

Artigo

Remoção dos Compostos MIB e Geosmina de Água de Abastecimento Usando Carvão Ativado de Caroço de Pêssego

Silva, G. S. P.;* de Lima, L. S.; Quináia, S. P.

Rev. Virtual Quim., 2019, 11 (3), 673-685. Data de publicação na Web: 21 de junho de 2019

<http://rvq.sbq.org.br>

Removal of MIB and Geosmin on Activated Carbon Surface of Peach Kernel

Abstract: The development of new methods for the removal of taste and odor compounds (MIB and GEOSMINE) in supply waters with seasonal problems have been constantly tested. A completely accepted technology that can be efficient and used at any drinking water treatment facility is not yet available. The search for different associated techniques has demonstrated an increase in the removal of these, being the most used adsorption method. The peach stone, an agroindustrial residue, proved to be relevant and potential for use as an activated carbon precursor material for adsorption processes. The precursor material was activated and characterized, presenting porosity and surface area compatible with the adsorptive capacity of these compounds. The peach stone activated carbon showed a 612 mg g⁻¹ iodine number, which corresponds to a value within the requirements of a commercial carbon used in water and effluent treatment. The adsorption efficiency was conducted in experiments with different carbon masses, varying the contact times, and compared with commercial carbons. For samples containing 3000 ng L⁻¹ of MIB and GEOSMINE removal rates above 90 % were obtained using peach stone activated carbon.

Keywords: Activated charcoal; peach stone; MIB; GEOSMIN; water.

Resumo

O desenvolvimento de novos métodos de remoção de compostos causadores de gosto e odor (MIB e GEOSMINA) em águas de abastecimento com problemas sazonais têm sido constantemente testados. Uma tecnologia completamente aceita que possa ser eficiente e utilizada a qualquer instalação de tratamento de água potável ainda não há. A busca por diferentes técnicas associadas tem demonstrado um aumento na remoção destes, sendo a adsorção o método mais usado. O caroço de pêssego, um resíduo agroindustrial, mostrou-se relevante e com potencial para utilização como material precursor de carvão ativado para processos adsorptivos. O material precursor foi ativado e caracterizado, apresentando porosidade e área superficial compatível com a capacidade adsorptiva destes compostos. O carvão ativado de caroço de pêssego apresentou número de iodo de 612 mg g⁻¹, que corresponde a um valor dentro dos requisitos de um carvão comercial usado em tratamento de água e efluentes. A eficiência de adsorção foi conduzida em experimentos com diferentes massas de carvão, variando os tempos de contato, e comparada com carvões comerciais. Para amostras contendo 3000 ng L⁻¹ de MIB e GEOSMINA obteve-se índices de remoção acima de 90 % usando o carvão ativado de caroço de pêssego.

Palavras-chave: Carvão ativado; caroço de pêssego; MIB; GEOSMINA; água.

* Universidade Estadual do Centro-Oeste, Departamento de Química, Rua Simeão Camargo Varela de Sá 03, Vila Carli, CEP 85040-080, Guarapuava-PR, Brasil.

✉ graziportes@gmail.com

DOI: [10.21577/1984-6835.20190050](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190050)

Remoção dos Compostos MIB e Geosmina de Água de Abastecimento Usando Carvão Ativado de Caroço de Pêssego

Graziella S. Portes Silva,^{a,*} Liliane S. de Lima,^b Sueli P. Quinária^a

^a Universidade Estadual do Centro-Oeste, Departamento de Química, Rua Simeão Camargo Varela de Sá 03, Vila Carli, CEP 85040-080, Guarapuava-PR, Brasil.

^b Alphacarbo Industrial LTDA, Estrada Municipal Benedito de Paula Louro s/n, BR277, KM 342, CEP 84100-970, Guarapuava-PR, Brasil.

* graziportes@gmail.com

Recebido em 29 de junho de 2018. Aceito para publicação em 11 de junho de 2019

1. Introdução

2. Metodologia

2.1. Obtenção e ativação do caroço de pêssego

2.2. Caracterização do carvão ativado de caroço de pêssego

2.3. Determinação da capacidade de adsorção do carvão ativado de caroço de pêssego

3. Resultados e Discussões

3.1. Características físicas e químicas do CACP

3.2. Determinação da capacidade de adsorção do CACP

4. Conclusões

1. Introdução

A água é um bem de domínio público, natural e limitado, dotado de valor econômico, e que em situações de escassez, torna-se ainda mais prioritária o seu uso para consumo humano e dessedentação de animais. Um grande desafio à humanidade tem sido as ocupações desordenadas dos centros urbanos, o avanço tecnológico e expansão das atividades agrícolas e o aumento da produção industrial, fatores que contribuem e alteram a qualidade da água. A escassez pode ser de origem quantitativa, ou

qualitativa, resultante, em alguns casos, de modificações na qualidade da água pela poluição. Diversas regiões encontram-se sob estresse hídrico, embora haja grande disponibilidade de recurso hídrico.¹

Dos ambientes aquáticos continentais, cerca de 30 a 50 % possuem excesso de nutrientes o que causa a eutrofização de suas águas.² A eutrofização dos mananciais contribui para a floração de algas e cianobactérias. Em condições ambientais favoráveis, as cianobactérias apresentam um acelerado crescimento, ocasionando o fenômeno conhecido por "bloom", com o aparecimento de manchas na superfície das

águas. Associado a este fenômeno está a produção de compostos que conferem gosto e odor à água.

