



I-367 – AVALIAÇÃO DE DIFERENTES CARVÕES ATIVADOS EM PÓ PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA CONTENDO MICROCISTINA

Andrey Alexsandro Rosa⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Analista de Pesquisa & Desenvolvimento do Programa de P&D da Fundação Parque Tecnológico Itaipu – FPTI.

Prof. Dr. Marco Antônio Penalva Reali

Engenheiro Civil pela Universidade de São Paulo (USP). Doutor em Engenharia Civil pela USP. Professor Doutor da Universidade de São Paulo.

Glauce Pereira Guimarães

Química pela Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP).

Endereço⁽¹⁾: Avenida Presidente Tancredo Neves, 6731 - Foz do Iguaçu - PR - CEP: 85856-970 - Brasil - Tel: +55(45) 3576-7108 - e-mail: andrey@pti.org.br / andrey.rosa@gmail.com

RESUMO

O crescimento desordenado das cidades, a utilização de áreas para plantio próximas aos mananciais e o lançamento de águas residuárias domésticas e industriais sem tratamento são consideradas as principais fontes de poluição dos corpos d'água. Isto, resulta no aporte de nutrientes que combinado com fatores climáticos favoráveis cria condições para a ocorrência de florações de algas que podem apresentar espécies potencialmente tóxicas. Com isto, existe a necessidade de otimizar as técnicas de tratamento para que forneçam água de qualidade à população consumidora. Dentre essas técnicas, está a adsorção em carvão ativado em pó (CAP), de forma isolada ou combinada no processos de tratamento de água, que auxilia na remoção de matéria orgânica dissolvida por meio da adsorção. O CAP é um material produzido a partir de diferentes matérias-primas, e que apresenta elevada área superficial devido ao volume de poros desenvolvidos durante o processo de ativação que o mesmo é submetido. Estes poros, também denominados sítios de adsorção, apresentam diferentes tamanhos e são capazes de adsorver substâncias com moléculas de tamanhos proporcionais aos mesmos. Desta forma, tem-se a necessidade de avaliar a capacidade de adsorção do CAP em relação a substâncias que se pretende remover.

Diante disto, este trabalho relata a avaliação de cinco diferentes CAP através do número de iodo (NI), índice de azul de metileno (IAM) e adsorção máxima de microcistina (MC), resultantes de isotermas segundo o modelo de Freundlich. Com base nos resultados do IAM, buscou-se correlacionar com a adsorção máxima de microcistina (MC). O carvão ativado em pó (CAP 4) produzido a partir de casca de coco apresentou o melhor desempenho nos parâmetros avaliados (NI = 830,24 mg/g; IAM = 230,65 mg/g; MC = 26,67 µg/mg). Tendo a correlação entre o IAM e MC foi definida através do índice de correlação de Pearson (r), sendo que o mesmo resultou r = 0,830.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção, Carvão Ativado em Pó, Microcistina, Tratamento de Água.

INTRODUÇÃO

A demanda de água vem aumentando conforme seus diversos usos, dentre os quais se destacam: o abastecimento público, os processos industriais e a agricultura. O crescimento desordenado dos centros urbanos e a utilização de áreas para a agricultura próximas às margens de rios e reservatórios são consideradas algumas das principais causas da poluição dos corpos d'água. Isto decorre, por exemplo, pelo lançamento nos rios de águas residuárias domésticas sem tratamento adequado o que prejudica ou inviabiliza a utilização destes para o consumo humano. O problema da utilização dos corpos da água eutrofizados está relacionado aos problemas operacionais no tratamento por processos convencionais ou aos elevados custos associados às técnicas eficientes de tratamento para água de abastecimento.

A eutrofização artificial dos sistemas aquáticos (rios e reservatórios) é caracterizada pela elevada produtividade primária destes, ou seja, rápido crescimento do fitoplâncton provocado pelo excesso de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio. Com a alta produtividade primária, podem ocorrer florações



de algas (também conhecidos como *blooms*). A ocorrência das florações se torna mais grave quando existe a predominância de algumas espécies de cianobactérias, como a *Microcystis sp.*, que tem a capacidade de liberar toxinas, como a microcistina, potencialmente prejudiciais à saúde de seus consumidores.

Os processos convencionais de tratamento de água apresentam baixa eficiência na remoção da matéria orgânica dissolvida, desta forma, a aplicação de carvão ativado em pó, combinada a tais processos, aumenta a eficiência de remoção dos compostos dissolvidos. Contudo, a escolha do carvão a ser aplicado deve ser criteriosa buscando o melhor CAP para situações específicas, ou seja, o composto que se deseja remover.

Assim, foram realizados estudos em laboratório para caracterizar o melhor CAP, dentre cinco amostras fornecidas, para ser aplicado num sistema de tratamento de água em escala de bancada, combinando: pré cloração, flotação por ar dissolvido e adsorção em carvão ativado em pó. Também buscou-se correlacionar a adsorção máxima de microcistina (MC) e o índice de azul de metileno (IAM) com o intuito de utilizar este último índice como indicador para selecionar CAP utilizados na remoção de microcistina. Estes ensaios compuseram a ETAPA PRELIMINAR da dissertação de mestrado desenvolvida por Rosa (2008).

