

II-572 - ESTUDO DA ADSORÇÃO DO FÁRMACO PARACETAMOL EM MATRIZ AQUOSA POR ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO

Alisson Felix Neri Santos

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

Talita Jéssica Tavares Marinho

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

Maritza Montoya Urbina

Professora do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

Christiano Cantarelli Rodrigues

Professor do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

Selêude Wanderley da Nóbrega⁽¹⁾

Professora do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

Endereço⁽¹⁾: Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro dos Martins – Maceió – AL, CEP: 57072-900 – Brasil -
Tel: +55 (82) 3214-1661 - e-mail: swn@ctec.ufal.br

RESUMO

Racionalizar o uso da água tem demonstrado não ser o suficiente para suprir a demanda de água doce no mundo. Desta forma, diversos países têm buscado usar tecnologias para assegurar a disponibilidade de água potável, aliadas a uma gestão sustentável que não comprometa quantitativa e qualitativamente estes recursos hídricos. Neste contexto, o tratamento das águas residuárias antes do seu lançamento nos corpos d'água mostra-se uma importante medida de preservação desses ecossistemas. Os fármacos estão cada vez mais presentes no dia-a-dia da vida moderna, sendo considerados como uma classe emergente de poluentes, dada a sua frequente presença nos ambientes aquáticos. Neste sentido, este estudo teve como objetivo testar a viabilidade da adsorção em carvão ativado na remoção do paracetamol em matriz aquosa. Os carvões utilizados tiveram como precursor o endocarpo do coco-da-baía, um resíduo agroindustrial bastante comum no estado de Alagoas. A análise do desempenho das amostras de carvão na remoção do fármaco foi feita com base em testes cinéticos e de equilíbrio, realizados em reatores a batelada, permitindo identificar o sistema adsorvato/adsorvente estudado que maximiza a remoção do fármaco nas condições experimentais estudadas. O efluente utilizado foi produzido no próprio laboratório, através da dissolução do paracetamol em água servida pela Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL). Observando os resultados obtidos, verifica-se que as amostras de carvão preparadas a partir do endocarpo do coco-da-baía demonstraram ter grande potencial como adsorventes para a remoção de paracetamol em matriz aquosa. Para as condições estudadas a área superficial das amostras de carvão testadas parece não ser um fator decisivo na remoção do referido fármaco, haja vista que carvões com áreas superficiais específicas substancialmente diferentes removeram quantidades semelhantes do fármaco. Entretanto, é possível constatar que as diferenças na adsorção do paracetamol sobre as diferentes amostras de carvão estão mais diretamente relacionados com a hidrofobicidade das referidas amostras. O comportamento cinético do processo é bem representado pelo modelo de pseudo-segunda ordem e, de um modo geral, o processo é bastante rápido.

PALAVRAS-CHAVE: Paracetamol, adsorção, carvão ativado.

INTRODUÇÃO

Fármacos são compostos com atividade biológica, desenvolvidos para promover a saúde humana e o seu bem estar. No entanto, uma vez que uma quantidade considerável da dose tomada não é absorvida pelo organismo, uma grande variedade destes produtos químicos - incluindo analgésicos, tranquilizantes, antidepressivos, antibióticos, pílulas anticoncepcionais, agentes quimioterápicos, etc - estão sendo lançados no meio ambiente através de excrementos humanos e de animais presentes nos sistemas de esgotos e no chorume de aterros sanitários, podendo impactar as águas subterrâneas (Cabrita et al., 2010).

Os fármacos, em geral, são potenciais agentes para ações lentas e deletérias sobre o ecossistema, e constituem um perigo, pois não são eficientemente removidos nas estações de tratamento de águas residuárias, têm facilidade de penetração nas barreiras biológicas, e mesmo em baixas quantidades, exercem ações

farmacológicas distintas de acordo com a espécie animal e respectivas vias metabólicas envolvidas. Têm também elevada capacidade de bioacumulação ou persistência ambiental, podendo adquirir novas formas (metabólitos ou produtos de degradação), com novos modos de ação e novos órgãos alvo (Fent et al., 2006).

