

INFLUÊNCIA DE MICROPLÁSTICO NA REMOÇÃO DE TURBIDEZ UTILIZANDO FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO E QUITOSANA COMO COAGULANTE AUXILIAR

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.8.25.I-011>

Adriana Pereira de Sousa (*), Kelem de Vasconcelos Alves, Lizane Noletto Almeida, Renata Medici Frayne Cuba, Francisco Javier Cuba Teran

*Universidade Federal de Goiás – UFG, adrianapereira@discente.ufg.br

RESUMO

Os microplásticos (MP) são contaminantes emergentes em ambientes aquáticos e podem comprometer a eficiência dos processos de tratamento de água ao interferirem na agregação e remoção de partículas. Este estudo teve como objetivo avaliar a influência de MP de polietileno na remoção de turbidez por meio do processo de flotação por ar dissolvido (FAD), utilizando quitosana como coagulante auxiliar ao sulfato de alumínio. Para investigar essa influência, foram conduzidos ensaios experimentais variando o pH, a concentração do coagulante e a presença de MP. Os resultados indicaram que a maior eficiência na remoção de turbidez (88,06%) foi alcançada em pH 7,0 com 10 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ e 0,8 mg/L de quitosana. A presença de MP reduziu a eficiência do processo, evidenciando seu impacto negativo na clarificação da água. Além disso, verificou-se que o aumento da concentração do coagulante inorgânico não resultou em um ganho proporcional de eficiência e, em pH 5,0, levou à redução da remoção de turbidez devido à estabilização da suspensão por repulsões eletrostáticas. A adição de quitosana mostrou-se eficaz na melhoria da remoção de turbidez em ambas as condições de pH, destacando seu potencial como coagulante auxiliar. Os achados deste estudo ressaltam a necessidade de estratégias para minimizar a presença de MP nos sistemas de tratamento de água, visando otimizar a eficiência dos processos de clarificação e garantir a qualidade da água tratada.

PALAVRAS-CHAVE: Microplástico, contaminantes emergentes, flotação por ar dissolvido (FAD), qualidade da água.

ABSTRACT

Microplastics (MP) are emerging contaminants in aquatic environments and may compromise the efficiency of water treatment processes by interfering with particle aggregation and removal. This study aimed to evaluate the influence of polyethylene MP on turbidity removal through the dissolved air flotation (DAF) process, using chitosan as a coagulant aid to aluminum sulfate. To investigate this influence, experimental trials were conducted by varying pH, coagulant concentration, and the presence of MP. The results indicated that the highest turbidity removal efficiency (88.06%) was achieved at pH 7.0 using 10 mg/L of $Al_2(SO_4)_3$ and 0.8 mg/L of chitosan. The presence of MP reduced the process efficiency, highlighting their negative impact on water clarification. Furthermore, increasing the concentration of the inorganic coagulant did not result in a proportional gain in efficiency and, at pH 5.0, led to a reduction in turbidity removal due to suspension stabilization caused by electrostatic repulsion. The addition of chitosan proved effective in enhancing turbidity removal under both pH conditions, emphasizing its potential as a coagulant aid. The findings of this study underscore the need for strategies to minimize the presence of MP in water treatment systems, in order to optimize clarification processes and ensure the quality of treated water.

KEY WORDS: Microplastics, emerging contaminants, dissolved air flotation (DAF), water quality.

INTRODUÇÃO

Haja vista em dirimir os danos causados pela contaminação antrópica, a Organização das Nações Unidas (ONU) incluiu entre os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) duas metas específicas o ODS “6” água potável e saneamento” que tem como principal foco garantir acesso a água potável e saneamento para todos (ONU, 2015), e o ODS 14, descrito como “Vida na Água”, que busca, entre outras ações, prevenir e reduzir significativamente a contaminação marinha (ONU, 2017).

A contaminação dos corpos hídricos já é uma preocupação antiga, porém na atualidade os contaminantes emergentes, dos quais se destacam os microplásticos (MP) tornou-se uma preocupação global, sendo sua presença é identificada em diversos ambientes, o que torna essa problemática mais grave, devido a possibilidade de transferência na cadeia trófica, inclusive alcançando o ser humano (RAGUSA ET AL., 2019).

O Brasil é o quarto maior produtor de resíduos plásticos do mundo (WWF, 2019), e grande parte desse material acaba sendo transportado para rios e mares, contribuindo para a contaminação desses ecossistemas.

