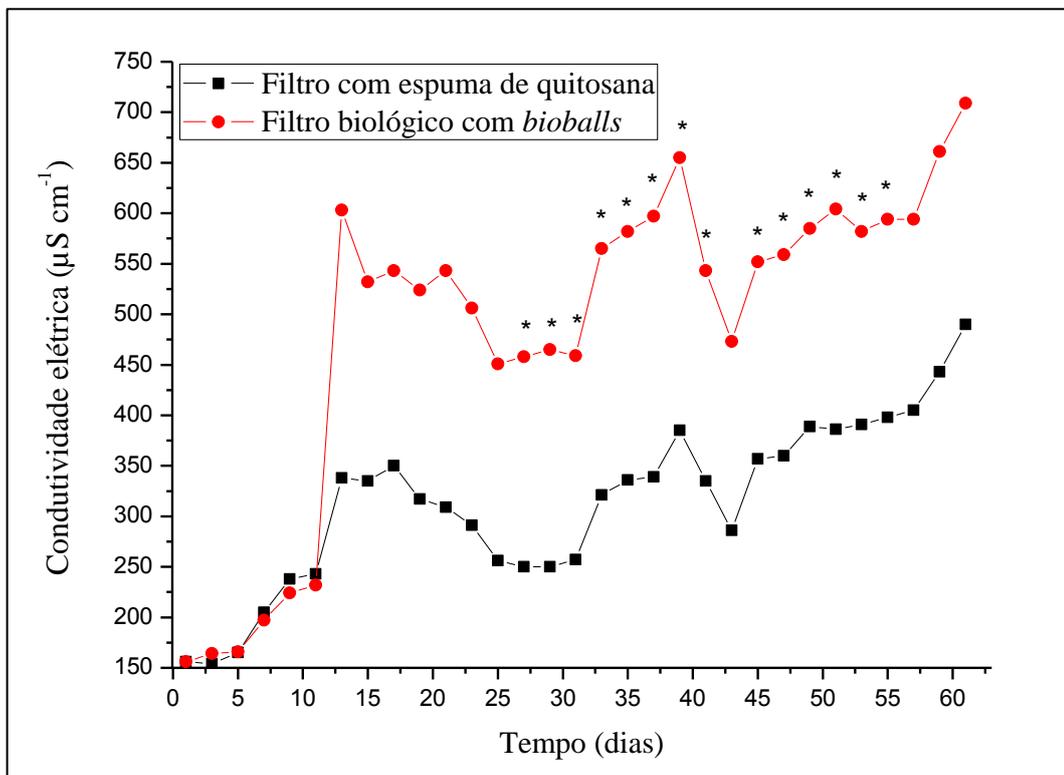


Figura 23. Valores médios de condutividade elétrica da água dos tanques com o uso de filtro com espuma de quitosana e dos tanques com uso do filtro biológico com *bioballs*, durante o período experimental de 61 dias.

*Presença de asteriscos indica diferenças estatísticas, no dia, entre os tratamentos pelo teste t (5% de probabilidade).

4.3.12 Turbidez

No Ensaio 2, do 1° ao 51° dia, a turbidez da água foi maior nos tanques com filtro com espuma de quitosana, e a partir de então, a turbidez foi maior na água dos tanques com filtro biológico com *bioballs*. Os valores máximos de turbidez observados foram de 135,6 NTU, no 41° dia, na água dos tanques com filtro com espuma de quitosana, e de 80,6 NTU, no 57° dia, na água dos tanques com filtro biológico com *bioballs*. Foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos nos dias 41 e 43 (Figura 24).

A turbidez da água em viveiros de peixes está associada à presença de partículas em suspensão (SIPAÚBA-TAVARES, 1995). O acúmulo de matéria orgânica aumenta a turbidez da água, aumenta a demanda bioquímica de oxigênio e causa redução nos níveis de oxigênio dissolvido (SANDRE et al., 2009).

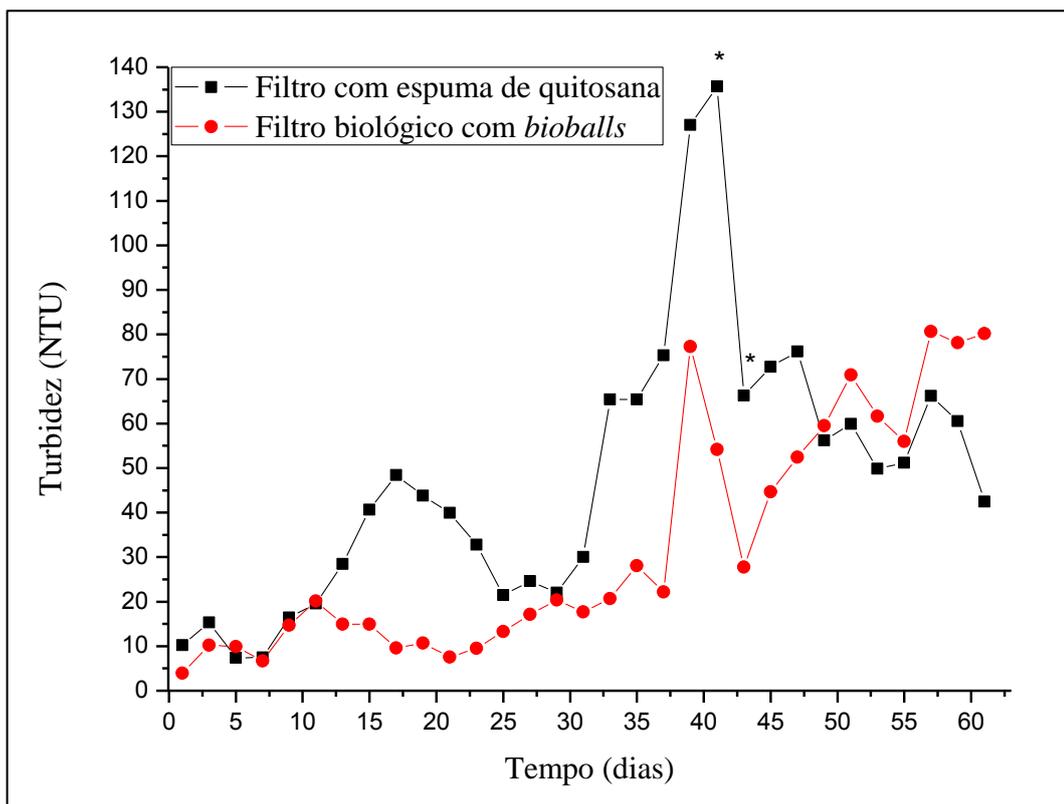


Figura 24. Valores médios de turbidez da água dos tanques com o uso de filtro com espuma de quitosana e dos tanques com uso do filtro biológico com *bioballs*, durante o período experimental de 61 dias.

*Presença de asteriscos indica diferenças estatísticas, no dia, entre os tratamentos pelo teste t (5% de probabilidade).

Haja vista a espuma de quitosana ser biodegradável (ZADINELO et al., 2018), ao final de ambos os períodos experimentais, observou-se que a espuma colocada dentro do filtro havia parcialmente se desfeito.

A espuma de quitosana pode atuar como adsorvente de poluentes (ZADINELO et al., 2018), mas também pode ser substrato para fixação das bactérias nitrificantes, e desempenhar o papel de biofiltração, pois segundo Lertsutthiwong et al. (2013), a quitosana é um biopolímero promissor que pode ser usado como biofiltro alternativo para fixação de bactérias oxidantes de nitrito, capaz de remover até $0,82 \pm 0,05$ mg-N/(g dia). Tais dados corroboram com os de Chung (2006), que também afirma que a quitosana não afeta as bactérias nitrificantes, mas apresenta remoção seletiva de bactérias, logo é eficaz contra a *Edwardsiella ictaluri*.

De acordo com os resultados de amônia total, nitrito e ortofosfato dissolvido durante o período experimental dos Ensaio 1 e 2, pôde-se observar que a troca da espuma aos 30 dias de cultivo resultou em melhora e manutenção da qualidade de água. Porém, quando não houve troca aos 60 dias, observou-se o início da deterioração da qualidade de água, ou seja, a espuma tornou-se saturada em 30 dias.

Mediante os resultados de qualidade de água e o desempenho zootécnico em ambas as fases, conclui-se que o uso de sistemas de recirculação de água com tratamento por uso de filtros preenchidos com espuma de quitosana durante o cultivo de tilápia do Nilo é igualmente eficiente ou melhor do que o uso de filtro biológico com *bioballs*.

