

ADSORÇÃO DO PRETO REATIVO 5 A PARTIR DAS CINZAS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇUCAR

ADSORPTION OF REACTIVE BLACK 5 FROM THE ASH OF THE SUGAR CANE BAGASE

Ellen Cristovão de Souza¹
Jucleiton José Rufino de Freitas²

RESUMO

A água é essencial para a humanidade, mas no Nordeste brasileiro há um grave problema socioambiental devido à má distribuição e à baixa disponibilidade hídrica, agravada pela expansão do agronegócio e contaminação dos mananciais. A poluição industrial é um grande problema, especialmente no setor têxtil, que usa corantes tóxicos difíceis de remover, como o Preto Reativo 5 (RB5), amplamente utilizado na indústria têxtil, é um corante tóxico, mutagênico e cancerígeno. Para mitigar os danos, a nanotecnologia, que manipula materiais em escala nanométrica, oferece soluções promissoras. A adsorção é um método eficiente para tratamento de efluentes, destacando-se pela flexibilidade e simplicidade. Entre os adsorventes, as zeólitas, minerais com alta capacidade de adsorção, são promissoras para a remoção de contaminantes. O estudo foca na síntese de zeólitas a partir de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar, fornecidas pela usina Olho D'Água (Camutanga-PE). As cinzas foram preparadas, secas e caracterizadas, e a sílica foi extraída por métodos térmico e químico. As zeólitas sintetizadas foram testadas para adsorção do corante RB5, demonstrando alta eficiência na remoção do corante em testes de adsorção com diferentes massas e tempos de interação. O processo de adsorção mostrou-se eficaz e econômico para o tratamento de água contaminada por corantes têxteis, com resultados positivos na utilização de cinzas tratadas quimicamente. Novos testes indicaram que, mesmo com menos quantidade de cinzas, a eficiência de descoloração permaneceu alta. A adsorção, portanto, representa uma solução viável e de baixo custo para a remediação de águas contaminadas.

Palavras-chave: RB5, cinzas cana-de-açúcar, adsorção de corante.

ABSTRACT

Water is essential for humanity, but in the Brazilian Northeast there is a serious socio-environmental problem due to poor distribution and low water availability, aggravated by the expansion of agribusiness and contamination of water sources. Industrial pollution is a major problem, especially in the textile sector, which uses toxic dyes that are difficult to remove, such as Reactive Black 5 (RB5), widely used in the textile industry, is a toxic, mutagenic and carcinogenic dye. To mitigate the damage, nanotechnology, which manipulates materials on a nanometric scale, offers promising solutions. Adsorption is an efficient method for treating effluents, standing out for its ease and simplicity. Among adsorbents, such as zeolites, minerals with high adsorption capacity, are promising for removing contaminants.

¹ Bacharelada em Engenharia de Materiais - Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, 2024.

² Doutorado em Química pelo Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

The study focuses on the synthesis of zeolites from sugarcane bagasse ash, supplied by the Olho D'Água plant (Camutanga-PE). The ash was prepared, dried and characterized, and the silica was extracted by thermal and chemical methods. The synthesized zeolites were tested for adsorption of the RB5 dye, demonstrating high efficiency in dye removal in adsorption tests with different masses and interaction times. The adsorption process proved to be effective and economical for the treatment of water contaminated by textile dyes, with positive results when using chemically treated ash. New tests indicated that, even with less ash, the decolorization efficiency was high. Adsorption, therefore, represents a viable and low-cost solution for the remediation of contaminated water.

Keywords: RB5, ash sugar cane, dye adsorption.

INTRODUÇÃO

A água é vital para humanidade e mesmo sendo um recurso natural, existe um grande conflito socioambiental que envolve o nordeste brasileiro (Silveira; Silva, 2019). É um fato que o Brasil possui uma boa disponibilidade hídrica, mas em contrapartida, o Nordeste possui 18,2% do território nacional e 28,7% da população do Brasil em seu território, ou seja, é um território com grande população e baixa disponibilidade de água, que é agravado pela má distribuição (Tucci, 2001).

A falta de água de qualidade para consumo é um grande problema para a população. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) “A poluição da água é uma das principais ameaças à saúde humana e ao meio ambiente”, mais de 100 milhões de brasileiros não possuem saneamento ambiental, fazendo com que o aumento de doenças seja considerável (Brasil, 2020).

A expansão do agronegócio é um dos principais problemas, agravando os conflitos por água devido à contaminação dos solos e mananciais. Além desse problema, um grande volume de água encontra-se contaminada e grande parte por resíduos industriais (Silveira; Silva, 2019).

Todas as atividades industriais

geram algum tipo de impacto ambiental, já que grandes volumes de contaminantes são despejados de forma desordenada e irresponsável, causando danos a natureza. Uma dessas indústrias é a têxtil, que em todo seu processo, desde a fiação até a confecção, causa algum impacto, o despejo de pesticidas e corantes que contaminam água e solo é um exemplo desse impacto (Toniollo; Zancan; Wust, 2015).

O agreste Pernambucano tem posição de destaque em relação a indústrias do setor têxtil, de acordo com Viana *et al* (2018), são responsáveis por aproximadamente 7% do PIB de Pernambuco. Apenas uma lavanderia produz uma média de 100 mil peças de vestuários todos os anos, gerando altos índices de contaminantes (Souto, 2017).

Essas indústrias no processo de tingimento costumam usar corantes de caráter tóxicos, são despejados em corpos hídricos locais, a partir das lavagens que são feitas em lavanderias (Paschoal; Tremiliosi-Filho, 2015).

