

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

TACIANA FURTADO RIBEIRO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE COAGULANTE A BASE DE TANINO
VEGETAL PARA O CONTROLE DE SÓLIDOS DE SISTEMA DE CULTIVO EM
BIOFLOCOS (BFT) E CARACTERIZAÇÃO DO SUBPRODUTO GERADO**

LAGES

2021

TACIANA FURTADO RIBEIRO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE COAGULANTE A BASE DE TANINO
VEGETAL PARA O CONTROLE DE SÓLIDOS DE SISTEMA DE CULTIVO EM
BIOFLOCOS (BFT) E CARACTERIZAÇÃO DO SUBPRODUTO GERADO**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de mestre em Ciências
Ambientais pelo Programa de Pós-Graduação
em Ciências Ambientais do Centro de Ciências
Agroveterinárias – CAV, da Universidade do
Estado de Santa Catarina – UDESC.
Orientador: Prof. Dr. Everton Skoronski
Coorientador: Prof. Dr. Thiago El Hadi Perez
Fabregat

**LAGES
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Ribeiro, Taciana Furtado

Avaliação do desempenho de coagulante a base de tanino
vegetal para o controle de sólidos de sistema de cultivo em bioflocos
(BFT) e caracterização do subproduto gerado / Taciana Furtado
Ribeiro. -- 2021.

94 p.

Orientador: Everton Skoronski
Coorientador: Thiago El Hadi Perez Fabregat
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Lages, 2021.

1. Tanino. 2. Tratamento de água. 3. Bioflocos. 4. Subprodutos
do tratamento. 5. Dieta animal. I. Skoronski, Everton. II. Fabregat,
Thiago El Hadi Perez. III. Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciências Ambientais. IV. Título.

TACIANA FURTADO RIBEIRO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE COAGULANTE A BASE DE TANINO
VEGETAL PARA O CONTROLE DE SÓLIDOS DE SISTEMA DE CULTIVO EM
BIOFLOCOS (BFT) E CARACTERIZAÇÃO DO SUBPRODUTO GERADO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

BANCA EXAMINADORA

Orientador

Professor Dr. Everton Skoronski
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Coorientador

Professor Dr. Thiago El Hadi Perez Fabregat
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membros:

Dr. Juliano Uczay
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Professora Dra. Viviane Aparecida Spinelli Schein
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Lages, 14 de outubro de 2021.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por sempre guiar o meu caminho, ser a minha fonte de inspiração diária, me dar ânimo e motivação para seguir em direção aos meus objetivos. Por ser meu consolo e meu caminho seguro.

Aos meus pais, Rita e Tarciso, e aos meus irmãos, Leticia e Salomão, por todo amor, carinho e compreensão. Por toda a motivação, por sempre acreditarem em mim e me incentivarem a seguir com os estudos e caminhar em direção aos meus sonhos. Sem o apoio de vocês certamente o caminho até aqui teria sido mais difícil. Dedico este trabalho a vocês.

A todos os familiares e amigos que sempre estiveram ao meu lado, em especial às colegas de laboratório, que se tornaram grandes amigas, Júlia, Mariana e Thaís. Obrigada por tantas conversas descontraídas, cafés, almoços e docinhos. Ao grande amigo Lucas por sempre estar disposto a me ouvir, me fazer rir e pelo nosso vínculo ter se fortalecido ainda mais durante o mestrado. Obrigada por tornarem esta jornada mais leve.

Ao professor e orientador Dr. Everton Skoronski pela confiança em mim depositada, pela compreensão em diversos momentos, por tantos ensinamentos, amizade e por ser uma grande referência profissional. Ao coorientador professor Dr. Thiago Fabregat por todo o suporte ao longo da realização deste trabalho.

Às equipes do LabTrat e do Laboratório de Piscicultura que sempre estiveram dispostas a ajudar no que foi possível. Um imenso muito obrigada a todos.

A todos os professores e colaboradores do departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária e do programa de pós-graduação em Ciências Ambientais do CAV/UDESC.

À UDESC, por toda a estrutura para a realização desta pesquisa e pela concessão da bolsa de estudos. À FAPESC (termo de outorga 2019TR598) e ao Consórcio Intermunicipal da Serra Catarinense.

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar.” Josué 1:9

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de um coagulante comercialmente disponível a base de tanino vegetal para promover o controle de sólidos de sistema de cultivo em bioflocos (*Biofloc Technology – BFT*) e caracterizar o subproduto gerado no tratamento para avaliar o seu potencial de incorporação em dietas de peixes. Foram realizados ensaios de coagulação/flocação em *jar test*. A água foi coletada em sistema de cultivo BFT, de 500 L, sob a criação de *Oreochromis niloticus*. O sistema foi fertilizado com melaço para manter a relação C:N e salinizado para manter o equilíbrio osmótico dos animais. Inicialmente foi realizada uma triagem entre diferentes tipos de coagulantes a base de tanino (SG, MTH, SL, HPM e POP) a fim de avaliar aquele que apresentou o melhor desempenho com base na demanda de concentração. De posse daquele que apresentou o melhor desempenho, foram realizadas seis coletas no tanque de cultivo, onde foram analisados diversos parâmetros de qualidade da água. O coagulante a base de tanino que apresentou o melhor resultado foi o Tanfloc SL, o qual foi responsável pela remoção média de turbidez de 90,81% e remoção dos sólidos suspensos totais (SST) de 74,64%. Os parâmetros de qualidade da água permaneceram dentro dos níveis recomendados para criação da espécie. Ainda que algum residual de coagulante tenha permanecido dissolvido na água após o tratamento, elucidado pelo aumento dos resultados de DQO solúvel e NTK, não foi constatado incremento de fenol ou taninos hidrolisáveis à água e a fitotoxicidade da água tratada não foi alterada negativamente. O uso de coagulante a base de tanino vegetal para o controle de sólidos em sistemas de cultivo BFT é seguro e eficiente. O lodo gerado pelo tratamento da água foi analisado com base em características bromatológicas, microbiológicas, termogravimétricas e de conteúdo fenólico. Também foi analisada a toxicidade do lodo em semente de alface (*Lactuca sativa*) e raízes de cebola (*Allium cepa*). O lodo apresentou alto teor de fração mineral (50,77%) e a proteína bruta foi de 14,37%. Além disso, o uso do coagulante não acrescentou fenol ou taninos hidrolisáveis ao lodo. No entanto, o lodo gerado pelo tratamento da água com tanino causou inibição da germinação de sementes de alface e reduziu significativamente o índice mitótico de raízes de cebola. Os resultados sugerem que se faz necessária uma caracterização mais aprofundada do lodo e estudos *in vivo* afim de verificar a viabilidade e quantidade ideais para incorporação em dietas de animais aquáticos, além de selecionar a espécie adequada para isso.

Palavras-chave: Tanino; Tratamento de água; Bioflocos; Subprodutos do tratamento; Dieta animal.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the efficiency of a commercially available coagulant based on vegetable tannin to promote the control of solids in a biofloc cultivation system (Biofloc Technology – BFT) and to characterize the by-product generated in the treatment to assess its potential for incorporation into fish diets. Coagulation/flocculation assays were performed in a jar test. The water was collected in a 500 L BFT cultivation system under the creation of *Oreochromis niloticus*. The system was fertilized with molasses to maintain the C:N ratio and salinized to maintain the animals' osmotic balance. Initially, a screening was carried out among different types of tannin-based coagulants (SG, MTH, SL, HPM and POP) in order to evaluate which one presented the best performance based on the concentration demand. In possession of the one with the best performance, six collections were carried out in the growing tank, where various parameters of water quality were analyzed. The tannin-based coagulant that showed the best result was Tanfloc SL, which was responsible for the average removal of turbidity of 90.81% and removal of total suspended solids (TSS) of 74.64%. The water quality parameters remained within the recommended levels for breeding the species. Although some residual coagulant remained dissolved in the water after treatment, elucidated by the increase in the results of soluble COD and KTN, no increase in phenol or water-hydrolyzable tannins was observed and the phytotoxicity of the treated water was not negatively altered. The use of vegetable tannin based coagulant for solids control in BFT cultivation systems is safe and efficient. The sludge generated by the water treatment was analyzed based on bromatological, microbiological, thermogravimetric and phenolic content characteristics. The toxicity of the sludge on lettuce seeds (*Lactuca sativa*) and onion roots (*Allium cepa*) was also analyzed. The sludge had a high content of mineral fraction (50.77%) and the crude protein was 14.37%. Furthermore, the use of the coagulant did not add phenol or hydrolyzable tannins to the sludge. However, the sludge generated by the water treatment with tannin caused inhibition of lettuce seed germination and significantly reduced the mitotic index of onion roots. The results suggest that further characterization of the sludge and in vivo studies are needed in order to verify the ideal viability and quantity for incorporation into diets of aquatic animals, in addition to selecting the appropriate species for this.

Keywords: Tannin; Water treatment; Bioflocs; Treatment by-products; Animal diet.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estruturas químicas de tanino hidrolisável (a), e de tanino condensado (b)	28
Figura 2 - Sistema de cultivo BFT onde foram realizadas as coletas de água bruta	36
Figura 3 – <i>Jar test</i> utilizado na etapa inicial do trabalho.....	37
Figura 4 - <i>Jar test</i> utilizado nos ensaios de coagulação/flocação.....	39
Figura 5 - Determinação da dosagem ótima para cada coleta	44
Figura 6 - Turbidez da água bruta, tratada e percentual de remoção.....	45
Figura 7 – Água bruta e tratada	46
Figura 8 – Cor aparente da água bruta, tratada e percentual de remoção.....	48
Figura 9 - Consumo da alcalinidade nas diferentes coletas.....	50
Figura 10 - Incremento de NTK nas diferentes coletas	57
Figura 11 – Membranas utilizadas na determinação de SST.....	60
Figura 12 - <i>Lactuca sativa</i> após 5 dias de germinação para cada tratamento	65
Figura 13 - Lixiviado do lodo.....	72
Figura 14 - Determinação da dosagem ótima para obtenção do lodo	74
Figura 15 – Aspecto visual do lodo antes e após secagem	75
Figura 16 - Análise termogravimétrica.....	79
Figura 17 - Sementes germinadas de alface (<i>Lactuca sativa</i>) após efeito dos tratamentos.....	81
Figura 18 - Microscopia das células de raízes de cebola (<i>Allium cepa</i>).....	82
Figura 19 - Aspecto do crescimento das raízes de cebola (<i>Allium cepa</i>)	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação qualitativa de fitotoxicidade	41
Tabela 2 – Demanda de concentração para os tipos de tanino analisados	42
Tabela 3 - Remoção da turbidez e respectivas dosagens de tanino aplicadas	45
Tabela 4 - Remoção da cor aparente e respectivas dosagens de tanino aplicadas.....	48
Tabela 5 - Consumo da alcalinidade e respectivas dosagens de tanino aplicadas.....	50
Tabela 6 - Queda do pH e respectivas dosagens de tanino aplicadas.....	51
Tabela 7 – DQO total e solúvel para água bruta e tratada.....	52
Tabela 8 - Taninos hidrolisáveis em equivalente de ácido gálico e ácido tântico para água bruta e tratada	54
Tabela 9 - Níveis de fenol para água bruta e tratada em cada coleta	54
Tabela 10 - Remoção do fosfato e respectivas dosagens de tanino aplicadas	55
Tabela 11 - Nitrito e nitrato e respectivas dosagens de tanino aplicadas	56
Tabela 12 - Nitrogênio Total Kjeldahl	58
Tabela 13 - Sólidos Suspensos Totais	59
Tabela 14 - Sólidos Dissolvidos Totais	60
Tabela 15 - Condutividade água bruta e tratada	61
Tabela 16 - Parâmetros correlacionados significativamente para água bruta	62
Tabela 17 - Parâmetros correlacionados significativamente para água tratada.....	63
Tabela 18 - Índices fitotóxicos das amostras de água bruta e após tratamento com tanino para <i>Lactuca sativa</i>	64
Tabela 19 - Número de sementes germinadas e desenvolvimento da raiz e do caule de <i>Lactuca</i> <i>sativa</i>	65
Tabela 20- Caracterização bromatológica	76
Tabela 21 - Conteúdo fenólico	78
Tabela 22 - Indicadores microbiológicos no lodo	80
Tabela 23 - Índices fitotóxicos das amostras lodo.....	81
Tabela 24 - Número de sementes germinadas e desenvolvimento da raiz e do caule	81
Tabela 25 - Índice mitótico.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	<i>Analysis of variance</i> (Análise de variância)
APHA	<i>American Public Health Association</i>
BFT	<i>Biofloc Technology</i> (Tecnologia de bioflocos)
DQO	Demanda química de oxigênio
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
rpm	Rotações por minuto
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SST	Sólidos suspensos totais
TGA	<i>Thermogravimetric Analysis</i> (Análise termogravimétrica)
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	21
1.1	OBJETIVOS	23
1.1.1	Objetivo geral.....	23
1.1.2	Objetivos específicos.....	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1	SISTEMA DE CULTIVO EM BIOFLOCOS (<i>Biofloc Technology – BFT</i>).....	24
2.2	EFLUENTES GERADOS POR ATIVIDADES AQUÍCOLAS	25
2.3	APLICAÇÃO DO TANINO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS E EFLUENTES ...	27
2.4	TANFLOC	31
2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
3	USO DE COAGULANTE A BASE DE TANINO VEGETAL NO CONTROLE DE SÓLIDOS DE SISTEMA DE CULTIVO EM BIOFLOCOS: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO TRATAMENTO E DA FITOTOXICIDADE DA ÁGUA TRATADA	32
3.1	RESUMO	32
3.2	INTRODUÇÃO.....	33
3.3	MATERIAL E MÉTODOS	35
3.3.1	Descrição do sistema.....	35
3.3.2	Definição do tanino com melhor desempenho	36
3.3.3	Determinação da dosagem ótima	38
3.3.4	Avaliação dos parâmetros de qualidade da água	39
3.3.5	Avaliação da fitotoxicidade.....	40
3.3.6	Análise estatística.....	41
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
3.4.1	Definição do tanino com melhor desempenho	42
3.4.2	Determinação da dosagem ótima	42
3.4.3	Avaliação dos parâmetros de qualidade da água	47
3.4.3.1	<i>Cor aparente</i>	47
3.4.3.2	<i>Alcalinidade e pH</i>	49
3.4.3.3	<i>Demanda química de oxigênio (DQO)</i>	52
3.4.3.4	<i>Conteúdo fenólico</i>	53
3.4.3.5	<i>Fosfato, nitrito e nitrato</i>	55

3.4.3.6	<i>Nitrogênio total Kjeldahl (NTK)</i>	57
3.4.3.7	<i>Sólidos suspensos totais (SST), sólidos dissolvidos totais (SDT) e condutividade</i> ...	59
3.4.4	Correlação	62
3.4.5	Avaliação da fitotoxicidade	63
3.5	CONCLUSÃO	66
4	CARACTERIZAÇÃO DO SUBPRODUTO GERADO PELO TRATAMENTO DA ÁGUA DE SISTEMA DE CULTIVO EM BIOFLOCOS (BFT) UTILIZANDO COAGULANTE À BASE DE TANINO VEGETAL	67
4.1	RESUMO	67
4.2	INTRODUÇÃO	68
4.3	MATERIAL E MÉTODOS	69
4.3.1	Obtenção do lodo bruto e lodo gerado pelo tratamento da água com coagulante à base de tanino vegetal	69
4.3.2	Caracterização bromatológica	70
4.3.3	Determinação do conteúdo fenólico	71
4.3.4	Análise termogravimétrica	71
4.3.5	Indicadores microbiológicos	72
4.3.6	Avaliação da toxicidade	72
4.3.6.1	<i>Fitotoxicidade em sementes de alface</i>	73
4.3.6.2	<i>Citotoxicidade em raízes de cebola</i>	73
4.3.7	Análise estatística	74
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
4.4.1	Obtenção do lodo	74
4.4.2	Caracterização bromatológica	75
4.4.3	Determinação do conteúdo fenólico	77
4.4.4	Análise termogravimétrica	79
4.4.5	Indicadores microbiológicos	80
4.4.6	Avaliação da toxicidade	80
4.4.6.1	<i>Fitotoxicidade</i>	80
4.4.6.2	<i>Citotoxicidade</i>	81
4.5	CONCLUSÃO	83
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
REFERÊNCIAS	85

1 INTRODUÇÃO GERAL

A demanda por peixes como alimento para consumo humano aumentou a uma taxa média anual de 3,1% de 1961 a 2017 (*Food and Agriculture Organization* - FAO, 2020). Essa taxa é quase duas vezes maior do que o crescimento anual da população mundial (1,6%) no mesmo período, e maior do que a de todos os outros alimentos de proteína animal, que aumentaram 2,1% ao ano. O consumo per capita de peixes cresceu de 9,0 kg (equivalente em peso vivo) em 1961 para 20,5 kg em 2018, cerca de 1,5% ao ano (FAO, 2020). Embora exista uma grande demanda de mercado, o crescimento da aquicultura apresenta desafios ambientais (AHMED; THOMPSON, 2019). A intensificação da prática exige o aumento de insumos, como o abastecimento de água, peixes e rações por unidade de área de cultivo e, consequentemente, ocasiona em maior geração de resíduos dos sistemas de produção aquícola (AHMAD et al., 2021; DAUDA et al., 2019).

Os efluentes da aquicultura contêm principalmente resíduos sólidos e resíduos dissolvidos, nutrientes, compostos orgânicos ou inorgânicos específicos e produtos químicos que são utilizados na forma de medicamentos (DAUDA et al., 2019; PIEDRAHITA, 2003). Estima-se que em uma fazenda aquícola gerenciada adequadamente, aproximadamente 30% dos alimentos utilizados se tornarão resíduos sólidos (MILLER; SEMMENS, 2002). Os principais impactos ambientais devido ao manejo inadequado das práticas ligadas à aquicultura são relacionados a destruição de ecossistemas naturais, salinização/acidificação do solo, poluição da água para consumo humano, eutrofização e nitrificação de ecossistemas receptores de efluentes, uso excessivo de drogas, antibióticos e outros produtos químicos para controle de doenças de animais aquáticos e efeitos negativos sobre a biodiversidade causados pela fuga de espécies não nativas introduzidas para a aquicultura (BOYD, 2003; MARTINEZ-PORCHAS; MARTINEZ-CORDOVA, 2012).

O sistema de cultivo em bioflocos (*Biofloc Technology* - BFT) é uma tecnologia capaz de resolver alguns dos desafios ambientais e econômicos enfrentados pelos sistemas tradicionais de produção aquícola, como a elevada demanda de água e espaço (ABAKARI; LUO; KOMBAT, 2020; GARCÍA-RÍOS et al., 2019). No sistema BFT, comunidades de bactérias heterotróficas e algas são cultivadas em flocos sob condições controladas dentro do tanque de cultivo (DE SCHRYVER et al., 2008). Esses microrganismos desempenham três funções principais: 1) promover a manutenção da qualidade da água por meio da imobilização de nitrogênio, resultando em proteína microbiana; 2) a proteína microbiana, consequentemente,

servirá como fonte de nutrição para espécies cultivadas e 3) os microrganismos suprimem o crescimento de patógenos por meio da competição (EMERENCIANO et al., 2017).

No sistema BFT, o aumento da biomassa microbiana na forma de sólidos em suspensão é constante e pode representar riscos para a produção (GAONA et al., 2016a). O alto volume de sólidos no ambiente de cultivo pode causar a obstrução das brânquias dos animais (SCHVEITZER et al., 2013). Diante disso, alternativas para o controle de sólidos devem ser empregadas para o bom funcionamento do sistema. As operações de remoção de sólidos, como retrolavagem de filtros e descargas de decantadores produzem efluente com alta concentração de sólidos, o qual é rico em nutrientes e matéria orgânica, enquanto reduz as concentrações desses parâmetros na água de cultivo (PIEDRAHITA, 2003). O mecanismo de trocas parciais de água também pode ser aplicado para promover o controle de sólidos, porém o emprego desta técnica necessita de mecanismos eficientes quando o objetivo é a reutilização da mesma água de cultivo.

Nesse sentido, o tanino, produto metabólico secundário derivado de plantas (PIZZI, 2008), mostra-se como uma alternativa promissora para o controle de sólidos dos sistemas de cultivo BFT, uma vez que já teve o seu desempenho comprovado para o tratamento dos mais diversos tipos de água e efluentes (DELA JUSTINA et al., 2018; HAMEED et al., 2020; IBRAHIM; YASER, 2019; LOPES et al., 2019; SÁNCHEZ-MARTÍN; BELTRÁN-HEREDIA; SOLERA-HERNÁNDEZ, 2010; SCHMITT; RODRIGUES; OLIVEIRA, 2021; SOUZA et al., 2013). Coagulantes à base de tanino vegetal têm demonstrado uma série de benefícios se comparados aos coagulantes inorgânicos comumente usados na indústria de tratamento de água, como a formação de flocos maiores e mais resistentes à quebra, menor consumo de alcalinidade, maior faixa de pH (potencial hidrogeniônico) para aplicação, geração de lodo com menor teor de cinzas e maior teor de sólidos voláteis e carbono fixo (COUTO JUNIOR; BARROS; PEREIRA, 2013; DELA JUSTINA et al., 2018; HAMEED et al., 2016; SÁNCHEZ-MARTÍN; GONZÁLEZ-VELASCO; BELTRÁN-HEREDIA, 2010; SCHMITT; RODRIGUES; OLIVEIRA, 2021).

Outra importante possibilidade de aplicação dos taninos, biomoléculas complexas de natureza polifenólica que atuam na defesa das plantas, é a sua aplicação como aditivo alimentar na dieta animal (DAS et al., 2020; SHIRMOHAMMADLI; EFHAMISISI; PIZZI, 2018). Desta forma, no processo de coagulação e floculação utilizando coagulante a base de tanino há geração de lodo orgânico, o qual pode ser incorporado em dietas animais mediante caracterização prévia. Isto posto, o objetivo do presente trabalho é avaliar o desempenho de um coagulante a base de tanino vegetal para o controle de sólidos de sistema de cultivo BFT e

caracterizar o subproduto do tratamento para avaliar o seu potencial de incorporação em dietas de peixes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar o desempenho de um coagulante comercialmente disponível à base de tanino vegetal para o controle de sólidos de sistema de cultivo BFT e caracterizar o subproduto do tratamento, objetivando a incorporação na dieta de peixes.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Realizar uma triagem com cinco diferentes tipos de coagulantes a base de tanino comercialmente disponíveis a fim de identificar aquele que possui melhor desempenho;
- b) Averiguar o desempenho do coagulante a base de tanino em seis coletas com base nos parâmetros turbidez, cor aparente, pH, alcalinidade, sólidos suspensos totais (SST), sólidos dissolvidos totais (SDT), condutividade, nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrito (N-NO₂⁻), nitrito (N-NO₃⁻), fosfato (P-PO₄³⁻), demanda química de oxigênio (DQO) e conteúdo fenólico;
- c) Avaliar o potencial fitotoxicológico da água tratada na menor e na maior dosagem demandada do coagulante;
- d) Caracterizar o subproduto do tratamento com base em suas características bromatológicas, termogravimétricas, microbiológicas e conteúdo fenólico;
- e) Avaliar o potencial fitotoxicológico e citotoxicológico do subproduto do tratamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA DE CULTIVO EM BIOFLOCOS (*BIOFLOC TECHNOLOGY – BFT*)

O sistema de cultivo BFT foi desenvolvido para resolver os problemas de espaço disponível devido aos altos custos da terra e para reduzir o consumo de água (GARCÍA-RÍOS et al., 2019). De acordo com Souza et al. (2019), a produção superintensiva de organismos aquáticos utilizando a tecnologia BFT é caracterizada por baixa troca de água, alta densidade de estocagem e microbiota predominantemente aerobia formadora dos bioflocos. Outra característica importante dos sistemas de cultivo BFT é o controle de compostos nitrogenados tóxicos (em especial a amônia), principalmente devido à ação de bactérias heterotróficas que hospedam-se no biofoco e assimilam esse elemento após a adição de uma fonte de carbono orgânico e oxigênio (GARCÍA-RÍOS et al., 2019; SOUZA et al., 2019) e comunidades de bactérias autotróficas nitrificantes que oxidam amônia e nitrito (ABAKARI; LUO; KOMBAT, 2020). Desta forma, é fundamental realizar a fertilização da água com compostos ricos em carbono, propiciando a incorporação de nitrogênio amoniacal sob a forma de biomassa bacteriana (AVNIMELECH, 1999). No momento em que a relação entre carbono e nitrogênio estiver bem equilibrada no sistema, a proliferação bacteriana heterotrófica será promovida e a absorção de nitrogênio ocorrerá através da produção de proteínas microbianas (QIAO et al., 2018). Mohd Yunos et al., (2017) evidenciaram em seu trabalho a composição microbiana dos bioflocos, consistindo em 29% de microalgas, 35% de bactérias, 24% de fungos e 12% de zooplâncton, descrevendo os bioflocos que compõe os sistemas BFT como uma aglomeração de matéria orgânica e microrganismos.

Nos sistemas de cultivo superintensivo de baixa troca de água, partículas floculadas se acumulam na coluna de água, seja pelas excretas dos animais, restos de ração ou biomassa bacteriana excedente. Consequentemente, algum controle sobre a concentração dessas partículas deve ser realizado, uma vez que partículas em excesso de flocos que podem, entre outros, obstruir as brânquias de organismos cultivados (SCHVEITZER et al., 2013). Portanto, a remoção do excesso de sólidos suspensos totais é imprescindível para o bom funcionamento do sistema BFT (GALASSO, 2014). Atualmente, o método mais usado para a remoção de sólidos suspensos em cultivos superintensivos é a sedimentação (GALASSO, 2014), a qual consiste em um método eficaz de remoção de sólidos em sistemas aquaculturais e depende do tamanho da partícula que se deseja remover (JOHNSON; CHEN, 2006). Nesse processo, as partículas em suspensão apresentam movimento descendente no meio líquido de menor massa

específica devido à ação da gravidade, contudo, sólidos suspensos contendo algas ou partículas de baixa densidade dificilmente são removidos por este processo devido à tendência de flutuação das mesmas (SHAN-PEI et al., 2007).

