

CAPÍTULO 11

CARVÃO ATIVADO OBTIDO DA CASCA DE COCO VERDE PARA REMOÇÃO DE CORANTE AM EM MEIO AQUOSO: CARACTERIZAÇÃO E CINÉTICA DE ADSORÇÃO

Dhessyca Maria Vitoria Gonçalves Soares
Anderson Yuri Martins da Silva
Isabelle Cristina Cruz Pereira
Waneise Caroline Oliveira de Souza
Alcino Matos de Azevedo Pontes Neto
Shirley Cristina Cabral Nascimento
Marlice Cruz Martelli

RESUMO

O carvão ativado é um material adsorvente amplamente utilizado para realizar a purificação da água e diversos componentes de forma eficaz, entretanto, seu custo comercial ainda é de alto valor estimado. O coco verde é uma fruta com alto teor de carbono, e cerca de 80% de seu fruto é descartado, podendo ser utilizado para fins tecnológicos como a síntese de carvão ativado. Assim, este trabalho teve como objetivo a produção e a caracterização de um carvão ativado termicamente, utilizando as fibras do coco verde, incluindo a avaliação da capacidade de remoção do azul de metileno por adsorção. Para isso, foi realizada uma pirólise com temperatura a 550°C. O potencial de carga zero (PCZ), rendimento gravimétrico, a microscopia eletrônica de varredura (MEV) acoplada a espectroscopia de energia dispersiva de raio-X (EDS), testes cinéticos e modelagem matemática para avaliar o modelo teórico que melhor prediz a cinética de adsorção, foram os testes realizados para a caracterização do material obtido. Dessa forma, foi possível analisar que o carvão ativado da casca do coco verde tem uma melhor atividade adsorptiva em meios básicos de pH 8,0, obteve 11,66% de rendimento gravimétrico, sendo que o modelo cinético que mais se ajustou aos dados experimentais foi o de pseudo-primeira ordem. Estes resultados mostram que o carvão ativado da casca do coco verde se apresenta como uma alternativa viável e de baixo custo para aplicação na limpeza de efluentes líquidos da indústria têxtil.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção. Azul de Metileno. Carvão Ativado. Coco Verde. Pirólise.

1. INTRODUÇÃO

Reconhecido como importante recurso vegetal, em função da gama de produtos de importância econômica, social e ambiental, o coco, fruto típico de regiões tropicais, se destaca também pela importante atividade geradora de emprego e renda. Em relação ao resíduo orgânico gerado, há diferentes formas de tratar como a trituração da casca e da fibra, usados na fabricação de diversos subprodutos industriais, agrícolas, artesanais e até mesmo na geração de energia, agregando valor e reduzindo o acúmulo dos cocos descartados (BONAMONE *et al.*, 2019).

O principal transtorno causado pelo acúmulo das cascas é devido ao seu longo tempo de decomposição, que pode ser de até 12 anos. Tendo em vista a sua forma e constituição de difícil compactação, há necessidade de maior espaço de armazenamento, o que colabora com a diminuição do tempo de vida útil dos aterros sanitários (DIAS *et al.*, 2019). Alternativas de

reaproveitamento da casca do coco verde possibilita a redução da disposição de seus resíduos de forma inadequada, além de proporcionar uma nova opção de renda junto ao local de produção e descarte do produto.

Neste contexto, observa-se na literatura um crescente reaproveitamento de cascas e fibras, às quais estão incluídas o uso como substrato agrícola, produção de papel, em artesanatos e telas de proteção do solo. Outra aplicação importante é o uso desta biomassa na produção de carvão ativado, tendo em vista o seu alto teor de carbono. O carvão ativado tem sido comumente utilizado como material adsorvente, pois suas propriedades texturais viabilizam a remoção de micro poluentes, no entanto, embora o carvão ativado apresente elevada capacidade de adsorver moléculas orgânicas, existe a preocupação envolvendo o custo deste produto, que inviabiliza sua aplicação em larga escala.

Sendo assim, é proposto neste trabalho a produção e a caracterização de um carvão ativado termicamente, utilizando as fibras do coco verde, incluindo a avaliação da capacidade de remoção do azul de metileno por adsorção, utilizando o carvão ativado produzido.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Casca de coco

A casca de coco verde (*Cocos nucifera*) que em muitas regiões causa transtorno ao serviço de limpeza pública pelo volume e pela dificuldade de decomposição produz uma fibra que pode ser utilizada como substrato, porém, é um resíduo com poucas ações de reaproveitamento implantadas no Brasil. Segundo dados da EMBRAPA (2014) 1,9 bilhões de cocos colhidos no Brasil geraram 2,7 milhões de toneladas de resíduos, onde 80 % do peso bruto do coco verde ou 1,5 bilhões, em casca, representam descarte para o mercado. A grande parte da destinação deste resíduo no Brasil é para aterros sanitários, com cerca de 8,6 milhões de toneladas de casca por ano.

