

SÍNTESE DA ZÉOLITA ZSM-5 PARA SER UTILIZADA COMO ADSORVENTE NA REMOÇÃO DO CORANTE REATIVO BF-3R: INFLUÊNCIA DO pH

Leonardo Romero de Brito Silva¹
Tellys Lins Almeida Barbosa²
João Utemberg Lucas Bezerra³
Meiry Gláucia Freire Rodrigues⁴

RESUMO

Neste trabalho, o objetivo foi preparar a zeólita ZSM-5 e utilizar como adsorvente na remoção do corante reativo amarelo BF-3R. A zeólita foi sintetizada por tratamento hidrotérmico e caracterizada por difração de raios X, sendo possível calcular os parâmetros e o volume da célula unitária com uso do difratograma obtido. O adsorvente foi utilizado na remoção do corante reativo amarelo BF-3R em solução aquosa em sistema batelada com mudanças de pH, com o intuito de verificar a sua influência nesse processo. A zeólita foi obtida com sucesso, evidenciada por DRX. Os resultados mostram que a maior percentagem de remoção e capacidade de remoção se encontram no ensaio em que o pH foi igual a 1. Dessa forma, conclui-se que o pH é um fator que interfere consideravelmente no resultado da remoção do corante reativo BF-3R com uso da zeólita ZSM-5 como adsorvente, pois apresentou uma percentagem de remoção que varia de 70,78 % (pH = 1) a 9,37 % (pH = 7).

Palavras-chave: Zeólita ZSM-5, adsorção, banho finito, corante reativo, pH.

INTRODUÇÃO

A indústria têxtil utiliza grandes quantidades de água nos seus processos e é, assim, um dos maiores produtores de resíduos líquidos industriais (RLI) (ANJANEYULU, et al., 2005). Este resíduo é caracterizado por um alto conteúdo de poluentes, como material orgânico e inorgânico, metais pesados e corantes (VERMA et al., 2012). São utilizados mais de 3.600 corantes e 8.000 substâncias químicas diferentes são relatadas na literatura (HUSSAIN, 2018). De acordo com as estimativas disponíveis na literatura, aproximadamente 280.000 toneladas de corantes têxteis são descartados anualmente em todo o mundo e requerem processos de tratamento (ASGHAR, 2015). É observado que alguns corantes são

¹Graduando em Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, leoromero1998@gmail.com;

²Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, tellyslins@hotmail.com;

³Graduado em Química Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, joaoutemberg.lbezerra@gmail.com;

⁴Professora orientadora: Doutora, titular, da Unidade Academia de Engenharia Química – UFCG, meirygfr@hotmail.com.

altamente tóxicos, mutagênicos, carcinogênicos, diminuem a penetração da luz e a atividade fotossintética, causando deficiência de oxigênio e limitando a disponibilidade de água potável e prática da irrigação. Como resultado, a remoção de corantes das águas residuais tem recebido considerável atenção nas últimas décadas para diminuir seu impacto no meio ambiente (UL-ILSAM, 2019).

Na literatura, vários métodos físicos, químicos e biológicos foram desenvolvidos para remover os corantes das águas residuais da indústria têxtil (MORIN-CRINI, 2017). Embora os métodos químicos e biológicos sejam eficazes na remoção de corantes, eles exigem equipamentos específicos e consomem muita energia; além disso, geram grandes volumes de subprodutos que ocasionam um problema de descarte seguro (RANADE, 2014). Devido aos altos custos e problemas de descarte, outro método alternativo também foi sugerido na literatura, como a adsorção. O processo de adsorção é considerado eficiente e promissor para tratar os corantes que contêm águas residuais da indústria têxtil (ABIDI, 2015).

Os corantes podem ser classificados de acordo com a estrutura química, cor, aplicação e carga de partículas em solução. Normalmente, podemos dividir corantes em corantes naturais e corantes sintéticos. Corantes naturais geralmente extraídos de animais e minerais. No entanto, como a melhoria das atividades industriais, corantes naturais não conseguiram atender às necessidades da demanda das pessoas. Por conseguinte, os corantes sintéticos são desenvolvidos e substituíram os corantes naturais gradualmente, particularmente nos tecidos e nas indústrias têxteis. Normalmente, corantes sintéticos, incluindo corantes iônicos e corantes não-iônicos. Os corantes iônicos são ainda classificados em corantes catiônicos e corantes aniônicos (corantes ácidos, reativos e diretos) e corantes não iônicos em tintas e corantes dispersos. Além da categorização acima, os corantes classificados por estrutura química também são muito comuns, incluindo os corantes azo, antraquinona, indigóide, nitroso, nitro e triacrimetano (NGULUBE, et al., 2017; YAGUB et al., 2014).