Galasso (2014) avaliou a eficiência do método de flotação por ar dissolvido (FAD) em escala de bancada para a remoção de sólidos suspensos totais da água de cultivo superintensivo em bioflocos de camarões da espécie *Litopenaeus vannamei*. Os resultados comprovaram que a utilização da flotação apresentou bons índices na remoção de SST, turbidez e DBO₅, chegando a eficiências de remoção em até 60,08%, 89,47% e 91,35% respectivamente. Além disso, a autora enfatiza que as baixas taxas de remoção dos parâmetros dissolvidos eram esperadas, visto que o processo de flotação é considerado um processo físico de separação de fases e não tem como premissa a remoção de nutrientes e partículas dissolvidas. Costa et al. (2014) estudaram a aplicação de reatores anaeróbios na redução das cargas orgânicas de efluentes de cultivo heterotrófico de camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, onde o tratamento da água de cultivos heterotróficos utilizando este tipo de reator constituiu um método eficiente para remover matéria orgânica e sólidos em suspensão, diminuindo a poluição gradativa que a atividade aquícola representa ao ambiente.

2.2 EFLUENTES GERADOS POR ATIVIDADES AQUÍCOLAS

A aquicultura é uma indústria de alto valor em expansão em muitos países, porém, a intensificação da prática enfrenta questões ambientais como o gerenciamento da descarga de águas ricas em nutrientes, pois os peixes retêm apenas 20 a 30% dos nutrientes da ração e o restante é excretado e normalmente se acumula na água (AVNIMELECH, 2007; JEGATHEESAN et al., 2007). Os efluentes da aquicultura podem conter uma variedade de constituintes que podem causar impactos negativos quando liberados no meio ambiente, incluindo principalmente orgânicos dissolvidos ou particulados, nutrientes e compostos orgânicos ou inorgânicos específicos, sendo desta forma inevitável o desenvolvimento de estratégias inovadoras para controlar os efluentes ligados a esta prática e proteger o meio ambiente de perturbações (HESNI et al., 2020; PIEDRAHITA, 2003).

De forma geral, a produção intensiva com o uso diário de rações e altas densidades de cultivo promove o aumento de nitrogênio e fósforo na água como resultado da excreção dos animais e sobras de alimentos. Assim, a liberação de efluentes ricos em nutrientes que ocorre durante o cultivo devido às taxas de renovação da água e no momento da remoção dos peixes ao final do cultivo produz impactos no meio ambiente, onde tais impactos podem acelerar a

eutrofização dos corpos receptores devido às descargas de nutrientes eliminadas dos viveiros (COLDEBELLA et al., 2017; MACEDO; SIPAÚBA-TAVARES, 2010). Entre os principais impactos causados pela eutrofização cita-se a depleção do oxigênio dissolvido, a redução do espelho d'água, a morte de plantas e animais aquáticos e a proliferação de cianobactérias em detrimento de outras espécies aquáticas, onde muitos gêneros de cianobactérias quando submetidas a determinadas condições ambientais podem produzir toxinas que podem ser fatais aos animais e aos seres humanos (FIGUEIRÊDO et al., 2007; MORAES, 2009). Desta forma, torna-se imprescindível o gerenciamento adequado dos efluentes gerados nas fazendas de cultivo antes do descarte final, de forma a reduzir ao máximo os potenciais impactos que a atividade pode causar ao meio ambiente.

Ebeling et al. (2003) estudaram a eficiência de dois coagulantes, o sulfato de alumínio e o cloreto férrico para o tratamento do efluente gerado pela retrolavagem dos filtros de um sistema intensivo de aquicultura recirculante usando procedimentos padrão em *jar test*. O *jar test* consiste em um equipamento de bancada que simula as condições de uma estação de tratamento de água que utiliza os processos de físico-químicos de coagulação e floculação. Além de determinar sua eficácia na remoção de sólidos suspensos e fósforo, foi realizada uma avaliação sistemática das variáveis encontradas no processo de coagulação-flocação (velocidades e durações de agitação e tempos de sedimentação). A eficiência de remoção de fósforo no referido estudo para sulfato de alumínio e cloreto férrico foi de 89 e 93%, respectivamente. Tanto o sulfato de alumínio como o cloreto férrico demonstraram uma excelente remoção de sólidos em suspensão e as variáveis relacionadas às velocidades e durações de agitação desempenharam apenas um papel menor nas eficiências de remoção para fósforo e sólidos suspensos.

Ebeling, Rishel e Sibrell (2005) realizaram uma triagem entre vários polímeros comercialmente disponíveis e utilizados como auxiliares de coagulação-flocação na indústria de tratamento de água potável e de esgoto e determinaram a sua eficiência para o tratamento do efluente gerado pela água de retrolavagem dos filtros em um sistema de recirculação de aquicultura. Nesse estudo, embora diversos polímeros tenham sido utilizados, os resultados mostraram excelentes eficiências de remoção de sólidos para todos eles, com exceção de apenas um. Os resultados das avaliações mostraram que a remoção de sólidos suspensos totais (SST) foi próxima de 99%. Estes resultados foram baseados em *jar test* e embora não tenha sido planejado para a remoção de fósforo, este foi reduzido em até 95%, sendo removido juntamente com a maior parte do SST da água residual.

Ebeling, Welsh e Rishel (2006) conduziram testes utilizando o efluente de retrolavagem de filtro que tratou a água descarregada de vários sistemas de produção de aquicultura em recirculação em grande escala. O sistema foi testado utilizando apenas sulfato de alumínio como coagulante e um polímero comercialmente disponível como auxiliar de floculação. Após a etapa de floculação, o efluente passou por um filtro. A combinação do sulfato de alumínio com o polímero e o sistema de filtração mostraram excelente potencial para reduzir significativamente a concentração de sólidos suspensos e fósforo no efluente descartado.

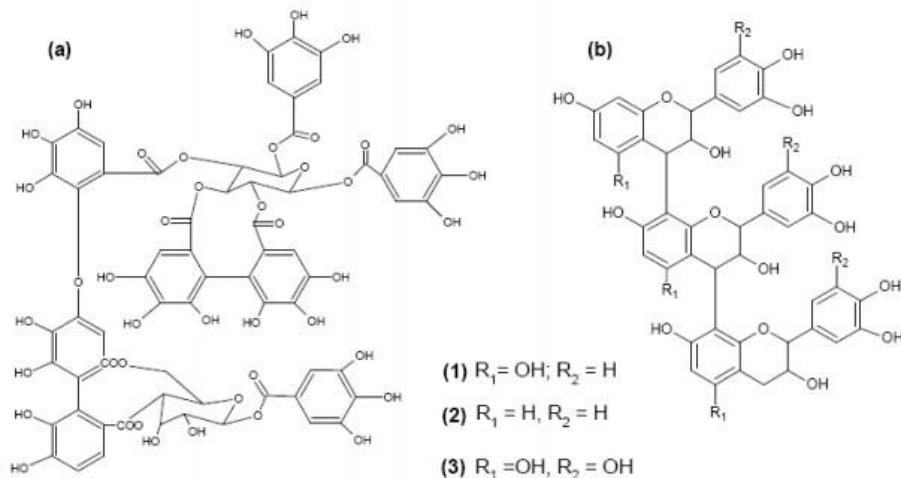
Embora estes estudos mostrem alta eficiência para a remoção de sólidos suspensos e fósforo no efluente gerado pela retrolavagem dos filtros em sistemas intensivos de recirculação utilizando sais de ferro e alumínio, sabe-se que o subproduto gerado através da utilização desses sais inorgânicos possuem algumas desvantagens, citando-se como exemplo a geração de altas quantidades de lodo e efluentes contendo resíduos desses metais (FARIA; MORAES; MENDES, 2015). Segundo Faria, Moraes e Mendes (2015), vários estudos vêm sendo realizados utilizando coagulantes naturais com o intuito de substituir ou auxiliar os coagulantes convencionais, pois possuem como benefício o fato de serem biodegradáveis, poluir menos que os químicos e geram lodos e efluentes com menor toxicidade.

2.3 APLICAÇÃO DO TANINO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS E EFLUENTES

Como alternativa aos coagulantes inorgânicos à base de metais, pesquisas têm buscado novos coagulantes de origem vegetal que possam substituí-los e agregar algumas vantagens, como biodegradabilidade do lodo gerado, baixo consumo de alcalinidade e obtenção a partir de fontes renováveis (YIN, 2010), onde o uso do tanino mostra-se como promissor em substituição aos coagulantes inorgânicos que são largamente utilizados nas indústrias de tratamento de água e efluentes. De acordo com Hameed et al. (2016), o tanino trata-se de um composto polifenólico, com alta solubilidade em água e peso molecular variando de 500 a alguns milhares de Dalton. Adicionalmente, cita que as principais fontes de taninos são árvores como *Acacia mearnsii*, *Schinopsis balancae* e *Castania sativa* e o fato de ser extraído de diferentes fontes torna difícil a determinação da sua estrutura química exata. Os taninos são provenientes de matabólitos secundários vegetais, como cascas, frutos, folhas e outros e pertencem a uma classe de produtos naturais conhecidos como fenólicos vegetais, além de serem o quarto subproduto florestal mais abundante, depois da celulose, lignina e hemicelulose (BELTRÁN HEREDIA; SÁNCHEZ MARTÍN, 2009; YANG et al., 2019).

Os taninos estão presentes na forma hidrolisável e condensada, sendo a forma condensada responsável por mais de 90% da produção mundial de tanino (PIZZI, 2008). Conforme Mangrich et al. (2014) a característica dos taninos hidrolisáveis é que possuem como unidade básica o ácido gálico que pode estar ligado a estruturas glicosídicas. Já os taninos condensados baseiam-se em unidades monoméricas do tipo flavan-3-ol, como é o caso do tanino extraído da *Acacia mearnsii*. A Figura 1 ilustra as prováveis estruturas químicas destes dois tipos de taninos.

Figura 1 - Estruturas químicas de tanino hidrolisável (a), e de tanino condensado (b)



Fonte: Mangrich et al. (2014).

Para melhorar as características como coagulante do tanino recém extraído dos tecidos vegetais, ele deve passar por um processo de cationização (responsável por conferir um caráter catiônico à molécula de tanino), chamado de reação de Mannich, a fim de permitir que o tanino modificado obtenha um mecanismo de neutralização de carga (HAMEED et al., 2020). Ebeling, Welsh e Rishel, (2006) descrevem o processo de coagulação como a redução ou neutralização da carga elétrica em partículas suspensas. Como cargas elétricas em pequenas partículas na água se repelem naturalmente e mantêm as pequenas partículas coloidais separadas, mantendo-as em suspensão, o processo de coagulação neutraliza ou reduz a carga negativa sobre essas partículas, permitindo que a força de atração de Van der Waals estimule a agregação inicial de materiais coloidais e finos em suspensão para formar microflocos. A floculação como é o processo que reúne as partículas de microflocos desestabilizadas no processo de coagulação para formar maiores aglomerações, misturando-os fisicamente ou através da ação de ligação de floculantes, como polímeros de cadeia longa (EBELING; WELSH; RISHEL, 2006).

Conforme Beltrán-Heredia, Sánchez-Martín e Gómez-Muñoz (2010), a cationização dos taninos pode ser descrita como um procedimento químico que confere caráter catiônico à matriz de taninos orgânicos, onde as suas principais características como solubilidade, estabilidade em diferentes níveis de pH são mantidas enquanto outras são adicionadas. Ainda em consoante com os autores, essas novas habilidades adquiridas estão relacionadas com a capacidade de coagulação, uma vez que agentes carregados positivos podem desestabilizar colóides aniónicos quando misturados em solução aquosa. Esta desestabilização e subsequente assentamento provocam a remoção de diversas substâncias aniónicas, como corantes, surfactantes ou matéria orgânica.

Diversos estudos comprovam a eficiência do tanino como coagulante em ensaios de coagulação e floculação nos mais variados tipos de águas e efluentes. O Quadro 1 traz de forma resumida os resultados obtidos em alguns estudos nas condições operacionais ideais.

Quadro 1 – Eficiência do tanino utilizado como coagulante em diversos tipos de efluentes em condições operacionais ideais

Tipo de efluente/água	Resultados ótimos (% remoção)	Referência
Lixiviado de aterro sanitário	Cor – 78,6%	Ibrahim e Yaser (2019)
Efluente têxtil sintético	Cor – 100% DQO – 38%	Lopes et al. (2019)
Águas residuais municipais	DBO ₅ – 60% DQO – 60% Turbidez - 90%	Hameed et al. (2016)
Águas residuais de indústria de laticínios	Cor – 73,6% Turbidez – 89,4% DQO – 41,6% Sólidos totais –13,6%	Dela Justina et al. (2018)
Vinhaça de cana de açúcar	Cor – 87% Turbidez – 98% DQO – 45%	Souza et al. (2013)
Efluente de lavanderia simulado com uma solução de surfactante	Surfactantes – 80%	Sánchez-Martín; Beltrán-Heredia; Solera-Hernández (2010)
Águas superficiais	Cor – 100% Turbidez – 99%	Oliveira (2019)
Tratamento terciário de esgoto sanitário	Cor – 59% Turbidez – 100% DBO ₅ - 68,5%	Libardo (2020)

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

É válido destacar que no estudo realizado por Ibrahim e Yaser (2019) a adição do tanino não alterou significativamente os pH das águas residuais em tratamento. O mesmo foi

observado no trabalho realizado por Lopes et al. (2019), onde o uso do tanino não causou variações significativas de pH durante o tratamento do efluente sintético de tinturaria, sendo uma importante vantagem dos coagulantes naturais pois suprime a necessidade de correção do pH do efluente e possibilita um desempenho mais consistente. Além disso, Lopes et al. (2019) destacam algumas vantagens do uso do tanino em relação aos coagulantes convencionais inorgânicos, citando o fato de que não deixa concentrações residuais de metais na água tratada, apresenta lodo com melhores características de sedimentação e é um coagulante de origem natural, contribuindo para o uso eficiente dos recursos naturais.

No estudo realizado por Hameed et al. (2016), o tanino foi comparado ao policloreto de alumínio (PAC) para o tratamento de efluente doméstico real produzido a partir do albergue da faculdade, a qual acomoda cerca de 336 alunos. Neste estudo os autores relataram que o tamanho dos flocos produzidos por tanino foi superior aos flocos produzidos pelo uso de PAC. Análises de turbidez 2 cm abaixo da superfície da água após 2 minutos de decantação revelaram que o tanino removeu cerca de 66% da turbidez, enquanto o PAC foi capaz de remover apenas 33%. Esses resultados indicam que os flocos formados pelo tanino eram maiores e mais fáceis de decantar e essa alta eficiência de remoção em apenas 2 minutos assegura uma aplicação eficiente na remoção de sólidos em suspensão nos decantadores projetados com curto tempo de decantação. Além disso, os autores relataram que não houve alterações significativas no pH do efluente bruto com o uso do tanino.

No trabalho realizado por Dela Justina et al. (2018), onde foi utilizado o tanino como coagulante também em comparação ao PAC para o tratamento dos efluentes gerados por uma indústria de laticínios, os resultados não mostraram diferenças estatísticas entre o desempenho dos dois coagulantes com base na DQO, cor, turbidez e remoção de sólidos totais, porém, o PAC apresentou maior consumo de alcalinidade e aumentou a condutividade elétrica das águas residuais clarificadas. Além disso, o tanino apresentou desempenho satisfatório em uma faixa mais ampla de pH e maior resistência à quebra de flocos durante o tempo de mistura lenta. Através da análise termogravimétrica realizada neste estudo para o lodo obtido no tratamento com ambos os coagulantes, foi possível concluir que o lodo gerado através do uso do tanino foi responsável pelo maior teor de sólidos voláteis e carbono fixo e menor teor de cinzas quando comparado ao PAC, onde o mesmo foi observado por Oliveira (2019), mostrando-se como uma alternativa promissora para o tratamento de águas residuais e superficiais em relação ao desempenho do processo e gerenciamento dos subprodutos.

No trabalho realizado por Libardo (2020), onde foi comparado tanino vegetal e PAC para o tratamento terciário de esgoto sanitário, o coagulante tanino destacou-se em comparação

ao PAC pelo seu desempenho no tratamento e principalmente pelas características finais de seus subprodutos, onde o coagulante em questão não acrescentou quantidades traços de compostos inorgânicos no efluente e no lodo gerados nos ensaios. Além disso, a autora relata que o subproduto produzido pelo tanino vegetal se mostrou favorável para reuso agrícola pois apresentou altas concentrações de nutrientes fundamentais para o desenvolvimento de plantas.

2.4 TANFLOC

O Tanfloc é um produto com alto poder floculante à base de tanino, modificado por um processo físico-químico onde um grupo amino é introduzido na estrutura química do tanino, e é produzido e comercializado pela empresa brasileira Tanac®, localizada na cidade de Montenegro (RS). O tanino utilizado como base para a produção de Tanfloc é obtido a partir da casca da acácia negra (*Acacia mearnsii*), árvore muito comum no Brasil e possui alto teor de taninos. Ao contrário dos floculantes químicos que apresentam riscos à saúde e ao meio ambiente, o Tanfloc é um floculante biodegradável e não tóxico (BELTRÁN-HEREDIA; SÁNCHEZ-MARTÍN, 2009; YANG et al., 2019). Facchi et al. (2017) descrevem o Tanfloc como um polímero catiônico e solúvel em água obtido de taninos condensados. É amplamente empregado como agente de coagulação e floculação para tratamentos de água de abastecimento e de águas residuais. Pode substituir os sais de alumínio ou ferro usados como coagulantes inorgânicos convencionais.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na revisão de literatura apresentada, a proposta de promover o controle de sólidos de sistemas de cultivo em bioflocos utilizando coagulante a base de tanino vegetal e incorporação do subproduto do tratamento em dietas de peixes é uma proposta inovadora e interessante do ponto de vista ambiental, visto que o processo de coagulação/floculação com produtos convencionais à base de sais de ferro e alumínio para o tratamento de efluentes da indústria aquícola já foi explorado e sabe-se que o lodo produzido por esses tipos de coagulantes possui destinação final limitada. Diante disso, o presente trabalho está organizado em dois artigos, apresentados nos capítulos 3 e 4, que detalham os métodos utilizados, os resultados obtidos e a conclusão com base nos objetivos inseridos na problemática apresentada.

3 USO DE COAGULANTE A BASE DE TANINO VEGETAL NO CONTROLE DE SÓLIDOS DE SISTEMA DE CULTIVO EM BIOFLOCOS: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO TRATAMENTO E DA FITOTOXICIDADE DA ÁGUA TRATADA

3.1 RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de um coagulante comercialmente disponível à base de tanino no controle de sólidos de um sistema de cultivo BFT sob criação de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e a fitotoxicidade da água após o tratamento. Os ensaios de coagulação/flocação foram conduzidos em *jar test*. Inicialmente foi realizada uma triagem entre os coagulantes a base de tanino SG, MTH, SL, HPM e POP produzidos e comercializados pela empresa Tanac®. Foi selecionado o tanino que apresentou melhor desempenho com base na demanda de concentração do coagulante para dar continuidade às etapas posteriores do trabalho. O coagulante que apresentou o melhor desempenho foi o SL, o qual foi aplicado em seis coletas que ocorreram ao longo de quatro meses. Foram avaliados os parâmetros de qualidade da água: turbidez, cor aparente, pH, alcalinidade, sólidos suspensos totais (SST), sólidos dissolvidos totais (SDT), condutividade, nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrito (N-NO₂⁻), nitrato (N-NO₃⁻), fosfato (P-PO₄³⁻), demanda química de oxigênio (DQO) e conteúdo fenólico. Além disso, foi avaliada a fitotoxicidade em sementes de alface (*Lactuca sativa*) da água tratada na menor e na maior dosagem demandada. A dosagem ótima do coagulante variou entre 350 e 650 mg L⁻¹, onde apresentou desempenho para remoção da turbidez médio de 90,81%, e remoção da cor aparente superior a 60% em todas as coletas. Também foi observada uma importante remoção de SST (74,64%). O uso do tanino promoveu redução significativa da alcalinidade (P<0,05) e queda do pH (P<0,05), porém estes parâmetros permaneceram dentro do recomendado para criação de tilápia. Embora algum residual de tanino tenha permanecido dissolvido na água após o tratamento, elucidado pelo aumento nos resultados de DQO solúvel e NTK, o uso do tanino foi eficiente e é considerado seguro para o controle de sólidos de sistemas de cultivo BFT, pois não foi constatado aumento nos níveis de fenol e polifenóis hidrolisáveis. Não foram observadas alterações negativas na classificação fitotóxica em sementes de alface com base no índice de germinação para a água tratada.

Palavras-chave: Tanino. Bioflocos. Tratamento de água. Aquicultura.

3.2 INTRODUÇÃO

A produção mundial de pescado, crustáceos, moluscos e outros animais aquáticos têm aumentado, alcançando os 172,6 milhões de toneladas em 2017, com um aumento de 4,1% em comparação com 2016 (FAO, 2019). Ainda segundo dados publicados pela FAO (2019), as exportações líquidas de pescado de países em desenvolvimento mostraram tendência crescente nas últimas décadas, passando de US\$ 18 bilhões em 1997 para US\$ 25 bilhões em 2007 e US \$ 41 bilhões em 2017, números expressivamente maiores do que os de outros *commodities* agrícolas, como arroz, café e chá. Estes dados evidenciam a aquicultura como uma das indústrias de crescimento mais rápido para a produção de alimentos em todo o mundo (AHMAD et al., 2021). Embora exerça benefícios econômicos e com tendência ao aumento de produção, as atividades ligadas a aquicultura estão associadas a uma série de impactos ambientais, por exemplo, as suas emissões de efluentes ricos em nutrientes e produtos químicos para a água, os quais precisam ser tratados e gerenciados adequadamente a fim de minimizar os impactos ambientais e riscos à saúde humana (AHMAD et al., 2021; BOHNES; LAURENT, 2021; READ; FERNANDES, 2003).

O sistema de cultivo em bioflocos (*Biofloc Technology - BFT*) foi desenvolvido como uma tecnologia capaz de sanar alguns desafios ambientais e econômicos enfrentados pelos sistemas tradicionais de produção aquícola, sendo caracterizado como um sistema de troca mínima de água e alta produtividade (ABAKARI; LUO; KOMBAT, 2020; GARCÍA-RÍOS et al., 2019). Nestes sistemas, comunidades de bactérias heterotróficas e algas acumulam-se em flocos sob condições controladas dentro do tanque de cultivo (DE SCHRYVER et al., 2008). Outra característica importante do sistema de cultivo BFT é o controle dos compostos tóxicos de nitrogênio, principalmente a amônia liberada pelos organismos cultivados, devido a ação de bactérias autotróficas e nitrificantes que se desenvolvem nos agregados microbianos (DE SCHRYVER et al., 2008; GARCÍA-RÍOS et al., 2019; SCHVEITZER et al., 2013). Além disso, a água proveniente de tanques de cultivo em bioflocos sob criação de tilápia se mostrou promissora para o uso em sistemas de aquaponia, onde aumentou a produtividade das plantas (PINHO et al., 2017).

Ainda que o sistema de cultivo BFT apresente uma série de benefícios, a renovação limitada ou inexistente da água resulta no acúmulo de sólidos no meio aquático devido ao aumento da biomassa microbiana, fazendo-se necessária a utilização de algum mecanismo de controle dos mesmos para otimizar o desempenho da produção animal (HOLANDA et al., 2020; RAY et al., 2010). Níveis elevados de sólidos em suspensão em sistemas de cultivo BFT

podem levar a obstrução das brânquias dos animais (SCHVEITZER et al., 2013). Desta forma, faz-se necessário o gerenciamento adequado do ambiente de cultivo. O método comumente utilizado para o controle de sólidos em sistemas BFT é a decantação utilizando clarificadores (ARANTES et al., 2017; GAONA et al., 2011, GAONA et al., 2016; ZEMOR et al., 2019), porém, apesar de ser um método simples e de baixo consumo de energia, ele possui algumas limitações, como o longo tempo de operação, grande área necessária para o decantador e dificuldade da coleta dos sedimentos (JUNG et al., 2020), o que restringe a sua utilização quando se tem por objetivo uma remoção de sólidos mais eficiente da água.

Um processo bastante difundido e eficiente no tratamento de águas é o processo de coagulação/flocação. Esse processo consiste na neutralização de carga do material coloidal e em suspensão através da adição de um agente coagulante/floculante que reduz a força repulsiva entre essas partículas. Essas partículas quimicamente desestabilizadas tendem a colidir e formar flocos grandes e pesados o suficiente para que sejam removidos na etapa de decantação (FARD et al., 2021; KURNIAWAN et al., 2021). Esta técnica demonstrou eficiência para o tratamento de efluentes gerados pela retrolavagem de filtros de sistemas intensivos de aquicultura (EBELING et al., 2003; EBELING; WELSH; RISHEL, 2006), onde foi avaliada a eficiência de coagulantes à base de sais de ferro e alumínio com base principalmente na remoção dos sólidos suspensos e fósforo. Embora eficientes, sabe-se que esses coagulantes inorgânicos e sintéticos apresentam algumas desvantagens, incluindo a necessidade de ajustes de pH, alcalinidade e podem conferir resíduos metálicos na água tratada, os quais podem estar ligados à doenças degenerativas, e no lodo, acarretando em dificuldades para o tratamento e disposição final do mesmo (CAMACHO et al., 2017; LIEW et al., 2006; RONDEAU et al., 2000).

Diante disso, novas tecnologias vêm sendo estudadas com o intuito de sanar a presente problemática, abordando a utilização de coagulantes naturais e ecológicos extraídos de plantas, como é o caso do tanino (IBRAHIM; YASER, 2019). Por ser de origem vegetal, a utilização de coagulante a base de tanino possibilita um tratamento que gera lodo biodegradável, o que direta e indiretamente traz uma série de benefícios para o meio ambiente (BELTRÁN-HEREDIA; SÁNCHEZ-MARTÍN; GÓMEZ-MUÑOZ, 2010). O tanino se mostrou eficiente na remoção da cor do lixiviado de aterro sanitário tratado biologicamente (IBRAHIM; YASER, 2019) e em um estudo realizado por Sánchez-Martín, Beltrán-Heredia e Solera-Hernández (2010) a eficácia da purificação da água através da utilização do tanino foi notável em diversos casos: remoção total de turbidez nas águas superficiais e nas águas resíduais municipais, cerca de 95% de remoção de corante no caso das águas resíduais da indústria têxtil e cerca de 80% de remoção de surfactante nas águas resíduais da lavanderia. O tanino também apresentou

vantagens em relação ao coagulante convencional à base de alumínio para o tratamento do efluente de uma indústria de laticínios (DELA JUSTINA et al., 2018). Além disso, o lodo desta mesma indústria gerado pelo tratamento com tanino apresentou um bom potencial para o condicionamento do solo (DELA JUSTINA; ALVES; SKORONSKI, 2018).