Destacam se entre os compostos orgânicos naturais responsáveis por conferir sabor e

odor às águas oriundas dos mananciais, o MIB (1,2,7,7-tetrametilbicyclo-[2.2.1] heptan-2-ol, ou simplesmente 2-metilisborneol) e a GEOSMINA (Trans-1,10-Dimetil-trans-9-decalol) (Figura 1).

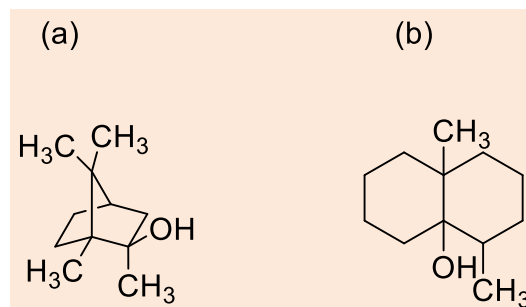


Figura 1. (a) Molécula de 2-MIB; e (b) molécula de Geosmina

Estes compostos, mesmo a baixas concentrações são notáveis, apresentando níveis de detecção de ng L^{-1} .³ Sendo assim, consumidores percebem a sua presença, pois normalmente avaliam a qualidade da água potável através de percepções sensoriais de odor, gosto e cor.⁴ De acordo com suas fórmulas moleculares, tratam-se de álcoois terciários, de baixa reatividade, portanto, muito resistentes ao cloro, cloramina e dióxido de carbono. Os álcoois terciários não apresentam hidrogênio ligado ao carbono hidroxilado, dificultando a ligação com cloro, não sofrendo oxidação, portanto não reagem com a maioria dos agentes oxidantes.⁵

Dentre os métodos de remoção de compostos causadores de gosto e odor em águas de abastecimento com problemas sazonais, a adsorção em carvão ativado pulverizado - CAP é o método preferido por sua flexibilidade.

Ainda não existe uma tecnologia completamente aceita que possa ser eficiente e utilizada a qualquer instalação de tratamento de água potável. Segundo estudos recentes, a possibilidade de diferentes técnicas associadas tem demonstrado um aumento na remoção de MIB e GEOSMINA. Dentre as mais comumente utilizadas encontram-se os métodos oxidativos, de adsorção e processos biológicos.⁶

A remoção de compostos odoríferos apresenta em geral um custo operacional elevado,⁷ e a adsorção em carvão ativado (CA) é amplamente aceita como uma tecnologia avançada para esta remoção, apresentando-se o carvão ativado granulado (CAG) com resultados mais eficientes.⁸

O carvão é o material que apresenta a maior capacidade de adsorção,⁹ entretanto, suas características são influenciadas, principalmente, pelo material precursor escolhido e pelo método utilizado na sua preparação. Além disso, a capacidade de adsorção do carvão é extremamente dependente da sua área superficial, distribuição de poros e a existência de grupos funcionais na superfície do material adsorvente.¹⁰

Qualquer material com alto teor de carbono pode ser transformado em carvão ativado, como, por exemplo, lignina, madeira, hulha, carvões minerais (antracito, betuminoso, linhito), cascas de coco, de arroz, de nozes, caroços de frutas, grão de café, entre outros.¹¹ Os precursores do carvão ativado são materiais que se enriquecem durante o tratamento térmico, sem que haja fusão ou abrandamento que impeça a formação de microporos. Caso a porosidade dos precursores seja baixa, é necessário ativá-los. Embora as condições de processamento

possam ter alguma influência na estrutura e propriedade do produto final, estas são determinadas principalmente pela natureza do material precursor.¹²

O pêssego (*Prunus persica* L.) é a oitava fruta mais produzida no mundo, com 21 milhões de toneladas produzidos em uma área de 1,5 milhão de hectares e também, é uma das frutas mais consumidas in natura.¹³

No Brasil, a cultura vem se expandindo consideravelmente nos últimos anos tendo em vista o grande potencial de mercado. Atualmente, o Rio Grande do Sul é o maior produtor nacional responsável por cerca de 50 % da produção brasileira.¹⁴

A grande distância dos principais centros consumidores, obstáculo para a comercialização do fruto in natura, levou a instalação na região de várias empresas do setor agroindustrial, como consequência, as indústrias geram uma grande quantidade de caroços de pêssegos, que atualmente são descartados e depositados em aterros sem que haja qualquer conformidade com as leis ambientais, originando problemas ao meio ambiente.

