

ÁREA TEMÁTICA: Gestão ambiental

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ADSORTIVA DO CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO A PARTIR DA CASCA DA CASTANHA DO PARÁ

Ellem de França Lima¹ (ellemfranca@hotmail.com), Alice Lima Aguiar¹ (srtaguiar.aa@gmail.com),
Michele Di Domenico² (micheled@utfpr.edu.br), Suélen Maria de Amorim³
(amorim_sm@yahoo.com.br), Daniel Moreira Saturnino¹ (daniel.saturnino@unifesspa.edu.br),
Luciane Batistella¹ (luciane.batistella@unifesspa.edu.br)

¹ Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará – UNIFESSPA

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR

³ Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

RESUMO

O presente trabalho propõe a utilização de casca de castanha do Pará, um resíduo gerado no beneficiamento das castanhas da castanheira-do-pará (*Bertholletia excelsa* H.B.K) para produção de carvão ativado visando sua aplicação na adsorção do corante têxtil azul de metileno, como um método alternativo de tratamento de efluentes. O carvão ativado de casca de castanha foi obtido com diferentes razões de impregnação de $ZnCl_2$ e temperaturas entre 400-600°C. O melhor carvão ativado foi produzido ao aplicar a taxa de impregnação de 2,0 e a temperatura de carbonização a 600 °C, onde foi removido 90% da concentração do corante. Os valores dos coeficientes de correlação (R^2) indicaram que o modelo cinético de pseudo-segunda ordem se ajustou melhor aos dados experimentais. Os resultados das isotermas de adsorção foram ajustados aos modelos de Langmuir e Freundlich, sendo que o Langmuir apresentou melhor ajuste aos dados. O resultado comparativo entre o carvão ativado de casca de castanha e o carvão ativado comercial indicou remoções de corante de 94% e 92%, respectivamente. Os resultados mostraram que a casca de castanha do Pará pode constituir uma alternativa sustentável de baixo custo na remoção eficiente de corantes de efluentes têxteis.

Palavras-chave: Adsorção; Carvão ativado; Casca de castanha do Pará.

EVALUATION OF THE ADSORPTIVE CAPACITY OF ACTIVATED CARBON PRODUCED WITH BARK OF PARÁ NUT

ABSTRACT

The present work proposes the use of bark nut of Pará, a residue generated from the beneficiation of Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H.B.K) for the production of activated carbon aiming its application in the adsorption of the textile dye of methylene blue, as an alternative method of effluent treatment. The activated carbon of bark Pará nut was obtained with different $ZnCl_2$ impregnation ratios and temperatures from 400-600 °C. The best activated carbon was produced with an impregnation ratio of 2.0 and a carbonization temperature of 600 °C, where 90% of the dye concentration was removed. The values of the correlation coefficients (R^2) indicated that the adsorption kinetic model of pseudo-second order presented the best fitting to the experimental data. The results of the adsorption isotherms were fitted to the Langmuir and Freundlich models, and the Langmuir presented the best fitting to the data. The comparative result between the activated carbon of bark Pará nut and the commercial activated carbon indicated dye removals of 94% and 92%, respectively. The results showed the bark nut of Pará may constitute a sustainable alternative of low cost in the efficient removal of dyes from textile effluents.

Keywords: Adsorption; Activated carbon; Bark nut of Pará.

1. INTRODUÇÃO

As frutas nativas da Amazônia Brasileira estão ganhando importância no mercado nacional e internacional. Segundo dados do IBGE (2019) no ano de 2018 foram produzidas 34.170 toneladas de castanha do Pará, semente da castanheira-do-pará (*Bertholletia excelsa* H.B.K). A atividade de beneficiamento da castanha gera como resíduos o ouriço, e casca de castanha principalmente. O ouriço é deixado na floresta servindo como adubação, sendo enviada para o beneficiamento somente as castanhas. Por sua vez, do total de castanhas beneficiadas aproximadamente 60% correspondem a resíduos na forma de cascas (HOMMA; MENEZES, 2008).