Os anti-inflamatórios não esteroides (AINEs) como o paracetamol, podem ser encontrados na ordem dos mg/L em águas de superfície, águas de consumo humano e efluentes de estações de tratamento de águas residuais, sendo uns dos compostos farmacêuticos mais frequentemente encontrados em ambientes aquáticos (Parolini et al., 2009). Isto ocorre, provavelmente, pois estes fármacos são largamente usados no tratamento de dor moderada e crônica e no tratamento de doenças reumáticas (Farré et al., 2008).

Muitas substâncias de origem farmacêutica não são biodegradáveis e não apresentam com frequência a completa degradação nos tratamentos de águas residuárias (Villaescusa et al. 2011; Domínguez et al. 2011), portanto, quantidades residuais desses compostos permanecem após o tratamento, e algumas vezes são detectadas em águas de consumo (Cabrita et al., 2010).

Um dos processos mais estudado na remoção de fármacos em matriz aquosa é a adsorção, um processo físico-químico no qual certos componentes de uma fase fluida (gás ou líquido – adsorvato) são transferidos para a superfície de um sólido (adsorvente). Desta forma acontece a transferência seletiva de componentes da fase fluida para a superfície do sólido (adsorvente), ocorrendo uma separação por transferência de massa.

Dentre os inúmeros tipos de adsorventes utilizados, o carvão ativado é um dos mais usados, haja vista a sua grande capacidade de remoção dos mais diferentes produtos, sendo este o adsorvente utilizado no presente estudo.

A adsorção de fármacos presentes em matrizes aquosas tem sido objeto de vários estudos nos últimos anos, conforme podemos observar na literatura (Beninati et al., 2008; Quesada-Peñate et al., 2009; Grover et al., 2011; Mestre et al., 2011; Baccar et al., 2012; Delgado et al., 2012), cujo adsorvente mais comumente empregado é o carvão ativado. A aplicação da adsorção em carvão ativado cobre um vasto espectro de sistemas, tais como, tratamento de água com fins de potabilidade e águas residuárias de diversos setores industriais (alimentício, bebidas, farmacêutico, químico, etc.). Devido a esta versatilidade, a adsorção em carvão ativado tem sido citada pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) como uma das melhores tecnologias disponíveis de controle ambiental (Moreno-Castilla, 2004).

Neste contexto, este trabalho avaliou o tratamento de uma água contaminada com paracetamol através da adsorção em carvão ativado, usando um reator de banho finito. Os resultados obtidos foram avaliados através da cinética de adsorção e da influência de alguns parâmetros intervenientes na adsorção.

MATERIAIS E MÉTODOS

O fármaco escolhido para o estudo em questão foi o paracetamol, em virtude do largo uso ao longo dos anos. O meio aquoso contendo o fármaco foi produzido no próprio laboratório pela dissolução do paracetamol em água servida pela Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), na concentração desejada. Quando necessário, o pH desse meio aquoso foi ajustado utilizando-se soluções concentradas de NaOH ou H₂SO₄.

A estrutura molecular do paracetamol (acetaminofeno) e algumas das propriedades desse fármaco estão apresentadas na Figura 1 e na Tabela 1, respectivamente.

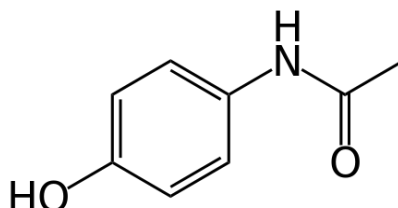


Figura 1: Estrutura molecular do Paracetamol (Galhetas et al., 2014).

Tabela 1: Principais características do Paracetamol.

Ação Farmacológica	Fórmula molecular	Massa molecular (g/mol)	pKa
Analgésico e antipirético	C ₈ H ₉ NO ₂	151,15	9,38 (Nam et al., 2014)

Os ensaios de adsorção foram realizados no sistema experimental esquematizado na Figura 2. Todos os ensaios foram realizados em batelada e o sistema reacional foi mantido sob agitação magnética constante e em temperatura ambiente.

O acompanhamento da cinética de remoção do fármaco foi feita através da determinação do COT (carbono orgânico total), coletando-se amostras do meio reacional, em tempos preestabelecidos. Todas as amostras retiradas eram imediatamente filtradas em filtro tipo seringa, com meio filtrante em celulose regenerada e diâmetro de poro de 0,45 µm, para posterior análise de COT, utilizando-se um analisador de carbono total, Modelo TOC – V_{CSN} da Shimadzu.