O uso de filtros preenchidos com espuma de quitosana permite os tratamentos físico, químico e biológico dos efluentes aquícolas, pois a espuma de quitosana pode servir como suporte para as bactérias nitrificantes, eliminar as patogênicas, além de exibir excelentes capacidades adsorptivas (físicas e químicas) de poluentes da aquicultura.

4.3.5 Histopatologia hepática e branquial

As mesmas alterações histopatológicas (Figura 25) foram verificadas nas brânquias de tilápia do Nilo de ambos os tratamentos (tanques com espuma de quitosana e tanques com filtro biológico com *bioballs*). Verificou-se hiperemia de ocorrência leve para o padrão de reação de distúrbios circulatórios. Porém, para o padrão de reação de mudanças regressivas do epitélio, foram verificadas alterações estruturais de plasma e depósito, de ocorrência leve, e não foram verificadas alterações no tecido suporte. Verificou-se hipertrofia e hiperplasia de ocorrência moderada para o padrão de reação de mudanças progressivas no epitélio, mas não foram

verificadas alterações do tecido suporte. Foram verificadas marginação e infiltração para o padrão de reação de inflamação, mas não foram verificadas alterações nos padrões de reação de tumor.

Reis et al. (2009) observaram que o declínio contínuo da temperatura, do pH e da concentração de oxigênio dissolvido na água de tanques de cultivo intensivo de tilápia do Nilo provoca um progressivo aumento de alterações morfológicas do epitélio branquial (hiperplasia interlamelar, fusão lamelar, descolamento epitelial e telangiectasias), devido às condições menos favoráveis. Neste trabalho, em ambos os tratamentos (tanques com filtro com espuma de quitosana e tanques com filtro biológico com *bioballs*) e ensaios (1 e 2), foi observado o declínio da concentração de oxigênio dissolvido ao longo do período experimental, que pode ter resultado em alterações nas brânquias.

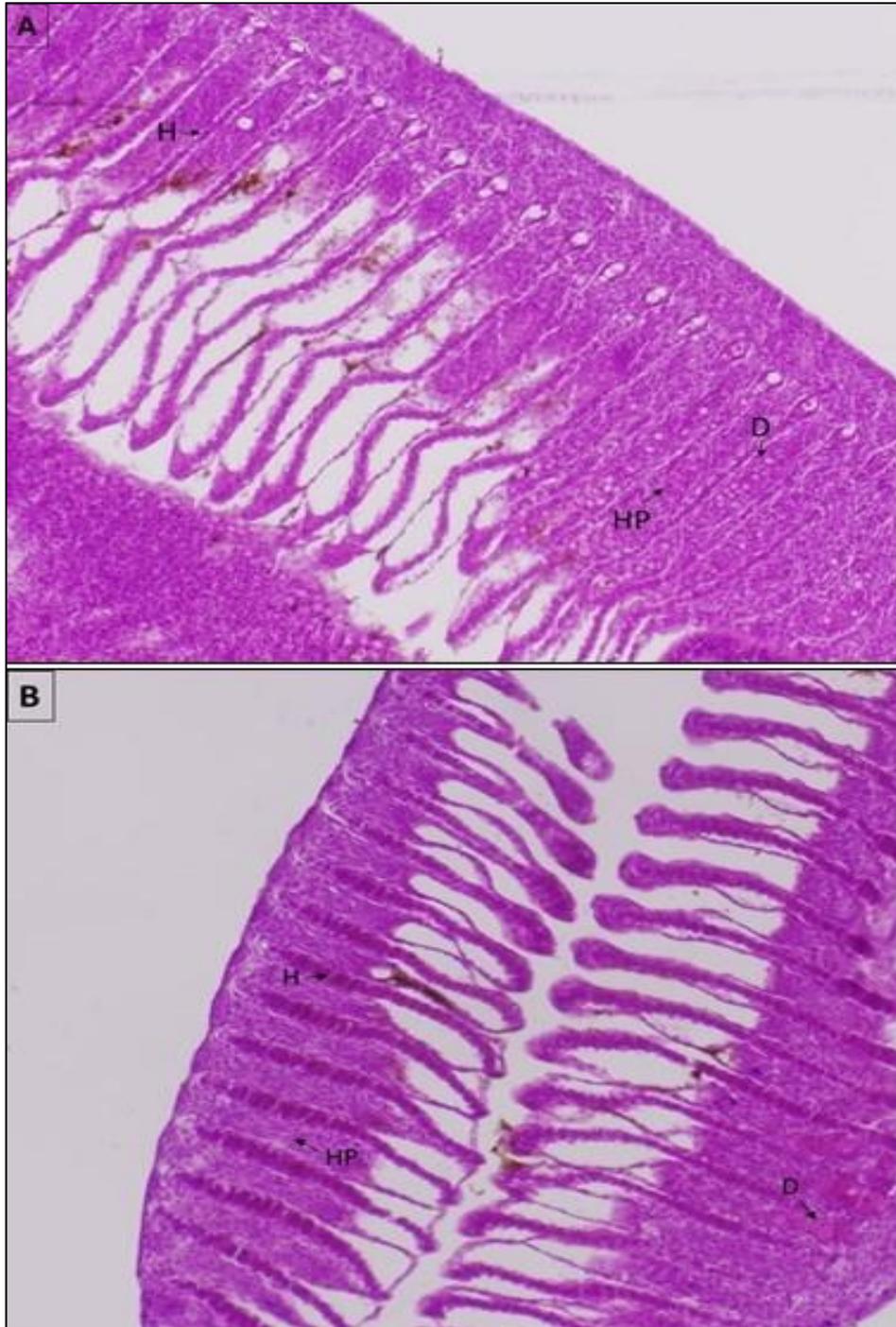


Figura 25. Histopatologia das brânquias de alevinos de tilápia do Nilo, cultivados em tanques com filtro com espuma de quitosana (A – aumento de 10x) e em tanques com filtro biológico com *bioballs* (B – aumento de 10x). H – hiperemia; HP – hiperplasia; D – depósito/plasma/células com hipertrofia.

Garcia-Santos et al. (2007) verificaram efeitos histopatológicos do cádmio (25mg L^{-1} de CdCl_2) nas brânquias de tilápia do Nilo por microscopia óptica e constataram que os peixes expostos ao cádmio apresentaram alterações como fusão nas lamelas em função de hiperplasia e hipertrofia epitelial, ruptura do sistema de células pilar, aneurismas e necroses. Tais alterações

histológicas funcionam como mecanismos de defesa porque diminuem a área de superfície vulnerável da brânquia e/ou aumentam a barreira de difusão ao poluente, dificultando o acesso do poluente ao sangue e, por conseguinte, a realização de trocas gasosas é prejudicada. Neste trabalho, em ambos os tratamentos e ensaios, as alterações verificadas podem ter sido decorrentes do mecanismo de defesa contra os compostos que se acumularam na água de cultivo (por não ser feita troca de água), pela dieta, entre outros.

As mesmas alterações histopatológicas (Figura 26) foram verificadas no hepatopâncreas de tilápia do Nilo de ambos os tratamentos (tanques com espuma de quitosana e tanques com filtro biológico com *bioballs*). Para o padrão de reação de distúrbios circulatórios foi verificada hiperemia de ocorrência leve. No padrão de reação de mudanças regressivas no tecido hepático foram verificadas alterações estruturais, alterações do plasma, depósitos, alterações nucleares e necrose de ocorrência leve; no tecido intersticial hepático, foram verificadas alterações estruturais de ocorrência leve, e no ducto biliar não foram verificadas alterações. Não foram verificadas alterações no padrão de reação de mudanças progressivas no tecido hepático, no tecido intersticial hepático nem no ducto biliar. Foram verificadas marginação e infiltração de leucócitos de ocorrência leve no padrão de reação de inflamação, todavia, não foram verificadas alterações nos padrões de reação de presença de tumor.

Neste trabalho foi observada a infiltração de leucócitos que, segundo Bernet et al. (1999), tem funções relacionadas à neutralização e destruição da fonte agressora, portanto, a infiltração de leucócitos limpa o tecido, remove o agente agressor e células mortas e induz a recuperação do tecido lesado.

Marchand et al. (2012) analisaram as alterações histopatológicas em fígados de duas espécies indicadoras, *Clarias gariepinus* e *Oreochromis mossambicus*, decorrentes de águas hipertróficas e verificaram necrose focal, alterações nucleares (hipertrofia e picnose) e infiltração de células inflamatórias nos hepatócitos, além de alteração vacuolar. Liebel et al. (2013) utilizaram espécimes de *Astyanax fasciatus* e *Oreochromis niloticus* para avaliar o impacto antropogênico sobre a qualidade de água em dois lagos. Foram encontradas duas lesões principais no fígado de ambas as espécies, a presença de infiltração de leucócitos e áreas de necrose. No presente estudo, as alterações verificadas em ambos os tratamentos e ensaios podem ter sido resultado dos poluentes acumulados na água de cultivo (devido à ausência de troca de água), ou de outros fatores, como acúmulo de microrganismos na água de cultivo ou pela dieta fornecida (ROCHA et al., 2010).