Os resíduos sólidos descartados de maneira inadequada, geram grande poluição ambiental, colocando em risco a saúde pública. Além disso, o descarte inadequado gera uma poluição visual. Segundo Santos (2015), é considerado poluição visual todo efeito danoso resultante dos impactos visuais causados por determinadas ações e atividades, a ponto de prejudicar a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criando condições adversas às atividades econômicas e afetar as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente.

2.2 Carvão ativado

Carvão ativado é uma formação de carbono com porosidade elevada, que sofreu processamento para aumentar a porosidade interna, além de também apresentar baixa quantidade de heteroátomos. Ele pode ser encontrado em pó ou granulado, conforme sua aplicação (MORAVIA, 2007). O carvão pode ser produzido através do processo de carbonização e pirolise de materiais orgânicos, como disse Mangueira (2014), carvões ativados podem ser produzidos a partir de uma variedade de matérias-primas como madeira, sementes, ossos de animais, petróleo, carvões minerais, plástico, pneus, lignina e materiais betuminosos, turfa (carvão fóssil), carvão de pedra (brasa) e variados resíduos lignocelulósicos como casca de coco, casca de arroz entre outras biomassas.

O carvão pode ser utilizado para seletiva de remover gases, líquidos e impurezas no interior dos seus poros (ALVES, 2007), além disso, pode ser utilizado em tratamento de água onde o carvão cumpre a função de adsorvente, retendo em seus poros impurezas. Essas moléculas permanecem fixadas ao carvão ativado por forças físicas (LETTERMAN, 1999).

Segundo Marsh (2001) e Fernandes (2019), em torno de 400.000 toneladas de carvão ativado são produzidas de diversas formas ao redor do mundo, anualmente, partindo de aproximadamente 1 milhão de toneladas de variados precursores. Na atualidade existem aproximadamente 150 companhias produtoras de carvão ativado no mundo.

2.3 Adsorção

A adsorção é um processo de transferência de massa, no qual o adsorvente (material em geral sólido e poroso) retira uma ou mais substâncias do adsorvato (frequentemente se apresenta como fluido) com um contato direto desses dois, sendo que esse segundo se concentra na parte externa do adsorvente, sendo assim, quanto maior a área externa dele, melhor é realizada a adsorção (NASCIMENTO, 2020). O processo de separação por esse método apresenta três mecanismos de funcionamento diferentes, sendo eles os mecanismos estérico, equilíbrio e cinéticos.

O processo de adsorção é classificado em dois tipos, a física (fisissorção) e a química (quimissorção), a diferença entre a natureza dos dois são as forças que motivam esses fenômenos, no primeiro caso as forças físicas são os únicos fatores que o motivam, enquanto a quimissorção, acontece por conta de reações químicas, tornando as ligações mais fortes que as anteriores.

Existem diversos modelos que explicam o comportamento da adsorção divididos em dois tipos; de isoterma de adsorção e de cinética de adsorção. No de cinética de adsorção, os principais modelos citados e encontrados na literatura são os de Elovich, Weber e Morris, Pseudo-primeira ordem e Pseudo-segunda ordem, que partem de equações diferenciais, chegando em relações não lineares, que podem ser linearizadas e testadas, comprovando qual melhor se ajusta a cada determinada adsorção realizada.

3. METODOLOGIA

A norma brasileira que define os requisitos e métodos de ensaios exigíveis para a aceitação de Carvão ativado pulverizado – Especificações é a NBR 11834 (ABNT, 1991).

3.1 Material Adsorvente

Para obtenção do material adsorvente, utilizou-se sete cocos verdes obtidos em praças locais na cidade de Belém-PA. A fibra dos cocos verdes reciclados do tipo Cocos nucifera linn foram obtidas após o tratamento físico dos corpos de prova, realizado no Laboratório de Engenharia Química, da Universidade Federal do Pará. Após a coleta, os corpos de prova foram abertos para retirada da água e do endocarpo onde foram postos na estufa, à 80°C por 24 horas, a fim de reduzir a umidade do material. Os corpos de prova foram submetidos a cortes em tamanho de 3 cm, e, então, fragmentado. O material fragmentado foi lavado com água corrente com o auxílio de peneiras, onde foram submetidas novamente a estufa por 24 horas, à 80°C.