Segundo a Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2012), que institui a respeito da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), os caroços e cascas são considerados como resíduos de atividade comercial, portanto a responsabilidade para a coleta e destinação é de seu gerador. Estes resíduos geralmente são descartados no meio ambiente de maneira inadequada, causando transtornos ambientais e sanitários devido ao grande volume gerado. A principal forma de disposição do resíduo é a adubação agrícola, no entanto, estas aplicações estão aquém das possibilidades de utilização deste produto. Uma alternativa à esta problemática é o uso da casca como um material adsorvente aplicado no tratamento de água de abastecimento e residuais. As vantagens econômicas do uso deste resíduo como adsorvente são a disponibilidade em abundância, baixo custo, renovável.

Diversos resíduos agroindustriais foram avaliados quanto ao seu potencial como adsorventes de baixo custo. Alguns deles incluem cascas e/ou caroços de frutas como castanha-do-Brasil, amendoin, banana, palma, sementes e resíduos resultantes da produção de cereais como o arroz, bem como bagaço de cana de açúcar e mesocarpo de coco babaçu, caniço e resíduos de olivas (CALVETE et al., 2009). Estes materiais de resíduos agrícolas foram utilizados em sua forma natural ou após alguma modificação física ou química.

O carvão ativado tem sido o adsorvente mais amplamente utilizado no tratamento de águas residuais em todo o mundo (BHATNAGAR, 2010). O carvão ativado é produzido por um processo que consiste na desidratação da matéria prima e carbonização seguido de ativação química ou física. Na ativação química são utilizados agentes como, KOH, K₂CO₃, NaOH, Na₂CO₃ e MgCl₂, H₃PO₄, AlCl₃ e ZnCl₂ que são compostos desidratantes e influenciam a pirólise da matéria prima, inibem a liberação da matéria orgânica volátil através da aromatização e maior fixação do carbono, retardando a queima do material e aumentando o rendimento do produto final (WANG, 2019). A capacidade de adsorção do carvão ativado está relacionada com as suas propriedades, tais como área de superfície (m².g⁻¹), volume dos poros (cm³.g⁻¹) e distribuição de tamanho e da estrutura dos poros. O carvão ativado é amplamente aplicado para tratamento de efluentes contendo íons metálicos (CORREIA et al., 2018), corantes têxteis (ALY-ELDEEN et al., 2018), pesticidas, fármacos (ARAUJO et al., 2018), hidrocarbonetos clorados e diversos produtos químicos (GUILLOSSOU et al., 2019).

Os corantes são essencialmente compostos orgânicos coloridos com estruturas muito complexas capazes de tingir outras substâncias como, tecidos, papel, couro, plásticos, borracha, alimentos, fármacos entre outros (WANG et al., 2018). Em geral, os corantes consistem em grupos cromóforos (nitro, nitroso, azo, arilmetano e carbonila), responsável pela coloração nos corantes e, grupos auxocromos e antiauxocromos, os quais contribuem à sua fixação, bem como na intensificação e diversificação das cores. Os corantes aplicados na indústria têxtil, principalmente os da família dos azocorantes, são recalcitrantes e/ou persistentes. As consequências da presença de corantes na água são a alteração da atividade fotossintética do meio, deterioração da qualidade da água, diminui a solubilidade de oxigênio, pode causar alergias e irritações na pele de humanos (REDAM et al., 2019), além de possíveis efeitos carcinogênicos e propriedades mutagênicas (ALY-ELDEEN et al., 2018).

As águas residuais representam sérias ameaças à saúde humana e ao meio ambiente. Sendo a indústria têxtil uma das grandes fontes de poluição da água, visto que, suas águas residuais contêm corantes. Desta forma, o principal objetivo desta pesquisa foi avaliar o potencial adsorativo do carvão ativado de casca de castanha do Pará, produzido em diferentes condições de temperatura e tratamento químico, para remoção do corante têxtil azul de metileno.

2. OBJETIVO

O principal objetivo desta pesquisa foi avaliar o potencial adsorptivo do carvão ativado de casca de castanha do Pará, produzido em diferentes condições de temperatura e tratamento químico, para remoção do corante têxtil azul de metileno.

