

REMOÇÃO DO CORANTE AMARELO REATIVO UTILIZANDO A ZEÓLITA NaA: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO pH

Ana Beatriz de França Silva Araújo¹
Francisco Alex de Sousa Silva²
Meiry Gláucia Freire Rodrigues³

RESUMO

O estudo de processos eficientes visando a remoção de corantes em efluêntes têxteis vem tomando grande destaque nas pesquisas desenvolvidas nos últimos anos. Este trabalho tem como objetivo realizar a síntese e caracterização da zeólita NaA, além de avaliar seu potencial como adsorvente na remoção do corante sintético Amarelo Reativo BF-3R. A síntese da zeólita NaA se deu pelo método hidrotérmico de forma direta. Foi realizado um estudo em sistema batelada para avaliar a influência do pH que mostra a eficiência do material. No estudo da influência do pH, com as seguintes condições: concentração inicial do corante Amarelo Reativo de 70 mg.L^{-1} , agitação mecânica de 200 rpm, temperatura ambiente de 25°C durante um período de 2 horas e utilizando uma proporção de 0,3 g de adsorvente para 30 mL da solução. O material foi caracterizado pela técnica de Difração de Raios X (DRX) que mostram que o material sintetizado foi obtido de forma satisfatória e apresenta os picos característicos se comparados com a carta cristalográfica para zeólitas do tipo NaA. No estudo da influência do pH, as melhores condições se dão em pH entre 1 e 2. A zeólita NaA utilizada como adsorvente atingiu valores de percentagem de remoção e capacidade de adsorção de 44,65 % e $3,13 \text{ mg.g}^{-1}$ respectivamente para o pH 1 já para o pH 2, 33,73 % e $2,36 \text{ mg.g}^{-1}$ sendo então resultados positivos para a sua aplicação em processos adsorptivos com o corante Amarelo Reativo.

Palavras-chave: Zeólita NaA, Corante Amarelo Reativo, Efluêntes Têxteis, Influência do pH.

¹ Graduando do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, beatriz.franca@eq.ufcg.edu.br;

² Graduando pelo Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, francisco.sousa@eq.ufcg.edu.br;

³ Professora orientadora: Doutora, Unidade Acadêmica de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, meiry.freire@eq.ufcg.edu.br.

INTRODUÇÃO

Os corantes sintéticos foram amplamente utilizados em muitos campos industriais se caracterizando como uma grande fonte de contaminação de recursos hídricos. (GEORGIN et al., 2019). A produção mundial de corantes sintéticos ultrapassa as 106 toneladas anuais, dos quais 15% desta quantidade, com dados do último ano são lançado como efluente nos ecossistemas aquáticos através especialmente de processos de tingimento (BULGARIU et al., 2019). Os efluentes cotaminados com corantes compostos em sua maioria por materiais químicos cancerígenos ameaçam gravemente o bem-estar dos todas as formas vivas . Vale ressaltar que a presença de corantes nos sistemas aquáticos restringe a oxigenação e a penetração da luz, o que inibe o processo fotossintético das plantas aquáticas. Em relação à estrutura molecular, os corantes orgânicos contém anéis aromáticos que indicam que o material possui alta estabilidade química e propriedades de persistência a processos de decomposição, o que implica em sua bioacumulação por longos períodos nas matrizes aquáticas receptoras (BA MOHAMMED, et al. 2020).

A indústria de fabricação de corantes representa um setor relativamente pequeno em relação as indústrias químicas em geral. No a produção mundial de corantes é de quase 800.000 toneladas por ano. Todavia, cerca de 10-15% dos corantes sintéticos são perdidos durante diferentes processos da indústria têxtil. Os corantes sintéticos são valiosos em inúmeras indústrias, como têxtil, impressão de papel, alimentos, farmacêutica, couro e cosméticos. Eles se subdividem em ácido, reativo, direto, básico, cuba, disperso, complexo metálico, mordente e corantes sulfurosos. (HASSAAN; EL NEMR, 2017). Geralmente, os corantes são classificados em duas principais grupos, como compostos orgânicos iônicos e não iônicos. Os corantes iônicos são divididos, como materiais catiônicos e reativos enquanto os corantes dispersos são considerados em uma categoria não iônica. Por isso, diferentes métodos foram propostos para a remoção de corantes em que a adsorção é a técnica aplicável por privilégios como simplicidade, alta eficiência, viabilidade de remover diferentes tipos de corantes e fácil aplicação (ARASI; SALEM; SALEM, 2021).