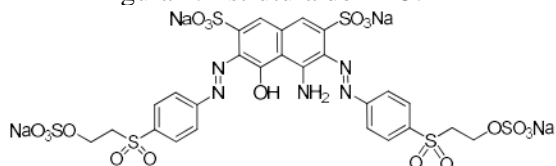
Segundo Peixoto, Marinho e Rodrigues (2013) corantes usados para tingir tecidos são desenvolvidos para serem resistentes e por isso não são fáceis de serem removidos das águas. Aproximadamente 10 mil corantes diferentes são produzidos anualmente para sanar necessidades de processos industriais diferentes, a maioria dos efluentes gerados por esses corantes são

tóxicos (Ahmad; Rahman, 2011).

Os azo-corantes é uma classe de corantes sintéticos que está amplamente presente em setores, como o têxtil, por exemplo. Essa classe possui dificuldades para sua remoção em estuários, causando algumas preocupações, já que são compostos mutagênicos e apresentam riscos aos organismos (Santello, 2023).

Um corante importante que merece uma atenção especial é o Preto Reativo 5 (RB5), também conhecido como *Reactive black 5*, devido a sua estabilidade às lavagens e praticidade no processo de tingimento de tecidos, esse corante é usado na indústria têxtil. O RB5 (Figura 1) pode ser definido como um corante diazo, que contém dois grupos sulfonatos e dois grupos vinilsulfonas como grupos reativos (eletrofílicos), possuindo características consideradas tóxicas, mutagênicas e cancerígenas (Santos, 2019).

Figura 1. Estrutura do RB5.



Fonte: A autora, 2024.

O RB5 possui uma maior estabilidade ao tecido tingido quando comparado a outros tipos de corantes existentes na indústria têxtil. Em consequência disso, surge a preocupação quanto ao resíduo resultante desse corante, pois, quando descartado em recursos hídricos, pode vir a produzir comportamentos danosos aos organismos vivos no geral (Santos, 2019)

Devido à grande preocupação com a contaminação das águas, incluindo corantes provenientes das atividades industriais têxteis, é essencial remediar esses danos de alguma maneira. Existem algumas técnicas físicas, químicas e biológicas para

reverter os prejuízos causados pelo derramamento de corantes, sendo uma delas o uso inteligente e eficaz da nanotecnologia (Martins, 2024).

A nanotecnologia tem ganhado cada vez mais destaque globalmente. Segundo Pina *et al.* (2006), essa tecnologia envolve o manuseio de materiais com dimensões físicas na escala de alguns nanômetros, ou até menores, para criar estruturas moleculares distintas. Basicamente, átomos são controlados individualmente para formar moléculas conforme necessário, utilizando menos matéria-prima, o que é uma de suas principais vantagens (Pina *et al.*, 2006).

Segundo Quina (2004) as nanopartículas possuem uma área superficial grande e por isso, suas propriedades mecânicas, ópticas, magnéticas e/ou químicas são diferentes das partículas numa escala macro, então, quando manipulados, os materiais nano apresentam um resultado ainda mais satisfatório para os produtos finais.

A nanotecnologia é basicamente o estudo de materiais na escala de 10^{-9} m, que representa a escala nanométrica, ou seja, é equivalente a bilionésima parte de um metro, o que explica a palavra nano, que advém do grego, a qual tem como significado anão, algo muito pequeno (Melo, 2004).

Um fio de cabelo tem 50000 nanômetros, uma bactéria possui entre 1000 e 10000 nanômetros, já um vírus, entre 75 e 100 nanômetros, o DNA tem 2 nanômetros e dez átomos de hidrogênio empilhado atingem um nanômetro (Alves, 2004).

Para conseguir ver e manipular materiais invisíveis a olho nu, diversos estudos foram realizados, resultando na criação do microscópio óptico entre os séculos XVI e XVII, que rapidamente se popularizou. No século XX, Fritz Zernike, laureado com o Prêmio Nobel de Física, desenvolveu o microscópio de

contraste de fase, permitindo um estudo celular mais detalhado (Devadasu; Bhardwaj; Kumar, 2013).

Após a invenção dos microscópios, várias tecnologias foram aprimoradas, proporcionando melhores métodos para estudar o mundo nano. Atualmente, há diversos equipamentos utilizados para esse fim, como a microscopia de força atômica, a microscopia eletrônica de varredura, a microscopia eletrônica de transmissão e a difratometria de raios X. Esses dispositivos fornecem uma ampla gama de informações sobre os materiais estudados, incluindo suas propriedades (Valadares; Chaves; Alves, 2005).

Utilizando esses equipamentos mencionados, as propriedades dos nanomateriais são analisadas e observadas. Pereira e Binsfeld (2016) notaram que a superfície dos nanomateriais é normalmente coberta com polímeros ou moléculas de reconhecimento biológico para aumentar a biocompatibilidade e o direcionamento seletivo de moléculas biológicas.

Processos físicos, químicos e biológicos são técnicas bastante utilizadas para o tratamento de materiais que serão direcionados para tratar efluentes, alguns mais caros que outros e com eficiência diferentes. Dentre os métodos existentes, uma técnica que vem tomando bastante espaço é a adsorção, que por sua vez é um tratamento físico-químico muito eficiente (Silva, 2014).

A adsorção tem se destacado por ser uma técnica mais flexível e simples. De acordo com Silva (2014), a adsorção consiste, de maneira geral, na adesão de moléculas de um fluido, como o corante neste caso, a uma superfície sólida, sem alterar sua composição química. A superfície sólida à qual as moléculas se aderem é chamada de adsorvente, enquanto as moléculas aderidas são conhecidas como adsorvato

(Nascimento, 2016).