3. METODOLOGIA

3.1 Amostra

A amostra selecionada para produção do carvão ativado foi a Casca de Castanha do Pará (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) coletadas na zona rural do município de Marabá-PA. Após a retirada das amêndoas, as cascas foram lavadas com água corrente e, posteriormente, foram secas em estufa à 60°C, moída e peneirada obtendo partículas menores do que 50 mesh. A amostra foi caracterizada quanto a análise imediata (umidade, matéria volátil, cinzas e carbono fixo) de acordo com as normas CEN/TS 14774-1 (2004), CEN/TS 15148 (2005) e CEN/TS 14775 (2004).

3.2 Preparação do carvão ativado

Foram avaliadas quatro razões de impregnação de $ZnCl_2$ /casca de castanha (m/m 0,5; 1,0; 1,5; 2,0). Desta forma, quatro quantidades (2,5; 5,0; 7,5; 10,0 g) de cloreto de zinco foram dissolvidos em 50 mL de água destilada, colocado em placas de petri e misturados com 5,0 g de amostra de casca com o auxílio de agitação magnética (BIOMIX), a temperatura ambiente durante 60 min. Posteriormente, as quatro misturas foram secadas em estufa na temperatura de aproximadamente 95°C, por 4 h. As amostras secas foram colocadas em cadinhos de porcelana fechados e carbonizadas em um forno mufla nas temperaturas de 400, 500 e 600°C, com fluxo de gás N_2 durante 60 min. Após, os cadinhos foram retirados do forno e colocados em um dessecador para esfriarem e prevenir o contato com o oxigênio.

Após as etapas de ativação e carbonização, as amostras foram lavadas com uma solução de HCl 0,1 M (Dinâmica) objetivando eliminar contaminações e excesso de íons zinco e cloreto. Posteriormente as amostras foram lavadas com água deionizada com o auxílio de filtros de papel até que a solução atingisse o seu pH neutro. Todas as amostras de carvão foram secas em estufa a 70°C e armazenadas em recipientes fechados. Foi calculado o rendimento das amostras de carvão ativado produzidas com a casca de castanha do Pará.

3.3 Teste de Adsorção

Para avaliar a influência dos métodos de ativação, as amostras de carvão ativado produzidas foram submetidas a testes de adsorção com o corante azul de metileno, onde foram aplicados corante na concentração de 20 mg.L⁻¹, volume de 25 mL e 0,1 g de cada amostra de carvão ativado. A adsorção ocorreu sob agitação, temperatura de 27°C durante 360 min. As amostras foram analisadas em espectrofotômetro UV-Vis (KAZUAKI IL-226-NM) no comprimento de onda de 660 nm. Para calcular a capacidade adsorvida no tempo, expresso em unidade de adsorvente em mg.g⁻¹, utilizou-se a Equação 1.

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)}{w} * V \quad (1)$$

onde C_0 e C_t , são as concentrações do corante inicial e final no tempo t , respectivamente; V é o volume da solução em mililitro e w é a massa de adsorvente seco em gramas.

3.4 Cinética de adsorção

Após selecionar a amostra de carvão ativado que apresentasse a maior porcentagem de adsorção do corante, foi realizado o estudo cinético aplicando o corante azul de metileno 20 mg.L⁻¹, volume de 25 mL e 0,1 g de carvão ativado, sob agitação, temperatura de 27°C durante intervalos de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 270, e 360 min. A cinética de adsorção foi analisada com

base nos ajustes aos dados experimentais pelos modelos de Pseudo-primeira Ordem (Equação 2) e Pseudo-segunda Ordem (Equação 3).

$$q_t = q_e(1 - e^{-K_1 t}) \quad (2)$$

$$q_t = \frac{q_e^2 K_2 t}{1 + q_e K_2 t} \quad (3)$$

3.5 Isotermas de adsorção

Para avaliar a isoterma de adsorção, 0,075 g do carvão ativado de casca de castanha foram deixadas em contato a temperatura ambiente, com agitação de 165 rpm, por um período de 210 min, variando a concentração do corante entre 10 a 100 mg.L⁻¹. Os dados experimentais das isotermas de adsorção foram ajustados aos modelos teóricos de Langmuir (Equação 4) e Freundlich (Equação 5).