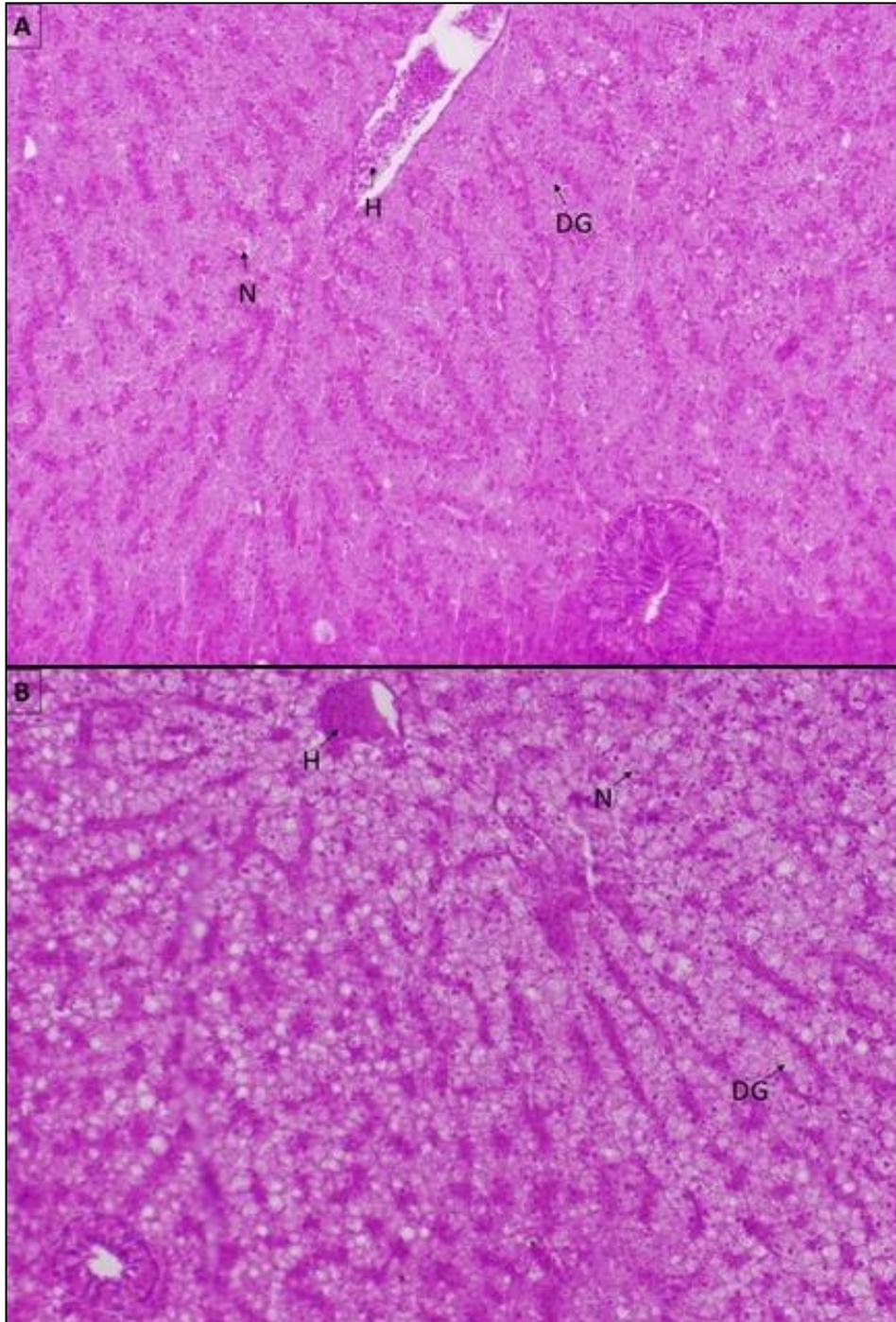


Figura 26. Histopatologia do hepatopâncreas de alevinos de tilápia do Nilo cultivadas em tanques com filtro com espuma de quitosana (A – aumento de 10x) e em tanques com filtro biológico com *bioballs* (B – aumento de 20x). DG – Degeneração gordurosa/células hipertróficas; H – hiperemia; N – necrose.

Não foram observadas diferenças estatísticas ($p > 0,05$) entre os índices de órgão (Iorg) das brânquias e do hepatopâncreas de alevinos de tilápia do Nilo após o cultivo em tanques que continham filtro com espuma de quitosana e em tanques que continham o filtro biológico com *bioballs* (Tabela 5).

Tabela 5. Índices de órgão (Iorg) de brânquias e hepatopâncreas de alevinos de tilápia do Nilo após o cultivo em tanques que continham filtro com espuma de quitosana e em tanques que continham o filtro biológico com *bioballs*

Tratamentos	Índice de órgão (Iorg) das Brânquias (n=9)	Índice de órgão (Iorg) do Hepatopâncreas (n=9)
Filtro com espuma de quitosana	9,33 ± 0,66	6,66 ± 1,20
Filtro biológico com <i>bioballs</i>	9,66 ± 0,33	7,00 ± 1,66

Os parâmetros inadequados de qualidade de água podem ser apontados como o principal motivo de aparecimento das alterações histopatológicas. A aplicação do índice de Bernet para os órgãos (Iorg), associada à análise de imagens, permite uma avaliação mais precisa dos efeitos morfológicos causados pelos poluentes (LIEBEL et al., 2013).

Marchand et al. (2012) encontraram valores que estão de acordo com o verificado no presente estudo (Tabela 5) para *Oreochromis mossambicus*, provenientes de águas hipertróficas índice de Iorg do fígado de $12,89 \pm 5,83$, e das brânquias de $10,89 \pm 3,95$. Rašković et al. (2013) também encontraram valores semelhantes aos deste trabalho nos órgãos de carpas comuns, provenientes de lagoas com abastecimento de água de um córrego e de um poço. Para as brânquias, as médias dos índices foram de 13 e 7, e para os fígados de 8 e 6, para os peixes provenientes de lagoas com abastecimento de água de um córrego e de um poço, respectivamente.

4.4 CONCLUSÃO

O uso de espuma de quitosana como elemento filtrante em sistema de recirculação de água na aquicultura mantém adequada qualidade de água da mesma forma como o filtro biológico com *bioballs* também mantém. O uso de espuma de quitosana também não afeta o desempenho zootécnico e nem a histologia hepática nem branquial de alevinos de tilápia do Nilo. É recomendada a troca da espuma a cada 30 dias de cultivo para garantir a saúde e o bem-estar dos peixes.

4.5 REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21^a ed. Washington, 2005.

ATWOOD, H. L. et al. Toxicity of nitrite to Nile Tilapia: effect of fish size and environmental chloride. **North American Journal of Aquaculture**, v. 63, p. 49-51, 2001. DOI:10.1577/1548-8454(2001)063<0049: TONTNT > 2.0.CO.

BAUMGARTEN, M. G. Z. **Manual de análises em oceanografia química**. Rio Grande: Ed. Furg, 1996, 132p. ISBN: 858504246X.

BERNET, D. et al. Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. **Journal of Fish Diseases**, v. 22, p. 25-34, 1999.

BREGNBALLE, J. A guide to recirculation aquaculture: an introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and EUROFISH International Organisation**, 2015, 100p. Disponível em: < <http://www.fao.org/3/a-i4626e.pdf>> Acesso em: 27/02/2018.

BOYD, C. E., TUCKER, C. S., SOMRIDHIVEJ, B. Alkalinity and hardness: critical but elusive concepts in aquaculture. **Journal of the world aquaculture society**, v. 47, p. 6-41, 2016. DOI:10.1111/jwas.12241.

CAGOL, L. et al. Concentrações letais de fósforo na água para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Acta Iguazu**, v. 5, n. 3, p. 71-82, 2016.

CHUNG, Y. C.; LI, Y. H.; CHEN, C. C. Pollutant removal from aquaculture wastewater using the biopolymer chitosan at different molecular weights. **Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering**, v. 40 n. 9, p. 1775-1790, 2005. DOI:10.1081/ESE-200068058.

CHUNG, Y. C. Improvement of aquaculture wastewater using chitosan of different degrees of deacetylation. **Environmental Technology**, v. 27, n. 11, p. 1199-1208, 2006. DOI: 10.1080/09593332708618734.

