



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

LAILA DE LIMA OLIVEIRA

**PÓS-TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS UTILIZANDO COAGULANTES
ORGÂNICOS À BASE DE TANINO**

**CAMPINA GRANDE
2024**

LAILA DE LIMA OLIVEIRA

**PÓS-TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS UTILIZANDO COAGULANTES
ORGÂNICOS À BASE DE TANINO**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado ao Departamento do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração: Tratamento de águas residuárias.

Orientadora: Profa. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira

**CAMPINA GRANDE
2024**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto em versão impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que, na reprodução, figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

O48p Oliveira, Laila de Lima.
Pós-tratamento de águas residuárias utilizando coagulantes orgânicos à base de tanino [manuscrito] / Laila de Lima Oliveira. - 2024.
18 f. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia sanitária e ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2024.

"Orientação : Prof. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT".

1. Cajueiro. 2. Angico. 3. Jurema. 4. UASB. I. Título

21. ed. CDD 628.35

LAILA DE LIMA OLIVEIRA

PÓS-TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS UTILIZANDO COAGULANTES
ORGÂNICOS À BASE DE TANINO

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado ao Departamento do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração: Tratamento de águas residuárias.

Aprovada em: 21/11/2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado eletronicamente por:

- **Weruska Brasileiro Ferreira** (***.536.974-**), em 28/11/2024 16:09:03 com chave 3b574b12adbc11efaaf21a7cc27eb1f9.
- **Thyago Nóbrega Silveira** (***.214.304-**), em 28/11/2024 15:54:39 com chave 386bfcceadba11efb38906adb0a3afce.
- **Ysa Helena Diniz Moraes de Luna** (***.366.244-**), em 28/11/2024 17:26:36 com chave 109ad7a8adc711ef97e61a7cc27eb1f9.

Documento emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QrCode ao lado ou acesse https://suap.uepb.edu.br/comum/autenticar_documento/ e informe os dados a seguir.

Tipo de Documento: Folha de Aprovação do Projeto Final

Data da Emissão: 13/02/2025

Código de Autenticação: 746458



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	05
2	REVISÃO DE LITERATURA	06
2.1	Coagulantes orgânicos	06
2.2	Aplicação de coagulantes orgânicos	07
3	METODOLOGIA	07
3.1	Local de desenvolvimento da pesquisa	07
3.2	Efluente de estudo	07
3.3	Coagulantes	08
3.4	Aparato experimental	08
3.5	Parâmetros físico-químicos	08
3.6	Análise dos dados	08
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	08
5	CONCLUSÕES	13
	REFERÊNCIAS	13

PÓS-TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS UTILIZANDO COAGULANTES ORGÂNICOS À BASE DE TANINO

POST-TREATMENT OF WASTEWATER USING TANNIN-BASED ORGANIC COAGULANTS

Laila de Lima Oliveira*
Weruska Brasileiro Ferreira**

RESUMO

O objetivo desse estudo é avaliar a performance de coagulantes naturais a base de tanino produzidos a partir de plantas do bioma Caatinga: *Anacardium occidentale* (cajuero), *Anadenanthera macrocarpa* (angico) e *Mimosa tenuiflora* (jurema preta) no pós-tratamento de efluentes domésticos tratados por reator UASB, uma vez que, esses efluentes não têm condições de lançamento devido ao alto teor de nutrientes que ao serem lançados em corpos hídricos podem contribuir com a eutrofização. Os ensaios de tratabilidade foram executados em equipamento jar test, utilizando tempos de 2, 5 e 30 minutos para as etapas de mistura rápida, mistura lenta e sedimentação, respectivamente, com dosagens de coagulantes de 100, 200, 300, 600 e 800 mg/L. O efluente e as amostras após ensaios de tratabilidade foram caracterizadas em termos de cor aparente, cor verdadeira, turbidez, pH, fósforo total, fósforo reativo solúvel e a demanda química de oxigênio (DQO). Dentre os coagulantes orgânicos avaliados, o coagulante a base de Jurema Preta apresentou a melhor desempenho, na maioria dos parâmetros analisados, com remoção de fósforo total, cor aparente, cor verdadeira e turbidez de 79,50%, 72,28%, 79,81% e 85,98%, correspondentemente. O coagulante a base de cajueiro se mostrou eficiente na remoção de fósforo reativo solúvel, com a eficiência de 80,38%. Por seu turno, os coagulantes orgânicos aumentaram os valores de DQO, o que pode ser atribuído a presença de taninos. Quanto ao pH, constatou-se que os coagulantes a base de tanino não alteram o pH do efluente tratado. Com base nessas observações, os coagulantes orgânicos estudados podem ser uma alternativa promissora para ser utilizado como pós-tratamento de efluente de UASB.

Palavras-Chave: cajueiro; angico; jurema; UASB.

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the performance of natural tannin-based coagulants produced from plants from the Caatinga biome: *Anacardium occidentale* (Cashew tree), *Anadenanthera macrocarpa* (Angico) and *Mimosa tenuiflora* (black Jurema) in the post-treatment of domestic effluents treated by UASB reactor, since these effluents cannot be discharged due to the high nutrient content, that when launching into water bodies, can contribute to eutrophication. The treatability tests were performed using jar test equipment, with

* Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

laila.oliveira@aluno.uepb.edu.br

** Profa. do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

weruskabrasileiro2020@servidor.uepb.edu.br

times of 2, 5, and 30 minutes for the rapid mixing, slow mixing, and sedimentation stages, respectively, with coagulant dosages of 100, 200, 300, 600, and 800 mg/L. The effluent and the samples after treatability tests were characterized in terms of apparent color, true color, turbidity, pH, total phosphorus, soluble reactive phosphorus and Chemical Oxygen Demand (COD). Among the organic coagulants evaluated, the black Jurema based coagulant presented the best performance, in most of the analyzed parameters, with removal of total phosphorus, apparent color, true color, and turbidity of 79.50%, 72.28%, 79.81%, and 85.98%, correspondingly. The cashew tree-based coagulant proved to be efficient in removing soluble reactive phosphorus, with an efficiency of 80.38%. In turn, the organic coagulants increased the COD values, which can be attributed to the presence of tannins. As for pH, it was found that tannin-based coagulants don't alter the pH of the treated effluent. Based on these observations, the studied organic coagulants may be a promising alternative to be used as post-treatment of UASB effluent.

Keywords: cashew tree; angico; jurema; UASB.

