USO DE COAGULANTE À BASE DE TANINO PARA REMOÇÃO DE MICROPLÁSTICOS DA ÁGUA

Julia Santos Peres[(1)]
Graduada em Química Ambiental pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP - campus de São José do Rio Preto/SP. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pela UNESP – campus de Ilha Solteira/SP.
Rosane Freire Boina[(2)]
Professora da Universidade Estadual Paulista – UNESP Campus Presidente Prudente.

Endereço[(1)]**:** Rua José de Lima, 434 – Jardim Santa Eliza – Presidente Prudente- SP – 19027-140 – Brasil – e-mail: julia-santos.peres@unesp.br

RESUMO

A presença de microplásticos (MP) em ambientes aquáticos tem se tornado uma preocupação crescente devido à sua elevada persistência, além dos potenciais impactos ecológicos e à saúde humana. Dentre os MPs presentes em água destaca-se o polietileno tereftelato (PET), utilizado na fabricação de embalagens e produtos descartáveis. Nesse contexto, este trabalho avaliou a eficiência de remoção de MP PET em água por meio do processo físico-químico coagulação/floculação, utilizando o sulfato de alumínio e o tanino da casca da acácia negra (*Acacia mearnsii*). Os ensaios experimentais foram conduzidos por meio de testes em escala laboratorial, utilizando o *Jar test*, em diferentes condições de pH, dosagem tempos de mistura para promover a agregação e posterior sedimentação das partículas. A eficiência de remoção de MP PET foi determinada pela análise de turbidez (NTU) das amostras antes e após o tratamento, como um indicador indireto. Os resultados obtidos apresentaram remoções superiores a 90% para ambos os coagulantes.

PALAVRAS-CHAVE: coagulantes naturais, PET, coagulação

INTRODUÇÃO

O crescente consumo e produção de plásticos têm contribuído significativamente para o aumento do descarte inadequado desses materiais, resultando na crescente presença desses polímeros no meio ambiente ao longo dos anos. A elevada resistência do plástico, associada ao seu longo tempo de decomposição, estimado em até 400 anos dependendo do polímero e das condições ambientais, confere a esse material a característica de poluente persistente (Scanavacca Junior, 2025). Atualmente, estima-se que a produção mundial de plástico ultrapasse 400 milhões de toneladas, intensificando sua presença em ambientes aquáticos (Scanavacca Junior, 2025). Os microplásticos (MP) são classificados como partículas com tamanho inferior a 5 mm, sendo gerados principalmente pela fragmentação de plásticos maiores por processos naturais de ordem mecânica (física), química e biológica. Essas partículas têm sido frequentemente detectadas em corpos d'água, assim como os aditivos químicos associados à sua composição (Rillig et al., 2021). Devido à sua hidrofobicidade e à presença de cargas superficiais negativas, os microplásticos apresentam elevada capacidade de adsorção e acumulação de impurezas, metais e poluentes tóxicos (Fu, *et al*, 2021), gerando uma preocupação adicional.

Considerando a presença de MP em água, especialmente nos mananciais de abastecimento, as Estações de Tratamento de Água (ETAs) destinadas ao abastecimento público enfrentam um novo desafio: projetadas para remover impurezas, matéria orgânica, substâncias inorgânicas e patógenos, essas instalações lidam com a necessidade de adequação da tecnologia e protocolos convencionais de tratamento existentes frente aos novos poluentes que originam importantes impactos quanto ao atendimento dos padrões de potabilidade. As ETAs geralmente utilizam processos físico-químicos (Di Bernardo; Dantas, 2005), tais como a coagulação, floculação, decantação e filtração. A coagulação é o processo físico-químico em que o agente coagulante promove a desestabilização de partículas coloidais (Ang, *et al*, 2020). Esse fenômeno acontece porque as essas partículas comumente são carregadas negativamente, enquanto o agente coagulante possui espécies carregadas, geralmente, com cargas positivas (Lima Júnior; Abreu, 2018).

