



REMOÇÃO DE MICROPLÁSTICOS DE CORPOS HÍDRICOS UTILIZANDO COLUNA CROMATOGRÁFICA DE ARGILA BENTONITA E CARVÃO ATIVADO

Emilly Soares Matos
Juan Antonio dos Santos Aguirre
Larissa Aguilar Colen Nonato
Raul Roschel
Yasmim Mateus Oliveira
Orientador: Prof. Dr. Klauss Engelmann

RESUMO

Os microplásticos, definidos como partículas plásticas com tamanho inferior a 5 mm, têm se tornado uma crescente preocupação ambiental devido ao aumento no uso de plásticos e seu descarte inadequado. Esses fragmentos podem se formar a partir da degradação de materiais maiores, como embalagens e produtos descartáveis, ou serem produzidos diretamente em escala microscópica para uso em cosméticos e outros produtos. Uma vez no ambiente, os microplásticos se acumulam nos ecossistemas aquáticos, afetando a vida marinha e, potencialmente, a saúde humana, pois podem chegar aos recursos hídricos utilizados para consumo. A necessidade de novas abordagens para remoção desses contaminantes tem incentivado o desenvolvimento de técnicas mais eficientes e sustentáveis. O presente estudo aborda a remoção de micropartículas de poliestireno, um tipo de microplástico, em água utilizando uma coluna cromatográfica preenchida com argila bentonita e carvão ativado. A argila foi tratada com cloreto de cálcio para melhorar suas propriedades adsorptivas, enquanto o carvão ativado é selecionado por sua alta área superficial e porosidade, características que maximizam a retenção de poluentes. A metodologia envolveu a passagem de uma solução contaminada com micropartículas pela coluna, a fim de avaliar a eficiência da filtração. Dessa forma, os processos de produção dos compósitos de argila bentonita e carvão ativado apresentaram resultados satisfatórios, uma vez que a remoção de microplásticos foi evidente. A aplicação desse trabalho pode contribuir significativamente para a preservação de recursos hídricos e o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis para a indústria de tratamento de águas, abordando um dos principais desafios ambientais da atualidade.

Palavras-chave: Microplásticos. Cromatografia. Argila bentonita. Carvão ativado.

ABSTRACT

Microplastics, defined as plastic particles smaller than 5 mm, have become an increasing environmental concern due to the rise in plastic usage and improper disposal. These fragments can form from the degradation of larger materials, such as packaging and disposable products, or be directly produced on a microscopic scale for use in cosmetics and other products. Once in the environment, microplastics accumulate in aquatic ecosystems, affecting marine life and potentially human health, as they can reach water resources used for consumption. The need for new approaches to remove these contaminants has encouraged the development of more efficient and sustainable techniques. The present study addresses the removal of polystyrene microparticles, a type of microplastic, from water using a chromatographic column filled with bentonite clay and activated carbon. The clay was treated with calcium chloride to enhance its adsorptive properties, while the activated carbon is selected for its high surface area and porosity, characteristics that maximize pollutant retention. The methodology involves passing a solution contaminated with polystyrene microparticles through the column to test the filtration efficiency. The removal of particles is evaluated by measuring the reduction in total solids present in the water. The production processes for the bentonite clay and activated carbon composites yielded satisfactory results, as the removal of microplastics was evident. The application of this work can significantly contribute to the preservation of water resources and the development of more sustainable solutions for the water treatment industry, addressing one of the main environmental challenges of our time.

Keywords: Microplastics. Chromatography. Bentonite clay. Activated charcoal.

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento urbano e, conseqüentemente, ao aumento da população, a produção de plástico se intensificou, impulsionando significativamente a economia brasileira mediante da expansão industrial desse ciclo produtivo (ATLAS DO PLÁSTICO, 2020). Contudo, é crucial reconhecer que os resíduos plásticos desempenham um papel significativo nos impactos ambientais. O debate sobre alternativas sustentáveis, como a implementação de práticas retilíneas aos princípios da química verde, é fundamental para mitigar esses efeitos e direcionar a economia para um caminho mais sustentável.

A química verde possui como propósito mitigar os impactos ambientais consequentes de atividade humanas, buscando promover sustentabilidade por meio de 12 princípios. O terceiro princípio, em especial, que destaca a importância de métodos sintéticos que gerem o mínimo de resíduos tóxicos aos seres humanos e ao meio ambiente (ANASTAS; WARNER, 1998). Dada a crescente urgência ambiental decorrente de diversos poluentes, como os plásticos, métodos baseados nesse princípio são prioridades no meio científico.

Uma das principais dificuldades existentes na indústria reside no descarte inadequado dos materiais plásticos. Visto que, apenas 6% de todo o plástico é destinado a reciclagem, e 94% são destinados a aterros sanitários ou liberados incorretamente no meio ambiente (KELLY; MENG; WRIGHT, 2020). Uma emergente preocupação do meio científico é a sua baixa taxa de degradação e sua alta durabilidade no meio ambiente. Com o passar do tempo ele tende a se fragmentar, assumindo menores tamanhos, denominados microplásticos (MPs) (CARPENTER; SMITH, 1972).