MATERIAIS E MÉTODOS

Fabricantes de CAP enviaram cinco amostras do material produzidas a partir de diferentes matérias-primas, sendo: CAP 1 (osso), CAP 2 (madeira), CAP 3 (madeira), CAP 4 (casca de coco) e CAP 5 (madeira). As amostras foram caracterizadas pelo número de iodo (NI), índice de azul de metileno (IAM) e adsorção máxima de microcistina (MC). Os ensaios foram conduzidos conforme os procedimentos estabelecidos pela norma japonesa JIS K 1474 / 91.

• PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Antes da realização, as amostras de carvão foram separadas em placas de vidro para que fossem secas em estufa a 105°C durante 24 horas. Posteriormente, as amostras foram colocadas no dessecador até atingirem a temperatura ambiente. Com isso, as amostras foram pesadas em balança digital com precisão de 0,0001g. O número de amostras pesadas e o intervalo entre cada massa variaram conforme o ensaio realizado.

• NÚMERO DE IODO

Os ensaios de adsorção de Iodo visaram à determinação do Número ou Índice de Iodo. Este valor é uma medida indireta do volume de microporos (poros menores que 2 nm), visto que estas moléculas requerem poros com abertura inferior a 1 nm para que sejam adsorvidas, (KURODA, 2006).

Segundo a norma japonesa JIS K 1474 / 91, o Número ou Índice de Iodo representa a quantidade de Iodo adsorvido em miligramas por grama de carvão ativado em pó quando a concentração de Iodo total no equilíbrio é igual a 2,5 g/L.

As amostras foram pesadas em diferentes massas com intervalo de 0,1 g. Com exceção do CAP – 1 que teve seus intervalos elevados para 1,0 g entre as massas devido a sua baixa capacidade de adsorção. Os ensaios foram realizados em bateladas com duas massas de carvão, as quais foram colocadas em frascos do tipo erlenmeyer de 250 mL e fechados com tampa plástica. Os frascos foram levados para agitação a 30 rpm, durante 15 min. e temperatura constante de 20°C, na agitadora da marca Marconi, modelo Shaker MA-830. Após a agitação, as amostras foram filtradas e tituladas com solução de tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ - 0,1 mol/L) até que se atingisse a coloração amarelo claro. Com isto, aplicava-se 1,0 mL de solução indicadora de amido (1%) prosseguindo a titulação até que a amostra se tornasse incolor.

Os ensaios foram realizados até quando a concentração residual de iodo fosse inferior a 2,5 g/L, e finalmente foram elaboradas as isotermas de Freundlich para a determinação do Número de Iodo de cada amostra de CAP.



• ÍNDICE DE AZUL DE METILENO

O objetivo dos ensaios de adsorção de Azul de Metileno foi determinar o Número ou Índice de Azul de Metileno das amostras de carvão ativado em pó estudadas.

Assim, tem-se uma medida indireta do volume de mesoporos (poros entre 2 – 50 nm), visto que, apesar da molécula de azul de metileno ($C_{16}H_{18}ClN_3S \times 3H_2O$) possuir diâmetro médio igual a 0,8 nm, ela é preferencialmente adsorvida em poros com abertura próxima a 2 nm, (BARTON, 1987 e WARHURST *et al.*, 2001).

A norma JIS K 1474 / 91 define Índice de Azul de Metileno como: a quantidade de azul de metileno adsorvido em miligramas por grama de carvão ativado quando a concentração residual deste composto é igual a 0,24 mg/L. Desta forma, após as amostras serem preparadas, foram pesadas massas com intervalos de 0,02 g. Os ensaios foram conduzidos em bateladas de três massas distintas, que foram colocadas em erlenmeyers de 250 mL e fechados com tampa plástica. Com os frascos tampados, as amostras foram levadas para agitação a 30 r.p.m., durante 30 min. e temperatura constante de 20°C.

Passado este período, as amostras foram filtradas. As leituras de absorbância do filtrado foram realizadas no comprimento de onda $\lambda = 665$ nm, para então determinar a concentração residual de azul de metileno a partir da curva de calibração Azul de Metileno X ABS 665 nm. As concentrações usadas para esta curva variaram entre 0,24 – 2,4 mg/L e as leituras de absorbância foram realizadas com espectrofotômetro da marca HACH, modelo DR-4000U.

Os ensaios foram conduzidos até quando o residual de azul de metileno nas amostras fosse menor que 0,24 mg/L, para então a elaboração das isotermas de adsorção de Freundlich, e determinação do Índice de Azul de Metileno dos carvões ensaiados.

• ADSORÇÃO DE MICROCISTINA

O objetivo destes ensaios foi avaliar a capacidade de adsorção de microcistina de todas as amostras fornecidas. Para isto, um extrato de microcistina foi preparado conforme descrito a seguir:

- A cultura de algas foi congelada e descongelada (4 vezes);
- Então, centrifugada a 3000 r.p.m. durante 30 min.;
- Filtrada em membrana com abertura média de 1,2 μ m;
- E filtrada, finalmente, em membrana com abertura média de 0,8 μ m.

A cultura de algas foi preparada conforme Rosa (2008). As amostras foram congeladas e descongeladas para romper as células das algas e assim liberar a microcistina intracelular, segundo Kuroda *et al.* (2005). As filtrações foram realizadas para remover a maior parte das partículas resultantes da lise celular, isto para evitar a possível concorrência por sítios de adsorção entre as partículas e a microcistina no carvão ativado.

As amostras foram preparadas e pesadas, entretanto, as massas definidas neste ensaio foram fixadas, segundo Silva (2005), em: 0,010; 0,015; 0,020; 0,025; 0,030 e 0,040 g, sendo que, um frasco sem carvão ativado também foi preparado. Procedeu-se desta forma devido ao elevado custo de aquisição dos kits de microcistina utilizados para a determinação da concentração residual da toxina.