O agente coagulante reduz as forças entre a fase líquida e as partículas coloidais suspensas, fazendo com que os coloides se agreguem por atração eletrostática formando flocos passíveis de sedimentação que podem ser

retirados com maior facilidade ao fim do tratamento (Choy, *et al*, 2014). Para aumentar a eficiência da coagulação, a água em tratamento deve ser misturada energicamente logo no momento da adição do agente coagulante, para garantir uma dispersão uniforme do produto e, consequentemente, uma maior interação entre a água e as partículas (Pritchard, *et al*, 2010). Os coagulantes mais utilizados são à base de hidróxidos, sulfatos, cloretos e polímeros metálicos hidrolisados. Os mais comuns são o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$), cloreto férrico ($FeCl_3$), sulfato ferroso ($FeSO_4$) e policloreto de alumínio ($Al_n(OH_3)_mCl_{3n-m}$) (Lima Júnior, *et al*, 2018). A formação de espécies hidrolisadas pelos coagulantes depende da dosagem de coagulante e do pH da água em tratamento e, em geral, essas espécies de interesse só são formadas efetivamente se a água possuir pH neutro (Duan; Gregory, 2003). Embora os coagulantes químicos inorgânicos apresentem muitas vantagens como o baixo custo e alta eficiência, estudos recentes mostram várias desvantagens para seu uso (Ali, *et al*, 2025). Em especial, destaca-se a constante presença de íons Al^{3+} residuais dissolvidos na água tratada, decorrente do ajuste de dosagem, apresentado em alguns estudos (Walton, 2013) que sugerem possível associação às doenças do sistema nervoso central, tais como o Alzheimer.

Nessa perspectiva, os coagulantes naturais têm se destacado como alternativa aos coagulantes químicos inorgânicos, pois são formados por grandes cadeias moleculares com cargas positivas e negativas, sendo os catiônicos os mais eficazes, pois desestabilizam as partículas negativas dos poluentes (Bolto; Gregory, 2007). Além disso, apresentam vantagens como elevada biodegradabilidade, baixa toxicidade, ampla disponibilidade, caráter renovável, baixo custo e reduzida alteração do pH durante o tratamento. Entretanto, a eficiência desses coagulantes está diretamente relacionada a fatores como dosagem aplicada, controle de pH e tempo de mistura (Ahmad et al., 2022; Azamzam et al., 2022).

Estudos sobre a eficiência do processo de coagulação-floculação na remoção de água contendo MP são recentes (Mao, *et al*, 2024) representando uma área a ser explorada considerando a diversidade de tipos MPs. Diante do exposto, este trabalho apresenta estudos de coagulação com um dos coagulantes mais utilizados, o sulfato de alumínio em comparação com testes realizados utilizando o tanino extraído da Acácia-negra (*Acacia mearnsii*). Esta investigação abordou a preparação dos coagulantes, as dosagens e tempos de mistura e a análise da eficiência de remoção de micropartículas de PET de água por análise de turbidez.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência de um coagulante natural à base de tanino vegetal na remoção de microplásticos da água, por meio do processo de coagulação/floculação, comparando seu desempenho ao de um coagulante inorgânico convencional.

METODOLOGIA

Preparo

Inicialmente, as garrafas PET foram adquiridas no comércio local sendo selecionadas, lavadas, secas, cortadas em pedaços menores e trituradas em moinho de facas até formação de pó. As partículas foram peneiradas para uniformização, apresentando tamanhos entre 0,500 e 0,149 mm. Os microplásticos formados foram adicionados à água de um manancial de abastecimento municipal na concentração de 50 mg/L, com base nos dados de Ziembowicz; Kida; Koszelnik (2023), tendo a leitura do pH e turbidez (NTU) da mistura determinada. A água foi coletada no período da manhã, com amostragem simples, na margem do manancial, com auxílio de balde e corda, armazenada em recipiente plástico e encaminhada para o laboratório para mistura e tratamento. Devido ao uso imediato, as coletas de água ocorreram semanalmente.

Para a produção do coagulante químico inorgânico foi preparada uma solução de Sulfato de Alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) de concentração 2% (m/v). O coagulante natural, extraído da Acácia-negra, foi fornecido em pó pela empresa Tanac S.A. A solução foi preparada a 0,1% em quantidade suficiente de acordo com a necessidade experimental tendo a solução validade de aproximadamente sete dias.

