

Capítulo 11

Produção de biocarvão ativado a partir de resíduos vegetais do restaurante universitário da UFMG

Maria Luiza Duarte Fonseca *¹; Ana Flavia Campos Santos¹, Gabriel Sthefano Lourenço Pereira¹;
Fabio Gomes de Matos²; Fernando Colen³; Claudia Regina Vieira⁴

Resumo

A industrialização promove a geração de resíduos. Assim, destaca-se o elevado volume com desperdícios oriundos da produção de alimentos de origem vegetal. Tais resíduos são constituídos, principalmente, de material orgânico, o que favorece a produção de carvão ativado. Desta forma, o objetivo do presente trabalho consistiu em produzir carvões ativados a partir de resíduos vegetais e analisar a ativação do mesmo com ácido fosfórico (H_3PO_4) e acetato de sódio nos tempos de residência de 15 e 30 minutos. Os resíduos foram coletados no restaurante da UFMG – Montes Claros e preparados empregando etapas sequenciais de trituração (resíduo úmido), secagem a 105 °C até peso constante, trituração (resíduo seco), peneiramento, ativação por 12 horas com agitação mecânica, secagem, pirólise, lavagem, filtração e secagem final a 105 °C. Para verificação da ativação do biocarvão, determinou-se o índice de azul de metileno (IAM) e número de iodo (NI), além do rendimento da produção de biocarvão ativado (BCA). O experimento foi delineamento em fatorial 2x2, sendo dois tempos de residência e dois materiais de ativação, ácido fosfórico e acetato sódio e, analisado estatisticamente pelo teste F e Tukey a 5% de significância. Observou-se que o tipo de reagente interferiu na ativação do carvão, sendo que o H_3PO_4 apresentou maior percentual de adsorção do IAM e NI. Quanto a variável tempo residência de pirólise, notou-se que para 30 minutos, houve influência somente no IAM. Dessa forma, conclui-se que a elaboração de BCA a partir de resíduos vegetais é promissora para processos de adsorção.

Palavras-chave: Acetado de sódio. Ácido fosfórico. Adsorção. Índice de azul de metileno. Número de Iodo.

¹ Acadêmicos de Graduação do Curso de Engenharia de Alimentos, Instituto de Ciências Agrárias, UFMG

² Técnico Administrativo, Instituto de Ciências Agrárias, UFMG

³ Professor Associado II do Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Instituto de Ciências Agrárias, UFMG

⁴ Professora Adjunto do Curso de Engenharia de Alimentos, Instituto de Ciências Agrárias, UFMG

*Autor para correspondência: malu12duarte@gmail.com

Introdução

Os resíduos industriais contribuem para a poluição das águas, solos e ar, sendo que, as principais fontes dessa poluição são devido ao descarte inadequado de resíduos industriais, sanitários, agrícolas entre outros. Além disso, inúmeras doenças no Brasil estão relacionadas à água contaminada, uma vez que ocorre descarte de materiais tóxicos no meio ambiente sem o devido tratamento (BHATNAGAR; SILLANPAA, 2010). Desse modo, deve-se destacar que efluentes como os têxteis, ao serem lançados nos corpos hídricos causam alteração da cor, devido a presença de corantes que não se fixaram em tecidos durante o tingimento prejudicando o meio ambiente (COSTA; FURMANSKI; DOMINGUINI, 2015).

Na produção de alimentos de origem vegetal há ocorrência de inúmeras perdas devido à fatores como amadurecimento, colheita tardia, excesso de chuva, seca, armazenamento inadequado, desperdício da não utilização integral de alimentos entre outros (DAMIANI *et al.*, 2011). Esses fatores geram um grande volume de resíduos que são descartados inapropriadamente, gerando poluição. Dessa maneira, a utilização de tais resíduos na produção de biocarvão ativado (BCA) é benéfica por minimizar possíveis impactos desse material no meio ambiente e por ser um processo alternativo de reutilização dos mesmos.

