



# REMOÇÃO DE MICROPLÁSTICOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO POR FLOTAÇÃO

**Palavras-Chave:** água doce; microplásticos; tratamento convencional.

**Autores:**

VICTÓRIA FERNANDA GENARO SILVA [UNICAMP]

Eng<sup>a</sup> LARISSA SILVA ARAÚJO (mestranda) [UNICAMP]

Prof. Dr. RICARDO DE LIMA ISAAC (orientador) [UNICAMP]

---

## INTRODUÇÃO

### MICROPLÁSTICOS

Na literatura científica, os microplásticos (MPs) são caracterizados como partículas com tamanho menor que 5 mm. Eles são divididos em dois grupos, de acordo com a sua procedência: os MPs primários são aqueles produzidos em tamanho microscópico para compor outros produtos (sabonetes, esfoliantes e cremes dentais, por exemplo) e chegam ao meio ambiente através do descarte ou uso final; e MPs secundários, resultantes de produtos plásticos maiores que foram descartados no meio ambiente, tornando-se mais frágeis e fragmentando-se em partículas menores (OLIVATTO *et al.*, 2018). Deve-se ressaltar que o descarte de plásticos os submete às condições de intemperismo como abrasão mecânica, biodegradação, hidrólise, irradiação e fotodegradação (ALIMI *et al.*, 2018; EL HADRI *et al.*, 2020; GALLOWAY, 2015; LIU *et al.*, 2020; SONG *et al.*, 2020; YOSHIDA *et al.*, 2016 *apud* SHARMA *et al.*, 2021).

A Organização Mundial da Saúde também visualiza os MPs como adversidade para a sociedade (ONU, 2019), visto que os mesmos já podem ser encontrados em alimentos e no ar e, até o momento, não se sabe ao certo os efeitos que podem causar à saúde humana. O relatório cita que entender quais são os efeitos potenciais na saúde humana é fundamental. Assim, percebe-se a necessidade de tratar e remover os MPs em Estações de Tratamento de Água (ETAs) para abastecimento público.

Di Bernardo e Dantas (2005) citam que existe uma relação entre o meio ambiente e as tecnologias que devem ser adotadas para a remoção dos poluentes, para que o tratamento seja eficaz, ou seja, a qualidade da água de um local e as relações com o meio em que está inserido deve determinar a melhor forma de tratamento. Deste modo, é necessário que haja ações em toda a cadeia desde a produção, utilização até o destino final. É importante que haja um forte controle de MPs desde quando inseridos em produtos utilizados diretamente pelos consumidores; seu descarte deve ser acompanhado pela empresa geradora, sendo incentivado a prática e reciclar quando possível reciclar ou para qual aterro o resíduo é levado o descarte do produto, para que haja uma força conjunta entre interesse público e privado para

controlar o problema; controle interno do aterro, para que os MPs já degradados não sejam levados para outros locais sem controle algum; e, por fim, quando o efluente ou a água a serem tratados cheguem nos respectivos locais de tratamento, que seja utilizado a tecnologia que mais se adequa à necessidade presente na região, para que os MPs sejam removidos de forma adequada.

### **TRATAMENTO CONVENCIONAL**

De maneira geral, os processos unitários componentes do tratamento convencional de uma ETA consistem na coagulação química, floculação, sedimentação, filtração em meio granular e desinfecção. Na coagulação são aplicados produtos químicos para desestabilizar as partículas coloidais eletricamente carregadas. Já a floculação é o processo de agregação das partículas coaguladas, para que haja a separação nos processos seguintes, fundamental para a remoção de cor e turbidez, sendo esses parâmetros alvo de estudo da presente pesquisa. Ambos são processos imprescindíveis e influenciam diretamente em um tratamento adequado. Após a formação dos flocos, é realizado a sedimentação ou a flotação por ar dissolvido. Além disso, a filtração também é um processo unitário físico-químico utilizado para separar as impurezas através de um meio poroso. Por fim, a desinfecção visa inativar os microrganismos não eliminados nas etapas anteriores (RICHTER, 2009).

### **REMOÇÃO DOS MICROPLÁSTICOS**

Pivokonsky *et al.* (2018) encontraram MPs em amostras de águas de três diferentes ETAs na República Tcheca. Eles observaram maior concentração destes poluentes na água bruta, em comparação à água tratada; que 95% das partículas estavam no intervalo de 1–10  $\mu\text{m}$  e; por fim, polietileno tereftalato (PET), polipropileno (PP) e polietileno (PE) foram os tipos de polímeros mais encontrados. Já Novotna *et al.* (2019) forneceram um panorama geral dos estudos sobre MPs em diversos tipos de água e avaliações da eficiência de remoção. Este artigo é fundamental para entender o que já foi estudado. Os autores concluem que as ETAs são uma forma de barrar os MPs e que os processos convencionais de tratamento possuem potencial para remover parte dos MPs encontrados no meio ambiente. Ressaltam, porém, que se deve avaliar a eficiência de cada processo na cadeia de tratamento.