Ensaios de Coagulação

Testes de jarros (*Jar Test*) foram executados para avaliação do desempenho do sulfato de alumínio e do tanino na remoção de turbidez da água, sendo um parâmetro indireto para análise da remoção de MP, conforme recomendado por Bayarkhuu e Byun (2022). Os testes utilizaram volume de 1000 mL de água do manancial com MP, à temperatura ambiente (25ºC), em triplicata, com mistura rápida (MR) de 120 rpm por 30 e 60 segundos e mistura lenta (ML) de 20 rpm por 10 e 15 minutos, seguidos de 30 minutos de sedimentação para cada um dos coagulantes utilizados.

As dosagens de tanino foram definidas com base em estudos prévios que mostraram a eficiência do coagulante em baixas concentrações (Silveira, *et al*, 2021). Dessa forma, foram selecionadas as dosagens de 0, 5, 10 e 15 mg/L. Considerando a concentração de MP adicionada, juntamente com as partículas naturais dispersas na água, as dosagens utilizadas de sulfato de alumínio foram de 0, 100, 200 e 300 mg/L, visto que alguns trabalhos demonstram que o aumento da dosagem do coagulante favorece a formação de flocos (Ma, *et al*, 2019).

Para os testes com sulfato de alumínio, o pH da água foi ajustado para a faixa da neutralidade (entre 6,0 e 7,5) (Yang, *et al*, 2010), enquanto para o tanino vegetal a faixa de pH permaneceu entre 4,5 a 8,0, conforme recomendação da ficha técnica do produto. Os valores de pH foram ajustados conforme a necessidade utilizando soluções de hidróxido de sódio (NaOH) ou ácido sulfúrico (H_2SO_4).

Após o tratamento de coagulação, foi retirada uma alíquota do líquido sobrenadante para análise final. Os resultados foram apresentados com base na média aritmética dos valores de turbidez (NTU) medidos. A eficiência de remoção (ER) de microplásticos da água foi estimada com base na redução da turbidez a partir da Equação 1, segundo Lopes, *et al* (2020).

ER(%) = [1- (Turbidez final/Turbidez inicial)] * 100 Equação (1)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em função das condições de coleta e utilização imediata da água do manancial ao longo do período experimental, foram observadas variações nos valores iniciais de turbidez e pH entre os ensaios. A turbidez média inicial foi de aproximadamente 120 ± 9,5 NTU enquanto os valores de pH variaram entre 7,2 e 8,7.

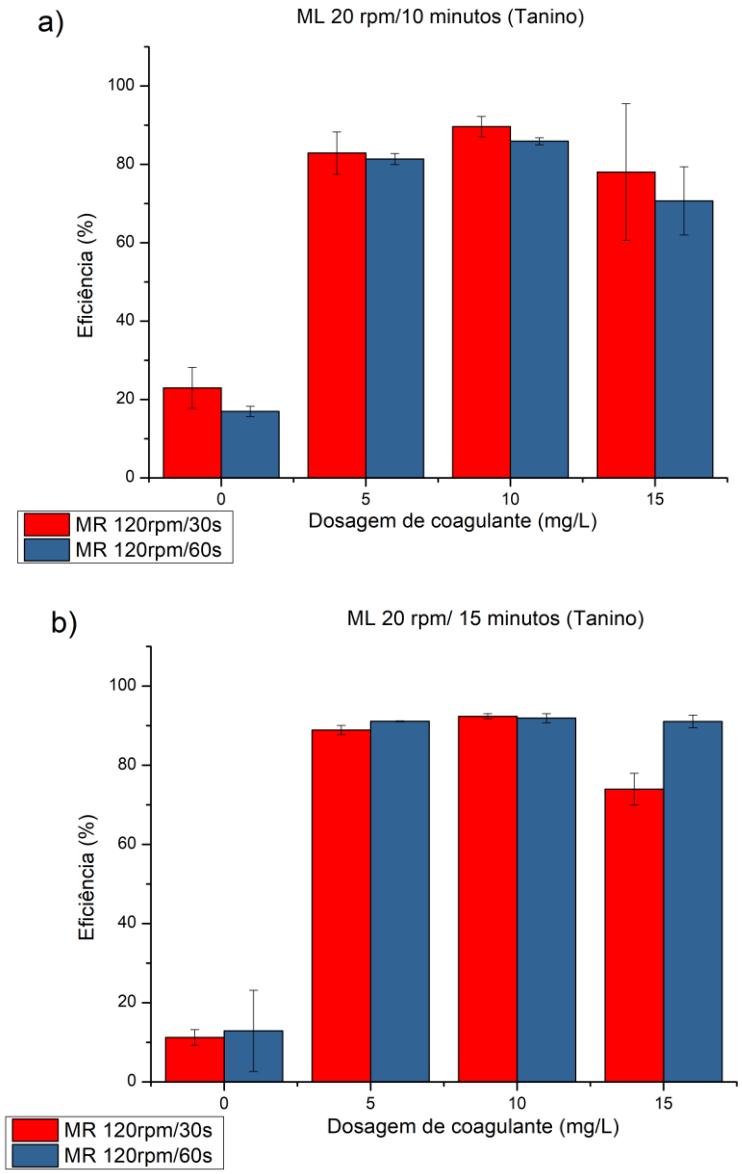
Durante os ensaios com tanino, verificou-se que a adição do coagulante promoveu pequenas alterações no pH da água, sendo necessário apenas o ajuste inicial para a faixa de operação desejada. Por outro lado, a aplicação do sulfato de alumínio provocou redução importante do pH do meio, comportamento esperado em função das reações de hidrólise do coagulante, exigindo correções adicionais com soluções de hidróxido de sódio para manutenção da faixa operacional adequada. Os resultados gerais obtidos demonstraram que a aplicação dos coagulantes influenciou a redução da turbidez da água. Considerando que a turbidez está associada à presença de partículas suspensas no meio, sua diminuição indica a remoção de material particulado, incluindo potencialmente os microplásticos adicionados ao sistema experimental.

