

PÉRCIA GRACZYK DE SOUZA

**CARVÃO ADSORVENTE PRODUZIDO A PARTIR DE BANANAS APLICADO NA
RETENÇÃO DE IMPUREZAS DA ÁGUA**

TANGARÁ DA SERRA/MT – BRASIL

2017

PÉRCIA GRACZYK DE SOUZA

**CARVÃO ADSORVENTE PRODUZIDO A PARTIR DE BANANAS APLICADO NA
RETENÇÃO DE IMPUREZAS DA ÁGUA**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Tadeu Miranda de Queiroz

TANGARÁ DA SERRA/MT – BRASIL

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte

S725c Souza, Pércia Graczyk de

Carvão Adsorvente Produzido A Partir De Bananas Aplicado Na
Retenção De Impurezas Da Água. -- Tangará da Serra – MT / Pércia
Graczyk de Souza. 2017.

61 f.

Orientador: Dr. Tadeu Miranda de Queiroz.

Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ambientes e Sistemas
de Produção Agrícola. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT
– Campus de Tangará da Serra/MT, 2017.

Bibliotecária: Suzette Matos Bolito – CRB1/1945.

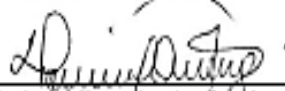
PÉRCIA GRACZYK DE SOUZA

**CARVÃO ADSORVENTE PRODUZIDO A PARTIR DE BANANAS APLICADO NA
RETENÇÃO DE IMPUREZAS DA ÁGUA**

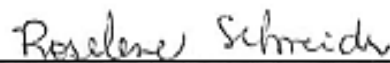
Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 21 de Fevereiro de 2017

Banca Examinadora



Prof. Dr. Sc. Tadeu Miranda de Queiroz (orientador)
Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT



Prof. Dra. Sc. Roselene Maria Schneider (membro externo)
Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT



Prof. Dra. Sc. Edinéia Aparecida dos Santos Galvanin (membro interno)
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT

TANGARÁ DA SERRA/MT – BRASIL

2017

DEDICATÓRIA

À minha mãe Ighes Terezinha Graczyk, meu exemplo de perseverança, me motivou a insistir em meus sonhos acreditando que tudo é possível. Basta ter fé e força para lutar por eles. Ao meu pai José Francisco de Souza (em memória), meu grande e eterno incentivador.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser o principal responsável por todas as bênçãos da minha vida, por me permitir saúde, sabedoria e o companheirismo de várias pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Entre essas pessoas, agradeço quem me ofereceu a mão e orientou de forma única, lapidando uma profissional que a princípio não sabia ao certo quais caminhos trilhar. Meu professor e orientador Tadeu Miranda de Queiroz, obrigada por creditar em mim, ser paciente e ao mesmo tempo extremamente rígido e exigente. Seus inúmeros ensinamentos transcenderam os limites do meio acadêmico, de maneira que sua orientação foi essencial para a conclusão deste trabalho. Tenho orgulho de tê-lo como “Pai científico”! Muito obrigada.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola e aos colegas de turma, parceiros nas rotinas de estudo durante as disciplinas e no decorrer da pesquisa desenvolvida.

À Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT e aos profissionais da instituição, agradeço por me apoiarem.

Em especial agradeço ao professor José Wilson Pires Carvalho e a professora Claudinéia Aparecida Queli Geraldi, que não mediram esforços para me auxiliar nesta pesquisa.

Aos colegas de trabalho e também amigos, que de uma forma ou outra me ajudaram e me acompanharam nas atividades de laboratório, entre outros momentos que dedicaram carinho e atenção durante essa jornada: Joselene, Letícia, Thaís, Thaynara, Débora e Marcelo.

À CAPES e a FAPEMAT pela contribuição com o financiamento da bolsa de estudo.

À minha família e amigos, que me apoiaram além da pesquisa que estava sendo desenvolvida, oferecendo uma palavra de conforto ou de perseverança. Sou grata pelo apoio incondicional.

SUMÁRIO

	Páginas
RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
INTRODUÇÃO GERAL	8
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	9
ARTIGO 1: Preparação de briquetes de carvão a partir dos frutos da bananeira	10
ARTIGO 2: Caracterização de carvões adsorventes desenvolvidos a partir dos frutos da bananeira	23
ARTIGO 3: Eficiência de adsorção de sódio e cloretos utilizando carvões adsorventes feitos com bananas.....	38
CONSIDERAÇÕES FINAIS	52

RESUMO

A bananicultura é uma atividade agrícola amplamente praticada no Brasil. No Mato Grosso a produção de banana possui destaque por ser uma das práticas mais desenvolvidas em diversas regiões do estado. Como consequência da ampla produção e consumo do fruto há o acúmulo de subprodutos considerados resíduos orgânicos. O reaproveitamento destes rejeitos apresenta potencial para o desenvolvimento de diversos produtos e se associa a minimização de possíveis impactos ambientais. Dentre eles, a elaboração de materiais carbonáceos adsorventes tornou-se foco da presente pesquisa, com o objetivo de produzi-los utilizando bananas verdes e maduras, na composição de casca, polpa e integral. O trabalho foi dividido em três artigos, sendo que o primeiro artigo trata do desenvolvimento de briquetes de carvão com finalidade adsorvente. Foram elaborados 12 tipos de briquetes, considerados materiais precursores. Estes foram submetidos à impregnação com solução de KOH e carbonizados em forno mufla. Na caracterização dos blocos foram determinados o volume final, rendimento em volume, densidades aparente e relativa, e porosidade total. Foram obtidos briquetes com formato bem definido, com exceção dos elaborados com a polpa de banana verde. Os volumes dos adsorventes produzidos com bananas maduras apresentaram menor rendimento. Observou-se também que os briquetes desenvolvidos a partir de bananas maduras são mais densos e ao mesmo tempo providos de maior porosidade total. Isso os torna mais propícios para a confecção de briquetes carbonáceos adsorventes. O segundo artigo teve por objetivo a caracterização dos carvões adsorventes elaborados a partir das bananas. Avaliaram-se os 12 tipos de carvões produzidos, em relação às variáveis: rendimento, cinzas, umidade, pH, condutividade, grupos funcionais, adsorção de azul de metileno e índice de número de iodo. Além disso, as propriedades dos carvões elaborados foram comparadas com as de um carvão comercial. No terceiro artigo objetivou-se a verificação da eficiência de remoção de sódio e de cloretos dissolvidos em água, utilizando os carvões adsorventes elaborados e um carvão comercial para fins de comparação. Foram utilizados adsorbatos nas concentrações iniciais de 20, 50 e 100 ppm, e manteve-se constante a agitação das amostras, a temperatura, tempo de contato e o pH da solução. Os carvões de polpa de bananas verdes e de cascas com polpas de bananas verdes e maduras promoveram melhor adsorção de sódio. Os carvões de bananas verdes adsorveram maior quantidade de cloretos. O carvão comercial utilizado para fins de comparação removeu quantidade inferior de sódio e superior de cloretos, quando comparado aos carvões de bananas.

Palavras-chave: *Musa spp*, Adsorção, Reaproveitamento, Rejeitos, Bananicultura.

ABSTRACT

Banana crop is a widely farming practice in Brazil. In Mato Grosso banana production has featured as one of the most produced fruit in several regions of the state. As a result of extensive production and consumption of the fruit, there is an accumulation of by-products considered organic waste. The recycling of these wastes has potential for developing several products and it is associated with the minimization of potential environmental impacts. Among them, the preparation of carbonaceous adsorbent materials has become the focus of this research, in order to produce them using green and ripe bananas in the peel composition, pulp and full. The work is divided into three articles, being that the first article is the development of adsorbent charcoal briquettes. It was developed 12 briquettes types, considered precursor materials. These were subjected to impregnation with KOH solution and carbonized in a muffle furnace. In the characterization of the blocks, it was determined the final volume, yield in volume, and apparent relative density and total porosity. It was obtained briquettes with well-defined format, except those ones made of green banana pulp. The volumes of adsorbents produced with ripe bananas showed lower yield. It was also observed that the briquettes developed from ripe bananas are denser, and at the same time, assigned of higher total porosity. This fact makes them more amenable to the production of carbonaceous adsorbents briquettes. The second article aimed to characterize the adsorbent carbons made from bananas. We evaluated 12 kinds of coals produced by the following parameters: yield, ash, moisture, pH, conductivity, functional groups, methylene blue adsorption and iodine number. Furthermore, the properties of the processed coals were compared with those of a commercial coal. The third article had as objective at checking removal efficiency of sodium and chloride dissolved in water, using the prepared adsorbents carbons and also a commercial carbon for comparison purposes. Adsorbates were used at the initial concentrations of 20, 50 and 100 ppm, and the stirrer table frequency, temperature, contact time, and pH of the solution remained constant. The carbons of green banana pulp and of peels with pulps of green and ripe banana promoted better sodium adsorption. Green banana carbons adsorbed more chlorides. Commercial coal used for comparison removed lower amounts of sodium and higher chlorides from banana coals.

Keywords: *Musa spp*, Adsorption, Reuse, Waste, Banana Plantations.

INTRODUÇÃO GERAL

A banana é uma fruta amplamente cultivada e consumida no mundo, atualmente no Brasil ocupa o segundo lugar entre as frutíferas, tendo área plantada de 523.976 hectares e 476.348 hectares de área colhida no ano de 2015. No estado de Mato Grosso a bananicultura possui importância social e econômica, pois apresenta-se em diversas regiões do estado, e se destaca em volume de produção dos frutos, com cerca de 75.362 toneladas produzidas anualmente (IBGE, 2016).

Não é de hoje que esse fruto tropical, de alta perecibilidade, está sujeito a consideráveis perdas de sua produção devido às falhas de tecnologia durante o cultivo, manejo de colheita e pós-colheita. Segundo Decolli et al. (2010) perde-se muita banana na comercialização em razão das inadequadas condições de transporte, armazenamento e excessiva manipulação dos frutos, além dos fatores patogênicos.

Dessa forma, as perdas tornam-se rejeitos e quando descartados inapropriadamente podem ocasionar prejuízos ao meio ambiente. Conforme Ahmedna et al. (2000), os resíduos em geral têm pouco valor econômico e a sua conversão em materiais carbonáceos representa uma alternativa renovável para minimizar os impactos ambientais, causados pelo acúmulo de rejeito se ao mesmo tempo reduzir custos de produção de carvões adsorventes, muito utilizados em tratamento de águas residuais, entre outras aplicações.

Os resíduos da bananicultura, por sua vez, possuem potencial para a geração de produtos alimentares processados, combustível renovável, fibras, fertilizantes, bem como materiais adsorventes (PADAM et al., 2014). Boniolo et al. (2010) relataram que a casca de banana é uma biomassa residual de baixo custo e o biossorvente produzido torna-se alternativa para tratamentos de águas residuárias. Além disso, Sugumaran et al. (2012) afirmam que os rejeitos da bananeira podem ser utilizados em aplicações como: tratamento de água potável, adsorção de corantes e metais pesados em efluentes industriais.

Diante do exposto, o objetivo da pesquisa foi desenvolver e testar carvões adsorventes elaborados com bananas verdes e maduras, adquiridas nos períodos de seca e chuva do ano, utilizando-se de cascas, polpa e cascas com polpa. Assim a pesquisa foi dividida em três artigos, o primeiro trata do processo de elaboração dos carvões na forma de briquete e sua caracterização como tal. O segundo aborda

a caracterização dos tipos de adsorventes elaborados e os compara ao carvão comercial. O terceiro tem como objetivo avaliar a eficiência de remoção de sódio e íons de cloreto dissolvidos na água pelos dos adsorventes desenvolvidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMEDNA, M.; MARSHALL, W. E.; RAO, R. M. **Granular-activated carbons from agricultural byproducts**: preparation, properties, and application in cane sugar refining. Louisiana State: University Agricultural Center, 2000. 56 p. (Bulletin 869).

BONIOLO, M. R.; YAMAURA, M.; MONTEIRO, R. A.; Biomassa residual para remoção de íons de urânio. **Química Nova**, v. 33, n. 3, p. 547-551, 2010.