Com base nessa premissa, o presente estudo foi conduzido a fim de avaliar a eficiência de coagulante a base de tanino no controle de sólidos de sistema de cultivo BFT sob criação de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e avaliar a fitotoxicidade em sementes de alface (*Lactuca sativa*) da água após o tratamento para verificar se a água tratada com coagulante a base de tanino prejudica o crescimento de vegetais.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Tratamento de Água e Resíduos (LabTrat) em parceria com o Laboratório de Piscicultura, localizados no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

3.3.1 Descrição do sistema

A implantação do sistema de cultivo BFT foi realizada em um tanque de 500 L (Figura 2) com a produção tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*), montado previamente ao início do período experimental a fim de promover a maturação dos bioflocos e estabilização dos parâmetros da água.

Figura 2 - Sistema de cultivo BFT onde foram realizadas as coletas de água bruta



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Para a etapa de triagem entre os diferentes tipos de coagulante a base de tanino havia 106 tilápias com peso aproximado de $1,20 \pm 1,83$ gramas. Para as etapas subsequentes do trabalho, o sistema foi submetido a uma nova biometria devido ao crescimento dos animais, onde permaneceram o total de 41 peixes com peso médio de $14,77 \pm 8,07$ gramas. Durante o período experimental os animais recebiam ração comercial com aproximadamente 40% de proteína bruta (PB) uma vez ao dia. O sistema foi fertilizado a cada três dias com melaço como fonte de carbono orgânico e a água foi ligeiramente salinizada para melhorar o equilíbrio osmótico dos animais ($\pm 4 \text{ g L}^{-1}$).

3.3.2 Definição do tanino com melhor desempenho

Foi realizada uma triagem entre cinco diferentes tipos de coagulante a base de tanino extraídos da Acácia Negra (*Acacia mearnsii*) produzidos e comercializados pela empresa brasileira Tanac®, todos na concentração de 20% (m/v) a fim de verificar aquele que possui o melhor desempenho. Foram testados os coagulantes SG, MTH, SL, HPM e POP. A empresa Tanac® produz diferentes tipos de coagulante à base de tanino vegetal, os quais variam de acordo de acordo com o aspecto físico (líquido ou pó fino higroscópico), pH, sólidos totais, viscosidade e umidade ao embalar.

As soluções foram preparadas um dia antes da respectiva utilização e armazenadas sob refrigeração. Foi realizada uma coleta no sistema BFT, onde aproximadamente 80 L de amostra foram retirados diretamente do tanque de cultivo e acondicionadas em recipientes plásticos. Após a coleta a amostra foi encaminhada ao Laboratório de Tratamento de Água e Resíduos (LabTrat) do CAV-UDESC. Previamente aos ensaios de coagulação/flocação, a amostra permaneceu sob decantação durante uma hora a fim de promover a remoção dos sólidos mais densos. Em seguida foi lido o parâmetro turbidez em fotômetro (Merck; modelo Nova 60), método 2130 B (APHA, 2005).

Após o período de decantação inicial, as amostras foram submetidas aos ensaios *jar test* (Milan; modelo JT102), equipamento com seis jarros e capacidade de 1000 mL cada, ilustrado pela Figura 3. Para cada tipo de coagulante foram realizados ensaios com 12 diferentes concentrações, as quais variaram entre 100 e 650 mg L⁻¹, intervaladas por 50 mg L⁻¹. O ensaio *jar test* consiste em três etapas, onde inicialmente o coagulante e a solução são misturados em alta rotação, compreendendo a etapa de mistura rápida, seguidos de mistura lenta em velocidade mais baixa, e finalmente a sedimentação, onde as pás do equipamento são desligadas e a amostra permanece em repouso (LETELIER-GORDO; FERNANDES, 2021).

Figura 3 – *Jar test* utilizado na etapa inicial do trabalho



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

As condições operacionais foram estabelecidas em 120 rotações por minuto (rpm) durante 30 segundos para etapa de mistura rápida e 60 rpm por 30 minutos para a etapa de mistura lenta. O período de decantação estabelecido foi de 30 minutos. Posteriormente, foram coletadas amostras do sobrenadante de cada jarro e realizada a leitura da turbidez em fotômetro (Merck; modelo Nova 60), método 2130 B (APHA, 2005). A definição do melhor coagulante a base de tanino foi de acordo com aquele que forneceu o menor valor de concentração de

coagulante por unidade removida de turbidez, definida como demanda de concentração conforme a Equação 1.

$$\text{Demanda de concentração (mg L}^{-1} \text{ NTU}^{-1}\text{)} = \frac{C}{Ti - Tf} \quad (1)$$

Onde C corresponde à dosagem de coagulante que forneceu a menor turbidez, Ti é a turbidez da água bruta e Tf é a turbidez da água tratada (NTU). Essa equação expressa quantos mg L⁻¹ de coagulante são necessários para remover cada unidade de turbidez. Para dar continuidade às posteriores etapas do trabalho foi selecionado o tanino com a menor demanda de concentração, ou seja, aquele que requereu menor quantidade do coagulante para remover cada unidade de turbidez.

3.3.3 Determinação da dosagem ótima

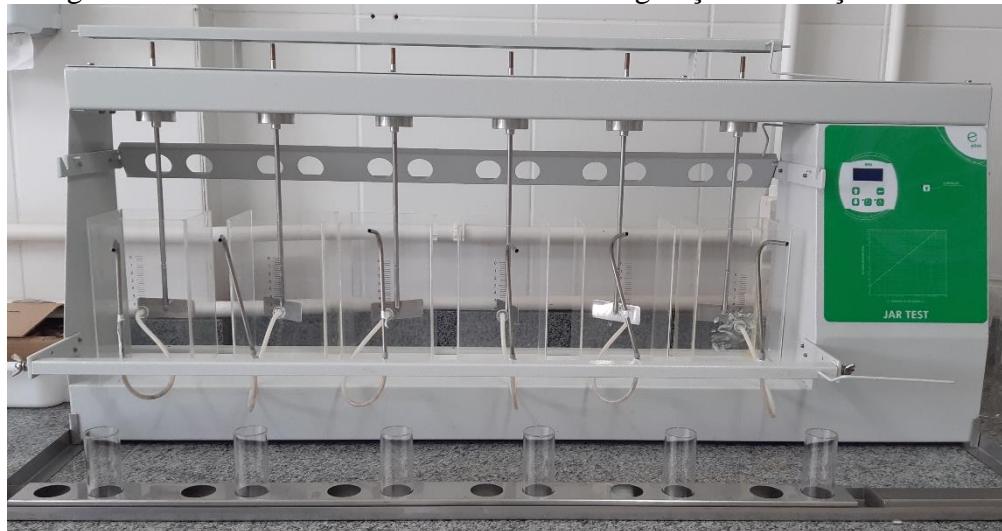
Definido o coagulante a base de tanino que forneceu melhor desempenho, foram realizadas seis coletas no sistema de cultivo BFT pertencente ao Laboratório de Piscicultura do CAV/UDESC ao longo de quatro meses, de modo a acompanhar as variações do sistema. Em cada coleta foram retirados cerca de 60 L de água diretamente do tanque e acondicionados em recipientes plásticos, quantidade suficiente para realizar os ensaios de coagulação e floculação.

As soluções de tanino à 20% (m/v) foram preparadas no dia anterior à realização de cada coleta e armazenadas sob refrigeração. A otimização da dosagem ótima do coagulante foi determinada para cada coleta de acordo com a dosagem que forneceu o maior percentual de remoção de turbidez, conforme a Equação 2, onde previamente aos ensaios de coagulação e floculação a amostra permaneceu decantando durante 30 min (minutos) a fim de promover a remoção dos sólidos mais densos. Após o período de decantação, o parâmetro turbidez da água bruta foi lido em fotômetro (Merck; modelo Nova 60) método 2130 B (APHA, 2005) e então as amostras foram submetidas aos ensaios de coagulação e floculação. Esses ensaios foram realizados no dia de cada respectiva coleta.

$$\text{Remoção (\%)} = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100 \quad (2)$$

Onde, neste caso, C_i corresponde à turbidez inicial e C_f corresponde à turbidez final (NTU). Os ensaios para a determinação da dosagem ótima foram realizados em uma faixa de concentração do coagulante que variou entre 200 e 1050 mg L⁻¹, intervalados entre 50 mg L⁻¹. O equipamento utilizado para os ensaios de coagulação e floculação foi o *jar test* (Ethik Technology; modelo 218-2), com 6 jarros e capacidade de 2000 mL cada (Figura 4).

Figura 4 - *Jar test* utilizado nos ensaios de coagulação/floculação



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Os parâmetros de mistura utilizados nos ensaios *jar test* foram os seguintes: 30 s (segundos) a 120 rpm (rotações por minuto) para a mistura rápida, 30 min a 60 rpm para a mistura lenta e 60 min para a sedimentação. Não houve a necessidade de ajuste do pH neste estudo.

3.3.4 Avaliação dos parâmetros de qualidade da água

Ensaios de *jar test* em triplicata na condição que forneceu o maior percentual de remoção de turbidez foram conduzidos. Após o período de sedimentação adotado, foram coletados 800 mL de amostra do sobrenadante de cada jarro, quantidade suficiente para que fossem realizadas as análises de alcalinidade (2320 B), condutividade (2510 B), cor aparente (2120 C), DQO (5220 D) total e solúvel, fenol (5530 D), fosfato (4500-P E), nitrito (4500-NO₂⁻ B), nitrato (4500-NO₃⁻), nitrogênio total Kjeldahl (NTK) (1687), pH (4500-H⁺ B), SDT (2540 C) e SST (2540 D). A determinação analítica destes parâmetros foi conduzida de acordo com os procedimentos descritos no “*Standard Methods for the Examination of Water and*

Wastewater” 21° edição (APHA, 2005). Todas as análises foram executadas para as amostras de água bruta e tratada de cada coleta.

Os polifenóis hidrolisáveis (taninos hidrolisáveis) foram analisados adaptando-se a metodologia proposta por Ainsworth e Gillespie (2007) utilizando o reagente Folin-Ciocalteu, expressos em mg L^{-1} de ácido tântico e ácido gálico, a fim de mensurar se a utilização do coagulante à base de tanino vegetal conferiu residuais de polifenóis hidrolisáveis na água tratada, visto que a metodologia proposta pela *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 21° edição (APHA, 2005) mensura fenol. Para as análises de DQO solúvel, polifenóis hidrolisáveis, fenol, fosfato, nitrito e nitrato as amostras foram previamente filtradas com auxílio de bomba de vácuo (Solab; modelo SL 60) em membrana de 0,45 μm (Merck; modelo HAWP04700 MF-Millipore) e as leituras destes parâmetros foi realizada em espectrofotômetro UV-vis (Merck; modelo Pharo 300). Para a leitura de polifenóis hidrolisáveis, a leitura foi realizada em espectrofotômetro UV-vis (Merck; modelo Prove 100).

Para a determinação da DQO, a digestão foi realizada em bloco digestor (Cienlab; modelo CE-350/25). A alcalinidade foi realizada com o auxílio de bureta digital (Brand; modelo Tirette). Para a determinação da condutividade foi utilizado um medidor de condutividade portátil (TDS&EC) e para a medição do pH foi utilizado um pHmetro portátil (Kasvi, modelo K39-0014pa). A determinação do NTK foi conduzida em bloco digestor (Tecnal, modelo TE-007MP) e destilador de nitrogênio (Tecnal; modelo TE-0364). O parâmetro cor aparente foi lido em fotômetro (Merck; modelo Nova 60). Para a determinação do SDT e SST, foram utilizadas membranas de 0,45 μm (Merck; modelo HAWP04700 MF-Millipore) e bomba de vácuo (Solab; modelo SL 60). Para os parâmetros cor aparente, alcalinidade, pH, fosfato, NTK e SST também foi utilizada a Equação 2 para os cálculos necessários do percentual de remoção ou incremento destes parâmetros.

3.3.5 Avaliação da fitotoxicidade

Foi realizada a avaliação da fitotoxicidade em sementes de alface (*Lactuca sativa*) da marca Isla Sementes LTDA para as amostras de água bruta e tratada referente às coletas que demandaram a menor e a maior dosagem do coagulante à base de tanino. Para o grupo controle foi utilizado água destilada. O teste foi executado adaptando-se o método “*Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test*”, definido pela “*United States - Environmental Protection Agency*” (US - EPA, 1996). Para cada tratamento, foram utilizadas 5 placas de Petri contendo uma camada de papel filtro, previamente esterilizadas em autoclave (Prismatec;

modelo Autoclave Vertical CS). Em cada placa, foram dispostas 10 sementes (50 sementes por tratamento) e adicionados 2 mL da respectiva amostra. As placas foram envoltas por material plástico e incubadas em estufa (Deleo; modelo TLK 48) sob temperatura de 22 °C, em ambiente escuro, por cinco dias. Ao término do período, foi determinado o número médio de sementes germinadas (\bar{GS}) e o comprimento médio da raiz (\bar{RL}) e do caule (\bar{SL}) para cada tratamento. Para a determinação do comprimento da raiz e do caule foi utilizado paquímetro analógico. A avaliação da fitotoxicidade foi realizada por meio dos índices: Efeito de Germinação (GE), Inibição do Crescimento Raiz (RGI), Inibição do Crescimento do Caule (SGI) e Índice de Germinação (GI), representados pelas Equações 3-6, respectivamente.

$$GE (\%) = \frac{\bar{GS}}{N^{\circ} \text{ total de sementes}} \times 100 \quad (3)$$

$$RGI (\%) = \frac{\bar{RL}_{\text{controle}} - \bar{RL}_{\text{tratamento}}}{\bar{RL}_{\text{controle}}} \times 100 \quad (4)$$

$$SGI (\%) = \frac{\bar{SL}_{\text{controle}} - \bar{SL}_{\text{tratamento}}}{\bar{SL}_{\text{controle}}} \times 100 \quad (5)$$

$$GI (\%) = \frac{\bar{RL}_{\text{tratamento}} \times \bar{GS}_{\text{tratamento}}}{\bar{RL}_{\text{controle}} \times \bar{GS}_{\text{controle}}} \times 100 \quad (6)$$

A classificação da fitotoxicidade das amostras de *Lactuca sativa* analisadas seguiu a metodologia descrita por Belo (2011), levando em consideração o índice de germinação, a qual é exposta na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação qualitativa de fitotoxicidade

GI	Classificação do material em análise	Grau
>100	O material potencializa a germinação e o crescimento da raiz das plantas	0
80-100	Não fitotóxico	1
60-80	Moderadamente fitotóxico	2
30-60	Fitotóxico	3
<30	Muito fitotóxico	4

Fonte: Adaptado de Belo (2011).

3.3.6 Análise estatística

As análises de todos os parâmetros de qualidade da água foram realizadas em triplicata para amostras de água bruta e tratada com coagulante a base de tanino. Os valores foram analisados por ANOVA (análise de variância) fator duplo e teste de Tukey com 95% de confiança. Foi calculado o coeficiente de variação para a turbidez da água bruta e dosagem ótima do coagulante. ANOVA fator único e teste de Tukey com 95% de confiança foram aplicados para o ensaio de fitotoxicidade, onde foram avaliados o número médio de sementes germinadas e comprimento médio da raiz e do caule para cada tratamento. O *software* Minitab 19.0 foi utilizado para executar os cálculos necessários.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Definição do tanino com melhor desempenho

Os resultados obtidos para a demanda de concentração para cada coagulante à base de tanino podem ser observados na Tabela 2. Pode-se observar que o coagulante que apresentou melhor desempenho foi o Tanfloc SL, com demanda de concentração de $40 \text{ mg L}^{-1} \text{ NTU}^{-1}$, o qual foi selecionado para dar continuidade às etapas posteriores do trabalho.

Tabela 2 – Demanda de concentração para os tipos de tanino analisados

Tanino	Demandade concentração ($\text{mg L}^{-1} \text{ NTU}^{-1}$)
SG	66,67
HPM	100,00
POP	100,00
MTH	42,86
SL	40,00

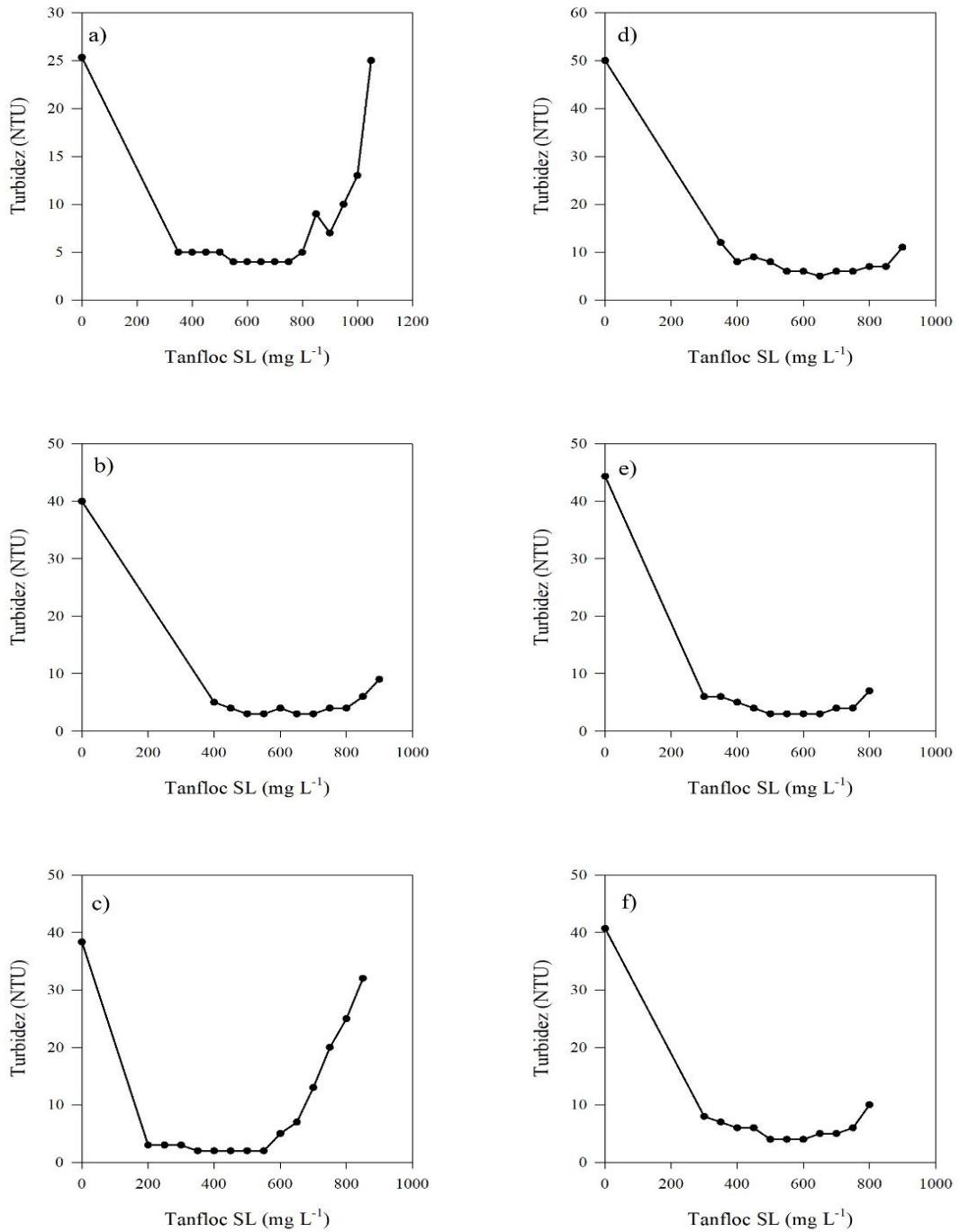
Fonte: Elaborada pela autora (2021).

A Tanac caracteriza o Tanfloc SL como um produto de origem essencialmente vegetal, orgânico-catiônico de baixo peso molecular e que atua como coagulante e floculante no tratamento de água e alguns tipos de efluentes, como efluente de metalurgia, de indústria petroquímica e indústria cerâmica, por exemplo (TANAC SA, 2012). O Tanfloc SL também já recebeu destaque no tratamento de efluente de indústria de processamento de mandioca e floculação de microalgas (DOS SANTOS et al., 2018; ROSELET et al., 2015).

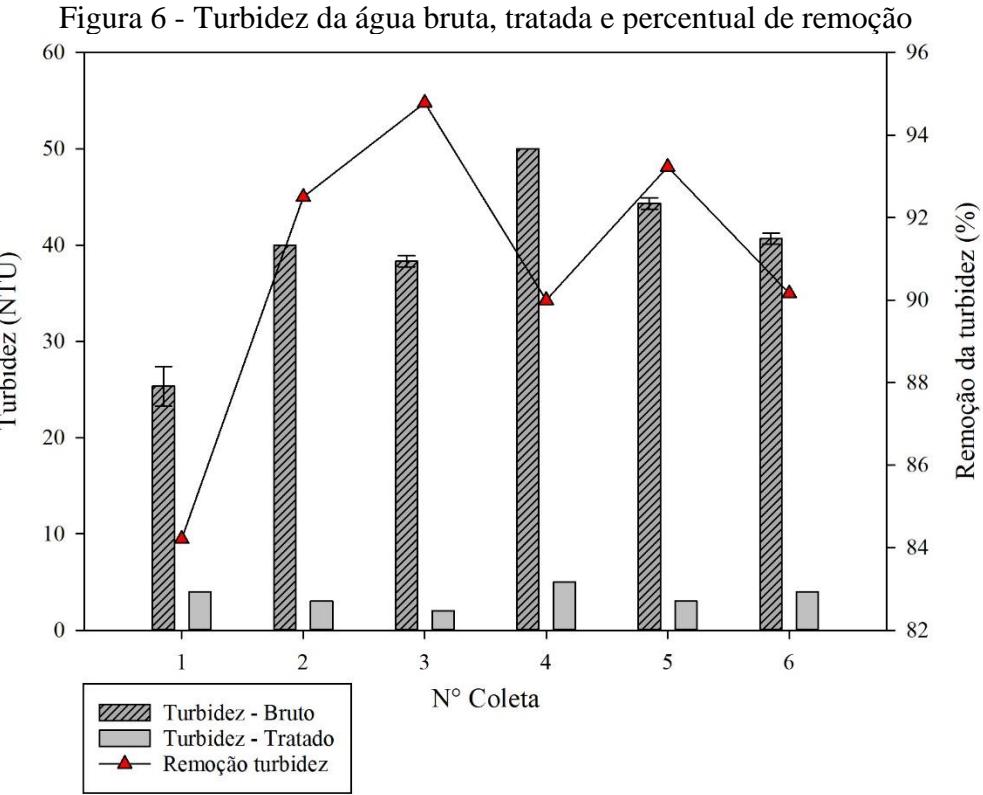
3.4.2 Determinação da dosagem ótima

A dosagem do coagulante aplicada é crucial na eficiência do processo de coagulação e flocação, uma vez que dosar a quantidade apropriada do coagulante pode evitar o seu uso excessivo, controlando o custo do tratamento (IBRAHIM; YASER, 2019; ŠĆIBAN et al., 2009). Com base na remoção da turbidez, os resultados obtidos nos ensaios de coagulação e flocação para a determinação da dosagem ótima do Tanfloc SL em cada coleta estão expressos na Figura 5. O tanino apresentou melhor desempenho nas dosagens entre 350 mg L⁻¹ e 650 mg L⁻¹, onde atingiu os níveis de turbidez mais baixos. Essa variação média na dosagem do coagulante (coeficiente de variação de 19%) é atribuída às variações da turbidez da água bruta, a qual apresentou alta dispersão nos resultados evidenciada pelo coeficiente de variação de 21%. A Figura 6 ilustra a turbidez da água bruta e tratada para cada coleta em função dos respectivos percentuais de remoção.

Figura 5 - Determinação da dosagem ótima para cada coleta



Nota: a) coleta 1, b) coleta 2, c) coleta 3, d) coleta 4, e) coleta 5 e f) coleta 6. Fonte: Elaborada pela autora (2021).



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

A Tabela 3 traz os valores da eficiência de remoção da turbidez para cada coleta e as respectivas dosagens de tanino aplicadas, bem como as diferenças estatísticas observadas. A turbidez inicial refere-se a água bruta e a turbidez final refere-se à água tratada com tanino. Em todas as coletas observa-se que a turbidez da água tratada se manteve igual ou abaixo de 5 NTU, suficientemente baixa para promover trocas parciais de água de sistemas de cultivo BFT e promover a manutenção da qualidade da água em relação a este parâmetro, visto que a turbidez da água consiste nas partículas coloidais e material em suspensão (EDDY, 2016).

Tabela 3 - Remoção da turbidez e respectivas dosagens de tanino aplicadas

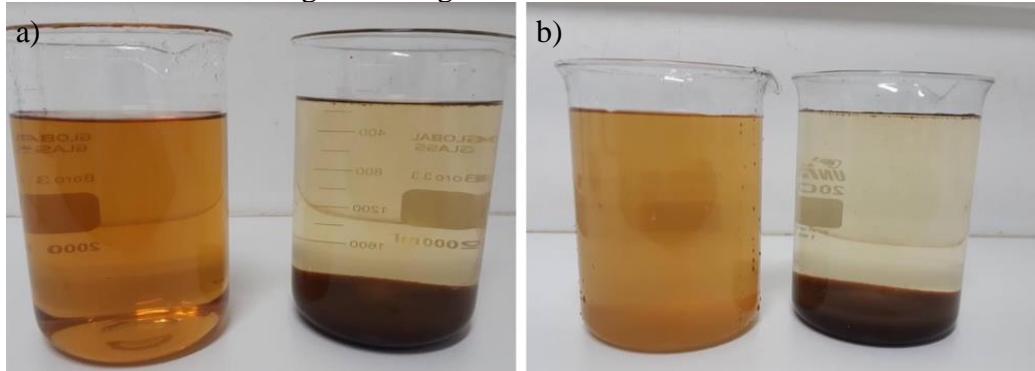
Coleta	Dosagem Tanfloc SL (mg L ⁻¹)	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	Remoção (%)
1	550	25,33±2,08 ^e	4±0 ^{fg}	84,21±0
2	500	40,00±0 ^{cd}	3±0 ^{gh}	92,50±0
3	350	38,33±0,58 ^d	2±0 ^h	94,78±0
4	650	50,00±0 ^a	5±0 ^f	90,00±0
5	500	44,33±0,58 ^b	3±0 ^{gh}	93,23±0
6	500	40,67±0,58 ^c	4±0 ^{fg}	90,16±0
Média	508	39,78^a	3,5^b	90,81

Nota: Letras diferentes nas linhas indicam que, no nível de significância de 5%, há diferença significativa entre as médias. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

A aplicação do coagulante à base de tanino promoveu redução da turbidez ($P<0,05$) em todas as coletas. A máxima eficiência de remoção de turbidez, de 94,78%, foi observada na terceira coleta, onde a aplicação do coagulante foi de 350 mg L^{-1} . Na primeira coleta, a que apresentou menor turbidez inicial, foi constatada a menor eficiência de remoção do parâmetro, de 84,21%. O mesmo foi observado por Sánchez-Martín, González-Velasco e Beltrán-Heredia (2009), onde a eficiência do processo aumentou gradualmente com o aumento da turbidez da água bruta. Parece haver uma relação entre a turbidez inicial e a eficiência do processo. Em níveis abaixo de 20 NTU foi observado aumento na turbidez da água após a coagulação/flocação com a utilização de coagulante natural à base de semente de *Moringa oleifera* (FRANCO et al., 2017).