INTRODUÇÃO

O tratamento de águas residuais é um dos grandes desafios ambientais atualmente, pois é essencial para a conservação dos recursos hídricos e a proteção da saúde pública. O lançamento inadequado de efluentes não tratados em corpos hídricos tem como consequência impactos significativos, como poluição de águas superficiais e subterrâneas, degradação da qualidade do solo e comprometimento da biodiversidade.

As tecnologias disponíveis para o tratamento e adequação das águas residuárias abrangem diversas opções, e os reatores UASB, um processo anaeróbio, fornece efluente com constituintes residuais, como gases dissolvidos, matéria orgânica, sólidos suspensos, nutrientes (fósforo e nitrogênio) e organismos patogênicos (Souza *et al.*, 2000; Souza *et al.*, 2004). Concluindo, sobretudo para o fósforo, nem sempre é possível alcançar remoções por processos biológicos que atendam aos padrões de emissão ou reúso de água (Silva *et al.*, 2022).

A técnica de tratamento de efluentes escolhida depende da qualidade da água que se deseja obter, considerando os parâmetros exigidos para o atendimento às normas ambientais e os objetivos específicos do processo (Machado, 2023).

O método de coagulação-floculação, que tem por finalidade a remoção de substâncias coloidais, ou seja, material sólido em suspensão (turbidez) e/ou dissolvido (cor) (Vaz, 2010; Oldoni, 2022), vem sendo utilizada no tratamento de água e efluentes há muito tempo, devido às suas vantagens, como o baixo custo, a facilidade de operação e a eficiência na remoção de poluentes da água. A eficácia desse processo depende bastante do tipo de coagulante escolhido (Ibrahim; Yaser; 2019). Existem diversos tipos de coagulantes disponíveis para tratamento de água e efluentes. Os coagulantes químicos convencionais mais amplamente empregados são os polímeros catiônicos sintéticos, sais metálicos pré-hidrolisados e sais metálicos hidrolisados (sulfato de alumínio e cloreto férrico) (Verma; Dash; Bhunia, 2012).

Os sais de ferro e alumínio são os coagulantes inorgânicos mais comuns, destacando-se por sua eficácia na remoção de poluentes, facilidade de mistura, manuseio e armazenamento, além do custo acessível (Freitas *et al.*, 2017; Ibrahim; Yaser; Lamaming, 2021). Contudo, o uso desses coagulantes no tratamento de água e efluentes apresenta algumas desvantagens, como a produção de grandes volumes de lodo, a necessidade de ajuste de alcalinidade e pH, e a presença elevada de metais residuais na água tratada ou no lodo. Há ainda observações sobre uma

possível ligação entre a neurotoxicidade do alumínio presente no lodo de efluentes a doença de Alzheimer (Freitas *et al.*, 2017).

Nesta perspectiva, os coagulantes poliméricos extraídos de compostos derivados de taninos vegetais vêm demonstrando serem eficazes no tratamento de efluentes. (Arismendi *et al.*, 2018; Bello *et al.*, 2020; Beltrán-Heredia *et al.*, 2010; Coral *et al.*, 2009; Graham *et al.*, 2008; Grenda *et al.*, 2020; Sánchez-Martín *et al.*, 2014). Isso se deve à ampla disponibilidade dos taninos em quase todas as partes das plantas, além de serem polifenóis não tóxicos e solúveis em água (Chung *et al.*, 1998), e apresentam como vantagens serem provenientes de fontes renováveis, lodo residual biodegradável e ausência de liberação de metais após o tratamento. (Anjos *et al.*, 2022; Reina *et al.*, 2021).

Assim, o presente trabalho objetivou avaliar a performance de coagulantes orgânicos produzidos a base de tanino extraídos das cascas de plantas nativas do bioma Caatinga: *Anacardium occidentale* (Cajueiro), *Anadenanthera macrocarpa* (Angico) e *Mimosa tenuiflora* (jurema preta), no pós-tratamento de efluentes domésticos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Coagulantes orgânicos

Os biocoagulantes, também denominados coagulantes naturais ou orgânicos, têm sido utilizados há muitos anos em regiões remotas (Soares *et al.*, 2021). Coagulantes naturais são biodegradáveis, encontrados em abundância na natureza e produzidos sem demandar grandes quantidades de recursos, matéria-prima, energia ou substâncias tóxicas e prejudiciais ao meio ambiente (Sanches *et al.*, 2023; Soares, 2021). Há necessidade de desenvolver coagulantes biodegradáveis à base de plantas que desempenhem função similar à dos coagulantes inorgânicos no tratamento de água, mas com a vantagem de não deixarem resíduos no produto (Soares *et al.*, 2021). Por sua origem vegetal, o uso de coagulantes à base de tanino viabiliza um tratamento que produz lodo biodegradável, sem a necessidade de ajustes posteriores de pH (Beltrán-Heredia *et al.*, 2010; Skoronsky *et al.*, 2014; Soares *et al.*, 2021).

Os coagulantes orgânicos desse estudo são fabricados a base de tanino. O termo "tanino" é considerado técnico, mas não corresponde a uma expressão química específica (Silva, 1999). O tanino vegetal é o nome atribuído a uma classe de polímeros polihidroxifenólicos originados de reações metabólicas secundárias de diversas plantas, amplamente distribuídos e facilmente encontrados devido a essa característica (Sanches *et al.*, 2023; Silva, 1999; Skoronsky *et al.*, 2014).

Existem várias plantas que se pode encontrar os tâninos, com ênfase em: *Schinopsis balansae* (madeira de quebracho), *Acacia mearnsii* (casca de mimosa preta), *Pinus radiata* e *Pinus nigra* (pinheiro), *Quercus* spp (casca de carvalho) e *Castanea sativa* (castanheira) (Giroletti, 2021). Nas cascas destas plantas é encontrado um alto nível de tanino utilizado como coagulante (Oldoni, 2022; Silva, 1999).

Estudos em escala laboratorial demonstraram a viabilidade de sintetizar taninos a partir de matérias-primas vegetais, principal agente coagulante presente em algumas espécies, por meio de um procedimento simples baseado na reação de Mannich, com o objetivo de produzir coagulantes em que o tanino seja a substância com potencial de coagulação (Beltrán-Heredia *et al.*, 2010; Soares *et al.*, 2021).

Os taninos estão presentes na forma hidrolisada e condensada (Barbosa, 2019; Oliveira, Berchiell, 2007; Skoronsky *et al.*, 2014), sendo a forma condensada responsável por mais de 90% da produção mundial de tanino (Skoronsky *et al.*, 2014). O tanino condensado foi utilizado na fabricação dos coagulantes naturais deste estudo.