Os carvões ativados são produtos obtidos da pirólise de matéria orgânica, possuem estrutura porosa, altas áreas de superfície específica e elevada capacidade de sorção. As propriedades texturais e de superfície são influenciadas pelo material precursor e pelo método de preparação. Além disso, a capacidade de adsorção é dependente da área específica do mesmo, do tamanho do poro e dos grupos funcionais e de superfície existentes (DURAL *et al.*, 2011).

A elaboração de BCA pode ser realizada a partir de qualquer substância orgânica que possua elevado teor de carbono. Assim, materiais constituídos por pectinas, ligninas, hemicelulose e celulose, quando ativados por método químico podem produzir carvões ativados com alta porosidade por sofrerem hidrólise, desidratação e condensação (LINHARES; MARCÍLIO; MELO, 2016).

A adsorção pode ser definida como operação de transferência de massa do tipo sólido – fluido, a qual permite a concentração de substâncias existentes em soluções líquidas ou gasosas na sua superfície possibilitando a separação de componentes. Dessa maneira, a quantidade total adsorvida varia de acordo com a superfície do sólido. É importante ressaltar, que o BCA possui várias aplicações na indústria, dentre elas, o branqueamento de soluções de açúcar; óleos vegetais e minerais; recuperação de vitaminas em mostos de fermentação; remoção de contaminantes industriais entre outros (MORAIS, 2014). Além do mais, a adsorção por meio da utilização de BCA proveniente de

resíduos é considerada de baixo custo e possui desempenho melhor em relação a outras metodologias, pois possibilita a reutilização de água após sua purificação (COSTA; FURMANSKI; DOMINGUINI, 2015).

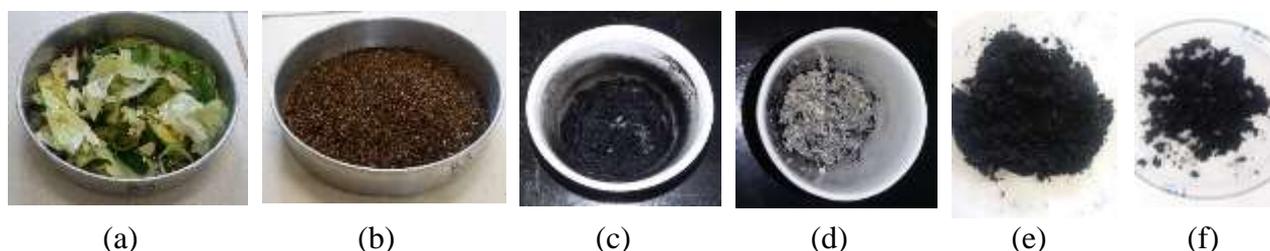
Portanto, o objetivo do presente trabalho consistiu na produção de carvões ativados a partir de resíduos vegetais utilizando ácido fosfórico e acetato de sódio como agentes de ativação, em dois tempos de residência para a pirólise.

Material e métodos

Elaboração do biocarvão ativado

Os resíduos de vegetais utilizados para a elaboração do carvão foram recolhidos no restaurante universitário, do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG localizado em Montes Claros – MG. Na Figura 1 estão apresentadas ilustrações das etapas do processo de produção do biocarvão ativado (BCA).

Figura 1 – Etapas da produção de biocarvão



Fonte: Dos autores, 2019.

Legenda: a: resíduo úmido; b: resíduo seco triturado e peneirado; c: biocarvão carbonizado com ácido fosfórico, d: biocarvão carbonizado com acetato de sódio; e: biocarvão final ativado com ácido fosfórico; f: biocarvão final ativado com acetato de sódio.