Os corantes reativos bifuncionais, compostos por sistema de cromóforos, ligados a dois sistemas reativos: um grupamento vinil sulfona e outro grupamento cloro triazina, são extensivamente utilizados para o tingimento de têxteis, devido a sua grande variedade de tonalidades de cores, simplicidade de aplicação, cores brilhantes e consumo mínimo de energia. Consequentemente, é de se esperar que os corantes azóicos reativos constituam a grande maioria dos corantes descartados das indústrias de transformação (JEMAL, 2015).

Nosso grupo tem desenvolvido diversos estudos utilizando adsorventes (peneiras moleculares, argilas) para serem utilizados no tratamento de efluentes contendo corantes

reativos (LIMA et al., 2014; LIMA et al., 2014; LIMA et al., 2015; ROCHA et al., 2015; ROCHA et al., 2016; SOUSA et al., 2016; BARBOSA et al., 2016; LIMA et al., 2016; LIMA et al., 2016; BARBOSA et al., 2017; ALVES et al., 2017; ALVES et al., 2017; ARAÚJO et al., 2017; SILVA et al., 2017; SILVA et al., 2019; SILVA et al., 2019).

Este estudo tem como objetivo sintetizar a zeólita ZSM-5 e analisar a capacidade de adsorção desta zeólita na remoção do corante amareloreativo em valores diferentes de pH do meio reacional em sistema de banho finito.

METODOLOGIA

Síntese da zeólita ZSM-5

A síntese da zeólita ZSM-5 foi realizada com base na patente número 8506248 registrada por Lau (LAU, 1987). Assim, os reagentes utilizados foram: Sílica aerosil 380 (SiO_2 , Evonik), aluminato de sódio (NaAlO_2 , Riedel-deHaen), hidróxido de sódio (NaOH 97%, Dinâmica química contemporânea Ltda), brometo de tetrapropilamônio - TPABr ($\text{C}_{12}\text{H}_{28}\text{NBr}$, Aldrich Chemical Company, Inc.), álcool etílico ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ 95%, Neon), água destilada e ácido sulfúrico (H_2SO_4 95%, Dinâmica química contemporânea Ltda).

Em um becker de teflon foi preparada uma solução contendo água destilada e hidróxido de sódio. Posteriormente, foram adicionados H_2O e TPABr. Após homogeneização completa com uso de um agitador mecânico, álcool etílico são adicionados lentamente em forma de gotas. Em seguida, é acrescentado gradualmente sílica aerosil 380. Essa mistura reacional foi colocada sob agitação durante 30 minutos, e após o término desse tempo foi acrescentado gotas de ácido sulfúrico com o intuito de ajustar o pH da solução para 11.

Dando prosseguimento a síntese, a mistura reacional foi colocada em um cadinho de teflon de 80 mL, ocupando 70% da capacidade, que foi inserido em uma autoclave de aço inoxidável. Esse conjunto foi conduzido a uma estufa a $150\text{ }^\circ\text{C}$ por um período de 72 horas.

Após o período de tratamento hidrotérmico, o sólido foi lavado com água destilada, até atingir o pH 7, e levada ao processo de secagem. Esse sólido foi denominado ZSM-5 convencional.

Caracterização

A difração de raio x foi realizada utilizando um difratômetro Shimadzu XRD-6000 com radiação $\text{CuK}\alpha$, tensão de 40 KV, corrente de 30 mA, tamanho do passo de 0,020 e tempo por

passo de 0,60 segundos, com velocidade de varredura de 2° por minuto, com ângulo 2θ variando de acordo com a amostra aplicando o método do pó.

Para determinar os parâmetros (a, b e c) e o volume da célula unitária são aplicadas as equações (A) e (B).

$$\frac{1}{d^2_{hkl}} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (A)$$

$$V = a \times b \times c \quad (B)$$

Em que: dhkl é a distância entre os planos de índice (hkl); (hkl): índices do plano cristalográfico ou índices de Miller; (a, b, c): parâmetros de rede ou parâmetros cristalográficos; V: o volume de célula unitária.