3.2 Pirólise

A pirólise foi realizada contendo 30 g de fibras fracionadas. Foram realizado um ensaio onde foram carbonizadas com auxílio de um cadinho de porcelana em forno mufla QUIMIS a uma temperatura de 550°C e tempo de residência de 20 minutos, para remoção de materiais voláteis e aumento do teor de carbono.

3.3 Rendimento Gravimétrico (RGCA)

Para verificar o rendimento gravimétrico em carvão ativado, ou seja, relacionar a quantidade de carvão produzido e a quantidade de fibra enforada (base seca ou base úmida). Quanto maior for o rendimento, maior a produção e maior o lucro das empresas. Foram feitas diversas pesagens durante o experimento e o RGCA foi determinado através da equação 1, em que m_f = massa seca final do carvão ativado, em gramas e m_0 = massa seca inicial do material precursor utilizado, em gramas:

$$RG_{CA} (\%) = \frac{m_f}{m_0} * 100 \quad (1)$$

3.4 Métodos de Caracterização

A morfologia superficial do carvão foi analisada através de ensaios de microscopia eletrônica de varredura (MEV), para verificar a morfologia. Em seguida, foram geradas imagens em preto e branco, dispondo de alta resolução da superfície das amostras por meio de um aparelho modelo VEGA de TESCAN acopladas a técnica de espectroscopia dispersiva em comprimento de onda (EDS), possibilitando identificar de maneira qualitativa e semiquantitativa os elementos químicos presentes na superfície do material.

3.5 Determinação do Potencial de Carga Zero (PCZ)

No processo de adsorção, o ponto de carga zero (PCZ), é definido como o pH em que a superfície do sólido possui carga neutra. O seu processo permite prever a ionização de grupos funcionais de superfícies e sua interação com espécies de metal em solução, exemplificando, quando o sólido adsorvente é carregado negativamente em soluções de pH superior ao PCZ, poderá interagir com espécies metálicas positivas e quando é carregado positivamente em soluções de pH inferior ao PCZ, poderá interagir com espécies negativas (FIOL; VILLAESCUSA, 2008 *apud* SILVA, 2012). A determinação do ponto de carga zero, neste experimento foi realizado através da separação de 11 amostras contendo cerca de 0,25g do material. O pH foi manipulado com soluções de HCl e NaOH, ambas em 0,1 M. A realização do PCZ, ocorreu em forma crescente de acordo com a determinação do pH 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 através da estabilização com o ácido ou base citados, a averiguação de mudança do pH ocorreu por meio do auxílio de um PHmetro. Logo, as soluções foram transferidas para um banho termostático Dubnoff por 24 horas em rotação de 13 RPM.

Após 24 horas de agitação, mediu-se o pH final para a comparação com as medições anteriores e a plotação dos gráficos de pH inicial versus pH final para o material, realizando uma média aritmética dos valores finais que tendem aos valores para a determinação do PCZ.

3.6 Curva Padrão de Calibração

Para determinação da curva de calibração, foi misturada uma solução mãe de azul de metileno a 60 ppm e diluída gradativamente para obter alíquotas de 50 ppm, 40 ppm, 30 ppm, 20 ppm e 10 ppm. Cada alíquota foi coletada com auxílio de um conta gota, colocadas em uma cubeta de quartzo e analisadas no espectrofotômetro de UV-1800 (SHIMADZU) no comprimento de onda de 664 nm para leitura da absorbância, assim como Rêgo Júnior *et al.*, 2022 e Correia *et al.* (2020).

3.7 Cinética de Adsorção

Para a cinética de adsorção, a solução mãe foi diluída para 50 ppm de azul de metileno e distribuídos 50 mL de amostra em 12 erlenmeyers, e em seguida, para cada amostra, foram adicionados a massa de 0,25 g de carvão. No processo seguinte, as soluções foram encaminhadas ao banho termostático, no decorrer do tempo foram retiradas alíquotas nos instantes de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos, em seguida essa fração foi destinada à análise de espectrofotometria para obtenção da absorbância. Com os valores de absorbância das soluções e da curva de calibração, determinou-se o tempo necessário atingir o equilíbrio e realizar os ajustes dos modelos não lineares de cinética de adsorção com os dados experimentais. A tabela 1 mostra os modelos que foram testados para encontrar as constantes das taxas cinéticas de adsorção.

Tabela 1: Modelos não lineares de cinética de adsorção.