O grupo reativo de corantes é comumente preferido em indústrias têxteis devido a sua fixação, facilidade de uso, baixo custo e solidez da cor. No entanto, uma grande fração (>30% da concentração inicial de corante) desses corantes reativos são hidrolisados durante processos de tingimento e são descartados junto com os efluentes (JANAKI; KAMALAKANNAN, 2017).

A presença de corantes reativos em sistema aquático tem um impacto prejudicial sobre os organismos aquáticos e humanos. Alguns dos corantes reativos apresentam estrutura molecular complexa com anéis aromáticos que os tornam mais estáveis e não degradáveis (TSHIKOVHI; MISHRA; MISHRA, 2020; SENGUTTUVAN et al., 2022).

Para evitar tais problemas ambientais ligados às águas residuais contaminadas com corantes, é de suma importância e extremamente urgente remover esses compostos corantes tóxicos dos efluentes industriais antes de serem lançados nos corpos aquáticos por meio de uma estratégia de descontaminação de águas residuais (ZHOU et al., 2019). Desta forma, vários métodos de descontaminação de águas residuais, incluindo filtração por membrana, processos avançados de oxidação, coagulação-floculação, degradação enzimática e adsorção têm sido usados para o tratamento desses efluentes industriais. Entre eles, o processo de adsorção são amplamente empregado como uma opção alternativa (KATHERESAN; KANSEDO; LAU, 2018).

A adsorção pode ser entendida como uma operação unitária, que visa a transferência de massa de uma fase fluida para outra sólida a partir da habilidade de alguns sólidos em reter determinadas substâncias na superfície ocasionando um processo de separação dos componentes. É um processo que se beneficia de uma maior área superficial específica do adsorvente que é a molécula que realiza adsorção retendo do adsorbato que é adsorvido na superfície seja interna ou externa aos poros, ou seja, o adsorbato vai se concentrando na superfície da molécula adsorvente (RUTHVEN, 1984).

Nos últimos anos, a adsorção mostrou ser um processo muito eficaz na remoção de corantes das águas residuais que as indústrias empregam para reduzir poluentes orgânicos e inorgânicos presentes no efluente devido aos resultados de sua simplicidade, facilidade de operação, sustentabilidade financeira e acessibilidade a uma ampla variedade de adsorventes (MADAN et al., 2019). O valor de pH das soluções corantes desempenha um papel importante em todo o processo de adsorção e particularmente nas capacidades de adsorção do material (ZAWANI; LUQMAN; CHOONG, 2009).

O pH afeta a adsorção na medida em que determina o grau de distribuição das espécies químicas. A intensidade desse efeito pode ser maior ou menor conforme o adsorvente, uma vez que as cargas da superfície do adsorvente dependem da sua composição e das características da superfície. O adsorvente em solução aquosa pode adsorver íons OH^- ou H^+ . A carga superficial

de cada partícula dependerá do pH da solução. Assim, os grupamentos superficiais de cada sítio ativo do adsorvente podem dissociar ou associar prótons da solução, dependendo das propriedades do adsorvente e do pH da solução. Consequentemente, a superfície dos sítios ativos torna-se positivamente carregada quando se associa com os prótons provenientes da solução, sob condições ácidas, ou negativamente carregadas quando ocorre a perda de prótons para a solução, sob condições alcalinas (NASCIMENTO, 2014).