ELLIOTT, O. et al. Design and manufacturing of high surface area 3D-printed media for moving bed bioreactors for wastewater treatment. **Journal of Contemporary Water Research and Education**, v. 160, n. 1, p. 144-156, 2017. DOI:10.1111/j.1936-704X.2017.03246.x.

EL-SAYED, A-F. M. **Tilapia culture**. CABI Publishing, Cambridge, 2006. 277 p. DOI: 10.1079/9780851990149.0000.

EL-SAYED, A. F. M.; KAWANNA, M. Optimum water temperature boosts the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry reared in a recycling system. **Aquaculture Research**, v. 39, n. 6, p. 670-672, 2008. DOI:10.1111/j.1365-2109.2008.01915.

EL-SHERIF, M. S.; EL-FEKY, A. M. I. Performance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. II. Influence of different water temperatures. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 11, p. 301-305, 2009. DOI:08-346/IAZ/2009/11-3-301-305.

EVANS, J. J. et al. Un-ionized ammonia exposure in Nile Tilapia: toxicity, stress response, and susceptibility to *Streptococcus agalactiae*. **North American Journal of Aquaculture**, v. 68, p. 23-33, 2006. DOI:10.1577/A05-032.1.

GARCIA-SANTOS, S. et al. Alterações histológicas em brânquias de tilápia nilótica *Oreochromis niloticus* causadas pelo cádmio. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, n. 2, p. 376-381, 2007.

KYZAS, G. Z.; BIKIARIS, D. N. Recent Modifications of chitosan for adsorption applications: a critical and systematic review. **Marine Drugs**, v. 13, p. 312-337, 2015. DOI: 10.3390/md13010312.

KOROLEFF, F. Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K. (ed.) Methods of seawater analysis. **Verlag Chemie Weinheim**, 1976, p. 117-181. DOI:10.1002/9783527613984.ch10

KUBITZA, F. Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial. 2ª ed. rev. Jundiaí: Acqua Supre Com. Suprim. **Aquicultura**, 2011. 316p.

LERTSUTTHIWONG, P. et al. Immobilization of nitrite oxidizing bacteria using biopolymeric chitosan media. **Journal of Environmental Sciences**, v. 25, n. 2, p. 262-267, 2013. DOI:10.1016/S1001-0742(12)60059-X.

LIEBEL, S.; TOMOTAKE, M. E. M; OLIVEIRA, R. C. A. Fish histopathology as biomarker to evaluate water quality. **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, v. 8, n. 2, p. 09-15, 2013. DOI: 10.5132/eec.2013.02.002.

MACÊDO, J. A. B. **Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas**. 2ª. Edição. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2003, 450p. ISBN-13: 978-85-909561-3-6.

MARCHAND, M. J. et al. Histopathological changes in two potential indicator fish species from a hyper-eutrophic freshwater ecosystem in South Africa: a baseline study. **African Journal of Aquatic Science**, v. 37, n. 2, p. 39-48, 2012. DOI: 10.2989/16085914.2011.636902

MARENGONI, N. G. et al. Qualidade física e química da água em sistema fechado de recirculação durante o cultivo de juvenis de tilápia-do-Nilo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 927-934, 2013. DOI:10.5433/1679-0359.

MONSEES, H. et al. Chronic exposure to nitrate significantly reduces growth and affects the health status of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in recirculating aquaculture systems. **Aquaculture Research**, p. 1-11, 2016. DOI:10.1111/are.13174.

MOREIRA, H. L. M. et al. **Fundamentos da Moderna Aquicultura**. Canoas: Ed. ULBRA, 1ª edição, 2001, 200p. ISBN 85-7528-020-1.

PATIL, I. D.; HUSAIN, M.; RAHANE, V. R. Ground water nitrate removal by using chitosan as an adsorbent. **International Journal of Modern Engineering Research**, v. 3, n. 1, p. 346-349, 2013. ISSN: 2249-6645.

PEDREIRA, M. M. et al. Substrates for biofilter in recirculating system in Nile tilapia larviculture production. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 17, n. 3, p. 553-560, 2016. DOI:10.1590/S1519-99402016000300020.

RAŠKOVIĆ, B. et al. Histopathological indicators: a useful fish health monitoring tool in common carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) culture. **Central European Journal of Biology**, v. 8, n. 10, p. 975-985, 2013. DOI: 10.2478/s11535-013-0220-y.

REBOUÇAS, V. T. et al. Reassessment of the suitable range of water pH for culture of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. in eutrophic water. **Acta Scientiarum Animal Sciences** [online], v. 38, n. 4, p. 361-368, 2016. ISSN 1806-2636. DOI:10.4025/actascianimsci.i4.32051.

REIS A. B. et al. Alterações do epitélio branquial e das lamelas de tilápias (*Oreochromis niloticus*) causadas por mudanças do ambiente aquático em tanques de cultivo intensivo. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 303-311, 2009.

Sandre, L. C. G. et al. Influência dos fatores climáticos na qualidade de água em pesque-pagues. **Veterinária e Zootecnia**, v. 16, n. 3, p. 509-518, 2009.

SILVA, M. S. G. M.; LOSEKANN, M. E.; HISANO, H. Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes. Jaguariúna, SP: **Embrapa Meio Ambiente**, 2013(a), 39p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/972692/1/Doc95.pdf>> Acesso em 06/03/2018.

SILVA, A. D. R et al. Cultivo de tambaqui em canais de abastecimento sob diferentes densidades de peixes. **Acta Amazonica** [online], v. 43, n. 4, p. 517-523, 2013(b). DOI:10.1590/S0044-59672013000400014.

STATSOFT, INC. **Statistica** (data analysis software system), version 7, 2004.

SUANTIKA, G. et al. Ammonium Removal by Nitrifying Bacteria Biofilm on Limestone and Bioball Substrate Established in Freshwater Trickling Biofilter. **Poultry, Fisheries & Wildlife Sciences**, v. 4, n. 2, p. 157-162, 2016. DOI:10.4172/2375-446X.1000157.

SUMMERFELT, S. T. et al. Effects of alkalinity on ammonia removal, carbon dioxide stripping, and system pH in semi-commercial scale water recirculating aquaculture systems operated with moving bed bioreactors. **Aquacultural Engineering**, v. 65, p. 46-54, 2015. DOI:10.1016/j.aquaeng.2014.11.002.

VIDAL, L. V. O. et al. Eugenol como anestésico para a tilápia-do-Nilo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p. 1069-1074, 2008. DOI:10.1590/S0100-204X2008000800017.

VILBERGSSON, B et al. Taxonomy of means and ends in aquaculture production - Part 2: the technical solutions of controlling solids, dissolved gasses and pH. **Water Journal**, v. 8, n. 9 p. 387-407, 2016. DOI:10.3390/w8090387.

ZADINELO, I. V. et al. Adsorption of aquaculture pollutants using a sustainable biopolymer. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 5, n. 25, p. 4361-4370, 2018. DOI:10.1007/s11356-017-0794-4.

5 COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDADE APARENTE DA ESPUMA DE QUITOSANA PARA TILÁPIA DO NILO

Resumo: A espuma de quitosana pode ser utilizada como elemento filtrante de poluentes em tanques de cultivo de tilápia do Nilo, a fim de reduzir o desperdício industrial de quitina e valorizá-la. No entanto, após a utilização e a saturação da espuma nos filtros, há a necessidade de evitar seu descarte. Para isso, surge a possibilidade de inclusão desse elemento filtrante em rações para peixes. Em vista disso, o objetivo do presente estudo foi avaliar a digestibilidade aparente dos nutrientes e energia da espuma de quitosana para a tilápia do Nilo. A determinação da digestibilidade aparente foi realizada pelo método indireto de coleta fecal, utilizando óxido crômico como indicador inerte, ração prática como referência e ração de teste (70% da ração-referência e 30% de espuma de quitosana). Para isso, foram utilizados 120 juvenis de tilápia do Nilo (50 ± 5 g), divididos em seis repetições (alojados durante o dia em tanques-rede, em tanques de alimentação e durante a noite em cubas de coleta). Três repetições foram utilizadas para a coleta de fezes da ração referência e três para a coleta de fezes da ração-teste. Após o período de coletas, foram realizadas análises bromatológicas da espuma, das rações e das fezes, e a determinação da concentração de cromo nas fezes. Foram então calculados os coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes e energia. A espuma de quitosana apresentou 83,7% de matéria seca digestível (coeficiente de digestibilidade (CD): 97%), 5,7% de proteína digestível (CD/PD: 16%), 7,9% de gordura digestível (CD/GD: 49%), 0,6% cinzas digestíveis (CD/C: 61%), 17,6% de fibra bruta digestível (CD/FBD:49%) e 1.021kcal kg^{-1} de energia digestível (CD/ED: 20%) para juvenis de tilápia do Nilo. Pode-se concluir que a espuma de quitosana é parcialmente digestível para a tilápia do Nilo e pode ser utilizada principalmente como fonte alimentar de fibras e gordura.