Após a determinação das massas, estas foram colocadas em frascos erlenmeyer de 250 mL e foi adicionado 50 mL do extrato de microcistina. Os frascos foram fechados com filme de PVC e papel alumínio fixado com fita adesiva e levados para agitação à 30 r.p.m., durante 72 horas em temperatura constante de 20°C.

As amostras foram filtradas a vácuo em membrana com abertura de 0,45 μ m para a remoção do carvão, e então foi determinada a concentração residual de microcistina pelo método ELISA (Enzyme Linked ImmunoSorbent Assays). Com os resultados obtidos foram elaboradas as isotermas de adsorção de microcistina, seguindo o modelo de Freundlich, e avaliada a capacidade de adsorção de cada carvão testado.

Os ensaios foram realizados em bateladas com as seis massas pré-definidas mais o frasco controle (frasco sem carvão). Entretanto, impôs-se uma defasagem de 40 min na colocação dos quatro primeiros frascos (controle, massas 1; 2 e 3) e o restante. Assim, foi minimizada a diferença de tempo entre o final da agitação e a



filtragem das amostras. É importante salientar que a concentração inicial de microcistina foi determinada com amostra do frasco sem carvão ativado em pó (controle), sendo que este foi submetido às mesmas condições do ensaio.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

• RESULTADOS DA ADSORÇÃO DE IODO

Os resultados da Tabela 1 mostram que os carvões de origem vegetal apresentam maiores números de iodo quando comparados ao carvão de osso. Esta característica de baixo NI (igual a 91,12 mg/g) também foi verificada por Silva *et al.* (2007), que avaliaram diferentes CAP e determinaram valor semelhante de NI para o carvão de osso igual a 93 ± 13 mg/g. Kuroda *et al.* (2005) constataram valores ainda menores para carvões ativados granulares e pulverizados iguais a $21,00 \pm 0,29$ mg/g e $12,10 \pm 0,06$ mg/g, respectivamente.

Observa-se que os carvões CAP – 2 e CAP – 3, que são produzidos pelo mesmo fabricante e mesma matéria-prima, apresentaram NI significativamente diferentes, 661,64 e 851,92 mg/g, respectivamente, provavelmente devido à diferenças nos processos de ativação dos mesmos.

O CAP – 4 (coco) apresentou o valor de NI igual a 830,24 mg/g superior ao encontrado por Silva *et al.* (2007) igual a 748 ± 14 mg/g e também superior aos encontrados por Kuroda *et al.* (2005) igual a $770,09 \pm 3,22$ mg/g para carvões produzidos a partir de coco. As Figuras 1, 2 e 3 apresentam as isotermas de Freundlich, de adsorção de iodo, elaboradas para os CAP.

Tabela 1: Parâmetros da Equação de Freundlich e Número de Iodo (NI).

Equação de Freundlich						
Carvão	Matéria-prima	1/n	n	k	Eq. Freundlich	Nº de Iodo (mg/g)
CAP - 1	osso	0,3805	2,628	64,30	$Q_e = 64,30 \times C_e^{0,3805}$	91,12
CAP - 2	madeira	0,2139	4,675	543,88	$Q_e = 543,88 \times C_e^{0,2139}$	661,64
CAP - 3	madeira	0,1754	5,701	725,44	$Q_e = 725,44 \times C_e^{0,1754}$	851,92
CAP - 4	coco	0,1166	8,576	746,11	$Q_e = 746,11 \times C_e^{0,1166}$	830,24
CAP - 5	madeira	0,1451	6,892	776,96	$Q_e = 776,96 \times C_e^{0,1451}$	887,44

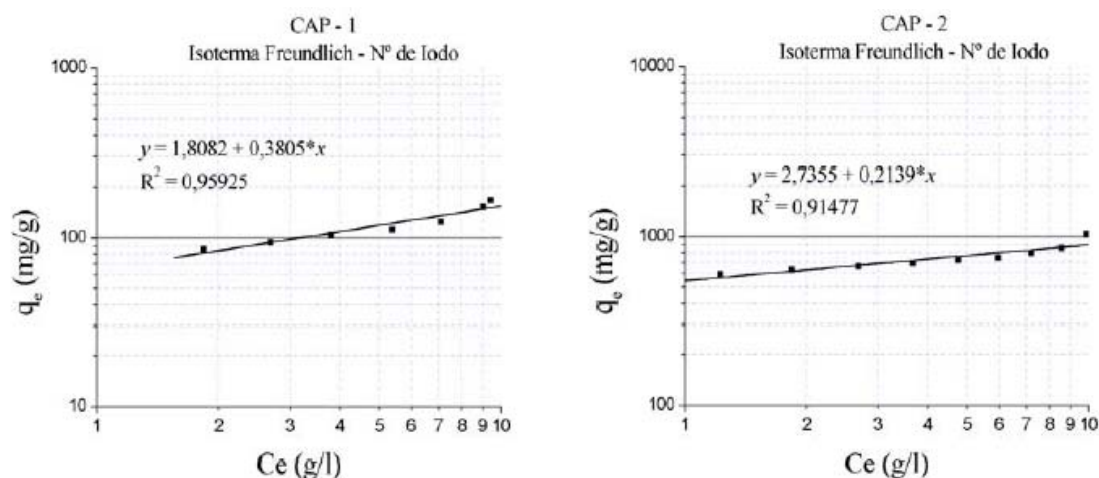


Figura 1: Isotermas de Freundlich para NI (CAP-1 e CAP-2).