De acordo com Nascimento *et al.* (2014), o processo de adsorção sofre influência de alguns coeficientes, como por exemplo, a natureza dos adsorventes e adsorvatos envolvidos, e as condições de operação, tais como a temperatura, que afeta diretamente na velocidade da adsorção e o pH, que por sua vez, vai interferir no grau de distribuição das espécies químicas.

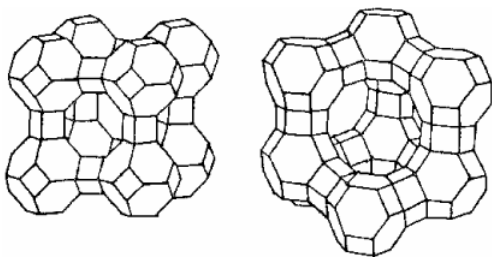
Atualmente o processo de adsorção é eficaz e econômico para tratamento de água e efluentes, mas para a escolha do adsorvente é necessário observar as opções, dentre elas estão: alumina, turfa, membranas de casca de ovo, derivados de celulose, zeólitas, carvão ativado e algumas outras. O carvão ativado é amplamente utilizado, mas possui um custo elevado (Crini; Badot, 2008).

Como opção tem-se as zeólitas, que são minerais naturais ou sintéticos, ambos os tipos apresentam características parecidas, possuem estrutura cristalina muito bem definida. São aluminossilicatos, isto é, sua estrutura corresponde a SiO_4 e AlO_4 tetraédrico (Luz, 1994).

A Relação Si/Al faz com que haja troca catiônica, ou seja, cada vez que um Si é trocado por um Al, gera-se uma carga negativa, que é substituída por um cátion (Izidoro, 2013).

A alta capacidade de adsorção das zeólitas é decorrente do tamanho da área de sua cavidade interna, como mostra na Figura 2 as zeólitas na forma poliédrica. Nessas grandes cavidades internas de sua estrutura cristalina se encontram os cátions de compensação, permitindo troca iônica e não alterando sua estrutura básica.

Figura 2. Estrutura das zeólitas.



Fonte: Aguiar, Novaes, Guarino, 2002.

Então, foi observado que as zeólitas são consideradas bastante eficientes para extração de diversos contaminantes da água. A partir disso, as zeólitas podem ser bem utilizadas como adsorventes de baixo custo e é esperado que o resultado seja satisfatório, remediando as águas contaminadas. O trabalho tem como foco as zeólitas sintetizadas, obtidas a partir de uma solução aquosa saturada, de uma certa composição, que no caso do trabalho em questão, são as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar. Ao modificar a composição, características diferentes podem surgir na zeólita que está sendo sintetizada (Luz, 1994).

A cana em possui utilidades diversificadas, podendo ser coletada e armazenada in natura, para alimentar os animais, e também como matéria prima, para fazer açúcar, álcool, etanol e vários outros produtos. Os seus rejeitos, seja o bagaço ou as cinzas do bagaço, também têm bastantes utilidades, como adubo, fertilizantes, nas indústrias de papel e como gerador de energia.

O bagaço da cana-de-açúcar é um material orgânico e é o produto após extração do caldo da cana (Soares, 2014). Já as cinzas do bagaço da cana são subprodutos advindos da queima na indústria. Demonstra um grande potencial como material adsorvente no tratamento de efluentes, graças aos seus principais compostos químicos e às suas propriedades físicas (Barbosa, 2020).

METODOLOGIA

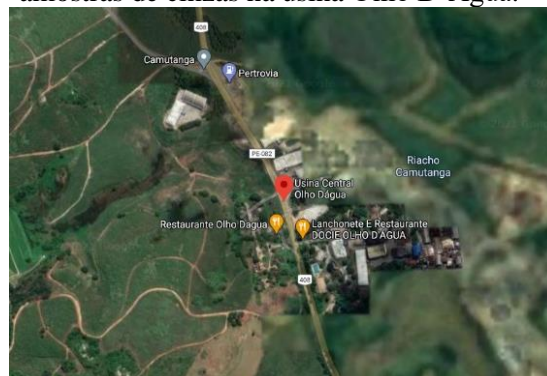
Os reagentes utilizados foram de grau analítico, obtidos comercialmente com pureza P.A., dos fornecedores

Merck, Aldrich, Cinética e Vetec. O hidróxido de sódio (NaOH) da empresa Merck (P. A 99 %) será utilizado para ajuste de pH e síntese de zeólitas. As amostras de cinzas foram fornecidas pela usina Olho D'Água.

Cinzas do bagaço da cana-de-açúcar.

As cinzas do bagaço da cana-de-açúcar foi fornecido pela usina Usina Olho D'Água, localizada na zona rural da cidade de Camutanga-PE apresentando as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 8° 14' 29,4" Sul, Longitude: 35° 2' 7" Oeste (Figura 3).

Figura 3. Localização da coleta das amostras de cinzas na usina Olho D'Água.



Fonte: Google maps, 2020.

A Usina Olho D'Água tem como produtos o etanol, energia, para consumo próprio, destilados e açúcares cristal, demerara e refinado. O processo de moagem tem um subproduto que é o bagaço, sendo o mesmo utilizado como biocombustível para suas caldeiras, resultando nas cinzas utilizadas neste trabalho. As cinzas foram obtidas de cada unidade e armazenadas em sacos plásticos de 15 L e levadas ao laboratório de Biomoléculas e Estudos Ambientais.