DECOLLI, K. M.; LENZA, J. B.; CHAUCAR, A. P. P.; ALMEIDA, S. F.; BEZERRA, E. L. Comércio Cuiabano de *Musa SP.*: Origem, preferência, demanda e perdas. **UNICIÊNCIAS**, v.14, n.2, p. 47-62, 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**, Rio de Janeiro, v. 29, n.6, p.1-79, junho 2016.

PADAM, B. S.; TIN, H. S.; CHYE, F. Y.; ABDULLAH, M. I. Banana by-products: an under-utilized renewable food biomass with great potential. **Journal Food Science Technology**, Índia, v. 51, n. 12, p. 3527-3545, dez. 2014.

SUGUMARAN, P.; PRIYA SUSAN, V.; RAVICHANDRAN, P.; SESHADRI, S. Production and characterization of activated carbon from banana empty fruit bunch and *Delonix regia* fruit pod. **Journal of Sustainable Energy & Environment**, v. 3, p. 125-132, 2012.

PREPARAÇÃO DE BRIQUETES DE CARVÃO A PARTIR DOS FRUTOS DA BANANEIRA¹

[Revista Cerne]

RESUMO: Neste trabalho objetivou-se desenvolver e determinar as características físicas de briquetes de carvões para fins adsorventes a partir de bananas verdes e maduras, adquiridas em dois períodos anuais, utilizando-se de cascas, polpa e cascas com polpa na composição. Foram avaliados os parâmetros volume, rendimento em volume, densidade aparente e relativa e porosidade total. Observou-se que apenas o briquete de carvão elaborado com a polpa de banana verde não manteve o formato no decorrer do processo de confecção. O rendimento em volume dos briquetes elaborados com bananas maduras foi inferior aos demais. Os briquetes elaborados com bananas maduras apresentaram maior densidade aparente, relativa e porosidade total. Conclui-se que a compactação manual dos briquetes precursores feitos com bananas permite a elaboração de briquetes de carvão, com exceção dos elaborados com a polpa de banana verde. A polpa de banana verde apresentou características de excelente agente ligante. Bananas adquiridas no período chuvoso promoveram a melhor combinação de resultados para briquetes de carvão com finalidade adsorvente, assim como os briquetes feitos com polpa de bananas maduras ou contendo apenas cascas em sua composição.

Palavras-chave: adsorventes, briquetagem, reaproveitamento, bananicultura.

PREPARATION OF CARBON BRIQUETTES FROM THE FRUITS OF BANANA PLANTAIN

ABSTRACT: The objective of this work was to develop and determine the physical characteristics of charcoal briquettes for adsorbent purposes from green and ripe bananas, acquired in two annual periods, using peel, pulp and peel with pulp in the composition. The parameters volume, volume yield, apparent and relative density, and total porosity were evaluated. It was observed that only the carbon briquette prepared with the green banana pulp did not maintain the shape during the making

¹ Pedido de Patente Depositado no INPI – Processo N° BR 10 2016 004811 7

process. The volume yield of the briquettes prepared with mature bananas was lower than the others. The briquettes elaborated with mature bananas presented higher density, relative, and total porosity. It is concluded that the manual compaction of the precursor briquettes made with bananas allows the preparation of charcoal briquettes, except those elaborated with the green banana pulp. The green banana pulp proved to be an excellent binding agent. Bananas purchased in the rainy season promoted the best combination of results for carbon briquettes with adsorbent purpose, as well as briquettes made from ripe banana pulp or containing bark only in composition.

Keywords: adsorbents, briquetting, reuse, banana crop.

INTRODUÇÃO

O significativo crescimento das atividades agroindustriais se dá em virtude do aumento da demanda dos consumidores e também da aptidão agrícola brasileira. Mas em decorrência disso há produção de grande quantidade de resíduos, e quando descartado inadequadamente é capaz de acarretar impactos negativos ao meio ambiente (SANT'ANNA et al., 2012). Soma-se a isto a produção de rejeitos provenientes das etapas de produção dos alimentos e consumo, em que, segundo a FAO (2013), cerca de 1,3 milhões de toneladas são descartadas no mundo.

Na bananicultura as perdas se relacionam aos fatores fitotécnicos, patogênicos e, principalmente, na comercialização, haja vista os problemas no armazenamento, condições de transporte, além das injúrias provocadas pela excessiva manipulação dos frutos pelos consumidores (DECOLLI et al., 2010).

O problema com o acúmulo de resíduos orgânicos gerado após o processamento de matérias primas da agroindústria ou pelo consumo doméstico pode ser minimizado com o aproveitamento dos mesmos na elaboração de diversos produtos.

Entre esses produtos, o desenvolvimento de briquetes a partir de biomassas residuais da produção agrícola vem sendo estudado, pois a opção pode ser utilizada como fonte de energia renovável em processos de gaseificação e combustão, associado à diminuição de custos das empresas (SELLIN et al., 2013).

Além disso, os briquetes podem possuir características adsorventes, embora sua área superficial seja inferior aos adsorventes pulverizados, de acordo com Deiana et al. (2004) para algumas finalidades são requisitados maior resistência mecânica, e comumente adquire-se com a briquetagem.

A metodologia de confecção de briquetes consiste na compactação utilizando prensa e temperaturas elevadas combinadas a um material ligante ou não, que transforma massas residuais homogeneizadas em blocos sólidos, e estes podem se apresentar *in natura* ou carbonizados (FURTADO et al., 2010).

Este estudo buscou desenvolver e caracterizar fisicamente briquetes de carvões confeccionados com compactação manual sem adição de agentes ligantes, a partir de massas de bananas verdes e maduras, empregando-se cascas, polpa, e cascas com polpa (integral), sendo os frutos adquiridos nos períodos de seca e chuva, uma vez que diferentes regimes hídricos podem interferir nas características fisiológicas dos frutos e promover diferenças nos materiais precursores utilizados.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na cidade de Barra do Bugres – MT, onde bananas verdes e maduras, da variedade Terra, foram adquiridas na época de seca (agosto a outubro) e de chuva (dezembro a fevereiro), totalizando 5 coletas em cada período. As etapas de elaboração dos briquetes de carvão, desenvolvidos neste trabalho, estão apresentadas na Figura 1.

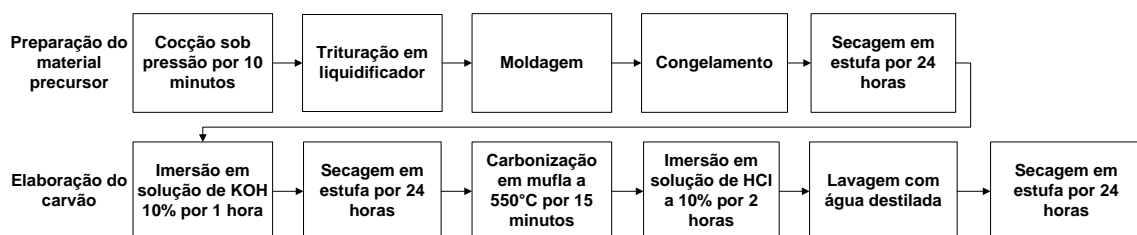


FIGURA 1 Etapas do processo de elaboração dos briquetes de carvão

As bananas foram higienizadas e submetidas à cocção sob pressão durante 10 minutos. Precedendo a etapa de trituração em liquidificador industrial, as bananas foram separadas em porções que continham apenas cascas, polpa ou

cascas com polpa (integral), dando origem a massas com três diferentes composições, tanto para os frutos verdes quanto para os maduros.

Após a obtenção das massas foram elaborados blocos utilizando moldes cilíndricos de diâmetro interno igual a 42,80 mm e aproximadamente 22 mm de altura, que foram congelados, retirados dos moldes e secos em estufa a 105 °C por 24 horas, dando origem aos briquetes precursores.

Então, os briquetes precursores passaram por imersão em solução de KOH 10%, onde permaneceram por 1 hora e, posterior, secagem em estufa a 105 °C por 24 horas. Depois foram carbonizados em mufla (550 °C) durante 15 minutos; imersos em solução de HCl 10%, permanecendo por 2 horas; lavados com água destilada para retirar o residual ácido; e por fim secos em estufa a 105 °C por 24 horas (Adaptado de SUGUMARAN et al., 2012).

Quanto à caracterização física dos briquetes de carvão, foi determinado o volume, medindo a altura e o diâmetro dos blocos com paquímetro e o rendimento em volume foi calculado pela equação:

$$R = \frac{V}{V_o} \times 100$$

Em que:

V é o volume final do briquete de carvão

V_o é o volume inicial estimado do molde

A densidade aparente, relativa e a porosidade total dos briquetes foram determinadas conforme Embrapa (1997). Para determinar a densidade aparente utilizou-se a metodologia do torrão parafinado. Já para a densidade relativa utilizou-se balão volumétrico, em que pesou-se cerca de 1 grama de amostra em balão volumétrico de 25 mL, previamente macerada e seca em estufa a 105 °C por 24 horas, e foi aferido o volume com álcool etílico 96%. Dessa forma, a porosidade total dos blocos foi calculada pela equação:

$$P = \left(1 - \frac{Da}{Dr} \right) \times 100$$

Em que:

P é a porosidade total, %;

Da é a densidade aparente, g/cm³;

D_r é a densidade relativa, g/cm³.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise estatística com auxílio do *Software Assistat 7.7 beta* versão livre. Aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificação da normalidade. Quando os dados foram considerados não paramétricos aplicou-se o teste de Kruskal-Wallis, e para os demais ANOVA para verificar diferenças significativas.

Utilizou-se o experimento inteiramente casualizado para as variáveis volume e rendimento em volume, a fim de comparar médias entre as composições dos briquetes elaborados. Para as variáveis densidade aparente, relativa e porosidade total, utilizou-se o experimento fatorial, considerando como fatores: o período de aquisição dos frutos (seca e chuva), estágio de maturação (verde e maduro) e composição (casca, polpa e integral).

Para comparação das médias foi aplicado o teste de Scott-Knott ($P < 0,01$) e ($P < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A metodologia aplicada para obtenção dos briquetes precursores fez os mesmos assumirem o formato ao qual foram moldados, no entanto, quando submetidos à secagem perderam umidade e na carbonização os demais compostos voláteis, e por consequência à redução do tamanho em volume. Com exceção dos briquetes elaborados com a polpa da banana verde, não houve desintegração dos blocos cilíndricos formados até o final do processamento (Figura 2).



FIGURA 2 Massa de polpa da banana madura em molde cilíndrico de PVC (A); Briquete precursor seco (B); Briquete de carvão (C)

Os briquetes elaborados com a polpa de bananas verdes se desfizeram na etapa de imersão em solução de KOH, mas suas partes quebradiças voltaram a se ligar durante a carbonização, assumindo nesta etapa formatos distintos ao material precursor. Por isso, não foi avaliado o volume final desse tipo de briquete.

De acordo com Ramos et al. (2009), a polpa da banana verde possui grande quantidade de amido e, segundo Denardin e Silva (2009), esse componente é o responsável por promover características gelatinosas quando submetido ao tratamento hidrotérmico, que após o congelamento e descongelamento sofre retrogradação e sinérese, visto que as pontes de hidrogênio, fortemente estabelecidas entre as moléculas dos grânulos de amido, se reorganizam formando uma rede e expulsam grande parte da água absorvida pelos grânulos durante a cocção.

Com a secagem, os briquetes feitos com polpa de banana verde foram completamente desidratados, o que possivelmente enfraqueceu a formação dos mesmos e promoveu a desintegração ao serem submetidos novamente à imersão aquosa em solução alcalina.

A ação ligante no momento da carbonização, desempenhada pelo material precursor feito a partir de polpa de bananas verdes, pode ser explicada pelos estudos de Martins et al. (2016) que relataram maior compactação e estabilidade para briquetes elaborados com o amido como o principal agente ligante.

Quanto ao volume, os briquetes de carvão apresentaram diferenças significativas para a maioria dos tipos avaliados, apenas os tipos elaborados com polpa e polpa com cascas (integral) de bananas maduras são similares devido à presença da polpa do fruto em suas composições (Tabela 1).