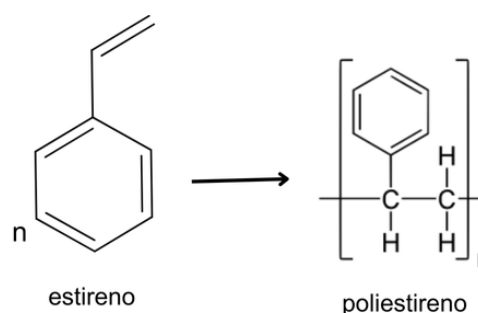
Os microplásticos são geralmente definidos como partículas de polímero orgânico sintético, com tamanhos que variam de 100 nm a 5 mm, apresentando diversas cores, formas e composições químicas (COORS; DUIS, 2016). Segundo Mintenig, et al (2019), através de análises por meio de espectroscopia no infravermelho por transformada de fourier (FTIR), foi verificado a ocorrência de microplásticos em água bruta subterrânea e pós-tratamento de água na Alemanha, o que evidencia uma rota potencial para a entrada desses microplásticos no corpo humano.

A presença dessas micropartículas de plástico no corpo humano foi revelada por um estudo conduzido pela Universidade Livre de

Amsterdã em 2022. Dentre elas, o poliestireno (PS) vem recebendo grande destaque como meio poluente, já que se trata de um dos plásticos mais produzidos nos últimos anos no mercado possuindo aplicações em embalagens e produtos descartáveis a isolamentos térmicos e componentes eletrônicos. (CALLISTER; RETHWISCH, 2021; MONTENEGRO; SERFATY, 2002).

O PS é um homopolímero pertencente ao grupo das resinas termoplásticas, juntamente a outros, como o polipropileno (PP), o policloreto de vinila (PVC), o polietileno de alta (PEAD) e baixa densidade (PEBD) e o polietileno tereftalato (PET). Ele é resultante da polimerização do estireno (vinilbenzeno) (MALERE, 2011), como mostrado na Figura 1:

Figura 1: Produção de poliestireno a partir do estireno.



Fonte: Do próprio autor. (2024)

No processo realizado nas estações de tratamento de água (ETAs), os efluentes passam de forma rigorosa por uma série de etapas sequenciais, responsáveis por tornar a água límpida e potável para o consumo humano (SABESP). Os órgãos públicos responsáveis pela distribuição nas cidades devem zelar pela qualidade da água, realizando regularmente diversos testes físicos e químicos para garantir a saúde da população (ACHON, 2013). Entretanto, mesmo após esses processos, micropartículas de plástico ainda podem ser encontradas após o tratamento de água, chegando às residências através dos fornecedores (ARAÚJO, 2022). Atualmente, um dos possíveis métodos para a retenção dessas partículas suspensas é a cromatografia, embora ainda haja uma quantidade limitada de informações disponíveis na literatura sobre sua utilização.

A cromatografia é uma técnica amplamente utilizada para a separação de substâncias em laboratórios de química orgânica, sendo um método de separação físico-químico que explora a interação de componentes de uma mistura entre

duas fases imiscíveis (DEGANI; CASS; VIEIRA, 1998). Inúmeros tipos de cromatografia podem ser utilizados, como a cromatografia gasosa, de afinidade e a líquida, que tem destaque pela sua aplicabilidade em diferentes indústrias.

A cromatografia líquida é amplamente operada em indústrias químicas e farmacêuticas, por sua eficácia na separação e purificação de substâncias. Além disso, essa técnica é essencial para análises qualitativas e quantitativas de misturas, desempenhando um papel importante em processos de controle de qualidade e na detecção de poluentes (MILLER, 2005). Seu funcionamento baseia-se na interação diferencial das substâncias da amostra entre a fase móvel, que transporta os compostos pela coluna, e a fase estacionária, que retém determinados componentes (RUSLY, 2022).

Como uma parte da fase estacionária, as argilas, em geral, são materiais de granulação fina que, ao entrarem em contato com a água, demonstram alta plasticidade e propriedades adsorventes. Esses materiais são compostos por diferentes minerais, como silicatos de magnésio e alumínio, feldspato, quartzo, e outros, tornando-as adequadas para diversas aplicações tecnológicas (TEIXEIRA; ALBUQUERQUE, 2009). Devido à sua capacidade de adsorção, as argilas têm sido utilizadas em setores como filtração, catálise, e clarificação de líquidos (DOS SANTOS et al., 2002).

Dentro deste contexto, a bentonita se destaca como uma argila de grande interesse, principalmente por suas características de alta capacidade de adsorção e troca iônica, fundamentais para a captura de contaminantes. Essa argila, composta majoritariamente por minerais do grupo das esmectitas, expande seu volume em contato com a água, formando géis tixotrópicos, o que a torna eficaz em processos de filtração (ARAUJO et al., 2009). No Brasil, a bentonita é amplamente disponível, com depósitos significativos, o que favorece sua viabilidade para o uso em larga escala (MENEZES, 2009).

