

TRATAMENTO DE EFLUENTE UTILIZANDO COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO E REAPROVEITAMENTO DO MATERIAL RESIDUAL PARA PRODUÇÃO DE ADSORVENTEDOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.8.25.I-008>**Luiz Felipe Secolo Boareto (*), Luma de Oliveira, Leila Denise Fiorentin Ferrari**Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE – Curso de Engenharia Química luizfelipecolo@gmail.com.**RESUMO**

A reutilização de matérias-primas secundárias, conhecidas como resíduos industriais, tem se tornado uma prática cada vez mais comum. Quando submetidas a tratamentos adequados, essas matérias-primas podem adquirir um alto valor comercial, além de diminuir a quantidade de resíduos produzidos. Porém, para a reutilização destas matérias-primas secundárias se tem a geração de resíduos líquidos e sólidos, que precisam ser tratados adequadamente, para estarem de acordo com os princípios da economia circular. Desta forma, este estudo teve por objetivo realizar o tratamento de efluentes gerados durante a extração de colágeno de pele de tilápia-do-nylo (*Oreochromis niloticus*), por meio da comparação entre coagulantes naturais (resíduo de maracujá e Moringa oleífera) e o sulfato de alumínio. O efluente foi coletado em laboratório durante as etapas de pré-tratamento das peles de peixe. Os ensaios de coagulação, floculação e decantação foram realizados em *Jar Test* com uma sequência de agitação rápida (100 rpm por 2 minutos) seguida por agitação lenta (20 rpm por 10 minutos). A concentração do resíduo de maracujá foi variada na faixa entre 500 – 1250 g/L, da Moringa oleífera entre 1000 – 3000 mg/L, enquanto o sulfato manteve-se fixo em 300 mg/L. As amostras foram caracterizadas quanto a remoção de turbidez, pH e condutividade. Os resíduos sólidos gerados durante o tratamento foram calcinados (750 °C/6 h) e utilizados como adsorvente para o tratamento do efluente. Os resultados mostraram que a Moringa oleífera na concentração de 1000 mg/L demonstrou a maior eficiência, com redução de 99,4% da turbidez do efluente, superando até mesmo o sulfato de alumínio (97,4%). Os resíduos sólidos calcinados alcançaram 60% de remoção de turbidez do mesmo efluente, demonstrando que todo o resíduo gerado do processo de coagulação pode ser reutilizado. Os resultados comprovaram a viabilidade técnica da reutilização da água tratada no processo industrial, reduzindo o consumo hídrico e promovendo um ciclo fechado de recursos. Este modelo integrado contribui para a sustentabilidade da cadeia produtiva, minimizando impactos ambientais e alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Moringa oleífera, coagulantes naturais, reuso de água, economia circular.**ABSTRACT**

The reuse of secondary raw materials, known as industrial waste, has become an increasingly common practice. When subjected to appropriate treatments, these raw materials can acquire a high commercial value, in addition to reducing the amount of waste produced. However, the reuse of these secondary raw materials generates liquid and solid waste, which must be treated appropriately to comply with the principles of the circular economy. Therefore, this study aimed to treat effluents generated during the extraction of collagen from Nile tilapia skin (*Oreochromis niloticus*), by comparing natural coagulants (passion fruit and Moringa oleífera residue) and aluminum sulfate. The effluent was collected in the laboratory during the pretreatment stages of the fish skins. The coagulation, flocculation and decantation tests were performed in a Jar Test with a sequence of fast agitation (100 rpm for 2 minutes) followed by slow agitation (20 rpm for 10 minutes). The concentration of passion fruit residue was varied in the range of 500 – 1250 g/L, of Moringa oleífera between 1000 – 3000 mg/L, while sulfate remained fixed at 300 mg/L. The samples were characterized by turbidity removal, pH and conductivity. The solid residues generated during the treatment were calcined (750 °C/6 h) and used as an adsorbent for the treatment of the effluent. The results showed that Moringa oleífera at a concentration of 1000 mg/L demonstrated the greatest efficiency, with a 99.4% reduction in effluent turbidity, surpassing even aluminum sulfate (97.4%). The calcined solid residues achieved 60% turbidity removal from the same effluent, demonstrating that all the residue generated from the coagulation process can be reused. The results demonstrated the technical feasibility of reusing treated water in the industrial process, reducing water consumption and promoting a closed cycle of resources. This integrated model contributes to the sustainability of the production chain, minimizing environmental impacts and aligning with the Sustainable Development Goals.