TABELA 1 Médias do volume final e do rendimento em volume dos briquetes de carvão

Carvões	Denominações	Volume final	Rendimento em
		(cm ³)	volume (%)
Cascas de bananas verdes	VC	14,22b	44,93b
Polpa de bananas verdes	VP	-	-
Polpa com cascas de bananas verdes (integral)	VI	17,54a	54,53a
Cascas de bananas maduras	MC	11,44c	36,13c
Polpa de bananas maduras	MP	7,38d	23,33d
Polpa com cascas de bananas maduras (integral)	MI	7,65d	24,18d
CV%		16,87	16,01

Médias seguidas de letras diferentes na coluna possuem diferenças significativas pelo teste de Scott-Knot a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação.

Foi possível perceber que os briquetes elaborados a partir de bananas maduras possuem maior quantidade de compostos voláteis quando comparado aos demais, que se volatilizaram na carbonização. Em função do rendimento em volume obtido, observam-se baixos percentuais e neste quesito, os carvões produzidos com polpa e cascas (integral) de bananas verdes se destacaram (Tabela 1).

No que se refere à densidade aparente houve diferenças significativas entre os briquetes produzidos com bananas verdes e maduras nas três composições (Tabela 2). Quantificou-se esta variável considerando os espaços vazios presentes no interior dos briquetes, e assim os carvões atribuídos com menor densidade aparente foram os elaborados com bananas verdes e aqueles com apenas cascas em sua composição, possivelmente devido à maior quantidade de fibras destes materiais, que conferem baixa densidade por si só, e promovem maior abertura de espaços no interior dos briquetes compactados manualmente.

A partir do coeficiente de variação é possível observar que o volume e o rendimento em volume de cada um dos tipos de briquetes de carvão elaborados possuem características da matéria prima a qual foi empregada, uma vez que o

valor do coeficiente se mostrou elevado, demonstrando a variabilidade dos dados obtidos.

TABELA 2 Médias das variáveis densidade aparente (DA), relativa (DR) e porosidade total (P) para cada fator avaliado

Variáveis	F1		F2		F3		
	Seca	Chuva	Verde	Madura	Casca	Polpa	Integral
DA ¹ (g/cm ³)	0,245a	0,253a	0,169b**	0,328a**	0,167c**	0,305a**	0,274b**
DR ¹ (g/cm ³)	0,462b**	0,552a**	0,326b**	0,688a**	0,379c**	0,603a**	0,539b**
P (%)	45,87b**	53,18a**	47,60b*	51,44a*	54,53a**	47,17b**	46,87b**

¹ variável não paramétrica submetida a análise de variância de Kruskal-Wallis. Médias seguidas de letras diferentes nas linhas para mesmo fator e variável possuem diferenças significativas pelo teste de Scott-Knot a 1% e 5% de probabilidade, **, * respectivamente.

Do mesmo modo, Maia et al. (2014) produziram briquetes *in natura* a partir de folhas da bananeira, material precursor também rico em fibras e obtiveram baixa densidade aparente (1 g/cm³), demonstrando que independente da metodologia empregada para obtenção de briquetes, a densidade será baixa quando forem utilizadas matérias primas dessa origem.

Em contrapartida, Guimarães Junior et al. (2013) afirmaram que quanto maior a densidade aparente, menor a porosidade e a absorção de água pelo material, por isso, e em função dos resultados obtidos (Tabela 2), ao serem empregados em processos de adsorção, é provável que os briquetes feitos a partir de polpas de bananas maduras desempenhem funções inferiores aos demais materiais avaliados.

Na Tabela 3 são mostradas as interações significativas entre os fatores avaliados, onde o fator período interfere na densidade aparente obtida para os briquetes elaborados com bananas maduras, demonstrando ser superior no período de chuva. As diferenças entre os briquetes de bananas maduras e verdes também são evidentes em cada tipo de composição utilizada na produção dos mesmos, entretanto, em um mesmo estágio de maturação a densidade foi igual ou semelhante quando se utilizou apenas polpa e integral, pois no último há porções representativas de polpa em sua composição.

TABELA 3 Interação entre os fatores período (F1), estágio de maturação (F2) e composição (F3) dos briquetes de carvão para a variável densidade aparente (g/cm³)

		Verde	Madura
F1 × F2*	Seca	0,178aB	0,311bA
	Chuva	0,160aB	0,345aA
F2 × F3**	Casca	0,128bB	0,206cA
	Polpa	0,188aB	0,422aA
	Integral	0,190aB	0,357bA

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knot a 1% e 5% de probabilidade, **, * respectivamente.

As densidades relativas dos briquetes de carvão elaborados se diferenciaram entre todos os fatores avaliados, sendo que as bananas adquiridas no período chuvoso promoveram maior densidade aos briquetes, da mesma forma que os materiais feitos a partir de frutos maduros e apenas com polpa em sua composição (Tabela 2). Para determinação da densidade relativa não são considerados os espaços vazios presentes no interior dos briquetes, e por isso, observa-se maiores valores quando comparados à densidade aparente que foi obtida.

Em relação à interação dos fatores avaliados para a variável densidade relativa (Tabela 4) ficam evidentes as diferenças significativas entre os briquetes feitos a partir de bananas nos estágios de maturação, verde e maduro, sejam eles combinados a qualquer período de aquisição dos frutos ou à composição em que foram produzidos. Mas, referente ao período de aquisição dos frutos, os carvões elaborados com bananas maduras no período de chuva apresentam maior densidade relativa que os demais. Soma-se a isso as diferenças obtidas somente entre as composições utilizadas de bananas maduras, demonstrando mais uma vez, que os briquetes produzidos a partir das polpas são mais densos.

TABELA 4 Interação entre os fatores período (F1), estágio de maturação (F2) e composição (F3) dos briquetes de carvão para a variável densidade relativa (g/cm³)

		Verde	Madura
F1 × F2**	Seca	0,316aB	0,608bA
	Chuva	0,336aB	0,767aA
F2 × F3**	Casca	0,303aB	0,456cA
	Polpa	0,343aB	0,862aA
	Integral	0,333aB	0,746bA

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knot a 1% de probabilidade (**).

A porosidade total dos briquetes desenvolvidos foi significativamente diferente em todos os fatores avaliados (Tabela 5). O período chuvoso, em que os frutos utilizados foram adquiridos, favoreceu um maior desenvolvimento de poros no interior dos carvões, da mesma forma que as bananas maduras proporcionaram materiais mais porosos, como o esperado, uma vez que os tipos de briquetes citados apresentaram maior densidade aparente.

TABELA 5 Interação entre os fatores período (F1), estágio de maturação (F2) e composição (F3) dos briquetes de carvão para a variável porosidade total (%)

		Casca	Polpa	Integral
F1 × F3**	Seca	50,85bA	43,54bB	43,21bB
	Chuva	58,20aA	50,79aB	50,53aB
F2 × F3**	Verde	56,58aA	44,02bB	42,21bB
	Madura	52,47aA	50,31aA	51,53aA

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knot a 1% de probabilidade (**).

Calcula-se a porosidade total pela diferença entre a densidade relativa e a aparente, portanto, quanto maior a diferença entre essas variáveis, maior será a porosidade total obtida. A determinação deste parâmetro estimou a quantidade de espaços ocupados por ar dos briquetes desenvolvidos, mas não determina o tamanho e organização dos poros que podem ser visualizados somente por meio de métodos microscópicos. Entretanto, pressupõe-se que essas aberturas favorecem processos adsorptivos.

Os briquetes elaborados a partir de cascas são ligeiramente menos densos, devido sua característica fibrosa, e por consequência, foram obtidos os materiais mais porosos (Tabela 2). Jaguaribe et al. (2005) afirmaram que a quantidade de poros de um carvão é dependente da natureza da matéria prima e da metodologia de obtenção dos mesmos, mas quando bem desenvolvidos em sua estrutura podem promover excelentes capacidades adsorventes, por isso, os briquetes de carvão feitos com cascas podem ser mais adequados para este fim.

As interações significativas referentes ao parâmetro porosidade reforçam as diferenças entre as composições utilizadas para produzir os briquetes, sendo a casca responsável por promover maior porosidade aos carvões quando comparado aos demais (Tabela 5).

Quanto à menor porosidade dos materiais, produzidos com bananas adquiridas no período de seca, é possível que a insuficiente irrigação das plantas neste período tenha acarretado a baixa disponibilidade de compostos voláteis presentes no material precursor, que poderiam ser eliminados na carbonização, promovendo a abertura de espaços vazios no interior dos briquetes elaborados.

Os briquetes elaborados com bananas maduras, com polpas e integral, foram atribuídos de maior porosidade, pois sua densidade aparente foi superior àqueles elaborados com bananas verdes. E o briquete elaborado com cascas de bananas maduras apresentou porosidade superior aos demais.

Justifica-se a viabilidade do uso de bananas maduras na produção de briquetes adsorventes, segundo opinião de Yan et al. (1996), afirmando que a força mecânica do material pode ser atribuída às matérias primas densas, ao mesmo tempo que promovem maior porosidade aos briquetes, podendo ser apropriados no interior de equipamentos com alto fluxo de determinados fluídos, pois quando entram em contato com adsorventes pulverizados se espalham e provocam problemas no equipamento.

CONCLUSÕES

Foi possível desenvolver briquetes de carvão a partir de bananas pelo método proposto, com exceção da matéria prima de polpa de bananas verdes, que por sua vez, se mostrou um excelente agente ligante quando submetido à carbonização, requerendo novos estudos que caracterizem essa propriedade.

A combinação de resultados obtidos para os briquetes de carvão elaborados com bananas, adquiridas no período chuvoso e feitos com polpas de bananas maduras, se mostrou adequada para a produção de materiais adsorventes, assim como os briquetes elaborados com as cascas do fruto.

AGRADECIMENTOS

Aos Laboratórios de Qualidade de Água (LaQua), de Engenharia de Produção Agroindustrial (LEPA) e de Matérias Primas para a Produção de Biodiesel (LMPPB) da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso pela concessão de bolsa de estudos submetida através do Edital 002/2015, Processo nº 153788/2015.

REFERÊNCIAS

DECOLLI, KM.; LENZA, JB.; CHAUCAR, APP.; ALMEIDA, SF.; BEZERRA, EL Comércio Cuiabano de *Musa SP.*: Origem, preferência, demanda e perdas. **UNICiências**, v.14, n.2, p. 47-62, 2010.

DEIANA, AC; GRANADOS, DL; PETKOVIC LM; SARDELLA, MF; SILVA, HS Use of grape must as a binder to obtain activated carbon briquettes. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 21, n. 4, p. 585-591, 2004.

DENARDIN, CC; SILVA, LP Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 945-954, 2009.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Food wastage footprint: Impacts on natural resources**, 2013.

FURTADO, TS; VALIN M; BRAND, MA; BELLOTE AFJ Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 62, p. 101-106, 2010.

GUIMARÃES JÚNIOR, M; NOVACK, KM; BOTARO, VR; PROTÁSIO, TP; COUTO, AM Caracterização físico-química de fibra e polpas de *Bambusa vulgaris* Schrad para utilização em compósitos poliméricos. **Revista Latino Americana de Metalurgia y Materiales**, v. 33, n. 1, p. 33-42, 2013.

JAGUARIBE, EF; MEDEIROS, LL; BARRETO, MCS; ARAUJO, LP The performance of activated carbons from sugarcane bagasse, babassu, and coconut shells in removing residual chlorine. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 22, n. 1, p. 41-47, 2005.

MAIA, BGO; SOUZA, O; MARANGONI, C; HOTZA, D; OLIVEIRA, APN; SELLIN, N. Production and Characterization of Fuel Briquettes from Banana Leaves Waste. **Chemical Engineering Transactions**, v. 37, p. 439-444, 2014.

