



433 - AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE DICLOFENACO DE SÓDIO EM EFLUENTE SINTÉTICO UTILIZANDO ADSORVENTE PRODUZIDO A PARTIR DE FOLHAS DE *PERSEA AMERICANA* MILL.

Fabiola Tomassoni⁽¹⁾

⁽¹⁾Engenheira Ambiental pela Faculdade União das Américas - UNIAMÉRICA. Mestre em Engenharia em Energia na Agricultura pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Doutora e Pós-doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Atualmente Professora colaboradora da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE).

Elisângela Edila Schneider⁽²⁾

⁽²⁾Engenheira Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Mestre e Doutora em Engenharia Química no Programa de Engenharia Química (PEQ) da COPPE/UFRJ. Atuou profissionalmente na Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE) e no Centro Brasileiro de Pesquisas da General Electric. Atualmente é pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química na Universidade Federal de Santa Catarina (PósENQ/UFSC).

Magali Teresinha Ritter⁽³⁾

⁽³⁾Engenheira Sanitarista e Ambiental e Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Flávio Rubens Lapolli⁽⁴⁾

⁽⁴⁾Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professor adjunto no departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Maria Eliza Nagel-Hassemer⁽⁵⁾

⁽⁵⁾Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Professora adjunta no departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Endereço⁽¹⁾: Campus Universitário UFSC/CTC. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Laboratório de Reuso de Água. Bairro Trindade - CEP 88040-900. Florianópolis - Santa Catarina. - Brasil - Tel: (48) 3721-7750 - e-mail: fabiola_tomassoni@hotmail.com

RESUMO

O aumento do consumo de medicamentos pela sociedade tem provocado contaminação de corpos hídricos por fármacos, que são poluentes emergentes com alta capacidade de persistir no meio ambiente e causar efeitos tóxicos aos ecossistemas aquáticos. Entre esses poluentes, destaca-se o diclofenaco de sódio (DCF), que normalmente não é metabolizado totalmente pelo organismo, gerando efluentes sanitários com concentrações relevantes desse composto. Nesse contexto, os tratamentos convencionais tanto de esgoto sanitário quanto de água de abastecimento não removem essas substâncias, havendo a necessidade de métodos de tratamento alternativos para remoção de fármaco de águas contaminadas. Com isso, a utilização de materiais renováveis e naturais para o processo de adsorção, torna-se um interessante meio sustentável de tratamento para esses poluentes. O presente trabalho procurou avaliar a eficiência da remoção da concentração de DCF presente em efluente sintético, através do processo de adsorção em biocarvão proveniente das folhas de *Persea americana* Mill (abacateiro). Mediante a utilização de planejamento fatorial de experimentos e métodos estatísticos, buscou-se encontrar as melhores condições operacionais, a fim de avaliar os efeitos das variáveis pH, concentração de DCF e dose do adsorvente que resultassem na melhor remoção de DCF. O estudo da cinética de adsorção foi realizado com as condições ótimas obtidas pelo planejamento experimental. As melhores condições operacionais do DCCR foram pH 6, concentração de DCF de 0,50 mg.L⁻¹ e dose de biocarvão de 0,20 g com remoções acima de 90%. A cinética de adsorção atingiu o equilíbrio com 300 minutos de tempo de contato, obtendo uma eficiência de remoção de 90,2%. O modelo cinético que melhor se ajustou aos dados foi o modelo de pseudo-segunda ordem, que apresentou coeficiente de correlação (R²) de 0,97, evidenciando um processo de quimiossorção.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção; DCCR; Diclofenaco de Sódio; Abacateiro.



INTRODUÇÃO

Poluentes emergentes são compostos químicos encontrados no meio ambiente que podem apresentar riscos aos ecossistemas e seres humanos, e que ainda não possuem regulamentação. São substâncias que no futuro necessitarão de legislações específicas devido a possíveis efeitos negativos à saúde humana e seu potencial de bioacumulação no meio ambiente, que, em corpos hídricos, ocorrem em concentrações extremamente baixas, o que dificulta a detecção e avaliação de risco dessas substâncias (MONTAGNER; VIDAL; ACAYABA, 2017). Dentre esses contaminantes estão os fármacos que mesmo em concentrações muito baixas podem causar alterações no funcionamento natural do sistema endócrino e estão associadas a surgimento de doenças como câncer de testículo, de mama e de próstata, além de alterações neurológicas e problemas no sistema reprodutivo (SILVA, 2016).