KEY WORDS: Moringa oleífera, natural coagulants, water reuse, circular economy.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o consequente aumento na demanda por alimentos resultam na intensificação da atividade industrial, gerando grandes volumes de resíduos sólidos e líquidos. No setor aquícola, a produção de pescado vem crescendo significativamente, tornando-se uma alternativa sustentável à produção de proteína animal (FAO 2020). No entanto, o processamento do pescado gera uma quantidade considerável de subprodutos que, se não forem devidamente aproveitados, podem representar um impacto ambiental significativo. Nesse contexto, a economia circular surge como uma abordagem fundamental para minimizar desperdícios e maximizar o aproveitamento de recursos, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

A pele de peixe, considerada uma matéria-prima secundária ou subproduto do processamento, tem se destacado como uma fonte promissora de colágeno, uma biomolécula de alto valor agregado com aplicações nos setores cosmético, farmacêutico e alimentício. O processo de extração e purificação do colágeno, no entanto, gera resíduos líquidos que necessitam de tratamento adequado antes de seu descarte ou possível reutilização. O tratamento de águas residuais utilizando coagulantes e floculantes naturais apresenta-se como uma alternativa viável e sustentável para reduzir a carga orgânica e microbiológica presente nesses efluentes. A utilização de insumos naturais nesse processo contribui para a redução do uso de produtos químicos sintéticos, favorecendo a sustentabilidade ambiental e a viabilidade econômica do tratamento.

OBJETIVOS

Este estudo teve como objetivo avaliar a recuperação e o tratamento das águas residuais provenientes da extração do colágeno de pele de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), utilizando coagulantes naturais (resíduo de maracujá e *Moringa oleífera*) e um coagulante químico. Além disso, buscou-se a valorização dos resíduos gerados no processo, explorando sua aplicação como adsorventes no tratamento de efluentes. Dessa forma, o trabalho propõe um modelo alinhado à economia circular, minimizando o desperdício de recursos e promovendo a reutilização da água tratada na própria linha de produção.

METODOLOGIA

Os efluentes foram fabricados e coletados em condições laboratoriais durante a etapa de pré-tratamento realizada com as peles de tilápia (*Oreochromis niloticus*) com o intuito da extração de colágeno hidrolisado. O processo envolveu a preparação de três volumes distintos, constituídos de: Recipiente 1 - 1,5 L de água potável, Recipiente 2 - 1,5 L de solução alcoólica de etanol 10% v/v e Recipiente 3 - 1,5 L de solução básica de NaOH 0,1M. Em cada um dos recipientes foi adicionado 100 g de pele in natura que havia sido previamente descongelada. Em seguida, cada um dos recipientes, foi submetido a agitação mecânica (200 rpm) por 2 horas a 30 °C. Posteriormente, as peles foram retiradas dos recipientes e lavadas com água corrente até atingirem pH neutro. O volume utilizado para lavagem de cada uma das peles foi adicionado ao seu respectivo recipiente original, homogeneizado manualmente. Em seguida, os Recipientes 1, 2 e 3 adicionados da água de lavagem foram misturados e gerado um único volume de resíduo, denominando por Efluente 1, o qual foi armazenado a -18 °C para realização dos ensaios subsequentes. Durante os ensaios foi necessário a fabricação de uma nova quantidade de efluente, que seguiu o mesmo procedimento e denominado por Efluente 2.

Os agentes coagulantes naturais empregados foram o resíduo do processamento de suco de maracujá e a *Moringa oleífera*, além do sulfato de alumínio utilizado como referência (*tabela 1*). O resíduo de maracujá foi submetido a secagem em estufa convectiva a 60 ± 2 °C até atingir massa constante, seguido de trituração e peneiramento para obtenção de uma granulometria de 841-707 µm. O coagulante derivado da *Moringa oleífera* foi obtido por fragmentação manual das sementes e posterior extração proteica utilizando soluções salinas sob agitação mecânica (150 rpm) por 30 minutos, sem aquecimento, seguida de filtração a vácuo.

Os ensaios de coagulação-floculação foram conduzidos em um equipamento *Jar Test*, no qual 250 mL do Efluente 1 foram tratados com diferentes dosagens dos coagulantes. A coagulação foi realizada sob agitação rápida (100 rpm por 2 minutos) a fim de homogeneizar e aumentar o contato entre o coagulante e o efluente/partículas coloidais, em seguida, sob foi submetido agitação lenta (20 rpm por 10 minutos), para a formação dos flocos coloidais. As amostras foram deixadas em repouso por 1 hora à temperatura ambiente (26 ± 1 °C), e a fase clarificada foi coletada para análises físico-químicas.