Preparação e caracterização das cinzas

A amostra coletada de cinzas foi levada para a estufa por 24h a 100°C,

com o intuito de remover a umidade e compostos orgânicos voláteis. Em seguida, o material foi peneirado após a secagem foram peneiradas em uma peneira granulométrica de 250 μm micrômetros, para retirar os resíduos, como cascalhos, palha, areia, além de padronização granulométrica, aumento da área superficial e seleção de partículas.

Em seguida as amostras foram estocadas em sacos plásticos opacos e incolores vedados. Em seguida, a amostra foi enviada para caracterização em aparelho de Difração de Raios X (DRX) da UACSA/UFRPE.

Logo após, foi realizada uma revisão de literatura para escolher protocolos para extração das cinzas. Nesse sentido, foram escolhidos dois protocolos, o tratamento das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar pelo método hidrotérmico alcalino e térmico.

Extração e caracterização da sílica

A sílica foi extraída das cinzas pelo método térmico e químico. O primeiro método foi o térmico, onde a sílica foi obtida quando mantivemos as cinzas secas e moídas por 48 h em forno a 450 °C com insuflamento contínuo de ar. Para determinar a pureza da sílica obtida, uma amostra foi enviada para caracterização por fluorescência de raios X.

O segundo método foi o químico, a sílica foi extraída das cinzas por processo de solubilização e purificação. O procedimento realizado foi o tratamento hidrotérmico alcalino em refluxo, onde 23,0 g de cinzas foram misturadas com 184 mL de uma solução de 3,5 mol.L⁻¹ de NaOH. A mistura foi distribuída em reatores e colocada na mufla por 24h em temperatura de 200°C. A suspensão foi filtrada em papel de filtro e o sólido foi lavado com água destilada até o pH \approx 11. O resíduo foi seco em estufa convencional à

temperatura de 90 (+/- 3) °C por 24 horas.

Solução de corante Preto Reativo 5 (RB5)

A solução foi preparada inicialmente com 0,007g de corante e misturado em 100ml de água destilada, em balão volumétrico. A segunda solução foi preparada com 0,0175g de corante e misturado em 250ml de solução tampão pH 4,00, em balão volumétrico.

Interação corante e cinzas

Para interação entre a solução de corante e as cinzas, foi usado um Agitador Magnético com Aquecimento 15L 110V e 220v Com Barra Magnética, modelo: CE-1540/A15 e marca: CIENLAB.

Análise de adsorção do corante

Foi usando o equipamento UV-vis para fornecer informações sobre a adsorção do corante, com o resultado da absorção do comprimentos de ondas durante o ensaio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foi realizada a coleta das cinzas na usina escolhida, Usina Olho D'Água. A amostra coletada foi analisada no laboratório de Ecologia Química e Síntese e foi observado que a amostra de cinzas coletadas apresentava boa pureza, sem tantos cascalhos e boa quantidade de cinzas (Figura 4).

Figura 4. Cinzas obtidas da usina Olho D'Água.



Fonte: A autora, 2020.

A amostra coletada de cinzas após passar pela estufa, ser peneirada e estocada ficou com o aspecto como mostra a Figura 5.

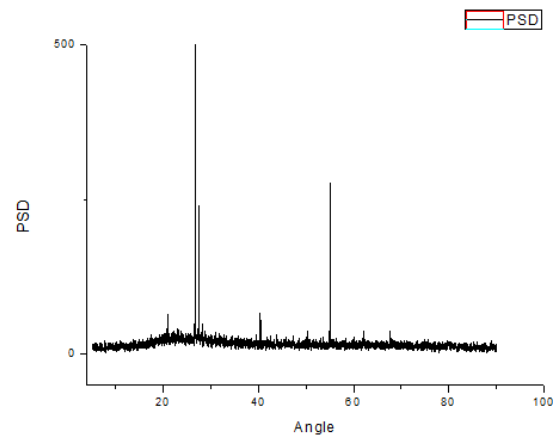
Figura 5. Cinzas obtidas da usina Olho D'Água depois de ser peneirada.



Fonte: A autora, 2020.

A fase cristalina da amostra de cinza foi identificada a partir da técnica de difração de raios-X. A composição mineralógica da amostra de cinza está apresentada no difratograma de raios-X na figura 6.

Figura 6. Difratograma de raios-X mostrando a fase cristalina da amostra de cinza.



Fonte: A autora, 2021.

Os três picos mais intensos observados correspondem a 2θ igual a $26,772^\circ$, $27,429^\circ$ e a $55,014^\circ$. Observam-se também picos menos intensos a partir de $2\theta > 50^\circ$. Estes picos são característicos da sílica na forma de quartzo (Chisholm, 2005).

Com uma amostra das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar foi feito o primeiro tratamento térmico (Figura 7).

Figura 7. Amostra das Cinzas após primeiro tratamento térmico.



Fonte: A autora, 2020.

A amostra obtida pelo método hidrotérmico alcalino ficou com a aparência física do material, como mostra na figura 8.

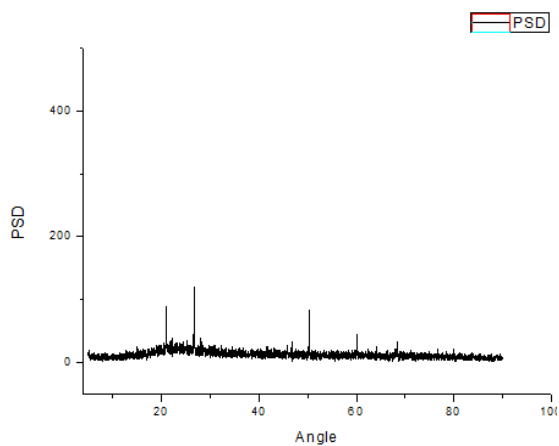
Figura 8. Amostra de Cinzas após o tratamento hidrotérmico alcalino.