Os taninos condensados ou proantocianidinas são polímeros de flavan-3-ol (catequina) ou flavan-3,4-diol (leucoantocianidina) e seus derivados são mais corretamente denominado de proantocianidinas ou poliflavonóides (Oldoni, 2022; Oliveira; Berchiell, 2007; Giroletti, 2021). É formada por um núcleo flavan, composto por quinze átomos de carbono, dois anéis aromáticos (A e B) e um heterociclo oxigenado (anel C) delimitado por três átomos de carbono (Giroletti, 2021).

2.2 Aplicação de coagulantes orgânicos

Em relação ao uso de taninos como coagulantes para aplicação no tratamento de efluentes, estudos recentes têm explorado o uso desses coagulantes, demonstrando sua eficiência em diferentes contextos e tipos de efluentes. No trabalho de Leite *et al.* (2019), foram utilizados quatro coagulantes (sulfato de alumínio, cloreto férrico, Tanfloc SG e Zetag 8185) em efluentes domésticos e suínos. A coagulação foi seguida por flotação por ar dissolvido (DAF), método eficaz para a coleta de microalgas cultivadas em águas residuais. Todos os coagulantes testados apresentaram alta eficiência de flotação em diferentes condições de dosagem, pH e velocidade de flotação.

Hameed *et al.* (2018), foram utilizados Tanfloc e PAC em forma de solução para o tratamento de águas residuárias municipais. A eficiência do Tanfloc mostrou-se comparável à do PAC em termos de turbidez, DBO₅, DQO e sólidos suspensos totais (SST). O Tanfloc alcançou aproximadamente 90%, 63%, 60% e 60% de eficiência de remoção para turbidez, SST, DBO₅ e DQO, respectivamente, com apenas 35 mg/L.

Uma pesquisa desenvolvida por Manica *et al.* (2019), é utilizado o mesmo tipo de efluente desse estudo, advindo de um reator UASB, empregando-se o coagulante natural Tanino S5T, à base de tanino. No entanto, alguns dos parâmetros analisados foram diferentes. Também foi investigada a viabilidade de uma filtração rápida posterior em filtros de areia. Não se observou remoção de fósforo total no efluente, mas a remoção de microrganismos patogênicos atingiu uma eficiência de 95,4% para coliformes totais e *E. coli*. Com o uso de 15 mg/L de coagulante tanino e velocidade de sedimentação de 0,6 cm/min, alcançaram-se eficiências de remoção de 86,9%, 83,4%, 73,4% e 50,6% para turbidez, cor aparente, cor verdadeira e DQO, respectivamente.

3 METODOLOGIA

3.1 Local de desenvolvimento da pesquisa

Os procedimentos experimentais foram realizados no Laboratório de Referência em Tecnologias de Águas (LARTECA), vinculado ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campus I, Campina Grande, Paraíba.

3.2 Efluente de estudo

Os ensaios foram realizados com amostras de efluente pré-tratado coletados diretamente de anaeróbio de manta de lodo (UASB) da Estação Experimental de Tratamento de Águas e Esgotos (EXTRABES), também vinculado ao DESA/UEPB, Campus I, Campina Grande, Paraíba.

O efluente foi coletado e armazenado em recipientes de Polietileno tereftalato (PET), previamente higienizado e, posteriormente, transportado para o LARTECA para execução dos experimentos.

3.3 Coagulantes

Os coagulantes orgânicos utilizados foram produzidos a base de tanino extraídos das cascas de plantas nativas do bioma Caatinga: *Anacardium occidentale* (Cajueiro), *Anadenanthera macrocarpa* (Angico) e *Mimosa tenuiflora* (jurema preta), cujo processo de produção foi desenvolvido pelo LARTECA e está protegido pelo pedido de patente de invenção BR 1020240076834, esta invenção compreende as etapas de extração e cationização, bem como seu uso no tratamento, clarificação e descontaminação de água (Santos *et al.*, 2024).

3.4 Aparato experimental

Os experimentos foram realizados em escala de bancada, utilizando um equipamento de jarrest, com capacidade de 2L, e os coagulantes foram aplicados nas dosagens de 0 (Bruto), 100, 200, 300, 600 e 800 mg/L. Os jarros foram submetidos a 90 rpm por 2 min, 35 rpm por 5 min e sedimentação de 30 min. Realizou-se um experimento para cada coagulante, após os ensaios, foram coletados de 100 mL do efluente decantado 7 cm abaixo do nível da coluna de água e posterior caracterização.

3.5 Parâmetros físico-químicos

As amostras foram caracterizadas e conduzidas em triplicata, tanto o efluente pós reator UASB (bruto) e tratado, em relação aos indicadores físico-químicos: pH, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, fósforo total, fósforo reativo solúvel e demanda química de oxigênio (DQO), seguindo as metodologias descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA *et al.*, 2005) (Tabela 1).

Tabela 1 – Indicadores físico-químicos analisados

Parâmetro	Unidade	Metodologia
pH	-	Método potenciométrico
Turbidez	UNT	Método de Hazen
Cor aparente	uH	Método Colorimétrico
Cor verdadeira	uH	
Fósforo total	mg/L	Método de digestão e ácido ascórbico
Fósforo reativo solúvel	mg/L	Método do ácido ascórbico
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg/L	Método do refluxo fechado

Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

3.6 Análise dos dados

Para avaliar a eficiência de remoção e testar diferenças significativas nas dosagens dos coagulantes, foi utilizado ANOVA *one-way*, seguido pelo teste de comparações de Tukey. As análises estatísticas foram realizadas considerando um nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$) utilizando o *software* Past 4.03.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta a caracterização físico-química do efluente utilizados nos ensaios de tratabilidade. A turbidez do efluente utilizado nos ensaios apresentou um valor médio de

26,7±1,22 UNT, cor aparente e verdadeira média de 170,0±3,00 uH e 162,3±1,53 uH, respectivamente, esses valores indicam baixa concentração de sólidos em suspensão e maior teores de sólidos dissolvidos no efluente. Esse comportamento também foi verificado em relação as concentrações de fósforo total (4,8±0,2 mg/L) e fósforo reativo solúvel (4,2±0,9 mg/L), indicando que as concentrações de fósforo no efluente é devido, em sua maioria, a fração dissolvida. Além disso, o pH esteve entre levemente alcalino a neutro (7,6±0,10) e DQO média de 194±1,0 mg/L.