Tabela 1. Agentes coagulantes e condições experimentais de aplicação aos Efluentes 1 e 2.

Coagulante	Concentração (mg/L)	Solução salina(mol/L)	Efluente
Resíduo de Maracujá	500	-	1
	750	-	1
	1000	-	1
	1250	-	1
Moringa oleífera	2000	NaCl [1,0]	2
	2500	NaCl [1,0]	2
	3000	NaCl [1,0]	2
	3000	NaCl [1,5]	2
	1000	CaCl ₂ [0,4]	1 e 2
	1500	CaCl ₂ [0,4]	2
	2000	CaCl ₂ [0,4]	2
Sulfato de alumínio	300*	-	1

*Condição observada em Aquino Silva & César (2022) com ajuste de pH do efluente em $6,6 \pm 0,2$.

Os resíduos sólidos gerados durante as etapas de coagulação, floculação e decantação, compostos majoritariamente por escamas e cascas de Moringa oleífera e em menor quantidade, fragmentos de pele e o lodo formado da decantação, foram submetidos a um processo de calcinação em mufla e posteriormente utilizados como adsorventes para o tratamento do Efluente 2. Para o processo de calcinação, os cadinhos foram lavados com água destilada e colocados em estufa a 105 °C por 2h e levados a mufla a 550 °C por 1 h e colocados em dessecador. As amostras residuais foram calcinadas nas proporções de 2:1 e 1:1 (moringa:escama), além de somente a casca de Moringa oleífera. As amostras foram colocadas em mufla e realizada rampa de temperatura de 50 °C a cada 20 min a fim de evitar a combustão da matéria orgânica, até atingir 750 °C e mantidas a temperatura constante por 6 h. Após resfriamento das amostras em dessecador, determinou-se o teor de cinzas e calcinação por diferença de massa, conforme Moreira *et al.* (2021). Os adsorventes calcinados, foram classificados granulometricamente (701-589 µm). Para os ensaios de adsorção utilizou-se 0,025 g de adsorvente em 25 ml do Efluente 2. Os Erlenmeyer foram inseridos em incubadora SHAKER, com rotação de 150 rpm em 30 ± 1 °C durante 24 h de contato. Um ensaio somente com água destilada também foi realizado para todos os adsorventes calcinados. Realizou-se a filtração do adsorvente e fez-se as caracterizações físico-químicas, para a análise da capacidade de adsorção.

Os Efluentes 1 e 2, in natura e após os tratamentos, foram caracterizados quanto a turbidez a partir do uso do turbidímetro 2100 P, análise de espectroscopia de absorção máxima na faixa de comprimento de onda de 200-800 nm, determinado no espectrofotômetro UV-VIS, Condutividade elétrica e pH do meio.

RESULTADOS

A caracterização inicial dos efluentes brutos revelou um forte odor de peixe, presença de material particulado em suspensão e variação na coloração. O Efluente 1 apresentou coloração amarelada, associada a níveis elevados de ácidos graxos, enquanto o Efluente 2, com menores concentrações desses compostos, apresentou coloração acinzentada predominante, conforme ilustrado na *figura 1*. Essa diferença visual pode ser atribuída à variabilidade nas características da matéria-prima (pele de peixe), que pode conter diferentes proporções de matéria orgânica, como resíduos de carne e lipídios. Em relação aos parâmetros físico-químicos, o Efluente 1 apresentou turbidez de 460 NTU, pH 11,3 e condutividade elétrica de 2000 µS/cm, enquanto o Efluente 2 apresentou turbidez de 165 NTU, pH 11,5 e condutividade de 1145 µS/cm.

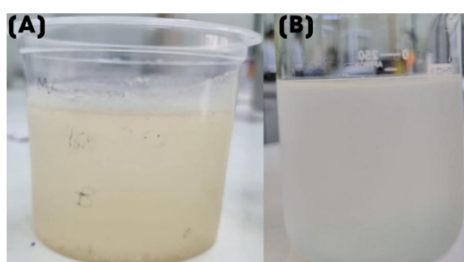


Figura 1: Aspecto visual dos resíduos líquidos brutos denominados por (A) Efluente 1 e (B) Efluente 2 B.