De acordo com o cenário apresentado, o caroço de pêssego torna se um resíduo agroindustrial relevante e com potencial para utilização como material precursor de carvão ativado.

2. Metodologia

2.1. Obtenção e ativação do caroço de pêssego

As amostras de caroço de pêssego in natura foram doadas por um fabricante de carvão ativado da região de Guarapuava-PR. Foi realizada uma coleta aleatória do caroço de pêssego, homogeneizada e armazenada em frascos plásticos em quantidade suficiente para a caracterização completa e posterior aplicação.

Uma amostra de caroço de pêssego in natura foi carbonizada e ativada a fim de uma avaliação preliminar do seu rendimento de ativação (Figura 2). O rendimento foi calculado pela relação entre a massa de carvão ativado obtida no final do processo e a massa de caroço de pêssego in natura.

A amostra de caroço de pêssego foi lavada para remoção de impurezas, seca em estufa a 110 °C por 24 horas (Figura 2 (a)) e em seguida triturada em tamanhos regulares (de 5 a 10 mm). A amostra foi então impregnada com H₃PO₄ 85 % (grau alimentício) e carbonizada a 150 °C por 24 horas (Figura 2 (b)).

O material carbonizado foi neutralizado com solução de NaHCO₃ a 1 %, por um período de 12 horas, em seguida lavado com água destilada até pH 7, posteriormente seco em estufa a 120 °C por 24 horas. O material seco foi submetido a uma temperatura de 450 °C por 1 hora em forno mufla (Figura 2 (c)). Na sequência, foi moído até 90 % de partículas menores do que 45 µm para a caracterização.



Figura 2. (a) Caroço de pêsego *in natura*; (b) Caroço de pêsego carbonizado; (c) Caroço de pêsego ativado

2.2. Caracterização do carvão ativado de caroço de pêsego

Os resultados de caracterização do carvão ativado de caroço de pêsego (CACP) foi comparado com outros tipos de carvão ativado disponíveis no mercado (carvão ativado pulverizado de pinus comercial (CAP); carvão ativado betuminoso comercial (CABe) e carvão ativado de babaçu comercial (CABa).

As caracterizações das amostras de carvões foram realizadas com base em análises padrão utilizadas para a avaliação de carvões ativados comerciais. As análises foram realizadas seguindo as metodologias documentadas pela ASTM (American Society Test Methods) e ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Entre elas, o teor de umidade,^{15,16} o teor de cinzas,¹⁷ granulometria,¹⁸ determinação do número de iodo,¹⁹ determinação do pH,²⁰ determinação do poder calorífico²¹ e densidade aparente.²²

As superfícies das amostras de carvões foram investigadas quanto a morfologia, utilizando um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), modelo TM3000, marca Hitachi, acoplado a um sistema de energia dispersiva (EDS - Electron Dispersive System), modelo SwiftED3000. As medidas foram realizadas à temperatura ambiente e no suporte de amostra foi utilizado uma fita de carbono dupla face.

A área superficial B.E.T e o volume de poros dos carvões ativados foram determinados pela adsorção de N₂ à 77 K, pela aplicação da isoterma de Brunauer-Emmett-Teller (BET) e o volume total de poros foi estimado pelo volume de N₂ adsorvido em uma pressão relativa alta. O método Horvath-Kawazoe (HK) foi aplicado para determinar o volume da área superficial de microporos, que se baseia em princípios mecânicos estatísticos e termodinâmicos. O volume e área de meso e macroporos foram obtidos pela diferença entre o volume e a área de microporos em relação ao volume e área total, respectivamente.²³ As medidas foram realizadas em um equipamento QUANTACHROME AUTOSORB.

2.3. Determinação da capacidade de adsorção do carvão ativado de caroço de pêsego

Para determinar a capacidade de adsorção do CACP foi utilizada a metodologia ASTM.²⁴ Amostra de CACP foi preparada e peneirada, de modo que 95 % do material passou através de uma peneira de malha US#325 por triagem úmida ou equivalente, e seca no forno de acordo o método ASTM.¹⁶

Os pesos dos carvões ativados e dos volumes das amostras de soluções que foram utilizados para as concentrações esperadas de

constituintes absorvíveis foram baseados no procedimento ASTM.²⁴

O instrumento utilizado para simular o contato do carvão com as soluções das amostras foi um JAR-TEST JT102 da marca Milan. O padrão misto de 2-MIB e GEO foi adquirido da Supelco a uma concentração de 100 µg mL⁻¹ em metanol. Foi preparada uma solução padrão em metanol na concentração de 3000 ng L⁻¹. O metanol, grau HPLC e o cloreto de sódio (NaCl) utilizado, em grau analítico, foram adquiridos da Merck.