A Figura 1 apresenta os resultados de eficiência de remoção de turbidez utilizando a solução de tanino de acácia negra sob diferentes condições de mistura rápida (MR) e mistura lenta (ML). Nos ensaios controle, realizados sem adição de coagulante (0 mg/L), as eficiências permaneceram reduzidas, variando entre aproximadamente 10 e 25%, o que pode estar associado à sedimentação natural das partículas presentes na água. Com a adição do coagulante de tanino, observou-se aumento da eficiência de remoção nas condições avaliadas. As dosagens de 5 e 10 mg/L apresentaram os melhores resultados, alcançando eficiências superiores a 80% na maioria dos experimentos. Em contrapartida, a dosagem de 15 mg/L resultou em pequeno declínio da eficiência em uma das condições operacionais. Esse comportamento pode estar relacionado ao fenômeno de sobredosagem, no qual o excesso de polímero promove a reestabilização das partículas suspensas, reduzindo a formação de flocos sedimentáveis.

A maior eficiência observada para o tanino foi de 92,36% ± 0,65, obtida com mistura rápida de 120 rpm por 30 segundos, seguida de mistura lenta de 20 rpm por 15 minutos e dosagem de 10 mg/L. Os resultados indicam capacidade de agregação das partículas suspensas utilizando baixas concentrações do coagulante natural. Além disso, o aumento do tempo de mistura lenta de 10 para 15 minutos favoreceu a remoção de

turbidez, especialmente na dosagem de 10 mg/L, sugerindo que o maior tempo de floculação contribuiu para o crescimento e estabilização dos flocos, favorecendo sua sedimentação.