MARTINS, MP; BENÍCIO, EL; DIAS JÚNIOR, AF; ALMEIDA, RB; CARVALHO, AM; YAMAJI, FM Produção e avaliação de briquetes de finos de carvão vegetal compactados com resíduo celulósico proveniente da indústria de papel e celulose. **Revista Árvore**, v.40, n.1, p. 173-180, 2016.

RAMOS, DP; LEONEL, M; LEONEL, S. Amido resistente em farinhas de banana verde. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 3, p. 479-483, 2009.

SANT'ANNA, MCS; LOPES, DFC; CARVALHO, JBR; SILVA, GF. Caracterização de briquetes obtidos com resíduos da agroindústria. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 14, n. 3, p. 289-294, 2012.

SUGUMARAN, P; PRIYA SUSAN, V.; RAVICHANDRAN, P.; SESHADRI, S. Production and Characterization of Activated Carbon from Banana Empty Fruit Bunch and *Delonix regia* Fruit Pod. **Journal of Sustainable Energy & Environment**, v. 3, n. 3, p. 125-132, 2012.

SELLIN, N; OLIVEIRA, BG; MARANGONI, C; SOUZA, O; OLIVEIRA, APN; OLIVEIRA, TMN. Use of banana culture waste to produce briquettes. **Chemical Engineering Transactions**, v. 32, p. 349-354, 2013.

YAN, ZQ; Mc CUE, JC; TOLLES, ED Preparation of high activity, high density activated carbon with activatable binder. US Patent (5538932), 1996.

CARACTERIZAÇÃO DE CARVÕES ADSORVENTES DESENVOLVIDOS A PARTIR DOS FRUTOS DA BANANEIRA²

[Revista Ciência e Agrotecnologia]

RESUMO

Neste trabalho teve-se por objetivo caracterizar carvões adsorventes produzidos a partir de bananas, e, além disso, compará-los com um carvão comercial. Foram utilizados doze tipos de carvões elaborados com bananas adquiridas nos períodos de seca e chuva, nos estágios de maturação verde e madura, e nas composições: cascas, polpa e cascas com polpa. Posteriormente, os carvões foram caracterizados pelas variáveis: umidade, cinzas, rendimento, pH, condutividade, grupos funcionais, adsorção de azul de metileno e número de iodo. Observou-se que o fator período de aquisição dos frutos provocou influencia apenas sobre o pH, número de iodo e quantidade de grupos fenólicos obtidos para os carvões adsorventes. Na maioria dos parâmetros avaliados a maturação das bananas e a composição dos materiais precursores utilizados na elaboração dos adsorventes provocaram diferenças entre os tipos. Quanto à comparação desses adsorventes com o carvão comercial, apenas o pH e a quantidade de grupos lactônicos demonstraram similaridades com todos os tipos de carvões caracterizados.

Termos para indexação: Banana; biomassa; carbonização; adsorção

CHARACTERIZATION OF ADSORBENT CARBONS DEVELOPED FROM THE FRUITS OF BANANA PLANTAIN

ABSTRACT

The objective of this work was to characterize adsorbent carbons produced from bananas, and also compare them with a commercial coal. Twelve types of carbons made from bananas acquired in periods of drought and rain, in the stages of green and ripe maturation, and in the compositions the shell, pulp and shell with pulp. Having done so, the coals were characterized by the following variables: moisture,

²Pedido de Patente Depositado no INPI – Processo N° BR 10 2016 030708 2

ash, yield, pH, conductivity, functional groups, methylene blue adsorption and iodine number. It was observed that the acquisition period the fruits caused influences only under the pH, number of iodine and amount of phenolic groups obtained for the adsorbent carbons. The ripening of bananas and the composition of precursor materials used in the preparation of adsorbents, caused differences between the types, for the most of the evaluated parameters. In the comparison of these adsorbents with the commercial coal, only pH and amount of lactonics demonstrate similarities with all types of carbons.

Index terms: Banana; biomass; Carbonization; adsorption

INTRODUÇÃO

A técnica da adsorção é reconhecida como um método eficaz e econômico de tratamento de águas residuais, sendo o carvão ativo o adsorvente mais utilizado. No entanto, este adsorvente possui preço relativamente alto, e por isso, a busca por opções de baixo custo associado ao reaproveitamento de resíduos agrícolas, subprodutos industriais e substâncias naturais tornaram-se foco de diversas pesquisas (Fu; Wang, 2011).

Entre a variedade de resíduos utilizados para este fim encontra-se: semente de ciriguela (Joshi; Pokharel, 2013), bagaço de malte (Mussatto et al., 2010), semente de *Durian* (Ismail; Sudrajat; Jumbianti, 2010), bagaço e casca de arroz (Kalderis et al., 2008), semente de abóbora (Verla et al., 2012), bambu (Velázquez-Trujillo; Bolaños-Reynoso; Pliego-Bravo, 2010), pó de chá (Shalna; Yogamoorthi, 2015), folhas de *Typhaorientalis* (Anisuzzaman et al., 2014), resíduos da bananeira (Sugumaran et al., 2012) entre outros.

Dessa forma, produz-se carvão ativado utilizando-se um material precursor desidratado e o produto resultante carbonizado apresenta estrutura porosa bem desenvolvida (Bhatnagar; Minocha, 2006). Segundo Bhatnagar et al. (2013), além do tipo de ativação e tratamento térmico, a versatilidade de um carvão adsorvente pode ser influenciada pelo tipo de material precursor utilizado, uma vez que estes fatores promovem alterações na estrutura dos carvões, tais como: a quantidade e tamanho dos poros, área superficial e grupos funcionais presentes em sua superfície.

Neste trabalho foram utilizados frutos da bananeira *Musa sapientum* para elaboração de carvões adsorventes, pois foi verificado por Boniolo, Yamaura e Monteiro (2010) que as cascas de bananas possuem potencial como biossorvente para ser utilizado em tratamentos de águas residuárias. Além disso, Sugumaran et al. (2012) afirmam que os rejeitos da bananeira são eficientes em tratamentos de água potável, remoção de cor e de metais pesados presentes em efluentes industriais.

A banana é uma fruta amplamente produzida, no Brasil foi registrado pelo IBGE (2016) cerca de 523.976 hectares de área plantada. Mas as falhas da tecnologia de colheita e as más condições de transporte e comercialização dos frutos têm ocasionado perdas consideráveis de bananas verdes e maduras, e por não apresentarem em conformidade com os padrões de mercado são descartados, podendo se tornar matéria prima de outros produtos.

Neste contexto, o objetivo da pesquisa foi determinar as características físico-químicas de carvões adsorventes de bananas verdes e maduras adquiridas nos períodos de seca e chuva, compostos por cascas, polpa e cascas com polpa (integral), e compará-los com um carvão comercial.

MATERIAL E MÉTODOS

As bananas usadas como precursores dos carvões adsorventes foram adquiridas na feira livre municipal da cidade de Barra do Bugres/ MT-Brasil, nos períodos de seca (Agosto a Outubro) e de chuva (Dezembro a Fevereiro), totalizando 5 repetições de coletas de frutos verdes e maduros em cada um dos períodos, em intervalos de 2 semanas.

Foram utilizados carvões adsorventes elaborados com as composições: casca, polpa e casca com polpa (integral) das bananas, preparados pela desidratação do material precursor e posterior ativação química, com KOH 10% por 60 minutos, secagem em estufa a 105°C por 24 horas, carbonização em mufla a 550°C por 15 minutos, imersão em solução de HCl 10% por 2 horas, lavagem com água destilada e secagem a 105°C por 24 horas (Adaptado de SUGUMARAN et al., 2012).

Calculou-se o rendimento em massa dos precursores a partir do material carbonizado de acordo com o método descrito por Ioannidou e Zabaniotou (2007). A

umidade e o número de iodo foram determinados seguindo as normas da ABNT (1991), MB3414 e MB3410, respectivamente. O conteúdo de cinzas e o pH foram obtidos conforme JIS (1992). A condutividade elétrica foi medida com auxílio de condutivímetro.

A metodologia de Boehm (1994) foi utilizada para determinar a presença de grupos químicos na superfície dos carvões, e os dados obtidos por titulação permitiram a quantificação de sítios de caráter básico e ácido.

No ensaio de adsorção de azul de metileno (AM) foram utilizados cerca de 1g dos carvões adsorventes e 100 mL de solução de azul de metileno na concentração de 50 mg L⁻¹. Os experimentos foram realizados à temperatura ambiente sob agitação de 80 rpm durante 2 horas e o pH da solução adsorbato e adsorvente foi mantido. O filtrado foi lido em espectrofotômetro, em comprimento de onda de 665 nm (ASTM, 2008).

Utilizou-se o experimento fatorial, com 3 fatores (período, maturação e composição) e 5 repetições. Os dados foram analisados pelo *Software Assistat 7.7 beta* versão livre e para análise da normalidade foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov. Quando os dados não foram considerados paramétricos aplicou-se o teste de Kruskal-Wallis, e para os demais ANOVA. As médias foram comparadas pelos testes Scott-Knott ($P < 0,01$) e ($P < 0,05$) e Dunnett ($P < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por se tratar de um estudo inédito, não foram encontrados na literatura caracterização de carvões adsorventes elaborados com os frutos da bananeira, por isso, a discussão dos parâmetros avaliados se dá pelos resultados obtidos em estudos com materiais semelhantes, quando coube comparação.

Na Tabela 1 estão os dados obtidos na caracterização físico-química dos carvões adsorventes.

Tabela 1: Caracterização dos tipos de carvões adsorventes elaborados a partir de bananas

Variáveis	F1		F2		F3		
	Seca	Chuva	Verde	Madura	Casca	Polpa	Integral
R(%)	29,69	29,50	26,18b**	33,00a**	32,01a**	27,91b**	28,86b**
U (%)	4,15	4,68	3,92b**	4,92a**	4,73	4,12	4,40
C ¹ (%)	9,67	8,80	8,37b**	10,10a**	13,13a**	6,41c**	8,17b**
pH	9,14b*	9,37a*	9,16	9,34	9,49a**	9,06b**	9,20b**
CE(S.cm ⁻¹)	0,0017	0,0017	0,0016	0,0018	0,0021a**	0,0015b**	0,0015b**
NI(mg/g)	1156,3a**	1113,4b**	1175,7a**	1094,0b**	1191,1a**	1103,1b**	1110,3b**
AM (%)	89,14	88,64	91,56a**	86,22b**	93,02a**	84,34c**	89,31b**
GB(meq/g)	0,58	0,63	0,59	0,62	0,79a**	0,44c**	0,58b**
GC(meq/g)	0,22	0,29	0,23	0,28	0,27	0,20	0,29
GF(meq/g)	0,80a**	0,42b**	0,63	0,58	0,67	0,56	0,60
GL(meq/g)	0,07	0,06	0,06	0,07	0,11a*	0,04b*	0,05b*

¹ Variável não paramétrica submetida à análise de variância Kruskal-Wallis. *, ** significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de Scott-Knot. Médias seguidas por letras diferentes nas linhas para mesmo fator e variável possuem diferenças significativas. R: rendimento; U: umidade; C: cinzas; pH: potencial hidrogeniônico; CE: condutividade elétrica; NI: número de iodo; AM: adsorção de azul de metileno; GB: grupos básicos; GC: grupos carboxílicos; GF: grupos fenólicos; GL: grupos lactônicos; F1: fator período; F2: fator estágio de maturação; F3: Fator composição.

O rendimento em massa de carvão foi maior para os materiais obtidos a partir de bananas maduras, e também quando utilizou-se apenas de cascas em sua composição (Tabela 1). Esta variável indica a viabilidade do processo utilizado na confecção de carvões, considerando o tipo da matéria prima, método de ativação, temperatura e tempo de pirólise. Neste caso, o rendimento demonstrou diferenças de acordo com o tipo de material empregado, sob uma única condição de processamento.

Além disso, esse parâmetro apresenta relação direta com a porosidade do carvão (Nwosu et al., 2009), e conforme o estudo de Arami-Niya, Wan Daud e Mjalli (2010), o aumento do grau de *burn-off* sugere uma ampliação de micro e mesoporos.