Tabela 2 – Resultado da caracterização físico-química do efluente utilizado nos ensaios de tratabilidade

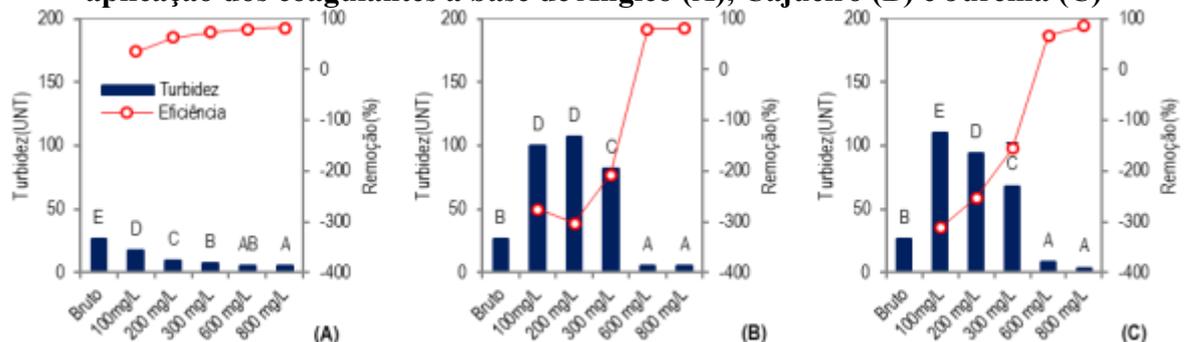
Indicador	Média ± Desvio padrão
Turbidez (UNT)	26,7±1,22
Cor aparente (uH)	170,0±3,00
Cor verdadeira (uH)	162,3±1,53
Ph	7,6±0,10
Fósforo total (mg/L)	4,8±0,2
Fósforo reativo solúvel (mg/L)	4,2±0,9
DQO (mg/L)	194±1,0

Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Ainda sobre a concentração de fósforo observado no efluente, este apresenta-se com concentrações elevadas e fora dos limites estabelecidos para qualquer classificação presentes na Resolução CONAMA nº 357/2005 complementada pela Resolução CONAMA 430/2011 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento (Brasil, 2011; Brasil, 2005). Esse comportamento era esperado uma vez que tratamentos secundários, a exemplo do reator UASB, não são capazes de remover fósforo (Mortula *et al.*, 2020), demandando pós-tratamentos para que o efluente final se adeque aos padrões ambientais.

A Figura 1 ilustra os resultados dos ensaios de tratabilidade para o indicador turbidez. Pode-se observar que em dosagens mais baixas (100, 200 e 300 mg/L) dos coagulantes cajueiro e jurema preta, a turbidez aumentou em relação ao efluente bruto. Por seu turno, foi observado, para todos os coagulantes, elevada eficiência de remoção de turbidez em dosagens mais elevadas (600 e 800 mg/L).

Figura 1 – Resultados dos ensaios de tratabilidade para o indicador turbidez com aplicação dos coagulantes a base de Angico (A), Cajueiro (B) e Jurema (C)



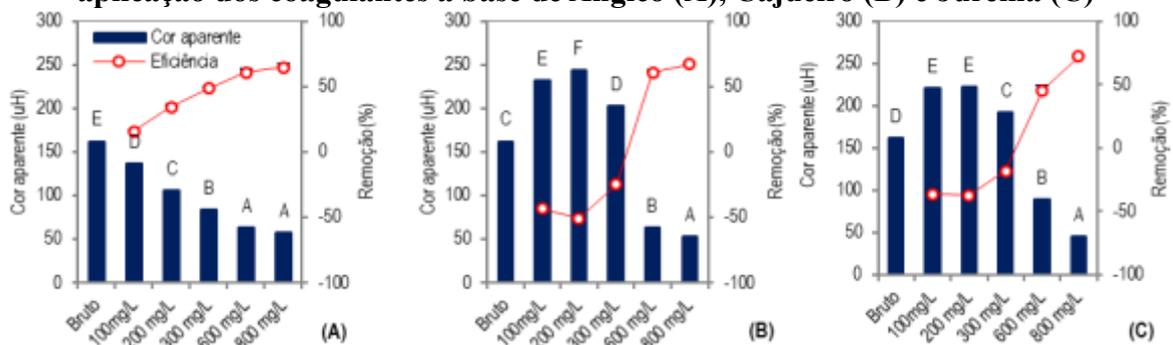
Colunas com a mesma letra não diferiram significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Por serem indicadores diretamente relacionados a sólidos em suspensão, foi observado comportamento semelhante entre a turbidez e a cor aparente (Figura 2), havendo aumento dos valores, nos ensaios com coagulantes a base de cajueiro e jurema preta, quando empregado baixas dosagens (100, 200 e 300 mg/L), e menores valores quando empregado maiores dosagens (600 e 800 mg/L) para todos os coagulantes avaliados. Por seu turno, dos coagulantes avaliados, o que apresentou a melhor eficiência de remoção foi o coagulante a base de jurema preta, 72,28% na dosagem de 800 mg/L.

Segundo Silveira *et al.* (2019), os coagulantes taninos podem conferir cor mais elevada, já que é a base de tanino que apresenta sua própria cor natural. Além disso, autores relatam elevada remoção de turbidez e cor com o uso de coagulantes a base de taninos (Dela Justina *et al.*, 2018; Hameed *et al.*, 2016; Sánchez-Martín; Beltrán-Heredia, Solera-Hernández, 2010).

