

## Artigo

## Caracterização e Avaliação da Capacidade Adsorptiva de Carvões Elaborados com Bananas

Souza, P. G.; Queiroz, T. M.; Carvalho, J. W. P.

Rev. Virtual Quim., 2020, 12 (4), 00-00. Data de publicação na Web: 18 de Junho de 2020

<http://rvq.s bq.org.br>

### Characterization and Evaluation of the Adsorptive Capacity of Charcoals Prepared with Bananas

**Abstract:** The accumulation of banana crop residues occurs as a consequence of the wide production and consumption of fruits, and the preparation of adsorbents made with these wastes has become an alternative for reuse. This work aimed to characterize banana coals and to evaluate the sodium chloride removal capacity, comparing them with a commercial coal. Were used bananas charcoals acquired during the dry and rainy season were used, green and ripe, in the compositions of peel, pulp and peel with pulp, to characterize them by the variables: moisture, ash, yield, pH, conductivity, functional groups, methylene blue adsorption and iodine number. Sodium chloride adsorption tests were performed with 20, 50 and 100 mg L<sup>-1</sup> solutions, keeping constant the characteristic pH of the solution, shaker table frequency (80 rpm), temperature (25 °C) and contact time (2 hours). The period of fruit acquisition did not influence the characterization of adsorbents. Differences were found between the evaluated parameters of the charcoals that differed the banana maturation and the composition of the materials used as adsorbent precursors. The banana charcoals presented higher sodium adsorptive capacity when compared to commercial charcoal, demonstrating their adsorptive potential associated the reduction of waste accumulation of this nature.

**Keywords:** *Musa spp.*; adsorption; sodium chloride; water.

### Resumo

O acúmulo de resíduos da bananicultura ocorre como consequência da ampla produção e consumo dos frutos, e a elaboração de adsorventes feitos com estes rejeitos tornou-se uma alternativa de reaproveitamento. Este trabalho teve como objetivo caracterizar carvões de banana e avaliar a capacidade de remoção de cloreto de sódio, comparando-os com um carvão comercial. Foram utilizados carvões de bananas adquiridas no período de seca e chuva, verdes e maduras, nas composições de casca, polpa e casca com polpa, para caracterizá-los pelas variáveis: umidade, cinzas, rendimento, pH, condutividade, grupos funcionais, adsorção de azul de metileno e número de iodo. Os testes de adsorção de cloreto de sódio foram realizados com soluções de 20, 50 e 100 mg L<sup>-1</sup>, mantendo constante o pH característico da solução, frequência da mesa agitadora (80 rpm), temperatura (25 °C) e tempo de contato (2 horas). O período de aquisição dos frutos não influenciou na caracterização dos adsorventes. Foram constatadas diferenças entre os parâmetros avaliados dos carvões que diferiam a maturação das bananas e a composição dos materiais utilizados como precursores dos adsorventes. Os carvões de bananas apresentaram maior capacidade adsorptiva de sódio quando comparados com o carvão comercial demonstrando seu potencial adsorptivo associado redução de acúmulo de resíduos dessa natureza.

**Palavras-chave:** *Musa spp.*; adsorção; cloreto de sódio; água.

\* Universidade do Estado de Mato Grosso, Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola, Campus Universitário de Tangará da Serra, Rod. MT 358 Km 07, CEP: 78300-000, Jardim Aeroporto, Tangará da Serra-MT, Brasil.

 [graczykpercia@gmail.com](mailto:graczykpercia@gmail.com)  
DOI: [10.21577/1984-6835.20200067](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20200067)

## Caracterização e Avaliação da Capacidade Adsorptiva de Carvões Elaborados com Bananas

Pércia G. de Souza,<sup>a,\*</sup>  Tadeu M. de Queiroz,<sup>a</sup> José Wilson P. Carvalho<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Universidade do Estado de Mato Grosso, Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola, Campus Universitário de Tangará da Serra, Rod. MT 358 Km 07, Jardim Aeroporto, CEP 78300-000, Tangará da Serra-MT, Brasil.

<sup>b</sup> Universidade do Estado de Mato Grosso, Rua A, S/N - Bairro São Raimundo - CEP 78390-000, Barra do Bugres-MT, Brasil.