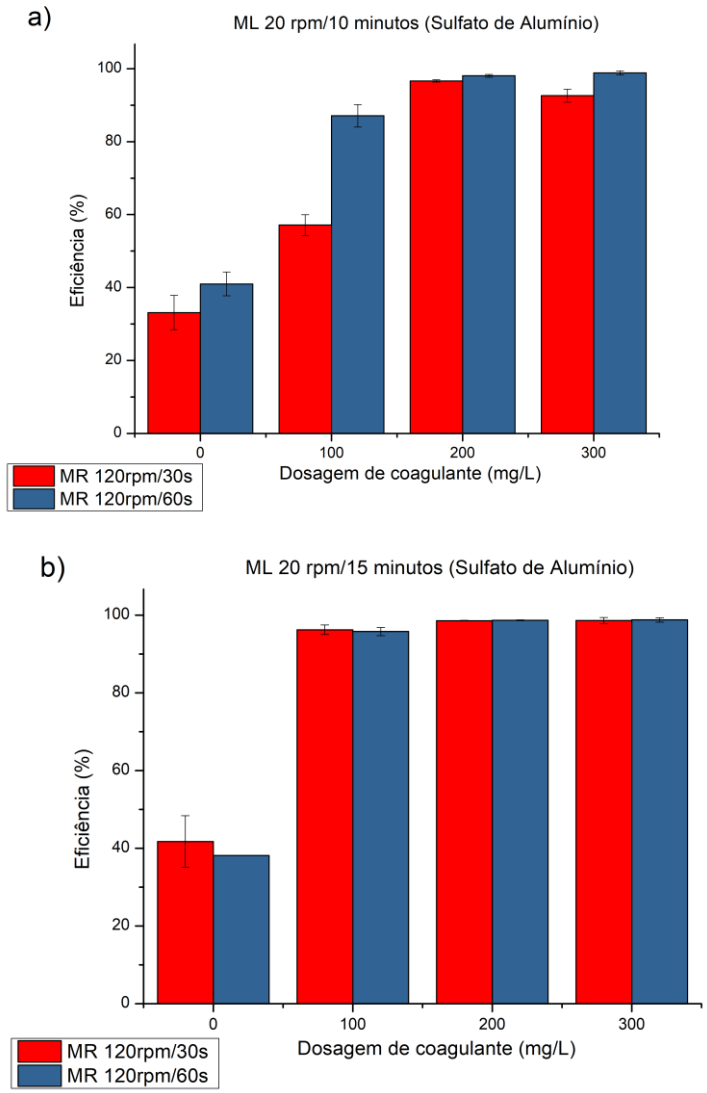
Figura 1 - Eficiência de remoção de turbidez utilizando tanino em diferentes condições operacionais. (a) Mistura lenta de 10 minutos. (b) Mistura lenta de 15 minutos.



Fonte: Autoria própria.

Quanto aos resultados obtidos com o sulfato de alumínio (Figura 2), os ensaios sem adição de coagulante também apresentaram baixas eficiências de remoção, variando entre aproximadamente 30 e 45%. A aplicação do coagulante inorgânico promoveu aumento da eficiência em todas as condições operacionais avaliadas. A maior eficiência obtida foi de 98,84% ± 0,55, alcançada com mistura rápida de 120 rpm por 60 segundos, mistura lenta de 20 rpm por 10 minutos e dosagem de 300 mg/L. Embora o sulfato de alumínio tenha apresentado a maior eficiência absoluta de remoção de turbidez, observa-se que tal desempenho foi alcançado mediante utilização de dosagens superiores às requeridas pelo tanino.

Figura 2 -Eficiência de remoção de turbidez utilizando sulfato de alumínio em diferentes condições operacionais. (a) Mistura lenta de 10 minutos. (b) Mistura lenta de 15 minutos.

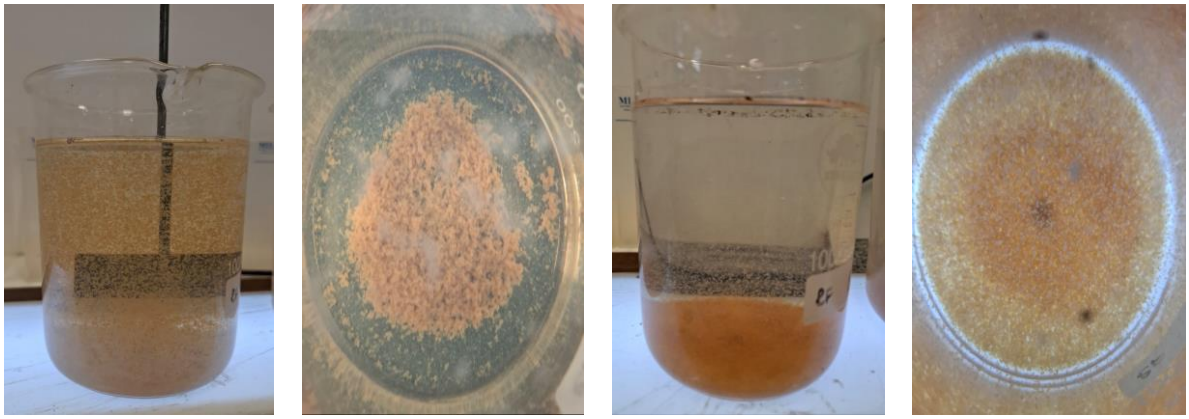


Fonte: Autoria própria.