Sua aplicação como material filtrante já é robusta em diversas indústrias, justamente por suas propriedades cruciais para retenção de poluentes, representando 10,5% do consumo de bentonita no Brasil (LUZ; LINS, 2008). Além disso, sua abundância reforça o interesse em sua aplicação como uma solução alinhada às tendências de sustentabilidade (MIYASHIRO; PARISOTTO; TELEKEN, 2015).

O carvão ativado, utilizado como segunda parte da fase estacionária, pode ser produzido a partir de diversos materiais, como cascas de coco, arroz, amendoim, nozes, carvão, madeira, resíduos de petróleo, ossos de animais e caroços de pêsego, entre outros. Este material se destaca por suas altas contribuições, graças à ampla área superficial, à capacidade diversificada de adsorção, à eficiência elevada na retenção e à reatividade superficial. Essas características justificam sua crescente demanda em processos de tratamento de corpos hídricos (OKIEL et al., 2011).

O mecanismo de adsorção da matéria baseia-se principalmente em interações físicas, que permitem que moléculas de contaminantes obtenham retidas nas superfícies internas dos poros do material (CARBON, 1974). O mecanismo ativado possui uma distribuição de microporos, mesoporos e macroporos, o que o torna versátil para a captura de moléculas de diferentes tamanhos (CLAUDINO, 2000). Além disso, todos esses parâmetros podem ser modificados, obtendo-se diferentes tipos de carvão e diferentes características (PIS et al., 1996; Wang et al., 2002).

O carvão adsorvente possui grande importância nas indústrias devido suas propriedades, permitindo sua utilização no tratamento de água, no controle da emissão de poluentes, em armazenadores de gás na purificação de gases, peneiras moleculares e catalisadores (PATRICK, 1995). Dessa forma o uso dessa matéria é uma alternativa promissora que contribui para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis e eficientes na indústria e no tratamento de águas.

Outrossim, o carvão ativado é um material que possui alta estabilidade térmica, o que diminui e o previne de alterações morfológicas perante temperaturas elevadas (ZHENG; CHEN; CHEN, 2024). Ademais, este possui afinidade com compostos orgânicos e partículas hidrofóbicas que se encontram suspensas, captando-as em meio aquoso, o que o torna viável para a retirada de poluentes em água (BOUKHEMKHEM; PIZARRO; MOLINA, 2020).

Portanto, no âmbito desse trabalho, o foco será na remoção de micropartículas de poliestireno, escolhidas como opção de teste, utilizando uma coluna cromatográfica, uma vez que também estão entre os microplásticos encontrados no corpo humano. O principal foco é conciliar a rápida expansão da indústria plástica com a redução de seus impactos ambientais e na saúde.

2 METODOLOGIA

2.1. MATERIAIS

Os reagentes utilizados em todos os processos que serão descritos estão descritos conforme na Tabela 1.

Tabela 1: Reagentes e suas respectivas fórmulas químicas

Reagente	Fórmula molecular
Ácido nítrico	HNO ₃
Argila bentonita sódica	-
Carvão ativado	-
Cloreto de cálcio	CaCl ₂
Clorofórmio	CHCl ₃
Poliestireno	(C ₈ H ₈) _n
Tween-80	-

Fonte: Do próprio autor. (2024)

O poliestireno utilizado para a formação das micropartículas foi doado pela empresa Siliplastic (São Paulo, Brasil). Para a realização de todos os processos, foram utilizados os seguintes equipamentos: Agitador magnético modelo Color Squid Ika, marca FORLAB (São Paulo, Brasil); Balança analítica modelo AG200, marca Gehaka® (São Paulo, Brasil); Bomba de vácuo modelo 131, marca 7Lab (Rio de Janeiro, São Paulo); Estufa de secagem marca Novatecnica® (São Paulo, Brasil); Evaporador rotativo modelo Q344B1, marca QUIMIS (São Paulo, Brasil); Forno mufla modelo Q318M2, marca QUIMIS (São Paulo, Brasil).

Para a realização de todos os processos, foram utilizados os seguintes materiais: Barra magnética, bastão de vidro, béqueres de 100mL, 250mL, 1 litro e encamisado de 200mL, cadinhos, coluna cromatográfica de vidro com torneira, espátula de aço inox, garras metálicas, kitassato de 500mL, lã de vidro, mangueiras de borracha, provetas graduadas de 50mL, 100mL e 1 litro, suporte universal e tampa de látex.

2.2. MÉTODOS

2.2.1. SÍNTESE DAS MICROPARTÍCULAS DE POLIESTIRENO

O método escolhido para a obtenção das partículas foi a polimerização por emulsão do tipo O/A (óleo em água) com auxílio de um sistema com a bomba a vácuo, o qual foi gerado um padrão de microplásticos para ser utilizado nos testes de filtração das colunas cromatográficas (SEVERINO et al., 2011).

O reagente tween-80, também conhecido como polissorbatato 80, é um surfactante iônico que contém características anfílicas. Este emulsificante foi escolhido para a produção das micropartículas pois tem capacidade de estabilizar emulsões,

essencial para métodos onde a formação ocorre em meio aquoso, a sua hidrofília balanceada, que favorece a formação de micelas, o que promove a encapsulação em partículas hidrofóbicas, além de sua baixa toxicidade em seu uso (MIYAZAWA et al., 2021).