Zhou *et al.* (2021) também estudaram a remoção de MPs de PS e PE utilizando os coagulantes cloreto de polialumínio (PAC) e cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ). Como principais resultados obtidos, foi observado que a neutralização de cargas ocorreu no processo de coagulação e que o PAC teve um desempenho melhor na remoção dos MPs em estudo em relação ao sal de ferro. A relação entre a concentração entre PS e o PAC é de extrema importância, visto a semelhança com a presente iniciação científica. No geral, a remoção de ambos MPs estudados foi mais eficiente no meio alcalino do que no meio ácido, visto que o pH tem efeito direto na eficiência da coagulação.

Ainda referente ao estudo de Zhou *et al.* (2021), foi obtida a eficiência de 77,83% de remoção do PS em uma dosagem de PAC de 90 mg/L e verificou-se que, quando excedeu esse valor, a eficiência se manteve

ou reduziu ligeiramente. Ademais, observou-se que partículas maiores são mais passíveis de remoção, uma vez que sua densidade supera a da água, facilitando a sedimentação.

Por fim, o estudo de Zhang *et al.* (2021) buscou avaliar a remoção de MPs e matéria orgânica dissolvida com uma ferramenta de microbolhas, ideia semelhante ao FAD. Os autores citam que, se a abordagem for apenas de se avaliar a densidade, a flotação apresenta grande potencial, visto que os flocos com densidade inferior à da água flutuam na sua superfície. Porém, quanto menor o tamanho dos MPs, a flotação pode ter um resultado abaixo do esperado, pois a força de empuxo diminui e as bolhas acabam carregando partículas não plásticas, porém mais densas, para serem removidas após a finalização do processo, deixando os MPs fora do tratamento. O estudo obteve como principais resultados uma remoção de 94% de PS e praticamente uma total remoção da cor. Sendo assim, o sistema de flotação tende a ser mais eficiente para remoção de MPs e MO em diferentes matrizes aquáticas.

## **METODOLOGIA PLANEJADA**

Apesar da impossibilidade decorrente da pandemia de Covid-19 e consequente proibição de atividades presenciais no laboratório, a primeira etapa de ensaios de tratabilidade foram realizadas, porém a continuidade da pesquisa foi comprometida.

### **SUSPENSÃO COLOIDAL DE ESTUDO**

Na primeira etapa da pesquisa, foram preparadas duas matrizes de suspensões artificiais com água oriunda de poço tubular profundo, à qual foi adicionada caulinita até a obtenção de uma turbidez média de 50 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez). As duas matrizes diferiram-se, entretanto, quanto à concentração de matéria orgânica:  $0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  ou  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , pela fortificação com ácido húmico.

Na segunda etapa dos ensaios, seriam adicionadas às duas matrizes aquosas, separadamente, microesferas de poliestireno de diâmetro  $2 \mu\text{m}$  e densidade  $1,05 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  (Sigma-Aldrich®) e microfibras de polipropileno de diâmetro  $28 \mu\text{m}$ , comprimento  $80 \mu\text{m}$  e densidade  $0,9 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1}$  (GoodFellow®), à concentração de  $3,2 \times 10^3 \text{ partículas} \cdot \text{L}^{-1}$ .

### **ENSAIOS DE TRATABILIDADE**

Primeiramente, foram executados ensaios de tratabilidade em aparelho de Jar-Test (Nova Ética®), simulando as operações unitárias de coagulação, floculação e sedimentação, de forma a permitir a obtenção de dois diagramas de coagulação distintos: um para a ausência de matéria orgânica natural e outro para a sua presença (representando as duas matrizes aquosas supracitadas). Nessa etapa, não foram adicionados microplásticos às suspensões de estudo e variaram-se as condições operacionais de pH de coagulação (pela adição de soluções alcalinizante ou acidificante) de 4 a 10,8 e a concentração do coagulante cloreto de polialumínio (PAC) de  $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  a  $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  de teor de alumínio (18%). Na sequência, as amostras foram submetidas a análises de turbidez, para obtenção da eficiência do processo de tratamento.

Na segunda etapa da pesquisa, as matrizes aquosas fortificadas com microplásticos seriam submetidas a ensaios de tratabilidade em agitador Flo-Test (Nova Ética®), simulando as operações unitárias de coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido. Seriam replicadas as condições operacionais que culminaram nas melhores e piores eficiências de remoção de turbidez na etapa anterior, de modo a verificar a aplicação da análise de turbidez como um método indicativo indireto para a remoção de microplásticos.