A avaliação da capacidade adsortiva do CACP, foi realizada em duas etapas. Inicialmente com amostras de água dopadas com MIB e GEOSMINA, e em seguida com amostras de água bruta coletadas da ETA – SANEPAR de Guarapuava-PR.

Amostras de água, em volume de 500 mL, foram dopadas com a solução padrão em metanol e acondicionadas em JAR-TEST para agitação por 30, 60 e 120 minutos em contato com o carvão. As diferentes massas de carvão ativado 0; 2,5; 5,0; 10,0; 25,0 e 50,0 mg foram acondicionadas nos frascos do JAR-TEST e identificadas como V1 (vaso1), V2, V3, V4, V5 e V6, respectivamente.

Após contato com o carvão, alíquotas de 30 mL, de cada vaso, foram retiradas e filtradas em membrana 0,45 µm, imediatamente acondicionadas em vials de 20 mL para injeção e determinação da concentração de MIB e GEOSMINA remanescente em cromatógrafo gasoso (Agilent 7890A) acoplado à espectrometria de massa (Agilent 5975), equipado com amostrador automático para separação e detecção dos componentes em headspace estático. A coluna utilizada foi HP-5ms UI (30m x 0,25mm x 0,25µm) 5 % Fenil 95 % dimetilpolisiloxano.

A interface de voláteis foi mantida em 200°C com um índice de divisão de 2:1

(splitless) combinado com rampa de entrada do gás transportador. Utilizou-se hélio 6.0, com pureza de 99,9999 %, como o gás portador com uma taxa de fluxo de coluna de 1,0 mL/min.

Na entrada, a pressão foi mantida a 30 psi (taxa de fluxo da coluna: 4,4 mL/min) durante 1,5 min, e a temperatura da coluna foi mantida a 35°C durante 1,5 min, passando a operar em rampa de temperatura até 280°C. A fonte de íons foi mantida a 230°C. O detector MS ajustado para modo SIM, os íons de monitorização foram m/z 95 e 107 para 2-MIB e m/z 112 e 125 para GEO.²⁵

A quantidade de MIB e GEOSMINA adsorvida pelo carvão (mg) e a quantidade destes constituintes adsorvidos por massa de carvão X/M (ng g⁻¹) foram calculados conforme ASTM.²⁴

3. Resultados e Discussões

3.1. Características físicas e químicas do CACP

As características do carvão ativado dependem da matéria-prima usada, das condições de ativação e da natureza dos agentes ativantes. Com isso, cada processo terá propriedades de adsorção diferentes e usos diversificados.

O processo de ativação do CACP apresentou um rendimento de 40 %, valor este que corrobora com a literatura²⁶ em processos de carbonização de biomassa residual de frutos amazônicos (caroço de açaí).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, foi possível comparar as características do CACP proposto com carvões comerciais.

Tabela 1. Análise Físico-química dos carvões ativados oriundos de diferentes matérias primas

Parâmetros	CACP	CAP	CABe	CABa
Umidade (%)	7,01	12,20	10,03	13,02
Cinzas (%)	2,76	3,74	9,60	15,90
Poder Calorífico (cal kg ⁻¹)	7900	7340	6970	6058
Densidade Aparente (g mL ⁻¹)	0,68	0,26	0,30	0,63
Número de Iodo (mg g ⁻¹)	612	765	824	544
pH	7,71	9,46	8,02	7,94

O CACP apresentou o menor valor de umidade (7,01 %), e o menor valor de cinzas (2,76 %), fatores que influenciam positivamente a capacidade de adsorção, em concordância com valores propostos pela literatura,²⁷ os quais não deve exceder a 4 % para valores de cinzas e 8 % para umidade. O CACP apresentou a menor quantidade de cinzas, indicando menor teor de compostos inorgânicos em relação aos demais carvões.

Os valores de pH para todos os carvões analisados estão em caráter neutro a alcalino. O pH é determinante na carga do adsorvente. Essa carga depende do pH do meio e das características de superfície,²⁷ sobre essa superfície uma carga proveniente da dissociação dos grupos funcionais, ou da adsorção de íons da solução, logo o pH pode interferir na troca iônica do adsorvente.