Primeiramente, na preparação da solução da fase orgânica foram pesados 0,5g de resina de poliestireno em um béquer e em seguida dissolvidos com 12mL de clorofórmio. Após esse processo, para a fase aquosa utilizou-se uma solução a 2,5% m/m de tween-80, feita sobre agitação magnética durante 15 minutos (MUSYANOVYCH et al., 2008). A solução de PS foi adicionada sobre a mistura dentro de um béquer encamisado de 200mL, onde foi montado um sistema com a bomba a vácuo à quente.

Posteriormente, para a montagem do sistema, o béquer encamisado foi colocado sob agitação magnética constante. Também é necessário um banho maria mantendo a água a uma temperatura fixa de 65°C, dentro é inserido uma bomba de aquário que deve estar conectada ao béquer bombeando o líquido quente. Para melhorias no processo da formação das micropartículas, o sistema contendo a solução emulsionando foi vedado utilizando uma tampa de látex com saída para mangueiras, onde deve ser conectada a uma bomba a vácuo ligada para auxiliar na retirada do solvente, o método perdurou até a retirada total do clorofórmio.

A imagem do sistema para melhor entendimento está presente na Figura 2.

Figura 2: Sistema com a bomba a vácuo à quente



Fonte: Do próprio autor. (2024)

Após este período, o líquido foi separado, o qual continha as micropartículas de poliestireno formadas.

2.2.2. TESTE DE IDENTIFICAÇÃO DAS MICROPARTÍCULAS DE POLIESTIRENO

Em meio ao estudo de Liu et al (2021) foi encontrado como meio de constatação para a existência de micropartículas nos meios contaminados, a utilização de um laser polarizado.

Previamente, todos os líquidos que continham as partículas foram colocados em frascos de vidro transparente e atravessados por um feixe de luz.

2.2.3. PRODUÇÃO DAS PARTÍCULAS DE ARGILA BENTONITA E CARVÃO ATIVADO

2.2.3.1. TRATAMENTO DA ARGILA COM CaCl_2

O tratamento desta argila foi realizado pois sua alta taxa de absorção de água pode obstruir o fluxo do sistema de retenção, consequentemente tornando-se um fator desfavorável para a filtração de microplásticos em corpos hídricos (FERNANDES et al., 2023). Para isto, foi feito um processo conhecido como troca iônica, utilizando o sal, cloreto de cálcio (CaCl_2), para tal finalidade. Assim, os íons sódio (Na^+) existentes foram substituídos pelos de cálcio (Ca^{2+}) na estrutura da bentonita visando uma melhora em suas propriedades adsorptivas, resultando em uma maior eficácia na retirada das micropartículas (RAJ; SOORYA, 2017).

O processo foi realizado em duplicata. Primeiramente, pesou-se 36,7525g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, que foi misturado e homogeneizado em 500mL de água destilada para o preparo de uma solução a $0,5\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ de cloreto de cálcio. Proporcionalmente foram pesados 100g de argila para o processo de troca iônica.

Logo após, em um béquer de 1L limpo e seco, foi adicionada a massa pesada de argila à solução anteriormente preparada sob agitação magnética constante por 2h, para que assim a reação aconteça com maior eficiência. Após este período, foi realizada uma filtração à vácuo com o propósito de retirar o excesso de solvente presente, e lavagem com água destilada para remover qualquer resquício de CaCl_2 que não tenha sido absorvido. Feito isso, a bentonita tratada foi posta na estufa a uma temperatura fixa de 50°C por 48h, com o intuito de remover totalmente sua umidade para os próximos processo.

2.2.3.2. PREPARO DOS COMPÓSITOS

A preparação das partículas foi realizada em um béquer encamisado com tampa ligado a um sistema de bomba a vácuo. Inicialmente a bentonita, o carvão ativado e o surfactante tween-

80 foram adicionados a uma solução de ácido nítrico a 1% v/v seguindo as proporções de 53, 12, 35% m/m, respectivamente. A suspensão foi colocada sob agitação manual por 2h e o excesso de ácido foi retirado através da bomba a vácuo.

Em seguida, as partículas formadas foram separadas por meio de uma filtração a vácuo, onde o líquido foi descartado, e, por conseguinte, são deixadas em repouso durante 48h. (KAMIŃSKA et al., 2017)

2.2.3.3. CALCINAÇÃO

Após o preparo das partículas de argila bentonita e carvão ativado, realizou-se o processo de calcinação. Trata-se de um processo térmico que envolve o aquecimento de materiais a altas temperaturas para promover a remoção de água, decomposição de compostos e a transformação de suas propriedades químicas e físicas. A calcinação melhora significativamente a capacidade de adsorção, pois cria uma melhor distribuição dos poros, da carga e da forma da partícula, e também aumenta sua estabilidade térmica (CHUKWUJIKE; IGWE, 2016). Mas, fundamentalmente também diminui a capacidade de absorção da água, melhorando o fluxo geral (KHAN et al., 2023).

