



## **AValiação DO POTENCIAL DE TRÊS DIFERENTES TIPOS DE CARVÃO ATIVADO VISANDO A ADSORÇÃO DO BISFENOL A.**

A. P. Biscalquim; A. F. Romanzini; E. R. T. Baida; A. Argondizo<sup>2</sup>; A. P. Silva<sup>1</sup>

1- Departamento de Ciências Exatas e da Terra – Universidade Federal de São Paulo  
Rua São Nicolau, 210 – 3º andar - Centro – CEP: 09913-030 – Diadema - SP – Brasil  
Telefone: (11) 3319-3571 – Email: [alessandra.silva@unifesp.br](mailto:alessandra.silva@unifesp.br)

2- idem ao 1.

**RESUMO:** Este trabalho tem por objetivo avaliar a capacidade adsorptiva de diferentes tipos de carvão ativado para o bisfenol A, prevendo a finalidade específica de promover a posterior regeneração eletroquímica em processo contínuo. Foram utilizados neste estudo três tipos de carvão ativado, sendo dois em pó (CAP W610 e CAP W810) e um granulado (CAG 8 x 30), a duas temperaturas. Os ensaios foram realizados em agitador orbital, com estufa, a 110 rpm, tendo-se utilizado concentração inicial de 112,50 mg.L<sup>-1</sup> de bisfenol e diferentes massas de carvão ativado, com tempo de contato de 4 h. Os resultados indicaram uma maior capacidade adsorptiva para o CAP W810 e menor do CAG. As ligações adsorbato-adsorvente mostraram-se mais fracas para o CAG e de intensidade semelhante para os CAP. Embora o CAG tenha mostrado capacidade adsorptiva inferior, concluiu-se que, no geral, seu uso mostra-se favorável quando se considera a posterior etapa de regeneração.

**PALAVRAS-CHAVE:** regeneração; eletroquímica; carvão ativado; bisfenol.

**ABSTRACT:** This study aimed to evaluate the adsorptive capacity of different types of activated carbon for bisphenol A. These carbons were evaluated considering their further regeneration through electrochemical methods in a continuous process. Three different types of activated carbon were used, a granular one (CAG 8 x 30) and two powdered (CAP W610 and CAP W810), at two temperatures. The tests were carried out in thermostated orbital shaker at 110 rpm, using bisphenol solutions with an initial concentration of 112.50 mg.L<sup>-1</sup> and different dosages of activated carbon and a contact time of 4 hours. The CAP W810 showed the highest adsorptive capacity and the CAG, the lowest. The adsorbate-adsorbent interactions were weaker for CAG than for CAPs and similar between CAPs. In conclusion, despite its low adsorptive capacity, the CAG should be preferred when considering a subsequent regeneration step.

**KEYWORDS:** regeneration; electrochemical; activated carbon; bisphenol.

### **1. INTRODUÇÃO**

Estudos recentes, em especial da última década, tem revelado a importância da ação dos chamados micropoluentes sobre o ambiente aquático. Denominam-se micropoluentes as substâncias que podem produzir efeitos adversos aos organismos expostos mesmo se presentes no meio ambiente em concentrações na ordem de µg.L<sup>-1</sup> e ng.L<sup>-1</sup>. Fármacos, desreguladores endócrinos e poluentes orgânicos persistentes

(POP) são classes de substâncias muito investigadas devido, principalmente, aos seus efeitos no meio ambiente (BILA e DEZOTTI, 2007).

Dentre os micropoluentes, tem sido objeto de atenção os disruptores endócrinos (ou interferentes endócrinos); a agência ambiental americana, USEPA (“United States Environmental Protection Agency”), define disruptores endócrinos (DE) como agentes exógenos que interferem na produção, secreção, transporte, metabolismo,



ligação, ação ou eliminação dos hormônios naturais no organismo, que são responsáveis pela manutenção da homeostase e regulação dos processos de desenvolvimento (USEPA, 2009).

A preocupação com essas substâncias vem aumentando à medida que mais investigações e, conseqüentemente, mais evidências acerca de seus efeitos à biota se acumulam. Sodré *et al.* (2007) citam vários estudos em que efeitos danosos foram relacionados   presença de DE no meio aquático.