Teste de adsorção do corante

Para avaliar o potencial da zeólita ZSM-5 convencional na remoção do corante reativo amarelo BF-3R, foram realizados ensaios de banho finito, com solução do corante a 50 mg.L⁻¹ e diferentes valores de pH (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13).

Os testes de adsorção iniciaram-se com a construção da curva de calibração do corante reativo BF-FR, utilizando diferentes concentrações. O gráfico de absorvância - concentração foi representado, permitindo o cálculo do coeficiente de absorvância de acordo com a Lei Lambert-Beer, por ajuste linear. Este coeficiente resultou em 69,9704 mg mL⁻¹ cm⁻¹ com um valor de R² de 0,998395. O comprimento de onda utilizado foi de 427 nm. Ao final, as amostras foram centrifugadas para obtenção das curvas de concentração do corante reativo BF-3R em função do tempo de remoção. Foi utilizado um espectrofotômetro UV-1600 Pró-Análise, obtendo os resultados que se encontram na Tabela 1.

Tabela 1. Curva de calibração corante reativo BF-3R

Absorvância	Concentração (mg/L)
0,0000	0,000
0,2232	10,000
0,2991	20,000
0,4338	30,000
0,5964	40,000
0,7029	50,000
0,8557	60,000
1,1169	80,000
1,4295	100,000

Nos ensaios foram utilizados erlenmeyers, previamente identificados com a massa e o tempo, mantendo constante o volume de 50 ml da solução de corante com concentração de 50 mg.L⁻¹, como demonstrado na Figura 1. As amostras foram mantidas sob agitação, à temperatura de 25 °C, em um shaker TE-420 da Tecnal, a 200 rpm durante 2 horas de acordo com sua identificação, como é verificado na Figura 2.



Figura 1. Erlenmeyers identificados

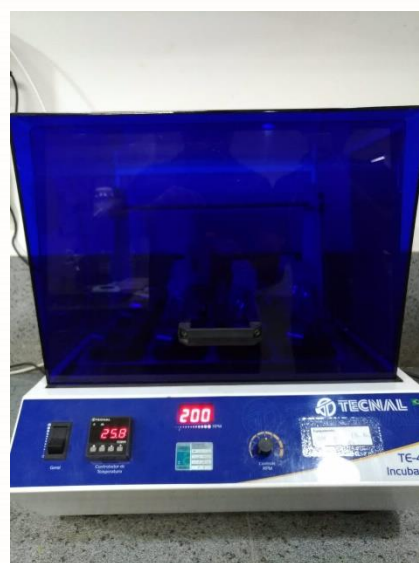


Figura 2. Ensaios de banho infinito

A partir dos dados obtidos nos ensaios de banho finito foi possível realizar a análise dos resultados de percentagem de remoção (%Rem) e capacidade de remoção (q_{eq}), utilizando as equações (C) e (D).

$$\%Rem = \left(\frac{C_i - C}{C_i} \right) * 100 \quad (C) \qquad q_{eq} = \frac{V}{m} (C_i - C) \quad (D)$$

Em que: % Rem: percentagem de remoção; q_{eq} : capacidade de remoção (mg de corante/g do adsorvente); V : volume de solução (L); m: massa de adsorvente (g); C_i : concentração inicial (mg.L⁻¹); C: concentração final (mg.L⁻¹).

DESENVOLVIMENTO

Materiais porosos podem ser geralmente definidos como redes sólidas contínuas com vazios que podem ser ocupados com um fluido (CHEMISTRY, 2001). A adsorção é a principal característica dos materiais porosos e a capacidade de adsorção é um método convencional de caracterização. Assim, os poros devem ser capazes de absorver um fluido (líquido ou gasoso). Os adsorventes com melhor desempenho para grandes moléculas (por exemplo, corantes orgânicos) e portadores de multifuncionalidade (por exemplo, separação magnética e peneiramento) tornaram-se um objeto contínuo de pesquisa e aplicação prática (WU, 2011). O direcionador de estrutura, frequentemente chamado de “template”, é geralmente usado para direcionar a formação e estabilizar a estrutura das zeólitas (MINTOVA, 2013). Como ADE, pode ser empregado o cátion tetrapropilamônio, seja na forma de seu hidróxido (TPAOH) ou na forma de um sal, preferencialmente o brometo (TPABr), ou uma mistura de sal e hidróxido (ANTHONIS, 2001). Há muito se aceita que o uso de um ADE é crucial para a formação da estrutura zeólita ZSM-5. Além disso, a taxa de crescimento do cristal da zeólita é influenciada pela presença dos cátions contidos nos moldes orgânicos (WIDAYAT, 2017). Os ADEs que são utilizados num método convencional para a síntese ZSM-5 são principalmente TPAOH e TPABr.