Os plásticos possuem em sua composição aditivos químicos que são prejudiciais à saúde, dentre eles se encontram o Bisfenol A (BPA), ftalatos, estirenos, metais pesados, dioxinas e furanos que são capazes de causar desregulação hormonal no sistema endócrino, além de afetar os sistemas reprodutivo e nervoso central em humanos (OLIVEIRA, 2017). Além disso, partículas de plástico podem ser ingeridas por organismos ao longo da cadeia alimentar, chegando, eventualmente, ao sistema digestivo humano em diferentes partes do mundo (SCHWABL ET AL., 2018).

Os MP podem ser classificados em duas categorias, de acordo com sua origem: primária ou secundária. Os MP primários são pequenas partículas adicionadas intencionalmente a produtos de higiene e beleza, como sabonetes em barra, esfoliantes têxteis e cremes dentais, com a finalidade de auxiliar na limpeza. Já os microplásticos secundários são aqueles que possuem tamanho maior e sofreram ação do intemperismo, ao longo do tempo, se fragmentando em partículas menores como: garrafas PET e fibras de roupas sintéticas (JONES, 2019; SONG, WANG, LI, 2024).

Existem várias tecnologias utilizadas para eliminar micropartículas da água e dos efluentes, tais como flotação por ar dissolvido, sistemas de biorreatores de membrana, filtração rápida por meios granulares e filtros de disco. Levando em consideração que microplásticos vêm sendo encontrados até em água potável, percebe-se que o tratamento realizado por algumas tecnologias não é suficiente, sendo necessários estudos mais aprofundados sobre as técnicas e sua utilização em conjunto com algumas substâncias. Segundo Oliveira et al., (2023), a técnica convencional de coagulação e flotação, utilizando sulfato de alumínio como coagulante, é uma das tecnologias adotadas no tratamento de água para remoção de turbidez, porém, informações sobre a influência da presença de MP no processo de tratamento ainda precisam ser consolidada com estudos científicos.

A técnica de Flotação por Ar Dissolvido (FAD) consiste na produção de microbolhas, que colidem e aderem às partículas presentes na água. Ao se fixarem nessas partículas, as microbolhas formam flocos em suspensão, facilitando sua remoção e evitando a turbidez da água (SWART, CHEW E WENK, 2023).

A eficiência na remoção da turbidez é potencializada quando se utilizam coagulantes auxiliares, pois ajudam os coagulantes a formar flocos maiores, o que favorece a redução da turbidez. Os coagulantes auxiliares devem estar baseados em produtos naturais para evitar a contaminação de corpos hídricos e diminuir o consumo de coagulantes químicos. A quitosana, um auxiliar natural de coagulação, contribui para a redução da turbidez da água, além de ser 100% natural, o que diminui a contaminação dos corpos hídricos e a necessidade de grande quantidade de coagulantes químicos (TAKAARA E KURUMADA, 2023). Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência dos microplásticos (MP) de polietileno na remoção da turbidez por meio da flotação por ar de dissolução (FAD), com a adição de quitosana como coagulante auxiliar ao sulfato de alumínio.

OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi avaliar a influência de microplástico (MP) de polietileno na remoção de turbidez por meio de flotação por ar dissolvido (FAD) com adição de quitosana como coagulante auxiliar ao sulfato de alumínio.

METODOLOGIA

Para avaliar a influência da presença de microplástico na remoção de turbidez foram realizados ensaios alternando os seguintes parâmetros: concentração de coagulante, adição de coagulante auxiliar, variação de pH, ausência e presença de MP e ausência e presença de bentonita. Os ensaios foram realizados em triplicata e os resultados apresentados em função da eficiência de remoção de turbidez.

REAGENTES E ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Os reagentes utilizados foram de natureza analítica em soluções preparadas com água destilada. O coagulante empregado foi o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), e como coagulante auxiliar foi utilizada a quitosana. O microplástico (MP) foi composto por partículas de polietileno adquiridas no tamanho entre 0,1 μm –5 mm e a bentonita foi utilizada para simular turbidez.

O pH foi medido pelo método potenciométrico utilizando pHmetro de bancada pH140, e o ajuste, quando necessário, foi realizado com soluções de ácido clorídrico (HCl) ou hidróxido de sódio (NaOH), ambas 0,1 M. A turbidez foi medida utilizando turbidímetro portátil digital modelo AP2000. As imagens das partículas foram obtidas em microscópio invertido SC30, modelo CKX41SF.