Muitas substâncias tem sido investigadas para avalia o de seus possíveis efeitos sobre o sistema endócrino: plastificantes (bisfenol, ftalatos, ...); surfactantes etoxilados (nonilfenol, p.ex.); hidrocarbonetos policíclicos aromáticos; bifenilas cloradas; retardantes de chama; praguicidas e os estrog nios naturais e sint ticos (17 -estradiol, estriol, 17 -etinilestradiol) (SODRÉ *et al.*, 2007).

Dentre estas substâncias, o bisfenol tem sido causa de preocupa o em virtude de seu elevado grau de consumo. Sua produ o global em 2009 foi de aproximadamente 3.982 toneladas com crescimento de demanda nos anos seguintes, podendo atingir um consumo global de 8.400 toneladas em 2018 (GODFREY, 2013). Flint *et al.* (2012) relatam, ainda, a problemática de sua difícil substitui o por outros materiais na produ o de policarbonato devido, quando comparado a possíveis alternativas, a sua maior resistência e estabilidade no caso de substitui o por acrílico, ao seu menor custo em rela o ao poliéster e devido a sua maior estabilidade a altas temperaturas frente   substitui o por polipropileno.

Em rela o a efeitos sobre a saúde humana, estudos tem indicado sua atua o no desencadeamento de respostas de receptores endócrinos como tão efetiva quanto   exercida pelo estradiol, assim como sua a o como inibidor dos receptores de andrógenos, por exemplo, a testosterona (FLINT *et al.*, 2012), o que pode desencadear uma redu o na contagem de espermatozoides no caso dos homens, o aumento da incidência de casos de câncer de mama no caso das mulheres, o desenvolvimento de algumas anomalias do sistema reprodutor humano e o aumento da incidência de outras doenças de cunho hormonal (OLMO *et al.*, 1999).

Montagner e Jardim (2011) realizaram um dos relatos mais recentes acerca da presença de DE em águas superficiais no Brasil, tendo analisado amostras de água do Rio Atibaia, no estado de São Paulo. Das 26 amostras coletadas em 4 diferentes campanhas, disruptores endócrinos foram

encontradas em 92% delas, sendo que especificamente o bisfenol A foi encontrado em 56%, com concentra o média de uma das campanhas tendo atingido valor de 6.375 ng.L<sup>-1</sup>.

As esta es de tratamento de  gua (ETA) no Brasil são, comumente, projetadas para atingirem elevadas eficiências de remo o de material particulado e dissolvido, além de microrganismos patog nicos. Entretanto, o tratamento convencional (coagula o, flocula o, sedimenta o ou flota o, filtra o e desinfec o) empregado na maioria das ETA não apresenta elevada eficiência na remo o dos micropoluentes emergentes, sendo necessário, portanto, estudos sobre novas técnicas e processos (LIMA, 2013).

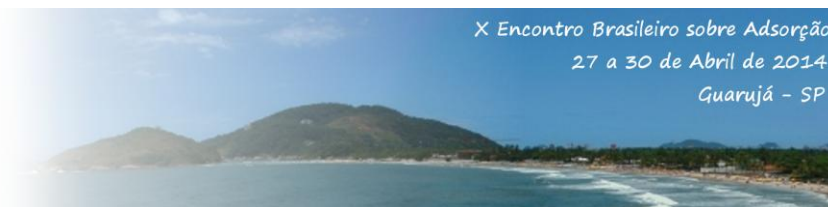
Uma das possibilidades de tratamento de efluentes aquosos contendo compostos orgânicos como os DE   a oxida o através de técnicas eletroquímicas (eletroxida o), contudo, uma limita o importante dessas técnicas, assim como ocorre com outras tecnologias, adv m da muito baixa concentra o do poluente.

Alguns trabalhos (NARBAITZ e KARIMI-JASHNI, 2012; MOHAMMED *et al.*, 2011 e CAÑIZARES *et al.*, 2004) tem sugerido que a combina o do tratamento eletroquímico com a concentra o prévia do poluente em um adsorvente (carvão ativado, polímeros, ..) levaria   obten o de melhor eficiência de remo o para vários compostos orgânicos.

Mohammed (2011) relata que, a despeito da alta eficiência do carvão ativado na remo o de poluentes, estudo da  g ncia ambiental americana (USEPA) indica que a regenera o do carvão representa a etapa de maior custo mas, apesar disso, poucos estudos dedicam-se a otimizar esta etapa.