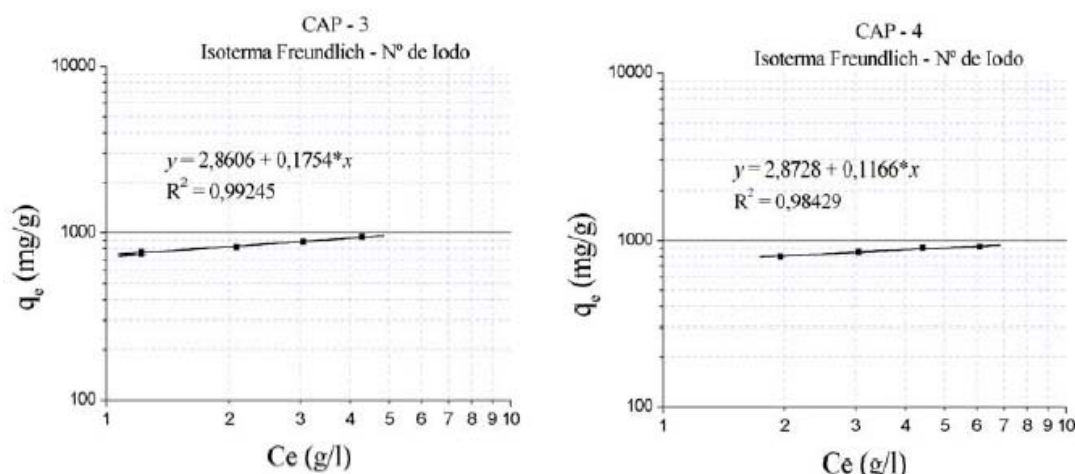


Figura 2: Isotermas de Freundlich para NI (CAP-3 e CAP-4).

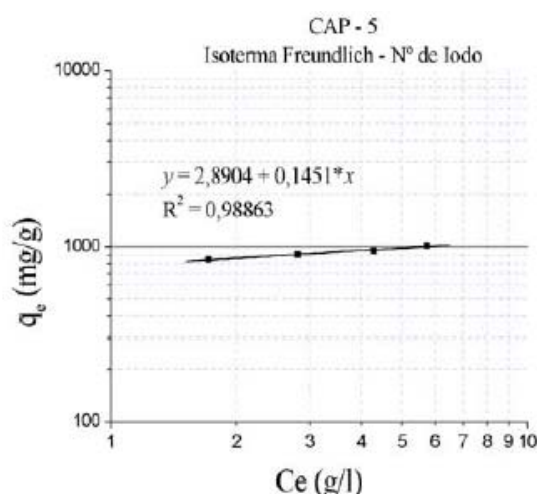


Figura 3: Isotermas de Freundlich para NI (CAP-5).

• RESULTADOS DA ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO

Conforme a Tabela 2, os carvões de origem vegetal apresentaram melhor desempenho na adsorção de azul de metileno como ocorreu anteriormente com o iodo. Da mesma forma, o CAP – 1 (osso) teve o pior desempenho no IAM (33,03 mg/g) entre os carvões testados. Kuroda *et al.* (2005) também verificaram, em seus estudos com diferentes CAP, a baixa capacidade de adsorção de azul de metileno com índice da ordem de $11,42 \pm 0,32$ mg/g para carvão granular e $15,79 \pm 0,44$ mg/g para o carvão ativado em pó. De acordo com esses resultados, Silva *et al.* (2007) definiu o IAM igual a 50 ± 5 mg/g para carvão ativado em pó proveniente de osso.

É interessante observar que o carvão ativado a partir de coco, CAP – 4, apresentou o melhor desempenho na adsorção de azul de metileno, com IAM igual a 230,65 mg/g apesar de não apresentar o maior valor n igual 8,711 que se refere à afinidade pelo adsorvato. Mas este fato também foi verificado por Silva *et al.* (2007) que observaram o maior valor de IAM, igual a 124 ± 27 mg/g, entre os cinco carvões testados (2 CAP de madeira, 1 de coco, 1 de osso e 1 mineral). Nos estudos de Kuroda *et al.* (2005), o carvão ativado granular de coco foi um dos dois selecionados (entre 10 tipos de carvões avaliados) com IAM igual a $80,82 \pm 2,24$ mg/g para prosseguir nos ensaios de adsorção de microcistina, devido ao fato de que o IAM estar relacionado com o volume de mesoporos.



Os carvões de madeira CAP – 2 e 3, que foram fornecidos pelo mesmo fabricante, apresentaram diferentes características no IAM e afinidade do carvão pelo adsorvato (parâmetro n), fato que foi observado pelo número de iodo e que está relacionado aos distintos processos de ativação que as matérias-primas são submetidas. A influência do processo de ativação de carvões foi demonstrada no estudo realizado por Baçaoui *et al.* (2001), que ao produzirem carvão ativado a partir de caroço de azeitona, verificaram uma faixa de adsorção de azul de metileno de 115 – 490 mg/g com a variação do tempo de ativação entre 30 – 70 minutos e a variação da temperatura de ativação entre 750 – 850 °C. As Figuras 4, 5 e 6 apresentam as isoterma de Freundlich, de adsorção de iodo, elaboradas para os CAP.