Os resíduos (Figura 1-a) foram inicialmente triturados em multiprocessador de modo a aumentar a superfície de contato e direcionados para a secagem em estufa a 105 °C por 24 horas. Após a secagem as amostras foram novamente trituradas em multiprocessador e peneiradas em peneira de 10 mesh (Figura 1-b). Em seguida, as amostras foram impregnadas com uma solução comercial de H_3PO_4 85% (em massa) P.A., a qual foi diluída para 28% em massa com o intuito de ativar o material sendo o processo realizado na proporção de 1:10. Para ativação com acetato de sódio foi utilizada uma proporção de 300% (m/m) de ativante por amostra. Foi utilizada uma solução de 3% de acetato sódio a partir de uma solução estoque de 6%. O processo de ativação foi feito em

duplicata utilizando agitador orbital durante 12 horas para efetuar a homogeneização das amostras. Após a impregnação as amostras foram secas em estufa a 105 °C durante 12 horas antes de seguirem para a etapa de pirólise.

A pirólise das amostras foi efetuada em mufla à temperatura de 500°C, com tempos de residência de 15 e 30 minutos e executada em 2 repetições, de acordo com as amostras obtidas no processo de ativação. Foram realizadas duas lavagens de cada amostra de carvão produzida, sendo a primeira, a temperatura ambiente e a segunda lavagem, em agitador orbital durante 30 minutos, com água aquecida e, em seguida as amostras foram filtradas. Tais lavagens, tem como finalidade desobstruir os poros do BCA e remover o ativante da superfície do mesmo. Assim, as amostras foram direcionadas novamente para secagem em estufa durante 12 horas a temperatura de 105°C.

Analisou-se o rendimento dos carvões a partir da massa inicial do precursor seco e peneirado e a massa final de BCA após ser lavado e seco.

Avaliação da adsorção

Foi realizada a análise do Índice de Azul de Metileno (IAM) segundo a metodologia empregada por Mocelin (2007) com adaptações. Assim, 0,5 g de BCA foi colocado em 200 mL de solução de azul de metileno com concentração de 57 mg/L (obtida a partir de uma solução inicial de 1,14 g/L) em erlenmeyer. Esse conjunto foi submetido à agitação por 60 minutos em mesa agitadora, sendo previamente efetuada a construção da curva de calibração conforme metodologia de Mocelin (2007). Após a adsorção, a solução foi filtrada e pipetou-se 1 mL da solução em balão volumétrico de 100 mL e determinou-se a concentração em espectrofotômetro da marca Shimadzu com comprimento de onda de 624 nm.

A análise do Número de Iodo (NI) baseou-se na metodologia descrita por Moraes (2014) com adaptações. Dessa maneira, foram inseridos 0,5 g de BCA em erlenmeyers contendo 50 ml de solução de iodo (I₂) a 0,1 mol/L, os mesmos foram levados para agitação por 15 min em mesa agitadora e filtrados. Logo, foi possível determinar a concentração remanescente de iodo através de titulação com solução de tiosulfato de sódio 0,5 mol/L. Para o cálculo do NI (valor de iodo em miligramas, adsorvido por um grama de BCA), foi subtraído a quantidade em miligramas de iodo na solução inicial de iodo (0,1 mol/L) da quantidade em miligramas de iodo na solução titulada com tiosulfato de sódio 0,5 mol/L, após a filtração

Análise estatística

O experimento foi realizado em delineamento fatorial 2x2, sendo, dois tempos de residência de pirólise e dois agentes para ativação. Os dados foram submetidos ao teste F e de Tukey com nível de significância de 5%

Resultados e discussão

Os valores encontrados para o rendimento utilizando ácido fosfórico por 15 e 30 minutos de incineração foram de $21,77 \pm 2,02$ % e $21,58 \pm 2,50$ %, respectivamente. Para os tratamentos com acetato de sódio, foram obtidos valores de $19,80 \pm 0,89$ % e $17,71 \pm 1,63$ % para os tempos de 15 e 30 minutos de incineração, respectivamente. Observa-se que os biocarvões ativados (BCA) com ácido fosfórico apresentaram rendimento levemente superior em relação aos ativados com acetato. Linhares, Marcílio e Melo (2016), realizaram lavagem após a pirólise e obtiveram rendimento para um BCA com ácido fosfórico de 37,2%, valor superior ao deste estudo. Assim, pode-se inferir que a etapa de lavagem do BCA e filtração posterior foram fatores que prejudicaram o rendimento dos carvões em razão das perdas principalmente na etapa de filtração.