Palavras-chave: alimentos alternativos; elemento filtrante; sustentabilidade.

COEFFICIENT OF APPARENT DIGESTIBILITY OF CHITOSAN FOAM FOR NILE TILAPIA

Abstract: Chitosan foam can be used as a filter element for pollutants in Nile tilapia farming tanks to reduce the industrial chitin waste and value it. However, after the use and saturation of foam in filters, it is required to avoid its disposal. Thus, it is required to include this filter element in fish diets. Therefore, this study aims at evaluating the apparent digestibility of nutrients and energy of chitosan foam for Nile tilapia. Apparent digestibility determination was carried out by the indirect fecal collection method, using chromic oxide as an inert indicator, a reference-diet and a test diet (70% reference-diet and 30% chitosan foam). Hence, 120 juveniles of Nile tilapia (50 ± 5 g) were used, divided into six replications (housed during the day in net tanks, feeding tanks and overnight in collection tanks). Three replications were used to collect feces from the reference-diet and three for them were used to collect feces from the test diet. After the collection period, bromatological analyses of foam, diets and feces were carried out, as well as the determination of chromium concentration in feces. The coefficients of apparent digestibility concerning nutrients and energy were then calculated. Chitosan foam showed 83.7% digestible dry matter (digestibility coefficient (CD/ DC): 97%), 5.7% digestible protein (CD/ DP: 16%), 7.9% digestible fat (CD/ DF: 49%), 0.6% digestible ashes (CD/ DA: 61%), 17.6% digestible crude fiber (CD/ CF: 49%) and 1021 kcal kg⁻¹ digestible energy (CD/ DE: 20%) for juveniles of Nile tilapia. It can be concluded that chitosan foam is partially digestible for Nile tilapia and can be used mainly as a feed source of fiber and fat.

Keywords: alternative feed; filter element; sustainability.

5.1 INTRODUÇÃO

A formulação de dietas para peixes deve ser baseada no conhecimento das exigências nutricionais das espécies, do manejo alimentar, dos valores nutricionais dos alimentos, tais como composição, digestibilidade e valor energético, a fim de aumentar a eficiência de utilização dos nutrientes e minimizar a excreção de resíduos e o impacto ambiental (BOMFIM, 2013).

Atualmente, uma alternativa econômica utilizada é a substituição dos ingredientes tradicionalmente usados nas rações para peixes por outros produtos e subprodutos da agroindústria, resíduos e produtos não destinados à alimentação humana. Entretanto, antes da substituição, devem ser feitos a análise da composição química e os testes de alimentação para determinar o valor nutritivo de um novo ingrediente (SANTOS et al., 2008).

A quitina é um dos biopolímeros naturais mais abundantes e pode ser encontrada no exoesqueleto de crustáceos, cartilagens de moluscos, cutículas de insetos, paredes celulares de microrganismos (KYZAS; BIKIARIS, 2015), e escamas de peixes (KUMARI et al., 2015). Os restos descartados pelas indústrias de processamento de crustáceos (camarão, camarão, caranguejo e lagosta) são uma potencial fonte de quitina, cujos principais componentes são a quitina (15-40%), proteína (20-40%), carbonato de cálcio e magnésio (20-50%), e constituintes menores, como astaxantina, lipídios e outros minerais (QUEIROZ ANTONINO et al., 2017).

A quitina (poli- β -(1 \rightarrow 4)-N-acetil-D-glicosamina) pode ser desacetilada para produzir quitosana. A quitosana é um polissacarídeo nitrogenado (poli- β -(1 \rightarrow 4)-2-amino-2-desoxi-D-glicose), caracterizado como material promissor devido às suas características de não toxicidade, biocompatibilidade, biodegradabilidade, baixo custo, por seu potencial de adsorção de corantes, metais pesados (KYZAS; BIKIARIS, 2015) e poluentes aquícolas, e é utilizada na forma de pó (CHUNG et al., 2005; BERNARDI et al., 2017). Outra possibilidade é seu uso como aditivo natural nas indústrias alimentícias, em função da sua atividade antioxidante (GHANNAM et al., 2016).

A transformação da quitosana em pó em espuma facilita seu uso em processos de adsorção, pois o biopolímero fica estruturado e maleável (ZADINELO et al., 2018). A composição química semiquantitativa da espuma de quitosana revela que no lado poroso da espuma, há a presença de aproximadamente 50% de carbono, 10% de nitrogênio, 39% de oxigênio, 0,3% de cloro, 0,2% de potássio e 0,5% de outros elementos químicos. Estudos anteriores demonstraram que a espuma de quitosana pode ser utilizada como meio filtrante em sistemas de cultivo de peixes para a adsorção de poluentes aquícolas. Após a adsorção, sua

composição é pouco alterada, pois há a presença dos elementos adsorvidos, e o destino do material residual seria a utilização como fertilizante agrícola, devido ao fato de ser rico em nutrientes (ZADINELO et al., 2018). Outra alternativa sustentável seria transformar o resíduo da espuma de quitosana utilizada no tratamento da água em um ingrediente para inclusão em rações para organismos aquáticos.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o coeficiente de digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da espuma de quitosana para tilápia do Nilo.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Sistemas Produtivos de Peixes, UFPR – Setor Palotina. Foram avaliados os coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da espuma de quitosana para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em rações processadas na forma peletizada. Os procedimentos experimentais foram conduzidos conforme os Princípios Éticos da Experimentação Animal adotado pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), de acordo com o protocolo nº 10/2018 aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais do Setor Palotina da UFPR (CEUA/Palotina).

Foram utilizados 120 juvenis de tilápia do Nilo com peso vivo médio de 50 ± 5 g, sexualmente revertidos. Os peixes foram distribuídos em seis tanques-rede circulares de tela plástica (malha de 1,0 cm) com capacidade de 50 L, contidos em seis tanques de alimentação de fibra de vidro de 1.000 L. As caixas de alimentação (1.000 L cada) estavam em um sistema de recirculação de água com filtragem mecânica e biofiltro (caixa de 500 L, com telas e *bioballs*), e a renovação diária era da ordem de dez vezes o seu volume. Para coleta das fezes, foram utilizadas seis cubas de fibra de vidro, cilíndricas de fundo cônico de 180L, adaptadas para recipientes (frascos) para coleta de fezes por sedimentação. Três cubas foram utilizadas para a coleta de fezes da ração-referência e três cubas para coleta de fezes da ração-teste (com espuma de quitosana), caracterizando-se por dois tratamentos (ração-referência e ração-teste) e três repetições.

A oxigenação da água era mantida através de soprador de 1/2 cv, no qual estavam conectadas à tubulação por mangueiras plásticas com pedras microporosas, para as caixas e cubas. As variáveis físico-químicas da água, das caixas e cubas, como oxigênio dissolvido e temperatura foram monitoradas às 13:00 horas em dias alternados, enquanto pH, amônia,

nitrito, alcalinidade e dureza foram monitorados semanalmente. O oxigênio dissolvido e a temperatura foram aferidos em um oxímetro Alfakit AT160®, o pH num pHmetro Kasvi AI 03449®. As concentrações de amônia foram determinadas seguindo a metodologia proposta por Koroleff (1976), e as concentrações de nitrito pela metodologia proposta por Baumgarten (1996). Alcalinidade e dureza foram determinadas por titulação de acordo com a metodologia proposta por Macêdo (2003).

Os valores médios para a temperatura da água foram de $24,33 \pm 0,82^{\circ}\text{C}$; o pH médio foi de $7,10 \pm 0,11$; e o oxigênio dissolvido de $6,11 \pm 0,17 \text{ mg L}^{-1}$. As concentrações médias de amônia, nitrito, alcalinidade e dureza da água foram, respectivamente, de $0,07 \pm 0,09 \text{ mg L}^{-1}$; $0,06 \pm 0,07 \text{ mg L}^{-1}$; $86,33 \pm 3,22 \text{ mg L}^{-1}$ de CaCO_3 ; $24,92 \pm 2,13 \text{ mg L}^{-1}$ de CaCO_3 .

As rações-referência e teste (Tabela 6) foram confeccionadas para avaliar o coeficiente de digestibilidade aparente da espuma de quitosana para tilápia do Nilo. A determinação da digestibilidade aparente foi feita de acordo com o NRC (1993), pelo método indireto de coleta de fezes utilizando 0,1g de óxido crômico (Cr_2O_3) como indicador inerte, uma ração prática como referência e uma ração-teste (Tabela 6). A ração teste foi composta por 70% da ração-referência e 30% do alimento a ser testado, no caso a espuma de quitosana, corrigindo-se apenas a quantidade de suplemento mineral e vitamínico e sal comum.