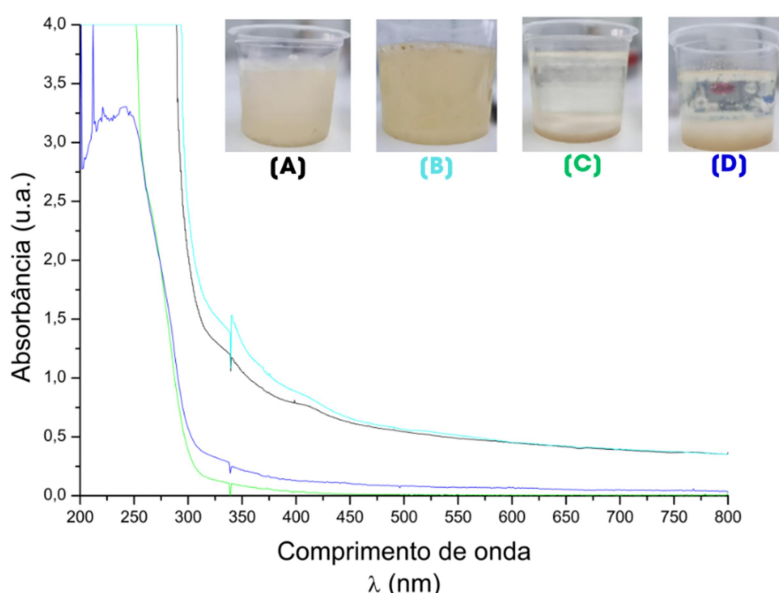
Na *tabela 2* é apresentada a caracterização do Efluente 1 após a aplicação do processo de coagulação, floculação e decantação. A priori, o uso da Moringa oleífera (concentração de 100 mg/L e CaCl_2 0,4 M) como agente coagulante demonstrou um excelente potencial de tratamento, sobretudo na diminuição de turbidez (remoção de 99,4%) e concentração de partículas coloidais, sobressaindo a ação de coagulante químico como o sulfato de alumínio (remoção de 97,4%), enquanto o resíduo do maracujá nas concentrações (500 a 1250 mg/L) e condições aplicadas não obteve resultados satisfatórios. O principal problema encontrado na aplicação do resíduo de maracujá foi a liberação de cor durante o processo.

Tabela 2. Avaliação dos parâmetros após tratamento do Efluente 1 com agentes floculantes.

Agente Coagulante	pH	Turbidez (NTU)	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Efluente 1	11,3	460	2000
Resíduo de maracujá*	10,7	432	1470
Moringa oleífera**	8,1	3	13260
Sulfato de alumínio	6,3	12	2080

* concentrações utilizadas de 1250 mg/L e ** 1000 mg/L

A análise da varredura espectral de absorção máxima, demonstrou que a Moringa oleífera (*figura 2c*) teve o melhor potencial na diminuição da concentração dos coloides, conforme obtido por Thomas e Causse (2007) e Boareto *et al.* (2024), em virtude da atenuação da curva espectral. O aspecto visual do recipiente em que foi realizado o tratamento com o floculante Moringa oleífera demonstra uma boa separação das fases, com um líquido clarificado na superfície e um sedimento denso. Assim, para os próximos ensaios, optou-se por utilizar somente a Moringa oleífera.



*[A] Efluente Bruto, [B] Casca do Maracujá, [C] Moringa Oleífera, [D] Sulfato de Alumínio

Figura 2: Espectros de máxima absorção para os agentes coagulantes/floculantes durante o tratamento do Efluente 1.

Com o objetivo de melhorar o potencial de tratamento da Moringa oleífera, fez-se novos ensaios com Efluente 2 variando a concentração do coagulante (1000 a 3000 mg/L) e o tipo de sal (NaCl e CaCl_2). A substituição do CaCl_2 por NaCl foi adotada como uma alternativa viável para evitar problemas associados à presença de cálcio, como o aumento da dureza da água, além de contribuir para a redução dos custos operacionais.