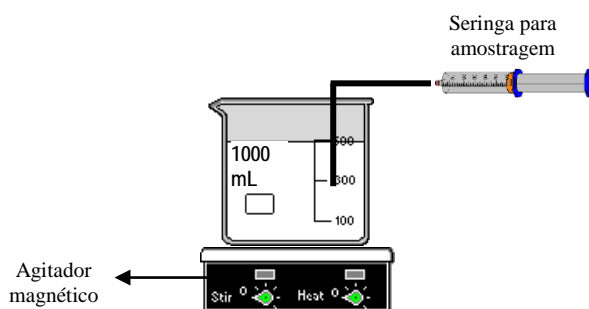


Figura 2 - Desenho esquemático da unidade experimental

Os dados coletados nos ensaios de adsorção foram avaliados através de modelos cinéticos disponíveis na literatura e de uma análise estatística relacionando as variáveis estudadas e a eficiência de remoção do paracetamol pelo carvão ativado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente foram usadas nos ensaios de adsorção sete diferentes amostras de carvão ativado, cujas principais características estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Principais características dos carvões ativados.

Carvão ativado	A _{BET} ^a (m ² /g)	V _{total} ^b (cm ³ /g)	V _{micro} ^c (cm ³ /g)	V _{meso} ^d (cm ³ /g)	Microporosidade	pH _{PZC}	O ^e (%)
CA-1	914	0,43	0,38	0,05	88	3,3	17,4
CA-2	1343	0,70	0,55	0,15	79	3,4	16,2
CA-3	1622	1,02	0,54	0,48	53	3,6	15,8
CA-4	827	0,38	0,36	0,02	95	7,0	13,4
CA-5	1182	0,57	0,51	0,06	89	7,2	17,8
CA-6	1607	0,98	0,65	0,33	66	7,0	8,3
CA-7	644	0,29	0,28	0,01	97	10,0	8,9

^amétodo BET; ^bquantidade de N₂ adsorvida em P/P^o = 0,95; ^cmétodo α_s; ^dV_{meso} = V_{total} - V_{micro}; ^eanálise elementar

Os testes de adsorção iniciais foram realizados em duplicata e em ambiente climatizado, cuja temperatura foi mantida em aproximadamente 25°C. Em cada teste, 50 mL da solução aquosa contendo paracetamol com concentração inicial conhecida (C_{paracetamol} = 50 mg/L), foram mantidos em agitação constante e em contato com 0,5 g/L de cada uma das amostras de carvão, por um período de tempo suficiente para que o equilíbrio fosse atingido, ou seja, 24 h. Após esse período, a concentração do paracetamol residual no sobrenadante (C_e) foi determinada através da obtenção do COT. A eficiência de remoção de cada ensaio foi calculada usando-se a Equação 1:

$$\text{Eficiência de Remoção (\%)} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (01)$$

na qual C_0 e C_e são as concentrações inicial e final (equilíbrio) do paracetamol (mg/L) em termos de COT, respectivamente.

A partir dos resultados destes testes, os quais estão apresentados na Figura 3, é possível observar uma pronunciada remoção de paracetamol, especialmente quando do uso das amostras de carvão CA-6 e CA- 7, o que demonstra não haver relação direta entre a remoção deste fármaco e as propriedades texturais das amostras de carvão.