$$q_e = \frac{q_{max} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (4)$$

onde, q_e é a quantidade de sorvato sorvida (no equilíbrio), em mg.g⁻¹, q_{max} é a constante de capacidade máxima de sorção, em (L.mg⁻¹), C_e a concentração de soluto no equilíbrio, em mg.L⁻¹ e K_L a constante da energia de sorção, em L.mg⁻¹

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (5)$$

onde q_e é a quantidade de sorvato sorvida (no equilíbrio), em mg.g⁻¹, C_e a concentração de soluto no equilíbrio, em mg.L⁻¹ e K_F a capacidade de sorção, em (mg.g⁻¹)(L.mg⁻¹)^{1/n}. $1/n$ e K_F são parâmetros empíricos do modelo que dependem de fatores experimentais e tem relação direta com a capacidade de sorção do material sorvente.

3.6 Comparação com carvão ativado comercial

Para avaliação da eficiência do carvão ativado produzido com a casca de castanha, foram realizados três testes de adsorção aplicando como adsorvente: (i) o melhor carvão ativado de casca de castanha produzido, (ii) carvão ativado comercial e (iii) casca de castanha do Pará sem tratamento de ativação e carbonização (bruta). Os testes de adsorção foram realizados nas mesmas condições 0,1 g de adsorvente, 25 mL de corante com concentração de 80 mg.L⁻¹, agitação mecânica, temperatura de 27°C durante 210 min.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da Casca de Castanha do Pará

A casca de castanha do Pará apresentou as seguintes características físico químicas: umidade de 9,0 %b.s. (base seca), cinzas 1,53 %b.s., matéria volátil de 73 %b.s. e teor de carbono fixo de 14,65 %b.s. As quantidades de carbono fixo, cinzas e voláteis afetam diretamente na qualidade do carvão ativado, e, quanto menor a quantidade de matéria volátil e maior a quantidade de carbono fixo, maior será o rendimento mássico de carvão (WANG, 2019).

4.2 Teste de Adsorção

O rendimento das amostras de carvão ativado produzidas utilizando várias razões de impregnação em diferentes temperaturas de carbonização, juntamente com a quantidade adsorvida do corante azul de metileno são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Rendimento (%) de carvão ativado obtido de casca de castanha do Pará e quantidade de corante azul de metileno adsorvida (%)

Razão ZnCl ₂ /casca (m/m)	Temperatura carbonização (°C)	Rendimento (%)	Quantidade adsorvida (%)
0,5	400	35,67	49,07
1,0		40,50	54,73
1,5		47,90	61,80
2,0		59,04	72,98
0,5	500	52,75	87,56
1,0		41,30	75,71
1,5		46,08	85,81
2,0		50,85	89,60
0,5	600	35,00	87,97
1,0		39,34	86,74
1,5		42,50	86,71
2,0		46,06	90,37

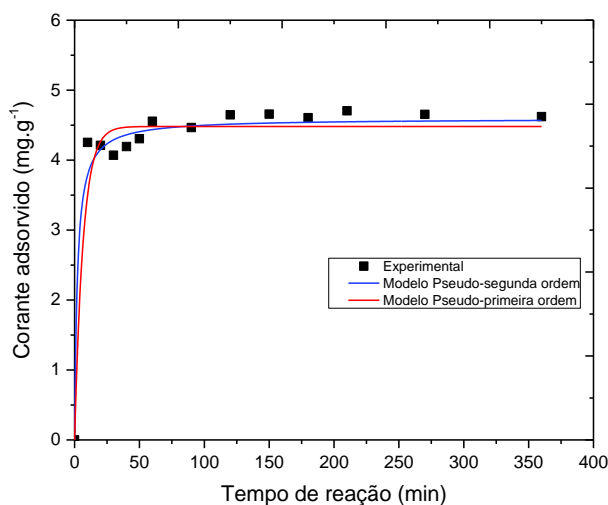
Como visto na Tabela 1, o rendimento de carvão ativado diminui com o aumento da temperatura de carbonização. Por exemplo, quando a temperatura de carbonização aumenta de 400 para 600 °C para o processo de impregnação com razão de 2,0, o rendimento de carvão ativado cai de 59,04% para 46,08%. O decréscimo no rendimento com o aumento da temperatura de carbonização ocorre devido à remoção de compostos voláteis como H₂O, CO, CO₂, H₂ e CH₄ entre outros. Em relação a quantidade de corante adsorvida, os maiores percentuais foram apresentados na maior razão 2,0 (ZnCl₂/casca) para todas as temperaturas, sendo que a 600°C foi alcançado a maior quantidade adsorvida de 90%. A temperatura utilizada no processo relaciona-se diretamente com as propriedades do carvão ativado produzido, pois a porosidade tende a aumentar de acordo com a temperatura de carbonização (KOOKANA et al., 2011). Somando, o ZnCl₂ tem a função de promover a desidratação do carvão a baixas temperaturas, bem como a aromatização a altas temperaturas, e fazer com que o carvão dilate e assim os poros se abram (CHEN et al., 2017). Desta forma, é possível verificar que o aumento da capacidade adsorviva do carvão ativado de casca de castanha do Pará pode estar relacionado com a melhoria das características texturais (área superficial, tamanho e volume de poros) do material obtidas após o tratamento químico e térmico.