Modelo	Equação
Pseudo-Primeira Ordem	$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t})$
Pseudo-Segunda Ordem	$q_t = \frac{k_2 q_e^2 t}{1 + k_2 q_e t}$
Elovich	$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(1 + \alpha \beta t)$

Fonte: Autoria própria (2023).

3.8 Análise Estatística

Para a análise estatística do melhor modelo da cinética de adsorção foram utilizados o qui quadrado (χ^2) e o coeficiente de determinação (R^2) apresentados nas Equações 2 e 3 respectivamente.

O qui quadrado (χ^2), mostrado na Equação 1, estabelece o grau de correspondência entre as frequências observadas (x_i) e calculadas (y_i), ou seja, se há uma diferença significativa entre os valores observados e calculados (SIEGEL; CASTELLAN, 2008).

$$\chi^2 = \sum_{i=k}^k \frac{(x_i - y_i)^2}{y_i} \quad (2)$$

O coeficiente de determinação, conhecido por R^2 , é o quadrado do coeficiente de correlação momento-produto de Pearson. Este parâmetro mostra se há uma correlação entre duas variáveis quando uma delas está possivelmente relacionada com a outra, representando a variação da variável dependente que é explicada pela variação da variável independente (KENNEDY, 2008). O cálculo foi realizado a partir da Equação 3.

$$R^2 = \frac{(\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))^2}{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Rendimento Gravimétrico (RGCA)

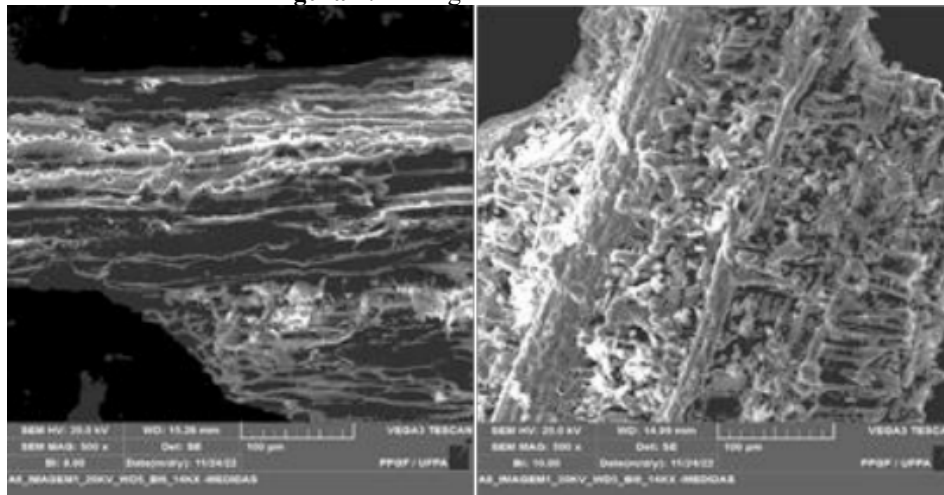
Após a pirólise de 30 g de casca de coco, foi medida a massa final de carvão ativado, de 3,5g. Com o cálculo do rendimento de aproximadamente 11,66%, valor intermediário aos valores obtidos por outros carvões ativados fisicamente da literatura, a partir de subprodutos agrícolas, florestais e resíduos de forma geral, como, espigas de milho com 8,7% (EL-HENDAWY *et al.*, 2001) e de fibras de piaçava com 23,3% (AVELAR *et al.*, 2010). Estes resultados estão associados à composição química do precursor, principalmente em relação ao teor de lignina, pois, em geral, materiais com pequena quantidade deste componente, apresentam uma menor estabilidade térmica e consequentemente menores rendimentos. O teor de lignina para o endocarpo de coco é cerca de 33% (ARENA *et al.*, 2016).

4.2 Métodos de Caracterização

4.2.1 Microscopia Eletrônica de Varredura

Os resultados obtidos, referentes às micrografias das superfícies das amostras de carvão ativado, analisados pela técnica de microscopia eletrônica de varredura, estão apresentados na Figura 1. Observa-se que a superfície é irregular, com aparente desmantelamento da estrutura fibrosa do material *in natura*, caracterizada pela carbonização de outros materiais à base de celulose e, também há apresentação de estrutura porosa, mais bem observada na imagem da esquerda, formada pela eliminação de voláteis e gases, devido a combustão do material orgânico.

Figura 1: Micrografia do carvão ativado.