A densidade aparente está diretamente relacionada ao nível de ativação do adsorvente e à origem da matéria-prima. Carvões ativados que têm origem da madeira de pinus (CAP) são produtos leves e associado ao alto número de iodo, que indica uma alta área superficial desenvolvida, e apresentam baixas densidades aparente. O CABe, apesar de ser um produto de origem mineral, apresentou baixa densidade devido à grande área superficial desenvolvida na ativação (número de iodo 824 mg g⁻¹). Já os carvões CACP e o CABa apresentaram altos valores de densidade, que são atribuídos ao menor número de iodo (612 e 544, respectivamente) e também à origem da matéria-prima que se apresenta mais densa *in natura* e

consequentemente origina carvões ativados de maiores densidades. Nos processos de aplicação em batelada, a densidade é importante porque determina o tempo que a partícula de carvão ativado leva para decantar. Carvões mais densos decantam mais rapidamente, diminuindo assim o tempo de contato com a água contaminada. Um sistema eficiente de agitação pode estabilizar esta variável.²⁹

A capacidade de adsorção de iodo, que é uma medida comercial, e que tem uma correlação direta com a área superficial do produto, apresentou um resultado de 612 mg g⁻¹ para o CACP indicando o desenvolvimento de uma área superficial e abrindo perspectivas para a otimização do processo de ativação. Este resultado é aceitável comercialmente para tratamento de águas (> 600 mg g⁻¹), conforme recomendações da ABNT.²⁸ Das amostras avaliadas, o CABa apresentou o menor valor (544 mg g⁻¹), que está abaixo do recomendado. O carvão de CACP apresentou o maior valor de poder calorífico (7900 cal kg⁻¹) em relação aos demais, indicando maior quantidade de energia interna. Novamente, o CABa apresentou o menor valor calorífico frente as demais amostras (6058 cal kg⁻¹).

Após a ativação dos distintos materiais, foi possível observar as características específicas de cada matéria prima através de uma análise micro estrutural (Figura 3). As imagens de MEV dão um bom indicativo da característica de poro e partícula formados pelos diferentes materiais de partida após a etapa de ativação e moagem. Mesmo sabendo que são todos

materiais carbonáceos, verificou-se diferenças nas formações da porosidade e das partículas dos carvões ativados. Certamente, estas diferenças têm sua importância na aplicação destes produtos, já que os poros podem ser seletivos a determinadas moléculas, ou pelo tamanho do poro ou pela característica química da superfície, ou da interação entre estas duas características.

Com relação ao CACP, o desenvolvimento da porosidade foi comparado em relação a morfologia da superfície do caroço de pêssego in natura (Figura 3 (a)) e do material ativado (Figura 3 (b)). Nota-se o aumento significativo da presença de poros após a ativação do caroço de pêssego.

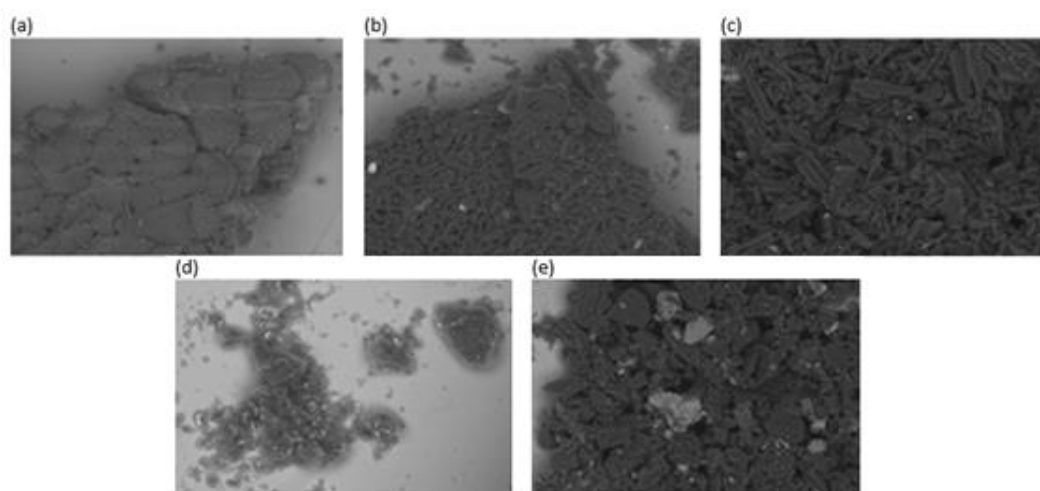


Figura 3. Imagens por MEV. (a) Caroço de pêssego in natura; (b) Caroço de pêssego ativado; (c) Pinus ativado; (d) Betume ativado e (e) Babaçu ativado. HL D8.3 x500 200um

Como complemento de caracterização dos carvões, foi realizado análises de área de superfície por isoterma Brunauer, Emmett e Taller (BET) e Lagmuir, de volume de poros e

distribuição de meso e microporos. A Tabela 2 resume os resultados de área superficial e volume de poros e diâmetro médio de poros para os carvões ativados investigados.