Quando a quantidade de coloides em suspensão em águas é baixa, o aumento dos sólidos suspensos provenientes do próprio coagulante pode interferir na remoção da turbidez (FRANCO et al., 2017). Esse comportamento também pode ser explicado pelo fato de que os flocos tornam-se mais compactados e mais estáveis à medida que a matéria em suspensão aumenta (SÁNCHEZ-MARTÍN; GONZÁLEZ-VELASCO; BELTRÁN-HEREDIA, 2009). No entanto, a concentração excessiva de sólidos na água bruta também pode ser prejudicial para o processo de coagulação/flocação, uma vez que se em quantidade elevada o cisalhamento entre os flocos tende a aumentar de forma tão intensa que impede a formação de flocos grandes e firmes, fazendo-se necessária a decantação inicial quando a água bruta possui elevado nível de sólidos em suspensão, como é o caso da água de cultivo em bioflocos. A Figura 7 ilustra a aparência da água bruta e tratada nas coletas 1 e 3, as quais obtiveram o pior e o melhor desempenho na remoção de turbidez, respectivamente.

Figura 7 – Água bruta e tratada



Nota: a) água bruta e tratada referente a coleta 1, b) água bruta e tratada referente a coleta 3. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

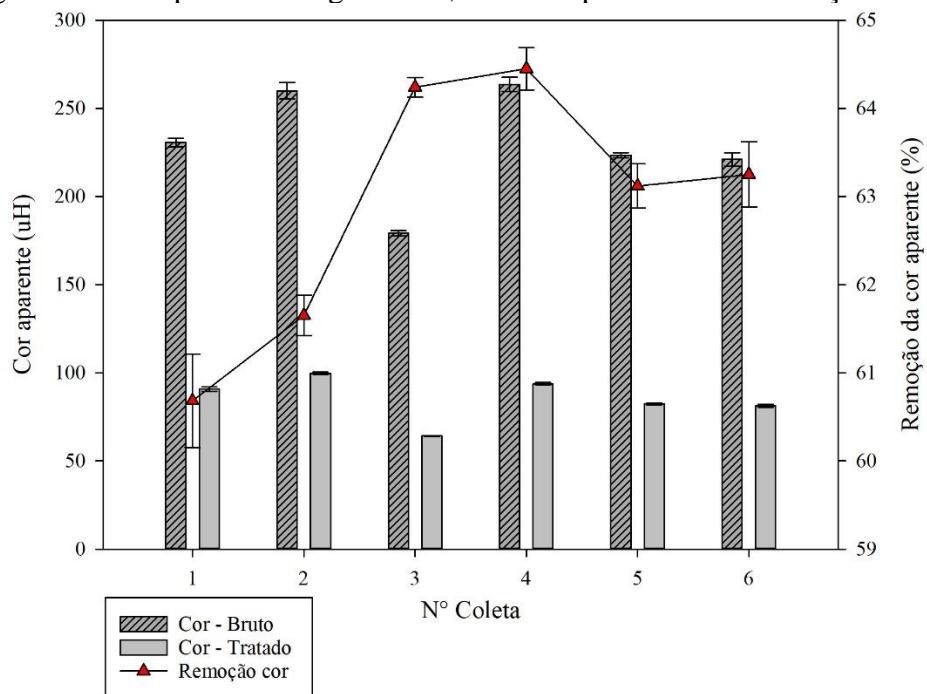
Neste trabalho, em seis ensaios de coagulação e floculação, foi observada a dosagem média de 508 mg L^{-1} para a remoção de 90,81% da turbidez. Essa dosagem média de tanino foi superior à média relatada por outros trabalhos para atingir percentuais de remoção semelhantes. Dela Justina et al. (2018) estudaram a eficiência do tanino como coagulante para o tratamento do efluente da indústria de laticínios e constataram que a dosagem de 300 mg L^{-1} foi responsável pelo melhor desempenho para a remoção de turbidez, atingindo a eficiência de remoção de 89,40%. Em um estudo realizado por Beltrán-Heredia e Sánchez-Martín (2009) foi possível observar remoção quase total da turbidez com dosagens de tanino próximas a 100 mg L^{-1} para águas residuais municipais. Em contrapartida, Hameed et al. (2016) constataram que com apenas 35 mg L^{-1} de tanino foi possível remover cerca de 90% da turbidez de águas residuais municipais e o mesmo apresentou vantagens em relação ao tamanho dos flocos quando comparado à um coagulante inorgânico. A composição da água é um dos parâmetros que influencia o processo de coagulação, onde dosagem do coagulante empregado varia para cada tipo de água ou efluente em particular (ŠĆIBAN et al., 2009). É importante ressaltar que no presente estudo não foi empregada a filtração ao final do processo a fim de avaliar a eficiência unicamente do tanino, pois de acordo com Sánchez-Martín, Beltrán-Heredia e Solera-Hernández (2010), a filtração melhorou a remoção de sólidos em suspensão, turbidez e o processo como um todo em um estudo utilizando o Tanfloc para o tratamento de águas residuais municipais.

3.4.3 Avaliação dos parâmetros de qualidade da água

3.4.3.1 Cor aparente

A Figura 8 ilustra a cor aparente da água bruta e tratada para cada coleta em função dos respectivos percentuais de remoção. A aplicação do tanino garantiu remoção da cor aparente superior a 60% em todas as coletas ($P<0,05$). As maiores remoções de cor aparente foram observadas na terceira e quarta coleta, as quais demandaram a menor e maior dosagem do coagulante, respectivamente. Isso pode ser explicado pelo fato de que na terceira coleta foi observada a menor cor aparente inicial e com isso a baixa dosagem do coagulante foi suficiente para promover boa remoção do parâmetro. Na quarta coleta a cor aparente inicial da água foi a mais alta e consequentemente demandou maior dosagem do coagulante. A Tabela 4 traz os resultados encontrados para remoção da cor aparente em cada coleta e as respectivas dosagens de coagulante aplicadas, bem como as diferenças estatísticas observadas.

Figura 8 – Cor aparente da água bruta, tratada e percentual de remoção



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Tabela 4 - Remoção da cor aparente e respectivas dosagens de tanino aplicadas

Coleta	Dosagem Tanfloc SL (mg L ⁻¹)	Cor inicial (uH)	Cor final (uH)	Remoção (%)
1	550	230,67±2,38 ^b	90,70±1,23 ^f	60,68±0,53
2	500	260,00±4,58 ^a	99,70±0,61 ^e	61,65±0,23
3	350	179,23±1,52 ^d	64,10±0,20 ^h	64,24±0,11
4	650	263,67±4,04 ^a	93,73±0,64 ^{ef}	64,45±0,24
5	500	223,50±1,32 ^c	82,43±0,57 ^g	63,12±0,25
6	500	221,03±3,75 ^c	81,23±0,81 ^g	63,25±0,37
Média	508	229,68^a	85,32^b	62,90

Nota: Letras diferentes nas linhas indicam que, no nível de significância de 5%, há diferença significativa entre as médias. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Considerando-se a remoção média, foi necessária a dosagem de 508 mg L⁻¹ do coagulante para a remoção média de 62,90%. Assim como no parâmetro turbidez, a menor eficiência para a remoção da cor aparente foi na primeira coleta. Nas três primeiras coletas foi possível observar o aumento da eficiência de remoção da cor com a diminuição da dosagem do coagulante. O mesmo foi observado por Dela Justina et al. (2018), onde o tanino apresentou melhor desempenho para remoção da cor em baixas concentrações (100, 200 e 300 mg L⁻¹) do que em altas concentrações (400, 500 e 600 mg L⁻¹) em comparação ao PAC para o tratamento do efluente de indústria de laticínios. Devido a coloração marrom do tanino, à medida que sua concentração na água aumenta, a cor torna-se mais intensa e isso também pode contribuir para

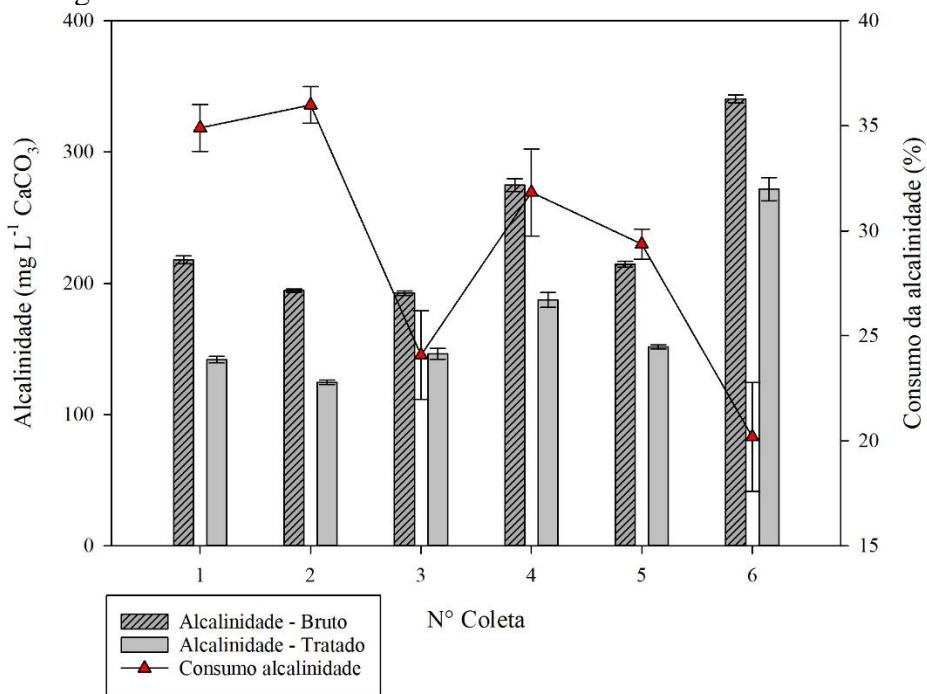
o maior valor da cor em doses mais altas de tanino, refletindo na remoção do parâmetro (OLIVEIRA et al., 2013).

A remoção média da cor aparente encontrada no presente estudo (62,90%) foi inferior ao relatado por outros autores ao aplicar tanino no tratamento de diferentes tipos de efluentes. Por exemplo, Dos Santos et al. (2018) observaram remoção da cor superior a 77% para águas residuais de processamento de mandioca utilizando coagulantes naturais à base de tanino extraídos da casca da acácia negra. Ibrahim e Yaser (2019) avaliaram o efeito da aplicação do tanino para a remoção da cor de lixiviado de aterro sanitário e constataram que a melhor remoção de cor alcançada foi de 75,8% na taxa de dosagem de 100 mg L⁻¹ de tanino. Para o efluente de galvanoplastia, Vaz et al. (2010) observaram que 400 mg L⁻¹ foi responsável por 96,77% de remoção da cor utilizando coagulante comercial à base de tanino vegetal. Lopes et al. (2019) aplicaram coagulante à base de tanino para a descoloração de efluente sintético da indústria têxtil e observaram que 180 mg L⁻¹ foi responsável pela descoloração completa do efluente. Ainda assim, a remoção da cor constatada no presente estudo viabiliza que a água após o tratamento seja utilizada em trocas parciais de água em sistema de cultivo BFT, pois a cor da água tratada foi inferior ($P<0,05$) a da água bruta em todas as coletas.

3.4.3.2 Alcalinidade e pH

A Figura 9 ilustra a alcalinidade da água bruta e tratada com tanino, bem como o percentual de consumo da alcalinidade para cada coleta. O uso do coagulante a base de tanino promoveu consumo da alcalinidade ($P<0,05$) em todas as coletas, onde foi possível observar o decréscimo do consumo de acordo com o decréscimo da dosagem do coagulante. A Tabela 5 traz os valores do consumo da alcalinidade para cada coleta, as respectivas dosagens de tanino aplicadas e as diferenças estatísticas observadas.

Figura 9 - Consumo da alcalinidade nas diferentes coletas



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Tabela 5 - Consumo da alcalinidade e respectivas dosagens de tanino aplicadas

Coleta	Dosagem Tanfloc SL (mg L⁻¹)	Alcalinidade inicial (mg L⁻¹ CaCO₃)	Alcalinidade final (mg L⁻¹ CaCO₃)	Consumo da alcalinidade (%)
1	550	217,85±2,92 ^c	141,81±2,43 ^e	34,90±1,11
2	500	194,44±1,18 ^d	124,45±1,69 ^f	35,99±0,87
3	350	192,64±1,74 ^d	146,25±4,08 ^e	24,08±2,12
4	650	274,76±4,98 ^b	187,29±5,68 ^d	31,83±2,07
5	500	214,56±2,19 ^c	151,53±1,54 ^e	29,37±0,72
6	500	340,40±3,09 ^a	271,67±8,81 ^b	20,19±2,59
Média	508	239,11^a	170,50^b	29,40

Nota: Letras diferentes nas linhas indicam que, no nível de significância de 5%, há diferença significativa entre as médias. Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Considerando-se a média geral, 508 mg L⁻¹ de tanino foi responsável por um consumo de alcalinidade inferior a 30%. Esse consumo é constatado porque o tanino é um polifenol, que é um ácido fraco. A queda da alcalinidade observada no presente estudo pode ser considerada adequada, visto que Skoronski et al. (2014) estudaram a aplicação do tanino no tratamento de água para abastecimento e constataram que o consumo da alcalinidade variou entre 10,8 e 37,5% aplicando dosagens de tanino entre 1 e 10 mg L⁻¹. Outra observação importante é que apesar do consumo, a alcalinidade da água tratada permaneceu dentro do recomendado para sistemas BFT, que é superior a 100 mg L⁻¹ (EMERENCIANO et al., 2017). É válido destacar que uma das vantagens do uso do tanino é o seu consumo de alcalinidade inferior aos

coagulantes convencionais à base de ferro e alumínio. No estudo realizado por Schmitt, Rodrigues e Oliveira (2021), foi constatado que 50 mg L⁻¹ de tanino no tratamento de água para abastecimento consumiu cerca de 14% da alcalinidade da água, em contraste com o sulfato de alumínio [Al₂(SO₄)₃] que na mesma concentração consumiu cerca de 80%. Neste mesmo estudo, foi observado que a aplicação do tanino em dosagens variando entre 5 e 50 mg L⁻¹ não alterou de forma significativa o pH da água tratada. Já com o uso do sulfato de alumínio, foi observada redução significativa do pH a partir da adição da primeira concentração (SCHMITT; RODRIGUES; OLIVEIRA, 2021). Na Tabela 6 é possível observar os valores de pH da água bruta e tratada em cada coleta, bem como as respectivas dosagens de tanino aplicadas e o percentual de queda do pH.

Tabela 6 - Queda do pH e respectivas dosagens de tanino aplicadas

Coleta	Dosagem Tanfloc SL (mg L ⁻¹)	pH inicial	pH final	Queda do pH (%)
1	550	8,29±0,04 ^a	7,84±0,01 ^c	5,51±0,07
2	500	8,22±0,01 ^a	7,02±0,05 ^f	14,60±0,56
3	350	7,97±0,06 ^{bc}	7,63±0,06 ^d	4,18±0,72
4	650	8,20±0,00 ^a	7,60±0,10 ^d	7,32±1,22
5	500	8,10±0,00 ^{ab}	7,30±0,17 ^e	9,88±2,14
6	500	8,10±0,00 ^{ab}	7,47±0,06 ^e	7,82±0,71
Média	508	8,15^a	7,48^b	8,22

Nota: Letras diferentes nas linhas indicam que, no nível de significância de 5%, há diferença significativa entre as médias. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Devido à queda da alcalinidade, o uso do tanino promoveu redução do pH da água ($P<0,05$) em todas as coletas. Considerando-se a média geral, 508 mg L⁻¹ de tanino foi responsável por aproximadamente 8% de queda no valor do pH. Devido as altas dosagens de tanino utilizadas no presente estudo, a queda do pH pode ser considerada baixa. Além disso, o pH da água após o tratamento permaneceu na faixa recomendada para sistemas de cultivo BFT em todas as coletas, que é de 6,8 a 8 (EMERENCIANO et al., 2017).

O pH inicial da água permaneceu em torno de 8 e por isso optou-se por trabalhar com o pH natural, sem adição de produtos químicos, pois de acordo com Beltrán-Heredia, Sánchez-Martín e Gómez-Muñoz (2010) a eficiência do tanino é estável na faixa de pH de 4 a 9. O pH de operação do Tanfloc SL é de 4 a 8 (TANAC SA, 2012). Com a ampla faixa de pH de atuação do tanino, a necessidade de correção do mesmo pode ser suprimida (SKORONSKI et al., 2014). Dela Justina et al. (2018) constataram que o tanino apresentou alto desempenho para remoção de cor e turbidez em uma faixa de pH mais ampla do que o PAC. O mesmo foi observado por

Lopes et al. (2019) ao comparar tanino com sulfato de ferro para o tratamento de efluentes têxteis sintéticos.

3.4.3.3 Demanda química de oxigênio (DQO)

A demanda química de oxigênio (DQO) pode ser definida como a demanda de oxigênio do material orgânico presente na água residuária que pode ser oxidada quimicamente em solução ácida. A DQO solúvel é obtida através da filtração, representando o material orgânico dissolvido na amostra (EDDY, 2016). A Tabela 7 traz os resultados obtidos para a DQO total e solúvel para as amostras de água bruta e tratada para cada coleta e as diferenças estatísticas encontradas.

Tabela 7 – DQO total e solúvel para água bruta e tratada

Coleta	Dosagem Tanfloc SL (mg L ⁻¹)	DQO Total (mg O ₂ L ⁻¹)		DQO Solúvel (mg O ₂ L ⁻¹)	
		Inicial	Final	Inicial	Final
1	550	125,75±6,94 ^{bc}	137,20±31,64 ^b	156,32±12,81 ^b	199,52±16,39 ^a
2	500	222,29±19,52 ^a	191,21±34,61 ^a	110,26±14,64 ^d	133,47±1,93 ^{bcd}
3	350	103,86±7,36 ^{bcd}	65,13±9,76 ^{de}	71,55±13,87 ^f	75,29±9,22 ^{ef}
4	650	125,58±0,79 ^{bc}	118,14±13,45 ^{bc}	119,11±9,86 ^{cd}	112,37±8,07 ^d
5	500	79,63±3,58 ^{cde}	54,65±8,53 ^e	124,35±12,81 ^{cd}	102,89±7,85 ^{de}
6	500	134,11±7,23 ^b	139,97±9,24 ^b	131,75±5,80 ^{bcd}	144,07±0,74 ^{bc}
Média	508	131,87^a	117,72^b	118,89^b	127,93^a

Nota: Letras diferentes nas linhas indicam que, no nível de significância de 5%, há diferença significativa entre as médias. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Não foi observada diferença significativa ($P>0,05$) para DQO total em nenhuma coleta, ou seja, a aplicação do tanino nas concentrações aplicadas não foi capaz de remover o parâmetro considerando cada coleta individualmente. Isso também foi observado para a DQO solúvel, exceto na primeira coleta, onde o uso do tanino promoveu o aumento do parâmetro ($P<0,05$). Esse resultado era esperado, uma vez que nesta coleta foi constada a pior remoção de cor e turbidez. Considerando as médias entre todas as coletas, o tanino removeu a DQO total ($P<0,05$), porém, promoveu aumento da DQO solúvel ($P<0,05$). Esses resultados eram esperados devido às altas dosagens requeridas e a natureza orgânica no coagulante, o que comprova que alguma fração permaneceu dissolvida na água. A redução da DQO seria interessante pois poderia reduzir a demanda de oxigênio no ambiente de cultivo, no entanto, os tanques de cultivo BFT são supridos com fontes de carbono orgânico para manter a relação

C:N. O incremento orgânico na água devido fração do coagulante que permaneceu dissolvida não é visto como fator limitante para o retorno da água tratada aos tanques de cultivo.

Um fato semelhante foi observado por Lopes et al. (2019) ao utilizar tanino para o tratamento de efluentes têxteis sintéticos, onde foi constatado que a remoção de DQO total diminuiu com o aumento da dosagem do coagulante para águas residuais. Além disso, em algumas condições o teor da DQO total final foi superior ao inicial, sendo uma indicação da presença residual de coagulante na água tratada (LOPES et al., 2019). Dela Justina et al. (2018) observaram que apenas na concentração de 100 mg L⁻¹ o tanino foi responsável por uma maior remoção de DQO total do que o PAC. Em concentrações mais elevadas o PAC foi mais eficiente. Para Hameed et al. (2016), o uso do tanino acima de 40 mg L⁻¹ para o tratamento de águas residuais municipais causou decréscimo significativo na remoção da DQO total. Os autores apontaram que pode ser devido ao resíduo do tanino na água, o qual pode atuar como poluente orgânico. No entanto, Couto Junior, Barros e Pereira (2013) encontraram bons resultados para remoção de DQO total utilizando o tanino mesmo em dosagens mais altas para o tratamento de efluente têxtil. Esta divergência de resultados para o parâmetro em questão também pode ser devido às particularidades na composição de cada água ou efluente (DELA JUSTINA et al., 2018).

3.4.3.4 Conteúdo fenólico

Ainda que o Tanfloc possua natureza condensada, é importante a verificação se a adição do coagulante conferiu residuais de fenóis ou taninos hidrolisáveis na água após o tratamento. Os resultados encontrados para estas análises estão expressos nas Tabelas 8 e 9, bem como as diferenças estatísticas encontradas. Não foram encontradas diferenças ($P>0,05$) para tanino residual em equivalente de ácido gálico e ácido tântico na água tratada, exceto nas coletas um e seis, onde o uso do coagulante reduziu de forma significativa o parâmetro. Essa redução pode ter acontecido ocasionalmente com a remoção dos coloides e sólidos em suspensão que são o alvo da coagulação/flocação. Os níveis iniciais elevados de taninos na água bruta podem ser explicados pela adição do melaço como fonte de carbono orgânico do sistema de cultivo BFT. Os resultados encontrados no presente estudo concordam com Beltrán-Heredia e Sánchez-Martín (2009), que observaram que a aplicação da dosagem ótima do tanino no tratamento de águas residuais municipais não conferiu residuais de polifenol hidrolisável em equivalente de ácido tântico na água tratada. Sánchez-Martín, González-Velasco e Beltrán-Heredia (2009)

também constataram que os níveis de taninos na água tratada permaneceram constantes mesmo com a adição de coagulante à base de tanino para o tratamento da água de manancial superficial.

Tabela 8 - Taninos hidrolisáveis em equivalente de ácido gálico e ácido tântico para água bruta e tratada

Coleta	Dosagem Tanfloc SL (mg L ⁻¹)	Ácido gálico (mg L ⁻¹)		Ácido tântico (mg L ⁻¹)	
		Inicial	Final	Inicial	Final
1	550	13,76±0,66 ^a	11,43±0,20 ^{bc}	20,57±0,97 ^a	16,92±0,26 ^{bc}
2	500	11,98±1,06 ^{ab}	10,45±0,55 ^{bc}	17,99±1,64 ^b	15,56±0,82 ^{bcd}
3	350	7,76±0,63 ^{de}	7,46±0,14 ^e	11,50±0,99 ^e	10,89±0,89 ^e
4	650	11,27±0,37 ^{bc}	10,70±1,21 ^{bc}	16,75±0,65 ^{bcd}	17,11±0,79 ^{bc}
5	500	10,37±0,07 ^{bc}	9,72±0,62 ^{cd}	15,49±0,07 ^{cd}	14,45±0,97 ^d
6	500	13,81±0,25 ^a	11,52±1,03 ^{bc}	20,64±0,40 ^a	16,27±0,15 ^{bcd}
Média	508	11,49^a	10,21^b	17,16^a	15,50^b

Nota: Letras diferentes nas linhas indicam que, no nível de significância de 5%, há diferença significativa entre as médias. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Tabela 9 - Níveis de fenol para água bruta e tratada em cada coleta

Coleta	Dosagem Tanfloc SL (mg L ⁻¹)	Fenol inicial (mg L ⁻¹)	Fenol final (mg L ⁻¹)
1	550	0,50±0,02 ^{bc}	0,25±0,05 ^{fg}
2	500	0,57±0,05 ^b	0,27±0,03 ^{fg}
3	350	0,33±0,02 ^{def}	0,19±0,06 ^g
4	650	0,42±0,03 ^{cd}	0,30±0,05 ^{efg}
5	500	0,50±0,03 ^{bc}	0,41±0,04 ^{cde}
6	500	0,68±0,00 ^a	0,25±0,02 ^{fg}
Média	508	0,50^a	0,28^b

Nota: Letras diferentes nas linhas indicam que, no nível de significância de 5%, há diferença significativa entre as médias. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

O uso do tanino não alterou o nível de fenol da água tratada na coleta cinco ($P>0,05$). Nas demais coletas foi possível observar redução do parâmetro ($P<0,05$) após o tratamento. Esses resultados estão de acordo com Skoronski et al. (2014), onde não foi detectada concentrações significativas de compostos fenólicos na água após o tratamento com tanino. No presente estudo, ainda que em concentrações elevadas do coagulante, não foi possível observar incremento do parâmetro na água e sim a sua redução. Níveis de fenol na água podem influenciar no desenvolvimento dos ovários e na função reprodutiva de peixes (GUO et al., 2021), onde a redução desse contaminante orgânico no ambiente de cultivo é importante para manter os animais saudáveis. Os níveis de fenol iniciais podem ser explicados pelo fato de que em sistemas de cultivo em bioflocos a renovação de água é limitada, fazendo com que esse composto orgânico se acumule na água.

3.4.3.5 Fosfato, nitrito e nitrato

A Tabela 10 traz os resultados obtidos para os níveis de fosfato ($P-PO_4^{3-}$) da água bruta e tratada em cada coleta e as respectivas remoções e diferenças estatísticas observadas. Em sistemas aquícolas, os sólidos dissolvidos na água consistem em nitrogênio e fósforo que se originam na alimentação dos peixes, pois apenas 25 a 30% desses nutrientes fornecidos nas dietas alimentares e fertilizantes é aproveitado para a formação da biomassa dos animais em cultivo e o restante fica retido no sedimento dos viveiros ou é eliminado pelo efluente (AHMAD et al., 2021; CASILLAS-HERNÁNDEZ et al., 2006; MOURA E SILVA; LOSEKANN; HISANO, 2013).