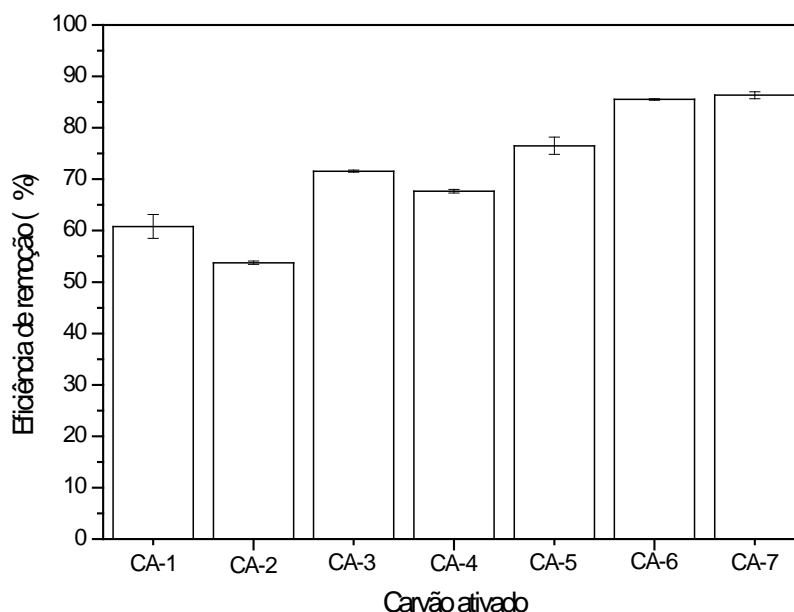


Figura 3 - Eficiência de remoção do paracetamol: $C_{\text{paracetamol}} = 50 \text{ mg/L}$; $C_{\text{carvão}} = 0,5 \text{ g/L}$; $\text{pH} = 4,3$ (original); $T = 25^\circ\text{C}$; $t = 24 \text{ h}$.

O pH da solução afeta tanto o estado de ionização do paracetamol ($\text{pK}_a = 9,38$) quanto a carga da superfície do carvão ativado. Nos testes realizados o valor do pH inicial da solução era de cerca de 4,3. Nesta condição, o paracetamol está predominantemente na sua forma não ionizada, já as superfícies dos carvões CA-1, CA-2 e CA-3 estão negativas ($\text{pH}_{\text{PZC}} < \text{pH}$ da solução) enquanto as demais amostras estão com as superfícies carregadas positivamente ($\text{pH}_{\text{PZC}} > \text{pH}$ da solução). Consequentemente, não deve haver interações eletrostáticas repulsivas ou atrativas entre o adsorvato e a superfície dos carvões que possam favorecer/dificultar a adsorção do paracetamol, sendo nesses casos as forças dispersivas as interações dominantes.

O teor de oxigênio afeta a natureza hidrofóbica/hidrofílica do carvão ativado (Cabrita et al., 2010, Méndez-Díaz et al., 2010). Assim, é possível constatar que os resultados apresentados na Figura 3 estão mais diretamente relacionados com a hidrofobicidade das amostras de carvão, haja vista que quanto menos oxigênio o carvão apresenta maior é sua hidrofobicidade (Méndez-Díaz et al., 2010), diminuindo a competição entre as moléculas de água e de paracetamol para os sítios ativos da superfície do carvão, aumentando a adsorção do paracetamol.

Posteriormente a estes testes, uma série de testes obedecendo a uma matriz de planejamento do tipo composto central (Tabela 3) foi realizada, cujo objetivo era avaliar a influência das variáveis pH inicial do meio aquoso, concentração do carvão e concentração do fármaco sobre a eficiência do processo. Em todos estes testes o adsorvente utilizado foi a amostra de carvão CA-6, e os resultados obtidos para a eficiência de remoção do paracetamol, após 3 h de contato adsorvente/adsorvato, estão apresentados na última coluna da Tabela 3. O tratamento desses dados consistiu na obtenção dos coeficientes do modelo de segunda ordem, utilizando-se o

método dos mínimos quadrados, seguido da avaliação de sua significância, bem como a significância do ajuste. Toda a análise estatística foi realizada utilizando-se o software *Statistica 6.0*.

Tabela 3: Matriz do planejamento experimental e respectiva remoção do paracetamol.