Para isso, as partículas foram postas em cadinhos e em seguida inseridas na mufla a uma temperatura de 400°C constante por 2h, o ideal para que suas propriedades adsorptivas melhorem sem perda de outras capacidades (KAMIŃSKA, 2018). Após esse tempo, os crisóis de porcelana foram retirados para que ocorra o resfriamento, assim finalizando o processo de calcinação da argila bentonita com carvão ativado.

2.2.4. PREPARO DA COLUNA CROMATOGRÁFICA

Foram realizados 2 lotes com 2 colunas cromatográficas cada. Para o preparo, utilizou-se partículas de argila bentonita e carvão ativado, anteriormente produzidas. Primeiro, foi escolhida uma coluna de vidro adequada ao volume da amostra a ser analisada. No fundo da coluna, inseriu-se uma camada de lã de vidro, que atua como suporte para os compósitos, evitando que o material seja arrastado durante a filtração. Em seguida, foi adicionada uma camada das partículas de argila bentonita com carvão ativado.

Por fim, foi realizada uma lavagem com água destilada, preparando-se então o empacotamento das camadas.

2.2.5. TESTE DE FILTRAGEM DAS MICROPARTÍCULAS

Realizou-se 4 testes para a retenção dos microplásticos, separados em 2 para cada lote da síntese de argila com carvão ativado em colunas cromatográficas.

Inicialmente foi criado um meio contaminado, as micropartículas sintetizadas foram despejadas em um béquer de 250mL, onde seu volume foi completado com água destilada para que a sua passagem na coluna seja iniciada, este processo deve acontecer para todas as amostras a serem analisadas.

Outrossim, com o meio contaminado preparado, foi passado pela coluna com um béquer de 250mL logo abaixo para que o meio aquoso seja recolhido e utilizado para futuras análises.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. SÍNTESE DAS MICROPARTÍCULAS DE POLIESTIRENO

A síntese foi realizada 4 vezes, sendo uma para cada coluna.

O processo seguiu os parâmetros da Tabela 2, na qual as medidas de PS foram dissolvidas em clorofórmio e para a fase aquosa uma solução de tween-80.

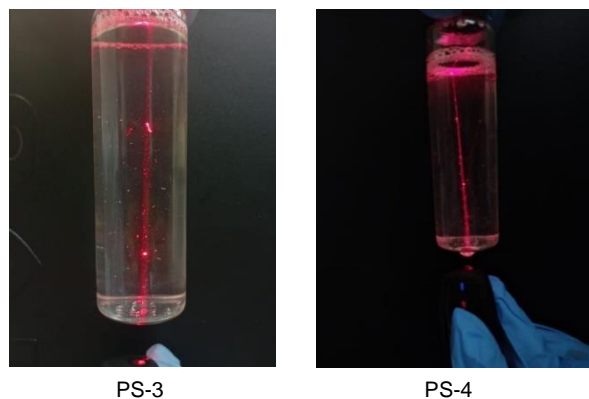
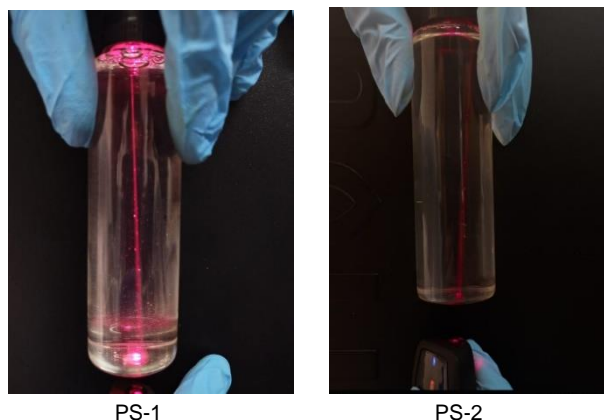
Tabela 2: Reagentes pesados

	Massa PS (g)
1	0,5010
2	0,5130
3	0,5117
4	0,5127

Fonte: Do próprio autor. (2024)

Após a realização do método para produção das micropartículas, utilizou-se um laser polarizado como meio de confirmação, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3: Micropartículas identificadas com o auxílio de um laser.



Fonte: Do próprio autor. (2024)

Como observado, o fenômeno de desvio e visibilidade do feixe ocorre devido ao espalhamento e refração da luz ao interagir com as partículas de poliestireno dispersas em meio aquoso (LIU et al., 2021).

Para esclarecimento, esta mesma análise foi realizada em água destilada, a qual não contém partículas dispersas no meio, conforme observado na Figura 4.

Figura 4: Feixe de luz não se propagando no meio da água destilada.



Fonte: Do próprio autor. (2024)

Conforme analisado, em água destilada a falta de partículas ou impurezas impede que a luz seja dispersa, tornando o feixe invisível no caminho de propagação, exceto nos pontos de entrada e saída no qual ele interage com uma superfície sólida ou reflexiva (MENDES, 2019).

3.2. PRODUÇÃO DOS COMPÓSITOS

Foram pesados e tratados 2 lotes de 100g de argila bentonita, seguindo as medidas da Tabela 3.