Tabela 2. Caracterizações dos carvões ativados em função da área superficial e volume dos poros

Carvões ativados (Parâmetros)	CACP	CAP	CABe	CABa
Área superficial total BET ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)	500,70	783,90	768,20	588,10
Volume total de poros ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$)	0,2740	0,4965	0,5554	0,3386
Volume de microporos ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$)	0,1746	0,3225	0,4234	0,3075
Volume de mesoporos ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$)	0,0994	0,1740	0,1320	0,0311
Diâmetro médio de poros (Å)	5,125	5,225	5,375	5,375

Correlacionando-se os valores de número de iodo e à área superficial de cada carvão ativado, observou-se que existe forte correlação entre os mesmos ($r = 0,8675$). A adsorção de iodo é uma análise relativamente simples e que se utiliza de técnicas clássicas para determinação e é muito utilizada pela indústria para avaliar o grau de ativação dos carvões. Por isso, a relação direta com a área superficial em $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ é interessante, já que a técnica BET exige mais tempo e tem um maior custo para sua realização.

De acordo com a Tabela 2, o CACP apresentou o desenvolvimento de um grande volume de microporos correspondente a aproximadamente 64 % do volume total de poros o que contribuiu para a eficiência de adsorção de MIB e GEOSMINA neste material. Conforme já observado em literatura^{29,30} o tamanho das moléculas de MIB e GEO conduzem a adsorção em microporos.

Considerando tamanho das moléculas de MIB e GEOSMINA, a fração apresentada por todos esses materiais tanto de micro como de mesoporos influenciam no melhor efeito de adsorção os mesmos, conforme já observado em literatura.^{29,30}

3.2. Determinação da capacidade de adsorção do CACP

A capacidade de adsorção de MIB e Geosmina por CACP foi avaliada e comparada com os carvões comerciais (CABe e CABa), utilizando amostras de água ultrapura e amostras de água bruta da unidade de abastecimento de água potável (SANEPAR-GUARAPUAVA) dopadas com uma mistura dos dois compostos (3000 ng L^{-1}). A Tabela 3 apresenta as porcentagens de remoção de MIB e GEO em diferentes tempos de contato com o CACP.

Tabela 3. Eficiência de remoção de MIB e GEO após contato com o CACP

Tempo de contato (min.)	% de adsorção	
	MIB*	GEO*
30	62,57	80,15
60	70,58	87,02
120	71,33	75,34

* 3000 ng L^{-1}

Observou-se que a variação no tempo de contato entre os compostos MIB e GEO não apresentaram variações expressivas na porcentagem de remoção em função do tempo usado, portanto, optou-se por conduzir os demais experimentos usando o tempo de

30 min. para melhor frequência analítica. Após, foi avaliado a capacidade de adsorção do CACP frente aos demais carvões comerciais para os constituintes MIB e GEOSMINA (Tabela 4).

Tabela 4. Capacidade de adsorção do CACP para MIB e GEO (3000 ng L⁻¹) em diferentes dosagens (g)

Massa de carvão (g)	Capacidade de adsorção - X/M (ng g ⁻¹)					
	CACP		CABe		CABa	
	MIB	GEO	MIB	GEO	MIB	GEO
0,0000	-	-	-	-	-	-
0,0025	17,45	35,15	129,13	118,90	35,02	62,88
0,0050	17,41	25,33	78,29	66,39	56,25	65,34
0,0100	16,26	20,91	42,19	33,98	38,18	37,39
0,0250	12,38	10,75	17,18	13,13	17,43	15,31
0,0500	7,06	5,58	9,14	7,03	9,60	7,93

Com o aumento da dosagem de carvão ativado verificou-se um aumento da remoção de MIB e GEOSMINA, o que reforça a importância da escolha do carvão ativado mais apropriado para remoção de compostos causadores de gosto e odor, exigindo a realização de ensaios experimentais específicos pelas ETAs. Pode-se verificar reduções significativas dos constituintes MIB e GEOSMINA, conforme massa de carvão usada, entre 10,82 a 89,17 % e 4,47 a 95,54 %, respectivamente. As variações de redução das porcentagens adsorvidas foram proporcionais ao aumento das massas de carvões utilizadas no experimento e os resultados medidos apresentam-se satisfatórios e acordam com a literatura.^{31,32}

Para o CABe (Tabela 4), o qual é mundialmente utilizado para essa aplicação em sistemas de tratamento de água, verificou-se remoções de MIB e GEO de 70,60 a 100,00 % e 84,49 a 100,00 %, conforme massa usada, respectivamente. No entanto, salienta-se que esse carvão (CABe) é de origem mineral e possui custo superior aos demais. O CABa também apresentou resultados semelhantes, com eficiência de redução de MIB e GEO de 18,22 a 100,00 % e 39,64 a 100,00 %, respectivamente.

No geral, o processo de adsorção dos compostos causadores de gosto e odor nos carvões ativados apresentaram porcentagens de remoção acima de 70 %, quando usado massas de 0,01 g de qualquer um dos carvões. Considera-se satisfatório o uso do CACP tendo em vista que os demais carvões possuem maior custo de produção.