\*[graczykpercia@gmail.com](mailto:graczykpercia@gmail.com)

*Recebido em 31 de Janeiro de 2020. Aceito para publicação em 20 de Maio de 2020.*

### 1. Introdução

### 2. Material e Métodos

2.1. Caracterização dos carvões adsorventes e ensaios de adsorção

2.2. Tratamento estatístico

### 3. Resultados e Discussão

3.1. Caracterização

3.2. Ensaios de adsorção de NaCl

### 4. Conclusões

## 1. Introdução

A água 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 decorrentes da utilização inadequada ocasionam escassez e contaminação.<sup>1</sup>

Em razão dos problemas com os padrões de potabilidade da água ofertada, tornou-se imprescindível a vigilância e o controle de sua qualidade e, diante disso, a técnica da adsorção tornou-se reconhecida como um método eficaz e econômico no tratamento de águas residuais, sendo o carvão ativo o adsorvente mais utilizado.

No entanto, a importância da água e de suas respectivas tecnologias de tratamento estão relacionadas à estabilidade dos sistemas ambientais e à manutenção da vida humana

sob diversas aplicações.<sup>2</sup> Por isso, a busca por materiais adsorventes de baixo custo associado ao reaproveitamento de resíduos agrícolas, subprodutos industriais e substâncias naturais tornaram-se foco de diversas pesquisas.<sup>3</sup>

Entre a variedade de resíduos utilizados para este fim encontra-se: semente de ciriguela,<sup>4</sup> bagaço de malte,<sup>5</sup> semente de *Durian*,<sup>6</sup> bagaço e casca de arroz,<sup>7</sup> semente de abóbora,<sup>8</sup> bambu,<sup>9</sup> pó de chá,<sup>10</sup> folhas de *Typhaorientalis*,<sup>11</sup> resíduos da bananeira,<sup>12</sup> entre outros.

Produz-se carvão ativado utilizando um material precursor desidratado e o produto resultante carbonizado apresenta estrutura porosa bem desenvolvida.<sup>13</sup> Segundo Bhatnagar *et al.*<sup>14</sup>, 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.

A adsorção, por sua vez, é uma alternativa tecnológica que possibilita a utilização de materiais adsorventes de baixo custo e se associa à minimização de impactos ambientais que, de acordo com Chapman e Kimstach<sup>15</sup>, são causados pelas ações antrópicas ou até mesmo pela concentração de elementos químicos influenciada por processos naturais, tal como a dissolução de materiais oriundos de rochas.

Neste trabalho foram utilizados carvões adsorventes elaborados a partir dos frutos da bananeira *Musa sapientum* como descrito por Souza et al.<sup>16</sup> e embasado nas pesquisas de Boniolo et al.<sup>17</sup> e Sugumaran et al.<sup>12</sup> com o objetivo de determinar suas características físico-químicas, avaliar a eficiência de adsorção de sódio e cloretos, comparando-os com 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, sendo que os frutos foram adquiridos 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 conforme descrito por Souza et al.<sup>16</sup>

### 2.1. Caracterização dos carvões adsorventes e ensaios de adsorção

Calculou-se o rendimento em massa dos precursores a partir do material carbonizado de acordo com o método descrito por Ioannidou e Zabaniotou.<sup>18</sup> A umidade e o número de iodo foram determinados seguindo as normas da ABNT,<sup>19,20</sup> MB3414 e MB3410, respectivamente. O conteúdo de cinzas e o pH foram obtidos conforme JIS.<sup>21</sup> A condutividade elétrica foi medida com auxílio de condutivímetro.

A metodologia de Boehm<sup>22</sup> 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.

Para os ensaios de adsorção, os materiais adsorventes foram macerados com auxílio de gral e pistilo, e passados por peneira de aço inox de 20 mesh.

Na sequência aplicou-se a metodologia descrita por ASTM<sup>23</sup> para ensaios de adsorção, realizando experimentos em triplicata, na mesa agitadora com frequência de 80 rpm, temperatura ambiente (25 °C), durante 2 horas, mantendo o pH da solução do adsorbato e adsorvente. Em todos os testes foi utilizado cerca de 1g dos carvões adsorventes para 100 mL de solução de adsorbatos, configurando uma concentração de carvão de 10 gL<sup>-1</sup>.