Tabela 2: Parâmetros da Equação de Freundlich e Índice de Azul de Metileno (IAM).

Equação Freundlich						
Carvão	Matéria-prima	1/n	n	k	Eq. Freundlich	Índice de Azul de Metileno (mg/g)
CAP - 1	osso	0,1497	6,680	40,90	$Q_e = 40,90 \times C_e^{0,1497}$	33,03
CAP - 2	madeira	0,1141	8,764	114,00	$Q_e = 114,00 \times C_e^{0,1141}$	96,87
CAP - 3	madeira	0,0946	10,571	256,92	$Q_e = 256,92 \times C_e^{0,0946}$	224,47
CAP - 4	coco	0,1148	8,711	271,71	$Q_e = 271,71 \times C_e^{0,1148}$	230,65
CAP - 5	madeira	0,0996	10,040	213,26	$Q_e = 213,26 \times C_e^{0,0996}$	185,01

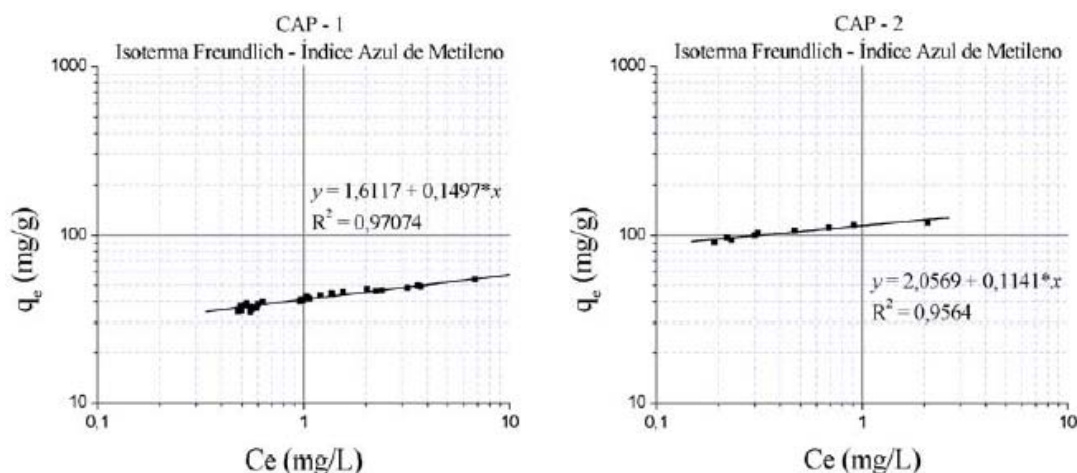


Figura 4: Isotermas de Freundlich para IAM (CAP-1 e CAP-2).

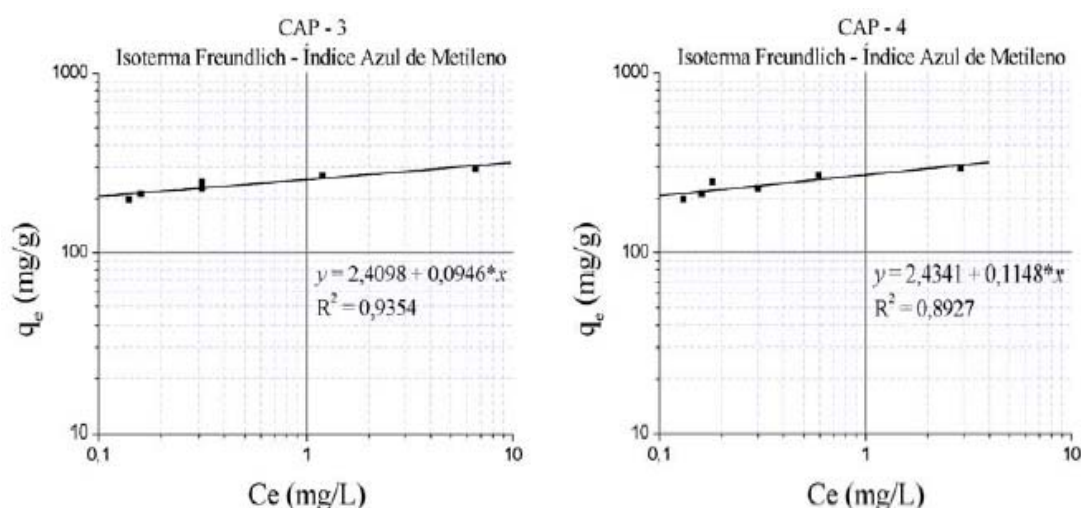


Figura 5: Isotermas de Freundlich para IAM (CAP-3 e CAP-4).

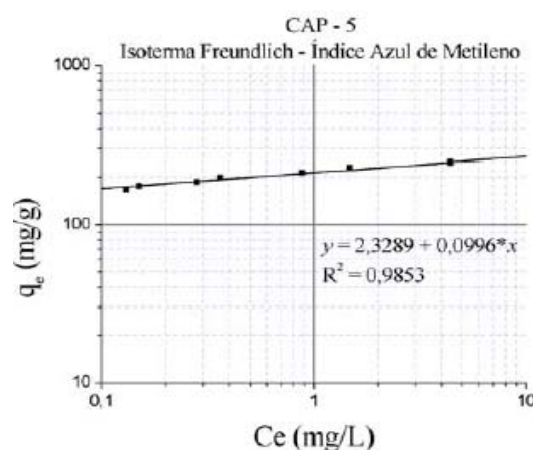


Figura 6: Isotermas de Freundlich para IAM (CAP-5).