No presente estudo, houve uma menor capacidade adsorptiva do CACP, independente da massa utilizada, para o composto MIB quando comparado à GEOSMINA, tendência já encontrada anteriormente em outros experimentos.^{33,34}

Em experimentos usando membranas de nanofiltração³¹ as reduções de MIB e GEO foram superiores a 97 e 96 %, respectivamente. Além da retenção física pelo tamanho de poros, as membranas têm capacidade de remover alguns compostos com peso molecular inferiores a abertura dos poros através dos mecanismos de formação de bolo junto à superfície da membrana e adsorção junto aos seus poros, o que torna o sistema mais eficiente do que simplesmente o processo de adsorção física. Trabalhos desenvolvidos através de ozonização³² também relataram remoções de MIB desta magnitude, porém estas técnicas têm um

custo elevado para as estações de tratamento já instaladas.

A Tabela 5 apresenta os resultados encontrados de adsorção de MIB e GEOSMINA pelo CACP em água bruta dopada com 3000 ngL⁻¹ de cada composto.

Tabela 5. Capacidade de adsorção do CACP para amostra de água natural bruta

Massa de Carvão (g)	Capacidade de adsorção do caroço de pêsego X/M (ng g ⁻¹)	
	MIB*	GEOSMINA*
0,0000	-	-
0,0025	42,872	36,495
0,0050	9,464	9,909
0,0100	7,692	8,394
0,0250	12,694	10,756
0,0500	9,295	6,689

* 3000 ng L⁻¹

A eficiência de remoção de MIB e GEO com base nos dados da Tabela 5 usando o CACP, foram de 17,21 a 74,63 % e 23,60 a 86,52 %, respectivamente.

Há uma redução na eficiência de adsorção dos compostos quando avaliado o processo usando água bruta, isso é explicável, pelo fato de que essa água contém substâncias que competem pelos sítios ativos de adsorção ou podem bloquear os poros dos carvões, fazendo com que seja necessário um aumento da dose de carvão ativado a ser aplicada ou reduzido o tempo de vida útil desse adsorvente, em episódios de altas concentrações de gosto e odor em água de abastecimento.

4. Conclusões

Em observação aos resultados obtidos verifica-se a escolha do CACP como um material precursor de carvão ativado em potencial devido à presença de porosidade,

área superficial disponível e compatível com a aplicabilidade em sistemas de adsorção.

Para massas de CACP de 0,01g houve redução na concentração dos compostos causadores de gosto e odor acima de 70 %. Há perspectivas de otimização da sua aplicação em processos de purificação envolvendo tratamento de água potável.

O desenvolvimento de novos usos para resíduos sólidos reverte o conceito de rejeito industrial para o de matéria-prima, agregando valor ao mesmo, e reduzindo o impacto ambiental.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasi (CAPES) – Código de Financiamento 001. Ao CNPq e à Fundação Araucária/Itaipu pelo auxílio financeiro e ao Programa de Pós-Graduação

Química da UNICENTRO – Universidade Estadual do Centro Oeste.

Em especial à Alphacarbo Industrial Ltda. por ceder amostra de caroço de pêssego e amostras dos demais carvões comerciais, além da sua estrutura física para condução deste estudo.