Quanto ao teor de água, houve diferenças significativas entre os carvões elaborados nos estágios de maturação, verde e maduro (Tabela 1). No entanto, uma vez que os materiais foram obtidos e armazenados nas mesmas condições, a

explicação deve-se ao fato de que os carvões de bananas maduras possuem maior propensão para absorver umidade do ar quando expostos ao ambiente.

Ao final do processamento dos carvões adsorventes foi empregada a secagem com o intuito de retirar a umidade presente nos mesmos. Face a isso, Verla et al. (2012) relataram que os carvões ativos elaborados por eles também apresentaram baixo teor de umidade, entre 1,9 e 4,2%.

A quantidade de cinzas dos carvões adsorventes elaborados foi maior quando utilizou-se bananas maduras, bem como na composição de cascas, o que não é desejável devido a presença de minerais que promovem uma reação repulsiva quando entram em contato com o adsorbato de interesse (Tabela 1).

Na Tabela 2 são mostrados os valores da interação entre os fatores avaliados, ressaltando que os adsorventes, feitos a partir das cascas de bananas maduras, possuem maior conteúdo de resíduo mineral fixo comparado aos demais. Além disso, demonstra-se que o fator período de coleta dos frutos apresentou influencia apenas na interação com o fator composição do carvão de cascas.

Tabela 2: Interação entre os fatores período (F1), estágio de maturação (F2) e composição (F3) dos carvões adsorventes para a variável cinzas (%)

		Casca	Polpa	Integral
F1 × F3*	Seca	14,49aA	6,41aC	8,12aB
	Chuva	11,77bA	6,41aC	8,22aB
F2 × F3*	Verde	11,41bA	6,30aB	7,41aB
	Madura	14,85aA	6,51aC	8,93aB

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knot a 5% de probabilidade (*).

O tempo e a temperatura de carbonização padronizada para todas as amostras podem ter sido insuficientes para remover a matéria orgânica presente nos materiais precursores, mencionados anteriormente.

De acordo com Ahmedna, Marshall e Rao (2000) quanto menor o teor de cinzas, melhor a adsorção promovida, pois nelas estão presentes minerais considerados impurezas capazes de afetar o pH do carvão, gerando adsorção competitiva ou reações adversas àquelas desejadas ao adsorbato de interesse.

Ainda para esta variável, Akpa e Nmegbu (2014) encontraram conteúdos de cinzas semelhantes ao deste estudo, tais como: 8,27, 6,13 e 6,44 para carvões ativados de bambu, casca de coco e casca da amêndoa do fruto da palmeira, respectivamente, fator que possivelmente reduziu a capacidade adsorviva destes materiais, visto que a presença de resíduos minerais são indesejáveis.

Em relação ao pH, os carvões adsorventes elaborados assumiram características básicas devido à utilização da solução de hidróxido de potássio, na etapa de impregnação do material precursor, entretanto, observaram-se diferenças significativas entre os fatores período e composição dos mesmos (Tabela 1).

Segundo Moreno-Castilla (2004) o pH é um dos principais fatores que influenciam no processo de adsorção em solução, visto que conduz as interações eletrostáticas entre adsorvente e adsorbato de interesse, sendo que cargas opostas são essenciais para que não ocorra repulsão entre eles. Nos estudos de Sugumaran et al. (2012) foi obtido valor de pH igual 9,04 para um carvão produzido com o pseudocaule da bananeira e ativado com KOH, corroborando com os resultados obtidos neste estudo.

Sobre a condutividade, verificaram-se diferenças entre as composições utilizadas na produção dos carvões feitos com bananas maduras, sendo que aqueles elaborados com cascas apresentaram valores superiores aos demais, além disso, houve interações significativas entre os fatores estágio de maturação e composição dos adsorventes (Tabela 3).

Tabela 3: Interação entre os fatores estágio de maturação (F2) e composição (F3) dos carvões adsorventes para a variável condutividade ($S.cm^{-1}$)

		Casca	Polpa	Integral
F2 × F3*	Verde	0,0017bA	0,0016aA	0,0014aA
	Madura	0,0025aA	0,0014aB	0,0016aB

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knot a 5% de probabilidade (*).

De acordo com NG et al. (2002), a condutividade elétrica está relacionada à presença de resíduo mineral fixo, indesejável em aplicações adsorventes por causar interferências negativas. Portanto, foi esperado que os carvões, feitos a partir de

cascas de bananas maduras, apresentass em médias superiores, uma vez que o conteúdo de cinzas também foi maior que os demais tipos de adsorventes.

Quanto ao número de iodo, os carvões elaborados no período de seca, com bananas verdes e na composição de cascas apresentaram médias superiores para a quantidade em miligrama de iodo adsorvido por grama de carvão (Tabela 1). Mas, de modo geral, constatou-se que os adsorventes caracterizados neste estudo atendem as condições exigidas pela norma EB-2133 (ABNT, 1991), que estabelece 600 mg/g como padrão mínimo de iodo para carvões comerciais utilizados no tratamento de água para abastecimento público.

Além disso, Crethana Krishna (2014) afirma que este parâmetro estima a quantidade de microporos e o grau de ativação de um carvão, fundamental para caracterizar seu desempenho. Nunes e Guerreiro (2011) reportaram também a relação entre o volume de microporos, porosidade total e área de superfície do carvão ativado com o número de iodo e de azul de metileno, pois observaram em ensaios de adsorção de iodo que as moléculas tendem a acessar os microporos devido ao seu tamanho.

No que diz respeito à adsorção de azul de metileno, constatou-se (Tabela 1 e 4) que num período de 2 horas os carvões elaborados demonstraram bom desempenho, pois atingiram, em geral, percentuais de adsorção entre 88,33 e 94,78%. Entretanto, houve interações significativas entre os fatores avaliados, sendo que os carvões produzidos com bananas verdes apresentaram percentuais de retenção característicos para cada tipo de composição (casca, polpa e integral), diferentemente daqueles produzidos a partir de bananas maduras, em que o adsorvente de polpa apresentou o menor percentual de remoção do corante (77,10%) quando comparado aos demais.

Tabela 4: Interação entre os fatores período (F1), estágio de maturação (F2) e composição (F3) dos carvões adsorventes para percentual de retenção de azul de metileno

		Verde	Madura
F2 × F3**	Casca	94,78aA	91,27aB
	Polpa	91,58bA	77,10bB
	Integral	88,33cB	90,29aA
F1 × F2 × F3*	Seca × Casca	95,60aA	91,42aB
	Seca × Polpa	92,03bA	76,81bB
	Seca × Integral	88,77dA	90,22aA
	Chuva × Casca	93,95aA	91,12aB
	Chuva × Polpa	91,13cA	77,39bB
	Chuva × Integral	87,89dB	90,36aA

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knot a 1% e 5% de probabilidade (**, * respectivamente).

Evidenciaram-se também diferenças entre o período de maturação dos frutos utilizados (Tabela 4), mesmo que elaborado com a mesma composição, visto que no amadurecimento as características físico-químicas das bananas são alteradas. O fator período, em que as bananas foram adquiridas, não interferiu nos percentuais de remoção do corante azul de metileno.

Segundo Borges et al. (2015), a retenção do corante azul de metileno é promovida pelos mesoporos e microporos maiores, presentes na estrutura dos carvões ativados. Além disso, Wang et al. (2005) constataram em seus estudos que carvões com características básicas possuem maior capacidade de adsorver as moléculas catiônicas do azul de metileno, promovendo uma relação de afinidade e não de repulsão.

Contudo, a eficiência de remoção de uma determinada substância é influenciada pelo conjunto das propriedades físico-químicas de um adsorvente, e também pelas condições experimentais, não pode ter como inferência apenas a oposição entre as cargas elétricas dos átomos, adsorbato e adsorvente. Souza et al. (2009) verificaram maior capacidade de remoção de um elemento catiônico (Cr(VI)) em soluções com pH entre 3,0 e 6,0.

Com relação aos grupos funcionais, presentes na superfície dos carvões, houve diferenças nos componentes fenólicos quando se avaliou o fator período de aquisição das bananas utilizadas (Tabela 1). É possível que a menor disponibilidade de água para irrigação no período de seca tenha interferido nas propriedades das bananas e, conseqüentemente, demonstrado significativo aumento de grupos fenólicos para este tipo, visto que verificou-se carbonização insuficiente dos materiais precursores neste estudo.

Destarte houve diferenças entre as composições avaliadas sob a quantificação de grupos básicos e ácidos, sendo que o último se refere aos componentes lactônicos, entretanto, observa-se maior discrepância para os carvões feitos a partir das cascas (Tabela 1). A predominância de características básicas foi esperada, uma vez que os materiais precursores foram colocados em contato com solução de KOH.

Os grupos químicos de caráter ácido são compreendidos pelos grupos carboxílicos, lactonas e fenólicos, estes e os grupos básicos coexistem num mesmo local (Boehm, 2002). O método desenvolvido por Boehm (1994) é utilizado para determinar o tipo e a quantidade em que estes grupos se encontram nas superfícies dos materiais adsorventes.

A importância da determinação dos grupos funcionais se justifica na necessidade de identificar quais sítios estão presentes nos adsorventes, e assim pressupor adsorbatos que possuam maior afinidade com estes. Phan et al. (2006) encontraram a predominância de grupos ácidos na superfície dos carvões feitos com fibras de juta e coco, entre 0,40 e 0,80 meq g⁻¹ de grupos carboxílicos; 0,30 e 0,90 meq g⁻¹ de grupos lactônicos; 0,40 e 2,20 meq g⁻¹ de grupos fenólicos. Segundo Pinto, Silva e Saraiva (2012) a presença de sítios carboxílicos em maiores concentrações favorece a adsorção de compostos catiônicos, como os metais.

Quanto ao carvão comercial utilizado para fins de comparação, com os adsorventes produzidos neste estudo, a empresa fornecedora informou que o produto possui origem vegetal de madeira Pinus. A escolha teve em vista sua vasta aplicabilidade em atividades experimentais e o baixo custo de aquisição em relação aos demais tipos de carvões. Entretanto, não foi encontrada na literatura consultada a caracterização físico-química do carvão comercial utilizado.

De modo geral, quanto à caracterização dos carvões adsorventes produzidos e suas semelhanças com o carvão comercial, conforme o teste de Dunnett a 1% de

significância, apenas o pH e a concentração de grupos lactônicos apresentaram unanimidade. As diferenças são exibidas pelas demais variáveis, em que a umidade, número de iodo e de azul de metileno, concentração de grupos básicos e carboxílicos de todos os adsorventes elaborados neste estudo não reportaram similaridades (Tabela 5).

Tabela 5: Caracterização físico-química e comparação entre os carvões adsorventes feitos a partir de bananas e carvão ativado comercial de madeira Pinus

Carvões	U(%)	C(%)	pH	CE(S.cm ⁻¹)	NI(mg/g)	AM(%)	GB	GC	GF	GL	
							(meq.g ⁻¹)				
Seca	VC	3,60*	12,43*	9,03	0,0017*	1212,8*	95,60*	0,717*	0,217*	0,752*	0,107
	VP	3,34*	6,07	8,89	0,0016*	1175,2*	92,03*	0,367*	0,150*	0,785*	0,040
	VI	3,71*	7,38	9,11	0,0015*	1166,2*	88,77*	0,550*	0,200*	0,802*	0,045
	MC	5,26*	16,55*	9,55	0,0025*	1218,0*	91,42*	0,833*	0,367*	1,085*	0,152
	MP	4,43*	6,75	9,00	0,0014	1074,3*	76,81*	0,417*	0,150*	0,685*	0,028
	MI	4,57*	8,87	9,26	0,0017*	1091,2*	90,22*	0,583*	0,233*	0,668*	0,073
Chuva	JC	4,24*	10,38*	9,54	0,0018*	1218,7*	93,95*	0,783*	0,283*	0,535	0,102
	JP	4,29*	6,54	9,23	0,0016*	1145,1*	91,13*	0,533*	0,283*	0,502	0,068
	Jl	4,33*	7,45	9,19	0,0013	1135,9*	87,89*	0,617*	0,250*	0,435	0,012
	MC	5,83*	13,15*	9,86	0,0024*	1114,8*	91,12*	0,833*	0,217*	0,302	0,090
	MP	4,42*	6,27	9,12	0,0013	1017,7*	77,39*	0,450*	0,233*	0,252	0,012
	MI	5,00*	8,99	9,26	0,0016*	1048,0*	90,36*	0,583*	0,483*	0,502	0,085
CA	0,17	7,59	9,59	0,0005	4940,4	99,89	3,808	2,583	0	0	
DMS	2,03	3,23	0,76	0,001	89,78	3,36	0,19	0,32	0,67	0,16	

Médias seguidas por asterisco (*) nas colunas diferem do carvão comercial pelo teste Dunnett com nível de significância igual a 1%. U: umidade; C: cinzas; CE: condutividade elétrica; NI: número de iodo; AM: adsorção de azul de metileno; GB: grupos básicos; GC: grupos carboxílicos; GF: grupos fenólicos; GL: grupos lactônicos; VC: Cascas de bananas verdes; VP: Polpa de bananas verdes; VI: Integral de bananas verdes; MC: Cascas de bananas maduras; MP: Polpa de bananas maduras; MI: Integral de bananas maduras; CA: Carvão comercial; DMS: Desvio médio simples.