Na *tabela 3*, são apresentados os resultados referentes a variação da concentração do coagulante em relação a concentração molar do NaCl . Observa-se que em todas as concentrações de coagulante e sal, o pH permaneceu constante e a turbidez reduziu consideravelmente em relação ao Efluente 2 bruto. Analisando o parâmetro turbidez, verifica-se que o aumento da concentração de Moringa oleífera de 2000 para 3000 mg/L provocou uma melhora neste parâmetro, reduzindo-o de 38 para 24 NTU, respectivamente. Ressalta-se uma estabilidade no valor (média de 23,5 NTU) da turbidez entre as concentrações de 2500 e 3000 mg/L. Com relação à concentração salina, o aumento de 1,0

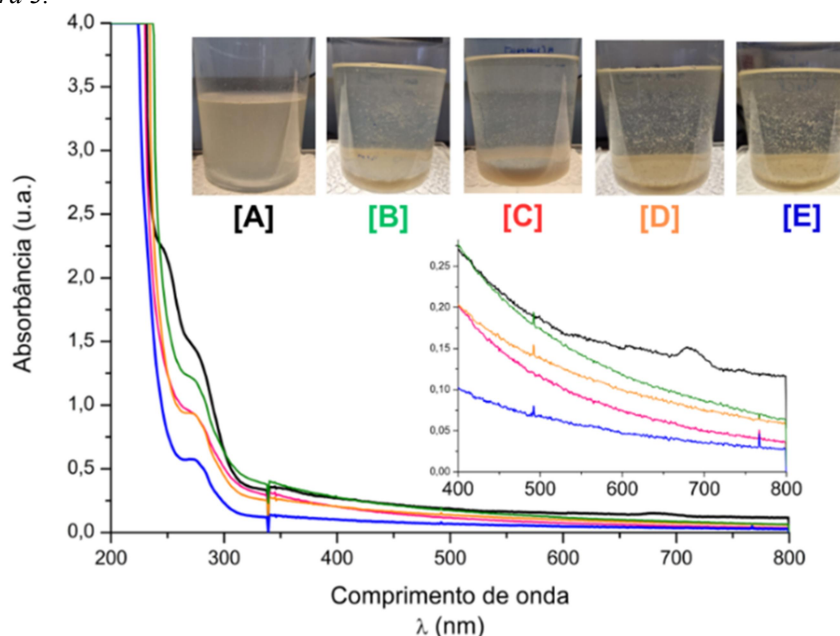
para 1,5 mol/L resultou em um efeito contrário sobre a turbidez, elevando seu valor de 24 para 49 NTU, respectivamente. Desta forma, a melhor condição experimental determinada para o Efluente 2, foi na concentração de Moringa oleífera de 2500 mg/L e 1,0 mol/L de NaCl.

Para o parâmetro condutividade elétrica, observa-se na *tabela 3*, um aumento considerável do seu valor com o aumento da concentração do coagulante. Este comportamento está associado ao fato de que a Moringa oleífera possui proteínas catiônicas (com carga positiva) que são as principais responsáveis pela ação coagulante natural no tratamento de água. Estas proteínas, carregadas positivamente, se ligam as partículas coloidais em suspensão (geralmente com carga negativa), neutralizando suas cargas e permitindo a formação de flocos que se sedimentam. É importante destacar que as proteínas naturais encontradas na Moringa oleífera não apenas atuam como coagulantes, mas também possuem propriedades antimicrobianas, contribuindo para a melhoria da qualidade da água (Jerri *et al.* 2011).

Tabela 3. Avaliação dos parâmetros após coagulação, floculação e decantação com Moringa oleífera e NaCl para o tratamento do Efluente 2

Moringa (mg/L)	NaCl (mol/L)	pH	Turbidez (NTU)	Condutividade elétrica (μS/cm)
Efluente 2 bruto	-	11,5	165	1145
2000	1,0	10,9	38	14850
2500	1,0	10,8	23	16500
3000	1,0	10,8	24	18200
3000	1,5	10,7	49	20200

Os espectros de absorvância juntamente com a análise visual dos recipientes (*figura 3*), confirmam o comportamento obtido pela análise de turbidez, cuja curvas espectrais mais atenuadas demonstram o melhor tratamento na remoção de sistema particulado coloidal, na condição de 2500 mg/L de coagulante e 1,0 mol/L de NaCl, representado pelo recipiente e) da *figura 3*.



* NaCl ([A] Efluente Bruto 2, [B] Moringa: 3000mg/L, NaCl 1,5 mol/L, [C] Moringa: 2000 mg/L, NaCl 1,0 mol/L, [D] Moringa: 3000mg/L, NaCl 1,0 mol/L, [E] Moringa: 2500 mg/L, NaCl 1,0 mol/L).