O pH da solução é um dos fatores mais importantes, que influenciam o comportamento de adsorção. A variação no pH pode influenciar a carga superficial e o grau de ionização dos adsorventes (NANDI et al., 2009). Geralmente, em pH baixo, a eficiência de remoção do corante catiônico diminuirá, enquanto a porcentagem de remoção dos corantes aniônicos aumentará. O ponto de carga zero (pHpzc) é um parâmetro essencial para a compreensão do mecanismo e a favorabilidade do processo de adsorção. O valor de pHpzc indica o tipo de locais ativos e a capacidade de adsorção de adsorventes. Quando $pH > pHpzc$, é favorável à adsorção de corante catiônico devido à existência de grupos funcionais como OH-, COO-. Considerando que a adsorção do corante aniônico é favorável em $pH < pHpzc$ porque as superfícies dos adsorventes tornam-se positivamente carregadas (SAVONA et al., 2003).

As zeólitas são um tipo especial de materiais cristalinos de aluminossilicato microporosos com arranjo de rede 3D construído por unidades TO_4 tetraédricas (T = Si, Al) com dimensões moleculares e a presença de cavidades e canais. As zeólitas são usadas em muitas indústrias petroquímicas, em isomerizações, craqueamento e reações de alquilação, devido às suas propriedades superiores, como durabilidade hidrotérmica, elevada área superficial, forte acidez e seletividade de forma (BRECK, 1974). A presença dos microporos

na estrutura das zeólitas e seus efeitos seletivos de tamanho / forma fazem deles um excelente catalisador heterogêneo (NA, 2015).

As zeólitas possuem carga estrutural negativa resultante da substituição isomórfica de cátions na estrutura cristalina e são hidrofílicas. Possuem, portanto, alta capacidade de troca catiônica e baixa afinidade por espécies aniônicas e compostos orgânicos (GIANNETTO, 1999). A ZSM-5 é classificada na família do tipo MFI, sendo ilustrada na Figura 3.

A zeólita ZSM-5 (do inglês, Zeolite Socony Mobil, sendo “5” a abertura dos poros da zeólita, em angström) faz parte da família pentasil. Caracteriza-se por um alto teor de silício ($\text{Si/Al} > 15$). Na estrutura há um sistema com dois tipos de canais elípticos que se entrecruzam, um dos quais é retilíneo (abertura de $5,1 \times 5,7 \text{ \AA}$) e o outro sinuoso (abertura de $5,4 \times 5,6 \text{ \AA}$) (FOLETTTO, 2000), como apresentado na Figura 4.

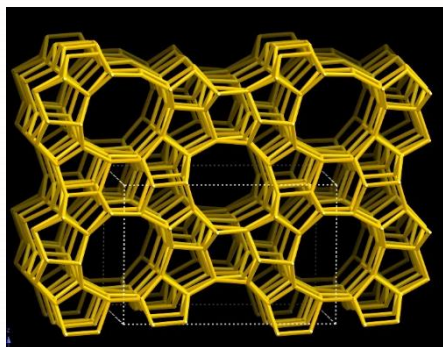


Figura 3. Estrutura MFI.

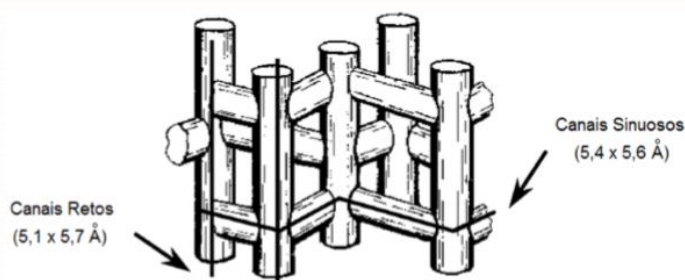


Figura 4. Sistema de poros da zeólita ZSM-5.