4.3 Cinética de Adsorção

Os estudos cinéticos são importantes pois fornecem informações sobre o mecanismo do processo de adsorção. Para estudar o mecanismo de adsorção do corante azul de metileno aplicando o carvão ativado de casca de castanha do Pará, os dados cinéticos foram ajustados aos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem e os resultados estão sendo mostrados na Figura 1.

Do estudo cinético, notou-se que a adsorção do corante pelo carvão ativado de casca de castanha segue o modelo cinético de pseudo-segunda ordem, com coeficientes de correlação (R²) de 0.98 e ter o q_e experimental mais próximo do calculado, sugerindo que a etapa limitante do processo pode ser uma quimissorção, que abrange a partilha ou troca de elétrons entre o adsorvente e o adsorbato (PEZOTI et al., 2014). Além disso, o melhor ajuste no modelo de pseudo-segunda ordem sugere que a taxa de adsorção do carvão ativado de casca de castanha é mais dependente da disponibilidade dos locais de adsorção do que da concentração do corante na solução (ARAUJO et al., 2018).

Figura 1. Modelo cinético se pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem para adsorção do corante azul de metileno aplicando carvão ativado de casca de castanha

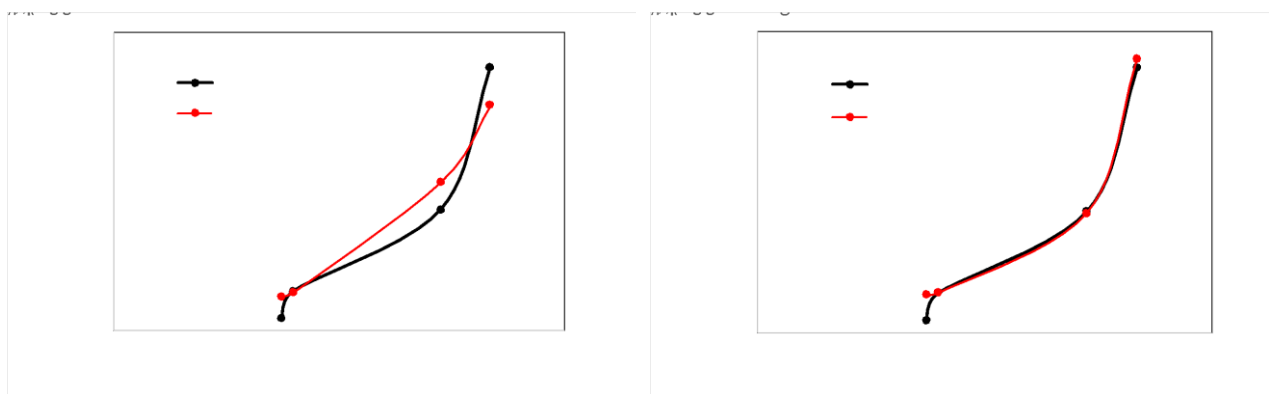


4.4 Isotermas de Adsorção

Para entender como o corante se distribui entre a fase sólida do adsorvente e a fase líquida do solvente,

uma isoterma de adsorção é retratada por parâmetros que fornecem uma indicação da afinidade do adsorvente e das propriedades da superfície (SOLIMAN et al., 2018). Existem muitas equações para analisar dados experimentais de equilíbrio de adsorção. Neste trabalho, os dados de equilíbrio experimental foram ajustados aos modelos de Langmuir e Freundlich e as linearizações estão mostradas na Figura 2.