Figura 3: Espectros de máxima absorção (Efluente 2) para concentrações de Moringa oleífera e solução NaCl

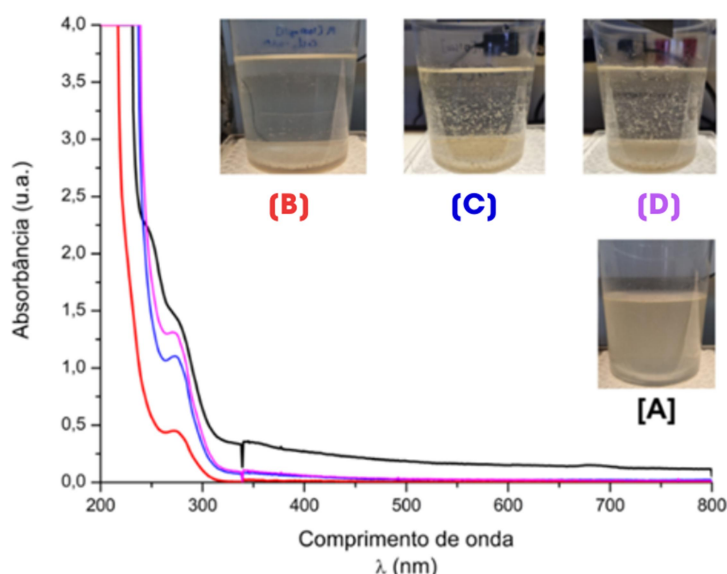
Ao utilizar CaCl_2 (*tabela 4*), o pH permaneceu estável, e a turbidez apresentou variações mínimas com o aumento da concentração do coagulante. As remoções foram de 93%, 95% e 94% para as concentrações de 1000, 1500 e 2000, respectivamente, evidenciando a baixa interferência desse fator. Em relação a condutividade, obteve-se o mesmo comportamento do obtido para NaCl (*tabela 3*), em que o aumento da concentração de Moringa oleífera, provocou um aumento da condutividade.

Tabela 4. Avaliação dos parâmetros após coagulação, floculação e decantação com Moringa oleífera e CaCl₂ para o tratamento do Efluente 2.

Moringa (mg/L)	CaCl ₂ (mol/L)	pH	Turbidez (NTU)	Condutividade (μS/cm)
Efluente 2 bruto	-	11,5	165	1145
1000	0,4	11,0	11	4970
1500	0,4	10,8	8	6600
2000	0,4	10,7	9	6960

A priori, a análise de absorbância (*figura 3*) mostrou que, em comprimentos de onda inferiores a 400 nm, o aumento da concentração de coagulante eleva a absorbância na solução salina de CaCl₂, possivelmente devido ao acréscimo de proteínas catiônicas e compostos orgânicos dissolvidos (Yamaguchi *et al.*, 2021). Para determinar a melhor concentração de Moringa oleífera, a observação visual dos recipientes não permite identificar com clareza a condição ideal. No entanto, considerando a quantidade de coagulante utilizado, uma opção adequada seria a concentração de 1000 mg/L associada a 0,4 g/L de CaCl₂.

Comparando os resultados apresentados na *tabela 3* e *tabela 4*, em relação a avaliação dos parâmetros chega-se a conclusão que para o tratamento dos efluentes gerados durante a obtenção do colágeno de pele-de-peixe a condição mais adequada para o tratamento com coagulação, floculação e decantação seria utilizar a concentração de Moringa oleífera de 1000 mg/L com 0,4 mol/L de CaCl₂.



*[A] Efluente Bruto, [B] Moringa: 1000 mg/L, [C] Moringa: 1500 mg/L, [D] Moringa: 2000 mg/L [CaCl₂ 0,4 mol/L].

Figura 3: Espectros de máxima absorção (Efluente 2) para diferentes concentrações de Moringa oleífera e solução salina de CaCl₂ (0,4 M).

Para alinhar-se aos princípios da economia circular, os resíduos gerados nas etapas de coagulação, floculação e decantação, compostos por escamas de peixe e cascas da Moringa oleífera, foram submetidos à calcinação para a obtenção de um adsorvente e posteriormente colocados em contato com o Efluente 2. O aspecto visual dos adsorventes obtidos está apresentado na *figura 4*. Os resultados dessa etapa indicaram que o adsorvente produzido na proporção de 2:1 (moringa:escama) apresentou uma perda por calcinação de 85%, resultando em 15% de cinzas. Já na proporção de 1:1, a perda por calcinação foi de 80%, com um total de 20% de cinzas. No caso da casca da Moringa oleífera isoladamente, a perda por calcinação atingiu 95%, restando apenas 5% de cinzas.