ENSAIOS DE FLOTAÇÃO**CONDIÇÕES OPERACIONAIS**

Os ensaios de flotação foram realizados com o equipamento Flotatest Milan, que possui três jarros de 2 L de capacidade. As condições de coagulação, floculação e flotação foram conduzidas considerando as seguintes etapas. Inicialmente, ocorreu mistura rápida a 400 rpm por 1 minuto, seguida de mistura lenta a 100 rpm por 15 minutos, em seguida o ar dissolvido foi introduzido na parte inferior dos jarros por meio de uma câmara de pressurização, com taxa de recirculação da água pressurizada de 20% para cada jarro de 2 L. Após esse processo, ocorreu a flotação por 15 minutos. Após o período de flotação, amostras de 50 mL foram retiradas de cada jarro para determinação da turbidez e pH final. Nos ensaios com a adição do coagulante auxiliar (quitosana) este foi adicionado imediatamente após a mistura rápida. Todos os ensaios foram executados na temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 1$.

CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

A turbidez inicial foi de $56,65 \text{ NTU} \pm 2,37 \text{ NTU}$ obtida por meio da adição de 200 mg/L de bentonita em água potável. De acordo com Takaara e Kurumada (2023) este material simula condições específicas de turbidez, permitindo a avaliação da eficiência dos processos de coagulação e floculação sob diferentes níveis de partículas em suspensão. O $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ foi utilizado nas concentrações de 20 mg/L e 40 mg/L e quitosana como coagulante auxiliar, na concentração de 0,8 mg/L (TAKAARA E KURUMADA 2023). Para avaliar o tratamento tanto no mecanismo de coagulação por neutralização de cargas quanto no de varredura, foram realizados ensaios no pH 5,0 e 7,0, respectivamente. A concentração de MP utilizada foi de 400 mg/L (Oliveira et al., 2023). Para auxiliar na dispersão dos microplásticos e evitar sua aglomeração ou aderência às paredes dos jarros, foi adicionado, em cada jarro, 0,05 mL do surfactante não iônico Tween-20 (SWART; CHEW; WENK, 2023).

Como controles, foram realizados ensaios de coagulação, floculação e flotação nas mesmas condições operacionais, com suspensão de bentonita e outro com suspensão de MP. A eficiência de remoção do MP também foi avaliada por meio da análise de turbidez, que segundo Takaara e Kurumada (2023) é um indicador adequado da presença e remoção de MP.

RESULTADOS

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da eficiência na remoção da turbidez nas diferentes condições experimentais avaliadas.

Tabela 1. Resultados da eficiência na remoção da turbidez nas diferentes condições experimentais avaliadas.
Fonte: Autor do trabalho.

ENSAIO	pH	MP (mg/L)	BENTONITA (mg/L)	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/L)	QUITOSANA mg/L	EFICIÊNCIA TURBIDEZ (%)
A	7	0	200	20	0	82,01
B	7	400	200	10	0	70,00
E	7	0	200	10	0,8	88,06
F	7	400	200	10	0,8	80,21
I	7	400	0	10	0	32,47
K	7	400	0	0	0,8	69,92
C	5	0	200	20	0	42,07
D	5	0	200	10	0	49,2
G	5	400	200	10	0,8	25,08
J	5	400	0	10	0	34
H	5	400	0	0	0,8	46,7
L	5	0	200	10	0,8	52,8

Para a remoção da turbidez sem a presença de MP nem coagulante auxiliar e no pH = 7,0 ensaios A e B, respectivamente, verificou-se que a maior dosagem de coagulante apresentou maior eficiência de remoção da turbidez, porém o aumento na eficiência não foi proporcional ao aumento da dosagem, não justificando assim a utilização do coagulante inorgânico na maior concentração.

Já em pH 5,0, experimentos C e D, o comportamento foi o contrário, ou seja, o aumento da dosagem de coagulante causou diminuição na remoção de turbidez. É importante ressaltar que neste pH o mecanismo de atuação predominante

é o de neutralização de cargas, e neste caso, o excesso de coagulante pode provocar um carregamento positivo das partículas e assim uma estabilização da suspensão dificultando a floculação devido repulsões eletrostáticas (ARAÚJO, 2022).