Tabela 10 - Remoção do fosfato e respectivas dosagens de tanino aplicadas

Coleta	Dosagem Tanfloc SL (mg L ⁻¹)	Fosfato inicial (mg L ⁻¹ P-PO ₄ ³⁻)	Fosfato final (mg L ⁻¹ P-PO ₄ ³⁻)	Remoção (%)
1	550	8,78±0,09 ^{def}	7,63±0,20 ^{efg}	13,10±2,29
2	500	9,87±0,18 ^{cd}	8,79±0,21 ^{def}	11,01±2,08
3	350	9,24±0,85 ^{de}	8,29±0,45 ^{def}	10,32±4,91
4	650	12,37±0,08 ^b	10,39±0,93 ^{bcd}	16,00±7,53
5	500	15,15±1,61 ^a	11,39±1,30 ^{bcd}	24,82±8,59
6	500	6,92±0,10 ^{fg}	5,86±0,17 ^g	15,33±2,46
Média	508	10,39^a	8,72^b	15,10

Nota: Letras diferentes nas linhas indicam que, no nível de significância de 5%, há diferença significativa entre as médias. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Para o parâmetro fosfato, houve diferença ($P<0,05$) entre água bruta e tratada com tanino apenas na coleta 5, onde o uso do coagulante reduziu significativamente a quantidade de fosfato da água. Nas demais coletas, ainda que não tenha sido possível observar diferenças significativas para o parâmetro, foi possível observar alguma remoção. A remoção média de fosfato foi de 15,10% para as seis coletas realizadas. O processo de coagulação/flocação não possui como premissa a remoção de nutrientes e partículas dissolvidas, no entanto a remoção de fosfato constatada no presente estudo é de extrema importância, pois ajuda a evitar a proliferação excessiva de microalgas que habitam parcialmente os bioflocos. Além disso, quando lançados na forma de efluentes na natureza, compostos fosfatados e nitrogenados podem causar a eutrofização dos corpos hídricos (AHMAD et al., 2021), fazendo-se necessária a sua remoção. A utilização de coagulante a base de tanino se mostrou promissora para remoção de fosfato, auxiliando na redução de poluentes produzidos pelos sistemas de produção aquícola.

Resultados semelhantes ao presente estudo foram observados por Hameed et al. (2018), onde a utilização do tanino removeu 18% de fosfato no pré-tratamento de águas residuais municipais. Os autores atribuíram que essa remoção foi obtida accidentalmente pela remoção dos sólidos, pois alguns sólidos de águas residuais contêm fosfato devido aos resíduos alimentícios e corporais (HAMEED et al., 2018). Em contrapartida, Ebeling, Welsh e Rishel (2006) obtiveram bons resultados na remoção de fósforo (superior a 90%) utilizando sulfato de alumínio para o tratamento do efluente gerado pela retrolavagem de filtros de sistemas de recirculação de aquicultura. Isso pode ser explicado pela precipitação química do fósforo com sais de alumínio ou ferro (EDDY, 2016). Neste estudo, os níveis de fosfato para a água tratada estão dentro da faixa recomendada por Emerenciano et al. (2017) para sistemas de cultivo BFT, que é de 0,5 a 20 mg L⁻¹.

Em sistemas de cultivo BFT, parte da amônia excretada pelos animais é incorporada na forma de biomassa microbiana heterotrófica e parte é oxidada a nitrito e a nitrato pelas comunidades de bactérias autotróficas formadoras dos bioflocos. A Tabela 11 traz os resultados obtidos para os parâmetros nitrito e nitrato para a água bruta e tratada com tanino em cada coleta. Devido a solubilidade, não foi possível observar redução ($P>0,05$) para o parâmetro nitrato com o uso do tanino em nenhuma coleta. A acumulação do nitrato na água de cultivo em sistemas BFT é esperada e os resultados encontrados no presente estudo comprovam a ação das bactérias autotróficas nitrificantes, onde o produto da oxidação é o nitrato. Além disso, o nitrato pode ser considerado pouco tóxico para tilápias (GARCÍA-RÍOS et al., 2019), o que viabiliza o retorno da água aos tanques de cultivo.

Tabela 11 - Nitrito e nitrato e respectivas dosagens de tanino aplicadas

Coleta	Dosagem Tanfloc SL (mg L ⁻¹)	Nitrito (mg L ⁻¹ N-NO ₂ ⁻)		Nitrato (mg L ⁻¹ N-NO ₃ ⁻)	
		Inicial	Final	Inicial	Final
1	550	<0,5	<0,5	24,51±0,66 ^{bc}	24,59±1,05 ^{bc}
2	500	<0,5	<0,5	30,40±0,55 ^a	30,90±0,62 ^a
3	350	<0,5	<0,5	29,70±0,72 ^a	28,20±2,34 ^{ab}
4	650	<0,5	<0,5	29,73±0,78 ^a	30,12±0,72 ^a
5	500	<0,5	<0,5	26,72±0,81 ^{abc}	22,42±4,83 ^{cd}
6	500	2,56±0,10 ^a	2,66±0,17 ^a	17,70±0,48 ^d	17,53±0,82 ^d
Média	508	-	-	26,46^a	25,63^a

Nota: Letras diferentes nas linhas indicam que, no nível de significância de 5%, há diferença significativa entre as médias. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

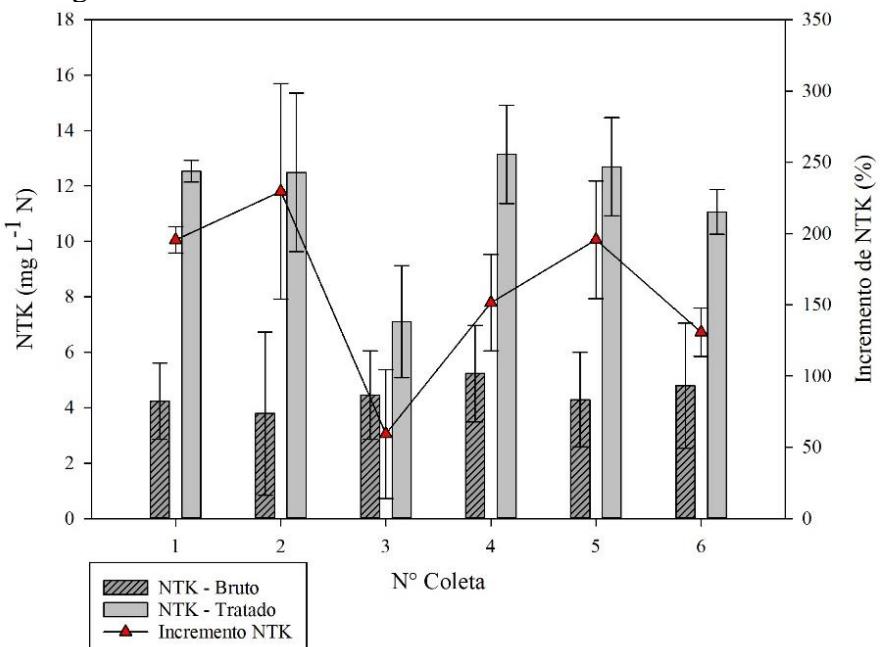
O nitrito permaneceu abaixo de 0,5 mg L⁻¹ em todas as coletas, exceto na última, na qual foi observado aumento na concentração do parâmetro. Isso pode ser explicado devido ao fato

de a coleta ter sido realizada próxima à troca de aeradores do sistema, onde é muito provável que houve uma desestabilização da microbiota formadora dos bioflocos. Os baixos valores de nitrito eram esperados, uma vez que uma das características mais importantes dos sistemas de cultivo BFT é a conversão de compostos nitrogenados tóxicos como a amônia e o nitrito por meio da ação das bactérias autotróficas nitrificantes e assimilação bacteriana heterotrófica (LUO; XU; MENG, 2020).

3.4.3.6 Nitrogênio total Kjeldahl (NTK)

O nitrogênio total Kjeldahl é o total de amônia mais nitrogênio orgânico de uma amostra. A fração orgânica pode estar na forma solúvel ou particulada e consiste em uma mistura complexa de aminoácidos, açúcares aminados e proteínas (EDDY, 2016). Figura 10 traz os resultados obtidos para o NTK para a água bruta e tratada em cada coleta, bem como o percentual de incremento observado.

Figura 10 - Incremento de NTK nas diferentes coletas



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

A Tabela 12 traz os valores do incremento de NTK para cada coleta e as respectivas dosagens de tanino aplicadas.

Tabela 12 - Nitrogênio Total Kjeldahl

Coleta	Dosagem Tanfloc SL (mg L ⁻¹)	NTK inicial (mg L ⁻¹)	NTK final (mg L ⁻¹)	Incremento NTK (%)
1	550	4,24±1,37 ^c	12,53±0,39 ^{ab}	195,59±9,28
2	500	3,79±2,94 ^c	12,49±2,86 ^{ab}	229,56±75,47
3	350	4,46±1,59 ^c	7,11±2,02 ^{bc}	59,41±45,19
4	650	5,23±1,74 ^c	13,14±1,77 ^a	151,43±33,90
5	500	4,29±1,70 ^c	12,69±1,77 ^{ab}	195,65±41,27
6	500	4,80±2,25 ^c	11,07±0,81 ^{ab}	130,74±16,89
Média	508	4,47^b	11,50^a	160,40

Nota: Letras diferentes nas linhas indicam que, no nível de significância de 5%, há diferença significativa entre as médias. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Foi possível observar aumento ($P<0,05$) de NTK na água tratada em todas as coletas, exceto na coleta 3, na qual foi aplicada a menor dosagem de tanino. Considerando-se as médias de todas as coletas para água bruta e tratada, houve diferença significativa ($P<0,05$) para o parâmetro NTK. Esse elevado incremento de NTK à água tratada pode ser explicado pelo fato de que como o tanino condensado possui natureza aniônica, precisa passar por uma modificação química para obter características catiônicas e atuar como coagulante (IBRAHIM; YASER; LAMAMING, 2021) e o mecanismo responsável pela cationização dos taninos é conhecido por reação de Mannich (BELTRÁN-HEREDIA; SÁNCHEZ-MARTÍN; GÓMEZ-MUÑOZ, 2010). Essa reação envolve a polimerização do tanino pela adição de formaldeído (CH_2O), cloreto de amônio (NH_4Cl) e ácido clorídrico (HCl). É nesta mistura, agitada e aquecida, que o extrato de taninos é adicionado e permanece por várias horas, até que se obtenha uma mistura viscosa com cerca de 40% de sólidos. Para produzir o Tanfloc na forma de pó, esta mistura é submetida a evaporação (HAMEED et al., 2018; SÁNCHEZ-MARTÍN; GONZÁLEZ-VELASCO; BELTRÁN-HEREDIA, 2009). O cloreto de amônio (NH_4Cl) possivelmente foi detectado na análise. Os resultados encontrados no presente estudo para o parâmetro NTK, aliado aos resultados obtidos para a DQO solúvel, comprovam que algum residual de Tanfloc permaneceu na água tratada, principalmente em dosagens mais altas.

Lopes et al. (2019) caracterizaram o Tanfloc com relação ao carbono orgânico e nitrogênio e os resultados indicaram níveis de 40% e 9,2%, respectivamente. Hameed et al. (2016) submeteram o Tanfloc a espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDX) e constaram a presença de 32% de carbono, 11% de nitrogênio e 13% de cloretos, indicando a presença do cloreto de amônio. A quantidade de nitrogênio pode ser um indicativo do grau de cationinização da síntese dos coagulantes à base de taninos (HAMEED et al., 2016; LOPES et al., 2019).

3.4.3.7 Sólidos suspensos totais (SST), sólidos dissolvidos totais (SDT) e condutividade

Em sistemas de cultivo BFT, a biomassa bacteriana, restos de alimentos não consumidos e excretas dos animais refletem nos sólidos suspensos totais (SST). É importante ressaltar que no presente estudo a água considerada bruta foi submetida a decantação prévia de 30 minutos a fim de remover os sólidos passíveis de sedimentação. Os resultados obtidos para o SST da água bruta e tratada, bem como os respectivos percentuais de remoção em cada coleta e diferenças estatísticas observadas estão expressos na Tabela 13. Foi possível observar diferença significativa ($P<0,05$) entre água bruta e tratada com tanino nas coletas 2, 3 e 6. Na demais coletas, ainda que não pode ser observada diferença significativa, constatou-se a remoção do parâmetro. Assim como para a turbidez, a pior eficiência de remoção para SST foi constatada na primeira coleta.

Tabela 13 - Sólidos Suspensos Totais

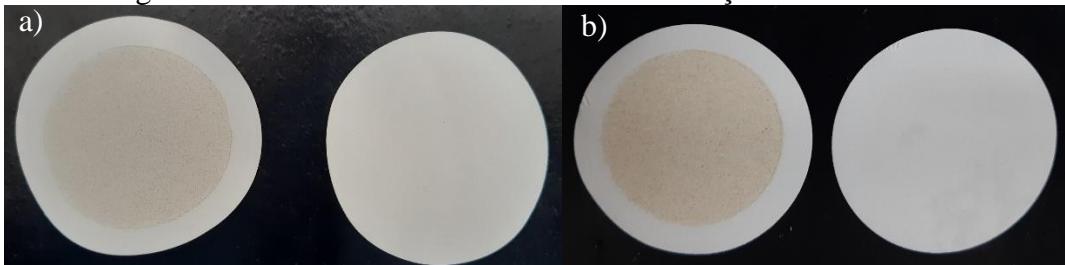
Coleta	Dosagem Tanfloc SL (mg L ⁻¹)	SST inicial (mg L ⁻¹)	SST final (mg L ⁻¹)	Remoção SST (%)
1	550	46,54±12,89 ^{bc}	26,06±2,22 ^{bcd}	44,01±4,77
2	500	55,00±8,83 ^{ab}	9,52±2,22 ^{de}	82,69±4,04
3	350	44,02±15,65 ^{bcd}	4,09±0,11 ^e	90,72±0,24
4	650	39,26±2,91 ^{bcd}	10,49±4,38 ^{de}	73,27±11,15
5	500	53,70±6,73 ^{bc}	18,40±2,34 ^{cde}	65,74±4,35
6	500	89,93±34,36 ^a	7,73±3,81 ^e	91,40±4,23
Média	508	54,74^a	12,72^b	74,64

Nota: Letras diferentes nas linhas indicam que, no nível de significância de 5%, há diferença significativa entre as médias. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Considerando-se as médias de todas as coletas, houve diferença significativa ($P<0,05$) para o parâmetro SST com o uso do tanino e a remoção média foi de 74,64%. O nível máximo de SST recomendado para tilápias é de 500 mg L⁻¹ (HARGREAVES, 2013), então a remoção de SST encontrada no presente estudo pode ser considerada adequada para trocas parciais de água em sistemas BFT, uma vez que a água tratada retornará aos tanques com o objetivo de promover o controle de sólidos no ambiente de cultivo. A Figura 11 ilustra as membranas utilizadas na filtração para a determinação do parâmetro nas coletas 1 e 6, onde foi possível observar a pior e a melhor remoção do parâmetro, respectivamente. O controle de SST nos sistemas BFT é de suma importância, pois altos níveis afetam o consumo de oxigênio dissolvido e podem levar a oclusão das brânquias dos animais em cultivo (EMERENCIANO et al., 2017). Além disso, a diminuição de SST favorece o funcionamento do sistema BFT, uma vez que

reduz obstruções em canos, tubos e filtros, onde o uso do coagulante a base de tanino se mostrou promissor para redução do parâmetro.

Figura 11 – Membranas utilizadas na determinação de SST



Nota: a) SST para bruto e tratado referente a coleta 1; b) SST para bruto e tratado referente a coleta 6.

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Devido ao fato de a turbidez estar diretamente correlacionada com SST em sistemas BFT (SCHVEITZER et al., 2013), era esperado comportamento semelhante na remoção de ambos os parâmetros. A divergência encontrada no presente estudo, tanto para o percentual de remoção quanto para as diferenças estatísticas entre água bruta e tratada (para a turbidez foi constatada remoção média de 90,81% e diferença significativa em todas as coletas), pode ser explicada devido ao fato de ter sido utilizado membranas de filtração com porosidade de 0,45 μm para a determinação do SST. Esta porosidade pode ter permitido a passagem de alguma parte de sólidos que foram expressos na turbidez (GALASSO, 2014). A mesma divergência foi observada por Galasso (2014) ao estudar flotação por ar dissolvido para a remoção de SST de sistema de cultivo BFT, onde foi utilizada membrana de filtração com porosidade de 0,60 μm e constatou-se eficiência de remoção média de 40% para SST e 80,19% para a turbidez.

De acordo com Eddy (2016), a fração de sólidos do material filtrado que passa por filtros com porosidade igual ou menor do que 1,2 μm é classificada como sólidos dissolvidos. Os resultados encontrados no presente estudo para a água bruta e tratada com tanino e as respectivas diferenças estatísticas encontradas para os sólidos dissolvidos totais (STD) estão expressos na Tabela 14.

Tabela 14 - Sólidos Dissolvidos Totais

Coleta	Dosagem Tanfloc SL (mg L^{-1})	STD inicial (mg L^{-1})	STD final (mg L^{-1})
1	550	$3882,61 \pm 367,61^{\text{c}}$	$4060,05 \pm 77,56^{\text{bc}}$
2	500	$3979,72 \pm 32,22^{\text{bc}}$	$4273,28 \pm 100,43^{\text{b}}$
3	350	$2669,58 \pm 26,26^{\text{d}}$	$2655,95 \pm 15,24^{\text{d}}$
4	650	$3970,94 \pm 2,67^{\text{bc}}$	$4081,28 \pm 48,13^{\text{bc}}$
5	500	$5208,36 \pm 55,29^{\text{a}}$	$5404,94 \pm 54,72^{\text{a}}$
6	500	$2514,44 \pm 25,53^{\text{d}}$	$2552,43 \pm 42,90^{\text{d}}$

Média	508	3704,27^b	3837,99^a
--------------	------------	----------------------------	----------------------------

Nota: Letras diferentes nas linhas indicam que, no nível de significância de 5%, há diferença significativa entre as médias. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Considerando-se cada coleta em particular, o uso do tanino não alterou se forma significativa ($P>0,05$) o SDT da água. Considerando-se a média de todas as coletas, o SDT da água tratada foi significativamente maior ($P<0,05$) do que para a água bruta. Isso pode ser explicado pelo fato de que o processo de coagulação não possui como premissa a remoção de partículas dissolvidas. Aliado aos resultados de DQO solúvel e NTK, o incremento de SDT observado na água tratada considerando-se a média de todas as coletas apoia o fato de alguma fração de tanino ter ficado dissolvida. Contudo, utilizando concentrações menores de tanino, Thakur e Choubey (2014) observaram remoção de 57,3% de SDT no tratamento de águas superficiais com o respectivo coagulante. Putra, Amri e Ayu (2020) avaliaram o biocoagulante extraído de semente de moringa (*Moringa oleifera*) em comparação ao PAC para o tratamento de água residual sintética e constaram que ambos aumentaram o SDT da água com o aumento da dosagem. Em contrapartida, o coagulante à base de tanino extraído de semente de abacate não alterou de forma significativa o SDT nas dosagens estudadas e neste mesmo estudo um comportamento semelhante foi constatado para o parâmetro condutividade. (PUTRA; AMRI; AYU, 2020).

A condutividade das águas caracteriza-se pela capacidade de conduzir eletricidade em decorrência da presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions (K^+ , Cl^- , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , íons de ferro e manganês) (LIBÂNIO, 2016; RICHTER, 2009). Os resultados encontrados para a condutividade da água bruta e tratada em cada coleta e as respectivas diferenças estatísticas observadas estão expressos na Tabela 15.

Tabela 15 - Condutividade água bruta e tratada

Coleta	Dosagem Tanfloc SL (mg L⁻¹)	Condutividade inicial (µs cm⁻¹)	Condutividade final (µs cm⁻¹)
1	550	4885,33±27,01 ^{cd}	4861,33±40,53 ^{cd}
2	500	4801,00±12,53 ^d	4965,00±14,11 ^{cd}
3	350	3550,33±17,04 ^e	3458,67±313,23 ^e
4	650	5099,67±9,29 ^{bc}	4804,33±35,13 ^{cd}
5	500	5370,00±20,66 ^{ab}	5457,33±8,50 ^a
6	500	3451,33±37,90 ^e	3517,33±16,77 ^e
Média	508	4526,28^a	4510,67^a

Nota: Letras diferentes nas linhas indicam que, no nível de significância de 5%, há diferença significativa entre as médias. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Os altos valores de condutividade iniciais são devido ao fato de a água de cultivo ser ligeiramente salinizada a fim de equilibrar o equilíbrio osmótico dos animais. Os altos valores de SDT também contribuem para os altos valores de condutividade. Para este parâmetro, não houve diferença estatisticamente significativa ($P>0,05$) entre água bruta e tratada com tanino em nenhuma coleta, mesmo quando foram aplicadas dosagens mais altas. Considerando-se as médias de todas as coletas para bruto e tratado, também não houve diferença significativa ($P>0,05$) para o parâmetro. Schmitt, Rodrigues e Oliveira (2021) também constaram que o tanino não alterou de forma significativa a condutividade da água após o tratamento. Dela Justina et al. (2018) avaliaram o efeito do tanino e do PAC na condutividade elétrica no efluente da indústria de laticínios clarificado e constataram que o PAC foi responsável por maior incremento de condutividade em consoante com o aumento da dosagem.

3.4.4 Correlação

Na Tabela 16 estão demonstrados os parâmetros que apresentaram correlação significativa ($P<0,05$) para água bruta. O coeficiente de correlação de Pearson “r” indica que quanto mais próximo de 1 mais fortemente os parâmetros estão correlacionados. O índice “r” negativo representa que os parâmetros são inversamente correlacionados, ou seja, um parâmetro diminui enquanto o outro aumenta.

Tabela 16 - Parâmetros correlacionados significativamente para água bruta

Parâmetros correlacionados	Valor de “r”
Nitrito x Alcalinidade	0,86
SDT x Condutividade	0,95
SDT x Fosfato	0,86
Nitrito x Nitrato	-0,89
Nitrato x SST	-0,85
Nitrito x SST	-0,95
Fenol x SST	0,86
DQO solúvel x Ác. Gálico	0,88
DQO solúvel x Ác. Tânino	0,88
Ác. Gálico x Ác. Tânico	0,99

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Como esperado, os parâmetros alcalinidade e nitrito são fortemente correlacionados, uma vez que a alcalinidade disponível no meio é utilizada pelas bactérias autotróficas nitrificantes (EMERENCIANO et al., 2017), e quanto maior a alcalinidade disponível, maior é a ação das mesmas no processo de oxidação da amônia a nitrito. A correlação entre a DQO

solúvel com ácido gálico e ácido tânico também era esperada, pois estes parâmetros orgânicos que se encontram na forma solubilizada são responsáveis pelo aumento da DQO solúvel. Nitrito e nitrato demonstraram ser inversamente correlacionados com SST, e isso pode ser explicado pelo fato de que nos bioflocos há predominância de bactérias heterotróficas que assimilam a amônia na forma de biomassa bacteriana em relação às bactérias autotróficas nitrificantes (LUO; XU; MENG, 2020). Para a água tratada, a correlação entre os parâmetros nitrito vs. alcalinidade, condutividade vs. SDT e ácido gálico vs. ácido tânico permaneceram significativas. A Tabela 17 expressa os resultados de correlação dos parâmetros para água tratada.

Tabela 17 - Parâmetros correlacionados significativamente para água tratada

Parâmetros correlacionados	Valor de “r”
Nitrito x Alcalinidade	0,92
Condutividade x SDT	0,98
Cor aparente x NTK	0,88
Cor aparente x Ác. TÂNICO	0,82
Turbidez x Ác. TÂNICO	0,90
NTK x Ác. TÂNICO	0,87
Fenol x SDT	0,85
Ác. Gálico x Ác. TÂNICO	0,96

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Após o tratamento, a água passou a apresentar correlação entre os parâmetros cor aparente vs. NTK, cor aparente vs. ácido tânico, turbidez vs. ácido tânico e NTK vs. ácido tânico. No caso da água tratada, a correlação entre estes parâmetros pode ser explicada devido a coloração castanha do ácido tânico que contribui para o aumento dos parâmetros cor aparente e turbidez. Em relação à cor aparente vs. NTK, pode ser explicada devido à dissolução de alguma fração tanino na água, onde apesar da remoção da cor aparente, os resultados de NTK observados evidenciam este fato. Além disso, a correlação entre NTK é ácido tânico pode ser explicada devido à característica dos taninos de se complexar a proteínas.

3.4.5 Avaliação da fitotoxicidade

Testes de germinação de sementes são largamente utilizados para avaliar a fitotoxicidade de efluentes industriais. Dentre as principais vantagens desse tipo de ensaio, pode-se citar: metodologia simples e reproduzível, baixo custo, rápida germinação e é necessário apenas uma pequena quantidade de amostra para a reprodução do ensaio (PRIAC;

BADOT; CRINI, 2017). No presente estudo foi avaliada a fitotoxicidade da água bruta e tratada com coagulante a base de tanino nas coletas que demandaram a maior e menor dosagem a fim de verificar se o seu uso conferiu toxicidade à água tratada. A menor e maior dosagem foram observadas na terceira e quarta coleta, sendo 350 mg L^{-1} e 650 mg L^{-1} , respectivamente. Os resultados encontrados em relação ao efeito de germinação, inibição do crescimento do caule e da raiz e índice de germinação estão expressos na Tabela 18.

Tabela 18 - Índices fitotóxicos das amostras de água bruta e após tratamento com tanino para *Lactuca sativa*

	Controle	B3	T3	B4	T4
Efeito de Germinação (%)	96,00	100,00	94,00	96,00	100,00
Inibição do Crescimento da Raiz (%)	0,00	6,46	3,27	8,68	-26,60
Inibição do Crescimento do Caule (%)	0,00	-44,70	-45,50	-28,68	-48,76
Índice de Germinação (%)	100,00	97,44	94,72	91,32	131,87
Classificação fitotóxica (grau)	1	1	1	1	0

Nota: B3 e T3 correspondem a água bruta e tratada da terceira coleta. B4 e T4 correspondem a água bruta e tratada da quarta coleta. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Evidenciado pela classificação fitotóxica, com base no índice de germinação (GI), não foi constatada alteração na água bruta e tratada com tanino para as amostras de água B3, T3 e B4. Ainda que alguma fração do tanino tenha permanecido dissolvida na água, elucidada pelos resultados anteriores, a classificação da água tratada com tanino para a dosagem de 350 mg L^{-1} , de acordo com Belo (2011) foi de “1”, ou seja, não fitotóxico. A T4, água tratada com a maior dosagem de tanino neste estudo (650 mg L^{-1}), potencializou a germinação e o crescimento da raiz das sementes, evidenciado pela classificação fitotóxica “0”.