CONCLUSÕES

O período de aquisição dos frutos utilizados para a confecção dos carvões, interferiu apenas nos valores de pH, número de iodo e quantidade de grupos fenólicos obtidos na caracterização dos adsorventes.

Todos os tipos de carvões elaborados a partir dos frutos da bananeira apresentaram potencial como materiais adsorventes, mas os carvões elaborados a partir das cascas se destacaram em relação aos demais frente às características avaliadas e o associa como uma alternativa de reaproveitamento e minimização de acúmulo de resíduos dessa natureza.

A maioria das características avaliadas dos carvões produzidos não se assemelham as do carvão comercial, por isso, faz-se necessário estudo de métodos de carbonização e ativação que o tornem versátil ou, pelo menos, específico a um adsorbato.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso pela concessão de bolsa de estudos submetida através do Edital 002/2015, Processo nº 153788/2015.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Carvão ativado pulverizado**: Especificação (EB-2133), 1991.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Carvão ativado pulverizado**: Determinação do número de iodo (MB-3410), 1991.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Carvão ativado pulverizado**: Determinação do número de iodo (MB-3414), 1991.

AHMEDNA, M.; MARSHALL, W. E.; RAO, R. M. **Granular-activated carbons from agricultural by products**: preparation, properties, and application in cane sugar refining. Louisiana State: University Agricultural Center, 2000. 56 p. (Bulletin 869).

AKAPA, J. G.; NMEGBU, C. G. J. Adsorption of Benzene on Activated Carbon from Agricultural Waste Materials. **Research Journal of Chemical Sciences**, 4(9): 34-40, 2014.

ANISUZZAMAN, S. M. et al. Preparation and characterization of activated carbon from Typha orientalis leaves. **International Journal of Industrial Chemistry**, 6:9-21, 2015.

ARAMI-NIYA, A.; WAN DAUD, W. M. A.; MJALLI, F. S. Production of palm Shell-based activated carbon with more homogenous pore size distribution. **Journal of Applied Sciences**, 10(24): 3361-3366, 2010.

ASTM. American Society for Testing and Materials. **Standard practice for determination of adsorptive capacity of activated carbon by aqueous phase isotherm technique** (D 3860-98), 2008.

BHATNAGAR, A. et al. An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications. **Chemical Engineering Journal**, 219: 499-511, 2013.

BHATNAGAR, A; MINOCHA, A. K. Conventional and non-conventional adsorbents for removal of pollutants from water – A review. **Indian Journal of Chemical Technology**, 13: 203-217, 2006.

BOEHM, H. P. Some aspects of the surface chemistry of carbon blacks and other carbons. **Carbon**, 32(5): 759-769, 1994.

BOEHM, H. P. Surface oxides on carbon and their analysis: a critical assessment. **Carbon**, 40: 145-149, 2002.

BONIOLO, M. R.; YAMAURA, M.; MONTEIRO, R. A.; Biomassa residual para remoção de íons de urânio. **Química Nova**, 33(3): 547-551, 2010.

BORGES, W. M. S. et al. Carvão ativado de resíduo de madeira de candeia: produção, caracterização e avaliação do potencial adsorptivo. **Revista Virtual de Química**, 7(6): 1952-1967, 2015.

CRETHANA KRISHNA P.A reaserch on cocoa pod husk activated carbon for textile industrial wastewater colour removal. **International Journal of Research in Engineering and Technology**, 3(3): 731-737, 2014.

FU, F.; WANG, Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. **Journal of Environmental Management**, 92: 407-418, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**, Rio de Janeiro, v. 29, n.6, p.1-79, junho 2016.

IOANNIDOU, O.; ZABANIOTOU, A. Agricultural residues as precursors for activated carbon production—A review. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, 11: 1966-2005, 2007.

ISMAIL, A.; SUDRAJAT, H.; JUMBIANTI, D. Activated carbon from durian seed by h3po4 activation: Preparation and pore structure characterization. **Indonesian Journal of Chemistry**, 10(1): 36-40, 2010.

JIS. Japanese Industrial Standards. **Activated carbons, powdered and granular: Methods of sampling and test**, 1992.

JOSHI, S.; POKHAREL, B. P. Preparation and Characterization of Activated Carbon from Lapsi (*Choerospondiasaxillaris*) Seed Stone by Chemical Activation with Potassium Hydroxide. **Journal of the Institute of Engineering**, 9(1):79-88, 2013.

KALDERIS, D. et al. Production of activated carbon from bagasse and rice husk by a single-stage chemical activation method at low retention times. **Bioresource Technology**, 99: 6809-6816, 2008.

MORENO-CASTILLA, C. Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials. **Carbon**, 42: 83-94, 2004.

MUSSATO, S. I. et al. Production, characterization and application of activated carbon from brewer's spent grain lignin. **Bioresource Technology**, 101: 2450-2457, 2010.

NG, C. et al. Physical and chemical properties of selected agricultural byproduct-based activated carbons and their ability to adsorb geosmin. **Bioresource Technology**, 84: 177-185, 2002.

- NUNES, C. A.; GUERREIRO, M. C. Estimation of surface area and pore volume of activated carbons by methylene blue and iodine numbers. **Química Nova**, 34(3): 472-476, 2011.
- NWOSU, F. O. et al. Pore structure and surface functional groups on six tropical fruit nutshell active carbons. **Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability**, 3(2): 89-95, 2009.
- PHAN, N. H. et al. Production of fibrous activated carbons from natural cellulose (jute, coconut) fibers for water treatment applications. **Carbon**, 44: 2569-2577, 2006.
- PINTO, M. V. S.; SILVA, D. L.; SARAIVA, A. C. F. Obtenção e caracterização de carvão ativado de caroço de buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) para a avaliação do processo de adsorção de cobre (II). **Acta Amazônica**, 42(4): 541-548, 2012.
- SHALNA, T.; YOGAMOORTHY, A. Preparation and characterization of activated carbon from used *Tea dust* in comparison with commercial activated carbon. **International Journal of Recent Scientific Research**, 6(2): 2750-2755, 2015.
- SOUZA, R. S. et al. Adsorção de cromo (VI) por carvão ativado granular de soluções diluídas utilizando um sistema batelada sob pH controlado. **Acta Amazonica**, 39(3): 661-668, 2009.
- SUGUMARAN, P. et al. Production and characterization of activated carbon from banana empty fruit bunch and *Delonix regia* fruit pod. **Journal of Sustainable Energy & Environment**, 3 (3): 125-132, 2012.
- VELÁZQUEZ-TRUJILLO, A.; BOLAÑOS-REYNOSO, E.; PLIEGO-BRAVO, Y. S. Optimización de La producción de carbón activado a partir de bambu. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, 9(3):359-366, 2010.
- VERLA, A. W. et al. Preparation and characterization of activated carbon from fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis* hook.f) seed Shell. **Leena and Luna International**, 1(3): 39-50, 2012.
- WANG, S. et al. The physical and surface chemical characteristics of activated carbons and the adsorption of methylene blue from wastewater. **Journal of Colloid and Interface Science**, 284: 440-446, 2005.

EFICIÊNCIA DE ADSORÇÃO DE SÓDIO E CLORETOS UTILIZANDO CARVÕES ADSORVENTES FEITOS COM BANANAS

[Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos]

Resumo

Neste trabalho buscou-se avaliar a eficiência de remoção de sódio e cloretos utilizando carvões adsorventes feitos com bananas verdes e maduras, compostos por cascas, polpa e cascas com polpa. Utilizaram-se soluções de adsorbatos com concentrações iniciais de 20, 50 e 100 ppm, nos ensaios de adsorção manteve-se constante: a frequência da mesa agitadora (80 rpm), temperatura (25 °C), tempo de contato (2 horas) e o pH da solução mantido o natural de cada tipo de carvão utilizado. Observou-se que a solução de 50 ppm utilizada no teste de adsorção de sódio foi a mais adequada. Os carvões feitos com polpa de bananas verdes e com cascas e polpa de bananas verdes e maduras promoveram melhor remoção de sódio. O carvão comercial utilizado removeu menor quantidade de sódio em relação aos carvões produzidos a partir de bananas. Em relação à remoção de cloretos identificou-se que a concentração de 50 ppm foi adequada para o teste de adsorção realizado com os carvões feitos com bananas verdes e 100 ppm para os carvões de bananas maduras. Os carvões de bananas verdes promoveram a melhor adsorção de cloretos. O carvão comercial removeu uma quantidade de cloretos superior à promovida pelos carvões de bananas.

Palavras-chave: Remoção, cloreto de sódio, água, efluentes.

EFFICIENCY OF SODIUM ADSORPTION AND CHLORIDES USING ADSORBENT CARBONS MADE WITH BANANAS

Abstract

The objective of this work was to evaluate the efficiency of the sodium removal and chlorides using adsorbent carbons made from green and ripe bananas, composed of peel, pulp and peel with pulp. Adsorbate solutions with initial concentrations of 20, 50 and 100 ppm were used and in the adsorption tests were kept constant: the

frequency of the stirrer table (80 rpm), the temperature (25 ° C), the contact time (2 hours), and the pH of the solution was maintained the natural of each type of coal used. It was observed that the 50 ppm solution used in the sodium adsorption test was more suitable. Coals made with pulp of green bananas and with peels and pulp of green and ripe bananas promoted better sodium removal. The commercial carbon used removed less sodium than carbons made from bananas. As for the chlorides removal, the concentration of 50 ppm was found to be adequate for the adsorption test performed with the carbons made with green bananas and of 100 ppm for the ripe banana carbons. The green bananas carbons promoted the best chlorides adsorption. The commercial carbons removed a higher amount of chlorides than that promoted by the banana carbons.

Keywords: Removal, sodium chloride, water, effluents

1 Introdução

A importância da água está relacionada à estabilidade dos sistemas ambientais e à manutenção da vida humana sob diversas aplicações (TOMASONI et al., 2009). A água doce é um recurso amplamente utilizado pela sociedade, pois supre as necessidades pessoais, atividades agrícolas e industriais. Sua qualidade depende do uso ao qual se destina, uma vez que as alterações são decorrentes da utilização inadequada, ocasionando escassez e contaminação (SOUZA et al., 2014).

Em razão dos problemas com os padrões de potabilidade da água ofertada, tornou-se imprescindível a vigilância e o controle de sua qualidade. As Resoluções do CONAMA nº 396 de 2008 e nº 357 de 2005 dispõem as concentrações máximas permitidas de elementos comumente dispostos em águas subterrâneas e superficiais, respectivamente, e entre eles estão o cloro e o sódio, quando detectados em quantidades superiores a 250 mg/L e 200 mg/L, respectivamente, podem ocasionar riscos à saúde humana.