Os ensaios de adsorção em batelada evidenciaram que a casca da Moringa oleífera apresentou maior eficiência na remoção de turbidez do Efluente 2, atingindo um percentual de 60%, com pH final de 10,7 e condutividade de 1230 μS/cm, do que os demais adsorventes. Por outro lado, nas proporções testadas (2:1 e 1:1), verificou-se que a escama de peixe não demonstrou um potencial significativo para o tratamento desse efluente específico. No entanto, conforme

estudos de Ribeiro et al. (2015), Neves et al. (2017) e Ribeiro et al. (2018), a escama de peixe apresenta viabilidade para o tratamento de corantes, metais pesados e fármacos, sugerindo uma possível aplicação diferenciada desse material.

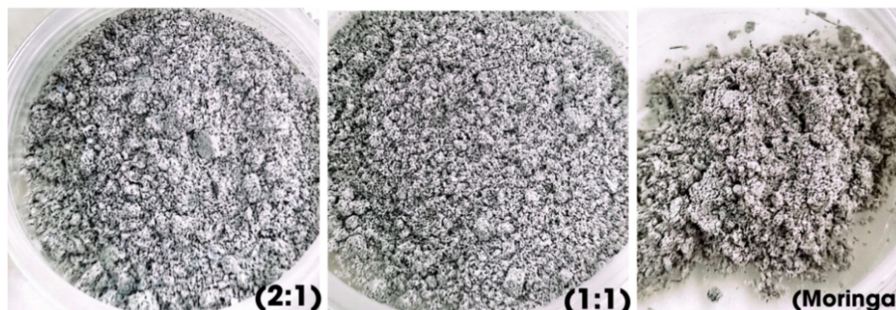


Figura 4: Aspecto visual dos adsorventes calcinados nas proporções de casca de moringa:escama de peixe, 2:1, 1:1 e somente casca da moringa.

A proposta de tratamento de efluentes residuais de laboratório, gerados durante a extração de colágeno da pele de peixe, por meio do uso de coagulantes naturais, como a *Moringa oleífera*, revelou um elevado potencial para os processos de coagulação, floculação e decantação. Além da eficiência na remoção das impurezas, os resíduos resultantes desse tratamento puderam ser reaproveitados na forma de adsorvente, demonstrando viabilidade não apenas para o tratamento dos efluentes laboratoriais analisados, mas também para a remoção de outros contaminantes emergentes (*figura 5*).

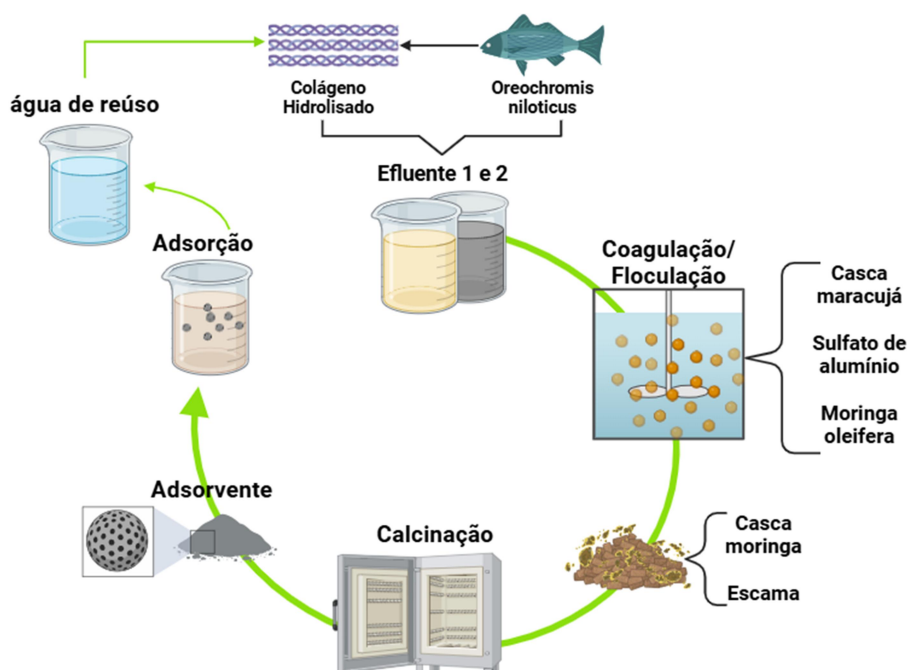


Figura 5 – Esquema ilustrativo de um processo de reuso de água envolvendo conceito de economia circular e sustentabilidade.