Figura 2 – Resultados dos ensaios de tratabilidade para o indicador cor aparente com aplicação dos coagulantes a base de Angico (A), Cajueiro (B) e Jurema (C)

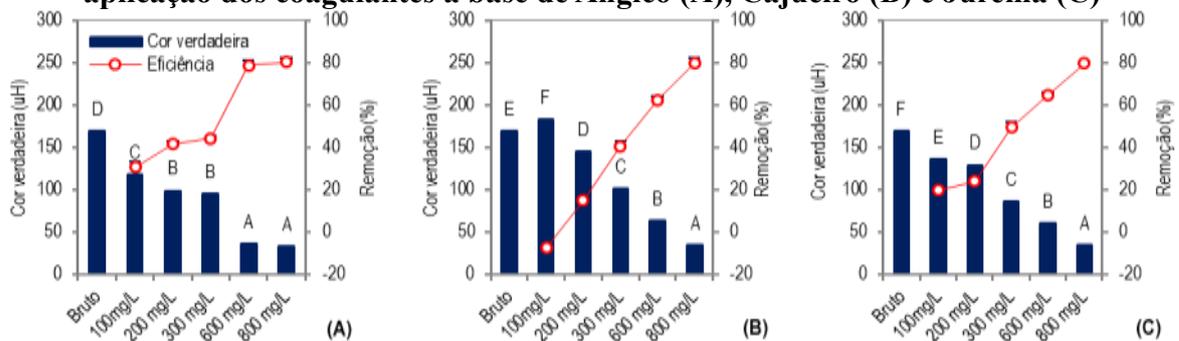


Colunas com a mesma letra não diferiram significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Em relação a cor verdadeira, como pode ser visualizado na Figura 3, à medida que se aumentava a dosagem de coagulante foi verificada a diminuição da cor verdadeira, observando-se maiores remoções deste indicador quando empregado dosagem de 800 mg/L para todos os coagulantes.

Figura 3 – Resultados dos ensaios de tratabilidade para o indicador cor verdadeira com aplicação dos coagulantes a base de Angico (A), Cajueiro (B) e Jurema (C)



Colunas com a mesma letra não diferiram significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

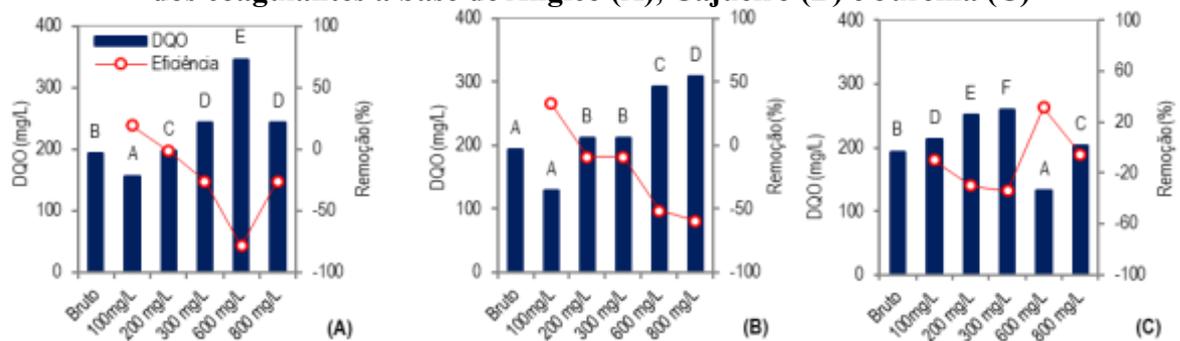
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Os resultados do indicador DQO para os ensaios de tratabilidade pode ser visualizado na Figura 4. De forma geral, foi verificado que à medida que se elevou a dosagem de coagulante a DQO aumenta. Esse comportamento pode ser justificado pela solubilidade dos taninos em água (Yin, 2010), assim uma fração de tanino solúvel pode aumentar os valores de DQO devido à natureza orgânica do tanino (Dela Justina *et al.*, 2018). Os coagulantes a base de angico e

cajueiro obtiveram remoções de 19,1% e 32,9%, respectivamente, com dosagem de 100 mg/L e o coagulante de jurema preta com dosagem e 600 mg/L obteve remoção de 31,4%.

Por seu turno, Arismendi *et al.* (2018) relatam que substâncias que contribuem significativamente para o aumento da DQO são as proteínas, estando presentes em águas residuárias domésticas, representam aproximadamente 60% da matéria orgânica biodegradável. Os autores ainda apontam que essas biomoléculas podem formar uma estrutura complexa e posteriormente ser precipitadas pela interação com taninos condensados por meio de ligações de hidrogênio estabelecidas entre os grupos hidroxila dos fenóis e os grupos orgânicos presentes nas proteínas. Para viabilizar o uso dos coagulantes orgânicos é necessário um pós-tratamento para a remoção da matéria orgânica.

Figura 4 – Resultados dos ensaios de tratabilidade para o indicador DQO com aplicação dos coagulantes a base de Angico (A), Cajueiro (B) e Jurema (C)



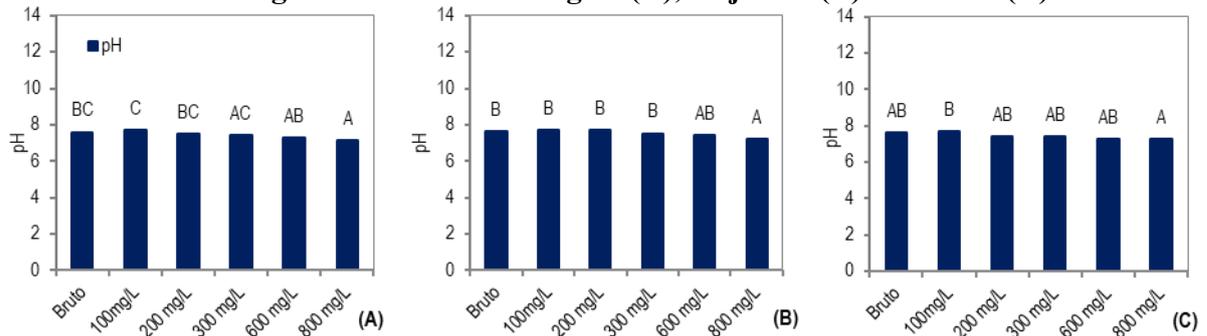
Colunas com a mesma letra não diferiram significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Quanto ao pH (Figura 5), não foi observado variações significativas em seus valores. Assim, constatou-se que os coagulantes a base de tanino não apresentam a propriedade de alterar o pH do efluente tratado. Oliveira, Trevisan e Skoronski (2022), relatam que a tendência de variação do pH em coagulantes à base de taninos é menor devido ao menor consumo de alcalinidade, quando comparado aos coagulantes inorgânicos, a exemplo do sulfato de alumínio. Dela Justina *et al.* (2018) demonstraram que o tratamento de águas residuárias de laticínios com coagulante comercial de tanino extraído da *Acacia mearnsii* (Tanfloc), tem um efeito menor no consumo de pH e alcalinidade do que o policloreto de alumínio. Hameed *et al.* (2016) afirmaram que não há alterações significativas de pH causadas pelo tanino no tratamento de esgoto, mesmo em dosagens mais altas de coagulantes.