Berenguer *et al.* (2010) realizaram estudo comparando três métodos de regenera o: química, térmica e eletroquímica para carvão ativado saturado com fenóis. Nas condi es utilizadas por eles, a pior eficiência de regenera o ocorreu com o método químico. Embora eficiências semelhantes tenham sido obtidas pelos métodos térmico e eletroquímico, no caso da técnica eletroquímica, o custo de energia   menor, já que o método térmico exige temperaturas na faixa de 450 a 600  C.

Na combina o de técnicas adsorptiva e eletroquímica, após a satura o do carvão ativado com o poluente, com conseqüente concentra o do mesmo sobre as partículas do carvão, a regenera o se daria por oxida o eletroquímica, levando o composto orgânico a mineralizar-se em



dióxido de carbono e água e possibilitando o reuso do adsorvente em novos ciclos de adsorção.

Este trabalho tem por objetivo avaliar a capacidade adsorptiva de diferentes tipos de carvão ativado prevendo a finalidade específica de promover a posterior regeneração eletroquímica em processo contínuo.

Optou-se, então, por priorizar-se algumas características desejadas a esta aplicação, como: tempo de contato não pode ser elevado (prejudicaria a operação contínua); moderada força de ligação adsorvente-adsorbato e diminuição e/ou ausência de difusão intrapartícula, que favoreceriam a posterior etapa de regeneração eletroquímica.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados neste estudo três tipos de carvão ativado, sendo dois em pó (CAP) – comercialmente identificados como W610 e W810 - e um granulado (CAG), identificado como 8 x 30, todos fornecidos pela empresa AlphaCarbo

Industrial Ltda. e produzidos tendo o pinho como matéria-prima. Na Tabela 1 são apresentadas algumas das propriedades físico-químicas desses carvões, fornecidas pelo fabricante. Foram incluídos nessa Tabela, também, os valores de área superficial obtidos experimentalmente pelo método BET.

O bisfenol A utilizado como adsorbato foi cedido pela empresa Rhodia Poliamida e Especialidades Ltda.

Os ensaios de adsorção foram realizados pela adição de diferentes massas de carvão a erlenmeyers contendo 150 mL de solução aquosa contendo 150 mg/L (ppm) de bisfenol A.

Para uniformizar a condição inicial do carvão, todas as massas foram previamente mantidas em 50 mL de água deionizada por pelo menos 72 horas para hidratação, sendo a solução de carvão adicionada aos erlenmeyers com a solução de bisfenol (portanto, a concentração final de bisfenol em solução era de 112,5 mg/L).

**Tabela 1.** Propriedades físico-químicas dos carvões ativados utilizados.

Propriedade	CAG 8 x 30	CAP W610	CAP W810
Número de iodo (mg/g)	988,62	663,10	836,78
Umidade (%)	7,86	7,36	7,26
Granulometria (% pas # 325 ABNT)	-	92,36	93,11
Granulometria (% pas # 200 ABNT)	-	96,97	97,03
Granulometria (% pas # 100 ABNT)	-	100	100
Granulometria (% ret # 8 Mesh)	1,62	-	-
Granulometria (% pas # 30 Mesh)	2,19	-	-
pH	-	Alcalino	Alcalino
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	-	0,54	0,56
Área superficial - BET (m <sup>2</sup> /g)	973,3	693,4	845,7



As massas de carvão utilizadas foram definidas através de testes preliminares, tendo sido 0,25; 0,50; 0,75; 1,0; 1,25 e 2,5 g para o carvão granulado e 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35 e 0,40 g para os carvões pulverizados. Optou-se manter a granulometria original dos carvões, mesmo o granulado, pois o objetivo era o de analisar sua capacidade adsorptiva nas condições fornecidas pelo fabricante.

Os ensaios de adsorção foram realizados a duas diferentes temperaturas, 35 e 65 °C, em agitador orbital com estufa, tendo-se mantido a agitação em 110 rpm.

O tempo de contato de 4 horas foi escolhido com base em informações de trabalhos anteriores que estudaram a adsorção de disruptores endócrinos em carvão ativado (VERAS, 2006; YOON *et al.*, 2003) e, especialmente, visando à utilização esperada em processo combinado adsorptivo-eletoquímico, em que elevados tempos de contato seriam impraticáveis. Contudo, ensaios preliminares indicaram que esse tempo de contato não seria suficiente para atingir o equilíbrio com as massas de carvão utilizadas.