CONCLUSÕES

Dessa forma, este estudo evidencia uma abordagem integrada, desde a extração de colágeno da pele de peixe e a consequente geração de efluentes até a reutilização da água residual no próprio processo de extração. Esse ciclo fechado se alinha diretamente aos princípios da economia circular e da sustentabilidade em processos industriais, promovendo a redução do desperdício e a otimização dos recursos disponíveis. A possibilidade de reutilizar a água tratada nos processos de extração e purificação do colágeno hidrolisado, conforme demonstrado neste estudo, não apenas minimiza o consumo hídrico, mas também contribui para a sustentabilidade da cadeia produtiva. Assim, ao viabilizar o fechamento do ciclo de uso e reuso da água, a abordagem proposta reduz significativamente os impactos ambientais associados às atividades industriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Boareto, L. F. S., Barp, G., Oliveira, L., Fiorentin-Ferrari, L. D. **Aplicação de processos sequenciais de coagulação/floculação e membranas no tratamento de água residual da extração de colágeno de pele de peixe**. Anais do 41º Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados (ENEMP), São Cristóvão, SE, 2024. Disponível em: <https://enemp.com.br/anais2024.html>. Acesso: 25 de março de 2025.
2. Jerri, H. A., Adolfsen, K. J., McCullough, L. R., Velegol, D., Velegol, S. B. **Antimicrobial sand via adsorption of cationic *Moringa oleifera* protein**. Langmuir, 28(4), 2262-2268, 2011. Disponível em [doi: 10.1021/la2038262](https://doi.org/10.1021/la2038262).
3. Moreira, D. B., Dias, T. J., Rocha, V. C. & Chaves, A. C. T. A. **Determinação do teor de cinzas em alimentos e sua relação com a saúde**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação – REASE, 7(10), 3041-3053, 2021. Disponível em: <https://www.rease.com.br/artigos/2021/10/3041-3053.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2024.
4. Neves, C. V., Scheufele, F. B., Nardino, A. P., Vieira, M. G. A., Silva, M. G. C., Módenes, A. N. & Borba, C. E. **Phenomenological modeling of reactive dye adsorption onto fish scales surface in the presence of electrolyte and surfactant mixtures**. Environmental Technology, 38(15), 1920-1930, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1240716>
5. Ribeiro, C., Scheufele, F. B., Alves, H. J., Kroumov, A. D., Espinoza-Quiñones, F. R., Módenes, A. N. & Borba, C. E. (2018). **Evaluation of hybrid neutralization/biosorption process for zinc ions removal from automotive battery effluent by dolomite and fish scales**. Environmental Technology, 39(22), 2876-2885, 2018. Disponível em [doi: 10.1080/09593330.2018.1441332](https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1441332)
6. Ribeiro, C., Scheufele, F. B., Espinoza-Quiñones, F. R., Módenes, A. N., Silva, M. G. C., Vieira, M. G. A. & Borba, C. E. **Characterization of *Oreochromis niloticus* fish scales and assessment of their potential on the adsorption of reactive blue 5G dye**. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 482, 693–701, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2015.07.013>
7. Thomas, O. & Causse, J. **From spectra to qualitative and quantitative results**. In O. Thomas & C. Burgess (Eds.), UV-Visible Spectrophotometry of Water and Wastewater (2ª ed., pp. 37-72). Elsevier, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90994-5.00011-3>
8. Triques, C. C., Fagundes-Klen, M. R., Suzuki, P. Y. R., Mateus, G. A. P., Wernke, G., Bergamasco, R. & Rodrigues, M. L. F. **Influence evaluation of the functionalization of magnetic nanoparticles with a natural extract coagulant in the primary treatment of a dairy cleaning-in-place wastewater**. Journal of Cleaner Production, 243, 118634, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118634>
9. Yamaguchi, N. U., Cusioli, L. F., Quesada, H. B., Camargo Ferreira, M. E., Fagundes-Klen, M. R., Salcedo Vieira, A. M., Gomes, R. G., Vieira, M. F. & Bergamasco, R. **A review of *Moringa oleifera* seeds in water treatment: Trends and future challenges**. Process Safety and Environmental Protection, 147, 405–420, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.044>
10. FAO. (2020). **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020**. Disponível em: <https://www.fao.org/3/ca9229en/CA9229EN.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2024.