Além disso, o efluente bruto se encontrava em baixa de pH próximo a neutralidade ($7,6 \pm 0,10$), o que favorece a remoção de sólidos em suspensão (diretamente relacionado a turbidez e cor aparente) (Sánchez-Martín *et al.*, 2009), uma vez que o pH afeta a carga superficial de colóides e sólidos suspensos (Howe *et al.*, 2012).

Figura 5 – Resultados dos ensaios de tratabilidade para o indicador pH com aplicação dos coagulantes a base de Angico (A), Cajueiro (B) e Jurema (C)



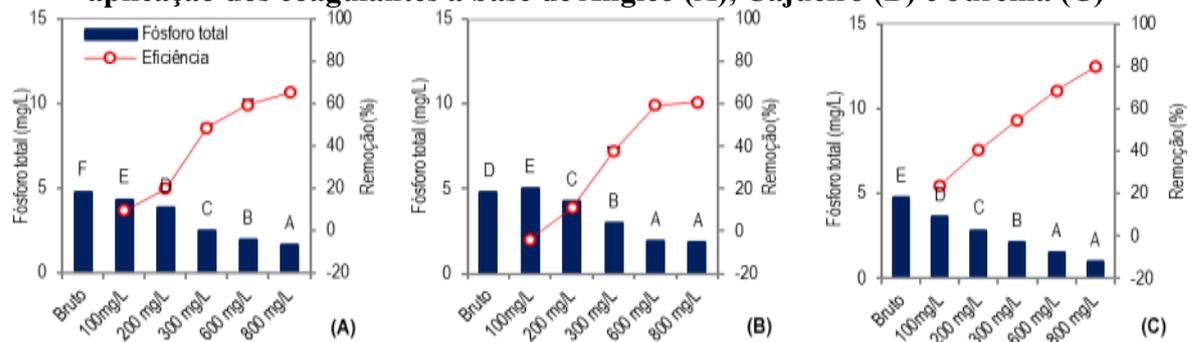
Colunas com a mesma letra não diferiram significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Na remoção de fósforo total e fósforo reativo solúvel, Figuras 6 e 7, respectivamente, houve um aumento da eficiência com o aumento da dosagem. Owodunni *et al.* (2023) em revisão de literatura, apontam a potencialidade de coagulantes naturais a base de taninos na remoção de fósforo de águas residuárias.

Martins Júnior *et al.* (2023) em pesquisa apresenta vários estudos que mostram a remoção de fósforo através dos coagulantes orgânicos e relatam que o uso de taninos como agentes coagulante/floculante para a remoção de fósforo: Hameed *et al.* (2016) obtiveram remoção 39,7%, Hameed *et al.* (2018) obtiveram 18%, Ribeiro, Simioni e Pitol-Filho (2015) 16,4% e Aouba (2017) 15%. No presente estudo os coagulantes a base de angico, cajueiro e jurema preta alcançaram eficiências de 65% (dosagem de 800 mg/L), 59,50% (dosagem de 600 mg/L), 79,75 % (dosagem de 800 mg/L), respectivamente, o que indica o potencial desses coagulantes na remoção de fósforo total.

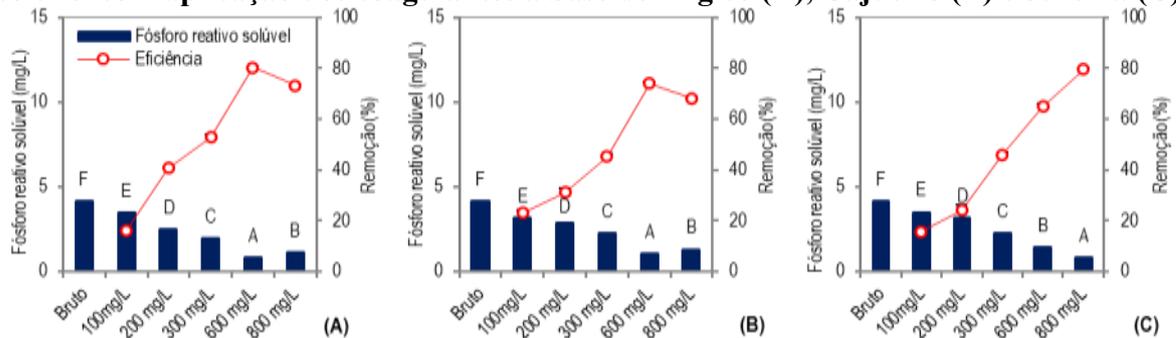
Figura 6 – Resultados dos ensaios de tratabilidade para o indicador Fósforo total com aplicação dos coagulantes a base de Angico (A), Cajueiro (B) e Jurema (C)



Colunas com a mesma letra não diferiram significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 7 – Resultados dos ensaios de tratabilidade para o indicador fósforo reativo solúvel com aplicação dos coagulantes a base de Angico (A), Cajueiro (B) e Jurema (C)



Colunas com a mesma letra não diferiram significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- Os resultados obtidos demonstram que coagulantes naturais, à base de tanino, podem ser eficazes na remoção de contaminantes específicos da água, especialmente em concentrações otimizadas, dentre os coagulantes orgânicos avaliados, o coagulante a base de Jurema Preta apresentou o melhor desempenho, na maioria dos parâmetros analisados, com remoção de fósforo total, cor aparente, cor verdadeira e turbidez de 79,50%, 72,28%, 79,81% e 85,98%, correspondentemente;
- Os coagulantes orgânicos apresentaram remoções satisfatórias em quase todos os parâmetros, embora tenham causado aumento da matéria orgânica no efluente;
- Os dados obtidos indicam que os coagulantes orgânicos, não alteram o pH do efluente tratado, uma vez que não consomem a alcalinidade do meio. Essa característica torna os coagulantes orgânicos vantajosos para tratamentos que sejam necessários manter a estabilidade do pH, contribuindo para a eficiência do processo sem a necessidade de ajustes adicionais de acidez ou alcalinidade no sistema;
- Os coagulantes orgânicos podem ser uma alternativa viável para ser utilizado como pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores UASB.

REFERÊNCIAS

ANJOS, B. F. dos; AZEVÊDO, K. B. de; SILVA, B. R. F. da; BRAGA, R. M.; PIMENTA, A. S.; DE ANDRADE, F. A. F. Tannins from cashew tree (*Anacardium occidentale*) bark as a flocculant for water clarification. *Revista Ambiente & Água*, v. 17, n. 3, 2022

AOUBA, N. *Étude d'un coagulant organique naturel pour le traitement des eaux potable et usées: le tanfloc*. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia da Água). Universidade Laval, Québec, Canadá, 2017.