Em pH 7,0 também é possível verificar que a adição da quitosana contribuiu para a remoção de turbidez, passando de 70% para 88,06% (ensaios B e E). Em pH=5,0 a quitosana também melhorou a eficiência de remoção (ensaios H e L), porém com significância menor. Desta forma, tem-se que a melhor condição de remoção de turbidez adotada ocorreu em pH=7,0, quitosana =0,8mg/L e 10 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ com eficiência de 88,06%, porém ao adicionar MP no meio verifica-se que a eficiência de remoção diminuiu para 80,21% (Ensaios E e F).

Os ensaios E (pH 7) e L (pH 5), ambos contendo sulfato de alumínio, bentonita e quitosana, mas sem MP, apresentaram eficiências de remoção da turbidez de 88,06% e 52,8%, respectivamente. Isso indica que a remoção da turbidez foi mais eficiente em pH 7. O ensaio D que usou apenas sulfato de alumínio como coagulante, também demonstrou boa eficiência, com valor de 49,2%. Observa-se que, ao adicionar um auxiliar coagulante ao coagulante principal, a eficiência na remoção da turbidez aumenta, como evidenciado nos ensaios E e L.

As amostras dos ensaios F (pH 7) e G (pH 5), ambas contendo sulfato de alumínio, bentonita, quitosana e MP, apresentaram remoções de turbidez de 80,21% e 25,01%, respectivamente. Apenas o ensaio F (pH 7) demonstrou eficiência na remoção da turbidez, evidenciando que o sulfato de alumínio, quando utilizado como coagulante, contribui para a mitigação de micropoluentes em cursos d'água (OLIVEIRA ET AL., 2023). No entanto, essa eficiência só é significativa em pH 7 quando comparados os ensaios F com o ensaio E, verifica-se que a presença de MP, influenciou de forma negativa na remoção da turbidez reduzindo o valor de remoção. Além disso, o uso da quitosana como coagulante auxiliar contribuiu para a redução da turbidez residual assim como observado por Takaara e Kurumada, (2023).

Os experimentos I (pH 7) e J (pH 5), ambos contendo apenas sulfato de alumínio e MP, apresentaram baixa eficiência na remoção da turbidez, com valores de 32,47% e 34,00%, respectivamente. Esses resultados indicam que, tanto em pH 7 quanto em pH 5, o coagulante $Al_2(SO_4)_3$ não foi eficaz na remoção de microplásticos no estudo em questão, sendo necessário o uso integrado de um coagulante auxiliar, como a quitosana.

Os resultados dos ensaios K (pH 7) e H (pH 5), nos quais não foi utilizado o coagulante $Al_2(SO_4)_3$, mas apenas o coagulante auxiliar quitosana para a remoção de microplásticos, indicaram eficiências de remoção da turbidez de 69,99% (ensaio L) e 46,7% (ensaio M). Esses resultados comprovam que o uso da quitosana na remoção de micropoluentes contribui para a redução da turbidez residual (TAKAARA E KURUMADA, 2023).

A menor eficiência de remoção (25,08 %) ocorreu para pH = 5,0, dosagem de 10 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ e 0,8mg/L de quitosana na presença de MP (Ensaio G). Este valor de remoção, também foi menor do que o observado para a remoção de MP (34,0%) nas mesmas condições experimentais (Ensaio J). Tais resultados demonstram que a coexistência de turbidez e MP é prejudicial para o processo de clarificação da água nas condições analisadas.

Nas Figuras 1A e 1B são apresentadas fotos das partículas de bentonita 1000 µm e MP puros 1000 µm), respectivamente enquanto que na Figura 1C tem-se imagem do resíduo flotado de 1000 µm. Fonte: Autor do Trabalho.