O uso extensivo pela população desses compostos químicos e o aumento da probabilidade de seu despejo inadequado em corpos hídricos, faz com que essas substâncias componham as águas residuárias e entrem em contato com o meio ambiente, visto que as Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) não as removem completamente (AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013). Com isso, esses contaminantes são transportados pelas águas residuárias mesmo após passar pelo tratamento convencional, e podem ter como a destinação final corpos hídricos que servem como mananciais para posterior abastecimento público. Este fato causa preocupação, já que as Estações de Tratamento de Água (ETA) convencionais também não são eficientes para a remoção de fármacos (CHEN et al., 2007).

O diclofenaco de sódio (DCF) é um fármaco não-esteróide com pronunciadas propriedades antirreumática, anti-inflamatória, analgésica e antipirética. Devido a ampla aplicação desse fármaco explica-se o seu alto consumo e a relevância da necessidade de estudos para mitigar os seus possíveis impactos ambientais (ROCHA et al., 2009). Uma alternativa tecnológica para o tratamento de águas contaminadas por DCF que vem sendo pesquisada e apresenta bons resultados é o tratamento por adsorção em carvão ativado. Estudos demonstram que a adsorção com carvão ativado alcança remoções acima de 80% da concentração de DCF, além da facilidade de operação e a não geração de compostos tóxicos (MANSOURI et al., 2015; YANG et al., 2017). Além disso, a possibilidade de uso de um biocarvão para o tratamento torna o processo mais sustentável por sua facilidade de produção e possibilidade de aproveitamento de um resíduo sólido (SCHILLO et al., 2021).

Nesse contexto, diversos estudos estão abordando o uso de carvão ativado proveniente de resíduos sólidos, com o intuito de encontrar materiais com melhores condições de remoção de DCF e que ao mesmo tempo sejam sustentáveis, com baixo custo, alta disponibilidade e eficientes (GRABOSKI et al., 2021). Entre esses estudos, encontra-se o uso da casca de coco de dendê com remoção de 77,21% na concentração de DCF (LIMA, 2014), o uso de ossos bovinos com remoção de até 98% em águas contaminadas com DCF (NETO et al., 2018) e o aproveitamento de bagaço de malte com remoção de concentração superior a 90% de DCF (CAMPOS et al., 2021).

Diante desse cenário, o presente trabalho procurou avaliar a eficiência da remoção da concentração de diclofenaco de sódio, presente em efluente sintético através do processo de adsorção em carvão ativado proveniente das folhas de *Persea americana Mill.* Mediante a utilização de planejamento fatorial de experimentos e métodos estatísticos, buscou-se encontrar as condições operacionais que resultassem na melhor remoção de DCF. Além disso, um estudo cinético foi realizado a fim de determinar os parâmetros cinéticos de adsorção que regem os processos de remoção de DCF com o biocarvão produzido com folhas de *Persea a. Mill.*

MATERIAIS E MÉTODOS

• Efluente Sintético

O efluente sintético foi preparado utilizando 200 mg de diclofenaco de sódio ($C_{14}H_{11}Cl_2NO_2$) em 2.000 mL de água ultrapura, resultando em uma concentração de 100 mg DCF.L⁻¹, utilizada de forma diluída posteriormente para produzir as soluções de diferentes concentrações requeridas neste estudo. Na Figura 1 está apresentada a estrutura química do DCF.

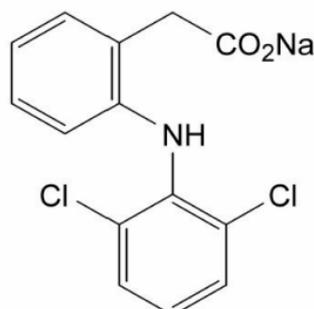


Figura 1: Estrutura química do Diclofenaco de Sódio (DCF).

- **Preparação e ativação do biocarvão**

As folhas da *Persea a. Mill.* (abacateiro) foram preparadas de acordo com a metodologia proposta por Tomassoni et al. (2022). Após este processo, o material produzido foi armazenado em recipiente hermético para uso posterior.