• RESULTADOS DA ADSORÇÃO DE MICROCISTINA

Para avaliar a capacidade de adsorção de microcistina foi determinado o valor máximo de q_e max. ($\mu\text{g/g}$). Diferente do número de iodo e do índice de azul de metileno, não é citado nenhum valor de concentração residual para se definir um índice de microcistina. Assim, seguiu-se a orientação de Reynolds e Richards (1995). Estes autores afirmam que, para avaliar a viabilidade de aplicação de um carvão ativado na adsorção de certa substância, deve-se adotar a concentração de equilíbrio (C_e) igual à concentração inicial (C_0) da solução de estudo, sendo que, o carvão que apresentar maior valor de q_e será o mais adequado para adsorção da substância em questão. Assim, adotou-se a concentração inicial (C_0) do extrato de microcistina adicionado em cada carvão ensaiado. As concentrações iniciais (C_0) de microcistina para os carvões são: CAP 1 = 1035,07 $\mu\text{g/L}$; CAP 2 = 1035,07 $\mu\text{g/L}$; CAP 3 = 808,20 $\mu\text{g/L}$; CAP 4 = 910,53 $\mu\text{g/L}$; CAP 5 = 910,53 $\mu\text{g/L}$.

Conforme a Tabela 3, os carvões ativados de origem vegetal apresentaram melhor desempenho na adsorção de microcistina, com exceção do CAP – 2 (madeira) que apresentou o pior desempenho. O CAP – 1 apresentou baixo desempenho na adsorção de microcistina, sendo a adsorção máxima $q_e = 3380,05 \mu\text{g/g} \approx 3,38 \mu\text{g/mg}$.

Os carvões ativados de madeira CAP – 3 e CAP – 5 apresentaram características semelhantes na adsorção de microcistina (q_e max.) iguais a 13415,58 $\mu\text{g/g} \approx 13,42 \mu\text{g/mg}$ e 11238,97 $\mu\text{g/g} \approx 11,24 \mu\text{g/mg}$,

respectivamente. Kuroda *et al.* (2005) tiveram resultados semelhantes de adsorção máxima de microcistina, da ordem de 10 µg/mg, para carvões ativados em pó oriundos de madeira. Entretanto, Donati *et al.* (1994) e Pendleton *et al.* (2001) obtiveram resultados superiores aos anteriores, q_e max. igual a 280 e 200 µg/mg, respectivamente, para CAP provenientes de madeira.

O carvão de coco (CAP – 4) foi o que apresentou melhor desempenho com adsorção máxima de microcistina igual a 26669,68 µg/g \approx 26,67 µg/mg. Já Kuroda *et al.* (2005) verificaram que o carvão ativado granular de coco não apresentou bons resultados na adsorção de microcistina, sendo a adsorção máxima resultante em aproximadamente 2,0 µg/mg.

Donati *et al.* (1994) e Pendleton *et al.* (2001) encontraram valores máximos de adsorção de microcistina, para carvões ativados de coco, iguais a 40 e 22 µg/mg, respectivamente. É importante ressaltar que estes autores conduziram seus ensaios com solução de microcistina padronizadas adicionadas em água pura, ou seja, sem a influência de outras substâncias que competem pelos sítios de adsorção do carvão ativado. Isto pode explicar as diferenças nas características de adsorção, sobretudo nos carvões ativados de madeira. As Figuras 7, 8 e 9 apresentam as isotermas de Freundlich, de adsorção de microcistina, elaboradas para os CAP.

Tabela 3: Parâmetros da Equação de Freundlich e Adsorção Máxima de Microcistina (MC).

Equação Freundlich						
Carvão	Matéria-prima	1/n	n	k	Eq. Freundlich	* q_e max = MC (µg/g)
CAP - 1	osso	0,1285	7,782	1385,16	$q_e = 1385,16 \times Ce^{0,1285}$	3380,05
CAP - 2	madeira	0,1548	6,460	1142,62	$q_e = 1142,62 \times Ce^{0,1548}$	3346,72
CAP - 3	madeira	0,3632	2,753	1179,23	$q_e = 1179,23 \times Ce^{0,3632}$	13415,58
CAP - 4	coco	0,4712	2,122	1075,47	$q_e = 1075,47 \times Ce^{0,4712}$	26669,68
CAP - 5	madeira	0,3261	3,067	1218,15	$q_e = 1218,15 \times Ce^{0,3261}$	11238,97

* q_e max. de microcistina para $C_e = C_o$.