Após as 4 horas, as amostras eram filtradas em filtro quantitativo seguido de filtro de seringa (0,2 µm) e analisadas em espectrofluorímetro Shimadzu, modelo RF-5301PC, com comprimento de onda de excitação de 280 nm, e 310 nm para emissão

A massa de bisfenol A adsorvida por unidade de massa de carvão ativado –  $q_f$  (mg de bisfenol A / g de carvão ativado) foi calculada pela Equação 1:

$$q_f = \frac{112,50 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,200\text{L} - C_{\text{final}} \cdot 0,200\text{L}}{m_{\text{carvão}}} \quad (1)$$

onde  $C_{\text{final}}$  é a concentração de bisfenol A (mg/L) em solução após o tempo de contato e  $m_{\text{carvão}}$  a massa de adsorvente utilizada em cada erlenmeyer.

A despeito de não se ter conhecimento prévio sobre ter-se ou não atingido o equilíbrio, foi verificado o ajuste dos modelos de Langmuir (Equação 2) e Freundlich (Equação 3) aos dados experimentais.

$$\frac{q_e}{q_{\text{máx}}} = \frac{bC_e}{1 + bC_e} \quad (2)$$

onde  $q_e$  é quantidade de adsorbato por unidade de adsorvente (mg/g);  $q_{\text{máx}}$  representa a máxima massa de adsorbato por massa de adsorvente (mg/g);  $C_e$ , a concentração em equilíbrio do adsorbato em solução (mg/L) e  $b$  é a constante de equilíbrio de adsorção ou constante de Langmuir e representa o quão fortemente a molécula de adsorbato está aderida na superfície do adsorvente.

$$q_e = KC_e^{1/n} \quad (3)$$

em que  $C_e$  e  $q_e$  tem o mesmo significado que na isoterma de Langmuir e  $K$  é uma constante relacionada à capacidade de adsorção do adsorbato pelo adsorvente  $[(\text{mg/g}) \cdot (\text{L/mg})^{1/n}]$ .

Para uma segunda comparação da capacidade de remoção do poluente entre os tipos de carvão estudados, foi calculada, com o uso da Equação 4, a taxa de remoção de bisfenol para cada massa de carvão:

$$\% \text{remoção} = 100 \cdot \frac{112,50 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - C_{\text{final}}}{112,50 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \quad (4)$$

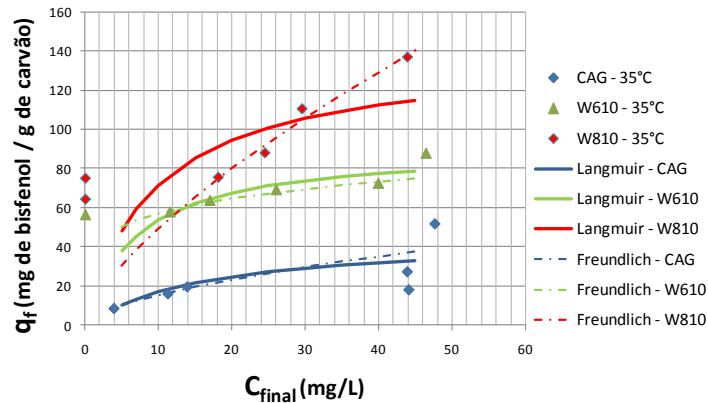
Procedeu-se, então, ao ajuste de uma função logarítmica da % remoção em relação à massa de adsorvente utilizada e, com as equações logarítmicas obtidas, estimou-se a massa de carvão ativado necessária para a obtenção de 85% de taxa de remoção do bisfenol para cada tipo de carvão e a cada temperatura.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

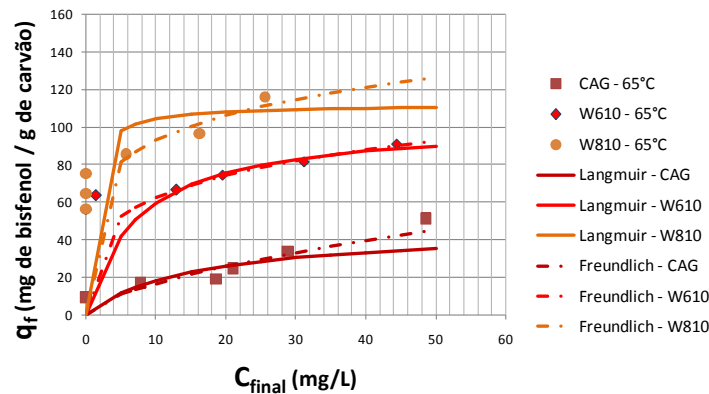
Nas Figuras 1 e 2 encontram-se os gráficos de  $q_f$  em função de  $C_f$  para os três tipos de carvão a 35°C e 65 °C, respectivamente.

