

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL COAGULANTE DE FARINHAS DESENGORDURADAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL

RENATA MACHADO PEREIRA DA SILVA¹; NATASHA SPINDOLA MARASCA²;
MARIANA BURANELO EGEA³; SIBELE SANTOS FERNANDES⁴

¹Universidade Federal do Rio Grande – renatapereiraps@hotmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande – natasha.spindola@hotmail.com

³IF Goiano Campus Rio Verde - mariana.egea@ifgoiano.edu.br

⁴Universidade Federal do Rio Grande – sibele.fernandes@furg.br

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por água, juntamente com o aumento na concentração de poluentes nos recursos aquáticos, impulsiona a investigação de alternativas econômicas para o tratamento de água e efluentes industriais, uma vez que o descarte inadequado pode levar à eutrofização e efeitos prejudiciais à saúde ambiental e humana (KURNIAWAN et al., 2021). Sendo assim, a coagulação-floculação surge como uma das metodologias mais prevalentes devido à sua natureza econômica, adaptabilidade, requisitos mínimos de energia e eficácia na remoção de substâncias tóxicas. Esse mecanismo físico-químico implica a introdução de coagulantes que servem para neutralizar as cargas nas partículas coloidais, facilitando a formação de flocos que aumentam a sedimentação (FIGUEIREDO et al., 2022). No entanto, coagulantes químicos tradicionais, incluindo sais de ferro e alumínio, estão associados a riscos à saúde e podem contribuir para doenças neurodegenerativas (SIELIECHI; KAYEM; SANDU, 2010).

Em resposta a esses desafios, a exploração de coagulantes naturais surgiu como uma abordagem sustentável e tecnologicamente inovadora. Os biocoagulantes, são considerados substitutos ecologicamente corretos, pois são sintetizados a partir de matérias-primas renováveis, são biodegradáveis, atóxicos e auxiliam na mitigação da geração de lodo durante o processo de tratamento (ANG; MOHAMMAD, 2020; SALEEM; BACHMANN, 2019). Subprodutos industriais, tais como as farinhas desengorduradas provenientes da extração de óleo de sementes, apresentam elevado potencial como biocoagulantes, além de promover a economia circular. Nesse contexto, um exemplo já comprovado é da farinha desengordurada de *Moringa oleifera*, que, mesmo após a extração do óleo, mantém suas propriedades coagulantes e apresenta elevada eficiência na remoção de cor, turbidez e matéria orgânica dissolvida em águas superficiais (FEIHRMANN et al., 2017).

Desta forma, visando aliar a bioeconomia com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) da ONU, as farinhas desengorduradas de chia e baru, subprodutos da extração de óleo da semente de chia e da amêndoa de baru, respectivamente, destacam-se como biocogulantes promissores e amigáveis. Diante disso, este trabalho preliminar teve como objetivo avaliar o potencial biocoagulante de farinhas desengorduradas no tratamento de efluente da indústria de processamento de soja.

2. METODOLOGIA

O efluente foi coletado de uma indústria de processamento de soja da cidade de Rio Grande/RS. A farinha desengordurada de chia (FDC) foi cedida Produza Foods Comércio de Alimentos Ltda, Foz do Iguaçu/PR. A farinha desengordurada de baru (FCB) foi adquirida da Flora Cerrado, Jussara/GO. As quantidades dos biocoagulantes avaliadas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Condições experimentais dos ensaios de coagulação.

Ensaio	Coagulante	Quantidade (g) em 50 mL de água destilada
1	FDB	0,50
2	FDC	0,50
3	FDB + FDC	0,25 (FDB) + 0,25 (FDC)
4	FDB (Coag.) + FDC (Floc.)	0,50 (FDB) + 0,25 (FDC)

FDC: Farinha desengordurada de chia; FDB: Farinha desengordurada de baru; Coag: Coagulação; Floc: Floculação

As soluções de coagulantes foram preparadas utilizando as quantidades descritas para cada ensaio em 50 mL de água destilada, com agitação em agitador magnético até dissolução. O pH das soluções foi ajustado para 7,0. No ensaio 3, os biocoagulantes FDB e FDC foram dissolvidos simultaneamente e adicionados juntos ao sistema. Já no ensaio 4, os coagulantes foram preparados separadamente, a FDB foi dissolvida em 25 mL de água e adicionada na etapa de coagulação, enquanto a FDC foi dissolvida em outros 25 mL e adicionada posteriormente na etapa de floculação.