As zeólitas são materiais microporosos de aluminossilicato cristalino que têm sido amplamente utilizadas em importantes indústrias químicas e petroquímicas como adsorventes e catalisadores (AL-JUBOURI.; AL-BATTY; HOLMES, 2021). O método hidrotérmico é uma rota convencional para a síntese de zeólitas. As características físico-químicas das zeólitas são afetadas por uma grande número de variáveis como temperatura, pressão, composição, tempo de envelhecimento, alcalinidade, teor de água e relação Si/Al, (ALIZADEH ARASI.; SALEM; SALEM, 2020). A zeólita NaA tem um diâmetro de poro de 4 Å, que pode ser modificado para 3 ou 5 Å por troca iônica com soluções aquosas de sais de cálcio ou potássio (LOIOLA et al., 2012). A zeólita A é normalmente sintetizada na forma de Na⁺, possui uma estrutura de poros tridimensional cúbica. A estrutura cúbica da zeólita NaA desenvolve parâmetros de rede numericamente iguais ($a=b=c=24,61 \text{ \AA}$, grupo espacial $Fm-3c$) apresenta arranjos tridimensionais compostos por unidades tetraédricas de SiO₄ e AlO₄ na proporção 1:1 e é geralmente descrita em termos da unidade sodalita (BRECK, 1974).

METODOLOGIA

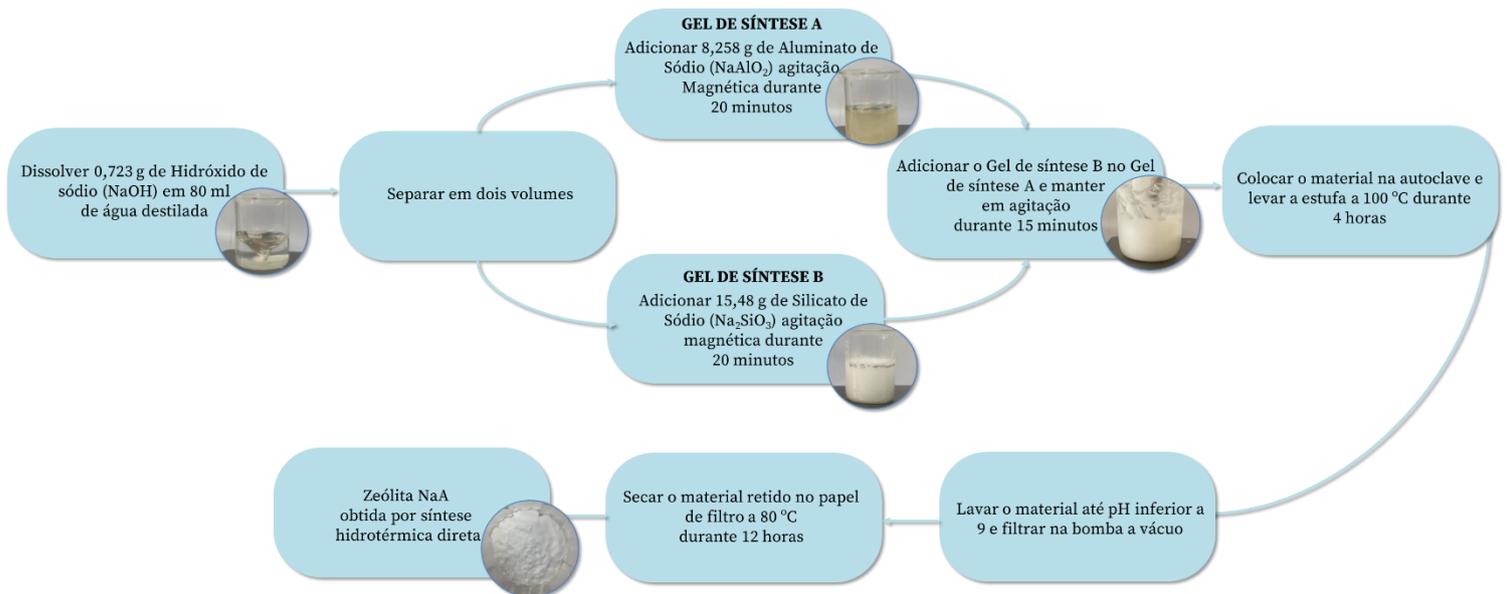
A metodologia deste trabalho foi desenvolvida no Laboratório de Desenvolvimentos de Novos Materiais – LABNOV pertencente a Unidade Acadêmica de Engenharia Química do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande.