Tabela 3: Argila pesada

Lote	Massa pesada (g)	Massa de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (g)
1	100,3384	36,7528
2	100,1532	36,7519

Fonte: Do próprio autor. (2024)

Em seguida, as argilas previamente pesadas foram tratadas utilizando 500mL de solução de CaCl_2 a $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$ em um sistema de agitação por 2h. Após esse período, foram submetidas a filtração a vácuo, seguindo para a secagem na estufa por 48h.

Após esse período os dois lotes de argila foram pesados, onde suas massas estão representadas na Tabela 4.

Tabela 4: Argila tratada.

Lote	Massa pesada (g)	Rendimento (%)
1	95,1776	94,85
2	93,2054	93,05

Fonte: Do próprio autor. (2024)

Posteriormente ao tratamento da argila com o sal cloreto de cálcio, iniciou-se a junção com o carvão ativado.

Para isso, a pesagem dos reagentes carvão ativado e tween-80 foram baseados no peso da argila tratada. As massas reais estão presentes na Tabela 5.

Tabela 5: Massa dos reagentes tween-80 e carvão ativado.

Lote	Tween-80 (g)	Carvão ativado (g)
1	21,5743	62,8602
2	21,1063	61,5553

Fonte: Do próprio autor. (2024)

Após a calcinação, os compósitos apresentaram formatos variados e dimensões de 0,5cm a 1cm. Vale denotar que demonstraram rigidez e aparência escura, como é possível observar na Figura 4.

Figura 5: Compósito de argila bentonita e carvão ativado



Fonte: Do próprio autor. (2024)

3.3. TESTE DE FILTRAÇÃO

Cada coluna foi preenchida com 17g dos compósitos e a lâ de vidro, como apresentado na Figura 5.

Figura 6: Colunas com compósitos de argila e carvão ativado.



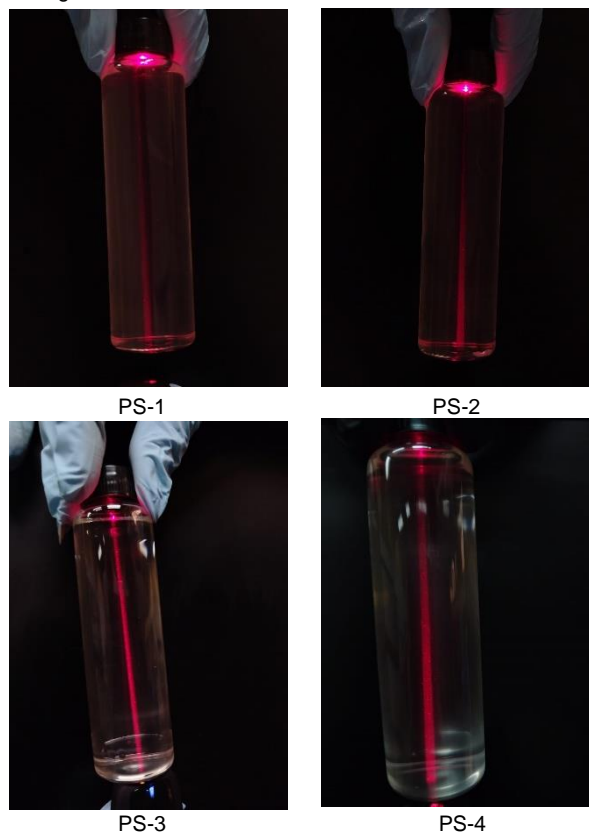
Lote 1: Colunas 1A e 1B

Lote 2: Colunas 2A e 2B

Fonte: Do próprio autor. (2024)

Após processo de filtragem, o mesmo teste de visualização com o auxílio de um laser foi realizado novamente no meio aquoso dos 2 lotes, expresso na Figura 6:

Figura 7: Laser sendo propagado nos meios aquosos pós-filtragem.



Fonte: Do próprio autor. (2024)

Tal qual avaliado, as micropartículas visíveis sem o auxílio de um instrumento óptico foram retidas no processo. Contudo, a presença do emulsificante tween-80 tende de criar películas em torno das partículas, isso ocorre devido as suas propriedades anfílicas. A formação dessas camadas implica na criação de forças repulsivas de origem estérica, a qual influencia diretamente nas interações deste material com as matrizes

filtrantes, podendo criar barreiras energéticas que inibem a adsorção ou retenção das partículas na superfície do filtro (ISRAELACHVILI, 2011).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo concentrou-se na produção de compósitos para realizar o tratamento de meios aquáticos contaminados por microplásticos, assim como a síntese do material estudado como meio contaminante.

Os sólidos obtidos a partir da argila bentonita tratada e do carvão ativado apresentaram formatos variados e demonstraram capacidade para remover os microplásticos visíveis sem o auxílio de um instrumento óptico em ambos os lotes. Com base nos resultados dos testes qualitativos, pode-se concluir que os compósitos criados possuem potencial para a retenção de microplásticos perceptíveis sem instrumentos ópticos em corpos hídricos, porém para avaliar efetivamente e estatisticamente a coluna cromatográfica de argila bentonita tratada e carvão ativado são necessários testes quantitativos. Ademais, alguns fatores podem tornar ineficiente a remoção de partículas menores, principalmente devido à presença de uma camada emulsificante em torno dos poluentes. As informações sugerem que modificações nos processos, como a pré-lavagem dos compostos, podem aumentar a eficácia do sistema.