Figura 2. Isotermas de adsorção de azul de metileno no carvão ativado de casca de castanha ajustadas aos modelos de Langmuir e Freundlich



De acordo com a Figura 2, o carvão ativado de casca de castanha mostrou eficiência na adsorção de azul de metileno. Os valores observados estão entre 26 e 31 mg.g^{-1} . Para compreender com mais clareza os fatores que levaram a estes valores de adsorção, são necessárias análises de porosidade, área superficial dos carvões e a química de superfície, uma vez que alguns grupos funcionais e heteroátomos estão presentes na superfície dos carvões e definem quais compostos serão adsorvidos.

Os parâmetros obtidos por meio dos ajustes aos modelos de Langmuir e Freundlich para a adsorção de azul de metileno com carvão ativado de casca de castanha estão apresentados na Tabela 2. Os parâmetros das equações dos modelos de equilíbrio geralmente fornecem algumas informações sobre o mecanismo de adsorção, as propriedades da superfície e a afinidade do adsorvente. De acordo com os resultados, pode-se observar que o modelo de Langmuir apresentou melhor ajuste

dos dados de isoterma para adsorção de azul de metileno com carvão ativado de casca de castanha pois apresenta o maior valor de R^2 para os dois modelos avaliados. O melhor ajuste ao modelo de Langmuir indica a ocorrência de adsorção em monocamada ou em superfície homogênea, além de indicar a adsorção por quimissorção na superfície dos carvões (ARAUJO et al., 2018).

Tabela 2. Parâmetros obtidos para o ajuste dos modelos de Langmuir e Freundlich

Modelo de Langmuir	
q_{max} (mg.g ⁻¹)	1,164
K_L (L.mg ⁻¹)	0,19
R^2	0,999
Modelo de Freundlich	
n_F (mg.g ⁻¹)	0,106
K_F (mg.g ⁻¹)(L.mg ⁻¹) ^{1/n}	1,528.10 ⁻⁷
R^2	0,963

4.5 Estudo comparativo

Com a finalidade de comparar o carvão ativado em estudo com um adsorvente comercial, foram realizados ensaios de adsorção de azul de metileno com o carvão ativado de casca de castanha, carvão ativado comercial e casca de castanha bruta. Os resultados mostraram que o carvão ativado produzido removeu 94% do corante avaliado, enquanto o carvão ativado comercial e a casca apresentaram 92% e 90%, respectivamente. Esse resultado demonstra que o carvão ativado produzido é eficiente para o tratamento de efluentes têxteis, que apresentam corantes em sua composição, podendo assim substituir o carvão ativado comercial. Além disso, podem ser avaliadas outras condições do processo de ativação para melhorar a quantidade de poluente adsorvida.

1.

2. 5. CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou o potencial da utilização da casca da castanha do Pará para a produção de carvão ativado. A metodologia de ativação por meio de tratamento químico e carbonização se mostrou eficaz, resultando em 94% de remoção de corante azul de metileno da solução. Quanto a cinética de adsorção, o modelo de melhor ajuste foi o modelo cinético de Pseudo-segunda ordem, indicando um processo de natureza predominantemente química (quimissorção). Em relação aos ajustes dos dados experimentais aos modelos de Isotermas de Adsorção, os modelos de Freundlich e Langmuir apresentaram comportamentos semelhantes nos quais ocorreram razoáveis ajustes de pontos experimentais, mas aquele que apresentou com o melhor ajuste para o corante utilizado no estudo foi o de Langmuir.