Fonte: A autora, 2020.

A fase cristalina da amostra de cinza obtida do tratamento térmico a 600°C foi identificada a partir da técnica de difração de raios-X. A composição mineralógica da amostra de cinza está apresentada no difratograma de raios-X na figura 9.

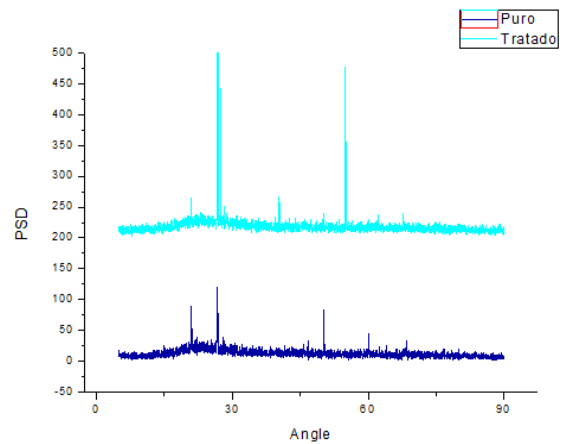
Figura 9. Amostra das cinzas após tratamento térmico a 600°C.



Fonte: A autora, 2021.

Os três picos mais intensos observados correspondem a 2θ igual a 21,011°, 26,696°, e igual a 50,269°. Estes picos são característicos da sílica na forma de quartzo. Logo abaixo, segue o difratograma:

Figura 10. Comparação das amostras de cinzas antes e depois do tratamento térmico a 600°C.



Fonte: A autora, 2021.

A figura 10 mostra os padrões do difratogramas de raios-X das cinzas do bagaço da cana de açúcar antes e após tratamento a 600°C, indicando uma maior cristalinidade, causada pelo processo de calcinação. Esse processo leva à cristalização de fases amorfas na matéria prima, a fase cristalina apresentada pela cinza é o quartzo.

Para a preparação da solução do corante (70mg/l), foi pesado 0,007g de corante e misturado em 100ml de água destilada, em balão volumétrico. Em seguida 20ml da solução mãe foi diluída em 5ml de água destilada, como mostra a figura 11.

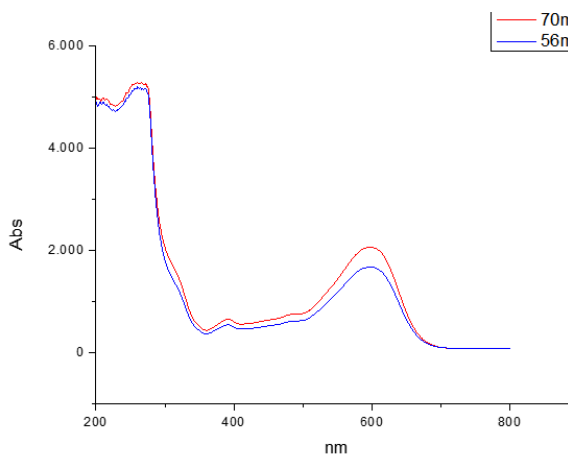
Figura 11. Solução Mãe (70mg/l) e solução diluída (56mg/l).



Fonte: A autora, 2022.

Com o intuito de observar se a concentração está correta, foi feito um espectro de absorção para comparar a solução mãe e a amostra que foi diluída e com o resultado foi constatado que estava correta (Figura 12).

Figura 12. Espectros de absorção referente às soluções mãe.



Fonte: A autora, 2022.

As cinzas termicamente tratadas foram pesadas com 0,1g, 0,2g, 0,3g e 0,4g, em seguida cada uma foi colocada para interagir com 10ml da solução mãe com o auxílio do agitador magnético por um tempo fixo de 10min. Após esse processo, a mistura foi filtrada, como representado na figura 13.

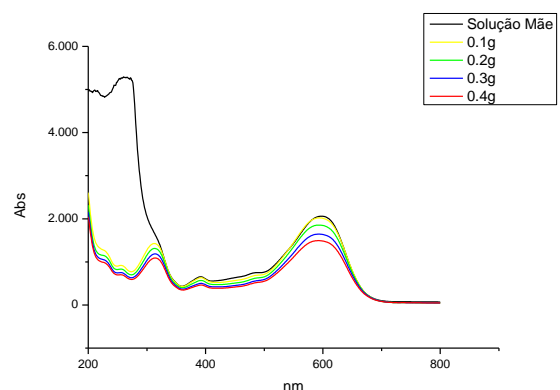
Figura 13. Filtragem para reter as cinzas.



Fonte: A autora, 2022.

Foi provado pelo UV-Vis que com a maior massa de cinzas o corante consegue ser adsorvido melhor, como pode ser observado na figura 14.

Figura 14. Espectros de absorção referente às soluções com quantidades diferentes de cinzas termicamente tratadas.

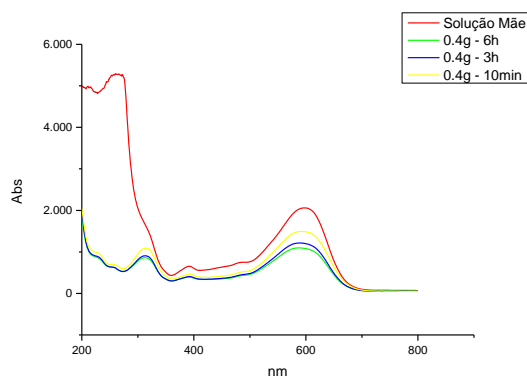


Fonte: A autora, 2022.