Futuramente, com o objetivo de melhorar a caracterização dos compósitos, são recomendados testes para quantificar a retenção de microplásticos na coluna cromatográfica, juntamente com o processo de lavagem após a formação das micropartículas, além de experimentos com microplásticos derivados de outros polímeros, como polietileno e polipropileno, e testes com água em diferentes temperaturas e pH. Esses dados práticos serão fundamentais na qualificação do material obtido através do carvão ativado e da argila bentonita, definindo uma alternativa que busque reduzir a contaminação de corpos hídricos por microplásticos, diminuindo, conseqüentemente, os seus impactos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à banca pela disponibilidade e disposição em contribuir com meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Gostaríamos de expressar nossa sincera gratidão ao nosso orientador, Prof. Dr. Klauss Engelmann, por sua dedicação e orientação essencial para o desenvolvimento deste trabalho. Às nossas coorientadoras, Thais Taciano e Aline Ramos, que sempre estiveram ao nosso lado, nos ajudando a suportar a pressão do projeto com dicas valiosas e todo o apoio que precisávamos.

Agradecemos também à ETEC Irmã Agostina, por toda a infraestrutura que possibilitou a realização deste trabalho, e aos seus funcionários — professores, bibliotecária e as tias da limpeza — por sua contribuição indispensável ao longo do processo.

Um agradecimento especial à Gabriela Oliveira Sales, pelo suporte técnico na produção das micropartículas, e à SiliPlastic, por fornecer o poliestireno fundamental para o projeto.

Somos profundamente gratos a nossos familiares e colegas de classe, que estiveram ao nosso lado, nos incentivando em cada etapa do caminho. Agradecemos também a cada integrante do grupo, que, mesmo diante das dificuldades, sempre se doaram por completo para que este projeto acontecesse.

REFERÊNCIAS

- ACHON, C.L.; BARROSO, M.M.; CORDEIRO, J.S. **Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 18, p. 115-122, 2013.
- ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. **Green Chemistry: Theory and Practice.** Oxford University Press, 1998.
- ARAUJO, A. L. P.; SILVA, M. C. C.; GIMENES, M. L.; BARROS, M. A. S. D. **Estudo Termodinâmico da Adsorção de Zinco em Argila Bentonita Bofe Calcificada.** Scientia Plena, v. 5, n. 12, 2009.
- ARAÚJO, L.S. **Remoção de Microplásticos no Tratamento de Água para Consumo Humano.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2022.
- BOUKHEMKHEM, A.; PIZARRO, A. H.; MOLINA, C. B. **Enhancement of the adsorption properties of two natural bentonites by ion-exchange: equilibrium, kinetics and thermodynamic study.** *Clay Minerals*. Pré-prova.
- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Materials science and engineering: an introduction.** 10. ed. Hoboken: Wiley, 2021.
- CARBON, C. Basic concepts of adsorption on activated carbon. **Chemiviron Carbon, Box7-B-1200, Brussels**, 1974.
- CARPENTER, E. J.; SMITH J. K. L. **Plastics on the Sargasso. Sea surface.** Science, v. 175, n. 4027, p. 1240-1241, 1972.

CHUKWUJIKE, I. C.; IGWE, I. O. **Extender properties of some Nigerian clays.** J Miner Mater Charact Eng 4, 2016.

CLAUDINO, A.; MINOZZO, A. P. **Projeto de uma indústria de carvão ativado.** Trabalho Referente à Disciplina de Projetos, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, v. 4, p. 6-7, 2000.

COORS, A; DUIS, K. **Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects.** Environmental Sciences Europe, v. 28, n. 1, p. 2, 2016.

DEGANI, A. L. G., Cass, Q. B., Vieira, P. C. (1998) **"Cromatografia um breve ensaio."** Química Nova na Escola, nº 7.

DOS SANTOS, C. P. F. et al. **Caracterização e usos de argilas bentonitas e LUZ vermiculitas para adsorção de cobre (II) em solução.** Cerâmica, v. 48, p. 178-182, 2002.

FERNANDES, E. F. dos S.; AGUIAR, E. S.; LIMA, É. K. A. de; ALVES, K. E. da S.; FARIAS, J. R. de S.; ALMEIDA, Y. B. A. de; ALVES, M. E. R.; SILVA, H. de J. B. da; BRAGA, A. do N. S.; SANTOS, V. B. dos. **Bentonite clay: a brief review of properties and applications.** Research, Society and Development, 2023.

FUNDAÇÃO HEINRICH BÖLL STIFTUNG. **Atlas do plástico: fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos.** Rio de Janeiro; 2020.

ISRAELACHVILI, J. N. **Intermolecular and surface forces.** Academic press, 2011.

KAMIŃSKA, G. **Removal of Organic Micropollutants by Grainy Bentonite-Activated Carbon Adsorbent in a Fixed Bed Column.** Institute of Water and Wastewater Engineering, Silesian University of Technology, 2018.