No ensaio de adsorção de azul de metileno (AM) foi utilizada concentração de solução de 50 mg L<sup>-1</sup>, sendo o filtrado lido em espectrofotômetro, no comprimento de onda de 665 nm.<sup>23</sup> Enquanto que para o ensaio de adsorção da solução de cloreto de sódio (NaCl), variou-se a concentração em 20, 50 e 100 mg L<sup>-1</sup>. O sódio presente no filtrado foi quantificado utilizando o fotômetro de chama calibrado através de curva padrão, e o cloreto por titulação com solução de nitrato de prata.<sup>24</sup> O mesmo procedimento de ensaio foi realizado colocando água destilada em contato com cada um dos carvões utilizados.

### 2.2. Tratamento estatístico

Foi utilizado o experimento fatorial, sendo que os resultados obtidos na caracterização foram tratados com 3 fatores (período de aquisição, estágio de maturação e composição do carvão) e 5 repetições. Já para os obtidos nos ensaios de adsorção de soluções de NaCl, foram considerados como fatores a concentração das soluções de NaCl e o tipo do carvão adsorvente: Comercial (CC), Casca de bananas verdes (VC), Polpa de bananas verdes (VP), Casca e polpa de bananas verdes (VI), Casca de bananas maduras (MC), Polpa de bananas maduras (MP), Casca e polpa de bananas maduras (MI).

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).

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Caracterização

Os resultados referentes a caracterização físico-química dos carvões adsorventes elaborados

com bananas são mostrados na Tabela 1, e os desvios-padrões não foram apresentados devido a pequena variabilidade entre os dados obtidos nas avaliações.

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<sup>25</sup>, e conforme o estudo de Arami-Niya *et al.*<sup>26</sup>, o aumento do grau de carbonização sugere uma ampliação de micro e mesoporos, já que uma maior quantidade de compostos voláteis são eliminados pela queima do material precursor.

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.*<sup>8</sup> relataram que os carvões ativos elaborados por eles também apresentaram baixo teor de umidade, entre 1,9 e 4,2 %.

Com relação as cinzas, foi obtida concentração maior para os carvões adsorventes elaborados com bananas maduras, como também, para aqueles compostos por cascas. A presença de grande quantidade resíduo fixo mineral não é desejável, pois estes compostos 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.

De acordo com Ahmedna *et al.*<sup>27</sup>, 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, Akapa e Nmegbu<sup>28</sup> encontraram conteúdos de cinzas semelhantes

**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 <sup>1</sup> (%)	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 <sup>-1</sup> )	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*

<sup>1</sup> 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.

**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 x 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 (\*)

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 é indesejável.

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<sup>29</sup>, 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. No estudo de Sugumaran *et al.*<sup>12</sup> foi obtido valor de pH igual a 9,04 para um carvão produzido com o pseudocaulo 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, houveram interações significativas entre os fatores estágio de maturação e composição dos adsorventes (Tabela 3).

De acordo com NG *et al.*<sup>30</sup>, a condutividade elétrica está relacionada à presença de resíduo mineral fixo, que é indesejável em aplicações adsorventes por causar interferências negativas. Por isso, foi esperado que os carvões feitos a partir de cascas de bananas maduras apresentassem médias superiores, uma vez que o conteúdo de cinzas também foi maior do que para os demais tipos de adsorventes.

Quanto ao número de iodo, os carvões elaborados no período de seca, com bananas verdes e com cascas na sua composição, 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,<sup>31</sup> 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<sup>32</sup> 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<sup>33</sup> 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.

**Tabela 3.** Interação entre os fatores estágio de maturação (F2) e composição (F3) dos carvões adsorventes para a variável condutividade (S.cm<sup>-1</sup>)

		Casca	Polpa	Integral
F2 x 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 (\*).

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.

Evidenciaram-se também diferenças entre o período de maturação dos frutos utilizados mesmo que elaborado com a mesma composição (Tabela 4), 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.*<sup>34</sup>, 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.*<sup>35</sup> constataram 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, pelas condições experimentais, e não pode ter como inferência apenas a oposição

entre as cargas elétricas dos átomos, adsorbato e adsorvente. Souza *et al.*<sup>36</sup> 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, houveram 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 da característica básica 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.<sup>37</sup> O método desenvolvido por Boehm<sup>22</sup> 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

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

afinidade com estes. Phan *et al.*<sup>38</sup> 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<sup>-1</sup> de grupos carboxílicos; 0,30 e 0,90 meq g<sup>-1</sup> de grupos lactônicos; 0,40 e 2,20 meq g<sup>-1</sup> de grupos fenólicos. Segundo Pinto *et al.*<sup>39</sup>, 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).