Tabela 6. Composição percentual das rações-referência e teste, utilizadas para a determinação dos coeficientes de digestibilidade aparente da espuma de quitosana para a tilápia do Nilo

Alimentos	Ração-referência	Ração-teste
Farelo de soja	70,22	49,50
Milho	20,20	14,14
Butil hidroxitolueno	0,01	0,01
Fosfato bicálcico	2,90	2,03
Calcário	0,13	0,09
Óleo de soja	3,94	2,76
Suplemento ¹	2,00	2,00
Sal	0,50	0,50
Óxido crômico	0,10	0,10
Alimento teste: espuma de quitosana	0,00	29,22
Total	100,00	100,00

¹Suplemento mineral e vitamínico, níveis de garantia por quilograma do produto: Vit. A, 1.200.000UI; Vit. D3, 200.000UI; Vit. E, 12.000mg; Vit. K3, 2.400mg; Vit. B1, 4.800mg; Vit. B2, 4.800mg; Vit. B6, 4.000mg; Vit. B12, 4.800mg; Ác. Fólico, 1.200mg; Pantotenato Ca, 12.000mg; Vit. C, 48.000mg; Biotina, 48mg; Colina, 65.000mg; Niacina, 24.000mg; Ferro, 10.000mg; Cobre, 6.000mg; Manganês, 4.000mg; Zinco, 6.000mg; Iodo, 20mg; Cobalto, 2mg; Selênio, 20mg.

Fonte: Elaboração dos autores.

A espuma de quitosana foi produzida a partir de quitosana comercial (Polymar Ciência e Nutrição S/A (Fortaleza, Brasil)) utilizando o processo de secagem do método da camada de

espuma (MUNIZ et al., 2015). O biopolímero é composto por 50% de quitosana e 50% de emulsificante/estabilizante neutro comercial composto por monoglicerídeos de ácidos graxos destilados, sal de ácidos graxos, monoestearato de sorbitana e polioxietileno de monoestearato de sorbitana. A quitosana (5%) foi dissolvida em solução de 2% de ácido acético e mantida sob agitação para a preparação da espuma. Após completa homogeneização, foi adicionado 5% de emulsificante comercial na solução de quitosana e foi submetido à incorporação mecânica de ar em um misturador doméstico em velocidade máxima. A espuma foi uniformizada sobre formas metálicas, com uma camada de 1,0 cm de espessura, as quais foram mantidas em estufa com circulação de ar a 70 °C até peso constante (MUNIZ et al., 2015).

Para a fabricação da ração-referência e da ração-teste, os componentes das foram moídos em um triturador tipo martelo com peneira de 1,0 mm. Posteriormente, foram misturados de acordo com a sua formulação e então processados. A peletização foi feita em uma peletizadora experimental pelo umedecimento prévio da mistura com água à temperatura de aproximadamente 50 °C. A espuma de quitosana foi triturada em moinho com peneira de 1,0 mm, a qual se apresentou como um pó fino de coloração creme. Após o processamento, as rações foram secas em uma estufa de ventilação forçada por 24 horas.

O período de adaptação dos peixes iniciou após as rações estarem prontas. Para cada ração, houve adaptação dos peixes pelo período de cinco dias, no qual os peixes permaneciam dentro dos tanques-rede no tanque de alimentação (1.000 L). Os peixes foram arraçoados à vontade, três vezes ao dia, às 8:00h, 13:00h e às 18:00h. A ração era fornecida através de um funil com ponta larga, na abertura dos tanques-rede, devido à capacidade de flutuação da ração-teste, para que as rações ficassem em um espaço limitado e os peixes pudessem se alimentar. Durante esse período, os tanques de alimentação eram sifonados duas vezes ao dia e havia a renovação diária de 50% da água. Às 18:30h, os tanques-rede eram transferidos dos tanques de alimentação para as cubas de digestibilidade, para a coleta de fezes. As fezes foram desprezadas durante o período de adaptação. Na manhã seguinte (8:00h), os tanques-rede com os peixes eram retirados das cubas de digestibilidade e recolocados no tanque de alimentação, seguindo-se então o mesmo manejo acima descrito. Após a retirada dos tanques-rede, as cubas de digestibilidade eram lavadas e a água trocada integralmente.

Após o período de adaptação à ração, foi feita a coleta das fezes, com manejo semelhante ao descrito no parágrafo anterior. A alimentação era realizada às 8:00h, 13:00h e às 18:00h. Depois de um período de 30 minutos, após a última alimentação (18:30h), os tanques-rede com os peixes eram transferidos para as cubas. Nelas, os peixes permaneciam até as 8:00h, depois eram retirados e recolocados nos tanques de alimentação de 1.000 L. Após ser observado que

as fezes estavam sedimentadas nos frascos acoplados às cubas, era fechada a válvula da saída de água da cuba e retirado o frasco coletor com as fezes. Nesse período, os tanques de alimentação (1.000L) eram sifonados duas vezes ao dia e havia a renovação diária de 50% da água. Após a retirada dos tanques-rede, as cubas de digestibilidade eram lavadas e sua água trocada integralmente.

As fezes coletadas durante o período experimental eram acondicionadas em frascos plásticos identificados, no freezer a -18 °C, para análises posteriores. As coletas foram realizadas até quando se atingiu a coleta de aproximadamente 1.000 g de fezes úmidas por repetição/cuba nos dois tratamentos.

A espuma de quitosana e as rações foram devidamente moídas para a realização das análises. As fezes, entretanto, foram descongeladas, peneiradas em malha de 1,0 mm, para a retirada de escamas que, posteriormente, foram secas em estufa de ventilação forçada (55 °C durante 72 horas) e, posteriormente moídas em moinho de bola.

As análises bromatológicas, do alimento teste, das rações e das fezes foram realizadas no Laboratório de Nutrição e Alimentação Animal (LANA), UFPR – Setor Palotina. Foram realizadas as determinações de matéria seca, matéria mineral, extrato etéreo, proteína bruta, fibra bruta e energia bruta de acordo com a metodologia proposta por AOAC (2005).

A determinação da concentração do cromo foi realizada no Laboratório de Análise Instrumental da UFPR – Setor Palotina, por espectrometria de absorção atômica por chama (KIMURA; MILLER, 1957).

O cálculo dos coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes e energia do alimento testado foi realizado de acordo com as equações utilizadas por Bureau et al. (1999) e Bureau e Hua (2006). Os coeficientes de digestibilidade aparente para os nutrientes e energia da ração teste e da ração-referência foram calculados da seguinte forma:

$$CDA = 1 - ((F \div D) \times (Di \div Fi))$$

Onde:

CDA = Coeficiente de digestibilidade aparente;

D = % nutriente (ou kJ g⁻¹ de energia bruta) da dieta;

F = % nutriente (ou kJ g⁻¹ de energia bruta) das fezes;

Di = % de indicador da dieta;

Fi = % de indicador das fezes.

O coeficiente de digestibilidade aparente do ingrediente testado (CDAi) foi calculado com base na digestibilidade da ração-referência e da ração-teste:

$$CDAi = CDA_t + ((1 - s) \times Dr \div (s \times Di)) \times (CDA_t - CDAR)$$

Onde:

CDAi = Coeficiente de digestibilidade aparente do ingrediente de teste;

CDA_t = Coeficiente de digestibilidade aparente da ração-teste;

CDAR = Coeficiente de digestibilidade aparente da ração-referência

Dr = % de nutriente (ou kJ g⁻¹ de energia bruta) da ração-referência;

Di = % de energia bruta (ou kJ g⁻¹ de energia bruta) do ingrediente testado;

Dt = % de nutriente (ou kJ g⁻¹ de energia bruta) da ração testada;

s = Proporção do ingrediente testado na ração teste (0,3 neste estudo);

1 - s = Proporção de ração referência na ração testada (0,7 neste estudo).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Composição química

A espuma de quitosana é um material fibroso (35,7%) cujo teor de nitrogênio é de 5,7% (Tabela 7).

Tabela 7. Composição química da espuma de quitosana, e das rações referência e teste (valores expressos em 100% da matéria seca).