Síntese da zeólita NaA – Método hidrotérmico direto

A síntese desse material foi do tipo hidrotérmico direto e está baseada na metodologia da International Zeolite Association (IZA). Foram dissolvidas 0,72 g de Hidróxido de Sódio (NaOH) em 80 mL de água destilada. Dividiu-se essa solução em dois volumes iguais em erlenmeyers etiquetados com gel de síntese A e gel de síntese B. Adicionar 8,26 g de Aluminato de Sódio (NaAlO₂) formando o gel de síntese A e 15,48 g de Silicato de Sódio (Na₂SiO₃) formando o gel de síntese B. Esses recipientes foram mantidos em agitação por 20 minutos, decorrido esse tempo adicionou-se a segunda mistura na primeira e manter sob agitação durante

15 minutos. O produto desse processo foi levado a autoclave e posto na estufa a 100 °C durante um período de 4 horas. Decorrido esse tempo e após esperar atingir a temperatura ambiente o material foi lavado até pH inferior a 9, filtrado e em seguida o retido no papel de filtro foi seco a 80 °C por um período de 12 horas. A Figura 1 representa o processo de síntese.

Figura 1 - Diagrama da síntese da zeólita NaA convencional.



Fonte: O Autor (2022)

Caracterização

O material obtido foi analisado por difração de raios X (DRX). Utilizou-se difratômetro da marca SHIMADZU modelo XRD-6000 com fonte de radiação de CuKalfa, voltagem de 40 KV e corrente de 30 mA. Os dados são coletados na faixa de 2θ de 3-50 graus com velocidade de goniômetro de 2° min^{-1} com um passo de 0,02 graus e tempo por passo de 0,60 segundos.

A composição da amostra foi analisada por meio da Fluorescência de raio-X (FRX) em um espectrômetro EDX-700 Shimadzu. A amostra analisada foi peneirada em peneira 200 mesh com abertura 0,075mm.

A amostra foi caracterizada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A micrografia da amostra foi obtida através de um microscópio eletrônico de varredura da marca TESCAN, modelo VEGA3.

Estudo da influência do pH

Nesse estudo foram utilizados erlenmeyers, previamente identificados com pH ajustado através das soluções de ácido clorídrico 3 mol.L^{-1} e hidróxido de sódio 1 mol.L^{-1} variando os valores de pH entre 1 e 14 cada amostra contendo 0,3 g de zeólita e 30 mL da solução de corante Amarelo Reativo BF-3R com concentração de 70 mg.L^{-1} . As condições experimentais são agitação, à temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, numa mesa agitadora, a 200 rpm durante 2 horas, após isso as amostras foram filtradas objetivando a retirada da matéria sólida e o filtrado levado à análise espectrofotométrica visível para avaliar a quantidade de corante removido por grama de zeólita.

A porcentagem de remoção e a capacidade de remoção de determinado poluente no tratamento é dada pelas Equações 1 e 2 (VON SPERLING, 2014), conforme apresentadas,

$$\%Rem = \frac{C_0 - C}{C_0} * 100 \quad (1)$$

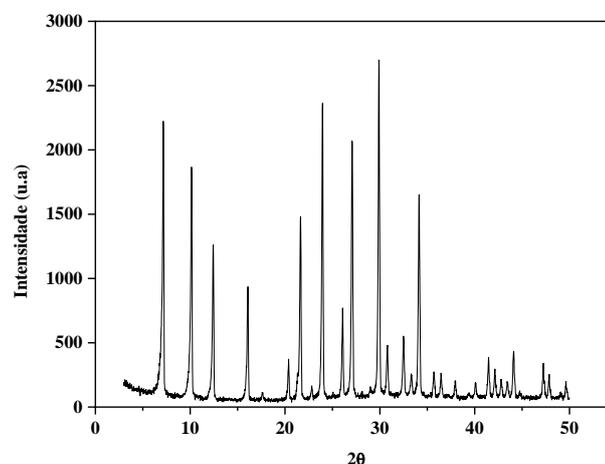
$$q_{eq} = \frac{V}{m} (C_0 - C) \quad (2)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da Zeólita NaA

Na Figura 2 está apresentado o difratograma da zeólita NaA.

Figura 2 - DRX da zeólita NaA.