De acordo com os índices apresentados na Tabela 17, para as amostras de água B3, T3 e B4 foi observada pequena inibição (inferior a 10%) do crescimento da raiz. Para T4, foi possível observar estímulo do crescimento da raiz. Para todas as amostras testadas foi possível observar estímulo no crescimento do caule. Isso pode ser explicado pela presença de nitrogênio e fósforo nas amostras de água bruta e tratada, constatada nos itens anteriores. Esses nutrientes são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Os resultados sugerem que a água tratada com coagulante à base de tanino vegetal não prejudica o crescimento de vegetais, podendo também ser usada para atividades ligadas a aquaponia. De maneira geral, para a água tratada com tanino na maior dosagem observada neste estudo foi possível constatar benefícios em relação ao efeito de germinação, crescimento raiz, do caule e índice de germinação, evidenciando a não fitotoxicidade da água tratada com tanino mesmo em dosagens mais altas. Na Tabela 19 é possível observar as diferenças e semelhanças estatísticas encontradas em

relação ao número médio de sementes germinadas (\bar{GS}), o comprimento médio da raiz (\bar{RL}) e do caule (\bar{SL}) para cada tratamento.

Tabela 19 - Número de sementes germinadas e desenvolvimento da raiz e do caule de *Lactuca sativa*

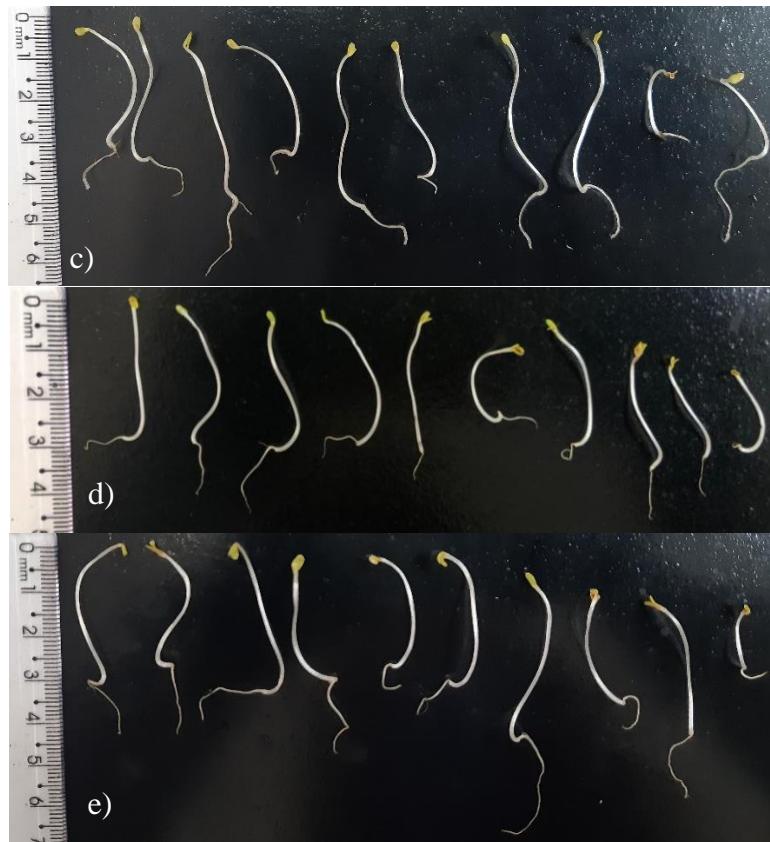
	Controle	B3	T3	B4	T4
\bar{GS}	$9,60 \pm 0,55^a$	$10,00 \pm 0^a$	$9,40 \pm 0,89^a$	$9,60 \pm 0,55^a$	10 ± 0^a
\bar{RL}	$1,53 \pm 0,90^b$	$1,43 \pm 0,56^b$	$1,48 \pm 0,44^b$	$1,40 \pm 0,48^b$	$1,94 \pm 0,58^a$
\bar{SL}	$1,92 \pm 0,71^c$	$2,78 \pm 0,69^{ab}$	$2,79 \pm 0,64^{ab}$	$2,47 \pm 0,50^b$	$2,85 \pm 0,55^a$

Nota: Letras diferentes nas linhas indicam que, no nível de significância de 5%, há diferença significativa entre as médias. B3 e T3 correspondem a água bruta e tratada da terceira coleta. B4 e T4 correspondem a água bruta e tratada da quarta coleta. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

De acordo com a Tabela 19, é evidente que não houve diferença significativa ($P>0,05$) para o número de sementes germinadas dos tratamentos em relação ao controle. Além disso, ainda que tenha sido observado uma pequena inibição do crescimento da raiz para B3, T3 e B4, estatisticamente o comprimento médio da raiz para estes tratamentos não diferiu do controle. Para T4, foi observado aumento significativo no comprimento da raiz em relação aos demais tratamentos. Em relação ao comprimento do caule, é explícito que os tratamentos estimularam de forma significativa o crescimento do mesmo em relação ao grupo controle. Esses resultados estão coerentes com os índices da Tabela 17. A Figura 12 retrata as sementes germinadas de *Lactuca sativa* utilizadas neste ensaio.

Figura 12 - *Lactuca sativa* após 5 dias de germinação para cada tratamento





Nota: a) controle com H₂O destilada, b) B3, c) T3, d) B4, e) T4. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

3.5 CONCLUSÃO

Conclui-se, portanto, e com base nos resultados obtidos, que a utilização do tanino no controle de sólidos de sistemas de cultivo BFT é considerada uma técnica viável e segura, tendo em vista a eficiente remoção principalmente da turbidez e SST. Além disso, os parâmetros de qualidade da água em todas as coletas permaneceram dentro dos níveis estabelecidos para o sistema, o que torna viável a sua reutilização. A água tratada com coagulante a base de tanino não prejudica o crescimento de vegetais, onde foi observado um importante incremento no crescimento do caule e da raiz em sementes de *Lactuca sativa* para a água tratada na maior dosagem do coagulante.

4 CARACTERIZAÇÃO DO SUBPRODUTO GERADO PELO TRATAMENTO DA ÁGUA DE SISTEMA DE CULTIVO EM BIOFLOCOS (BFT) UTILIZANDO COAGULANTE À BASE DE TANINO VEGETAL

4.1 RESUMO

O presente estudo teve por objetivo realizar a caracterização do lodo gerado pelo tratamento da água de sistema de cultivo em bioflocos (*Biofloc Technology* – BFT) utilizando coagulante a base de tanino. Foram realizadas caracterizações bromatológicas, termogravimétricas, microbiológicas e de conteúdo fenólico. Além disso, foi analisada a toxicidade em sementes de alface (*Lactuca sativa*) e raízes de cebola (*Allium cepa*). Para isso, foram realizadas duas coletas em sistema de cultivo BFT sob criação de *Oreochromis niloticus*. O sistema foi fertilizado com melão para manter a relação C:N e salinizado para manter o equilíbrio osmótico dos animais. O lodo foi obtido através de ensaios de coagulação/flocação em *jar test*. Com o lodo obtido na primeira coleta, foram realizadas as análises bromatológicas de proteína bruta, extrato etéreo e fração mineral, análise termogravimétrica e de conteúdo fenólico. Com o lodo obtido na segunda coleta foi realizada a caracterização microbiológica de salmonela, coliformes totais e fecais e as análises de toxicidade. Após os ensaios *jar test*, o lodo obtido no fundo dos jarros foi submetido a uma secagem inicial durante 72 horas em estufa à 100°C. Posteriormente o lodo foi triturado e permaneceu em estufa para as posteriores análises, exceto para a caracterização microbiológica, o qual foi diretamente submetido a análise. Em relação a caracterização bromatológica, o lodo apresentou em média 14,37% de proteína bruta, 50,77% de fração mineral e 0,21% de extrato etéreo. Além disso, o tratamento com tanino não causou incremento de fenol ou taninos hidrolisáveis ao lodo quando comparado ao lodo gerado apenas por bioflocos. No entanto, o lodo gerado pelo tratamento com tanino causou inibição completa na germinação de sementes de alface e causou redução ($P<0,05$) no índice mitótico de raízes de cebola. Isso pode ser devido à alta dosagem de tanino aplicada para promover a condição ótima no tratamento da água para obtenção do lodo. Os resultados encontrados no presente estudo sugerem que uma caracterização mais aprofundada do lodo é necessária além de testes *in vivo* para identificar a resposta dos animais e apontar a melhor espécie para o lodo ser incorporado na dieta.

Palavras-chave: Tanino. Subproduto do tratamento. Dieta animal. Bioflocos.

4.2 INTRODUÇÃO

O sistema de cultivo BFT é caracterizado pela produção de organismos aquáticos com baixa renovação de água e aeração intensa, onde os microrganismos que compõe os agregados microbianos são usados para manter a qualidade da água e servir como suplemento alimentar para os animais (CRAB et al., 2010, 2012). O acúmulo de sólidos devido ao crescimento da biomassa microbiana pode ser prejudicial tanto para os animais em cultivo quanto para o meio ambiente se não gerenciado da forma adequada. Uma alternativa para promover o controle de sólidos em sistemas BFT é a coagulação/flocação. No entanto, um dos problemas que a indústria de tratamento de água enfrenta está relacionado à disposição final do subproduto gerado no tratamento após esse processo, em que comumente são utilizados sais de ferro ou alumínio como coagulantes, resultando em um lodo rico destes metais, onde os reagentes aplicados influenciam diretamente na composição do lodo gerado (SCHMITT; RODRIGUES; OLIVEIRA, 2021; SHAMAKI; ADU-AMANKWAH; BLACK, 2021).

O método de disposição de longo prazo mais comum para este tipo de lodo é a destinação para aterros sanitários, mas isso está sendo ativamente desencorajado devido aos espaços limitados dos aterros e aos custos associados à isso (SHAMAKI; ADU-AMANKWAH; BLACK, 2021). O uso do tanino tem recebido destaque como coagulante alternativo no tratamento de água e efluentes, pois com a necessidade de enfrentar os problemas relacionados aos coagulantes químicos, um interesse significativo tem sido demonstrado no desenvolvimento de coagulantes naturais ecológicos derivados de animais ou plantas como uma alternativa (IBRAHIM; YASER; LAMAMING, 2021). O uso do tanino como coagulante possibilita a geração de um lodo biodegradável e com maiores possibilidades de destinação final, inclusive por possuir características apropriadas para finalidades agrícolas (DELA JUSTINA; ALVES; SKORONSKI, 2018). O tanino vegetal extraído da acácia negra é produzido no Brasil em escala comercial e existem diversos estudos que comprovam a sua eficiência para o tratamento dos mais diversos tipos de águas e efluentes (DELA JUSTINA et al., 2018; HAMEED et al., 2016; LOPES et al., 2019; SÁNCHEZ-MARTÍN; BELTRÁN-HEREDIA; SOLERA-HERNÁNDEZ, 2010).

Os taninos são metabólitos secundários polifenólicos, hidrossolúveis, de alto peso molecular, produzidos em diversos tecidos vegetais como cascas, frutos, folhas e raízes e podem ser divididos entre taninos hidrolisáveis e taninos condensados (ARISMENDI et al., 2018; PIZZI, 2008). Os compostos polifenólicos são produzidos pelas plantas para se defenderem do ataque de bactérias, vírus e fungos (VAN DOAN et al., 2020). A forma condensada é

responsável por mais de 90% da produção mundial de tanino, a qual é amplamente utilizada para diversos fins, como a fabricação de couro, adesivos para madeira, anticorrosivo para metal, preservação de madeira, aplicações médicas e farmacêuticas e em estações de tratamento de água e efluentes (CHINA et al., 2020; DAS et al., 2020; FARIS et al., 2016; IBRAHIM; YASER; LAMAMING, 2021; NARDELI et al., 2019; PIZZI, 2008; RAJASEKAR et al., 2021; TASCIOLU et al., 2013).

Além disso, os taninos podem ser considerados como uma alternativa promissora como suplemento em dietas animais, uma vez que apresentam propriedades antimicrobianas, antioxidantes, anti-inflamatórias e compatibilidade ambiental (HUANG et al., 2018). O incremento de polifenóis extraídos de subprodutos de castanha em dietas de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) demonstrou efeito positivo sobre os parâmetros crescimento, resposta imune e a resistência a doenças (VAN DOAN et al., 2020). Estudos em robalo japonês (*Lateolabrax japonicus*) evidenciaram que a inclusão de taninos condensados de sementes de uva aumentou a capacidade antioxidante e microbiológica sem prejudicar o crescimento dos animais (PENG et al., 2020a, 2020b). No entanto, há relatos sobre o efeito negativo dos taninos em dietas animais aquáticos (OMNES et al., 2017).

Com base nessa premissa, o objetivo deste estudo foi caracterizar o lodo gerado pelo tratamento da água de um sistema de cultivo BFT coagulado com tanino em comparação ao lodo bruto (produzido apenas pela biomassa excedente de bioflocos) com base em suas características bromatológicas, termogravimétricas e conteúdo fenólico. Além disso, foram avaliados os aspectos microbiológicos e conduzidos ensaios de toxicidade em sementes de alface (*Lactuca sativa*) e raízes de cebola (*Allium cepa*).

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Tratamento de Água e Resíduos (LabTrat/UDESC) em parceria com o Laboratório de Piscicultura (UDESC), Centro de Diagnóstico Microbiológico Animal (CEDIMA/UDESC) e LABSATC, laboratório externo à universidade localizado em Criciúma/SC.

4.3.1 Obtenção do lodo bruto e lodo gerado pelo tratamento da água com coagulante à base de tanino vegetal

Para a obtenção das amostras necessárias de lodo, foi utilizado o mesmo sistema de cultivo BFT previamente descrito no Capítulo 3, item 3.3.1. O lodo bruto foi obtido através da coleta de água e sedimentação dos bioflocos durante uma hora em recipientes plásticos. Para a obtenção do lodo gerado pelo tratamento da água com tanino vegetal, foram realizadas coletas de água bruta no referido sistema de cultivo e submetidas a ensaios de coagulação/flocação em *jar test* (Ethik Technology; modelo 218-2). O coagulante à base de tanino selecionado para este estudo foi o Tanfloc SL, produzido e comercializado pela empresa brasileira Tanac. Soluções de Tanfloc SL 20% (m/v) foram preparadas no dia anterior aos ensaios de coagulação/flocação e armazenadas sob refrigeração. Após as coletas, as amostras permaneceram 30 min sob decantação e subsequentemente o parâmetro turbidez foi lido em fotômetro (Merck; modelo Nova 60), método 2130 B (APHA, 2005). A água foi transferida para os jarros e foi determinada a dosagem ótima do respectivo coagulante, ou seja, a dosagem que forneceu maior percentual de remoção de turbidez, conforme a Equação 1, descrita no Capítulo 3, item 3.3.3. Foram utilizados os mesmos parâmetros operacionais determinados no Capítulo 3, item 3.3.3.

Em cada coleta, uma sequência de 12 jarros com a melhor dosagem do coagulante foi realizada a fim de garantir produção de lodo suficiente para as análises propostas. Para isso, foram necessárias duas coletas no tanque de cultivo BFT. Com o lodo obtido na primeira coleta foram realizados os ensaios bromatológicos, termogravimétricos e determinação do conteúdo fenólico. Com o lodo obtido na segunda coleta foi possível realizar os ensaios microbiológicos e toxicológicos. Também foi realizada a caracterização bromatológica para a ração comercial oferecida aos peixes.

As amostras de lodo bruto e lodo gerado pelo tratamento da água com Tanfloc SL depositados no fundo dos recipientes foram coletadas e submetidas a uma secagem inicial em estufa (Cienlab; modelo 5) à 100°C durante 72 h. Posteriormente, as amostras secas foram trituradas com auxílio de almofariz e permaneceram em estufa à 100°C (Cienlab; modelo 5).

4.3.2 Caracterização bromatológica

A caracterização bromatológica dos sólidos no que se refere à proteína bruta, extrato etéreo e cinzas seguiu os procedimentos estabelecidos pela “*Association of Official Analytical Chemists*” (AOAC, 1995). Os sólidos triturados foram secos em estufa à 100°C durante 24 horas previamente às análises. A proteína bruta foi determinada pelo método Kjeldahl (método 954.01), em destilador de nitrogênio (Tecnal; modelo TE-0364). Para a determinação das cinzas

foi realizada a queima em forno mufla (Fornitec; modelo F2 - DM) a 550°C durante uma hora (método 942.05). O extrato etéreo foi determinado em sistema para determinação de gordura (Tecnal; modelo TE-044-8/50) (método 920.39).

4.3.3 Determinação do conteúdo fenólico

Para a determinação do conteúdo fenólico do lodo bruto e gerado pelo tratamento da água com Tanfloc SL, foram realizados ensaios de lixiviação, onde as amostras de lodo previamente trituradas foram secas em estufa à 100°C durante 24 horas. Para a determinação de fenol foram preparadas as respectivas soluções de lodo adaptando-se a metodologia proposta por Renoux, Tyagi e Samson (2001), onde a lixiviação foi realizada adicionando-se 1 g de lodo seco para 20 mL de solução de extração, isto é, água destilada com pH ajustado para 4,5. Para ajuste do pH do líquido, utilizou-se solução 60/40 de ácido sulfúrico e ácido nítrico. Em seguida, a solução de lodo foi mantida em incubadora *shaker* (SOLAB; modelo SL 222), sob agitação de 120 rpm e temperatura de 22 ± 2 °C, durante 20 horas. Após este processo, as soluções foram filtradas com auxílio de uma bomba de vácuo (SOLAB; modelo SL 60) em membrana de 0,45 µm (Merck; modelo HAWP04700 MF-Millipore). Posteriormente, prosseguiu-se os procedimentos descritos no “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” 21° edição (APHA, 2005), método 5530 D e a leitura do parâmetro foi realizada em espectrofotômetro UV-vis (Merck; modelo Pharo 300).

Para a determinação dos polifenóis ou taninos hidrolisáveis, foi adaptada a metodologia proposta por Ainsworth e Gillespie (2007). Foram homogeneizados 20 mg de lodo previamente triturado e seco em 2 mL de metanol 95% (v/v) durante 5 minutos à 30 Hz em banho ultrassom (Elma; modelo Elmasonic Easy 30H). Posteriormente, as amostras foram centrifugadas à 5000 rpm durante 5 minutos (Coleman; modelo 90-1) e foi coletado o conteúdo sobrenadante. Após, seguiu-se o procedimento para a estimativa do conteúdo fenólico usando o reagente Folin-Ciocalteu, expressos em equivalentes de ácido gálico e ácido tântico e a leitura dos parâmetros foi realizada em espectrofotômetro UV-vis (Merck; Modelo Prove 100).

4.3.4 Análise termogravimétrica

Para a realização da análise termogravimétrica, amostras de lodo bruto e gerado pelo tratamento da água com tanino foram previamente secas em estufa à 100°C durante 24 horas e conduzidas ao equipamento TGA701 *Thermogravimetric Analyzer* da marca LECO. A

temperatura foi elevada de 25 °C para 798 °C com taxa de aquecimento de 10 °C/min, sob atmosfera de gás Nitrogênio 5.0 (N₂). Esta análise foi realizada no laboratório LABSATC, externo à universidade.

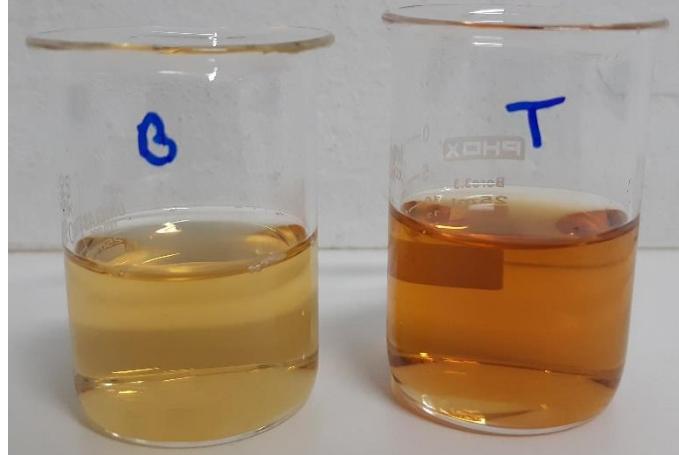
4.3.5 Indicadores microbiológicos

As análises de salmonela (*Salmonella*), coliformes totais e fecais (*Escherichia coli*) nas amostras de lodo bruto e lodo gerado pelo tratamento da água com Tanfloc SL seguiu a metodologia proposta por Silva et al. (2010) em “Manual de métodos de análise Microbiológica de Alimentos e água”. Estas análises foram realizadas no Centro de Diagnóstico Microbiológico Animal (CEDIMA/UDESC).

4.3.6 Avaliação da toxicidade

A avaliação da toxicidade foi realizada por meio da fitotoxicidade em sementes de alface (*Lactuca sativa*) e citotoxicidade em raízes de cebolas (*Allium cepa*) para o lodo bruto (composto apenas por bioflocos) e lodo gerado pelo tratamento da água com tanino. Ambos os ensaios de toxicidade foram executados utilizando-se o lixiviado do lodo, adaptando-se a metodologia proposta por Renoux, Tyagi e Samson (2001), previamente descrita no item 4.3.3, porém neste caso a solução de extração foi água deionizada. Para o grupo controle de ambos os ensaios foi utilizado água destilada. A Figura 13 ilustra o aspecto visual do lixiviado gerado pelo lodo bruto (b) e lodo gerado pelo tratamento com tanino (t).

Figura 13 - Lixiviado do lodo



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

4.3.6.1 Fitotoxicidade em sementes de alface

Para a determinação da fitotoxicidade, foram utilizadas sementes de alface (*Lactuca sativa*) da marca Isla Sementes LTDA e o teste foi executado adaptando-se o método “*Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test*”, definido pela “*United States - Environmental Protection Agency*” (US - EPA, 1996), conforme descrito no Capítulo 3, item 3.3.5.

4.3.6.2 Citotoxicidade em raízes de cebola

Para a realização dos ensaios de citotoxicidade foram utilizadas cebolas (*Allium cepa*). Os bulbos de cebolas utilizados no teste foram adquiridos no comércio local. Previamente ao ensaio, as cascas externas de coloração marrom e as raízes secas do anel primordial dos bulbos foram removidas e os bulbos foram mantidos mergulhados em água para evitar ressecamento (FISKESJÖ, 1985; FISKESJÖ; LASSEN; RENBERG, 1981). Os bulbos foram mantidos em suportes de crescimento contendo cavidades individuais durante 48 horas, preenchidas por água destilada, para o desenvolvimento inicial das raízes. Após este período, foi realizada a alteração da água pelas soluções teste e os bulbos foram mantidos em contato com estas por mais 24 horas, de acordo com descrito por Haq et al. (2017). Para cada tratamento foi utilizada uma série de três bulbos.

Depois de 24 horas em contato com as soluções teste, foi realizada a preparação de lâminas para avaliação em microscópio. Para cada um dos três bulbos, uma ponta da raiz foi retirada e um total de três lâminas por tratamento foram elaboradas. As lâminas foram preparadas por meio da fixação e hidrólise das raízes em uma mistura de 9 partes de ácido acético 45% e 1 parte de ácido clorídrico 1 N a 50 °C por 5 min, seguidas de esmagamento com solução de Orceína acética a 2% (FISKESJÖ, 1985). O índice mitótico (*IM*) foi determinado marcando entre 300 e 500 células por lâmina, de acordo com o descrito por Fiskesjö (1985) e Haq et al. (2017), conforme a Equação 7. A visualização e obtenção das imagens foram obtidas em microscópio ótico (ZEN – ZEISS *Efficient Navigation*), a uma magnitude de 400X de modo que a contagem das células em divisão celular pôde ser realizada.

$$IM (\%) = \left(\frac{A}{B} \right) * 100 \quad (7)$$

Onde, A é número total de células em divisão e B é o número total de células contadas por tratamento.

4.3.7 Análise estatística

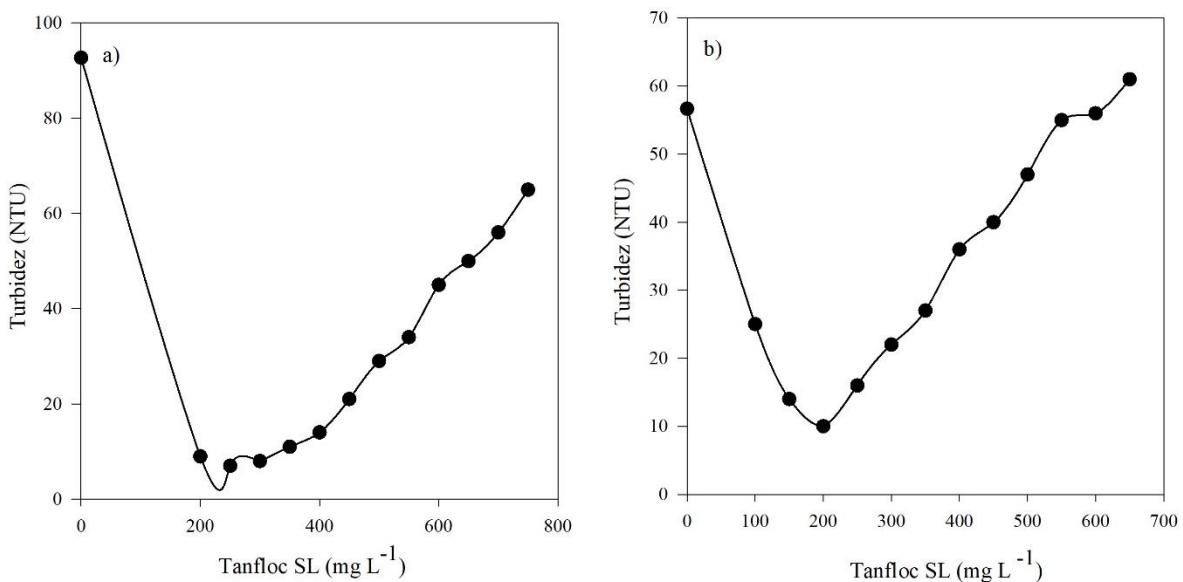
Todos os experimentos foram realizados em triplicata. Os valores foram analisados por ANOVA fator único e teste de Tukey com 95% de confiança, com auxílio do *software* Minitab 19.0. Os gráficos necessários para a melhor interpretação e visualização dos dados foram obtidos com o auxílio do *software* SigmaPlot 14.0.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 Obtenção do lodo

Os resultados observados para a determinação da dosagem ótima de tanino para a obtenção do lodo estão demonstrados na Figura 14.