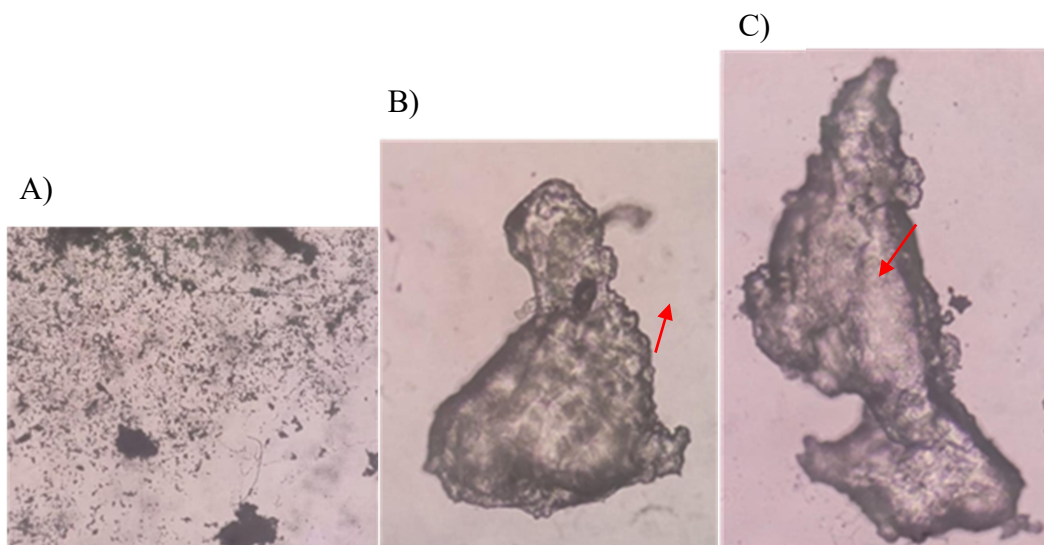


Figura 1: Fotos das partículas de bentonita 1000 µm e MP puros 1000 µm), respectivamente enquanto que na Figura 1C tem-se imagem do resíduo flotado de 1000 µm. Fonte: Autor do Trabalho.

Ao analisar as a foto 1C é possível observar que o processo de coagulação flotação foi capaz de remover ambas as partículas (bentonita e MP). Em destaque tem-se partículas de bentonita agrupadas próximas a superfície do MP, indicando possível interação entre ambas.

Com relação a variação do pH após o processo de tratamento, é possível verificar (Figura 2) que em todas as condições testadas houve diminuição do pH da amostra. Essa situação é previsível, visto que a formação das espécies hidrolisadas de sulfato de alumínio responsáveis pela coagulação consome alcalinidade do meio.

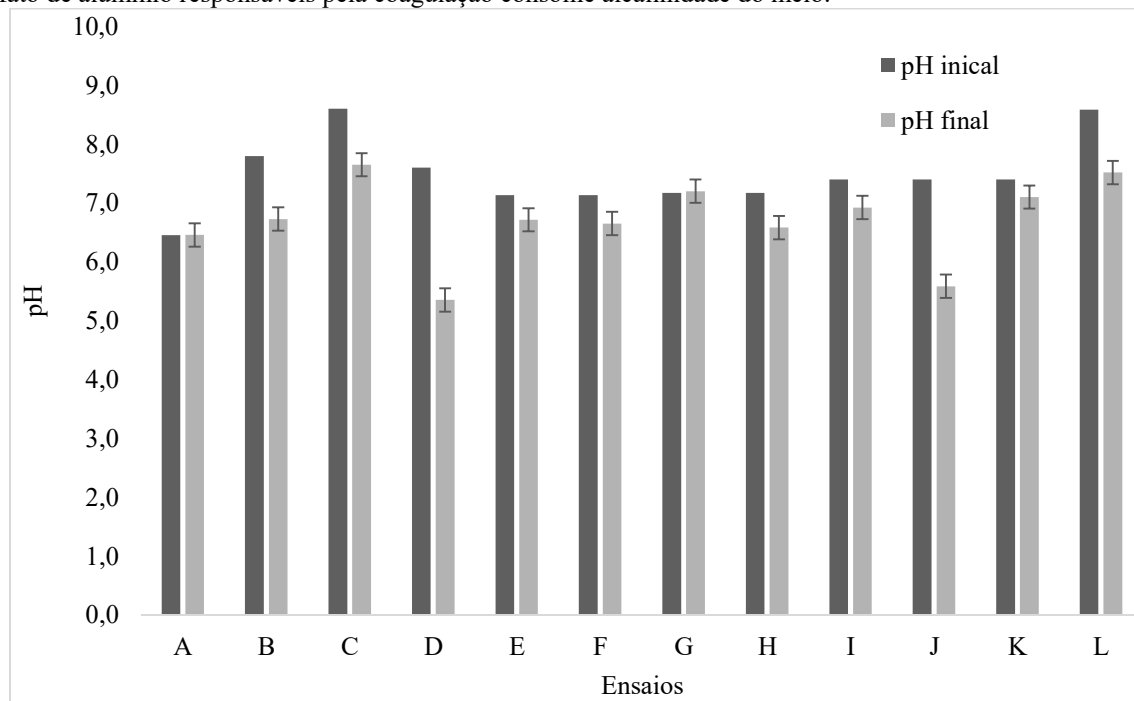


Figura 2: Resultados do pH final e inicial. Fonte: Autor do Trabalho.

CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que a eficiência na remoção da turbidez depende da concentração de coagulante, do pH e da presença de microplásticos. Os melhores resultados foram obtidos para pH = 7,0 e com uma maior quantidade de sulfato de alumínio (20 mg/L), porém o ganho na eficiência não foi proporcional ao aumento do coagulante. Já em pH = 5,0 o aumento da dosagem de coagulante inorgânico diminuiu a eficiência de remoção da turbidez. A quitosana melhorou a remoção de turbidez para ambos os valores de pH, inclusive na presença de MP. Enquanto que o MP interferiu de forma negativa no processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguiar, Nathany Roberta Herrera; Asencios, Yvan Jesus Olortiga. **Microplastics: characteristics, pollution, and technologies for their removal from water-a review**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 8, p. 78170-78199, 2021. DOI:10.34117/bjdv7n8-168.
2. Araújo, L. S. **Remoção de microplásticos no tratamento de água para consumo humano**. 2022. 1 recurso online (118 p.). Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP, 2022. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/3629>. Acesso em: 22 de fev. 2025.
3. JONES, Frances. **A ameaça dos microplásticos**. Pesquisa FAPESP, São Paulo, ed. v. 281, 2019. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/a-ameaca-dos-microplasticos/>. Acesso em: 04 abri. 2025.
4. Oliveira, G. C. P.; Araújo, J. V. S. A.; Junior, A. M. C.; Palombit, K. **Bisfenol A: possíveis efeitos e danos ao organismo-revisão de literatura**. Jornal Interdisciplinar de Biociências, v. 2, n. 2, p. 11-16, 2017. Disponível em: <https://comunicata.ufpi.br/index.php/jibi/article/view/5699/3799>. Acesso em 25 mar. 2025.

5. Oliveira, T. L.; Bacelar, J. M.; Teran, F. J. C.; Cuba, R. M. F.; Porto, V. H. S. F. **Chemical coagulation applied for the removal of polyethylene and expanded polystyrene microplastics**. Journal of Ecological Engineering, v. 24, n. 11, p. 163–168, 1 nov. 2023. DOI: 10.12911/22998993/171525.
6. Organização Das Nações Unidas (ONU). **Lança Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável**. 2017. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2017/12/1602672-onu-lanca-decada-da-ciencia-oceanica-para-o-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 22 mar. 2025.
7. Organização Das Nações Unidas (ONU). **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 3 abr. 2025.
8. Ragusa, Antonio; Svelato, A; Santacroce, C; Catalano, P; Notarstefanoet, V; Carnevali, O; Papa, F; Rongioletti, M, C, A; Baiocco, F; Draghi, S; D'amore Al, E; Rinaldo, D; Matta, M; Giorgini., E. **Plasticenta: Primeira evidência de microplásticos na placenta humana**. Environment international, v. 146, p. 106274, 2021. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106274.
9. Schwabl, P.; Liebmann, B.; Köppel, S.; Königshofer, P.; Bucsics, T.; Trauner, M.; Reiberger, T. **Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series**. Annals of Internal Medicine, [s.l.], v. 171, n. 7, p. 453–457, 2019. DOI: 10.7326/M19-0618.
10. Song, Jing; Wang, Chunhui; Li, Gang. **Defining primary and secondary microplastics: a connotation analysis**. ACS ES&T Water, v. 4, n. 2, p. 318–324, 2024. DOI: 10.1021/acsestwater.4c00316.
11. Swart, B.; Chew, Y. M. J.; Wenk, J. **Simultaneous monitoring of flow patterns, and bubble, and plastics micro-particle characteristics in Dissolved Air Flotation (DAF)**. Chemical Engineering Research and Design, v. 197, p. 148–158, 1 set. 2023. DOI: 10.1016/j.cherd.2023.07.027.
12. Takaara, T.; Kurumada, K. **Optimum Conditions for Enhancing Chitosan-Assisted Coagulation in Drinking Water Treatment**. Sustainability, v. 15, n. 19, p. 14197, jan. 2023. Doi.10.3390/su151914197.
13. World Wide Fund For Nature (WWF) BRASIL. **O Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico**. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/natureza/noticia/2019/03/04/brasil-e-o-4o-maior-produtor-de-lixo-plastico-do-mundo-e-recicla-apenas>. Acesso em: 15 abr. 2025