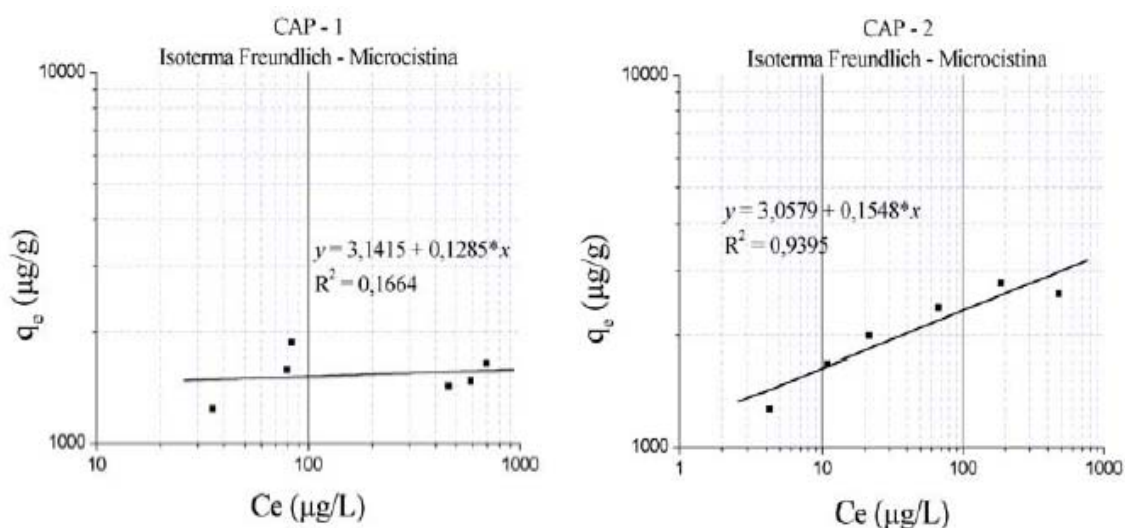


Figura 7: Isotermas de Freundlich para MC (CAP-1 e CAP-2).

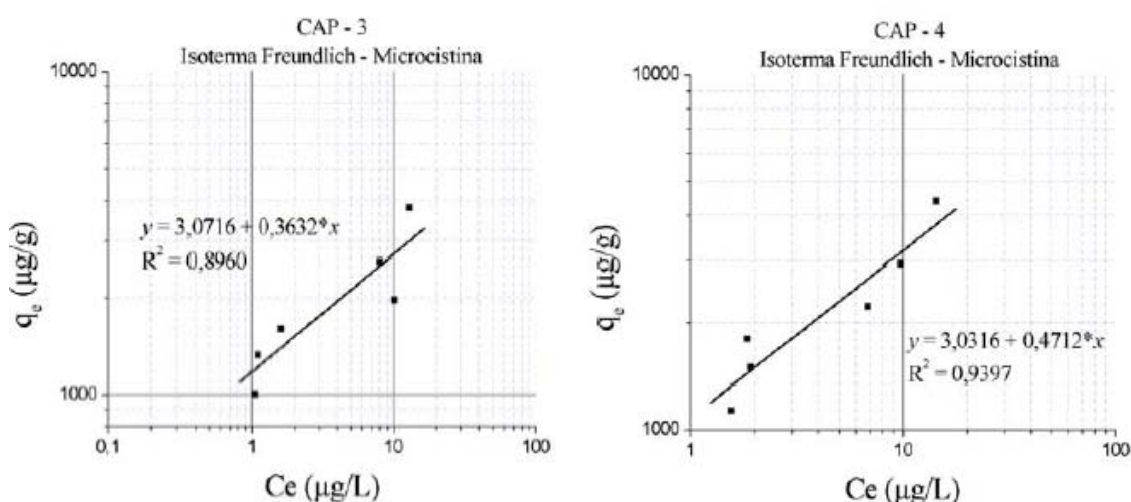


Figura 8: Isotermas de Freundlich para MC (CAP-3 e CAP-4).

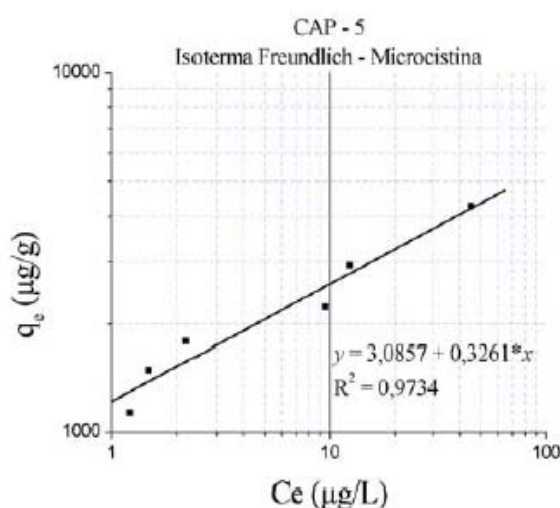


Figura 9: Isotermas de Freundlich para MC (CAP-5).

• RESULTADOS DA CORRELAÇÃO ENTRE IAM E MC

Após a realização dos ensaios de adsorção de azul de metileno e microcistina, é possível inferir que o índice de azul de metileno é um bom indicador da qualidade dos carvões, quanto ao volume de mesoporos, e conseqüentemente como parâmetro de seleção de carvões ativados para aplicação na adsorção de microcistina. A Tabela 4 mostra o resultado da determinação da correlação entre o IAM e MC.

Tabela 4: Determinação da correlação entre IAM e MC.

Carvão	IAM (mg/g)	MC (μg/g)
CAP - 1	33,03	3380,05
CAP - 2	96,87	3346,72
CAP - 3	224,47	13415,58
CAP - 4	230,65	26669,68
CAP - 5	185,00	11238,97

Covariância (IAM, q_e MC) = 547544
Desv. Padrão IAM = 77,07
Desv. Padrão MC = 8558,10
r = 0,830



A Figura 10 ilustra a correlação entre o índice de azul de metileno e adsorção de microcistina determinados para os carvões ensaiados.