Os íons de sódio e cloro são encontrados dissolvidos na água, assim como os outros elementos químicos, mas a concentração dos mesmos pode ser influenciada por processos naturais, como a dissolução de minerais oriundos de rochas e também devido às ações antrópicas: poluição por esgotos domésticos, industriais e fertilizantes aplicados no solo (CHAPMAN; KIMSTACH, 1992). Além

disso, o cloro se faz presente em águas tratadas, pois em processos de desinfecção costuma-se utilizá-lo como principal substância ativa (JAGUARIBE et al., 2005).

Quando o sódio e os cloretos excedem a concentração permitida e se transformam em contaminantes da água, torna-se necessário a aplicação de tecnologias para remoção desses. Segundo Boniolo et al. (2010), torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologias capazes de minimizar os impactos gerados pelas ações antrópicas na recuperação de recursos hídricos poluídos, além do impedimento de reincidências de contaminantes em contato com o meio ambiente.

A adsorção constitui-se num método simples e efetivo para o tratamento da água (RENGARAJ et al., 2004), uma vez que essa alternativa tecnológica possibilita a utilização de materiais adsorventes de baixo custo, tais como resíduos domésticos, industriais ou da agricultura e se associa a minimização de impactos ambientais causados pelo acúmulo de descartes indevidos.

Diante disso, buscou-se utilizar os frutos da bananeira com o intuito de torná-los uma opção de matéria prima no desenvolvimento de adsorventes, agregando valor aos rejeitos gerados nas etapas de produção, comercialização e consumo de bananas. A ideia é embasada por pesquisas que comprovam o poder adsorvente de cascas de bananas (BONIOLO et al., 2010) e pseudocaule da bananeira (SUGUMARAN et al., 2012).

Assim buscou-se avaliar a eficiência de adsorção de sódio e de cloretos, nas concentrações de 20, 50 e 100 ppm, por carvões adsorventes feitos com cascas, polpas e com cascas e polpas (integral) de bananas, bem como compará-los à capacidade de remoção de íons de um carvão comercial.

2 Material e métodos

Os carvões adsorventes utilizados foram obtidos a partir de bananas verdes e maduras, compostos por cascas, polpa, e cascas com polpa (Tabela 1).

Tabela 1. Descrição dos carvões adsorventes utilizados nos ensaios de adsorção de sódio e de cloretos

Tipos de carvão	Símbolo
Comercial	CC
Cascas de bananas verdes	VC
Polpa de bananas verdes	VP
Cascas e polpa de bananas verdes	VI
Cascas de bananas maduras	MC
Polpa de bananas maduras	MP
Cascas e polpa de bananas maduras	MI

Os materiais utilizados foram confeccionados seguindo a metodologia adaptada de Sugumaran et al. (2012), em que a matéria prima precursora foi seca em estufa a 105 °C por 24 horas, impregnada com solução de KOH 10%, seca em estufa a 105 °C por 24 horas, e posteriormente carbonizada em forno mufla (500-600 °C) por 15 minutos, imersa em solução de HCl 10%, lavada com água destiladae, por fim, seca em estufa a 105 °C por 24 horas.

Os materiais adsorventes foram macerados com auxílio de gral e pistilo até virar pó fino passado em peneiras de aço inox. Na sequência aplicou-se a metodologia descrita por American Society for Testing and Materials (2008) para ensaios de adsorção, realizando experimentos em triplicata, na mesa agitadora com frequência de 80 rpm, temperatura ambiente (25 °C), pH da solução da solução adsorbato e adsorvente, tempo de contato entre adsorvente e adsorbato igual a 2 horas, com cerca de 1 grama de carvão para 100 mL de solução de cloreto de sódio (NaCl). Variou-se apenas o parâmetro concentração da solução em 20, 50 e 100 ppm.

Quando concluídos os ensaios, quantificou-se a concentração final de sódio e cloretos do filtrado, obtidos por métodos descritos por American Water Works Association (1995), para o primeiro foi utilizado o fotômetro de chama calibrado através de curva padrão, e o segundo determinado por titulação com solução de nitrato de prata.

A quantidade de adsorbato adsorvida por grama de carvão (Q_e) foi determinada pela equação:

$$Q_e = \frac{mg}{g}$$

Em que:

mg é a quantidade de adsorbato adsorvida, mg;

g é a quantidade de carvão utilizada, g;

O mesmo procedimento de ensaio foi realizado colocando água destilada em contato com cada um dos carvões utilizados, a fim de determinar os parâmetros: pH, concentração de sódio e cloretos do filtrado obtido.

Quanto ao tratamento estatístico, utilizou-se o experimento fatorial, considerando como fatores: a concentração das soluções de NaCl (20, 50 e 100 ppm) e o tipo do carvão adsorvente (CC, VC, VP, VI, MC, MP, MI).

Foi utilizado o *Software Assistat 7.7 beta* versão livre e o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificação da normalidade, os dados obtidos nos ensaios de adsorção de sódio foram aplicados ao teste de Kruskal-Wallis, e os demais (cloretos) à ANOVA. E para comparação das médias foi utilizado o teste de Scott-Knott ($P < 0,01$) e ($P < 0,05$).

3 Resultados e discussão

Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos para os teores de sódio, cloretos e o pH dos carvões adsorventes utilizados nos ensaios de adsorção. Estes valores foram determinados com o intuito de subtraí-los das concentrações obtidas nos ensaios de adsorção.

Tabela 2. Médias das concentrações de sódio (Na) e cloretos (Cl), e pH dos carvões adsorventes utilizados

Carvões adsorventes	Na (ppm)	Cl (ppm)	pH
CC	1,2	8,23	9,59
VC	2,1	35,67	9,28
VP	0,8	32,93	9,06
VI	1,4	32,93	9,15
MC	1,6	25,38	9,70
MP	0,8	20,58	9,06
MI	1,8	24,01	9,26

O teor de sódio e cloretos encontrado foi característico para cada material precursor utilizado (Tabela 2), demonstrando que possivelmente o tempo de carbonização foi insuficiente para volatilizar uma maior quantidade de sódio e cloretos dos adsorventes elaborados com bananas. Isso torna-se evidente quando os valores são comparados ao CC, um carvão vislumbrado como o ideal.

Em síntese, os compostos inorgânicos podem inibir a adsorção de determinadas substâncias promovendo competição de sítios ativos, pois nestes estão presentes íons que também interferem no grau de adsorvidade entre o tipo de adsorvente e o adsorbato de interesse. Por isso, torna-se interessante a redução do sódio e de cloretos na composição dos carvões de banana, pelo aumento do tempo e/ou temperatura de carbonização.

A interferência provocada pelos compostos inorgânicos foi observada no estudo de Achak et al. (2009), em que os autores utilizaram cascas de bananas *in natura* como adsorventes de contaminantes em águas residuárias, e entre eles houve a constatação de adsorção de sódio, ao contrário do comportamento dos íons de cloretos, que migraram da composição do adsorvente para a solução do adsorbato.

O pH é um dos principais fatores que interferem no processo de adsorção, neste estudo não foram realizadas variações com o mesmo, sendo mantido o pH da solução adsorbato e adsorvente (Tabela 2). Dessa forma, através da determinação deste parâmetro foi demonstrada a alcalinidade de ambos adsorventes utilizados nos testes de adsorção.

A importância da definição do pH tem relação com a atração ou repulsão dos íons do adsorbato de interesse, pois na composição dos adsorventes pode conter cargas positivas de íons H^+ devido à acidez, ou cargas negativas em razão dos íons OH^- que atribuem a alcalinidade do material. Em adição, Moreno-Castilla (2004) afirma que o pH da solução, adsorbente e adsorbato, pode controlar as interações eletrostáticas do meio e interferir no processo de adsorção.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da concentração final de sódio do filtrado obtido após os ensaios de adsorção, registram-se diferenças entre os valores de R (ppm) e Q_e (mg/g) em cada tipo de adsorbente em relação às diferentes concentrações iniciais de adsorbato. Por problemas técnicos não foi possível obter leituras precisas da concentração final de sódio quando da utilização da solução de 100 ppm de NaCl, devido a grande oscilação do equipamento Fotômetro de Chama.

Tabela 3. Eficiência de adsorção de sódio (Na) pelos carvões adsorventes e a influência das diferentes concentrações utilizadas

	Ci (ppm)	CC	VC	VP	VI	MC	MP	MI
R	20	10,57bD	15,57bB	15,73bB	16,47bA	15,23bC	14,97bC	9,20bE
(ppm)	50	33,47aE	37,23aD	38,60aB	39,40aA	37,07aD	37,97aC	39,13aA
R	20	49,84bC	70,44aB	75,64aA	76,95aA	70,52aB	71,96bB	42,20bD
(%)	50	65,36aC	71,47aB	75,98aA	76,65aA	71,84aB	74,74aA	75,55aA
Q_e	20	2,064bC	3,097bB	3,124bB	3,280bA	3,013bB	2,977bB	1,817bD
(mg/g)	50	6,641aD	7,388aC	7,674aA	7,813aA	7,369aC	7,553aB	7,775aA

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas dos valores da concentração de sódio retido (R ppm), percentual de retenção (R %) e da capacidade de adsorção por grama de carvão (Q_e mg/g) diferem significativamente pelo teste de Scott-Knot a 1% de probabilidade. Ci: concentração inicial.

Por meio do valor de R (%) é possível perceber que a concentração de 50 ppm do adsorbato foi mais adequada para a maioria dos ensaios realizados, considerando os carvões utilizados, pois seus sítios de adsorção removeram uma quantidade de sódio igual ou superior a da solução de 20 ppm (Tabela 3).

Conforme Rahman et al. (2012) a eficiência de remoção depende da concentração inicial da solução de adsorbato, assim torna-se importante a avaliação

deste efeito em ensaios de adsorção, uma vez que baixas concentrações de adsorbato aumentam a capacidade de remoção pelo adsorvente, no entanto pode ser subestimado quando os sítios adsorptivos passam a remover totalmente a substância pretendida. Em contrapartida, a baixa eficiência de remoção pode ser obtida quando utilizam-se soluções com altas concentrações, visto que os sítios possuem estágio de equilíbrio e no momento em que são preenchidos passam a não adsorver mais, e até expelir o adsorbato de volta à solução na qual foi colocado em contato.

Em síntese, foi adsorvida maior quantidade em miligrama de sódio por grama de carvão pelos tipos de adsorventes elaborados com VP, VI e MI, seguidos pela eficiência de remoção de MP (Tabela 3).

Ao contrário do esperado, o carvão comercial removeu quantidade de sódio inferior aos adsorventes desenvolvidos a partir de bananas (Tabela 3). Neste caso, as bananas se destacam como material precursor de potencial para a remoção de sódio devido a sua afinidade com o adsorbato pretendido.

Os carvões adsorventes VC e MC apresentaram percentuais de remoção inferior aos demais materiais avaliados, ao contrário do esperado, pois há o apelo à criação de alternativas para o reaproveitamento das cascas de bananas, que trata-se dos subprodutos provenientes de resíduos domésticos ou da indústria alimentícia. A eficiência destes tipos de adsorventes pode ter sofrido inúmeras interferências associadas aos fatores da metodologia de elaboração, e que ademais, acarretaram maior quantidade de sódio encontrada em sua composição, um dos motivos que reduziram sua capacidade adsorptiva.

Rostamian et al. (2015) afirmam que a capacidade adsorptiva dos materiais é influenciada por suas características, tais como: grupos funcionais, área de superfície, volume, tamanho e distribuição dos poros, além dos fatores que envolvem as trocas iônicas relacionados ao caráter ácido ou básico. Soma-se a isto, os resultados obtidos por Lo Monaco et al. (2011) em que cerca de 30% de sódio pôde ser removido por adsorventes elaborados por pergaminhos de grãos de café, no tratamento de águas residuais, ao contrário dos dados de Lo Monaco et al. (2009) que pela utilização de fibras de coco como material filtrante não foi constatada remoção de sódio, havendo até um aumento da concentração desta substância na solução do adsorbato. Isso se deve a composição do adsorvente usado e demonstra que a carbonização de materiais precursores *in natura* é

essencial para atingir alta remoção, uma vez comprovado a baixa eficiência em ambos os estudos citados.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados da concentração final de cloretos do filtrado obtido após os ensaios de adsorção, onde há diferenças entre os valores de R (ppm) e Q_e (mg/g) para cada tipo de adsorvente utilizado em relação às soluções com concentrações iniciais diferentes de NaCl.