Fonte: O Autor (2022)

Identifica-se que o material formado corresponde com a ficha padrão desse tipo de zeólita JCPDS 00-039-0222 que estão no intervalo de 2Θ de $7,2^\circ$; $10,2^\circ$; $12,5^\circ$; $16,1^\circ$; $21,6^\circ$; 24° ; $26,1^\circ$; $27,1^\circ$; $29,9^\circ$ e $34,2^\circ$ sendo um material cristalino e sem a presença de fase secundária com picos bem definidos na faixa de 2Θ . Essas características indicam uma alta pureza do material e estruturas características de aluminossilicatos, sem a presença de fases secundárias.

A Tabela 1 apresenta o resultado da análise química elementar por fluorescência de raios-X (FRX) da amostra obtida neste trabalho.

Tabela 1 - Teores de óxidos presentes na zeólita NaA.

Compostos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	SiO ₂ / Al ₂ O ₃	Na ₂ O/ SiO ₂
Quantidade (%)	42,89	38,41	18,90	1,1	0,43

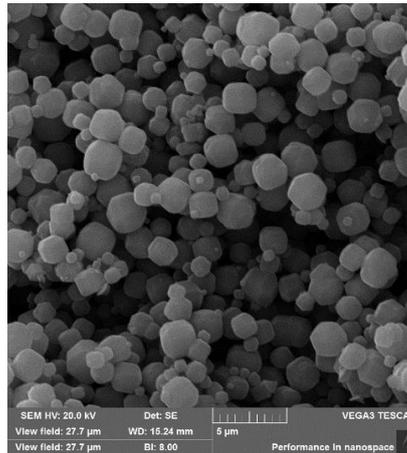
Fonte: O Autor (2022)

Com os resultados da análise pode-se concluir que o maior teor de óxido presente é referente ao Óxido de Silício (SiO₂) com 42,89 % e Óxido de Alumínio (Al₂O₃) representando 38,41 % da composição total do material. O que está de acordo com o esperado para a composição química desse tipo de material.

Por meio desses resultados calcula-se a razão SiO₂/Al₂O₃ do material resultando nesse caso em 1,11 que está dentro do padrão esperado para materiais zeolíticos do tipo NaA que deve ser próxima ou igual a 1,0. Como consequência, da relação SiO₂/ Al₂O₃ próxima a 1, elas apresentam o número máximo de cátions trocáveis que equilibra o alumínio na estrutura, compensando a carga, apresentando, assim um maior teor de cátions e maior capacidade de troca ((SHERMAN, 1983). A superfície delas é altamente seletiva para água, moléculas polares e polarizáveis, que servem como base para muitas aplicações das zeólitas (RAMESH; REDDY, 2011). O mesmo método comparativo foi feito para a razão Na₂O/ SiO₂ que se manteve próxima a 0,5 que é o esperado para esse material.

A Figura 3 apresenta a imagem obtida por Microscopia Eletrônica de Varredura.

Figura 3 - Imagem obtida por Microscopia Eletrônica de Varredura zeólita NaA.



Fonte: O Autor (2022)

É possível observar uma morfologia cristalina bem definida, caracterizada por cristais cúbicos e intercrescimento de cristais. A possível presença de íons contaminantes, nas fontes naturais, pode influenciar na nucleação e na cinética de cristalização, gerando cristais maiores. (MURIITHI.; PETRIK; DOUCET, 2020). A zeólita NaA mostrou um tamanho de partícula de 1,85 μm e uma forma multifacetada.

Estudo da influência do pH – BF-3R

A influência do pH na remoção do corante Amarelo reativo – BF-3R foi estudada com a zeólita NaA, utilizando sete soluções com valores de pH determinados inicialmente (1; 2; 3; 4; 5; 6; 7, respectivamente).

Tabela 2 - Análise da remoção e do corante Amarelo reativo – BF-3R com a zeólita NaA.

Ensaio	concentração (mg.L^{-1})	Remoção (%)	q_{eq} (mg.g^{-1})
solução inicial	70,00	---	---
1	38,75	44,65	3,13
2	46,39	33,73	2,36
3	65,93	5,81	4,07
4	66,56	4,91	3,44
5	66,91	4,41	3,09
6	67,24	3,94	2,76
7	68,96	1,49	1,04

Fonte: O Autor (2022)