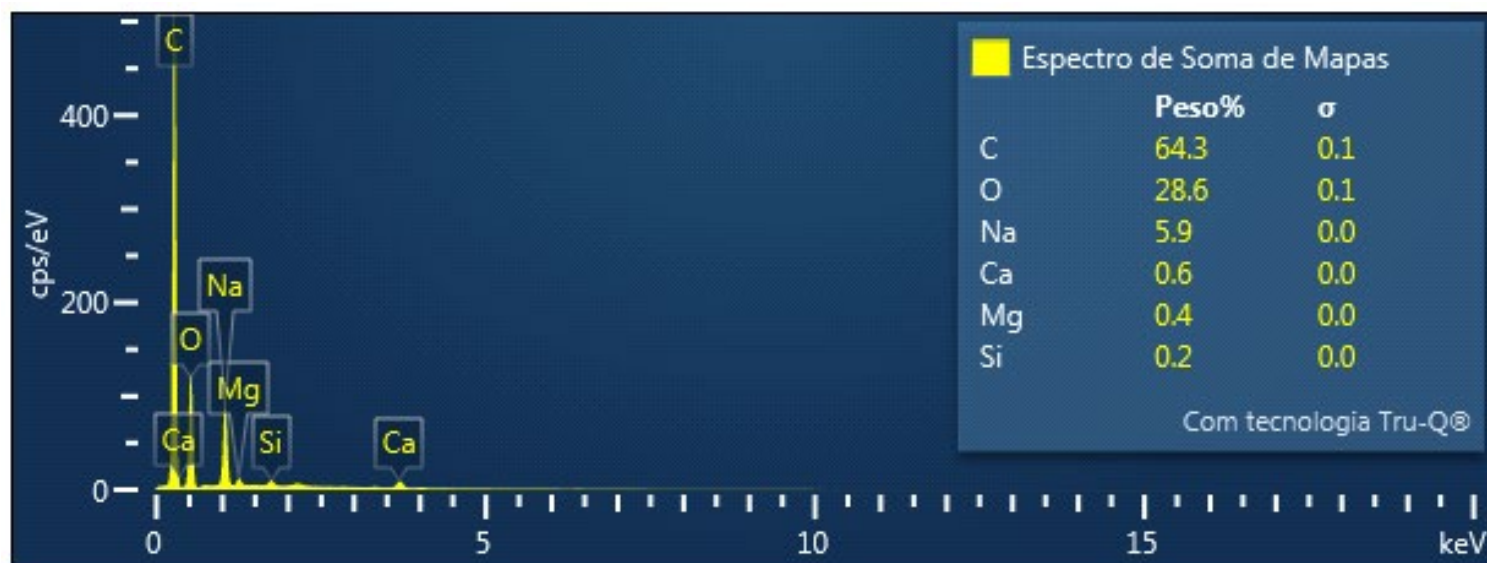


Fonte: Autoria própria (2023)

4.2.2 Espectroscopia por Energia Dispersiva - EDS

Os resultados obtidos quanto a Espectroscopia por Energia Dispersiva estão na imagem da Figura 2, em que é evidenciada a predominância dos elementos carbono (64,3%) e oxigênio (28,6%), o que era previsto por se tratar de compostos orgânicos. Além disso, também foi observada a presença de minerais, como sódio (5,9%), e mais baixas concentrações de cálcio (0,6%), magnésio (0,4%) e silício (0,2%).

Figura 2: Espectro de EDS do carvão ativado.



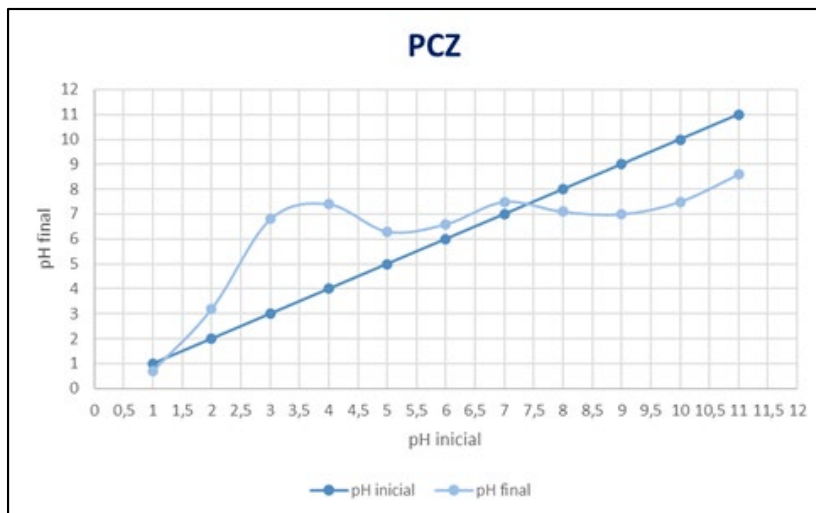
Fonte: Autoria própria (2023).