### 3.2. Ensaios de adsorção de NaCl

Na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos para os teores de sódio e de cloreto 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 das soluções de NaCl.

Os teores de sódio e cloreto encontrados foram característicos para cada material precursor utilizado (Tabela 6), 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

**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 <sup>-1</sup> )	NI(mg/g)	AM(%)	GB	GC	GF	GL	
							(meq.g <sup>-1</sup> )				
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	VC	4,24*	10,38*	9,54	0,0018*	1218,7*	93,95*	0,783*	0,283*	0,535	0,102
	VP	4,29*	6,54	9,23	0,0016*	1145,1*	91,13*	0,533*	0,283*	0,502	0,068
	VI	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

**Tabela 6.** Médias das concentrações de sódio (Na) e cloreto (Cl) dos carvões adsorventes utilizados

Carvões adsorventes	Na (mg L <sup>-1</sup> )	Cl (mg L <sup>-1</sup> )
CC	1,2	8,23
VC	2,1	35,67
VP	0,8	32,93
VI	1,4	32,93
MC	1,6	25,38
MP	0,8	20,58
MI	1,8	24,01

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.*<sup>40</sup>, 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.

Na Tabela 7 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 (mg L<sup>-1</sup>) e Qe (mg/g) em cada tipo de adsorvente em relação às diferentes concentrações iniciais de adsorbato. Por problemas técnicos não foi possível obter leituras precisas da concentração final de sódio quando foi utilizado a solução de 100 mg L<sup>-1</sup> de NaCl, devido à grande oscilação do equipamento Fotômetro de Chama.

Por meio do valor de R (%) é possível perceber que a concentração de 50 mg L<sup>-1</sup> 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 à da solução de 20 mg L<sup>-1</sup> (Tabela 7).

Conforme Rahman *et al.*<sup>41</sup>, 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

**Tabela 7.** Eficiência de adsorção de sódio (Na) pelos carvões adsorventes e a influência das diferentes concentrações utilizadas

	Ci (mg L <sup>-1</sup> )	CC	VC	VP	VI	MC	MP	MI
R (mg L <sup>-1</sup> )	20	10,57bD	15,57bB	15,73bB	16,47bA	15,23bC	14,97bC	9,20bE
	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
Qe (mg/g)	20	2,064bC	3,097bB	3,124bB	3,280bA	3,013bB	2,977bB	1,817bD
	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 mg L<sup>-1</sup>), percentual de retenção (R %) e da capacidade de adsorção por grama de carvão (Qe mg/g) diferem significativamente pelo teste de Scott-Knot a 1 % de probabilidade. Ci: concentração inicial

de adsorventes elaborados com VP, VI e MI, seguidos pela eficiência de remoção de MP (Tabela 7).

Ao contrário do esperado, o carvão comercial removeu quantidade de sódio inferior aos adsorventes desenvolvidos a partir de bananas (Tabela 7). 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 inferiores aos demais materiais avaliados, ao contrário do esperado, pois há apelo para a criação de alternativas de reaproveitamento das cascas de bananas, já que se tratam 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 adsortiva.

Rostamian *et al.*<sup>42</sup> afirmam que a capacidade adsortiva 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.*<sup>43</sup>, 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.*<sup>44</sup> 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 adsorbente 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 8 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 (mg L<sup>-1</sup>) e Qe (mg/g) para cada tipo de adsorbente utilizado em relação às soluções com concentrações iniciais diferentes de NaCl.

Quanto ao percentual de retenção, observam-se semelhanças para as concentrações iniciais de 50 e 100 mg L<sup>-1</sup>, entre os carvões VC, VP, VI, MP e MI (Tabela 8), 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 mg L<sup>-1</sup>, diferentemente daqueles elaborados com bananas maduras, em que o percentual adsortivo foi superior com a solução de 100 mg L<sup>-1</sup>. 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.

**Tabela 8.** Eficiência de adsorção de cloretos (Cl) pelos carvões adsorventes e a influência das diferentes concentrações utilizadas

	Ci (mgL-1)	CC	VC	VP	VI	MC	MP	MI
R (mgL <sup>-1</sup> )	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
Qe (mg/g)	20	1,138cB	1,020cB	2,791cA	2,299cA	1,199cB	0,385cB	2,054cA
	50	3,478bB	5,837bA	5,305bA	5,926bA	3,163bB	3,623bB	4,029bB
	100	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 mg L<sup>-1</sup>), percentual de retenção (R %) e da capacidade de adsorção por grama de carvão (Qe mg/g), se diferem significativamente pelo teste de Scott-Knot a 1 % de probabilidade. Ci: concentração inicial.