Na Tabela 2 encontram-se resumidos os parâmetros obtidos para os modelos de Langmuir e Freundlich. Para melhor permitir a comparação dos ajustes obtidos aos dados experimentais, os mesmos foram incluídos nas Figuras 1 e 2. Cumpre ressaltar que somente foram considerados para o ajuste, os dados em que não ocorreu a remoção total ( $C_{\text{final}} = 0$ ).





**Figura 1.** Quantidade de bisfenol adsorvida por grama de carvão ativado em função da concentração final de bisfenol, para os três carvões avaliados, a 35 °C.



**Figura 2.** Quantidade de bisfenol adsorvida por grama de carvão ativado em função da concentração final de bisfenol, para os três carvões avaliados, a 65 °C.

**Tabela 2.** Parâmetros e coeficientes de correlação obtidos pelo ajuste dos modelos de Langmuir e Freundlich para os três tipos de adsorvente utilizados.

Modelo	T (°C)	W 610		W 810		Granulado	
		35°C	65°C	35°C	65°C	35°C	65°C
Langmuir	$q_{m\acute{a}x}$ (mg/g)	90,91	103,09	333,33	117,65	44,05	45,66
	$b$	0,144	0,137	0,016	0,438	0,062	0,066
	$R^2$	0,858	0,977	0,972	0,815	0,962	0,709
Freundlich	$K$ (mg/g).(L/mg) <sup>1/n</sup>	37,26	35,45	9,94	60,15	3,88	3,98
	$n$	5,43	4,06	1,44	5,27	1,67	1,61
	$1/n$	0,184	0,246	0,696	0,190	0,598	0,621
	$R^2$	0,971	0,992	0,975	0,888	0,898	0,848



A comparação entre os coeficientes de correlação ( $R^2$ ) mostra que, embora o modelo de Langmuir tenha, em alguns casos, apresentado ajuste aceitável, de modo geral, o modelo de Freundlich mostrou ajustar-se melhor aos dados experimentais, tendo-se obtido tipicamente valores de  $R^2$  próximos a 0,9.

A despeito dos elevados valores de  $R^2$ , é possível visualizar, na Figura 1, que para o carvão ativado em pó W810, na temperatura de 35°C, o ajuste não foi satisfatório pelo modelo de Freundlich ou pelo modelo de Langmuir.

À exceção deste carvão, em que não se considera o ajuste confiável para realizar a comparação, pode-se observar que a variação da temperatura de 35 para 65°C não mostrou afetar consideravelmente a capacidade adsorptiva para o tempo de contato de 4 horas, seja ela avaliada pelo parâmetro  $q_{máx}$  de Langmuir ou pelo parâmetro K de Freundlich. A tendência foi de um ligeiro aumento de  $q_{máx}$  (máximo de 12,5% para o CAP W610) e invariabilidade para K (diminuição de 5% para o CAP W610 e aumento de 2,5% para o CAG).

Frete à pequena variação de comportamento entre as temperaturas estudadas, a comparação entre os carvões foi realizada unicamente à temperatura de 65°C.

Para esta temperatura, verificou-se que o parâmetro K do modelo Freundlich foi 7,9 vezes maior para o CAP W610 e 14,1 vezes maior para o CAP W810 em relação ao CAG, indicando uma capacidade adsorptiva maior para os carvões em pó em relação ao granulado.