4.3 Potencial de Carga Zero - PCZ

O Gráfico 1 mostra os valores obtidos a partir das análises do potencial de carga zero pela metodologia de Bourikas (2003). O valor obtido do PCZ foi de 7,4, valor no qual o carvão termicamente ativado atua como uma solução tampão. Soluções com pH acima desse valor, favorece a adsorção de cátions, uma vez que se tem a superfície do carvão carregada negativamente. Já quando ocorre o contrário, ou seja, em soluções com pH abaixo de 7,4 a adsorção de ânions é favorecida, pelo fato de a superfície do carvão estar carregada

positivamente (MOURA, 2016; NASCIMENTO 2020). A avaliação do PCZ é importante porque permite prever a carga na superfície do adsorvente em função do pH.

Gráfico 1: PCZ da amostra de carvão.



Fonte: Autoria própria (2023).

4.4 Curva Padrão de Calibração

Os ensaios para a determinação da curva padrão concentrações de 10, 20, 30, 40, 50, 60 de azul de metileno. Obtendo-se os resultados de absorvância obtidos conforme mostrados na Tabela 2.

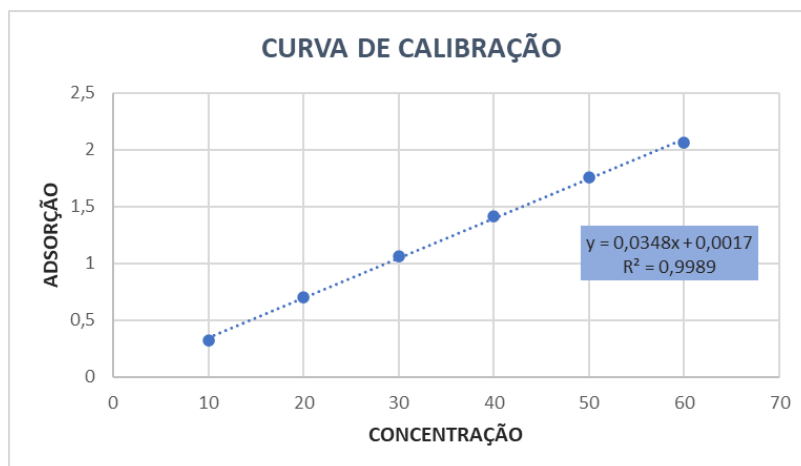
Tabela 2: Adsorbância versus concentração.

Concentração (mg/L)	Adsorbância
10	0,325
20	0,705
30	1,064
40	1,413
50	1,757
60	2,063

Fonte: Autoria própria (2023).

A curva de calibração foi confeccionada para que fosse possível determinar a concentração real das soluções dos corantes pré e pós-testes de adsorção, por meio da correlação linear entre a adsorbância e a concentração, conforme apresentada no gráfico do Gráfico 2.

Gráfico 2: Curva de calibração para a solução de azul de metileno.



Fonte: Autoria própria (2023).

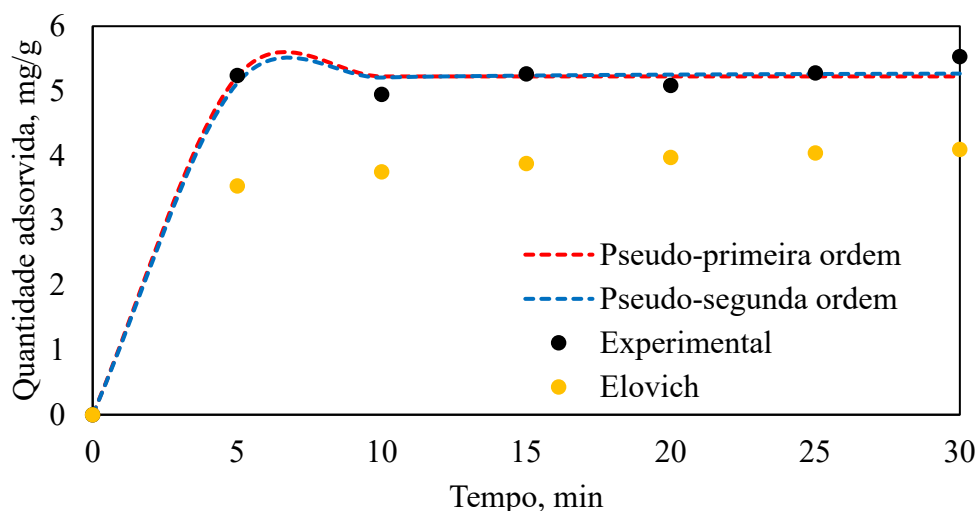
Com os valores de absorvância obtidos x concentração, obteve-se a Equação 4.