APHA - American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater*, 21th ed., Washington, D.C., 2005.

- ARISMENDI, W. A.; ORTIZ-ARDILA, E. A.; DELGADO, C. V.; LUGO, L.; SEQUEDA-CASTAÑEDA, L. G.; CELIS-ZAMBRANO, C. A. Modified tannins and their application in wastewater treatment. **Water Science and Technology**, v. 78, n. 5, p. 1115-1128, 2018.
- BARBOSA, M. J. P. T. **ESTUDO DO EMPREGO DE COAGULANTES NATURAIS E OZÔNIO NO TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL PARA USO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Londrina. Londrina – PR, 2019.
- BELLO, A.; VIRTANEN, V.; SALMINEN, J. P.; LEIVISKÄ, T. Aminomethylation of spruce tannins and their application as coagulants for water clarification. **Separation and Purification Technology**, v. 242, p. 116765, 2020.
- 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, 2010.
- CORAL, L. A.; BERGAMASCO, R.; BASSETTIC, F. J. **Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo**. São Paulo – Brazil, Maio, 2009.
- CHUNG, K.T. WONG, T. Y.; WEI, C. I. ; HUANG, Y. W.; LIN, Y. Tannins and human health: a review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 38, n. 6, p. 421-464, 1998.
- FREITAS, T. K. F. S.; ALMEIDA, C. A.; MANHOLER, D. D.; GERALDINO, H. C. L.; SOUZA, M. T. F.; GARCIA, J. C. Review of utilization plant-based coagulants as alternatives to textile wastewater treatment. **Detox fashion: waste water treatment**, p. 27-79, 2017.
- GIROLELLI, C. L. **EXTRAÇÃO DE TANINO DE ENGAÇO DE UVA PARA SÍNTESE DE COAGULANTE E APROVEITAMENTO DA BIOMASSA FINAL PARA OBTENÇÃO DE CARVÃO ATIVADO**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC, 2021.
- GRAHAM, N. GANG, F.; FOWLER, G.; WATTS, M. Characterisation and coagulation performance of a tannin-based cationic polymer: A preliminary assessment. **Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects**, v. 327, n. 1-3, p. 9-16, 2008.
- GREINDA, K.; ARNOLD, J.; GAMELAS, J. A. F.; RASTEIRO, M. G. Up-scaling of tannin-based coagulants for wastewater treatment: performance in a water treatment plant. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 1202-1213, 2020.
- HAMEED, Y. T.; IDRIS, A.; HUSSAIN, S. A.; ABDULLAH, N. 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, 2016.
- HAMEED, Y. T.; IDRIS, A.; HUSSAIN, S. A.; ABDULLAH, N.; MAN, H. C.; SUJA, F. A tannin-based agent for coagulation and flocculation of municipal wastewater as apretreatment for biofilm process. **Journal of Cleaner Production**, 182, 198-205, 2018.
- HOWE, K. J.; HAND, D. W.; CRITTENDEN, J. C.; TRUSSELL, R. R.; TCHOBANOGLOUS, G. **Principles of water treatment**. John Wiley & Sons, 2012.

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, 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, 2021.

JUSTINA, M. D.; MUNIZ, B. R. B.; BRÖRING, M. M.; COSTA, V. J.; SKORONSKI, E. Using vegetable tannin and polyaluminium chloride as coagulants for dairy wastewater treatment: A comparative study. **Journal of water process engineering**. n 25, p 173 -181, 2018.

JUNIOR, C. M. O.; STRÖHER, A. P.; DE BARROS, M. A. S. D.; PEREIRA, N. C. Caracterização e Otimização do Tratamento de Efluente Têxtil por Coagulação-Floculação, Utilizando Coagulante Natural Tanino. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Vol.14, jan. 2012.

LEITE, L. S., HOFFMANN, M. T, DANIEL, L. A. Coagulation and dissolved airflotation as a harvesting method for microalgae cultivated in wastewater. **Journal of Water Process Engineering**, 2019.

MACHADO, G. M. **Estudo do Tratamento de Efluente de Curtume Utilizando Coagulação-floculação**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS. Set, 2023.

MANICA, M.; VIDAL, C. M. S.; SOUZA, J. B.; BARTIKO, D.; NEVES, L. C.; CÉ, A. APRIMORAMENTO DA QUALIDADE DE EFLUENTE DE REATORES ANAERÓBIOS POR COAGULAÇÃO COM TANINO VEGETAL. **Revista AIDIS De Ingeniería Y Ciencias Ambientales**. Investigación, Desarrollo Y práctica, Ciudad de México. v. 12, n. 2, p. 234-248, 2019.

MARTINS JÚNIOR, A. C. O.; BARROSO JÚNIOR, J. C. A.; SOROKA, V. D., MUÑOZ HOYOZ, N. L.; SILVA, M. C. de A. Avaliação da eficiência do uso de coagulantes para a remoção de fósforo em efluentes. **Revista AIDIS De Ingeniería Y Ciencias Ambientales**. Investigación, Desarrollo Y práctica, Ciudad de México. v. 16, n. 1, p. 65-81, 2023.

MORTULA, M.; ALI, T.; ELAKSHER. A. Municipal wastewater treatment using different coagulants. **Desalination and Water Treatment**. v 179, p 1-7, Mar, 2020.

OLDONI, T. B., STEFFENS, C., DALLAGO, M. R., STEFFENS, J. Tanino como alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de efluente de laticínio. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.10, n.3, p. 100-116, 2022.

OLIVEIRA, C.; TREVISAN, V.; SKORONSKI, E. Application of tannin-based coagulant for high-range turbidity surface water clarification. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**. v 12, n 11, p 803–815, 2022.

OLIVEIRA, S. G.; BERCHIELLI, T. T. POTENCIALIDADES DA UTILIZAÇÃO DE TANINOS NA CONSERVAÇÃO DE FORRAGENS E NUTRIÇÃO DE RUMINANTES-REVISÃO. **Archives of Veterinary Science**, v.12, n.1, p. 1-9, 2007

OWODUNNI, A. A.; ISMAIL, S.; KURNIAWAN, B.; AHMAD, A.; IMRON, M. F.; ABDULLAH, S. R. S. A review on revolutionary technique for phosphate removal in wastewater using green coagulant. **Journal of Water Process Engineering**, v 52, p 103573, Abr, 2023.