As condições operacionais serão fixas (DI BERNARDO; DI BERNARDO; CENTURIONE FILHO, 2002), de acordo com o detalhamento da Tabela 1:

**Tabela 1 – Condições Operacionais dos Ensaios de Tratabilidade em Flo-Test.**

Coagulação		Floculação		Flotação			
Tempo (s)	G ( $s^{-1}$ )	Tempo (s)	G ( $s^{-1}$ )	Velocidade Ascensional ( $cm \cdot min^{-1}$ )	Taxa de recirculação (%)	Pressão de saturação (kPa)	Tempo de saturação da água (min)
5	900	900	50	10	10	400	8

Fonte: Autores (2020)

Além da análise de turbidez, as amostras seriam submetidas a análises de quantificação de partículas em contador de partículas (Hach®). Tendo-se as concentrações inicial ( $3,2 \times 10^3$  partículas.  $L^{-1}$ ) e final (obtida pela análise de contagem de partículas) de microplásticos, seria possível calcular a eficiência de remoção de microplásticos e analisar quais condições de pH e dosagem de coagulante seriam mais eficientes à remoção desses contaminantes, além de verificar a correlação com a eficiência de remoção de turbidez.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido aos entraves gerados pela pandemia de COVID-19, a segunda etapa dos ensaios não chegou a ser concluída, uma vez que as análises de quantificação de partículas seriam executadas nas instalações da ETA Guaraú (Sabesp), cuja unidade ainda não permite o acesso de pessoas externas.

Entretanto, foram realizados alguns ensaios com a adição de microesferas de poliestireno à matriz aquosa sem adição de matéria orgânica natural ( $0 \text{ mg.L}^{-1}$  de ácido húmico), cujas condições operacionais e eficiências de remoção de turbidez estão detalhadas na Tabela 2:

**Tabela 2 – Eficiências de remoção de turbidez obtidas em ensaios de tratabilidade com a adição de microesferas de poliestireno.**

pH de coagulação	Concentração de PAC ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Ef. de remoção de turbidez (%)	pH de coagulação	Concentração de PAC ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Ef. de remoção de turbidez (%)
5	30	18,2	7,7	4	94,86
6,2	25	10,19	8,0	5	97,36
6,4	3	63,3	8,8	5	98,10
7,3	3	95,27	9,4	5	98,14
7,4	5	89,79			

Fonte: Autores (2021)

Observa-se que os dados obtidos estão de acordo com a conclusão apresentada na literatura (ZHOU *et al.*, 2020), com melhores eficiências de remoção de turbidez para o pH na faixa de 9. Ademais, verificaram-

se melhores eficiências de remoção em condições de pH alcalinos (pH > 8,0), uma vez que estas podem promover a hidrólise do PAC, produzindo mais flocos e otimizando a sedimentação (Sillanpää *et al.*, 2018).

## CONCLUSÕES

A partir da revisão bibliográfica realizada, foi possível fazer uma análise crítica de diversos pontos relacionados ao tratamento de água para consumo humano e os microplásticos. Verificou-se que esses contaminantes podem não ser totalmente eliminados durante o tratamento de água, tornando necessária a realização de estudos mais aprofundados que visem a otimização de sua remoção.

O tratamento convencional apresenta potencial de otimização mediante variações em suas condições operacionais, tais como pH e concentração de coagulante. Neste estudo, verificou-se que o coagulante cloreto de polialumínio (PAC) apresenta potencial para a remoção de turbidez, atingindo eficiências de remoção superiores a 98% quando em pH na faixa alcalina, corroborando resultados constantes na literatura.

Embora não tenham sido realizadas análises quantitativas referentes à eficiência de remoção de microplásticos, os dados obtidos permitem inferir a possibilidade de maior remoção de microplásticos sob as condições operacionais otimizadas.

## BIBLIOGRAFIA

CENTURIONE F<sup>o</sup>., P. L. (2002). Desenvolvimento e operação de uma instalação de flotação de bancada para águas de abastecimento. São Carlos, 2002. 313 p. Dissertação (Mestrado) – **Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.**

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardo. **Métodos e técnicas de tratamento de água – segunda edição.** São Carlos: RiMa, 2005.

NOVOTNA, K. et al. Microplastics in drinking water treatment – Current knowledge and research needs. **Science of the Total Environment**, v. 667, p. 730–740, 2019.

OLIVATTO, G. P. et al. Microplastics: Contaminants of global concern in the Anthropocene. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 6, p. 1968–1989, 2018.

ONU. Microplastics in drinking-water. **Water sanitation hygiene**, p. 124, 2019.

PIVOKONSKY, M. et al. Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water. **Science of the Total Environment**, v. 643, p. 1644–1651, 2018.

RICHTER, C. A. **Água: Métodos e Tecnologia de Tratamento.** 1. ed. [s.l.] Blucher, 2009.

SHARMA, Virender K. et al. Environmental factors-mediated behavior of microplastics and nanoplastics in water: A review. **Chemosphere**, p. 129597, 2021.

SILLANPÄÄ, M., NCIBI, M.C., MATILAINEN, A., VEPSÄLÄINEN, M. Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: a comprehensive review. **Chemosphere**, v. 190, 54–71, 2018.

ZHANG, Ming et al. Removal of micron-scale microplastic particles from different waters with efficient tool of surface-functionalized microbubbles. **Journal of Hazardous Materials**, v. 404, p. 124095, 2021.

ZHOU, G. et al. Removal of polystyrene and polyethylene microplastics using PAC and FeCl<sub>3</sub> coagulation: Performance and mechanism. **Science of the Total Environment**, v. 752, n. 2, p. 141837, 2021.