O pH da solução é um fator que tem efeitos significativos nas propriedades do adsorvente e do adsorvato como pode-se observar na Tabela 2, observa-se que os valores de remoção (%) e q_{eq} ($mg.g^{-1}$) foram maiores para o ensaio realizado em pH igual a 1 com 44,65 % e $3,13 mg.g^{-1}$ respectivamente, se mantendo ainda alto em pH 2 com 33,73 % e $2,36 mg.g^{-1}$ quando começa então a ocorrer um decaimento, esse comportamento possibilita concluir que o pH é um fator que influencia no processo de adsorção. Em valores menores de pH o processo tem influência positiva, com o aumento do pH o potencial de adsorção do material diminui consideravelmente. Esse comportamento pode ser justificado ao analisar a natureza do corante reativo BF-3R que é do tipo aniônico, sendo assim a percentagem de remoção será maior em valores de pH menores que o ponto isoelétrico.

Esse processo pode ser atribuído às interações eletrostáticas entre o adsorvente carregado positivamente e os ânions do corante BF-3R carregados negativamente sendo assim, esses resultados confirmaram que o pH ótimo para a adsorção foi no valor de 1 (AHMAD e RAHMAN, 2011; MA et al., 2020).

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados obtidos neste trabalho e em outros trabalhos da literatura.

Tabela 3 - Comparação dos resultados deste trabalho e outros trabalhos da literatura.

Amostra	Condições experimentais do processo	Remoção (%)	q_{eq} ($mg.g^{-1}$)	Referência
Zeólita NaA	Sistema batelada	44,65	3,13	Este estudo
	$C_i = 70 mg/L$ $T = 25\ ^\circ C$; pH = 1 shaker (200 rpm)			
Zeólita NaY	Sistema batelada	83,01	3,30	BARROS, 2021
	$C_i = 50 mg/L$ $T = 25\ ^\circ C$; pH = 1 shaker (200 rpm)			

Fonte: O Autor (2022)

O valor da percentagem de remoção do corante reativo amarelo BF-3R para a zeólita NaY é superior a 83 %, enquanto o valor da percentagem de remoção do corante reativo utilizando a zeólita NaA foi superior a 44 %.

Ao comparar os resultados da zeólita NaY com a zeólita NaA, identifica-se que a eficiência da zeólita NaY foi superior. Como as condições experimentais dos ensaios de remoção do corante reativo para os adsorventes (NaY e NaA) foram iguais, então isto implica dizer que outros fatores estão atuando no processo de adsorção do corante pela zeólita. As duas zeólitas tem tamanhos de poros diferentes. Na zeólita NaY as aberturas de poros possuem anéis de oito membros, com diâmetros de 7,4 Å (BRECK, 1974), enquanto a zeólita NaA possui uma estrutura cúbica desenvolve parâmetros de rede numericamente iguais ($a=b=c=24,61$ Å, grupo espacial *Fm-3c*) apresenta arranjos tridimensionais compostos por unidades tetraédricas de SiO₄ e AlO₄ na proporção 1:1 e é geralmente descrita em termos da unidade sodalita (BRECK, 1974). Portanto, a molécula do corante reativo não consegue entrar nos poros das zeólitas e portanto, o processo ocorre na superfície e existe uma interação química entre o corante amarelo reativo e o adsorvente (zeólita NaY ou zeólita NaA).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados a partir da caracterização da zeólita NaA pode-se confirmar que o método de síntese selecionado, do tipo hidrotérmico direto permitiu a obtenção da zeólita NaA em sua forma pó com fase bem definida e livre de fases secundárias.

As maiores percentagens de remoção de corante Amarelo reativo BF-3R ocorreu em pH 1 e pH 2 da solução.

REFERÊNCIAS

AHMAD, M. A; RAHMAN, N. K. Equilibrium, kinetics and thermodynamic of Remazol Brilliant Orange 3R dye adsorption on coffee husk-based activated carbon. **Chemical Engineering Journal**, v. 170, p. 154-161, 2011.

ALIZADEH ARASI, M.; SALEM, A.; SALEM, S. Nano-porous hydrosodalite fabrication via hydrothermal modification of processed kaolin by boehmite: Aluminum source effect on physico-chemical characteristics of product. **Advanced Powder Technology**, v. 31, n. 6, p. 2379–2384, 2020.

AL-JUBOURI, S. M.; AL-BATTY, S. I.; HOLMES, S. M. Using the ash of common water reeds as a silica source for producing high purity ZSM-5 zeolite microspheres. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 316, p. 110953, 2021.