A partir de algumas pesquisas bibliográficas, foi observado que para a melhor adsorção do corante, o pH 4 é a melhor opção. Por isso foi usado o peagâmetro para ajustar o pH e fazer novos testes com 0,4g de cinzas e agora em tempos diferente, 3 horas e 6 horas

em agitação, como mostra o resultado do UV-Vis na figura 15.

Figura 15. Espectros de absorção referente às soluções com tempo de interação diferentes usando cinzas termicamente tratadas.

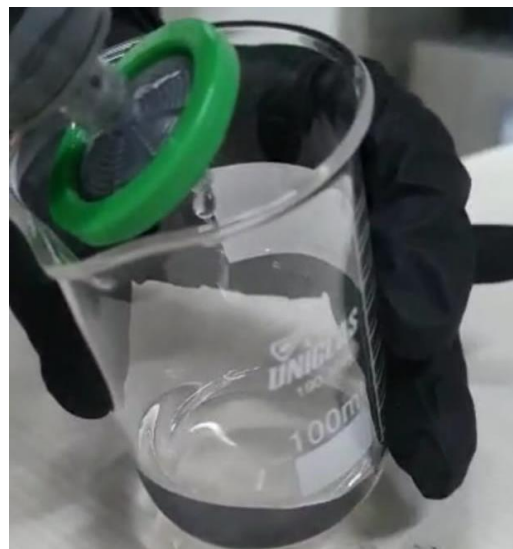


Fonte: A autora, 2022.

Constatou-se que com o aumento do tempo de agitação que a mistura é submetida, a adsorção também aumenta.

A cinza que foi tratada quimicamente foi utilizada da mesma forma, pesada com 0,2g, 0,3g e 0,4g e colocada para interagir com a solução por 4 horas em agitação contínua, em seguida foi filtrada e levada para o UV-Vis. Desde a filtração, de forma visual foi observado que o líquido saiu límpido, como mostra a figura 16.

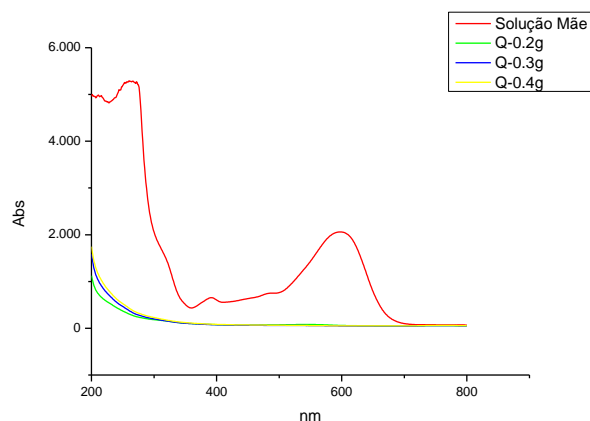
Figura 16. Solução do corante após mistura, com as cinzas quimicamente tratadas, e filtração.



Fonte: A autora, 2022.

A figura 17 mostra o resultado do UV-Vis, que constatou a remoção do corante e a eficiência de descoloração calculada foi de aproximadamente 97%.

Figura 17. Espectros de absorção referente às soluções com massa diferentes das cinzas quimicamente tratadas.



Fonte: A autora, 2022.

Novos testes foram feitos para acompanhamento do comportamento da adsorção com a diminuição da massa de cinzas quimicamente tratadas, com o objetivo de diminuir custo em larga escala e o aumento gradativo de tempo de interação do material.

A solução do corante foi preparada da mesma forma que a

anterior, mas o uso de água destilada foi substituída pelo uso de uma solução tampão pH 4,00, que segundo alguns estudos, é o pH ideal para interação.

Foi usada 0,05g das cinzas e colocada para interagir com a solução em tempos diferentes de 5, 10, 15, 30, 60, 80, 150, 200, 220 e 240 minutos em uma agitação contínua, utilizando o agitador magnético, como mostra a figura 18.

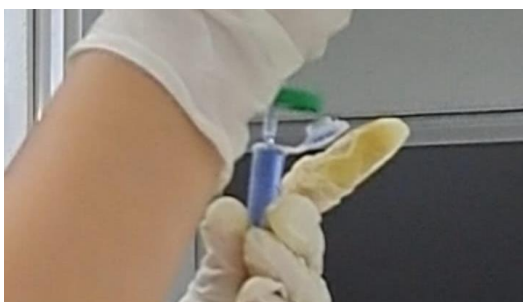
Figura 18. Solução do corante com as cinzas quimicamente tratadas e em agitação.



Fonte: A autora, 2024.

Após processo de agitação contínua, o material foi filtrado, como mostra a figura 18 e levada para o UV-Vis para observar a efetividade da adsorção, como mostra a figura 19.