Comparando os melhores resultados obtidos para ambos os coagulantes, verifica-se que o tanino alcançou eficiência superior a 92% utilizando apenas 10 mg/L, enquanto o sulfato de alumínio atingiu aproximadamente 98% com dosagem a partir de 100 mg/L. Dessa forma, embora o coagulante inorgânico tenha apresentado desempenho superior, o tanino demonstrou elevada eficiência utilizando concentrações significativamente menores, evidenciando seu potencial de aplicação em processos de tratamento de água.

A análise visual dos ensaios permitiu observar diferenças qualitativas entre os flocos produzidos pelos dois coagulantes (Figura 3). Nos experimentos com tanino, verificou-se a formação de flocos aparentemente maiores e mais densos (Figura 3a) Esse comportamento sugere elevada capacidade de agregação das partículas suspensas, favorecendo o processo de sedimentação (Figura 3b). Nos ensaios conduzidos com sulfato de alumínio, observou-se a formação de flocos menores (Figura 3c), acompanhados de uma camada gelatinosa esbranquiçada associada à precipitação de hidróxidos de alumínio gerados durante o processo de coagulação (Figura 3d). A formação desse precipitado é característica dos coagulantes à base de alumínio e contribui para a remoção de partículas suspensas por mecanismos de adsorção e arraste.

Figura 3 - (a, b) Flocos formados e sedimentados pela adição do tanino vegetal e (c, d) pelo sulfato de alumínio.



a) b) c) d)
Fonte: Autoria própria.

Os resultados obtidos estão de acordo com estudos recentes que demonstraram a eficiência do processo de coagulação na remoção de microplásticos e impurezas. A elevada eficiência obtida com o sulfato de alumínio pode ser explicada pelos resultados apresentados por Yang, *et al* (2010), que destacaram a influência das espécies hidrolisadas de alumínio e do pH na eficiência do processo de coagulação. Segundo os autores, a formação do hidróxido de alumínio favorece a agregação e a sedimentação de partículas presentes na água. Portanto, a eficiência de 98,84% ± 0,55 observada demonstra a elevada capacidade do sulfato de remover micropartículas de PET. A elevada eficiência resultante da aplicação do tanino (92,36% ± 0,65) também está de acordo com o potencial de coagulantes orgânicos naturais, descrito por Choy, *et al* (2014), Ang e Mohammad (2020) e Ahmad, *et al* (2022), que destacam a capacidade dos compostos vegetais em promover a coagulação pelos mecanismos de neutralização de cargas e formação de pontes entre partículas.

De modo geral, os resultados demonstraram que ambos os coagulantes apresentaram elevada eficiência na redução da turbidez da água, alcançando valores superiores a 90% em condições operacionais específicas. Nesse contexto, o tanino destacou-se como uma alternativa promissora aos coagulantes convencionais, combinando elevada eficiência de remoção com baixas dosagens de aplicação e reduzida interferência sobre o pH da água tratada.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que tanto o coagulante de tanino vegetal extraído da Acácia-negra quanto o sulfato de alumínio foram eficientes na redução da turbidez da água contendo micropartículas de PET, alcançando eficiências superiores a 90% em condições operacionais específicas de coagulação-floculação. O sulfato de alumínio apresentou a maior eficiência de remoção de turbidez, entretanto, o tanino vegetal alcançou eficiência de 92,36%, apresentando desempenho satisfatório com dosagens significativamente inferiores. Além disso, o coagulante natural promoveu menor interferência nos valores de pH da água tratada, reduzindo a necessidade de correções durante a operação. Os resultados também indicaram que o aumento do tempo de mistura lenta favoreceu a formação e sedimentação dos flocos, contribuindo para o incremento da eficiência de remoção. Observou-se ainda, de forma qualitativa, a formação de flocos maiores e mais densos nos ensaios com tanino, sugerindo elevada capacidade de agregação das partículas suspensas.

Embora a remoção dos microplásticos não tenha sido quantificada diretamente, a redução da turbidez observada indica elevado potencial de remoção do material particulado presente no sistema experimental. Dessa forma, o tanino vegetal mostrou-se uma potencial alternativa aos coagulantes convencionais para aplicação em processos de tratamento de água contendo microplásticos, associando elevada eficiência de remoção, baixa dosagem de aplicação e reduzida alteração das características químicas da água.