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 se utilizou a solução com concentração inicial de  $100 \text{ mg L}^{-1}$ .

É possível que o tempo e a temperatura empregados 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.*<sup>45</sup>, 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 e, segundo Valle e Camargos<sup>46</sup>, trata-se do componente que confere o sabor adstringente do fruto neste estágio de maturação.

Ao contrário do esperado, 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, uma vez que a casca vem sendo estudada como material residual para remoção de diversos componentes químicos considerados poluentes de águas residuais, assim como investigado por Darge e Mane,<sup>47</sup> Kanyal e Bhatt,<sup>48</sup> Mathew *et al.*<sup>49</sup>, 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  $100 \text{ mg L}^{-1}$  (Tabela 8). 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

O período de aquisição dos frutos utilizados para a confecção dos carvões, não interferiu significativamente nos resultados obtidos para a caracterização dos materiais 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 eficiência de remoção de sódio foi melhor representada com a solução de adsorbato na concentração inicial de  $50 \text{ mg L}^{-1}$ , em que a quantidade de sódio adsorvida por grama de carvão foi superior para os adsorventes VP, VI e MI. E com relação ao desempenho de retenção de cloretos, houve uma melhor representação quando se utilizou da concentração inicial de  $50 \text{ mg L}^{-1}$  para os carvões feitos com bananas verdes, e de  $100 \text{ mg L}^{-1}$  para os elaborados com bananas maduras, em que 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, mas obteve maior capacidade adsorptiva de cloretos ao ser utilizado em ensaios com soluções de NaCl nas concentrações de 50 e  $100 \text{ mg L}^{-1}$ .

Sendo assim, a maioria das características avaliadas dos carvões adsorventes produzidos a partir de bananas 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

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, e também com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) pela concessão de bolsa de estudos submetida através do Edital 002/2015, Processo nº 153788/2015.

#### Referências Bibliográficas

<sup>1</sup> Souza, J. R.; Moraes, M. E. B.; Sonoda, S. L.; Santos, H. C. R. G. A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. *Rede Eletrônica do Prodemá* **2014**, *8*, 26. [Link]