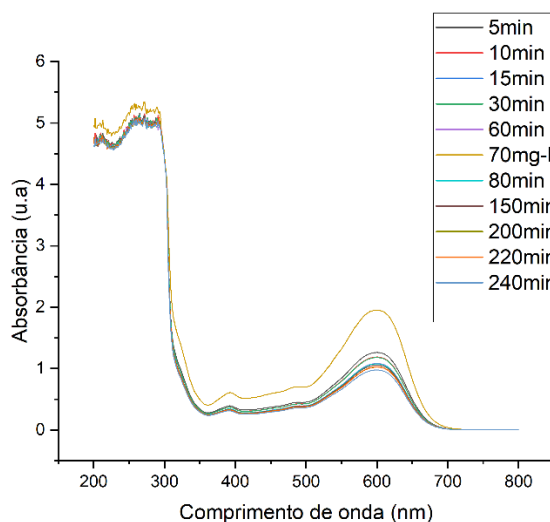
Figura 19. Solução do corante após segunda mistura, com as cinzas quimicamente tratadas, e filtração.



Fonte: A autora, 2024.

A figura 20 mostra o resultado do UV-Vis, que constatou a remoção do corante, mesmo com menos quantidade de cinzas, e a eficiência de descoloração calculada foi de aproximadamente 50%.

Figura 20. Espectros de absorção referente às soluções com massa iguais e em tempos diferentes de interação das cinzas quimicamente tratadas.



Fonte: A autora, 2024.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Neste trabalho foram coletadas amostras da usina Olho D'Água, e as amostras mostram grau de pureza satisfatório. A extração da sílica realizada de um resíduo de fonte renovável, neste caso cinza do bagaço da cana-de-açúcar, foi dada por dois tratamentos, o químico e o térmico.

As cinzas termicamente tratadas mostraram-se menos eficaz em relação ao tratamento químico, que por sua vez adsorveu melhor. O teste de adsorção realizado com as cinzas quimicamente tratadas com massas diferentes mostrou eficiência de aproximadamente 97%, a olho nu foi observado que a solução do corante se tornou incolor.

O segundo teste feito com as cinzas quimicamente tratadas, mas com a mesma massa e em diferentes tempos de interação, também se mostrou eficiente, por volta de 50%.

As vantagens da reciclagem das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar são positivas do ponto de vista ambiental, econômico e social, devido ao seu baixo custo e serem resíduos gerados em grandes quantidades no Brasil.

REFERÊNCIAS

AHMAD, Mohd Azmier; RAHMAN, Nazira Khabibor. Equilibrium, kinetics and thermodynamic of Remazol Brilliant Orange 3R dye adsorption on coffee husk-based activated carbon. **Chemical Engineering Journal**, v. 170, n. 1, p. 154-161, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894711003500>. Acesso em: 08 jun. 2024.

ALVES, Oswaldo Luiz. Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre presente e futuro não é apenas questão de tempo. **Revista Parcerias Estratégicas**. Brasília, n. 18, p. 23-40, 2004. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1751669/mod_resource/content/1/Santos_et_al_2004.pdf. Acesso em: 12 jun. 2024.

BARBOSA, Larissa Maria de Souza. **Avaliação do desempenho da cinza do bagaço de cana-de-açúcar na adsorção de fipronil**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/f5ef0a24-019f-4ccd-a389-2a08111da334/content>. Acesso em: 20 jun. 2024.

CRINI, Gregorio; BADOT, Pierre-Marie. Aplicação de quitosana, um aminopolissacarídeo natural, para remoção de corantes de soluções aquosas por processos de adsorção usando estudos em batelada: uma revisão da literatura recente. **Progress in polymer Science**. França, v. 33, n. 4, p. 399-447, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0079670007001293>. Acesso em: 18 jun. 2024.

DEVADASU, Venkat Ratnam; BHARDWAJ, Vivekanand; KUMAR, MNV Ravi. Can controversial nanotechnology promise drug delivery?. **Chemical reviews**, Washington, D.C., v. 113, p.1686-1735, 2013. Disponível em: https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/cr300047q?ref=article_openPDF. Acesso em: 08 jun. 2024.

IZIDORO, Juliana de Carvalho. **Síntese e caracterização de zeólita pura obtida a partir de cinzas volantes de carvão**. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais) – Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Juliana%20de%20Carvalho%20Izidoro_D.pdf. Acesso em: 20 jun. 2024.

LUZ, Adão Benvindo da. **Zeólitas: propriedades e usos industriais**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1994, n. 68. (Série Tecnologia Mineral). Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/132/1/stm-68.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Saneamento e qualidade**

das águas. Brasília: MMA. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/agenda-ambiental-urbana/saneamento-e-qualidade-das-%C3%A1guas.html> Acesso em: 08 jun. 2024

MARTINS, Rafael Dos Santos. **Uma proposta de experimento a ser aplicado no ensino de química utilizando a temática da nanociência e da nanotecnologia.** Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - do Instituto Federal da Paraíba, Sousa, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/bitstream/177683/3831/1/TCC%20RAFAEL%20DOS%20SANTOS%20MARTINS.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2024.

MELO, Celso Pinto; PIMENTA, Marcos. Nanociências e nanotecnologia. **Revista Parcerias estratégicas.** Brasília, v. 9, n. 18, p. 9-22, 2004. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1751669/mod_resource/content/1/Santos_et_al_2004.pdf. Acesso em: 08 jun. 2024.

NASCIMENTO, Grazielle Elisana do. **Avaliação do processo adsorptivo para remoção de ácidos naftênicos presentes em mistura modelo de querosene de aviação utilizando adsorvente do tipo MCM-14 modificado.** Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/17131/1/TESE%20COMPLET A%20FINAL%20-%20GRAZIELE%20NASCIMENTO.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2024.

PASCHOAL, Fabiana Maria Monteiro; TREMILIOSI-FILHO, Germano. Aplicação da tecnologia de eletrofloculação na recuperação do corante índigo blue a partir de efluentes

industriais. **Química Nova**, v. 28, p. 766-772, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/8sCs9PMLBjgd7SJJg5fnFCn/>. Acesso em: 8 jun. 2024.