Por fim, recomenda-se a realização de estudos complementares envolvendo a quantificação direta dos microplásticos remanescentes após o tratamento, bem como a avaliação da qualidade do lodo gerado e da viabilidade de aplicação do coagulante natural em condições operacionais próximas às encontradas em estações de tratamento de água.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHMAD, Azmi; KURNIAWAN, Setyo Budi; ABDULLAH, Siti Rozaimah Sheikh; OTHMAN, Ahmad Razi; HASAN, Hassimi Abu. Exploring the extraction methods for plant-based coagulants and their future approaches. Science Of The Total Environment, [S.L.], v. 818, p. 151668, abr. 2022. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151668

2. ALI, Sayed Kotb; ABDOU, Moaz M.; EMARA, Mostafa M.; FARAG, Rabie Saad; MUBARAK, Mahmoud F. Eco-friendly solutions: a comprehensive review of natural coagulants for sustainable water treatment. **Environmental Geochemistry And Health**, [S.L.], v. 47, n. 12, p. 1-26, 31 out. 2025. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s10653-025-02803-3.

3. ANG, Wei Lun; MOHAMMAD, Abdul Wahab. State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 262, p. 121267, jul. 2020. Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267

4. AZAMZAM, Abdassalam A.; RAFATULLAH, Mohd; YAHYA, Esam Bashir; AHMAD, Mardiana Idayu; LALUNG, Japareng; ALAM, Mahboob; SIDDIQUI, Masoom Raza. Enhancing the Efficiency of Banana Peel Bio-Coagulant in Turbid and River Water Treatment Applications. Water, [S.L.], v. 14, n. 16, p. 2473, 11 ago. 2022. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/w14162473

5. BAYARKHUU, Bolormaa; BYUN, Jeehye. Optimization of coagulation and sedimentation conditions by turbidity measurement for nano- and microplastic removal. **Chemosphere**, [S.L.], v. 306, p. 135572, nov. 2022. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135572.

6. BOLTO, Brian; GREGORY, John. Organic polyelectrolytes in water treatment. Water Research, [S.L.], v. 41, n. 11, p. 2301-2324, jun. 2007. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2007.03.012

7. CHOY, Sook Yan; PRASAD, Krishna Murthy Nagendra; WU, Ta Yeong; RAGHUNANDAN, Mavinakere Eshwaraiah; RAMANAN, Ramakrishnan Nagasundara. Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. Journal Of Environmental Sciences, [S.L.], v. 26, n. 11, p. 2178-2189, nov. 2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024

8. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2 ed, v. 1. São Carlos: Editora RiMa, 2005.

9. DUAN, Jinming; GREGORY, John. Coagulation by hydrolysing metal salts. Advances In Colloid And Interface Science, [S.L.], v. 100-102, p. 475-502, fev. 2003. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s0001-8686(02)00067-2

10. FU, Lina; LI, Jing; WANG, Guoyu; LUAN, Yaning; DAI, Wei. Adsorption behavior of organic pollutants on microplastics. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [S.L.], v. 217, p. 112207, jul. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112207.

11. GARCIA, Juliana Carla.; OLIVEIRA, Janaína L.; SILVA, Alessandra Eugênio Carli; OLIVEIRA, Claudio C.; NOZAKI, Jorge.; SOUZA, Nilson Evelásio de. Comparative study of the degradation of real textile effluents by photocatalytic reactions involving UV/TiO2/H2O2 and UV/Fe2+/H2O2 systems. Journal Of Hazardous Materials. Maringá, p. 105-110. ago. 2007, https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.12.053

12. ISKANDARANI, Shaima; CAMPOS, Luiza C.; SAIKALY, Pascal E.; BUSQUETS, Rosa. Hybrid Wastewater Treatment: efficiency and challenges in microplastic removal. **Acs Es&T Water**, [S.L.], v. 6, n. 5, p. 2619-2636, 27 abr. 2026. American Chemical Society (ACS). http://dx.doi.org/10.1021/acsestwater.5c01270

13. JUNIOR, Alcides Tonhato; HASAN, Salah Din Mahmud; SEBASTIEN, Nyamien Yahaut. Optimization of Coagulation/Flocculation Treatment of Brewery Wastewater Employing Organic Flocculant Based of Vegetable Tannin. Water, Air, & Soil Pollution, [S.L.], v. 230, n. 8, p. 1-18, ago. 2019. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s11270-019-4251-5

14. LAPOINTE, Mathieu; BARBEAU, Benoit. Dual starch–polyacrylamide polymer system for improved flocculation. Water Research, [S.L.], v. 124, p. 202-209, nov. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.044

15. LIMA JÚNIOR, R.N; ABREU, F. O. M. S.. Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Floculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades. Revista Virtual de Química, Itaperi, v. 10, n. 3, p. 709-735, jun. 2018. Disponível em: https://web.archive.org/web/20200210093244id_/http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v10n3a20.pdf . Acesso em: 27 mai. 2026.