Cada ensaio foi conduzido em um sistema de jar test, utilizando 500 mL de efluente bruto por recipiente. Inicialmente, as amostras foram agitadas a 120 rpm durante 5 min, correspondendo à etapa de coagulação. Em seguida, a velocidade foi reduzida para 30 rpm e mantida por 15 min, caracterizando a etapa de floculação. Por fim, as soluções permaneceram em repouso por 30 min para a sedimentação dos flocos formados. Ao final de cada tratamento e efluente bruto, foram realizadas medições do pH, cor aparente e turbidez, a fim de permitir a comparação dos diferentes coagulantes e configurações aplicadas.

Os resultados foram tratados por análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey, usando o software Statística 5.0 (Statsoft, EUA). A análise estatística foi realizada considerando um nível de 95% de confiança ($p < 0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta o pH após o tratamento e as eficiências de remoção de cor e turbidez com os biocoagulantes. Além destes, foi realizado a caracterização do efluente bruto, com pH inicial de $7,99 \pm 0,07$, cor aparente de $481,83 \pm 5,34$ PCU e turbidez de $44,32 \pm 0,38$ NTU.

Os resultados indicam que todos os tratamentos mantiveram valores de pH próximos à neutralidade, situando-se na faixa levemente alcalina. Observa-se, contudo, que houve diferença significativa entre os tratamentos, evidenciando que as farinhas desengorduradas, isoladas ou combinadas, influenciaram de forma distinta o pH do meio em relação ao valor inicial.

A FDB, utilizada isoladamente (ensaio 1), apresentou o melhor desempenho na remoção da cor (61,67%). Em contraste, a FDC, aplicada isoladamente (ensaio 2), em mistura com baru (ensaio 3) ou de forma sequencial (ensaio 4), resultou em baixas eficiências de remoção de cor (10,13%, 12,21% e 4,05%, respectivamente).

Tabela 2 – Eficiência dos coagulantes na remoção de turbidez, cor e alteração do pH.

Ensaio	Coagulante	pH	Remoção de cor (%)	Remoção de turbidez (%)
1	FDB	8,13 ± 0,01 ^{ab}	61,67 ± 1,47 ^a	68,94 ± 0,69 ^a
2	FDC	8,14 ± 0,03 ^a	10,13 ± 1,10 ^b	-8,84 ± 1,24 ^c
3	FDB + FDC	8,09 ± 0,01 ^b	12,21 ± 1,25 ^b	-5,53 ± 1,50 ^b
4	FDB (Coag.) + FDC (Floc.)	7,91 ± 0,02 ^c	4,05 ± 0,94 ^c	-18,09 ± 0,13 ^d

FDC: Farinha desengordurada de chia; FDB: Farinha desengordurada de baru; Coag: Coagulação; Floc: Floculação. Letras iguais na coluna indicam que não há diferença significativa entre as médias ($p < 0,05$).

O desempenho semelhante na remoção de cor entre os ensaios 2 e 3 sugere que a presença da FDC pode ter comprometido a atuação da FDB, possivelmente devido à formação de uma rede mucilagínosa proveniente da chia, que envolveu as partículas de baru e dificultou sua interação com os contaminantes. No ensaio 4, a estratégia de aplicação sequencial (baru como coagulante e chia como floculante) resultou no pior desempenho, indicando que a mucilagem da chia, ao invés de favorecer a floculação, acabou reduzindo significativamente sua eficiência.

A remoção de turbidez apresentou tendência semelhante à observada para cor aparente. O ensaio com FDB isolada (ensaio 1) atingiu 68,94% de remoção, enquanto todos os tratamentos que incluíram FDC resultaram em aumento da turbidez final, com valores negativos de eficiência. O pior resultado foi obtido no ensaio 4 (-18,09%), evidenciando que a adição de chia após a coagulação com baru não apenas foi ineficaz, mas também aumentou a dispersão de partículas.