Referências Bibliográficas

- ¹ Gonçalves, R. F.; *Uso Racional de Água e Energia: Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água* 1a ed., FINEP: Rio de Janeiro, 2009. [Link]
- ² Tundisi, J. G.; Tundisi, T. M.; *Limnologia* 1a ed., Oficina de Textos: São Paulo, 2008. [Link]
- ³ Watson, S. B.; Brownlee, B.; Satchwill, T.; Hargesheimer, E. E.; Quantitative analysis of trace levels of geosmin and MIB in source and drinking water using headspace SPME. *Water Research* **2000**, *34*, 2818. [CrossRef]
- ⁴ Zat, M.; Benetti, A. D. Remoção dos compostos odoríferos geosmina e 2-metilisoborneol de águas de abastecimento através de processos de aeração em cascata, dessorção por ar e nanofiltração. *Engenharia Sanitária e Ambiental* **2011**, *16*, 353. [CrossRef]
- ⁵ Zorzanelli, B. C.; Muri, E. M. F; Oxidação de Alcoóis em Química Verde. *Revista Virtual de Química* **2015**, *7*, 663. [CrossRef]
- ⁶ Meunier, L.; Canonica, S.; Von Gunten, U.; Implications of sequential use of UV and ozone for drinking water quality. *Water Research* **2006**, *40*, 1864. [CrossRef] [PubMed]
- ⁷ Terauchi, N.; Ohtani, T.; Yamanaka, K.; Tsuji, T.; Sudou, T.; Ito, K.; Studies on a biological filter for musty odor removal in drinking water treatment processes. *Water Science and Technology* **1995**, *31*, 229. [CrossRef]
- ⁸ Chen, G.; Dussert, B. W.; Suffet, I.H.; Evaluation of granular activated carbons for removal of methylisoborneol to below odor threshold concentration in drinking water. *Water Research* **1997**, *31*, 1155. [CrossRef]
- ⁹ Auta, M.; Hameed, B. H.; Preparation of waste tea activated carbon using potassium acetate as an activating agent for adsorption of Acid Blue 25 dye. *Chemical Engineering Journal* **2011**, *171*, 502. [CrossRef]
- ¹⁰ Dural, M. U. et al.; Methylene blue adsorption on activated carbon prepared from *Posidonia oceanica* (L.) dead leaves: Kinetics and equilibrium studies. *Chemical Engineering Journal* **2011**, *168*, 77. [CrossRef]
- ¹¹ Claudino. A.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 2003. [Link]
- ¹² Clark, H. M.; Alves, C. C. C.; Franca, A. S.; Oliveira, L. S. Evaluation of the performance of an agricultural residue-based activated carbon aiming at removal of phenylalanine from aqueous solutions. *LWT-Food Science and Technology* **2012**, *49*, 155. [CrossRef]
- ¹³ Sítio da Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Acesso em: 12 março 2014.
- ¹⁴ Sítio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <www.ibge.gov.br/estadosat> Acesso em: 14 agosto 2014.
- ¹⁵ ABNT NBR 12077. Determinação de umidade. [Link]
- ¹⁶ ASTM D2867-17, Standard Test Methods for Moisture in Activated Carbon. [Link]
- ¹⁷ ASTM D 2866-94 (Reapproved 1999). Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon. [Link]
- ¹⁸ ABNT NBR 12075. Determinação granulométrica em Carvão Ativado. [Link]
- ¹⁹ ASTM D 4607-94 (Reapproved 1999). Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon. [Link]
- ²⁰ ASTM D 3838-80 (Reapproved, 1999). Standard Test Method for pH of Activated Carbon. [Link]

- ²¹ ABNT NBR 8633. Determinação do poder calorífico. [\[Link\]](#)
- ²² ASTM D 2854-96 (Reapproved, 2000). Standard Test Method for Apparent Density of Activated Carbon. [\[Link\]](#)
- ²³ Brunauer, S.; Emmet, P. H.; Teller, E.; Surface area measurements of activated carbon, silica gels and other adsorbents. *Journal of American Chemical Society* **1938**, *60*, 309. [\[CrossRef\]](#)
- ²⁴ ASTM D3860-98(2014), Standard Practice for Determination of Adsorptive Capacity of Activated Carbon by Aqueous Phase Isotherm Technique. [\[Link\]](#)
- ²⁵ Nakamura, S.; Sakui, N.; Tsuji, A.; Daishima, S.; Determination of 2-methylisoborneol and geosmin in aqueous samples by static headspace-gas chromatography-mass spectrometry with ramped inlet pressure. *Journal of Separation Science* **2005**, *28*, 2511. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- ²⁶ Cruz junior, O. F.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil, 2010. [\[Link\]](#)
- ²⁷ Alves, M. F.; Borges, M. V.; Brito, M. J. P.; Monteiro, K. A.; Jesus, F. W. A.; Nunes, G. S.; *Anais do XXXVII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados – ENEMP*, São Paulo, Brasil, 2015. [\[CrossRef\]](#)
- ²⁸ ABNT NBR 11834. Carvão ativado pulverizado. [\[Link\]](#)
- ²⁹ Newcombe G.; Drikas M.; Assemi S.; Beckett R.; The influence of the characterized natural organic material on activated carbon adsorption: II. Effect on pore volume distribution and adsorption of 2-methylisoborneol. *Water Research* **1997**, *31*, 1065. [\[CrossRef\]](#)
- ³⁰ Matthew F.T.; David W. M.; The role of surface acidity and pore size distribution in the adsorption of 2-methylisoborneol via powdered activated carbon. *Carbon* **2007**, *45*, 858. [\[CrossRef\]](#)
- ³¹ Reiss, C. R.; Robert, C.; Owen, C.; Taylor, J. S. Control of MIB, Geosmin and TON by membrane systems. *Journal of Water Supply Research and Technology – AQUA* **2006**, *55*, 95. [\[CrossRef\]](#)
- ³² Nerenberg R.; Rittmann, B. E.; Souce, W. J.; Ozone/Biofiltration for Removing MIB and Geosmin. *AWWA Journal* **2000**, *92*, 85. [\[Link\]](#)
- ³³ Srinivasan, R.; Sorial, G. A.; Treatment of taste and odor causing compounds 2-methyl isoborneol and geosmin in drinking water: a critical review. *Journal of Environmental Sciences* **2011**, *23*, 1. [\[Link\]](#)
- ³⁴ Juliano, V. B.; *Tese de Doutorado*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2010. [\[Link\]](#)