16. LOPES, Verônica dos Santos; SILVA, Lorena Miranda de Almeida; MORUZZI, Rodrigo Braga; OLIVEIRA, André Luiz de. Estudo da coagulação/floculação de água com turbidez moderada na sedimentação e flotação por ar dissolvido. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 25, n. 4, p. 567-572, ago. 2020. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522020193514.

17. MA, Baiwen; XUE, Wenjing; DING, Yanyan; HU, Chengzhi; LIU, Huijuan; QU, Jiuhui. Removal characteristics of microplastics by Fe-based coagulants during drinking water treatment. **Journal Of Environmental Sciences**, [S.L.], v. 78, p. 267-275, abr. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2018.10.006.

18. MAO, Yufeng; HU, Zuoyuan; LI, Hong; ZHENG, Huaili; YANG, Shengfa; YU, Weiwei; TANG, Bingran; YANG, Hao; HE, Ruixu; GUO, Wenshu; YE, Kailai; YANG, Aoguang; ZHANG, Shixin. Recent advances in microplastic removal from drinking water by coagulation: removal mechanisms and influencing factors. **Environmental Pollution**, [S.L.], v. 349, p. 123863, maio 2024. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123863.

19. PRITCHARD, Martin; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, Thereza W.; EDMONDSON, Alan S.; O'NEILL, J. G. A comparison between Moringa oleifera and chemical coagulants in the purification of drinking water - An alternative sustainable solution for developing countries. Physics and Chemistry of the Earth 35:798–805. 2010. https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.07.014

20. RILLIG, Matthias C.; KIM, Shin Woong; KIM, Tae-Young; WALDMAN, Walter R.. The Global Plastic Toxicity Debt. Environmental Science & Technology, [S.L.], v. 55, n. 5, p. 2717-2719, 17 fev. 2021. American Chemical Society (ACS). http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.0c07781

21. SABESP. Tratamento de Água. Disponível em: https://www.sabesp.com.br/o-que-fazemos/fornecimento-agua/tratamento-agua. Acesso em: 31 mar. 2026.

22. SCANAVACCA JUNIOR, Laerte. Poluição por plástico: um desafio global. 2025. Embrapa. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/101194207/artigo--poluicao-por-plastico-um-desafio-global. Acesso em: 22 jan. 2025.

23. SILVEIRA, Jéssica Rodrigues; SOUZA, Valéria Menezes de; CUBA, Renata Medici Frayne; TERAN, Francisco Javier Cuba. Influência da pré-cloração na clarificação de águas para abastecimento utilizando coagulante à base de tanino. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 26, n. 6, p. 1025-1032, dez. 2021. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220190391.

24. TANAC. Tanfloc SG. Disponível em: https://www.tanac.com.br/produto/tratamento-de-agua/. Acesso em: 27 abr. 2026

25. WALTON, J.R.. Aluminum's Involvement in the Progression of Alzheimer's Disease. Journal Of Alzheimer's Disease. Sydney, p. 7-43. jan. 2013. Disponível em: https://doi.org/10.3233/JAD-121909 . Acesso em: 17 jul. 2025.

26. YANG, Zhong Lian; GAO, Bao Yu; YUE, Qin Yan; WANG, Yan. Effect of pH on the coagulation performance of Al-based coagulants and residual aluminum speciation during the treatment of humic acid–kaolin synthetic water. **Journal Of Hazardous Materials**, [S.L.], v. 178, n. 1-3, p. 596-603, jun. 2010. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.01.127.

27. ZIEMBOWICZ, Sabina; KIDA, Małgorzata; KOSZELNIK, Piotr. Elimination of a Mixture of Microplastics Using Conventional and Detergent-Assisted Coagulation. **Materials**, [S.L.], v. 16, n. 11, p. 4070, 30 maio 2023. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/ma16114070.