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados estatísticos para a análise do índice de azul de metileno e número de iodo para os carvões ativados com ácido fosfórico e acetato de sódio e o resultado para a variável tempo.

Conforme o delineamento fatorial realizado, na análise de azul de metileno, a interação, reagente de ativação e tempo de residência de pirólise não foi significativo, entretanto, avaliando de forma independente, verificou-se que as variáveis, tempo de residência e reagente de ativação interferem no resultado. Desse modo, de acordo com os resultados expressos na Tabela 2 o ácido fosfórico promoveu maior percentual de adsorção em azul de metileno e diferiu estatisticamente do acetato de sódio para um nível de significância de 5%. Quanto à análise do tempo para o mesmo fator, 30 minutos de pirólise promoveu maior percentual de adsorção em azul de metileno e diferiu estatisticamente do tempo de 15 minutos para um nível de significância de 5%. Já para a análise do NI, percebeu-se que a interação reagente versus tempo não foi significativa, dessa maneira, ao examinar as variáveis de forma independente o fator reagente interferiu nos resultados já o tempo não. Logo, o ácido fosfórico promoveu maior valor do NI e diferiu estatisticamente do acetato de sódio para um nível de significância de 5%.

Tabela 1 – Análise de variância entre os fatores tempo e reagente utilizados na produção do BCA

	GL	SQ	QW	Fc	Pr>Fc
Azul de Metileno					
Reagente	1	0,79322	0,79322	468,79	0,00000
Tempo	1	0,04982	0,04982	29,44	0,000153
Reagente*tempo	1	0,00575	0,00575	3,40	0,090032
Resíduo	12	0,02030	0,00169		
Total	15	0,86909			
Número de iodo					
Reagente	1	32211	32211	24.5718	0.00033
Tempo	1	2674	2674	2.0400	0.17872
Reagente*tempo	1	1120	1120	0.8541	0.37360
Resíduo	12	15731	1311		
Total	15	51736			

Fonte: Dos autores, 2019.

Legenda: GL: Grau de liberdade; SQ: Soma dos quadrados, QW: Quadrado médio; Fc: F de Snedecor calculado; Pr > Fc: probabilidade associada ao F calculado

Tabela 2 – Resultados para a avaliação da adsorção dos carvões ativados

Tempo/Reagente	IAM (%)	NI (mg/g)
30 min	99,26±0,26 a	1414,50±49,93 a
15 min	99,15±0,22 b	1440,36±67,57 b
Ácido fosfórico	99,43±0,09 A	1472,30±48,23 A
Acetato de sódio	98,98±0,05 B	1382,56±21,51 B

Fonte: Dos autores, 2019.

Legenda: IAM: índice de azul de metileno; NI: número de iodo.

Nota: Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam que a variável tempo diferiu significativamente pelo teste de tukey a 5% de significância. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam que a variável reagente diferiu significativamente pelo teste de tukey a 5% de significância.

O número de iodo de um carvão está ligado a quantidade de microporos, sendo assim, segundo Loureiro (2012) para que um carvão ativado possua boa capacidade de adsorção deve apresentar no mínimo 500 mg/g desse fator. De acordo, com NI encontrado no presente trabalho, observa-se um resultado superior a esse mínimo, destacando-se o BCA com ácido fosfórico que apresentou 1472,30 mg/g. Rosada *et al.* (2005) obteve NI equivalente a 1358,5 mg/g para carvão ativado com ZnCl₂ a partir de lodo de esgoto sanitário, já Morais (2014) encontrou valores utilizando os ativantes KOH e

H₃PO₄ de 322,58 mg/g e 384,81 mg/g, respectivamente para carvões produzidos de mesocarpo de coco-da-baía. Mocelin (2007) em ensaio de produção de carvão a partir de lodo alcançou valor de NI igual a 618 mg/g. Esses dados, permitem inferir que os resultados encontrados no presente trabalho, para tal fator, demonstraram a viabilidade destes resíduos, aliado à técnica de ativação proposta, destacando-se o uso do ácido fosfórico como ativante.