Foram obtidos resultados semelhantes de capacidade adsorptiva do corante entre o carvão ativado de casca de castanha produzido nesta pesquisa e o carvão ativado comercial granular. Com isso, nas condições adotadas neste trabalho, o carvão ativado da casca da castanha do Pará pode ser considerado uma alternativa viável para o tratamento de soluções aquosas contaminadas, devido ao baixo custo, ser de fácil aquisição e ser biodegradável. Também proporciona um interesse econômico na transformação de um problema ambiental - resíduo da casca da castanha - em um produto com alto valor econômico agregado como o carvão ativado, produzido a partir de uma fonte renovável.

3.

4. 6. REFERÊNCIAS

ALY-ELDEEN, M.A, EL-SAYED, A.A.M, SALEM, D.M.S.A, EL ZOKM, G.M, The uptake of Eriochrome Black T dye from aqueous solutions utilizing waste activated sludge: Adsorption process optimization using factorial design. Egyptian Journal of Aquatic Research n.44, p.179–186, 2018.

ARAUJO, L., BEZERRA, C.O., CUSIOLI, L.F., SILVA, M.F., NISHI, L., GOMES, R.G., Moringa oleífera biomass residue for the removal of pharmaceuticals from water. Journal of Environmental Chemical Engineering 6, p. 7192–7199, 2018.

BHATNAGAR, A., SILLANPÄÄ, M., Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment—A review. *Chemical Engineering Journal*, n.157, p. 277–296, 2010.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Calvete, T., Lima, E.C., Cardoso, N.F., Dias, S.L.P., Pavan, F.A., Application of carbon adsorbents prepared from the Brazilian pine-fruit-shell for the removal of Procion Red MX 3B from aqueous solution—Kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies. *Chemical Engineering Journal* n. 155, p. 627–636, 2009.

CHEN, Y., ZHANG,X., CHEN, W., YANG,H., CHEN H., The structure evolution of biochar from biomass pyrolysis and its correlation with gas pollutant adsorption performance. *Bioresource Technology*, n. 246, p. 101–109, 2017.

DA SILVA CORREIA, I.K., SANTOS, P.F., SANTANA, C.S., NERIS, J.B., LUZARDO, F.H.M., VELASCO, F.G., Application of coconut shell, banana peel, spent coffee grounds, eucalyptus bark, piassava (*Attalea funifera*) and water hyacinth (*Eichornia crassipes*) in the adsorption of Pb²⁺ and Ni²⁺ ions in water. *Journal of Environmental Chemical Engineering* n. 6, p. 2319–2334, 2018.

GUILLOSSOU, R., ROUX,J.L., MAILLER,R., VULLIET,E., MORLAY,C., NAULEAU, F.,GASPERI,J.,ROCHER,V., Organic micropollutants in a large wastewater treatment plant: What are the benefits of an advanced treatment by activated carbon adsorption in comparison to conventional treatment? *Chemosphere* n.218, p. 1050-1060, 2019.

HOMMA, A.K.O., MENEZES, A.J.E.A., Avaliação de uma Indústria Beneficiadora de Castanha-do-Pará, na Microrregião de Cametá, PA. Comunicado Técnico, 213 Embrapa, 2008.

IBGE, Produção da Extração Vegetal e Silvicultura 2018. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

PEZOTI JUNIOR, O., CAZETTA, A.L., SOUZA, I.P.A.F., BEDIN, K.C., MARTINS, A.C., SILVA, T.L.; ALMEIDA, V.C. Adsorption studies of methylene blue onto ZnCl₂-activated carbon produced from buriti shells (*Mauritia flexuosa* L.). *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v.20, p.4401-4407, 2014.

SOLIMAN NK, MOUSTAFA,A.F.,ABOUD, A.A.,HALIM,K.S.A. Effective utilization of *Moringa* seeds waste as a new green environmental adsorbent for removal of industrial toxic dyes. *J Mater Res Technol.* n. 8,p. 1798-1808, 2019.

WANG, X., JIANG, C., HOU, B., WANG Y., HAO, C., WU, J., Carbon composite lignin-based adsorbents for the adsorption of dyes. *Chemosphere* n. 206 p. 587- 596, 2018.

WANG, J., WANG,S., Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. *Journal of Cleaner Production* 227, pg 1002 – 1022, 2019.