Experimento	x_1	x_2	x_3	pH	$C_{\text{carvão}}$ (g/L)	$C_{\text{fármaco}}$ (mg/L)	Eficiência de Remoção (%)
1	-1	-1	-1	5	0,3	35	74,8
2	-1	-1	1	5	0,3	60	60,8
3	-1	1	-1	5	0,5	35	88,2
4	-1	1	1	5	0,5	60	80,8
5	1	-1	-1	9	0,3	35	73,1
6	1	-1	1	9	0,3	60	14,1
7	1	1	-1	9	0,5	35	78,7
8	1	1	1	9	0,5	60	79,2
9	-1,68	0	0	3,64	0,4	50	77,4
10	1,68	0	0	10,36	0,4	50	44,0
11	0	-1,68	0	7	0,232	50	54,1
12	0	1,68	0	7	0,568	50	85,1
13	0	0	-1,68	7	0,4	33,2	84,5
14	0	0	1,68	7	0,4	66,8	64,5
15	0	0	0	7	0,4	50	71,3
16	0	0	0	7	0,4	50	76,3
17	0	0	0	7	0,4	50	73,9

Em termos práticos, um bom modelo necessita ter uma regressão significativa e uma falta de ajuste não significativa. Isto equivale a dizer que a maior parte da variação total das observações em torno da média deve ser descrita pela equação de regressão e o restante certamente, ficará com os resíduos. Da variação que fica com os resíduos é esperado que a maior parte fique com o erro puro, que é o erro experimental, e não com a falta de ajuste, que está diretamente relacionada com o modelo (Teófilo e Ferreira, 2006). Os resultados obtidos da análise de variância para a regressão estão apresentados na Tabela 4, de onde se conclui que o modelo é preditivo e que a falta de ajuste não é significativa no nível de confiança de 95%. O alto valor do coeficiente de correlação (R^2) resulta da boa qualidade do ajuste dos dados experimentais ao modelo quadrático, indicando que $\approx 91\%$ da variação sofrida pela resposta é explicada pelo modelo. Observa-se ainda que apenas os termos quadráticos x_2^2 e x_3^2 não são significativos, ao nível de 95% de confiança. Desta forma o modelo quadrático, contendo apenas os termos significativos está apresentado na Equação 2.

$$\eta (\%) = 7,38 - 8,5 x_1 - 4,5 x_1^2 + 11,5 x_2 - 8,3 x_3 + 4,7 x_1 x_2 - 4,6 x_1 x_3 + 8,2 x_2 x_3 \quad (02)$$

na qual x_i são as variáveis do processo nas suas formas codificadas, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 4: Análise de variância (ANOVA) para a regressão.

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Média Quadrática	F	Valor P
x_1	981,682	1	981,682	152,4692	0,006495
x_1^2	224,431	1	224,431	34,8574	0,027510
x_2	1791,652	1	1791,652	278,2691	0,003574
x_2^2	20,164	1	20,164	3,1318	0,218799
x_3	946,538	1	946,538	147,0108	0,006734
x_3^2	1,890	1	1,890	0,2935	0,642263
$x_1 x_2$	174,628	1	174,628	27,1222	0,034949
$x_1 x_3$	172,152	1	172,152	26,7376	0,035425
$x_2 x_3$	544,272	1	544,272	84,5332	0,011624
Falta de ajuste	474,404	5	94,881	14,7363	0,064763
Erro Puro	12,877	2	6,439		
Total SS	5361,519	16	$R^2 = 0,9091$		

A correspondência entre os valores observados experimentalmente e aqueles preditos pelo modelo (Equação 2) é apresentada na Figura 4. Nesta figura vê-se que os pontos estão distribuídos aleatoriamente próximos da linha, demonstrando um bom ajuste dos dados experimentais ao modelo quadrático.

Destaca-se, portanto, que todos os parâmetros avaliados (pH, concentração do carvão e concentração do fármaco) são importantes no processo e, de acordo com o modelo ajustado, os níveis destes parâmetros que maximizam a remoção do paracetamol são: $x_1 = 0,34$; $x_2 = 1,31$ e $x_3 = -1,15$.