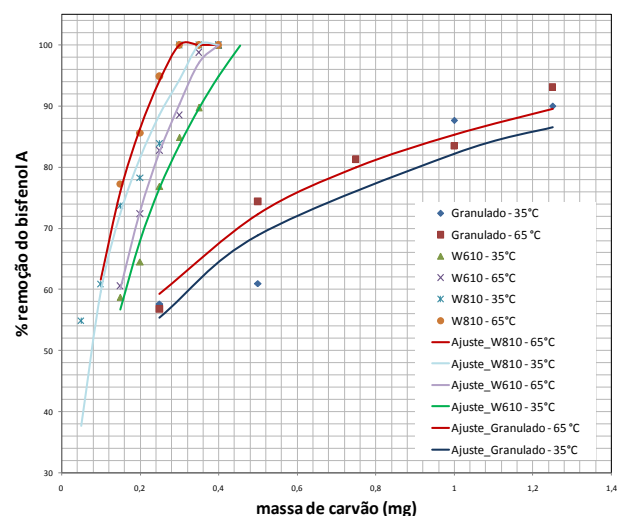
Pela análise da Tabela 1, que apresenta as propriedades físico-químicas dos carvões utilizados neste estudo, pode-se verificar que o CAG apresenta uma área superficial (BET) 15% superior ao CAP W810 que, a despeito da área ligeiramente inferior, mostrou capacidade adsorptiva 14,1 vezes maior.

Quando se faz a comparação entre os CAP, que possuem faixas granulométricas semelhantes, observa-se que um aumento de 22% na área superficial (BET) do CAP W810 em relação ao CAP W610, levou a um aumento de 70% no valor de K.

Pode-se concluir, então, que o efeito da granulometria das partículas – diminuição da capacidade adsorptiva com o aumento do diâmetro médio das partículas – foi preponderante em relação ao efeito do aumento da área superficial.

Em relação ao parâmetro n, que representa a força da ligação adsorptiva, observou-se, para a temperatura de 65°C, valores muito próximos para os CAP e um valor cerca de 3 vezes menor para o CAG, indicando uma ligação mais fraca para este último.

Na Figura 3 encontram-se os valores de %remoção obtidos para cada massa de carvão, calculados segundo a Equação 4, nas duas temperaturas empregadas.



**Figura 3.** Porcentagem de remoção do bisfenol A em função da massa de carvão utilizada.

Pode-se observar que, para a obtenção de uma mesma porcentagem de remoção, as massas de carvão necessárias, da menor para a maior, são do CAP W810, CAP W610 e CAG.

Para um dado tipo de carvão, a massa necessária para se obter uma dada porcentagem de remoção de bisfenol foi ligeiramente menor para a temperatura de 65°C em relação à de 35°C.

Como relatado anteriormente, foi realizado um ajuste logarítmico aos dados (mostrados em linha contínua na Figura 3) e, com as equações obtidas, estimou-se a massa de cada tipo de carvão necessária para remoção de 85% do bisfenol, nas duas temperaturas. A Tabela 3 apresenta esses resultados.

A despeito da maior capacidade adsorptiva dos carvões em pó, em especial do CAP W810, deve-se notar que o carvão granulado CAG 8 x 30 também mostrou-se bastante efetivo na remoção do bisfenol A, sendo necessário cerca de apenas 1 grama para remover 85% de uma concentração inicial relativamente elevada (112,5 ppm).



**Tabela 3.** Massas de carvão necessárias para remoção de 85% do bisfenol A nas condições experimentais.

Tipo de carvão	T (°C)	Massa (g)
CAG 8 X 30	35	1,15
	65	0,98
CAP W610	35	0,31
	65	0,27
CAP W810	35	0,22
	65	0,19

Além disso, dois fatores levam a concluir que, para o carvão granulado, a etapa de regeneração é favorecida: ter apresentado o menor valor de  $n$ , indicando uma ligação mais fraca adsorvente-adsorbato e a conclusão de que a adsorção, para este carvão, se deu preferencialmente nos sítios superficiais.

Somado ainda o fato de que o carvão granulado se presta melhor a operações contínuas do que os carvões em pó, pode-se concluir que, para o processo desejado de adsorção/regeneração eletroquímica, este tipo de carvão deve ser a melhor opção.

## 4. CONCLUSÕES

O modelo de Freundlich, de modo geral, se ajustou bem aos dados experimentais. A análise do parâmetro  $K$  mostrou que o aumento da temperatura de 35 °C para 65 °C não levou a alterações significativas no comportamento adsorptivo dos carvões avaliados. Em relação à capacidade de adsorção no tempo de contato de 4 horas, para uma mesma temperatura (65°C), os resultados do parâmetro  $K$  para o CAP W610 foi 7,9 vezes maior e o do CAP W 810 foi 14,1 vezes maior quando comparados com o  $K$  do CAG, mostrando uma capacidade adsorptiva muito superior dos CAP em relação ao CAG.