ARASI, M. A.; SALEM, A.; SALEM, S. Production of mesoporous and thermally stable silica powder from low grade kaolin based on eco-friendly template free route via acidification of appropriate zeolite compound for removal of cationic dye from wastewater. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 19, p. 100366, 2021.

BA MOHAMMED, B. et al. Fe-ZSM-5 zeolite for efficient removal of basic Fuchsin dye from aqueous solutions: Synthesis, characterization and adsorption process optimization using BBD-RSM modeling. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, n. 5, p. 104419, 2020.

BARROS, THIAGO RODRIGO BARBOSA. **Síntese de adsorventes NaY com fonte sustentável de sílica e modificação com surfactante destinados a remoção de corantes têxteis**. Tese (doutorado) – Curso de Engenharia Química. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2021.

BRECK, D. W. **Zeolite Molecular Sieves: Structure, Chemistry and Use**. 1^a ed. New York: John Wiley and Sons, 1974.

BULGARIU, L. et al. The utilization of leaf-based adsorbents for dyes removal: A review. **Journal of Molecular Liquids**, v. 276, p. 728–747, 2019.

GEORGIN, J. et al. Potential of Cedrella fissilis bark as an adsorbent for the removal of red 97 dye from aqueous effluents. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 19207–19219, 2019.

HASSAAN, M.; EL NEMR, A. Advanced Oxidation Processes for Textile Wastewater Treatment. **International Journal of Photochemistry and Photobiology**, v. 2, p. 85–93, 2017.

JANAKI, V.; KAMALAKANNAN, S. Synthesis and application of benzenesulfonic acid doped polyaniline nanorods for decolorization of simulated remazol effluent. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 36, p. 1383–1389, 2017.

KATHERESAN, V.; KANSEDO, J.; LAU, S. Y. Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 4, p. 4676–4697, 2018.

MA, TIAN; et al. Hydrolyzed polyacrylamide modified diatomite waste as a novel adsorbent for organic dye removal: Adsorption performance and mechanism studies. **Polyhedron Journal Pre-proofs**, v 175, p. 114227, 2020.

MADAN, S. et al. Adsorption dynamics of Congo red dye removal using ZnO functionalized high silica zeolitic particles. **Applied Surface Science**, v. 487, p. 907–917, 2019.

MURIITHI, G. N.; PETRIK, L. F.; DOUCET, F. J. Synthesis, characterisation and CO₂ adsorption potential of NaA and NaX zeolites and hydrotalcite obtained from the same coal fly ash. **Journal of CO₂ Utilization**, v. 36, p. 220–230, 2020.

NASCIMENTO, R. F. et al. Adsorção: Aspecto teóricos e aplicações ambientais. p. 258 Fortaleza, Universidade Federal do Ceará: **Imprensa universitária**, 2014.

RAMESH, K.; REDDY, D. D. Chapter Four - Zeolites and Their Potential Uses in Agriculture. In: SPARKS, D. L. **Advances in Agronomy**. Advances in Agronomy. Academic Press, v. 113 p. 219–241, 2011.

RUTHVEN, D. M., **Principles of adsorption and adsorption processes**, John Wiley & Sons, 1984.

SENGUTTUVAN, S. et al. Polypyrrole/zeolite composite – A nanoadsorbent for reactive dyes removal from synthetic solution. **Chemosphere**, v. 287, p. 132164, 2022.

SHERMAN, J.D. Ion exchange separations with molecular sieve zeolites. **Zeolites Science Technology**, v. 80, p. 583–623, 1983.

TSHIKOVHI, A.; MISHRA, S. B.; MISHRA, A. K. Nanocellulose-based composites for the removal of contaminants from wastewater. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 152, p. 616–632, 2020.

ZAWANI, Z.; LUQMAN CHUAH, A.; CHOONG, T. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies: Adsorption of removal black 5 on the palm kernel shell activated carbon (PKS-AC). **European Journal of Scientific Research**, v. 37, p. 63–71, 2009.

ZHOU, Y. et al. Recent advances for dyes removal using novel adsorbents: A review. **Environmental Pollution**, v. 252, p. 352–365, 2019.