- <sup>2</sup> Tomasoni, M. A.; Pinto, J. E. S.; Silva, H. P. A questão dos recursos hídricos e as perspectivas para o Brasil. *Geo Textos* **2009**, *5*, 107. [[Link](#)]
- <sup>3</sup> Fu, F.; Wang, Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management* **2011**, *92*, 407. [[CrossRef](#)]
- <sup>4</sup> 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* **2013**, *9*, 79. [[CrossRef](#)]
- <sup>5</sup> Mussato, S. I.; Fernandes, M.; Rocha, G. J. M.; Órfão, J. J. M.; Teixeira, J. A.; Roberto, I. C. Production, characterization and application of activated carbon from brewer's spent grain lignin. *Bioresource Technology* **2010**, *101*, 2450. [[CrossRef](#)]
- <sup>6</sup> Ismail, A.; Sudrajat, H.; Jumbianti, D. Activated carbon from durian seed by h3po4 activation: Preparation and pore structure characterization. *Indonesian Journal of Chemistry* **2010**, *10*, 36. [[Link](#)]
- <sup>7</sup> Kalderis, D.; Bethanis, S.; Paraskeva, P.; Diamadopoulou, E. Production of activated carbon from bagasse and rice husk by a single-stage chemical activation method at low retention times. *Bioresource Technology* **2008**, *99*, 6809. [[CrossRef](#)]
- <sup>8</sup> Verla, A. W.; Horsfall, M.; Verla, E. N.; Spiff1, A. I.; Ekpete, O. A. Preparation and characterization of activated carbon from fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis* hook.f) seed Shell. *Leena and Luna International* **2012**, *1*, 39. [[Link](#)]
- <sup>9</sup> 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* **2010**, *9*, 359. [[Link](#)]
- <sup>10</sup> Shalna, T.; Yogamoorthi, A. Preparation and characterization of activated carbon from used Tea dust in comparison with commercial activated carbon. *International Journal of Recent Scientific Research* **2015**, *6*, 2750. [[Link](#)]
- <sup>11</sup> Anisuzzaman, S. M.; Joseph, C. G.; Daud, W. M. A. B. W.; Krishnaiah, D.; Yee, H. S. Preparation and characterization of activated carbon from Typha orientalis leaves. *International Journal of Industrial Chemistry* **2015**, *6*, 9. [[CrossRef](#)]
- <sup>12</sup> 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* **2012**, *3*, 125. [[Link](#)]
- <sup>13</sup> Bhatnagar, A.; Minocha, A. K. Conventional and non-conventional adsorbents for removal of pollutants from water – A review. *Indian Journal of Chemical Technology* **2006**, *13*, 203. [[Link](#)]
- <sup>14</sup> Bhatnagar, A.; Hogland, W.; Marques, M.; Sillanpaa, M. An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications. *Chemical Engineering Journal* **2013**, *219*, 499. [[CrossRef](#)]
- <sup>15</sup> Chapman, D.; Kimstach, V.; *Water Quality Assessments: A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring*, 2a. ed., Cambridge: University Press, 1992. [[Link](#)]
- <sup>16</sup> Souza, P. G.; Queiroz, T. M.; Carvalho, J. W. P. Briquetes de Carvão Elaborados a Partir dos Frutos da Bananeira. *Revista Virtual de Química* **2018**, *10*, 989. [[CrossRef](#)]
- <sup>17</sup> Boniolo, M. R.; Yamaura, M.; Monteiro, R. A. Biomassa residual para remoção de íons de urânio. *Química Nova* **2010**, *33*, 547. [[CrossRef](#)]
- <sup>18</sup> Ioannidou, O.; Zabaniotou, A. Agricultural residues as precursors for activated carbon production—A review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* **2007**, *11*, 1966. [[CrossRef](#)]
- <sup>19</sup> Associação Brasileira de Normas Técnicas; Carvão ativado pulverizado: Determinação do número de iodo (MB-3414), 1991. [[Link](#)]
- <sup>20</sup> Associação Brasileira de Normas Técnicas; Carvão ativado pulverizado: Determinação do número de iodo (MB-3410), 1991. [[Link](#)]
- <sup>21</sup> Japanese Industrial Standards; Activated carbons, powdered and granular: Methods of sampling and test, 1992. [[Link](#)]
- <sup>22</sup> Boehm, H. P. Some aspects of the surface chemistry of carbon blacks and other carbons. *Carbon* **1994**, *32*, 759. [[CrossRef](#)]
- <sup>23</sup> 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. [[Link](#)]
- <sup>24</sup> American Public Health Association; Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 2012. [[Link](#)]
- <sup>25</sup> Nwosu, F. O.; Olu-Owolabi, B. I.; Adebowale, K. O.; Henle, T.; Schwarzenbolz, U. Pore structure and surface functional groups on six tropical fruit nutshell active carbons. *Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability* **2009**, *3*, 89. [[Link](#)]
- <sup>26</sup> 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* **2010**, *10*, 3361. [[CrossRef](#)]