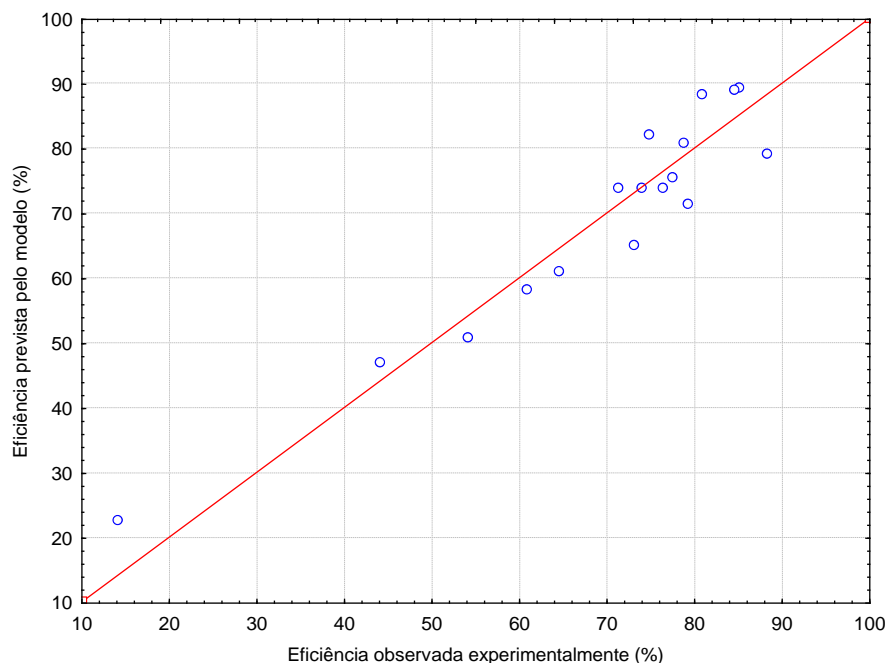


Figura 4 - Valores preditos pela Equação 2 e observados experimentalmente.

A cinética da adsorção do paracetamol sobre a amostra de carvão CA-6 também foi avaliada e os modelos cinéticos de pseudo-primeira e segunda ordem foram usados para correlacionar os dados cinéticos obtidos neste estudo.

O modelo de pseudo-primeira ordem pode ser expresso na seguinte forma:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (03)$$

na qual k_1 é a constante cinética de pseudo-primeira ordem (min^{-1}), q_e e q_t são as capacidades de adsorção (mg g^{-1}) no equilíbrio e em um tempo t , respectivamente. Considerando as condições inicial e final, $q = 0$ para $t = 0$ e $q = q_t$ para $t = t$, respectivamente, a Equação 3 na sua forma integrada é dada por:

$$q_t = q_e \left(1 - \frac{1}{e^{k_1 t}} \right) \quad (04)$$

O modelo de pseudo-segunda ordem pode ser expresso na seguinte forma:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (05)$$

na qual k_2 é a constante cinética de pseudo-segunda ordem ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$), q_e e q_t são as capacidades de adsorção (mg g^{-1}) no equilíbrio e em um tempo t , respectivamente. Considerando as condições inicial e final, $q = 0$ para $t = 0$ e $q = q_t$ para $t = t$, respectivamente, a Equação 5 na sua forma integrada é dada por:

$$q_t = \frac{k_2 q_e^2 t}{1 + k_2 q_e^2 t} \quad (06)$$

Ambos os modelos foram correlacionados aos dados cinéticos da adsorção do paracetamol sobre o carvão ativado CA-6. Contudo o modelo de pseudo-segunda ordem foi o que melhor representou a cinética do processo, cujos parâmetros obtidos por regressão não-linear, estão apresentados na Tabela 5. A Figura 5 apresenta os dados experimentais e os ajustes do modelo de pseudo-segunda ordem para os respectivos testes apresentados na Tabela 5.

A partir de uma análise destes resultados, pode-se observar que o processo de adsorção do paracetamol sobre o carvão ativado CA-6 segue uma cinética de pseudo-segunda ordem e é bastante rápido, sendo o equilíbrio atingido na primeira hora de contato. Resultados apresentados na literatura (Cabrita et al., 2010; Galheta et al., 2014) também mostraram que a adsorção do paracetamol sobre amostras de carvão ativado segue o modelo de pseudo-segunda ordem. Outros estudos de adsorção de fármacos em carvão ativado também concluíram que o modelo de pseudo-segunda ordem é o que melhor representa a cinética do processo, conforme exemplificado no trabalho de Baccar et al. (2012).