Esse comportamento da FDC pode estar associado à liberação de filamentos mucilaginosos da chia, que permanecem suspensos no efluente, dificultando a sedimentação e, possivelmente, bloqueando os sítios ativos do baru. Além disso, a solubilização de compostos orgânicos presentes na mucilagem, juntamente com a liberação de substâncias do próprio efluente durante o processo de coagulação, apresenta semelhança com achados de outros estudos envolvendo biopolímeros naturais. Esses resultados reforçam a necessidade de ajustes na dosagem e no tempo de decantação, como demonstrado no estudo com sementes de *Moringa oleífera*, no qual o aumento da dosagem reduziu a eficiência do processo (DESTA; BOTE, 2021). Nesse mesmo sentido, no ensaio 4, a maior quantidade de farinha empregada pode ter favorecido a restabilização das partículas em função do excesso de material, contribuindo para a baixa eficiência observada.

De forma geral, a FDB demonstrou desempenho promissor para a remoção de cor e turbidez. Entretanto, observou-se que o lodo formado é fino e sujeito à redispersão, o que sugere a necessidade de otimização do processo. Ajustes no tempo de coagulação/floculação e na concentração de FDC poderiam ser explorados em trabalhos futuros, a fim de verificar seu real potencial como floculante ou espessante em sinergia com o baru.

É importante destacar que ambas as farinhas apresentam frações solúveis e insolúveis, o que indica que, além da coagulação, a adsorção também pode estar atuando como mecanismo complementar de remoção. Esse aspecto é reforçado pela observação de que os farelos não se solubilizaram completamente, mantendo uma fração significativa de partículas sólidas, sobretudo no caso do baru. Dessa

forma, os resultados sugerem que os processos de coagulação e adsorção ocorrem de maneira simultânea, contribuindo para a eficiência observada.

4. CONCLUSÕES

O uso isolado da FDB se destacou como alternativa inovadora e sustentável para o tratamento de efluentes, demonstrando potencial de remoções de 68,94% de turbidez e 61,67% de cor, ao passo que a FDC não apresentou desempenho satisfatório neste tipo de efluente. Observou-se ainda que as farinhas não se solubilizaram completamente, indicando que, além da coagulação, a adsorção pode ter contribuído para os mecanismos de remoção.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANG, W.L.; MOHAMMAD, A.W. State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 262, p. 121267, 2020.

DESTA, W. M.; BOTE, M. E. Wastewater treatment using a natural coagulant (Moringa oleifera seeds): optimization through response surface methodology. **Heliyon**, Amsterdã, v. 7, n. 11, p. e08451, 1 nov. 2021.

FEIHRMANN, A. N. C.; BAPTISTA, A. T. A.; LAZARI, J. P.; SILVA, M. O.; VIEIRA, M. F.; VIEIRA, A. M. S. Evaluation of coagulation/flocculation process for water treatment using defatted cake from Moringa oleifera. **Chemical Engineering Transactions**, Itália, v.57, p. 1543–1548, 2017.

FIGUEIREDO, F.F.; FREITAS, T.K.F.S.; DIAS, G.G.; GERALDINO, H.C.L.; SCANDELAI, A.P.J.; VILVERT, A.J.; GARCIA, J.C. Textile-effluent treatment using Aloe vera mucilage as a natural coagulant prior to a photo-Fenton reaction. **Journal of Photochemistry & Photobiology A: Chemistry**, Amsterdam, v. 429, p. 113948, 2022.

KURNIAWAN, S.B.; ABDULLAH, S.R.S.; OTHMAN, A.R.; PURWANTI, I.F.; IMRON, M.F.; ISMAIL, N.I.; AHMAD, A.; HASAN, H.A. Isolation and characterisation of bioflocculant-producing bacteria from aquaculture effluent and its performance in treating high turbid water. **Journal of Water Process Engineering**, Amsterdam, v. 42, p. 102194, 2021.

SALEEM, M.; BACHMANN, R.T. A contemporary review on plant-based coagulants for applications in water treatment. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, Amsterdam, v. 72, p. 281-297, 2019.

SIELIECHI, J.M.; KAYEM, G.J.; SANDU, I. Effect of water treatment residuals (aluminum and iron ions) on human health and drinking water distribution systems. **International Journal of Conservation Science**, Iasi, v. 1, n. 3, p. 175-182, 2010.