- <sup>27</sup> Ahmedna, M.; Marshall, W. E.; Rao, R. M.; *Granular-activated carbons from agricultural by products: preparation, properties, and application in cane sugar refining*, Bulletin 869, University Agricultural Center: Louisiana State, 2000. [Link]
- <sup>28</sup> Akapa, J. G.; Nmegbu, C. G. J. Adsorption of Benzene on Activated Carbon from Agricultural Waste Materials. *Research Journal of Chemical Sciences* **2014**, *4*, 34. [Link]
- <sup>29</sup> Moreno-Castilla, C. Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials. *Carbon* **2004**, *42*, 83. [CrossRef]
- <sup>30</sup> NG, C.; Losso, J. N.; Marshall, W. E.; Rao, R. M. Physical and chemical properties of selected agricultural byproduct-based activated carbons and their ability to adsorb geosmin. *Bioresource Technology* **2002**, *84*, 177. [CrossRef]
- <sup>31</sup> Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Carvão ativado pulverizado: Especificação (EB-2133)*, 1991. [Link]
- <sup>32</sup> Crethana Krishna P. A. A reaserch on cocoa pod husk activated carbon for textile industrial wastewater colour removal. *International Journal of Research in Engineering and Technology* **2014**, *3*, 731. [Link]
- <sup>33</sup> Nunes, C. A.; Guerreiro, M. C. Estimation of surface area and pore volume of activated carbons by methylene blue and iodine numbers. *Química Nova* **2011**, *34*, 472. [CrossRef]
- <sup>34</sup> Borges, W. M. S. Bianchi, M. L.; de Resende, E. C.; Arantes, A. C. C.; Perígolo, D. M.; Boari, P. V. Carvão ativado de resíduo de madeira de candeia: produção, caracterização e avaliação do potencial adsorptivo. *Revista Virtual de Química* **2015**, *7*, 1952. [CrossRef]
- <sup>35</sup> Wang, S.; Zhu, Z. H.; Coomes, A.; Haghseresht, F.; Lu, G.Q. The physical and surface chemical characteristics of activated carbons and the adsorption of methylene blue from wastewater. *Journal of Colloid and Interface Science* **2005**, *284*, 440. [CrossRef]
- <sup>36</sup> Souza, R. S.; Carvalho, S. M. L.; Garcia Júnior, M. R. L.; Sena, R. S. F. Adsorção de cromo (VI) por carvão ativado granular de soluções diluídas utilizando um sistema batelada sob pH controlado. *Acta Amazônica* **2009**, *39*, 661. [CrossRef]
- <sup>37</sup> Boehm, H. P. Surface oxides on carbon and their analysis: a critical assessment. *Carbon* **2002**, *40*, 145. [CrossRef]
- <sup>38</sup> Phan, N. H.; Rio, S.; Faur, C.; Coq, L. L.; Cloirec, P. L.; Nguyen, T. H. Production of fibrous activated carbons from natural cellulose (jute, coconut) fibers for water treatment applications. *Carbon* **2006**, *44*, 2569. [CrossRef]
- <sup>39</sup> 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* **2012**, *42*, 541. [CrossRef]
- <sup>40</sup> Achak, M.; Hafidi, A.; Ouazzani, N.; Sayadi, S.; Mandi, L. Low cost biosorbent "banana peel" for the removal of phenolic compounds from olive mill wastewater: Kinetic and equilibrium studies. *Journal of Hazardous Materials* **2009**, *166*, 117. [CrossRef]
- <sup>41</sup> Rahman, M. A.; Amin, S. M. R.; Alam, A. M. S. Removal of methylene blue from waste water using activated carbon prepared from rice husk. *Dhaka University Journal of Science* **2012**, *60*, 185. [CrossRef]
- <sup>42</sup> 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* **2015**, *17*, 1057. [Link]
- <sup>43</sup> Lo Monaco, P. A. V.; Matos, A. T.; Júnior, V. E.; Sarmiento, A. P.; Moreira, R. M. G. Desempenho de filtros constituídos por pergaminho de grãos de café (*Coffeasp.*) no tratamento de águas residuárias. *Coffee Science* **2011**, *6*, 120. [Link]
- <sup>44</sup> Lo Monaco, P. A. V.; Matos, A. T.; Sarmiento, A. P.; Júnior, A. V. L.; Lima, J. T. Desempenho de filtros constituídos por fibras de coco no tratamento de águas residuárias de suinocultura. *Engenharia na Agricultura* **2009**, *17*, 473. [Link]
- <sup>45</sup> Mulani, K.; Daniels, S.; Rajdeo, K.; Tambe, S.; Chavan, N. Tannin-Aniline-Formaldehyde resole resins for arsenic removal from contaminated water. *Canadian Chemical Transactions* **2014**, *2*, 450. [Link]
- <sup>46</sup> Valle, H. F.; Camargos, M.; *Yes, nós temos BANANAS: Histórias e receitas com biomassa de banana verde*, 3a. ed., Senac: São Paulo, 2002.
- <sup>47</sup> Darge, A.; Mane, S. J. Treatment of industrial wastewater by using banana peels and fish scales. *International Journal of Science and Research* **2015**, *4*, 600. [Link]
- <sup>48</sup> Kanyal, M.; Bhatt, A. A. Removal of heavy metals from water (Cu and Pb) using household waste as an adsorbent. *Bioremediation & Biodegradation* **2015**, *6*, 1. [CrossRef]
- <sup>49</sup> Mathew, M.; Mathew, A.; Jyothis, G.; Anjalathu, V. N.; Alexander, C. S. Effective ness of banana peel and *Moringa oleifera* seed powders for the treatment of wastewater from institutional kitchen. *International Journal of Advance Engineering and Research Development* **2015**, *2*, 96. [Link]