Figura 14 - Determinação da dosagem ótima para obtenção do lodo

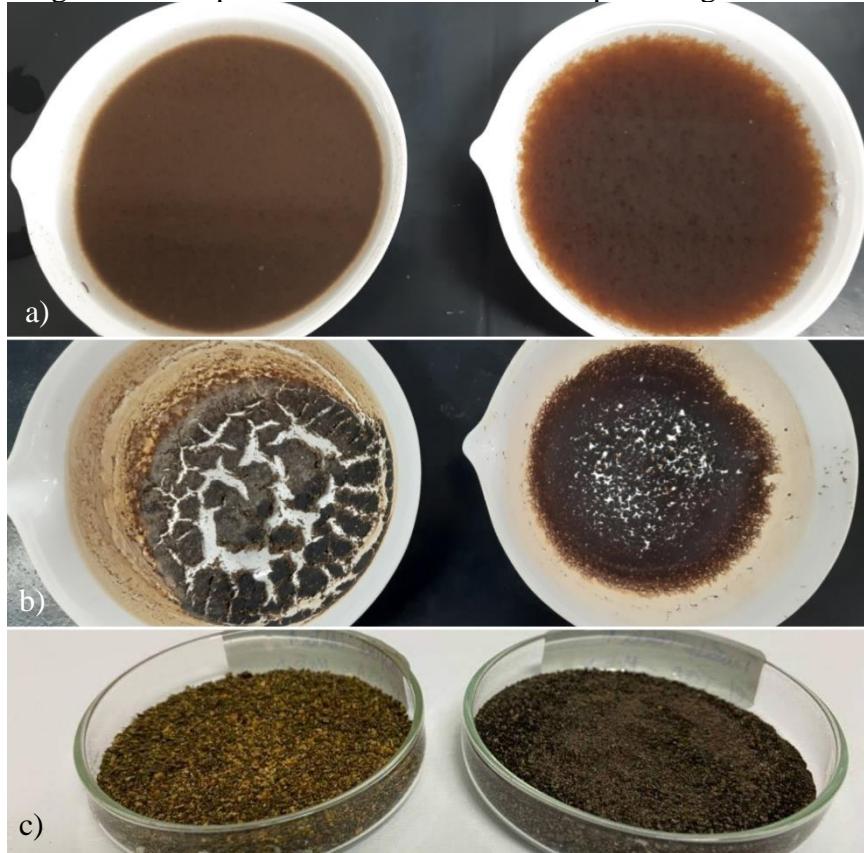


Nota: a) Coleta 1; b) Coleta 2. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Na primeira coleta, onde o lodo gerado pelo tratamento foi utilizado para a caracterização bromatológica, conteúdo fenólico e análise termogravimétrica, a dosagem ótima foi de 250 mg L^{-1} , responsável pela remoção de 92,45% da turbidez. A produção de lodo foi de

0,40 g L⁻¹ e a fração de tanino, com base na dosagem aplicada, foi de 63,02%. Para a coleta 2, onde foi analisada a toxicidade do lodo e os indicadores microbiológicos, a dosagem ótima de 200 mg L⁻¹ alcançou remoção de 75,30% da turbidez. Nesta coleta a produção de lodo foi de 0,36 g L⁻¹ e a fração do tanino, com base na dosagem aplicada, foi de 55,74%. A Figura 15 ilustra o aspecto visual das amostras de lodo antes e depois da secagem inicial e após a Trituração referente à coleta 2. É evidente a coloração mais escura do lodo obtido no tratamento da água, devido a coloração marrom do tanino que se concentra no lodo após o tratamento. Para a investigação microbiológica, as amostras de lodo coletadas no fundo dos recipientes foram diretamente encaminhadas às análises.

Figura 15 – Aspecto visual do lodo antes e após secagem



Nota: a) lodo antes de ser submetido à secagem inicial; b) lodo após 72h em estufa; c) lodo após Trituração. Lodo bruto (apenas bioflocos) à esquerda. Lodo gerado pelo tratamento da água com Tanfloc SL à direita. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

4.4.2 Caracterização bromatológica

Os resultados obtidos para a caracterização bromatológica referente à fração mineral (FM), proteína bruta (PB) e extrato etéreo (EE) para as amostras de lodo bruto, lodo gerado

pelo tratamento da água com Tanfloc SL (tratado) e a ração comercial utilizada para alimentar os animais estão expressos na Tabela 20.

Tabela 20- Caracterização bromatológica

Tratamento	FM (%)	PB (%)	EE (%)
Bruto	13,15±2,49 ^b	30,03±0,83 ^b	0,85±0,03 ^b
Tratado	50,77±4,34 ^a	14,37±1,60 ^c	0,21±0,13 ^c
Ração	8,99±0,90 ^{bc}	37,16±0,56 ^a	4,02±0,25 ^a

Nota: Letras diferentes nas colunas indicam que, no nível de significância de 5%, há diferença significativa entre as médias. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

O lodo gerado pelo tratamento da água com tanino apresentou o maior teor de fração mineral, de 50,77%. Em sistemas BFT, devido a renovação limitada da água, a acumulação de minerais na coluna d'água é esperada. Nos processos de coagulação/flocação partículas inorgânicas são removidas da água na forma de cor e turbidez, resultando no maior teor de matéria mineral concentrada no lodo. A fração mineral do lodo bruto, o qual é formado apenas pelos bioflocos, não diferiu estatisticamente ($P>0,05$) da fração mineral observada na ração comercial ofertada aos peixes, que é de 8,99%.

Em relação à proteína bruta, o menor teor foi observado para o lodo gerado pelo tratamento com tanino, de 14,37%. O teor de proteína do lodo gerado pelo tratamento abaixo do valor da ração ofertada aos animais não pode ser visto como um fator limitante, uma vez que o objetivo é de que o lodo seja incorporado parcialmente à dieta, não sendo a principal fonte de proteína. Os bioflocos na sua forma bruta apresentaram em média 30,03% de teor de proteína bruta. Ainda que o teor de proteína dos bioflocos tenha sido inferior ($P<0,05$) ao da ração, os bioflocos produzidos por sistemas de produção aquícola podem ser bons substitutos de farinha de peixe, por exemplo (PROMTHALE et al., 2019).

O maior percentual de extrato etéreo, ou gordura bruta, foi encontrado na ração, a qual apresentou 4,02%, significativamente superior ($P<0,05$) às demais amostras. Como esperado, o lodo gerado pelo tratamento da água com Tanfloc SL apresentou o menor percentual de extrato etéreo em sua composição, de 0,21%, uma vez que o coagulante a base de tanino não possui gordura em sua composição. Assim como para a proteína, o baixo teor de extrato etéreo também não deve ser visto como um fator limitante para a incorporação do lodo em dietas de animais aquáticos, uma vez que não será a principal fonte de gordura ofertada aos mesmos.

Resultados semelhantes ao presente estudo foram relatados por Kuhn et al. (2016), onde caracterizaram os bioflocos de reatores biológicos aplicados ao tratamento de efluentes de confeitaria e constataram 38,3% de proteína bruta, 31,6% de fração mineral e 0,42% de extrato

etéreo. A substituição parcial de farinha de soja e peixe pelos bioflocos de reatores biológicos de tratamento de efluentes de confeitoraria não alterou de forma significativa o crescimento, sobrevivência e conversão alimentar de camarões (KUHN et al., 2016). Em consoante a isso, outro aditivo importante que pode ser incorporado à dieta animal é o tanino. A Instrução Normativa nº 110 do Ministério da Agricultura, pecuária e abastecimento, a qual estabelece a lista de matérias-primas que podem ser utilizadas como ingredientes, aditivos e veículos para uso na alimentação animal, aprova o uso do tanino extraído da acácia negra (*Acacia mearnsii*) como aditivo zootécnico em alimentos ofertados para aves, suínos e bovinos (BRASIL, 2020). No entanto, resíduos da indústria alimentícia contendo taninos parecem ser promissores como aditivo alimentar de animais aquáticos (DOAN et al., 2020; MORANTE et al., 2021; PIMENTA et al., 2011). Aiura e Carvalho (2004) observaram que a adição de taninos hidrolisáveis e condensados em dietas de tilápia do Nilo não interferiram no perfil de ácido graxo muscular e a inclusão de 0,6% de ácido tântico na dieta foi capaz de produzir filés com maior teor de proteína e rendimento. Devido às suas características bioquímicas, quando incorporados em alimentos os taninos podem apresentar vantagens biológicas e alimentares (AIURA; CARVALHO, 2004). Ainda que o lodo produzido pelo tratamento da água de sistema de cultivo BFT utilizando coagulante à base de tanino extraído da acácia negra (*Acacia mearnsii*) realizado neste estudo tenha apresentado alto percentual de fração mineral e quantidade moderada de proteína bruta, a adição de pequenas frações desse resíduo em dietas de animais aquáticos parece ser uma alternativa a ser explorada. Além de ser uma alternativa ambientalmente viável para a destinação do lodo gerado pelo tratamento da água, a inclusão de taninos e bioflocos em dietas de animais aquáticos pode apresentar benefícios para os animais em cultivo.

4.4.3 Determinação do conteúdo fenólico

Os resultados de conteúdo fenólico encontrados para o lodo bruto (composto apenas por bioflocos) e pelo lodo gerado pelo tratamento da água com tanino estão demonstrados na Tabela 21. A determinação do conteúdo fenólico no subproduto derivado do tratamento da água de cultivo BFT com tanino é de suma importância, visto que o objetivo é a sua incorporação em dietas de animais aquáticos e embora o tanino possua diversas propriedades que podem ser benéficas, também pode ser considerado um fator antinutricional (BUTLER, 1992). Ainda que o coagulante à base de tanino utilizado neste estudo possua natureza condensada, a qual é considerada menos tóxica, foram realizadas análises de fenol e taninos hidrolisáveis em

equivalente de ácido gálico e ácido tânicos a fim de verificar se a utilização do tanino conferiu resíduais destes ao lodo.

Tabela 21 - Conteúdo fenólico

Tratamento	mg L⁻¹		
	Fenol	Ác. gálico	Ác. tânicos
Bruto	1,49±0,64 ^a	12,01±2,47 ^a	17,94±3,79 ^a
Tratado	0,09±0,04 ^b	8,89±1,05 ^a	12,66±1,23 ^a

Nota: Letras diferentes nas colunas indicam que, no nível de significância de 5%, há diferença significativa entre as médias. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

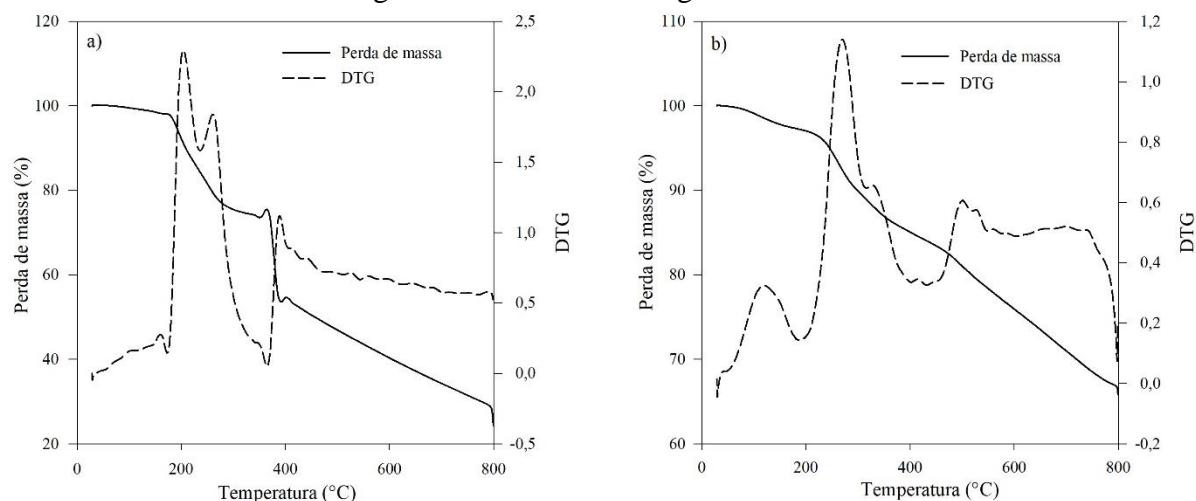
Foi possível observar que o lodo gerado pelo tratamento da água com tanino apresentou valor significativamente menor ($P<0,05$) do que o lodo composto apenas por bioflocos em relação ao fenol, o que torna segura a incorporação desse resíduo em dietas animais. Uma possível explicação para isso é que a fração mais densa dos bioflocos possui maior concentração de fenol do que a fração mais leve. Essa redução do fenol observada no lodo gerado pelo tratamento da água com coagulante à base de tanino é importante, pois o fenol apresenta efeitos nocivos para os peixes e saúde pública como um todo (GAD; SAAD, 2008). Em relação aos taninos hidrolisáveis em equivalente de ácido gálico e ácido tânicos não foi observada diferença significativa ($P>0,05$) para o lodo composto apenas por bioflocos e lodo gerado pelo tratamento da água. Os resultados encontrados no presente estudo para taninos hidrolisáveis são inferiores às quantidades encontradas em frutas nativas do cerrado brasileiro, por exemplo (ROCHA et al., 2011).

No estudo realizado por Van Doan et al. (2020) a inclusão de polifenóis de castanheiro (*Castanea sativa*) em dietas de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivados em sistema de cultivo BFT teve efeitos positivos em relação ao crescimento, sistema imune e resistência a doenças. O mesmo foi observado por Jahazi et al. (2020) ao incrementar polifenóis obtidos do resíduo agroindustrial de produção de castanha e azeite em dietas de carpa comum (*Cyprinus carpio L.*). Ainda que outros estudos também relatam os benefícios da inclusão de taninos em dietas de animais, inclusive de subprodutos industriais (CASTRICA et al., 2019; HOSEINIFAR et al., 2020; ZHU et al., 2021), a sua inclusão também pode ser prejudicial (OMNES et al., 2017), por isso é de extrema importância a determinação ideal da quantidade de taninos a ser incluído em dietas, levando em consideração a fonte de tanino e a espécie a ser estudada.

4.4.4 Análise termogravimétrica

Os resultados obtidos para a análise termogravimétrica para as amostras de lodo bruto (a) e lodo gerado pelo tratamento da água com tanino (b) estão expressos na Figura 16.

Figura 16 - Análise termogravimétrica



Nota: a) lodo bruto; b) lodo gerado pelo tratamento da água com tanino. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Em relação à amostra de lodo bruto (apenas bioflocos), a perda de massa total obtida para a amostra foi de 75,76 %. Para a amostra de lodo gerado pelo tratamento da água com tanino, a perda de massa total obtida para a amostra foi de 34,16 %. A perda de massa para o lodo gerado por tanino no presente estudo foi inferior ao relatado por Oliveira (2019), a qual constatou 64% para o lodo gerado por tanino no tratamento de água para abastecimento. Assim como na fração mineral, isso pode ser explicado devido à presença de substâncias inorgânicas que são removidas da água no processo de coagulação/flocação e ficam concentradas no lodo. O sistema de cultivo BFT é caracterizado pela baixa renovação de água e isso pode contribuir para o acúmulo de substâncias inorgânicas provenientes do próprio alimento ofertado aos animais. Devido à secagem prévia não foi observada perda de massa significativa até aproximadamente 190 °C em ambas as amostras. Entre as temperaturas de 193,71 °C e 413,45 °C houve perda de massa expressiva (43,46 %) para a amostra de lodo bruto, e similarmente entre as temperaturas de 195,55 °C e 401,27 °C ocorreu o primeiro evento de perda de massa (12,09 %) para o lodo gerado pelo tratamento com tanino. Esta perda inicial é causada pela volatilização de compostos orgânicos, como carboidratos e lipídios (CAO et al., 2013; LI et al., 2019). Para a amostra de lodo bruto, a partir da temperatura de 413,45 °C a amostra continua perdendo massa de forma constante, porém sem a presença de algum evento significativo. Já

para a amostra de lodo gerado pelo tratamento da água com tanino, entre as temperaturas 401,27 °C e 797,0 °C ocorreu o segundo evento da perda de massa (18,40 %). Isso pode ser explicado devido à presença de taninos na amostra, onde Duval e Avérous (2016) relataram que o pico de degradação de tanino condensado extraído da *Accacia catechu* foi a partir de 486 °C. A 450 °C também pode ocorrer picos de degradação de proteínas (CAO et al., 2013). O pico de perda de massa pelo lodo gerado no tratamento de efluente com tanino à aproximadamente 400 °C também foi observado por Dela Justina et al. (2018) e Libardo (2020).

4.4.5 Indicadores microbiológicos

Os resultados obtidos para coliformes totais, fecais (*E. coli*) e *Salmonella* sp. para o lodo bruto e lodo gerado pelo tratamento da água com tanino estão expressos na Tabela 22.

Tabela 22 - Indicadores microbiológicos no lodo

Tratamento	NMP/100 mL		
	C. totais	C. fecais	Salmonella sp.
Bruto	3,00	Ausência	Ausência
Tratado	26,00	Ausência	Ausência

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Não foi detectada presença de coliformes fecais e *Salmonella* sp. em ambos os tipos de lodo. Como o objetivo é a destinação do lodo para alimentação de peixes e estes, por sua vez, são destinados à alimentação humana, é de suma importância não apresentar coliformes termotolerantes e salmonela em sua composição.

4.4.6 Avaliação da toxicidade

4.4.6.1 Fitotoxicidade

Os resultados encontrados para fitotoxicidade em sementes de alface (*Lactuca sativa*) encontrados no presente estudo estão demonstrados na Tabela 23. Na Tabela 24 é possível observar as diferenças e semelhanças estatísticas encontradas em relação ao número de sementes germinadas (\bar{GS}), o comprimento da raiz (\bar{RL}) e do caule (\bar{SL}) para cada tratamento. É evidente a fitotoxicidade causada pelo lodo contendo tanino, classificado como muito fitotóxico. O lodo bruto (gerado apenas por bioflocos) foi classificado como fitotóxico.

Tabela 23 - Índices fitotóxicos das amostras lodo

	Controle	Bruto	Tratado
Efeito de Germinação (%)	100,00	96,00	0,00
Inibição do Crescimento da Raiz (%)	0,00	47,80	100,00
Inibição do Crescimento do Caule (%)	0,00	23,52	100,00
Índice de Germinação (%)	100,00	50,11	0,00
Classificação fitotóxica (grau)	1	3	4

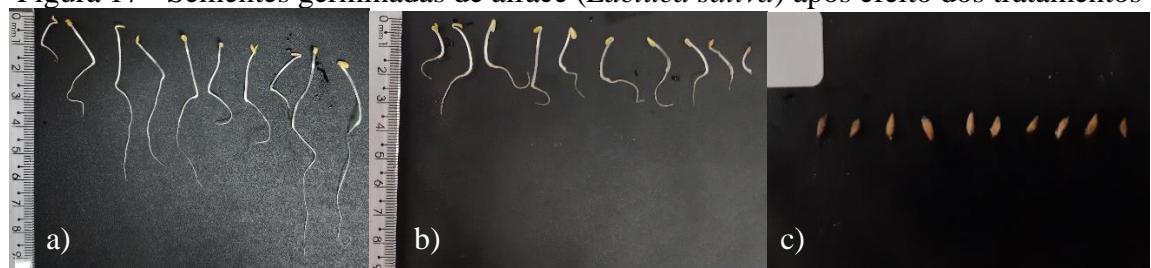
Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Tabela 24 - Número de sementes germinadas e desenvolvimento da raiz e do caule

	Controle	Bruto	Tratado
GS	10,00±0,00 ^a	9,60±0,55 ^a	0,00±0,00 ^b
RL	2,78±1,34 ^a	1,45±0,78 ^b	0,00±0,00 ^c
SL	1,77±0,58 ^a	1,35±0,67 ^b	0,00±0,00 ^c

Nota: Letras diferentes nas linhas indicam que, no nível de significância de 5%, há diferença significativa entre as médias. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

O lodo gerado pelo tratamento da água com coagulante à base de tanino causou inibição de germinação em todas as sementes expostas ao tratamento. O lodo bruto teve o seu crescimento da raiz e do caule inferior ao grupo controle ($P<0,05$), no entanto não causou diferença ($P>0,05$) no número de sementes germinadas. A toxicidade do lodo contendo tanino para as sementes de alface (*Lactuca sativa*) observadas no presente estudo pode ser atribuída aos efeitos alelopáticos dos taninos. O teor elevado de minerais constatado no lodo gerado pelo tratamento da água com coagulante a base de tanino também pode ter contribuído para essa inibição. Matsumoto et al. (2010) observaram que a atividade alelopática do extrato das folhas de *Annona glabra* em sementes de *Lactuca sativa* é atribuída a presença de triterpenos, taninos e flavonóides como responsáveis por efeitos deletérios no crescimento das plantas. A Figura 17 ilustra o aspecto das sementes após o período de germinação de cinco dias.

Figura 17 - Sementes germinadas de alface (*Lactuca sativa*) após efeito dos tratamentosNota: a) controle (H_2O); b) lodo bruto (apenas bioflocos); c) lodo gerado pelo tratamento da água com tanino.

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

4.4.6.2 Citotoxicidade

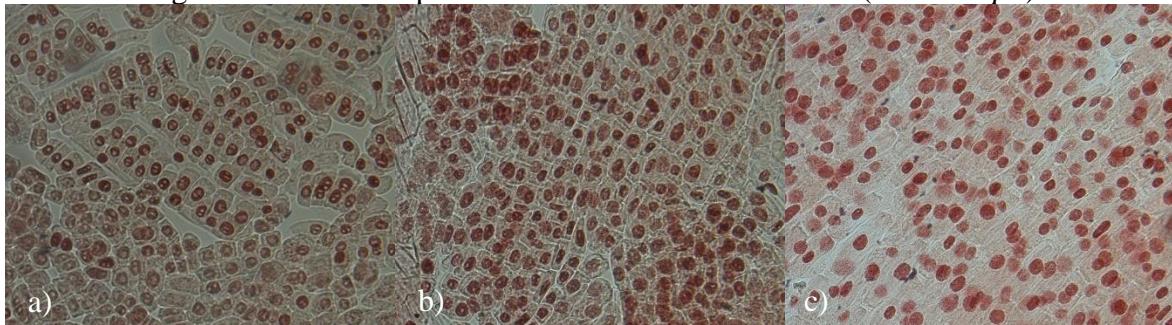
A Tabela 25 traz os resultados do índice mitótico em raízes de cebola (*Allium cepa*) para o lixiviado das amostras de lodo bruto e gerado pelo tratamento da água com tanino. É válido destacar que a contagem das células foi realizada levando em consideração todas as fases da mitose: interfase, prófase, metáfase, anáfase e telófase. O lixiviado das amostras de lodo bruto e gerado pelo tratamento da água com tanino reduziram de forma significativa ($P<0,05$) o índice mitótico das raízes de cebola se comparados ao grupo controle. Na Figura 18 é possível observar o aspecto visual das células em cada tratamento.

Tabela 25 - Índice mitótico

Tratamento	IM (%)
Controle	$73,04 \pm 2,18^a$
Bruto	$45,97 \pm 5,28^b$
Tratado	$34,46 \pm 4,99^b$

Nota: Letras diferentes na coluna indicam que, no nível de significância de 5%, há diferença significativa entre as médias. Fonte: Elaborado pela autora (2021).

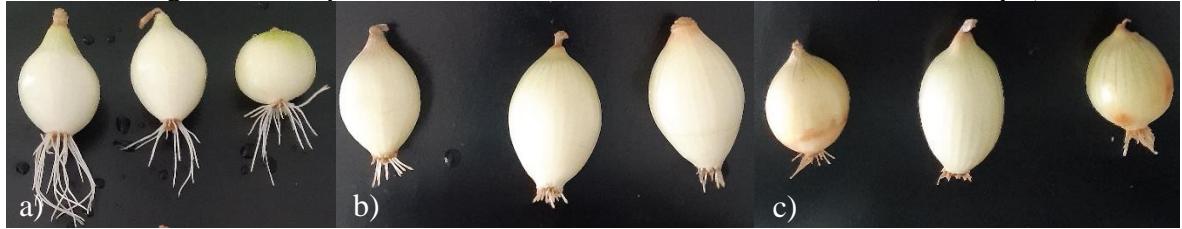
Figura 18 - Microscopia das células de raízes de cebola (*Allium cepa*)



Nota: a) controle (H_2O); b) lodo bruto (apenas bioflocos); c) lodo gerado pelo tratamento da água com tanino.
Fonte: Elaborada pela autora (2021).

É evidente o melhor aspecto das células no grupo controle, diferentemente das células de ambos os tratamentos. Ainda que o índice mitótico do lodo bruto e gerado pelo tratamento da água com tanino não apresentaram diferença significativa entre si ($P>0,05$), é possível observar uma redução de aproximadamente 10% do índice mitótico do lodo gerado pelo tratamento. Na Figura 19 também é possível observar que a exposição aos lixiviados de lodo causou inibição no desenvolvimento das raízes das cebolas se comparadas ao grupo controle. Ihegboro et al. (2020) observaram que extratos das folhas de *Moringa oleifera*, a qual é rica em taninos, também causou redução do índice mitótico e crescimento das raízes de *Allium cepa*. Esses resultados são importantes e precisam ser melhores investigados, uma vez que o objetivo é de que o lodo seja incorporado em dietas de animais aquáticos de forma segura e benéfica aos animais.

Figura 19 - Aspecto do crescimento das raízes de cebola (*Allium cepa*)



Nota: a) controle da amostra; b) lodo bruto (apenas bioflocos); c) lodo gerado pelo tratamento da água com tanino. Fonte: Elaborada pela autora (2021).

4.5 CONCLUSÃO

Conclui-se, portanto, e com base nos resultados obtidos que o lodo gerado pelo tratamento da água de sistemas BFT com tanino possui características bromatológicas adequadas para incorporação em dietas de animais aquáticos, no entanto prejudicou o crescimento de vegetais. A utilização de resíduos da indústria aquícola para suplementar as dietas dos próprios animais em cultivo é uma alternativa interessante do ponto de vista ambiental e econômico, porém necessita de estudos mais aprofundados no que tange à caracterização para que seja uma técnica viável, segura e benéfica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no presente estudo permitem constatar que a utilização do tanino para o controle dos sólidos em sistemas de cultivo BFT é uma técnica eficiente, viável e segura. A água tratada com a utilização do coagulante apresentou as características necessárias para que possa retornar aos tanques de cultivo. O lodo obtido pelo tratamento da água com tanino também apresentou características favoráveis para ser incorporado parcialmente em dietas de animais aquáticos, com base na maior parte dos parâmetros de caracterização adotados neste estudo. Contudo, os resultados encontrados para o lodo gerado pelo tratamento da água com tanino permitem constatar que o coagulante em questão, na dosagem utilizada, foi potencialmente tóxico para sementes de alface e raízes de cebola.