$$C_f = \frac{Abs - 0,0017}{0,0348} \quad (4)$$

4.5 Cinética de Adsorção

O Gráfico 3 mostra a capacidade de adsorção (q_t) em função do tempo (t) referentes aos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e de Elovich. Observa-se pelo comportamento das curvas que o equilíbrio adsorptivo é atingido em 10 min, demonstrando assim que a partir desse tempo a superfície do carvão ativado encontra-se saturada, não ocorrendo mais a transferência das moléculas do azul de metileno presente na solução para a superfície da matriz.

Gráfico 3: Modelos cinéticos para o carvão ativado.



Fonte: Autoria própria (2023).

4.6 Análise estatística

Na Tabela 3 são apresentados os parâmetros de ajustes aos modelos cinéticos com o coeficiente de determinação (R^2) que é fundamental para determinar qual modelo apresenta o melhor ajuste e o qui-quadrado χ^2 . Os três modelos ajustaram satisfatoriamente aos dados experimentais ($R^2 > 0,98$), indicando serem capazes de explicar 98% das variabilidades experimentais.

Tabela 3: Parâmetros estatísticos dos modelos cinéticos de adsorção.

Modelo	Parâmetros	Valores	Unidade
Pseudo-Primeira Ordem	k_1	0,46244	min^{-1}
	q_e	3,95851	mg/g
	R^2	0,9938	adimensional
	χ^2	0,0206	adimensional
Pseudo-Segunda Ordem	k_2	0,44673	g/mg. min
	q_e	4,05736	mg/g
	R^2	0,9898	adimensional
	χ^2	0,0346	adimensional
Elovich	α	4716,66	mg/g. min
	β	3,17524	mg/g
	R^2	0,9818	adimensional
	χ^2	0,0611	adimensional

Fonte: Autoria própria (2023).

Os resultados evidenciam maior valor para coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9938$) ao modelo de pseudo-primeira ordem, portanto, este foi o que melhor se ajustou entre os modelos testados, indicando que a quantidade de corante disponível é razoavelmente menor que o número dos sítios ativos. Já o pseudo-segunda ordem permite inferir que o processo é regido por quimissorção, que envolve as forças químicas de interações entre o carbono e o corante. Os parâmetros α (taxa de adsorção) e β (coeficiente de dessorção) do modelo de Elovich, possibilitam inferir a viabilidade do processo de remoção do corante. É possível observar que α é elevado, enquanto β é baixo, indicando assim que a taxa de dessorção é reduzida devido as interações químicas moleculares estáveis do corante e carvão, como também observado e discutido por Monteiro *et al* 2022.

A partir do estudo da cinética, foi possível observar que a equação de pseudo-primeira ordem para a amostra fornece o valor de adsorção máxima, $q_e = 3,95851$ mg/g, assim como o coeficiente de determinação (R^2) de 0,9938, e pelo menor valor reduzido (χ^2), igual a 0,0206, indicando que existe pouca variabilidade experimental, proporcionando um excelente ajuste. Segundo Tavares *et al.*, 2020, isso implica em uma variação diretamente proporcional entre a velocidade de adsorção com a quantidade de sítios disponíveis e que a adsorção envolve forças

de valência ou troca de elétrons entre o adsorbato e o adsorvente. Nos trabalhos Santos *et al*, 2019 e de Teixeira, 2020 também obtiveram melhores ajustes para o modelo de pseudo-primeira ordem.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cinética adsorptiva demonstrou que a capacidade máxima de adsorção é atingida em 10 min sendo um tempo bastante curto e que os ajustes foram satisfatórios aos três modelos cinéticos testados.

A aplicação do carvão da biomassa do coco verde mostrou ser promissora e de baixo custo para remoção do corante azul de metileno, tanto pelo baixo valor e alta disponibilidade da matéria-prima quanto pelo processo adsorptivo utilizado apenas com a carbonização, sem necessitar de outros gastos para ativação térmica e nem química, possibilitando ser reproduzida em escala industrial por processo de adsorção. Desta forma, além da eficiência de remoção no tratamento do corante, também agregará valor ao subproduto que geralmente é descartado, minimizando o impacto ambiental pela redução do resíduo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (ABNT). **NBR 11834 - Carvão ativado pulverizado - Especificação**. Rio de Janeiro, 1991.