- **Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR)**

A fim de avaliar a capacidade de adsorção do biocarvão produzido na remoção do DCF no efluente sintético, foi realizado um planejamento fatorial experimental através do método estatístico DCCR (Delineamento Composto Central Rotacional). De modo a obter a melhor condição do processo de adsorção, foram consideradas três variáveis independentes (2³). Foram realizados oito ensaios com pontos fatoriais (+1 e -1), seis ensaios com pontos axiais (-1,68 e +1,68) e três ensaios com pontos centrais (0), totalizando 17 experimentos. As variáveis independentes foram: pH da solução (0,96 a 11,04), a concentração do DCF (8 a 92 mg.L⁻¹) e a dose do biocarvão (0,09 a 0,69 g). O tempo de contato não foi considerado uma variável independente, pois o tempo ideal foi identificado em experimentos cinéticos realizados com o pH, a dosagem do biocarvão e a concentração de DCF ideais determinada neste planejamento fatorial experimental.

Os ensaios do DCCR foram realizados em banho termostático (Dubnoff NT232), utilizando 100 mL de efluente sintético em erlenmeyers de vidro (250 mL), as doses de adsorvente definidas pelo planejamento, com tempo de contato de 120 min, velocidade de agitação de 200 rpm e temperatura de 25 ± 1°C (ZHAO; LIU; QIN, 2017; MAIA et al., 2019; WU et al., 2020; DARRYLE, 2021). Após esse tempo, as amostras foram filtradas em membranas de acetato de celulose com porosidade de 0,45µm para posterior análise.

Como variável dependente do planejamento, a concentração do DCF no efluente foi avaliada por espectrofotometria através da leitura da absorbância no comprimento de onda 294 nm. Assim, após o processo de adsorção foi possível, realizar a leitura da concentração final de DCF e avaliar a percentagem de remoção através da Equação 1.

$$\text{DCF (\%)} = ((C_0 - C_e)/C_0) \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Onde, C₀ é a concentração inicial de DCF na solução (mg.L⁻¹); e C_e é a concentração residual de DCF na solução (mg.L⁻¹).

Posteriormente, a análise estatística dos resultados de todos os ensaios da matriz foi realizada por meio do programa Statistica® (Statsoft, Inc), que possibilitou a obtenção do modelo matemático relacionando à remoção do DCF com as variáveis testadas.

- **Cinética de Adsorção**

A cinética de adsorção foi realizada em banho termostático (Dubnoff NT232), utilizando erlenmeyers de vidro (250 mL de capacidade máxima, não estéreis e fechados com papel alumínio), com temperatura de 25 ± 1°C e velocidade de agitação de 200 rpm. Para este estudo utilizou-se 100 mL do efluente sintético com concentração inicial de DCF de 0,50 mg.L⁻¹, dose do biocarvão de 0,20 g e pH da solução 6, totalizando 12



ensaios realizados em duplicata. As amostras foram submetidas a intervalos de tempos diferentes para a análise do processo de adsorção até a obtenção do tempo de equilíbrio, que, representa o momento em que a concentração do adsorvato persiste constante ao decorrer do tempo. Os intervalos para cada retirada do ensaio foram entre 10 e 1.440 minutos.

Ao retirar cada amostra no intervalo de tempo predefinido, foi realizada a filtração em membrana de acetato de celulose com porosidade de 0,45 μm para, posteriormente, a leitura da amostra no espectrofotômetro no comprimento de onda de 294 nm. Os dados obtidos foram analisados através dos modelos pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem, difusão intrapartícula e a equação de Elovich e sua validade determinada pelo coeficiente de correlação (R^2). Também foi possível determinar o tempo de equilíbrio da adsorção do DCF pelo adsorvente produzido.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado do planejamento fatorial experimental DCCR que identificou as melhores condições de remoção de DCF pelo processo de adsorção, está apresentado na Tabela 1. Com isso, foi possível realizar a avaliação de que forma as variáveis independentes (pH da solução, concentração de DCF e dose do biocarvão) influenciaram na remoção de DCF através de análise estatística.

Tabela 1: Resultados do Delineamento Central Rotacional (DCCR).

Ensaio	X ₁ (pH da solução)	X ₂ (concentração de DCF (mg.L ⁻¹))	X ₃ (dose do biocarvão (g))	Remoção de DCF (%)
1	3,00	25	0,15	10,1
2	3,00	25	0,50	21,3
3	3,00	75	0,15	46,6
4	3,00	75	0,50	10,0
5	9,00	25	0,15	45,0
6	9,00	25	0,50	58,3
7	9,00	75	0,15	95,2
8	9,00	75	0,50	21,7
9	0,96	50	0,20	45,9
10	11,04	50	0,20	10,0
11	6,00	8	0,20	47,0
12	6,00	92	0,20	81,3
13	6,00	50	0,09	21,7
14	6,00	50	0,69	47,6
15	6,00	50	0,20	92,4
16	6,00	50	0,20	91,2
17	6,00	50	0,20	93,6