Tabela 5 - Parâmetros cinéticos da adsorção do paracetamol sobre o carvão CA-6

Teste	pH	C _{paracetamol} (mg/L)	C _{carvão} (g/L)	Pseudo-segunda ordem		
				q _e (mg/g)	k ₂ (g mg ⁻¹ min ⁻¹)	R ² _{Ajustado}
1	5	35	0,3	100,8	0,065	0,994
2	5	60	0,3	130,3	0,114	0,992
3	5	35	0,5	72,1	0,148	0,998
4	5	60	0,5	107,3	0,023	0,999

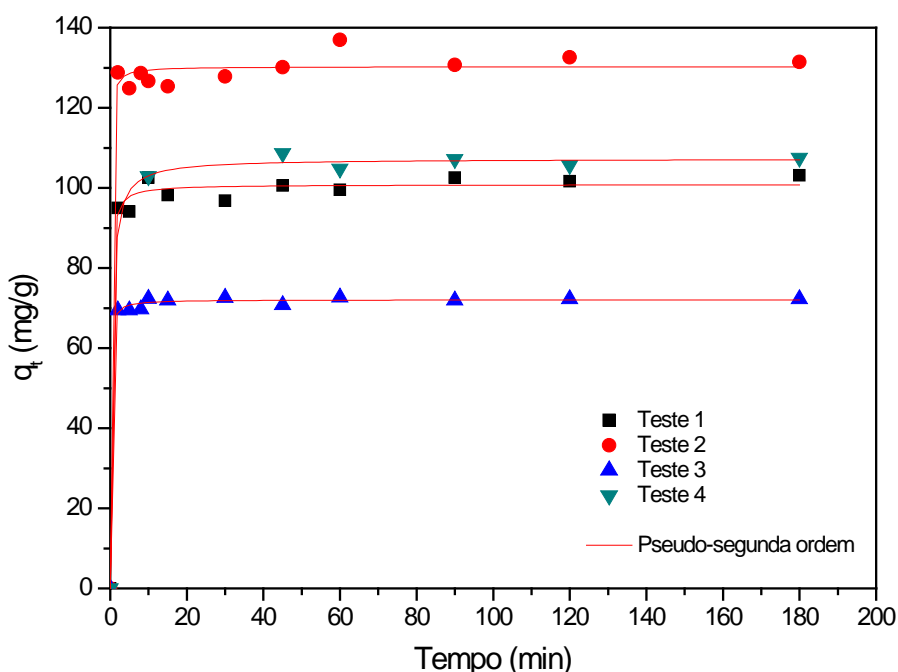


Figura 5 - Cinética da adsorção do paracetamol sobre o carvão ativado CA-6: pH = 5,0 e T = 25 °C.

Os resultados obtidos e apresentados neste trabalho indicam que as amostras de carvão utilizadas, apresentaram desempenho superior na remoção de paracetamol de matriz aquosa, com eficiências variando entre 50 e 80%. Este desempenho é um indicativo do potencial que os carvões usados possuem para serem aplicados no tratamento de águas contaminadas com fármacos.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, concluiu-se que:

Os carvões ativados usados, produzidos a partir do endocarpo do coco-da-baía, são adsorventes bastante promissores para a remoção do paracetamol em matriz aquosa;

Todos os parâmetros avaliados no processo de adsorção (pH, concentração do carvão e concentração do fármaco) influenciam no desempenho do processo de adsorção;

A cinética do processo de adsorção do paracetamol sobre a amostra de carvão CA-6 é bastante rápida, com o equilíbrio sendo atingido antes da primeira hora do processo e