Tabela 4. Eficiência de adsorção de cloretos (Cl) pelos carvões adsorventes e a influência das diferentes concentrações utilizadas

	Ci (ppm)	CC	VC	VP	VI	MC	MP	MI
R (ppm)	20	5,82cB	5,13cB	14,06cA	11,54cA	6,05cB	1,93cB	10,40cA
	50	17,53bB	29,42bA	26,68bA	29,88bA	15,93bB	18,21bB	20,27bB
	100	42,60aA	42,14aA	40,32aA	42,38aA	37,11aB	31,40aC	36,89aB
R (%)	20	20,62cA	9,22bB	26,56aA	21,80bA	13,33cB	4,77bC	23,62bA
	50	30,10bA	34,34aA	32,17aA	36,03aA	21,13bC	25,81aB	27,39aB
	100	39,36aA	31,06aB	30,33aB	31,88aB	29,60aB	26,04aB	29,75aB
Q_e (mg/g)	100	1,138cB	1,020cB	2,791cA	2,299cA	1,199cB	0,385cB	2,054cA
		3,478bB	5,837bA	5,305bA	5,926bA	3,163bB	3,623bB	4,029bB
		8,388aA	8,412aA	8,028aA	8,353aA	7,334aB	6,197aC	7,323aB

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas dos valores da concentração de cloretos retido (R ppm), percentual de retenção (R %) e da capacidade de adsorção por grama de carvão (Q_e mg/g), se diferem significativamente pelo teste de Scott-Knot a 1% de probabilidade. Ci: concentração inicial.

Quanto ao percentual de retenção, observam-se semelhanças para as concentrações iniciais de 50 e 100 ppm, entre os carvões VC, VP, VI, MP e MI (Tabela 4), demonstrando que o intervalo entre as duas concentrações pode ser adequado para a realização de teste de adsorção com os tipos de adsorventes.

Acrescenta-se que os carvões feitos a partir de bananas verdes obtiveram melhor desempenho quando colocados em contato com a solução de 50 ppm, diferentemente daqueles elaborados com bananas maduras, em que o percentual adsorativo foi superior com a solução de 100 ppm. Isso mostra que VC, VP e VI possuem ponto de equilíbrio inferior a MC, MP e MI, pois reduziu seu percentual de adsorção ao aumentar a concentração inicial de adsorbato, mas ainda assim, os

carvões de bananas verdes se destacam em retenção quando comparados aos carvões de bananas maduras.

Diferenças significativas entre os carvões de bananas verdes e maduras também podem ser observadas nos dados da capacidade de adsorção por grama de carvão (Q_e). A eficiência de retenção de cloretos por VC, VP e VI foram iguais, sendo esta superior e diferente do potencial adsorptivo de MC, MP e MI quando utilizou-se a solução com concentração inicial de 100 ppm.

É possível que o tempo e a temperatura empregada na confecção dos carvões tenham sido insuficientes para volatilizar os compostos característicos de cada tipo de material precursor. O melhor desempenho de retenção dos adsorventes feitos com bananas verdes pode ser justificado com o estudo de Mulani et al. (2014), que constataram boa capacidade de adsorção de um material constituído por tanino, substância composta por grupos fenólicos de origem vegetal. O tanino está presente em grande quantidade na banana verde, segundo Valle e Camargos (2002) trata-se do componente que confere o sabor adstringente do fruto neste estágio de maturação.

Os adsorventes constituídos por cascas de bananas, seja unicamente (VC e MC) ou parcialmente (VI e MI), apresentaram capacidade de remoção de cloretos inferior aos carvões elaborados apenas com polpas, ao contrário do esperado. Visto que a casca vêm sendo estudada como um material residual para remoção de diversos componentes químicos, considerados poluentes de águas residuais, assim como investigado por Darge e Mane (2013), Kanyal e Bhatt (2015), Mathew et al. (2015), entre outros.

Quanto ao carvão comercial, utilizado para fins de comparação com os adsorventes feitos a partir de bananas, observa-se que seu potencial adsorptivo se igualou estatisticamente aos carvões VC, VP e VI quando se utilizou a solução de adsorbato na concentração de 100 ppm (Tabela 4). Entretanto, não é possível afirmar que a eficiência dos carvões de bananas assemelha-se a do comercial, pois o último não atingiu seu ponto de equilíbrio durante os ensaios realizados no presente estudo.

4 Conclusões

A eficiência de remoção de sódio foi melhor representada com a solução de adsorbato na concentração inicial de 50 ppm, em que a quantidade de sódio adsorvida por grama de carvão foi superior para os adsorventes VP, VI e MI.

Em relação ao desempenho de retenção de cloretos, houve uma melhor representação quando se utilizou da concentração inicial de 50 ppm para os carvões feitos com bananas verdes e de 100 ppm para os elaborados com bananas maduras. De modo geral, VC, VP e VI atingiram maior remoção deste componente.

O carvão comercial utilizado demonstrou eficiência de remoção de sódio inferior aos adsorventes feitos com bananas, e obteve maior capacidade adsorptiva de cloretos ao utilizar soluções nas concentrações iniciais de 50 e 100 ppm, respectivamente.

Referências

- Achak, M., Hafidi, A., Ouazzani, N., Sayadi, S., & Mandi, L. (2009). Low cost biosorbent "banana peel" for the removal of phenolic compounds from olive mill wastewater: Kinetic and equilibrium studies. *Journal of Hazardous Materials*, 166 (1), 117-125. Retirado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.11.036>
- American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation. (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington
- American Society for Testing and Materials.(2008). *Standard practice for determination of adsorptive capacity of activated carbon by aqueous phase isotherm technique (D 3860-98)*. West Conshohocken: ASTM International.
- Boniolo, M. R., Yamaura, M., &Monteiro, R. A. (2010). *Biomassa residual para remoção de íons urânio*. *Química Nova*, 33 (3), 547-551. Retirado de <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422010000300010>
- Chapman, D., & Kimstach, V. (1992). *Water Quality Assessments: A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring*, (2 ed.), Selection of water quality variables (cap. 3; pp 74-133.). Cambridge: University Press

Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2008). Resolução CONAMA nº 396 de 3 de abril de 2008. Ministério do Meio Ambiente. Retirado de <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>

Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005). Resolução CONAMA nº 357 de 18 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente. Retirado de <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>

Darge, A., & Mane, S. J. (2015). Treatment of industrial wastewater by using banana peels and fish scales. *International Journal of Science and Research*, 4 (7), 600-604. Retirado de <http://www.ijsr.net/archive/v4i7/SUB156367.pdf>

Jaguaribe, E. F., Medeiros, L. L., Barreto, M. C. S., & Araujo, L. P. (2005). The performance of activated carbons from sugarcane bagasse, babassu, and coconut shells in removing residual chlorine. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 22 (1), 41-47. Retirado de <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-66322005000100005>

Kanyal, M., & Bhatt, A. A. (2015). Removal of heavy metals from water (Cu and Pb) using household waste as an adsorbent. *Bioremediation & Biodegradation*, 6 (1), 1-6. Retirado de <http://dx.doi.org/10.4172/2155-6199.1000269>

LoMonaco, P. A. V., Matos, A. T., Júnior, V. E., Sarmiento, A. P., & Moreira, R. M. G. (2011). Desempenho de filtros constituídos por pergaminho de grãos de café (*Coffeasp.*) no tratamento de águas residuárias. *Coffee Science*, 6 (2), 120-127. Retirado de <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/184/pdf>

LoMonaco, P. A. V., Matos, A. T., Sarmiento, A. P., Júnior, A. V. L., & Lima, J. T. (2009). Desempenho de filtros constituídos por fibras de coco no tratamento de águas residuárias de suinocultura. *Engenharia na Agricultura*, 17 (6), 473-480. Retirado de <http://www.seer.ufv.br/seer/index.php/reveng/article/viewFile/113/88>

Mathew, M., Mathew, A., Jyothis, G., Anjalathu, V. N., & Alexander, C. S. (2015). Effectiveness of banana peel and *Moringaoleiferaseed* powders for the treatment of wastewater from an institutional kitchen. *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 2 (2), 96-104. Retirado de [DOI: 10.21090 / IJAERD.020215](https://doi.org/10.21090/IJAERD.020215)

- Moreno-Castilla, C. (2004). Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials. *Carbon*, 42 (1), 83-94. Retirado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbon.2003.09.022>
- Mulani, K., Daniels, S., Rajdeo, K., Tambe, S., & Chavan, N. (2014). Tannin-Aniline-Formaldehyde resole resins for arsenic removal from contaminated water. *Canadian Chemical Transactions*, 2 (4), 450-466. Retirado de DOI:10.13179/canchemtrans.2014.02.04.0123
- Rahman, M. A., Amin, S. M. R., & Alam, A. M. S. (2012). Removal of methylene blue from waste water using activated carbon prepared from rice husk. *Dhaka University Journal of Science*, 60 (2), 185-189. Retirado de <http://banglajol.ubiquity.press/index.php/DUJS/article/viewFile/11491/8417>
- Rengaraj, S., Kim, Y., Joo, C. K., & Yi, J. (2004). Removal of copper from aqueous solution by aminated and protonated mesoporous aluminas: Kinetics and equilibrium. *Journal of Colloid and Interface Science*, 273 (1), 14-21. Retirado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2004.01.007>
- Rostamian, R., Heidarpour, M., Mousavi, S. F., & Afyuni, M. Characterization and sodium sorption capacity of biochar and activated carbon prepared from rice husk. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17 (4), 1057-1069. Retirado de http://jast.modares.ac.ir/article_12957_e2de922e934fde0b9443c861d869b977.pdf
- Souza, J. R., Moraes, M. E. B., Sonoda, S. L., & Santos, H. C. R. G. (2014). A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. *Rede Eletrônica do Prodemá*, 8 (1), 26-45. Retirado de <http://www.revistarede.ufc.br/revista/index.php/rede/article/view/217/51>
- Sugumaran, P., Susan, V. P., Ravichandran, P., & Seshadri, S. (2012). Production and characterization of activated carbon from banana empty fruit bunch and *Delonix regia* Fruit Pod. *Journal of Sustainable Energy & Environment*, 3 (3), 125-132. Retirado de <http://www.tci-thaijo.org/index.php/JSEE/article/view/28887/24863>
- Tomasoni, M. A., Pinto, J. E. S., & Silva, H. P. (2009). A questão dos recursos hídricos e as perspectivas para o Brasil. *Geo Textos*, 5 (2), 107-127. Retirado de <http://portalseer.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/3789/2766>.

VALLE, H. F.; CAMARGOS, M. (2002). Yes, nós temos BANANAS: Histórias e receitas com biomassa de banana verde. São Paulo: Senac.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O volume em produção de bananas no Brasil tem destaque e importância para a economia da agricultura praticada em diversas regiões do país. Mas, as técnicas utilizadas para o cultivo e colheita ainda acarretam perdas dos frutos, assim como aqueles descartados por não atingirem o padrão de comercialização. Soma-se a quantidade de desperdício as bananas maduras que sofrem injúrias durante o transporte e comercialização e as cascas comumente destinadas ao lixo devido à apreciação apenas da polpa.

Entre inúmeras opções de reaproveitamento dos resíduos da bananicultura, o desenvolvimento de carvões adsorventes mostra-se uma inovação diante das pesquisas que buscam matérias primas alternativas para este fim. Representa uma alternativa para a destinação de resíduos provenientes da cadeia produtiva da banana, reduzindo o volume de lixo orgânico nas cidades, oportunizando renda extra e geração de novos produtos e emprego.

Uma vez comprovado o potencial adsorativo dos carvões de bananas, torna-se importante a continuação de estudos que visem o aprimoramento da metodologia de obtenção e ativação destes produtos, bem como estudos que relacionem a eficiência de adsorção de outras substâncias.