Quando se avaliou o parâmetro  $n$ , para a temperatura de 65°C, os CAP apresentaram valores muito próximos e cerca de 3 vezes superiores ao

do CAG, indicando uma mais fraca ligação adsorbato-adsorvente para o carvão granulado.

Ao se avaliar a porcentagem de remoção do bisfenol A nas condições experimentais obtidas para cada tipo de carvão e nas duas temperaturas, confirmou-se o comportamento indicado pelo parâmetro  $K$ , tendo sido necessárias menores massas do CAP W810, seguido do CAP W610 e, as maiores massas do CAG para se obter a mesma porcentagem de remoção.

Apesar de apresentar a mais baixa capacidade adsorptiva, o carvão granulado apresentou, no geral, características que levam a acreditar tratar-se do mais favorável para a aplicação desejada, que envolve etapa posterior de regeneração eletroquímica em processo contínuo.

## 5. REFERÊNCIAS

- BERENQUER, R. et al. Comparison among chemical, thermal and electrochemical regeneration of phenol-saturated activated carbon. **Energy and Fuels**, v. 24, p. 3366-3372, 2010.
- BILA, D.M.; DEZOTTI, M. Desreguladores Endócrinos no Meio Ambiente: Efeitos e Consequências. **Química Nova**, v. 30, p. 651-66, 2007.
- CAÑIZARES, P.; LOBATO, J.; GARCÍA-GÓMEZ, J.; RODRIGO, M.A. Combined adsorption and electrochemical processes for the treatment of acidic aqueous phenol wastes. **J. Appl. Electrochem.**, v. 34, p. 111-117, 2004.
- FLINT, S. *et al.* Bisphenol A exposure, effects, and policy: A wildlife perspective. **J. Environ. Manage.**, v. 104, p. 19-34, ago. 2012.
- GODFREY, J. Global market for bisphenol A to reach 8.4 M tonnes by 2018, predicts GIA. **ICIS News**, 15 ago. 2013. Disponível em: <http://www.icis.com/Articles/2013/08/15/9700636/global-market-for-bisphenol-a-to-reach-8.4-m-tonnes-by-2018.html>. Acesso em: 3 jan. 2014.
- LIMA, D.R.S. **Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos de águas naturais por clarificação associada à adsorção em carvão ativado em pó.** Dissertação (Mestrado) –

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

MONTAGNER, C.C.; JARDIM W. F. Spatial and Seasonal Variations of Pharmaceuticals and Endocrine Disruptors in the Atibaia River, São Paulo State (Brazil). **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 22, n. 8, p. 1452-1462, abr.2011.

MOHAMMED, F.M. **Modelling and Design of Water Treatment Processes Using Adsorption and Electrochemical Regeneration**. 2011. 254 p. Tese (Doutorado) - Manchester, 2011.

MOHAMMED, F.M. et al. Continuous water treatment by adsorption and electrochemical regeneration. **Water Research**, v. 45, p. 3065 – 3074, 2011.

NARBAITZ, R.M.; KARIMI-JASHNI, A. Electrochemical reactivation of granular activated carbon: Impact of reactor configuration. **Chem. Eng. J.**, v. 197, p. 414-423, 2012.

OLMO, M. *et al.* Determination of bisphenol A (BPA) in the presence of phenol by first-derivative

fluorescence following micro liquid-liquid extraction (MLLE). **Talanta**, Granada, v. 50, p. 1141-1148, jun. 1999.

SODRÉ, F.F. et al. **Origem e Destino de Interferentes Endócrinos em Águas Naturais**. Campinas: UNICAMP, 2007. 27 p. (Caderno Temático, v. 6).

USEPA. **Endocrine Disruptors Research**. 2009. Disponível em: <<http://www.epa.gov/research/endocrinedisruption/index.htm>>. Acesso em: 20 jan. 2014.

VERAS, D.F. **Remoção dos perturbadores endócrinos 17 $\beta$ -estradiol e P-nonilfenol por diferentes tipos de carvão ativado em pó (CAP) produzidos no Brasil - avaliação em escala de bancada**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

YOON, Y. *et al.* HPLC-fluorescence detection and adsorption of bisphenol A, 17 $\beta$ -estradiol, and 17 $\alpha$ -ethynyl estradiol on powdered activated carbon. **Water Res.**, v. 37, n. 14, p. 3530-3537, ago. 2003.