REINA, V. P.; JUNIOR, A. C. O.; TEXEIRA, R. A.; DE SOUZA, F. B.; SILVA, M. C. A.; BENETTI, A. D. AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE TURBIDEZ EM ESGOTO SANITÁRIO COM USO DO AMIDO DA CASCA DE MANDIOCA COMO COAGULANTE NATURAL. In: **CONGRESSO BAIANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL VI**, p 299-304, 2021.

RIBEIRO, A. R. M.; DO NASCIMENTO, C. C. F.; COSTA, J. A. M. Efeito da clarificação da água com uso de moringa oleífera na resistência à corrosão em adutora de aço patinável. **revista Matéria**, v.29, n.3, 2024.

RIBEIRO, M. R. P.; SIMIONI, D.; PITOL-FILHO, L. USO DE TANINO PARA REMOÇÃO DE NUTRIENTES DO ESGOTO SANITÁRIO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES NEREU RAMOS EM JARAGUÁ DO SUL – SC. **Tecnologias para Competitividade Industrial**, Florianópolis, v. 8, p 1, 2015.

Resolução nº 430. CONAMA: CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Brasil, 2011.

Resolução nº 357. CONAMA: CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Brasil, 2005.

SANCHES, S. D.; PEDRO, M. A. M. ESTUDO DO EMPREGO DE COAGULANTES NATURAIS E OZÔNIO NO TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL PARA USO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS. **Revista Unilago**, 2023.

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 Wood Chemistry and Technology**, v 91, p 2051-2058, 2010.

SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; BELTRÁN-HEREDIA, J.; COCO-RIVERO, B. New lab-made coagulant based on Schinopsis balansae tannin extract: synthesis optimization and preliminary tests on refractory water pollutants. **Applied Water Science**, v. 4, p. 261-271, 2014.

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, p 119–135, 2009.

SANTOS, W. B.; FERREIRA, W. B.; SILVEIRA, T. N.; SOUZA, M. E. F.; NEGREIROS, G. S. V.; NETO, D. Q. A.; DA SILVA, M. B. L.; BERREZA, B. H. S.; OLIVEIRA, L. L. S.; OLIVEIRA, L. L. **PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UM COAGULANTE À BASE DE TANINO E USO DE UM COAGULANTE À BASE DE TANINO**. BR 10 2024 007683 4. Depósito: 19 de abril. 2024.

SILVA, T. S. S. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e de esgoto**. Dissertação (Mestrado) - Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, p.85. 1999.

- SILVA, M. V.; RAGIO, R. A.; ARANTES, C.; SUBTIL, E. L. Pós-tratamento de efluente de biorreator com membranas submersas por coagulação/floculação: remoção de cor, matéria orgânica e fósforo. **Eng Sanit Ambient**, v.27, n.3, p 553-560, maio – jun, 2022.
- SILVEIRA, T. N.; SANTOS, W. B. dos; PEQUENO, L. A. B.; BARBOSA, M. G. N.; FERREIRA, W. B. Performance de coagulantes orgânicos e inorgânicos por meio de diagrama de coagulação em águas naturais. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, p. 16-25, 2019.
- SOARES, E. J. S.; BARBOSA, M. G. N.; ANDRADE, T. C. S.; SANTOS, W. B.; SILVEIRA, T. N.; FERREIRA, W. B. Potencial de vegetais para produção de coagulantes visando aplicação no tratamento de água: revisão sistemática. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.2, p.292-302, 2021.
- SOUSA, J. T.; HAANDEL, A. C. V.; COSENTINO, P. R. S.; GUIMARÃES, A. V. A. Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas "wetlands" construídos. **Revista brasileira engenharia agrícola ambiental**, abril, 2000.
- SOUSA, J. T.; HAANDEL, A. C. V.; CUNHA, E. P. C; HENRIQUE, I. N. UTILIZAÇÃO DE WETLAND CONSTRUÍDO NO PÓS-TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS PRÉ-TRATADOS EM REATOR UASB. **Eng. Sanit. Ambient**, Vol. 9, Nº 4, out/dez, p 285-290, 2004.
- SKORONSKI, E.; NIERO, B.; FERNANDES, M.; ALVES, M. V.; TREVISAN, V. Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**.vol. 9, no. 4, p 679-687, 2014.
- VAZ, L. G. L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M.T.; SILVA, E. A.; BARBIERO, T. A.; BERGAMASCO, R. 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.
- VERMA, A. K.; DASH, R. R.; BHUNIA, P. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. **Journal of environmental management**, v. 93, n. 1, p. 154-168, 2012.
- VISENTINI, F.; RHODEN, C. R. B.; FERNANDES, L.S. QUITOSANA COMO COAGULANTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO. **Série: Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 75-89, 2020.
- YIN, C. Y.; Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. **Process Biochemistry**, V 45, n 9, set, p 1437-1444, 2010.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. O resultado alcançado e o valor agregado só foram possíveis graças ao incentivo e apoio de pessoas queridas, com quem tive a honra de compartilhar esta jornada.

Agradeço a minha orientadora, Dra Weruska Brasileiro Ferreira, por sua gentileza e orientação e ao professor Dr. Whelton Brito dos Santos, pelo seu apoio e pela paciência durante todo o processo, sempre considerando acima de tudo o meu bem-estar emocional. Aos estudantes e técnico do laboratório Laterca, que me ajudaram no experimento.

A banca, professora Dra. Ysa Helena Diniz Morais de Luna e Me. Thyago Nobrega Silveira, por ter aceitado meu convite.

Agradeço, a minha mãe, Edilândia Ferreira de Lima, que está sempre ao meu lado, por todo seu carinho, proteção e orientação, sempre me incentivando nos estudos, e ao meu padrasto, Paulo Sérgio Cunha de Azevedo, por me acolher.

Aos meu avós, Doralice Gonzaga de Oliveira (In memorian), João Ferreira de Lima (In memorian) e João Alves de Oliveira (In memorian), que além avós, foram pais que me acolheram como filha, espero que estejam orgulhosos.

A minha avó, Alenice Queiroz, por todo cuidado e por todos os arrozes de leite que ela fez para mim.

Ao meu melhor amigo, José Vagner da Silva, mesmo morando distante se fez presente. Ao meu primo, meu companheiro de apartamento, Erik de Lima Oliveira, por dividir todas as angústias e alegrias, por sermos um só, apesar das brigas