Ingredientes	MS %	MM %	N %	PB %	EE %	FB %	EB (kcal kg ⁻¹)
Espuma de quitosana	85,6	1,0	5,7	35,4	18,2	35,7	5.120,0
Ração-referência	96,6	8,8	5,7	35,6	6,5	6,5	4.626,0
Ração-teste	95,3	6,9	5,3	33,3	11,6	11,9	4.826,0

MS: matéria seca; MM: matéria mineral; N: nitrogênio; PB: proteína bruta; EE: extrato etéreo; FB: Fibra bruta; EB: energia bruta

A ração-teste, com 30% espuma de quitosana, apresentou como característica a capacidade de flutuação na água, mesmo sendo uma ração processada peletizada. Isso se deve à baixa densidade da espuma de quitosana ($0,047 \pm 0,002$ g cm³) (ZADINELO et al., 2018). Foi considerada uma característica positiva porque, assim como a ração extrusada, permite melhor observação e controle do consumo dos animais.

5.3.2 Coeficiente de digestibilidade aparente

O coeficiente de digestibilidade aparente e os valores digestíveis dos nutrientes e energia da espuma de quitosana em dietas peletizadas para tilápia do Nilo encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8. Coeficiente de digestibilidade aparente e valores digestíveis da espuma de quitosana em dietas peletizadas para tilápia do Nilo

Coeficientes de digestibilidade aparente						
Ingredientes	MS %	EB %	PB %	EE %	FB %	MM %
Espuma de quitosana	97,71 ± 0,25	19,94 ± 1,75	15,95 ± 1,88	43,41 ± 3,73	49,51 ± 2,62	61,62 ± 9,09
Valores digestíveis						
Ingredientes	MSD %	ED (kcal kg ⁻¹)	PD %	EED %	FBD %	MMD%
Espuma de quitosana	83,71	1.021,30	5,70	7,90	17,67	0,62

MS: matéria seca; EB: energia bruta; PB; proteína bruta; EE: extrato etéreo; FB: Fibra bruta; MM: matéria mineral; MSD: matéria seca digestível; ED: energia digestível; PD; proteína digestível EED: extrato etéreo digestível; FBD: Fibra bruta digestível; MMD: matéria mineral digestível

O coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca da espuma de quitosana (97,71%) para tilápia foi maior do que os encontrados por Shiau e Yu (1999) para quitosana (82,34%) e Köprücü e Özdemir (2005) para farinha do exoesqueleto de lagostas (*Astacus leptodactylus*) (75,7%) e para a farinha de gamarídeos (*Gammarus kischineffensis*) (77,0%).

Os coeficientes de digestibilidade aparente de energia bruta (19,94%), proteína bruta (15,95%), extrato etéreo (43,41%), fibra bruta (49,51%) e matéria mineral (61,62%) encontrados neste trabalho foram menores do que os valores reportados em outros estudos, provavelmente em função do emulsificante que faz parte da composição da espuma de quitosana. Shiau e Yu (1999) encontraram valores de digestibilidade aparente de 88,01% para proteína e 88,83% para lipídios em dieta suplementada com 10% de quitosana para alevinos de tilápia do Nilo. Os autores afirmam que a depressão da digestibilidade de nutrientes da dieta pela adição de quitosana pode resultar em depressão do crescimento dos peixes.

Köprücü e Özdemir (2005) relataram coeficientes de digestibilidade aparente de 71,0 e 75,8% para proteína, 72,0 e 75,8% para lipídios, 69,3 e 71,5% para fibra ou quitina, e de 54,8 e 65,6% para energia, em tilápias alimentadas com farinha do exoesqueleto de lagostas e farinha de gamarídeos, respectivamente. Estes valores foram menores do que para outros ingredientes testados (farinha de anchova, farinha de glúten de milho e farelo de soja), devido ao alto teor de cinzas (30,0 e 27,5%) e à quitina (10,2 e 6,6%) na farinha do exoesqueleto de lagostas e

farinha de camarão, respectivamente. A baixa digestibilidade da espuma de quitosana obtida no presente estudo pode ser decorrente da composição deste material.

A porção nomeada de fibra, em nutrição animal, representa o grupo de compostos que não são digeridos pelos animais ou que apresentam lenta digestão (UNDERSANDER et al., 1993). Analiticamente, para mensurar a quantidade de fibra nos alimentos, estes são submetidos a condições simuladas do trato gastrointestinal animal (principalmente condições químicas), e posteriormente seus teores são quantificados. Na realidade, a parte analítica não consegue verdadeiramente quantificar os teores de fibra, as quais somente poderão ser mensuradas pelo animal (*in vivo*) (UNDERSANDER et al., 1993). Entretanto, essa definição é amplamente utilizada em nutrição animal.

No caso de fibra bruta, os alimentos são submetidos primeiramente à digestão com ácido diluído e, em seguida, à digestão com base (álcali) diluída. A porção restante após as duas digestões é nomeada de fibra bruta, então, considerada como a porção dos carboidratos indigestíveis pelo animal (DETMANN et al., 2010; SILVA; QUEIROZ, 2002). Como a maioria das fontes de fibra consumidas pelos animais são de fonte vegetal, a definição de fibra bruta abrange basicamente como seus componentes as fibras de origem vegetal: celulose e lignina insolúvel em álcali (SILVA; QUEIROZ, 2002). Entretanto, em alimentos de origem animal, a composição da fibra bruta quantifica outros carboidratos indigestíveis que não são de origem vegetal.

A fibra bruta analisada em farinha de camarão é basicamente composta por quitina, um polissacarídeo estrutural constituído por unidades recorrentes de N-acetil-D-glicosamina com ligação β , formando fibras estendidas não digeridas pelos não ruminantes (BOSCOLO et al., 2004; LIMA et al., 2007). Os componentes da fibra alimentar dividem-se nos grupos: polissacarídeos não amido, oligossacarídeos, carboidratos análogos resistentes, lignina, compostos associados à fibra alimentar (compostos fenólicos, proteína de parede celular, oxalatos, fitatos, ceras, cutina e suberina) e fibras de origem animal (quitina, quitosana, colágeno e condroitina) (GIUNTINI; MENEZES, 2011).

As inclusões de materiais fibrosos na dieta aumentam as perdas de energia nas fezes, já que eles são pobremente digeridos pelos peixes (NRC, 1993). Como podemos observar na Tabela 2, a espuma de quitosana apresenta elevado teor de fibra bruta (35,7%), que representa os carboidratos estruturais de origem animal (quitina ou derivados), os quais, mesmo tendo apresentado bom coeficiente de digestibilidade (49,51%), podem ter levado a uma baixa digestibilidade dos outros nutrientes, inclusive da energia.

A quitina na dieta é conhecida por diminuir a absorção de lipídios e induzir o aumento do teor de água nas fezes (diarreia). Devido à baixa digestibilidade, a quitina bloqueia fisicamente o acesso das enzimas digestivas aos lipídios e proteínas, assim afeta a utilização desses nutrientes (OLSEN et al., 2006).

Estudos futuros são necessários para verificar os efeitos da espuma da quitosana sobre o crescimento dos peixes, entretanto, a quitosana e quitina já foram avaliadas para algumas espécies de peixes. Peixes juvenis (*Pagrus major*, *Anguilla japonica* e *Seriola quinqueradiata*) alimentados com dieta suplementada com 10% de quitosana apresentam menores taxas de crescimento e eficiência alimentar, indicando que a inclusão de quitosana na dieta inibiu os processos envolvidos com a digestão, absorção e assimilação da dieta basal (KONO et al., 1987).

Em alevinos de tilápia híbrida (*O. niloticus* x *O. aureus*), o ganho de peso geralmente diminuiu linearmente à medida que os níveis de suplementação de quitina e de quitosana na dieta aumentaram (2, 5 e 10%), em comparação com uma dieta controle sem suplementação (SHIAU; YU, 1999).

A maioria dos nutrientes da espuma de quitosana foi digerida de forma parcial pela tilápia do Nilo, entretanto, a baixa digestibilidade ainda torna esse material de meio filtrante do cultivo aquícola, com 1.021 kg kg⁻¹ de energia digestível, em um produto com potencial para ser utilizado na alimentação de peixes, principalmente como fonte de fibra e, potencialmente, de lipídio (7,9 % de extrato etéreo digestível).

O beneficiamento de crustáceos pelas indústrias leva à geração de resíduos, que podem causar contaminação ambiental, quando não aproveitados e descartados inadequadamente. Os resíduos gerados são um recurso natural renovável e abundante, os quais podem ser fonte direta de nutrientes, ou serem usados para extrair quitina e convertê-la em quitosana. Quitina e quitosana são utilizadas para o tratamento de efluentes (BESSA-JUNIOR; GONÇALVES, 2013). A espuma de quitosana é composta por 50% de quitosana e 50% de emulsificante/estabilizante neutro comercial (MUNIZ et al., 2015), e após ser utilizada no tratamento de efluentes aquícolas (ZADINELO et al., 2018) pode ser incluída na alimentação dos próprios peixes utilizados no cultivo, fechando a cadeia produtiva de forma mais sustentável.