ARENA, N.; LEE, J.; CLIFT, R. Life Cycle Assessment of activated carbon production from coconut shells. **Journal of Cleaner Production**, v. 125, p. 68–77, jul. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616301421?via%3Dihub>. Acessado em: Out. 2022.

ALVES, A. C. M. **Avaliação do tratamento de efluentes líquidos contendo cobre e chumbo por adsorção em carvão ativado**. 2007. 56 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/riufal/415>. Acessado em: Jan. 2023.

AVELAR, F. F. *et al*. The use of piassava fibers (*Attalea funifera*) in the preparation of activated carbon. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 12, p. 4639–4645, jun. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410001896>. Acessado em: Out. 2022.

BONAMONE, M. de B. *et al*. Logística reversa do resíduo de coco verde. **Revista LOGS: Logística e Operações Globais Sustentáveis**, São Paulo, v. 1, n. 1, jun. 2019. Disponível em: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/LOGS/article/view/12681/7705>. Acessado em: Out. 2022.

BOURIKAS, K. *et al.* Potentiometric Mass Titrations: Experimental and Theoretical Establishment of a New Technique for Determining the Point of Zero Charge (PCZ) of Metal (Hydr)Oxides. **J. Phys. Chem.** Washington, v. 107, p. 9441- 9451, ago, 2003. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jp035123v>. Acessado em: Out. 2022.

CORREIA, L. F. *et al.* Aproveitamento do bagaço de malte como adsorvente para a remoção do corante azul de metileno. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e730997781, set. 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/7781>. Acessado em: Out. 2022.

DIAS, N. B. *et al.* Aproveitamento da casca de coco verde para uso energético. **Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE**, Vitória, p. 179-195, jul, 2019. Disponível em: https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/V05N03_13. Acessado em: Out. 2022.

KENNEDY, P. **A Guide to Econometrics**. Massachusetts: Blackwell Publishing, 2008.

LETTERMAN, R. D. **Water quality and treatment: a handbook of community water supplies**. 5 Ed. New York: McGraw-Hill: American Water Works Association, 1999. 1 v.

MANGUEIRA, E. S. V. **Produção de carvão ativado a partir de endocarpo de coco da Baía (Cocos nucifera) aplicado ao processo de adsorção do herbicida metribuzin**. 2014. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/5539>. Acessado em: Jan. 2022.

MONTEIRO, K. A. *et al.* Adsorção de corante têxtil em carvão ativado produzido a partir de resíduo da agroindústria. In: **Congresso Brasileiro de sistemas Particulados**, XL, 2022. Uberlândia. Anais eletrônicos, Campinas: Galoá, 2022. Disponível em: <https://proceedings.science/enemp/enemp-2022/trabalhos/adsorcao-de-corante-textil-em-carvao-ativado-produzido-a-partir-de-residuo>. Acessado em: Out. 2022.

MARSH, H. (Ed.). **Activated carbon compendium**. London: Elsevier, 2001

NASCIMENTO, R. F. do. *et al.* **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/10267>. Acessado em: Out. 2022.

RÊGO JÚNIOR, A. G. do. *et al.* Estudo da remoção de corante azul de metileno de soluções aquosas usando o bambu in natura (*Bambusa Vulgaris*) como adsorvente. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, p. e46711629314, mai, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/29314>. Acessado em: Out. 2022.

SANTOS, G. B. *et al.* Produção de Carvão ativado a partir da Casca de Café. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**, XI, 2015. Campinas: Anais eletrônicos. São Paulo: Blucher, 2015. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/produo-de-carvo-ativado-a-partir-da-casca-de-caf-19681>. Acessado em: Jan. 2023.

SIEGEL, S.; CASTELLAN JUNIOR, J. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 435p.

TAVARES, F. P.; SOUZA, D. L. de; SANTOS, K. G. dos. Biossorção de Azul de Metileno empregando serragem do gênero *Apuleia Leiocarpa*. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e796974768–e796974768, jun. 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/4768>. Acessado em: Out. 2022.

TEIXEIRA, J. L. **Obtenção e caracterização de carvão ativado a partir da casca de coco verde**. Dissertação (Mestrado em Engenharia De Minas, Metalúrgica E De Materiais) Metalurgia e Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/212986>. Acessado em: Mai. 2023.