Considerando-se os resultados obtidos no presente estudo, são apontadas algumas sugestões para estudos futuros:

- Avaliar se em termos práticos, a água tratada com tanino ao retornar aos tanques de cultivo afeta a taxa de sobrevivência, o desempenho de crescimento e sistema imunológico dos animais em cultivo;
- Avaliar a viabilidade econômica da implantação do sistema de tratamento de água para o controle de sólidos de sistema de cultivo BFT utilizando coagulante à base de tanino;
- Caracterizar o lodo com base em elementos inorgânicos, a fim de determinar os minerais presentes e elementos potencialmente tóxicos;
- Determinar a espécie a ser estudada para substituição parcial da dieta com o respectivo lodo;
- Aplicar o lodo em diferentes quantidades em dietas animais e ofertá-las *in vivo*;
- Avaliar a taxa de sobrevivência, desempenho de crescimento e resposta imunológica em animais alimentados com dietas substituídas parcialmente com lodo gerado pelo tratamento da água de sistema de cultivo BFT com coagulante a base de tanino.

REFERÊNCIAS

- ABAKARI, G.; LUO, G.; KOMBAT, E. O. Dynamics of nitrogenous compounds and their control in biofloc technology (BFT) systems: A review. **Aquaculture and Fisheries**, jul. 2020.
- AHMAD, A. et al. Aquaculture industry: Supply and demand, best practices, effluent and its current issues and treatment technology. **Journal of Environmental Management**, v. 287, p. 112271, jun. 2021.
- AHMED, N.; THOMPSON, S. The blue dimensions of aquaculture: A global synthesis. **Science of The Total Environment**, v. 652, p. 851–861, fev. 2019.
- AINSWORTH, E. A.; GILLESPIE, K. M. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin–Ciocalteu reagent. **Nature Protocols**, v. 2, n. 4, p. 875–877, 12 abr. 2007.
- AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). **Official methods of analysis of AOAC international**. 16. ed. Washington, DC: [s.n.].
- APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION). **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington DC: [s.n.].
- ARANTES, R. et al. A comparison between water exchange and settling tank as a method for suspended solids management in intensive biofloc technology systems: effects on shrimp (Litopenaeus vannamei) performance, water quality and water use. **Aquaculture Research**, v. 48, n. 4, p. 1478–1490, abr. 2017.
- ARISMENDI, W. A. et al. Modified tannins and their application in wastewater treatment. **Water Science and Technology**, v. 78, n. 5, p. 1115–1128, 19 out. 2018.
- AVNIMELECH, Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. **Aquaculture**, v. 176, n. 3–4, p. 227–235, jun. 1999.
- AVNIMELECH, Y. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. **Aquaculture**, v. 264, n. 1–4, p. 140–147, abr. 2007.
- BELO, S. R. S. **Avaliação de fitotoxicidade através de Lepidium sativum no âmbito de processos de compostagem**. [s.l.] Universidade de Coimbra, 2011.
- BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J. Municipal wastewater treatment by modified tannin flocculant agent. **Desalination**, v. 249, n. 1, p. 353–358, nov. 2009.
- BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; GÓMEZ-MUÑOZ, M. C. New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimisation studies. **Chemical Engineering Journal**, v. 162, n. 3, p. 1019–1025, 1 set. 2010.
- BELTRÁN HEREDIA, J.; SÁNCHEZ MARTÍN, J. Removing heavy metals from polluted surface water with a tannin-based flocculant agent. **Journal of Hazardous Materials**, v. 165, n. 1–3, p. 1215–1218, 15 jun. 2009.
- BOHNES, F. A.; LAURENT, A. Environmental impacts of existing and future aquaculture

production: Comparison of technologies and feed options in Singapore. **Aquaculture**, v. 532, p. 736001, fev. 2021.

BOYD, C. E. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. **Aquaculture**, v. 226, n. 1–4, p. 101–112, out. 2003.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, pecuária e abastecimento - Instrução normativa n° 110**, 2020.

BUTLER, L. G. Antinutritional Effects of Condensed and Hydrolyzable Tannins. In: **Plant Polypheolos**. Boston, MA: Springer US, 1992. p. 693–698.

CAMACHO, F. P. et al. The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment. **Chemical Engineering Journal**, v. 313, p. 226–237, abr. 2017.

CAO, J.-P. et al. Nitrogen transformations during fast pyrolysis of sewage sludge. **Fuel**, v. 104, p. 1–6, fev. 2013.

CASILLAS-HERNÁNDEZ, R. et al. Nutrient mass balances in semi-intensive shrimp ponds from Sonora, Mexico using two feeding strategies: Trays and mechanical dispersal. **Aquaculture**, v. 258, n. 1–4, p. 289–298, ago. 2006.

CASTRICA, M. et al. Total phenolic content and antioxidant capacity of agri-food waste and by-products. **Italian Journal of Animal Science**, v. 18, n. 1, p. 336–341, 2 jan. 2019.

CHINA, C. R. et al. Suitability of selected vegetable tannins traditionally used in leather making in Tanzania. **Journal of Cleaner Production**, v. 251, p. 119687, abr. 2020.

COLDEBELLA, A. et al. Effluents from Fish Farming Ponds: A View from the Perspective of Its Main Components. **Sustainability**, v. 10, n. 2, p. 3, 21 dez. 2017.

COSTA, W. DE M. et al. Estudo comparativo de dois reatores híbridos no tratamento de efluentes heterotróficos de cultivo de camarão marinho. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 7, n. 2, p. 13, 2014.

COUTO JUNIOR, O. M.; BARROS, M. A. S. D.; PEREIRA, N. C. Study on coagulation and flocculation for treating effluents of textile industry. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 35, n. 1, 30 jan. 2013.

CRAB, R. et al. The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae. **Aquaculture Research**, v. 41, n. 4, p. 559–567, mar. 2010.

CRAB, R. et al. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. **Aquaculture**, v. 356–357, p. 351–356, ago. 2012.

DAS, A. K. et al. Review on tannins: Extraction processes, applications and possibilities. **South African Journal of Botany**, v. 135, p. 58–70, dez. 2020.

DAUDA, A. B. et al. Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems. **Aquaculture and Fisheries**, v. 4, n. 3, p. 81–88, 2019.

DE SCHRYSVER, P. et al. The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. **Aquaculture**, v. 277, n. 3–4, p. 125–137, jun. 2008.

DELA JUSTINA, M. et al. Using vegetable tannin and polyaluminium chloride as coagulants for dairy wastewater treatment: A comparative study. **Journal of Water Process Engineering**, v. 25, p. 173–181, out. 2018.

DELA JUSTINA, M.; ALVES, M. V.; SKORONSKI, E. Applying different doses of tannin coagulated dairy sludge in soil: Influences on selected pollutants leaching and chemical agronomic attributes. **Agricultural Water Management**, v. 209, n. January, p. 11–19, 2018.

DOAN, H. VAN et al. Administration of watermelon rind powder to Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture under biofloc system: Effect on growth performance, innate immune response, and disease resistance. **Aquaculture**, v. 528, p. 735574, nov. 2020.

DOS SANTOS, J. D. et al. Use of different coagulants for cassava processing wastewater treatment. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 2, p. 1821–1827, abr. 2018.

DUVAL, A.; AVÉROUS, L. Characterization and Physicochemical Properties of Condensed Tannins from Acacia catechu. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, n. 8, p. 1751–1760, 2 mar. 2016.

EBELING, J. M. et al. Evaluation of chemical coagulation-flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from intensive recirculating aquaculture effluent discharge. **Aquacultural Engineering**, v. 29, n. 1–2, p. 23–42, 2003.

EBELING, J. M.; RISHEL, K. L.; SIBRELL, P. L. Screening and evaluation of polymers as flocculation aids for the treatment of aquacultural effluents. **Aquacultural Engineering**, v. 33, n. 4, p. 235–249, out. 2005.

EBELING, J. M.; WELSH, C. F.; RISHEL, K. L. Performance evaluation of an inclined belt filter using coagulation/flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from microscreen backwash effluent. **Aquacultural Engineering**, v. 35, n. 1, p. 61–77, 2006.

EDDY, M. &. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. Porto Alegre: AMGH Editora LTDA, 2016.

EMERENCIANO, M. G. C. et al. Biofloc Technology (BFT): A Tool for Water Quality Management in Aquaculture. In: **Water Quality**. [s.l.] InTech, 2017.

FACCHI, D. P. et al. Polyelectrolyte complexes based on alginate/tanfloc: Optimization, characterization and medical application. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 103, p. 129–138, out. 2017.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION). **Fishery and Aquaculture Statistics - 2017**. 2019. ed. Roma: [s.n.].

FARD, M. B. et al. Utilization of Alyssum mucilage as a natural coagulant in oily-saline wastewater treatment. **Journal of Water Process Engineering**, v. 40, p. 101763, abr. 2021.

FARIA, L. F. F.; MORAES, E. J. C.; MENDES, P. R. A. **Tratamento de efluente oriundo**

da produção de queijos utilizando coagulantes naturais. Blucher Chemical Engineering Proceedings. Anais...São Paulo: Editora Edgard Blücher, fev. 2015Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/17485>>

FARIS, A. H. et al. Combination of lignin polyol-tannin adhesives and polyethylenimine for the preparation of green water-resistant adhesives. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 133, n. 20, p. n/a-n/a, 20 maio 2016.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. DE et al. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 399–409, dez. 2007.

FISKESJÖ, G. The Allium test as a standard in environmental monitoring. **Hereditas**, v. 102, p. 99–112, 1985.

FISKESJÖ, G.; LASSEN, C.; RENBERG, L. Chlorinated phenoxyacetic acids and chlorophenols in the modified Allium test. **Chimico-Biological Interactions**, v. 34, n. 3, p. 333–344, 1981.

FRANCO, C. S. et al. Coagulação com semente de moringa oleifera preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 781–788, ago. 2017.

GAD, N. S.; SAAD, A. S. Effect of Environmental Pollution by Phenol on Some Physiological Parameters of Oreochromis niloticus. **Global Veterinaria**, v. 2, n. 6, p. 312–319, 2008.

GALASSO, H. L. **Remoção dos sólidos suspensos totais da água do cultivo superintensivo de Litopenaeus vannamei com biofloco pelo método de flotação por ar dissolvido.** [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

GAONA, C. A. P. et al. The Effect of Solids Removal on Water Quality, Growth and Survival of Litopenaeus vannamei in a Biofloc Technology Culture System. **International Journal of Recirculating Aquaculture**, v. 12, n. 1, 1 jun. 2011.

GAONA, C. A. P. et al. Effect of different total suspended solids concentrations on the growth performance of Litopenaeus vannamei in a BFT system. **Aquacultural Engineering**, v. 72–73, p. 65–69, maio 2016a.

GAONA, C. A. P. et al. Biofloc management with different flow rates for solids removal in the Litopenaeus vannamei BFT culture system. **Aquaculture International**, v. 24, n. 5, p. 1263–1275, 2 out. 2016b.

GARCÍA-RÍOS, L. et al. Biofloc technology (BFT) applied to tilapia fingerlings production using different carbon sources: Emphasis on commercial applications. **Aquaculture**, v. 502, p. 26–31, mar. 2019.

GUO, J. et al. Prediction of adverse effects of effluents containing phenolic compounds in the Ba River on the ovary of fish (Hemiculter leucisculus) using transcriptomic and metabolomic analyses. **Science of The Total Environment**, v. 801, p. 149554, dez. 2021.

HAMEED, Y. T. et al. A tannin-based agent for coagulation and flocculation of municipal wastewater: Chemical composition, performance assessment compared to Polyaluminum

chloride, and application in a pilot plant. **Journal of Environmental Management**, v. 184, p. 494–503, dez. 2016.

HAMEED, Y. T. et al. A tannin-based agent for coagulation and flocculation of municipal wastewater as a pretreatment for biofilm process. **Journal of Cleaner Production**, v. 182, p. 198–205, maio 2018.

HAMEED, Y. T. et al. Effect of pre-treatment with a tannin-based coagulant and flocculant on a biofilm bacterial community and the nitrification process in a municipal wastewater biofilm treatment unit. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, n. 2, p. 103679, abr. 2020.

HAQ, I. et al. Genotoxicity assessment of pulp and paper mill effluent before and after bacterial degradation using Allium cepa test. **Chemosphere**, v. 169, p. 642–650, 2017.

HARGREAVES, J. A. **Biofloc Production Systems for Aquaculture**. [s.l: s.n.].

HESNI, M. A. et al. Using Chlorella vulgaris and iron oxide nanoparticles in a designed bioreactor for aquaculture effluents purification. **Aquacultural Engineering**, v. 90, p. 102069, ago. 2020.

HOLANDA, M. et al. Evidence of total suspended solids control by Mugil liza reared in an integrated system with pacific white shrimp Litopenaeus vannamei using biofloc technology. **Aquaculture Reports**, v. 18, p. 100479, nov. 2020.

HOSEINIFAR, S. H. et al. Effects of dietary polyphenols from agricultural by-products on mucosal and humoral immune and antioxidant responses of convict cichlid (Amatitlania nigrofasciata). **Aquaculture**, v. 517, p. 734790, fev. 2020.

HUANG, Q. et al. Potential and challenges of tannins as an alternative to in-feed antibiotics for farm animal production. **Animal Nutrition**, v. 4, n. 2, p. 137–150, jun. 2018.

IBRAHIM, A.; YASER, A. Z. Colour removal from biologically treated landfill leachate with tannin-based coagulant. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 6, p. 103483, dez. 2019.

IBRAHIM, A.; YASER, A. Z.; LAMAMING, J. Synthesising tannin-based coagulants for water and wastewater application: A review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 1, p. 105007, fev. 2021.

IHEGBORO, G. O. et al. Evaluation of the biosafety potentials of methanol extracts/fractions of Tapinanthus bangwensis and Moringa oleifera leaves using Allium cepa model. **Toxicology Reports**, v. 7, p. 671–679, 2020.

JAHAZI, M. A. et al. Dietary supplementation of polyphenols positively affects the innate immune response, oxidative status, and growth performance of common carp, Cyprinus carpio L. **Aquaculture**, v. 517, p. 734709, fev. 2020.

JEGATHEESAN, V. et al. Technological advances in aquaculture farms for minimal effluent discharge to oceans. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 16, p. 1535–1544, nov. 2007.

JOHNSON, W.; CHEN, S. Performance evaluation of radial/vertical flow clarification

applied to recirculating aquaculture systems. **Aquacultural Engineering**, v. 34, n. 1, p. 47–55, jan. 2006.

JUNG, J.-Y. et al. Evaluation of floc-harvesting technologies in biofloc technology (BFT) system for aquaculture. **Bioresource Technology**, v. 314, p. 123719, out. 2020.

KUHN, D. D. et al. Evaluation of bioflocs derived from confectionary food effluent water as a replacement feed ingredient for fishmeal or soy meal for shrimp. **Aquaculture**, v. 454, p. 66–71, mar. 2016.

KURNIAWAN, S. B. et al. What compound inside biocoagulants/bioflocs is contributing the most to the coagulation and flocculation processes? **Science of The Total Environment**, p. 150902, out. 2021.

LETELIER-GORDO, C. O.; FERNANDES, P. M. Coagulation of phosphorous and organic matter from marine, land-based recirculating aquaculture system effluents. **Aquacultural Engineering**, v. 92, p. 102144, fev. 2021.

LI, J. et al. Thermogravimetric analysis of the co-combustion of residual petrochemical sludge and municipal sewage sludge. **Thermochimica Acta**, v. 673, p. 60–67, mar. 2019.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 4. ed. Campinas: Editora Átomo, 2016.

LIBARDO, K. D. S. **Aplicação de tanino vegetal no tratamento terciário de esgoto sanitário: aspectos operacionais, toxicológicos e caracterização dos subprodutos**. [s.l.] Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), 2020.

LIEW, A. G. et al. Surface water clarification using *M. oleifera* seeds. **International Journal of Environmental Studies**, v. 63, n. 2, p. 211–219, abr. 2006.

LOPES, E. C. et al. Evaluation of a tannin-based coagulant on the decolorization of synthetic effluents. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 3, p. 103125, jun. 2019.

LUO, G.; XU, J.; MENG, H. Nitrate accumulation in biofloc aquaculture systems. **Aquaculture**, v. 520, n. April, p. 734675, 2020.

MACEDO, C. F.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Eutrofização E Qualidade Da Água Na Piscicultura : Consequências E Recomendações. **Bol. Inst. Pesca**, v. 36, n. 2, p. 149–163, 2010.

MANGRICH, A. S. et al. Química Verde no Tratamento de Águas: Uso de Coagulante Derivado de Tanino de *Acacia mearnsii*. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 1, 2014.

MARTINEZ-PORCHAS, M.; MARTINEZ-CORDOVA, L. R. World Aquaculture: Environmental Impacts and Troubleshooting Alternatives. **The Scientific World Journal**, v. 2012, p. 1–9, 2012.

MATSUMOTO, R. S. et al. Potencial alelopático do extrato foliar de *Annona glabra* L. (Annonaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 24, n. 3, p. 631–635, set. 2010.

MILLER, D.; SEMMENS, K. Waste Management in China. **Aquaculture Information Series**, n. 83, p. 14, 2002.

MOHD YUNOS, F. H. et al. Harvesting of microalgae (*Chlorella* sp.) from aquaculture bioflocs using an environmental-friendly chitosan-based bio-coagulant. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 124, p. 243–249, 2017.

MORAES, L. A. F. A visão integrada da ecohidrologia para o manejo sustentável dos ecossistemas aquáticos. **Oecologia Australis**, v. 13, n. 04, p. 676–687, dez. 2009.

MORANTE, V. H. P. et al. Assessment the crude grape extract as feed additive for tambaqui (*Colossoma macropomum*), an omnivorous fish. **Aquaculture**, v. 544, p. 737068, nov. 2021.

MOURA E SILVA, M. S. G.; LOSEKANN, M. E.; HISANO, H. Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa**, p. 39, 2013.

NARDELI, J. V. et al. Tannin: A natural corrosion inhibitor for aluminum alloys. **Progress in Organic Coatings**, v. 135, p. 368–381, out. 2019.

OLIVEIRA, C. DE. **Avaliação operacional da aplicação de tanino vegetal no tratamento de água do Rio Caveiras**. [s.l.] Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), 2019.

OLIVEIRA, I. M. DE et al. Tannin Treated Water for Use in the Emulsion Polymerization of SBR. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 23, n. 3, p. 326–330, 2013.

OMNES, M.-H. et al. Effects of dietary tannin on growth, feed utilization and digestibility, and carcass composition in juvenile European seabass (*Dicentrarchus labrax* L.). **Aquaculture Reports**, v. 6, p. 21–27, maio 2017.

PENG, K. et al. Condensed tannins enhanced antioxidant capacity and hypoxic stress survivability but not growth performance and fatty acid profile of juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*). **Animal Feed Science and Technology**, v. 269, p. 114671, nov. 2020a.

PENG, K. et al. Inclusion of condensed tannins in *Lateolabrax japonicus* diets: Effects on growth, nutrient digestibility, antioxidant and immune capacity and copper sulphate stress resistance. **Aquaculture Reports**, v. 18, p. 100525, nov. 2020b.

PIEDRAHITA, R. H. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. **Aquaculture**, v. 226, n. 1–4, p. 35–44, out. 2003.

PIMENTA, C. J. et al. Aproveitamento do resíduo do café na alimentação de tilápia do Nilo. **Archivos de Zootecnia**, v. 60, n. 231, p. 583–593, set. 2011.

PINHO, S. M. et al. Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. **Ecological Engineering**, v. 103, p. 146–153, jun. 2017.

PIZZI, A. Tannins: Major Sources, Properties and Applications. In: **Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources**. [s.l.] Elsevier, 2008. p. 179–199.

PRIAC, A.; BADOT, P.-M.; CRINI, G. Treated wastewater phytotoxicity assessment using *Lactuca sativa* : Focus on germination and root elongation test parameters. **Comptes Rendus Biologies**, v. 340, n. 3, p. 188–194, mar. 2017.

PROMTHALE, P. et al. Bioflocs substituted fishmeal feed stimulates immune response and protects shrimp from *Vibrio parahaemolyticus* infection. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 93, p. 1067–1075, out. 2019.

PUTRA, R. S.; AMRI, R. Y.; AYU, M. **Turbidity removal of synthetic wastewater using biocoagulants based on protein and tannin**. 2020 Disponível em: <<http://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/5.0007846>>

QIAO, G. et al. Biofloc technology (BFT): An alternative aquaculture system for prevention of Cyprinid herpesvirus 2 infection in gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). **Fish & Shellfish Immunology**, v. 83, p. 140–147, dez. 2018.

RAJASEKAR, N. et al. An overview on the role of plant-derived tannins for the treatment of lung cancer. **Phytochemistry**, v. 188, p. 112799, ago. 2021.

RAY, A. J. et al. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. **Aquaculture**, v. 299, n. 1–4, p. 89–98, fev. 2010.

READ, P.; FERNANDES, T. Management of environmental impacts of marine aquaculture in Europe. **Aquaculture**, v. 226, n. 1–4, p. 139–163, out. 2003.

RENOUX, A. Y.; TYAGI, R. D.; SAMSON, R. Assessment of toxicity reduction after metal removal in bioleached sewage sludge. **Water Research**, v. 35, n. 6, p. 1415–1424, abr. 2001.

RICHTER, C. A. **Água: Métodos e tecnologia de tratamento**. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2009.

ROCHA, W. S. et al. Compostos fenólicos totais e taninos condensados em frutas nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 4, p. 1215–1221, dez. 2011.

RONDEAU, V. et al. Relation between Aluminum Concentrations in Drinking Water and Alzheimer's Disease: An 8-year Follow-up Study. **American Journal of Epidemiology**, v. 152, n. 1, p. 59–66, 1 jul. 2000.

ROSELET, F. et al. Screening of commercial natural and synthetic cationic polymers for flocculation of freshwater and marine microalgae and effects of molecular weight and charge density. **Algal Research**, v. 10, p. 183–188, jul. 2015.

SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; BELTRÁN-HEREDIA, J.; SOLERA-HERNÁNDEZ, C. Surface water and wastewater treatment using a new tannin-based coagulant. Pilot plant trials. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 10, p. 2051–2058, 2010.

SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; GONZÁLEZ-VELASCO, M.; BELTRÁN-HEREDIA, J. Acacia mearnsii de Wild Tannin-Based Flocculant in Surface Water Treatment. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, v. 29, n. 2, p. 119–135, 27 maio 2009.

SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; GONZÁLEZ-VELASCO, M.; BELTRÁN-HEREDIA, J. Surface

water treatment with tannin-based coagulants from Quebracho (*Schinopsis balansae*). **Chemical Engineering Journal**, v. 165, n. 3, p. 851–858, 2010.

SCHMITT, F. O.; RODRIGUES, R. T.; OLIVEIRA, C. Efficacy of two natural tannins-based polymers in contrast to aluminum sulfate for drinking water production. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 3, p. 100099, jul. 2021.

SCHVEITZER, R. et al. Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. **Aquacultural Engineering**, v. 56, p. 59–70, set. 2013.

ŠĆIBAN, M. et al. Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 24, p. 6639–6643, dez. 2009.

SHAMAKI, M.; ADU-AMANKWAH, S.; BLACK, L. Reuse of UK alum water treatment sludge in cement-based materials. **Construction and Building Materials**, v. 275, p. 122047, mar. 2021.

SHAN-PEI, L. et al. Comparison of dissolved air flotation and sedimentation in treatment of typical north china source water. **The Chinese Journal of Process Engineering**, v. 7, n. 2, p. 5, 2007.

SHINDY AIURA, F.; REGINA BARBIERI DE CARVALHO, M. Composição em ácidos graxos e rendimento de filé de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentada com dietas contendo tanino. **Revista portuguesa de Ciências Veterinárias**, v. 99, p. 93–98, 2004.

SHIRMOHAMMADLI, Y.; EFHAMISISI, D.; PIZZI, A. Tannins as a sustainable raw material for green chemistry: A review. **Industrial Crops and Products**, v. 126, p. 316–332, dez. 2018.

SILVA, N. DA et al. **Manual de métodos de análise Microbiológica de Alimentos e água**. 4. ed. São Paulo: Livraria Varela, 2010.

SKORONSKI, E. et al. Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 9, n. 4, 17 out. 2014.

SOUZA, R. P. DE et al. Vinasse treatment using a vegetable-tannin coagulant and photocatalysis. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 35, n. 1, 30 jan. 2013.

SOUZA, J. et al. Does the biofloc size matter to the nitrification process in Biofloc Technology (BFT) systems? **Aquaculture**, v. 500, p. 443–450, fev. 2019.

TANAC SA. **Ficha de Segurança de Produto Químico do Tanfloc SL** Montenegro/RS, 2012.

TASCIOGLU, C. et al. Antifungal properties of some plant extracts used as wood preservatives. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 85, p. 23–28, nov. 2013.

THAKUR, S. S.; CHOUBEY, S. Use of Tannin based natural coagulants for water treatment: An alternative to inorganic chemicals. **International Journal of ChemTech Research**, v. 6,

n. 7, p. 3628–3634, 2014.

The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in action. Roma: FAO, 2020.

US - EPA (UNITED STATES - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). **Ecological Effects Test Guidelines OPPTS 850.4200 Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test.** Washington, D.C.: [s.n.].

VAN DOAN, H. et al. Dietary inclusion of chestnut (*Castanea sativa*) polyphenols to Nile tilapia reared in biofloc technology: Impacts on growth, immunity, and disease resistance against *Streptococcus agalactiae*. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 105, p. 319–326, out. 2020.

VAZ, L. G. DE L. et al. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**, v. 35, n. 4, p. 45–54, 2010.

YANG, Z. et al. Removing specific extracellular organic matter from algal bloom water by Tanfloc flocculation: Performance and mechanisms. **Separation and Purification Technology**, v. 212, p. 65–74, abr. 2019.

YIN, C.-Y. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. **Process Biochemistry**, v. 45, n. 9, p. 1437–1444, set. 2010.

ZEMOR, J. C. et al. The use of clarifiers to remove and control the total suspended solids in large-scale ponds for production of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc system. **Aquacultural Engineering**, v. 85, n. October 2018, p. 74–79, 2019.

ZHU, X.-F. et al. Effects of dietary hydrolyzable tannins on growth performance, antioxidant capacity, intestinal microflora and resistance against *Vibrio parahaemolyticus* of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). **Aquaculture Reports**, v. 19, p. 100601, mar. 2021.