KAMIŃSKA, G.; KUSZAJ, D.; BOHDZIEWICZ, J.; DUDZIAK, M.; KUDLEK, E. **Sorption potential and ability to regenerate granular adsorbent-bentonite-activated carbon.** In Technics Problem. Scientific Conference of PhD Students and Young Scientist, Young for Technics, 2017.

KELLY, F. J; MENG, Y; WRIGHT, S. L. **Advances and Challenges of Microplastic Pollution in Freshwater Ecosystems: A UK Perspective.** Environmental Pollution, v. 256, p. 113445, 2020.

KHAN, S., AJMAI, S., HUSSAIN, T.; RAHMAN, M. **U. Clay-based materials for enhanced water treatment: adsorption mechanisms, challenges,**

and future directions. J.Umm Al-Qura Univ. Appl. Sci, 2023.

LIU, T; YU, S; ZHU, X; LIAO, R; ZHUO, Z; HE, Y; MA, H. **In-situ detection method for microplastics in water by polarized light scattering.** Frontiers in Marine Science, 2021.

LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. (Ed.). **Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações.** 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. Cap. 11, p. 239-253. 990 p.

MATOS, M. **Análise Gravimétrica.** Apresentação de Power Point., 2015.

MALERE, C. P. R. **Síntese e caracterização de padrão de poliestireno para cromatografia de permeação em gel através da polimerização via radical livre controlada mediada por radicais nítróxidos.** Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Engenharia Química, 2011.

MENDES, R. J. B. **Laser Óptico Flúídica: dispersão de luz numa superfície livre líquida.** Dissertação de Mestrado, 2019.

MENEZES, R. R. et al. **Argilas bentoníticas de Cubati, Paraíba, Brasil: caracterização física-mineralógica.** Cerâmica, v. 55, p. 163-169, 2009.

MILLER, J. M. **Chromatography: Concepts and contrasts.** John Wiley and Sons, 2005.

MINTENIG, S.; LODER, M.; PRIMPKE, S.; GERDTS, G. **Low numbers of microplastics detected in drinking**

water from ground water sources. Science of the Total Environment, 648, p. 631-635, 2019.

MIYASHIRO, C. S.; PARISOTTO, E. I. B.; TELEKEN, J. G. **Utilização da argila bentonita como material adsorvente para diminuição do índice de acidez dos óleos residuais.** Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, [S. l.], v. 4, p. 515-522, 2015.

MIYAZAWA, T; ITAYA, M; BURDEOS, G. C.; NAKAGAWA, K; MIYAZAWA, T. **A Critical Review of the Use of Surfactant-Coated Nanoparticles in Nanomedicine and Food Nanotechnology.** International Journal of Nanomedicine, 2021.

MONTENEGRO, R. S. P; SERFATY, M. E. **Aspectos Gerais do Poliestireno.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 16, p. 123-136, set. 2002.

MUSYANOVYCH, A; SCHMITZ-WIENKE, J; MAILÄNDER, V; WALTHER, P; LANDFESTER, K. **Preparation of Biodegradable Polymer Nanoparticles by Miniemulsion Technique and Their Cell Interactions.** *Macromolecular Bioscience*, v. 8, p. 127-139, 2008.

PATRICK, J. W.; **Porosity in carbons: Characterization and applications**, John Wiley & Sons: New York, 1995

PIS, J. J. et al. **Preparation of active carbons from coal Part I. Oxidation of coal.** *Fuel processing technology*, v. 47, n. 2, p. 119-138, 1996.

RAJ, N; SOORYA, S. R. **Effect of Different Additives on Properties of Sodium Bentonite.** *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH & TECHNOLOGY (IJERT) ETCEA*, 2017.

RUSLI, Handajaya; PUTRI, Rindia M.; ALNI, Anita. **Recent developments of liquid chromatography stationary phases for compound separation: from proteins to small organic compounds.** *Molecules*, v. 27, n. 3, p. 907, 2022.

SABESP. **Tratamento de água.** Acesso em: 25/06/2024

SEVERINO, P; SANTANA, M. H. A; PINHO, S. C; SOUTO, E. B. **Polímeros Sintéticos Biodegradáveis: Matérias-primas e Métodos de Produção de Micropartículas para Uso em Drug Delivery e Liberação Controlada.** *Polímeros*, v. 21, p. 286-292, 2011.

TEIXEIRA-NETO, E. TEIXEIRA-NETO, A, A. **Modificação Química de argilas: Desafios científicos e tecnológicos para obtenção de novos produtos com maior valor agregado.** *Quim. Nova*, Vol. 32, No. 3, 809-817, 2009.

OKIEL, K.; EL-SAYED, M.; EL-KADY, M. Y. **Treatment of oil–water emulsions by adsorption onto activated carbon, bentonite and deposited carbon.** *Egypt. J. Petrol.*, v. 20, p. 9-15, 2011.

WANG, Z. et al. **Structural and surface property changes of macadamia nut-shell char upon activation and high temperature treatment.** *Carbon*, v. 40, n. 8, p. 1231-1239, 2002.