PEIXOTO, Fabia Pinho; MARINHO, Gloria; RODRIGUES, Kelly. Corantes têxteis: uma revisão. **Holos**, v. 5, p. 98-106, 2013. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/download/1239/729>. Acesso em: 08 jun. 2024.

PEREIRA, Isabela Ornelas; BINSFELD Pedro Canisio. **Nanomedicamentos: o cenário de regulamentação no Brasil.** Goiás, 2017. Disponível em: <https://silo.tips/download/nanomedicamentos-o-cenario-de-regulamentacao-no-brasil>. Acesso em: 20 jun. 2024.

PINA, Kleber Vieira *et al.* Nanotecnologia e nanobiotecnologia: estado da arte, perspectivas de inovação e investimentos. **Revista Gestão Industrial.** Ponta Grossa, v.2, n.2, p. 115-125, 2006. Disponível em: <https://revistas.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/118/115>. Acesso em: 08 jun. 2024.

QUINA, Frank H. Nanotecnologia e o meio ambiente: perspectivas e riscos. **Química Nova**, São Pulo, V.27, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/5zZPsK4RdkjGGfFrhWsLbjd/>. Acesso em: 08 jun. 2024.

SANTELLLO, Lara Cavalari. **Biodegradação e destoxificação do corante têxtil preto reativo 5 pelo basidiomiceto de origem marinha *Peniophora sp.*** Dissertação (mestrado em Biologia Celular, Molecular e Microbiologia) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2023. Disponível em:

<https://repositorio.unesp.br/server/api/content/bitstreams/63f9283e-fe7b-41be-b439-0ebce7323975/content>. Acesso em: 08 jun. 2024.

SANTOS, Fernanda Lima dos. **Degradação do corante têxtil RB5 em efluente modelo via processo de fotocatalise heterogênea e foto-Fenton visando o reuso de água.** Dissertação (Mestrado Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/34033/1/DISSERTA%20c3%87%20c3%83O%20Fernanda%20Lima%20dos%20Santos.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2024.

SILVA, Elaine Lopes da. **Tratamento de efluentes oleosos utilizando processo de adsorção através de argila organofílica para separação óleo/água.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Capina Grande, 2014. Disponível em: <https://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/2050>. Acesso em: 20 jun. 2024.

SILVEIRA, Sandra Maria Batista; SILVA, Maria das Graças e. Conflitos socioambientais por água no Nordeste brasileiro: expropriações contemporâneas e lutas sociais no campo. **Revista katálysis**, v. 22, n. 02, p. 342-352, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rk/a/wyQtDQcCd9wRRHVP5JzVKsb/?lang=pt>. Acesso em: 08 jun. 2024.

SOARES, Larissa Azevedo. **Síntese, ativação e caracterização de carvão obtido a partir de bagaço de cana de açúcar e avaliação da capacidade de adsorção.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio grande do Norte, Natal. 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/12345>

6789/22736. Acesso em: 08 jun. 2024.

SOUTO, Thaís Jeruzza Maciel Póvoas *et al.* **Estudo do comportamento químico e ambiental de efluentes industriais e resíduos sólidos oriundos de lavanderias do polo têxtil no agreste pernambucano.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <http://tede2.ufrpe.br:8080/tede/handle/tede2/7716>. Acesso em: 08 jun. 2024.

TONIOLLO, Michele; ZANCAN, Natália Piva; WÜST, Caroline. Indústria têxtil: sustentabilidade, impactos e minimização. *In*: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 6., 2015, Porto Alegre. [Anais]. Porto Alegre: IPA, 2015. p. 23-26. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/V-029.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2024.

TUCCI, Carlos E. M.; HESPANHOL, Ivanildo; CORDEIRO NETTO, Oscar de M. **Gestão da água no Brasil.** Brasília: Unesco, 156p. 2001. Disponível em: <https://www.precog.com.br/bc-texto/obras/ue000058.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2024.

VALADARES, Eduardo de Campos; CHAVES, Alaor S.; ALVES, Esdras Garcia. **Aplicações da física quântica do transistor à nanotecnologia:** Coleção temas atuais de física. São Paulo: Livraria da Física; SBF, 2005.

VIANA, Mirella Alexandre *et al.* Pegada hídrica em indústria de beneficiamento de jeans no Agreste Pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p. 61-68, 2018. Disponível

em:

<https://www.journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/1723/1632>. Acesso em: 08 jun. 2024.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me capacitar e direcionar durante esses anos desafiadores. Senti sua presença e seu cuidado todos os dias.

Agradeço ao meu orientador Jucleiton Freitas, pelos anos de Iniciação Tecnológica e pela orientação dedicada, paciência e conhecimento passado. Seu apoio foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho. Da mesma forma agradeço à Coordenadora de curso Verônica Diníz, que sempre me ajudou e apoiou durante o processo de finalização de curso.

Agradeço aos meus pais e minha irmã, que estiveram desde o início da minha trajetória escolar me apoiando e me impulsionando. O cuidado e incentivo me fizeram chegar até aqui.

Agradeço em especial ao meu grande amigo e companheiro José Otávio e aos meus amigos de universidade, Maria Júlia, João Cardoso, Jennifer Araújo, Daíres Macedo e Ravylla Nicole por terem me presenteado com momentos de leveza mesmo em momentos difíceis e agitados.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para esta conquista, direta ou indiretamente. Este trabalho não teria sido possível sem o apoio e a contribuição de cada um de vocês.