5.4 CONCLUSÃO

A espuma de quitosana pode ser incluída nas dietas de tilápia do Nilo, principalmente como fonte de fibra bruta e gordura e é parcialmente digestível, entretanto, os potenciais níveis de inclusão devem ser estudados.

5.5 REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis**. 18th ed. Gaithersburg, Maryland, 2005.

BAUMGARTEN, M. G. Z. **Manual de análises em oceanografia química**. Reo Grande: Ed. Furg, (1996) 132p., 1996. ISBN: 858504246X.

BERNARDI, F. et al. Chitins and chitosans for the removal of total ammonia of aquaculture effluents. **Aquaculture**, v. 483, n. 20, p. 203-212, 2017. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.10.027

BESSA-JUNIOR, A. P.; GONÇALVES, A. A. Análises econômica e produtiva da quitosana extraída do exoesqueleto de camarão. **Acta Fisheries Aquatic Research**, v. 1, n. 1, p. 13-28, 2013. DOI 10.2312/ActaFish.2013.1.1.13-28.

BOMFIM, M. A. D. Estratégias Nutricionais para Redução das Excreções de Nitrogênio e Fósforo nos Sistemas de Produção de Peixes no Nordeste: Sustentabilidade Ambiental e Aumento da Produtividade. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 15, n. 2, p. 122-140, 2013. DOI: DOI: 10.15528/2176-4158/rcpa.

BOSCOLO, W. R. et al. Apparent digestibility of energy and protein of tilapia (*Oreochromis niloticus*) and corvine (*Plagioscion squamosissimus*) by-product meal and canela crayfish (*Macrobrachium amazonicum*) meal for Nile. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 1, p. 8-13, 2004.

BUREAU, D. P.; HARRIS, A. M.; CHO, C. Y. Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 180, p. 345-358, 1999.

BUREAU, D. P.; K. HUA. Letter to the editor of aquaculture. **Aquaculture**, v. 252, p. 103-105, 2006. DOI: 10.1016/j.aquaculture.

CHUNG, Y. C.; LI, Y. H.; CHEN, C. C. Pollutant removal from aquaculture wastewater using the biopolymer chitosan at different molecular weights. **Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering**, v. 40, n. 9, p. 1775-1790, 2005. DOI: 10.1081/ESE-200068058.

DETMANN, E. et al. Estimacão por aproximacão química dos teores de proteína indegradável insolúvel em detergente neutro em forragens tropicais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, n. 3, p. 742-746, 2010. DOI:10.1590/S0102-09352010000300033.

QUEIROZ ANTONINO, R. S. C. M. et al. Preparation and characterization of chitosan obtained from shells of shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone). **Marine Drugs**, v. 15, n. 5, p. 141, 2017. DOI: 10.3390/md15050141.

GHANNAM, H. E. et al. Characterization of chitosan extracted from different crustacean shell wastes. **Journal of Applied Science**, v. 16, p. 454-461, 2016. DOI: 10.3923/jas.2016.454.461.

GIUNTINI, E. B.; MENEZES, E. W. **Funções plenamente reconhecidas dos nutrientes: Fibra alimentar.** São Paulo: Ed ILSI-Brasil (International life sciences institute do Brasil), v. 18, 28 p., 2011. ISBN: 978-85-86126-36-9.

KIMURA, F. T.; MILLER, V. L. Improved determination of chromic oxide in cal feed and feces. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Davis, v. 5, n. 2, p. 216, 1957.

KYZAS, G. Z.; BIKIARIS, D. N. Recent modifications of chitosan for adsorption applications: a critical and systematic review. **Mar. Drugs**, v. 13, p. 312-337, 2015, DOI:10.3390/md13010312.

KONO, M.; MATSUI, T.; SHIMIZU, C. Effect of chitin, chitosan and cellulose as diet supplements on the growth of cultured fish. **Nippon Suisan Gakkaishi**, v. 53, p. 125-129, 1987.

KOROLEFF, F. Determination of nutrients. In: Grasshoff, K. (ed.) **Methods of seawater analysis.** Verlag Chemie Weinheim, p. 117-181, 1976. DOI: 10.1002/9783527613984.ch10.

KÖPRÜCÜ, K.; ÖZDEMİR, Y. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 250, p. 308-316, 2005.

KUMARI, S. et al. Extraction and characterization of chitin and chitosan from fishery waste by chemical method. **Environmental Technology & Innovation**, v. 3, p. 77-85, 2015. DOI: 10.1016/j.eti.2015.01.002.

LIMA, S. B. P. et al. Valor nutricional da farinha da cabeça do camarão Marinho *Litopenaeus Vannamei* para frangos de corte. **Caatinga**, v. 20, n. 3, p. 38-41, 2007. ISSN 0100-316X.

MACÊDO, J. A. B. **Métodos Laboratoriais de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas.** 2ª Ed. Belo Horizonte: CRQ-M.G. 450p., 2003. ISBN-13: 978-85-909561-3-6.

MUNIZ, G. I. B. et al. Instituição de registro: INPI - INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR1020150292597: **Uso e obtenção de espuma seca e pó de quitosana e nanoquitosana por processo de secagem pelo método de camada de espuma**, 2015.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Nutrient requirements of warm water, fishes and shellfishes:** nutrient requirements of domestic animals. Washington: National Academy Press, 114p., 1993.

OLSEN, R. E.; SUONTAMA, J.; LANGMYHR, E. The replacement of fish meal with Antarctic krill, *Euphausia superba* in diets for Atlantic salmon, *Salmosalar*. **Aquaculture Nutrition**, v. 12, p. 280-290, 2006. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2006.00400.x.

SANTOS, E. L. et al. Digestibilidade de ingredientes alternativos para tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*): revisão. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 3, n. 2, p. 135-149, 2008.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos.** 3.ed. Viçosa: UFV, 235p., 2002.

SHIAU, S.; YU, Y. Dietary supplementation of chitin and chitosan depresses growth in tilapia, *Oreochromis niloticus* X *O. aureus*. **Aquaculture**, v. 179, p. 439-446, 1999.

UNDERSANDER, D.; MERTENS, D. R.; THIEX, N. **Forage analyses procedures**. Omaha: National Forage Testing Association, 139 p., 1993.

ZADINELO, I. V. et al. Adsorption of aquaculture pollutants using a sustainable biopolymer. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 5, n. 25, p. 4361-4370, 2018. DOI: 10.1007/s11356-017-0794-4.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A espuma de quitosana é composta por quitosana e emulsificante/estabilizante comercial neutro, possui uma bicamada (lado liso e lado poroso), de baixa densidade e flexível, com elevada capacidade de absorção de água. A melhor dosagem da espuma no filtro para a remoção de poluentes aquícolas em soluções sintéticas foi de 0,10 (% m v⁻¹), sendo observada remoção máxima de 32,8%, 57,2%, 89,5% e 99,9% de amônia, nitrito, ortofosfato e turbidez respectivamente.

O uso de espuma de quitosana como elemento filtrante em sistema de recirculação de água na aquicultura é igualmente eficaz ao filtro biológico com *bioballs*, mantendo adequada a qualidade de água, não afetando o desempenho zootécnico e nem a histologia hepática e branquial de alevinos de tilápia do Nilo, sendo recomendada a troca da espuma a cada 30 dias de cultivo, para garantir a saúde e bem-estar dos peixes. A espuma de quitosana é eficiente como substrato para o uso em filtros, pois pode servir como suporte para as bactérias nitrificantes, desempenhando também o papel de filtro biológico, além de ter excelentes capacidades adsorptivas de poluentes da aquicultura.

Após o seu uso nos filtros, a espuma de quitosana pode ser incluída nas dietas de tilápia do Nilo, considerando sua digestibilidade. A espuma de quitosana apresentou 83,7% de matéria seca digestível, 5,7% de proteína digestível, 7,9% de gordura digestível, 0,6% cinzas digestíveis, 17,6% de fibra bruta digestível e 1.021 kcal kg⁻¹ de energia digestível para a tilápia do Nilo e pode ser utilizada principalmente como fonte alimentar de fibras e gordura.

A espuma de quitosana, produzida com o biopolímero quitosana, oriunda de resíduos, é biodegradável, atua na biofiltração e adsorção de poluentes aquícolas e, e quando saturado pelos compostos orgânicos da aquicultura, e não puder mais ser reaproveitado como material filtrante, pode ser utilizada como fertilizante, ou ainda incluída em dietas de peixes, fechando o ciclo sustentável da cadeia aquícola.