A preparação de zeólitas ZSM-5 necessita de soluções alcalinas de NaOH, fonte de sílica e alumina, frequentemente adicionando estruturas orgânicas (agentes direcionadores de estrutura, ADE) cruciais para sintetizar zeólitas com a estrutura desejada (JESUDOSS, et al., .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 5 está apresentado o difratograma da zeólita ZSM-5 sintetizada.

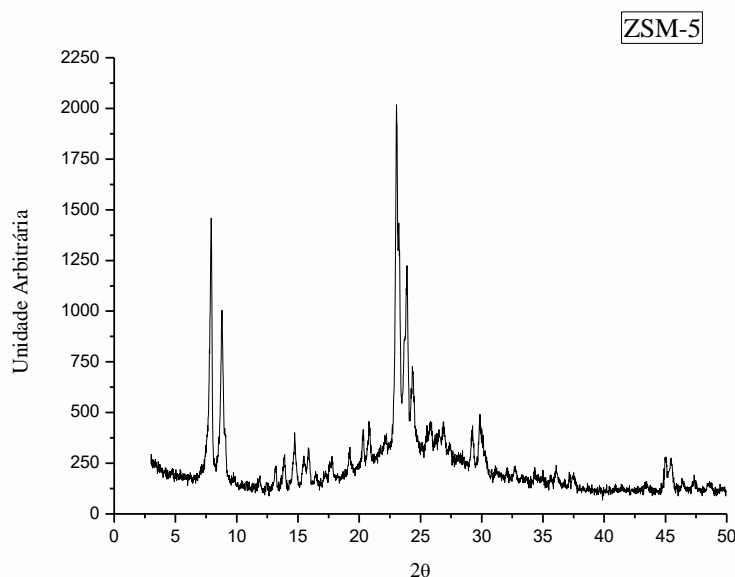


Figura 5. Difratoograma da zeólita ZSM-5

Observando o difratograma da Figura 5 identifica-se a presença de cinco picos bem definidos. Um duplete, que se localiza em 2θ igual a $7,92^\circ$ e $8,80^\circ$, e um triplete em 2θ igual a $23,04^\circ$, $23,90^\circ$ e $24,34^\circ$, muito próximos aos picos característicos da zeólita ZSM-5 conforme dados disponíveis no IZA, *International Zeolite Association*.

Na Tabela 2 estão apresentados os parâmetros a, b, c e o volume da célula unitária, calculados a partir das equações (A) e (B).

Tabela 2. Parâmetros da célula unitária

	a (Å)	b (Å)	c (Å)	V (Å ³)
ZSM-5 (IZA)	20,0900	19,7380	13,1420	5211,3
ZSM-5 sintetizada	20,1213	20,0804	13,4018	5414,9
Desvio (%)	0,1558	1,7051	1,9769	3,9

Dessa forma, verifica-se que os parâmetros da célula unitária para a ZSM-5 sintetizada são bem próximos aos fornecidos na literatura, evidenciando que os resultados esperados para esta síntese foram alcançados.

Os resultados obtidos a partir dos ensaios de banho finito, com uso das equações (C) e (D) para a determinação das percentagens de remoção e capacidade de remoção, estão apresentados na Tabela 3 e foram registrados na Figura 6.

Tabela 3. Resultados da remoção do corante amarelo BF-3R utilizando a zeólita ZSM-5 como adsorvente.

pH	Absorbância	Concentração (mg/L)	Rem (%)	q_{eq} (mg/g)
Inicial	0,6388	44,700	-	-
1	0,1866	13,060	70,78	3,164
3	0,5277	36,920	17,40	0,778
5	0,5701	39,890	10,76	0,481
7	0,5789	40,510	9,37	0,419
9	0,5656	39,580	11,45	0,512
11	0,5426	37,970	15,05	0,673
13	0,5217	36,500	18,34	0,820