De acordo com Morais (2014), o IAM reflete a quantidade e qualidade de mesoporos presentes no adsorvente. Constatou ainda que, a remoção de azul de metileno para carvões com granulometrias de 48 e 325 mesh, com intervalo de remoção de azul de metileno entre 88,54% e 97,73%. Já o estudo aqui realizado, atingiu 99,43% para ácido fosfórico e 98,98% para acetato de sódio, demonstrando ser superior a literatura citada. Conforme Borges *et al.* (2015) a área superficial e as propriedades químicas da superfície dos carvões implicam no potencial de adsorção. Dessa maneira, apesar de não ter sido realizadas análises mais detalhadas da sua composição química, os resultados se mostram satisfatórios e pode-se destacar que a utilização de resíduos de vegetais para a produção de carvão é relevante.

Conclusão

De acordo com o que foi exposto, pode-se concluir que a etapa de lavagem dos carvões influenciou no rendimento dos mesmos. Além do mais, a avaliação da adsorção indicou que para o índice de azul de metileno e número de iodo o carvão ativado com ácido fosfórico apresentou maior adsorção em relação ao ativado com acetato de sódio. Já para o tempo, houve diferença significativa apenas para a análise de azul de metileno. Dessa maneira, ao comparar os dados deste estudo com encontrados em literatura inferiu-se que os carvões ativados obtidos de resíduos vegetais se demonstram promissores para aplicação em processos de adsorção.

Agradecimentos

Aos funcionários do restaurante universitário do ICA/UFMG pela coleta dos resíduos utilizados como matéria-prima deste estudo e ao professor Christian Cabacinha pela realização das análises estatísticas.

Referências

- BHATNAGAR, A.; SILLANPAA, M. Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment-A review. **Chemical Engineering Journal**, v. 157, p. 277-296, 2010.
- BORGES, W. M. S. *et al.* Carvão ativado de resíduo de madeira de candeia: produção, caracterização e avaliação do potencial adsorptivo. **Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 1952-1967, 2015.
- COSTA, P. D.; FURMANSKI, L. M.; DOMINGUINI, L. Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de casca de nozes para adsorção de azul de metileno. **Virtual de Química**, v. 7, n. 4, p. 1272-1285, 2015.
- DAMIANI, C. *et al.* Aproveitamento de resíduos vegetais para produção de farofa temperada. **Alimentos e Nutrição**, v. 22, n. 4, p. 657-662, 2011.
- DURAL, M. U. *et al.* Methylene blue adsorption on activated carbon prepared from *Posidonia oceanica* (L.) dead leaves: kinetics and equilibrium studies. **Chemical Engineering Journal**, v. 168, p. 77-85, 2011.
- LINHARES, F. A.; MARCÍLIO, N. R.; MELO, P. J. Estudo da produção de carvão ativado a partir do resíduo de casca da acácia negra com e sem ativação química. **Scientia cum Industria**, v.4, n. 2, p. 74-79, 2016.
- LOUREIRO, L. F. **Avaliação da adsorção do herbicida 2,4-D em carvão ativado em pó e granular por meio de análises de isotermas de adsorção utilizando diferentes qualidades de água.** 2012. 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal Do Espírito Santo, Vitória, 2012.
- MOCELIN, C. **Pirólise de lodo de esgoto sanitário: produção de adsorvente e óleos combustíveis.** 2007. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- MORAIS, E. D. **Produção do carvão ativado a partir do mesocarpo do coco-da-baía (cocosnuciferalinn) utilizando H₃PO₄, CH₃COONa e KOH como ativantes.** 2014. 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
- ROSADA, F. *et al.* Producing adsorbents from sewage sludge and discarded tyres characterization and utilization for the removal of pollutants from water. **Chemical Engineering Journal**, v. 114, p. 161-169, 2005.