O modelo cinético de pseudo-segunda ordem se mostrou adequado para representar a cinética da adsorção para todas as condições experimentais testadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BACCAR, R.; SARRÁ, M.; BOUZID, J.; FEKI, M.; BLÁNQUEZ, P. Removal of pharmaceutical compounds by activated carbon prepared from agricultural by-product. *Chemical Engineering Journal*, v.211-212, 2012, p.310-317.
2. BENINATI, S.; SEMERARO, D.; MASTRAGOSTINO, M. Adsorption of paracetamol and acetylsalicylic acid onto commercial activated carbons. *Adsorption Science & Technology*, v.26, n.9, 2008, p.721-734.
3. CABRITA, I.; RUIZ, B.; MESTRE, A.S.; FONSECA, I.M.; CARVALHO, A.P.; ANIA, C.O. Removal of analgesic using activated carbons prepared from urban and industrial residues. *Chemical Engineering Journal*, v.163, 2010, p.249-255.
4. DELGADO, L.F.; CHARLES, P.; GLUCINA, K.; MORLAY, C. The removal of endocrine disrupting compounds, pharmaceutically activated compounds and cyanobacterial toxins during drinking water preparation using activated carbon — a review. *Science of the Total Environment*, v.435-436, 2012, p.509-525.
5. DOMÍNGUEZ, J.R.; GONZÁLEZ, T.; PALO, P.; CUERDA-CORREA, E.M. Removal of common pharmaceuticals present in surface waters by Amberlite XAD-7 acrylic-esterresin: Influence of pH and presence of other drugs. *Desalination*, v.269, 2011, p.231-238.
6. FARRÉ, M.; PÉREZ, S.; KANTIANI, L.; BARCELÓ, D. Fate and toxicity of emerging pollutants, their metabolites and transformation products in the aquatic environment. *Trends in Analytical Chemistry*, v.27, n.11, 2008, p.991-1007.
7. FENT, K.; WESTON, A.A.; CAMINADA, D. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. *Aquatic toxicology*, v.76, 2006, p.122-159.
8. GALHETAS, M.; MESTRE, A.S.; PINTO, M.L.; GULYURTLU, I.; LOPES, H.; CARVALHO, A.P. Carbon-based materials prepared from pine gasification residues for acetaminophen adsorption. *Chemical Engineering Journal*, v.240, 2014, p.344-351.
9. GROVER, D.P.; ZHOU, J.L.; FRICKERS, P.E.; READMAN, J.W. Improved removal of estrogenic and pharmaceutical compounds in sewage effluent by full scale granular activated carbon: Impact on receiving river water. *Journal of Hazardous Materials*, v.185, 2011, p.1005-1011.
10. MÉNDEZ-DÍAZ, J.D.; PRADOS-JOYA, G.; RIVERA-UTRILLA, J.; LEYVA-RAMOS, R.; SÁNCHEZ-POLO, M.; FERRO-GARCÍA, M.A.; MEDELLÍN-CASTILLO, N.A. Kinetic study of the adsorption of nitroimidazole antibiotics on activated carbons in aqueous phase. *Journal of Colloid and Interface Science*, v.345, 2010, p.481-490.
11. MESTRE, A.S.; BEXIGA, A.S.; PROENÇA, M.; ANDRADE, M.; MOISÉS, L.P.; MATOS, I.; FONSECA, I.M.; CARVALHO, A.P. Activated carbons from sisal waste by chemical activation with K₂CO₃: kinetics of paracetamol and ibuprofen removal from aqueous solution. *Bioresource Technology*, v.102, 2011, p.8253-8260.
12. MORENO-CASTILLA, C. Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials. *Carbon*, v.42, 2004, p.83-94.
13. NAM, S-W.; CHOI, D-J.; KIM, S-K.; HER, N.; ZOH, K-D. Adsorption characteristics of selected hydrophilic and hydrophobic micropollutants in water using activated carbon. *Journal of Hazardous Materials*, v.270, 2014, p.144-152.

14. PAROLINI, M.; BINELLI, A.; COGNI, D.; RIVA, C.; PROVINI, A. An in vitro biomarker approach for the evaluation of the ecotoxicity of non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDS). *Toxicology in vitro*, v.23, 2009, p.935-942.
15. QUESADA-PENATE, I.; JULCOUR-LEBIGUE, C.; JAUREGUI-HAZA, U.J.; WILHELM, A.M.; DELMAS, H. Comparative adsorption of levodopa from aqueous solution on different activated carbons. *Chemical Engineering Journal*, v.152, 2009, p.183-188.
16. TEÓFILO, R.F.; FERREIRA, M.M.C. Quimiometria II: planilhas eletrônicas de planejamentos experimentais, um tutorial. *Química Nova*, v.29, n.2, 2006, p.338-350.
17. VILLAESCUSA, I.; FIOL, N.; POCH, J.; BIANCHI, A.; BAZZICALUPI, C. Mechanism of paracetamol removal by vegetable wastes: The contribution of π - π interactions, hydrogen bonding and hydrophobic effect. *Desalination*, v.270, 2011, p.135-142.