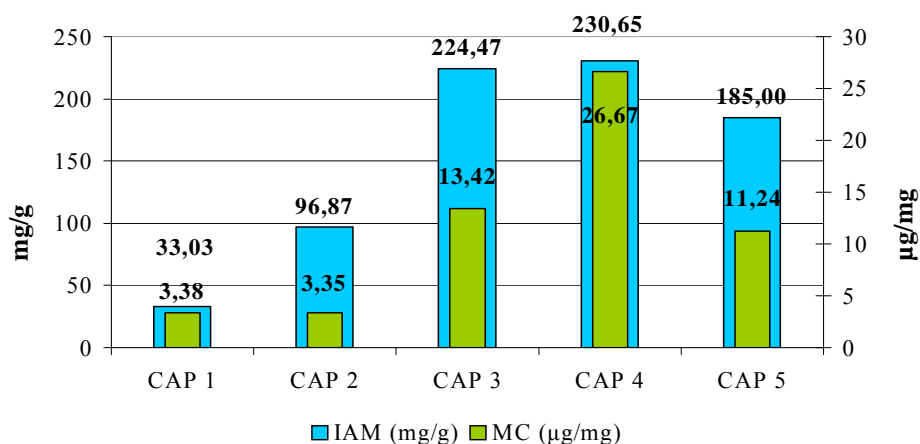


Figura 10: Valores de Índice de Azul de Metileno e Adsorção Máxima de Microcistina.

Com os resultados da Tabela 4 e pela Figura 10 constata-se que houve uma boa correlação ($r = 0,83$) entre o IAM e MC como confirmado em diversos estudos. Esta correlação ficou prejudicada apenas pelo CAP – 1 (osso), pois, acredita-se que sua capacidade de adsorção seja menor que $3,38 \mu\text{g/mg}$ frente ao coeficiente $R^2 = 0,1664$ resultante do ajuste de Freundlich para os ensaios de adsorção de microcistina deste carvão ativado.

CONCLUSÕES

Com base no estudo realizado, concluiu-se que:

Existe diferenças significativas na capacidade de adsorção entre carvões ativados produzidos a partir de diferentes matérias-primas;

Carvões produzidos com a mesma matéria-prima também apresentaram diferenças em suas capacidades de adsorção, fato que pode estar relacionado, sobretudo, aos processos de ativação que os mesmos foram submetidos;

É importante avaliar, antecipadamente, o material adsorvente em função do composto que se pretende remover;

O carvão ativado em pó (CAP – 4) produzido a partir de casca de coco apresentou o melhor desempenho nos parâmetros de avaliados (NI = $830,24 \text{ mg/g}$; IAM = $230,65 \text{ mg/g}$; MC = $26,67 \mu\text{g/mg}$);

Foi determinada a correlação entre o índice de azul de metileno (IAM) e a adsorção máxima de microcistina (MC) resultando em $r = 0,830$, assim, o IAM pode ser usado na avaliação de carvões ativados para adsorção de microcistina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAÇAOUI, A.; YAACOUBI, A.; DAHBI, A.; BENNOUNA, C.; PHAN TAN LUU, R.; MALDONADO – HODAR, F. J.; RIVERA – UTRILLA, J.; MORENO – CASTILLA, C. (2001). Optimization of conditions or the preparation of activated carbons olie-waste cakes. *Carbon*, v. 39, p. 425 – 432.
2. BARTON, S. S. (1987). The adsorption of methylene blue by activated carbon. *Carbon*, v. 25, n. 3, p. 343 – 350.
3. DONATI, C.; DRIKAS, M.; HAYES, R.; NEWCOMBE, G. (1994). Microcystin – LR adsorption by powdered carbon. *Water Research*, v.28, n. 8, p. 1735 – 1742.



4. JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD – JIS K 1474. Test Methods for Activated Carbon. Japanese Standard Association, Tokyo. 1991.
5. KURODA, E. K.; ALBUQUERQUE JR, E. C.; DI BERNARDO, L.; TROFINO, J. C (2005). Caracterização e escolha do tipo de carvão ativado a ser empregado no tratamento de águas contendo microcistinas I – 072. In: XXIII CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, Campo Grande – MS, 2005.
6. PENDLETON, P.; SCHUMANN, R.; WONG, S. H. (2001). Microcystin – LR adsorption by activated carbon. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 240, p. 1 – 8.
7. REYNOLDS, T. D. & RICHARDS, P. A. (1995). Unit Operations and Processes in Environmental Engineering. 2ª ed. Editora PWS Publishing Company. 798p.
8. ROSA, A. A. Pré-cloração Associada à Adsorção em Carvão Ativado em Pó e Flotação por Ar Dissolvido na Remoção de Microcistina Presente em Três Diferentes Concentrações em Águas Provenientes de Reservatório Eutrofizado. São Carlos. 2008. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo 2008.
9. SILVA, A. L. V. (2005). Remoção de Microcistina de Águas para Abastecimento em Sistema que Associa Unidades de Adsorção por Carvão Ativado em Pó e Flotação por Ar Dissolvido em Escala de Laboratório. São Carlos. 2005. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo 2005.
10. SILVA, A. S.; BRANDÃO, C. C. S.; PIRES JR., O. R. (2007) Remoção de saxitoxinas por diferentes tipos de carvão ativado em pó produzidos no Brasil I – 140. In: XXIV CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, Belo Horizonte – MG, 2007.
11. WARHURST, A. M.; McCONNACHIE, G. L.; POLLARD, S. J. T. (1997). Characterization and applications of activated carbon produced from moringa oleifera seed husks by single-step steam pyrolysis. *Water Research*, v. 31, n. 4, p. 759 – 766.