Figura 6. Visualização dos resultados do filtrado após a remoção do corante reativo BF-3R utilizando a zeólita ZSM-5 como adsorvente.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 3, identifica-se que os valores de percentagem de remoção (% Rem) e q_{eq} foram significativamente maiores para o ensaio realizado em pH igual a 1. Como as outras condições experimentais foram as mesmas (temperatura de 25 °C, massa do adsorvente igual a 0,5 g, tempo de agitação de 2 horas e 50 ml do corante reativo), conclui-se que o pH é um fator que influencia no processo de adsorção. Esse comportamento pode ser justificado a partir do ponto isoelétrico do adsorvente (zeólita ZSM-5), que segundo Rac (RAC, et al. 2018) esse valor está no intervalo de 3,045 e 3,055. Em virtude do corante reativo BF-3R ser aniônico, a percentagem de remoção será maior em valores de pH menores que o ponto isoelétrico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado no resultado obtido por difração de raios X pode-se concluir que a amostra sintetizada apresenta picos característicos da estrutura da zeólita ZSM-5 e picos bem definidos, com parâmetros de célula bem próximos aos fornecidos na literatura.

No processo de remoção do corante reativo amarelo constatou-se que zeólita ZSM-5 sintetizada apresentou grande potencial como adsorvente quando o banho finito foi realizado com valor de pH igual a 1, podendo ser considerado um excelente adsorvente nessa condição.

Dessa forma, conclui-se que o pH é um fator que interfere consideravelmente no resultado da remoção do corante reativo BF-3R com uso da zeólita ZSM-5, pois apresentou uma percentagem de remoção que varia de 9,37 % a 70,78 %.

REFERÊNCIAS

ABIDI, N.; ERRAIS, E.; DUPLAY, J.; BEREZ, A.; JRAD, A.; SCHAFER, A.; GHANZI, M.; SEMHI, K.; TRABELSIAVADI, M. **Treatment of dye-containing effluent by natural clay**. Journal of Cleaner Production, v. 86, p. 432-440, 2015.

ANJANEYULU, Y.; CHARY, N.S.; RAI, D.S.S. **Decolourization of industrial effluents available methods and emerging technologies-a review**. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, v. 4, n. 4, p. 245-273, 2005.

ANTHONIS, M.H.; BONS, A.J.; VERDUIJN, J.P. **Molecular sieves and process for their manufacture**, United States patent US 6,090,289, 2001.

ASGHAR, A.; ABDUL RAMAN, A.A.; DAUD WAN, W.M.A. **Advanced oxidation processes for in-situ production of hydrogen peroxide/hydroxyl radical for textile wastewater treatment: a review**. Journal of Cleaner Production, v. 87, p. 826-838, 2015.

BRECK, D.W. **Zeolite Molecular Sieves: Structure, Chemistry and Use**, John Wiley & Sons, New York, London, Sydney, Toronto, p. 1-771, 1974.

CHEMISTRY, S. Pure and Applied Chemistry, v. 51, p. 1213-1218, 2001.

FOLETTTO, E.L.; KUHNEN, N.C.; JOSÉ, H.J. **Síntese da zeólita ZSM-5 e suas propriedades estruturais após troca iônica com cobre**. Cerâmica, v. 46, n. 300, p. 210-213, 2000.

GIANNETTO, G.P. **Zeolitas – características, propiedades y aplicaciones industriales**, Caracas, Editorial Inovación Tecnológica, 1999.

HUSSAIN, T.; WAHAB, A. **A critical review of the current water conservation practices in textile wet processing**. Journal of Cleaner Production, v. 198, p. 806-819, 2018.

JEMAL, N. University in Partial Fulfillment of the Degree of Master of Science in Environmental Engineering. (Doctoral dissertation). Addis Ababa University, 2015.

JESUDOSS, S.K.; JUDITH VIJAYAL, J.; KAVIYARASU, K.; IYYAPPA RAJAN, P.; NARAYANAN, S.; JOHN KENNEDY, L. **In-vitro anti-cancer activity of organic template-free hierarchical M (Cu, Ni)-modified ZSM-5 zeolites synthesized using silica source waste material.** Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, v. 186, p. 178-188, 2018.

L. Y. Lau, BR PI 8506248 (1987).

LIMA, F. S.; BARBOSA, A. S., RODRIGUES, M. G. F.. Tratamento de efluentes (corante reativo azul BF-5G) utilizando argila Brasgel como adsorvente. **Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências.** (2016).

LIMA, F. S.; ROCHA, L. N., BARBOSA, A. S., RODRIGUES, M. G. F.. estudo da capacidade de remoção do corante reativo vermelho BF-4B em argila Vermelha e Brasgel. **Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências.** (2016).

LIMA, L. A., MOTA, M. F., MENEZES, V. M. R., RODRIGUES, M. G. F. Síntese da peneira molecular MCM-41 e sua utilização como adsorvente na remoção do corante azul reativo BF-5G. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, 2014, Florianópolis.

LIMA, L. A., PAULA, G. M., RODRIGUES, M.G.F., **Síntese da peneira molecular SBA-15 e sua utilização como adsorvente na remoção de corantes**, XXIV Congresso Iberoamericano de Catálisis, Mendellin, Colômbia, 2014.

MALL, I. D; SRIVASTAVA, V. C.; AGARWAL, N. K. **Removal of orange – G and methyl violet by adsorption onto bagasse fly ash- kinetic study equilibrium isotherm analyses.** Dyes Pigm, 69, 210 – 223, 2006.

MINTOVA, S.; GILSON, J.P.; VALTCHEV, V. Nanoscale, v. 5, p. 6693-6703, 2013.

MORIN-CRINI, N.; WINTERON, P.; FOURMENTIN, S.; WILSON, L.D.; FENYYESI, É.; CRINI, G. **Water-insoluble β -cyclodextrin-epichlorohydrin polymers for removal of pollutants from aqueous solutions by sorption processes using batch studies: a review of inclusion mechanisms.** Progress in Polymer Science, v. 78, p. 1-23, 2017.

NA, K.; SOMORJAI, G.A. **Hierarchically nanoporous zeolites and their heterogeneous catalysis: Current status and future perspectives.** Catalysis Letters, v. 145, p. 193-213, 2015.

NANDI, B.K.; GOSWAMI, A.; PURKAIT, M.K. **Removal of cationic dyes from aqueous solutions by kaolin: Kinetic and equilibrium studies.** Applied Clay Science, v. 42, p. 583-590, 2009.

NGULUBE, T.; GUMBO, J.R.; MASINDI, V.; MAITY, A. **An update on synthetic dyes adsorption onto clay based minerals: A state-of-art review.** Journal of Environmental Economics and Management, v. 191, p. 35-37, 2017.

RAC, V.; RAKIC, V.; STOSIC, D.; PAYLOVIC, V.; BOSNAR, S.; AUROUX, A. **Enhanced accessibility of active sites in hierarchical ZSM-5 zeolite for removal of pharmaceutically active substances: adsorption and microcalorimetric study.** Arabian Journal of Chemistry, p. 1-25, 2018.

RANADE, V.V.; BHANDARI, V.M. **Industrial wastewater treatment, recycling and reuse: an overview.** Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse, p. 1-80, 2014.

SAVOVA, D.; PETROV, N.; YARDIM, M.F.; EKINCI, E.; BUDINOVA, T.; RAZYIGOROVA, M.; MINKOVA, V. **The influence of the texture and surface properties of carbono adsorbents obtained from biomass products on the adsorption of manganese ions from aqueous solution.** Carbon, v. 41, p. 1897-1903, 2003.

SHAO, C.; KIM, H.Y.; LI, X.; PARK, S.J.; LEE, D.R. **Synthesis of high-silica-content mordenite with different SiO₂/Al₂O₃ ratios by using benzene-1,2-diol as additives.** Materials Letters, v. 56, p. 24-29, 2002.

SILVA, F. M. N.; ALVES, A. C.; LIMA, E. G.; RODRIGUES, M. G.F. influencia do pH na adsorção do corante vermelho reativo BF-4B utilizando a zeólita Mordenita. **II Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências, Campina Grande, 2017.**

UL-ILSAM, S.; BUTOLA, S. **The Impact and Prospects of Green Chemistry for Textile Technology.** The Textile Institute Book Series. Delhi, 2019.

VERMA, A.K.; DASH, R.R.; BHUNIA, P. **A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters.** Journal of environmental management, v. 93, n. 1, p. 154-168, 2012.

WIDAYAT, W.; ANNISA, A.N. AIP Conference Proceedings, AIP Publishing, 1904 (2017) 020061

WU, Z.; ZHAO, D. Chemical Communications, v. 47, p. 3332-3338, 2011.

YAGUB, M.T.; SEM, T.K.; AFROZE, S.; ANG, H.M. **Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review.** Advances in Colloid and Interface Science, v. 209, p. 172-184, 2014.