Pode-se observar no resultado do planejamento experimental que a melhor remoção de concentração de DCF obtida foi de 95,2%, no ensaio 7 com pH 9, concentração de DCF de 75 mg.L⁻¹ e dose de adsorvente de 0,15 g. Porém, nos ensaios 15, 16 e 17 obtiveram-se resultados muito próximos a esse nível de remoção, com pH 6, concentração de DCF de 50 mg.L⁻¹ e dose de adsorvente de 0,20 g. Deste modo, o presente estudo adotou as condições das variáveis centrais como ótima, devido a maior facilidade de ajuste do pH, além de alcançar alta eficiência na remoção de DCF. Por outro lado, os piores resultados para remoção foram nos ensaios 1, 4 e 10 com remoção de DCF em torno de 10% da concentração inicial.

Para validar o ajuste do modelo proposto com os resultados obtidos, realizou-se o teste da análise de variância (ANOVA) do modelo previsto para a remoção do DCF (%), por meio do gráfico de Pareto (Figura 2). O gráfico de Pareto apresenta a significância dos resultados, com 95% de confiança, representado pela linha

vermelha ($p = 0,05$). A extensão horizontal das barras fornece os resultados dos efeitos das variáveis lineares (L), quadráticas (Q) e da interação linear entre as variáveis independentes.

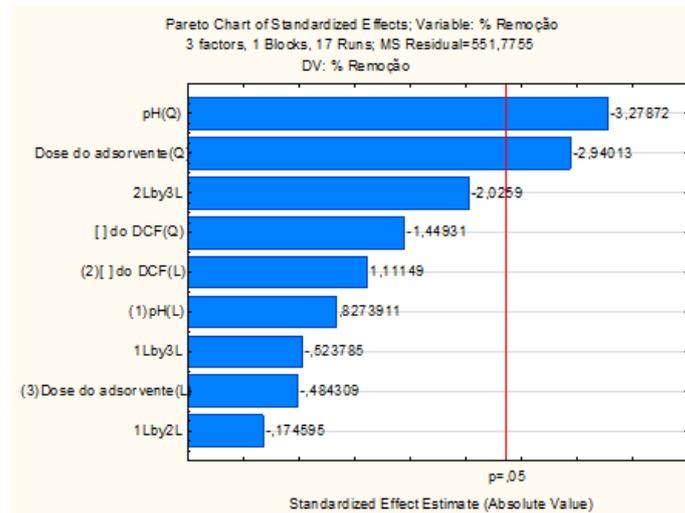


Figura 2: Gráfico de Pareto para remoção da concentração do DCF no efluente estudado para o adsorvente produzido com as folhas de *Persea a. Mill.* L- Termos Lineares; Q - Termos Quadráticos; 1Lby2L - Interação entre pH e concentração do DCF em termos lineares; 1Lby3L – Interação entre pH e dose do biocarvão em termos lineares; 2Lby3L – Interação entre concentração do DCF e dose do biocarvão em termos lineares.

Nota-se pela Figura 2 que o termo quadrático da variável pH apresentou a maior significância estatística, com influência negativa, ou seja, quanto maior for o valor de pH da solução menor será a remoção da concentração de DCF. A variável dose de adsorvente em termos quadráticos foi estatisticamente significativa com efeito negativo, representando que quanto maior a dose de adsorvente menor será a remoção da concentração de DCF. A concentração inicial de DCF da solução não se apresentou estatisticamente significativa, assim como, os termos lineares da variável pH, dose de adsorvente e a interação entre as variáveis.

Com base no gráfico de Pareto, realizou-se novamente o teste ANOVA mantendo as variáveis significativas, a fim de obter o modelo de remoção do DCF (Equação 2) no comprimento de onda em que ocorre a maior absorção (294 nm). Na Figura 3 podem ser observado o perfil de contorno obtido pela equação 2.

$$\% \text{ Remoção de DCF} = 92,444 - 22,938X_1^2 - 20,569X_3^2 \quad \text{Equação (2)}$$

Onde X_1 é a variável pH e X_3 é a variável dose de adsorvente; ambas variáveis são significativas em termos quadráticos.

Conforme apresentado na Figura 3, é possível observar que as remoções da concentração de DCF acima de 80% ocorreram nos pontos centrais das variáveis observadas nas faixas em que o pH da solução tem valores próximos de 6 e as doses do biocarvão próximas de 0,20 g, de modo que, os valores extremos dessas variáveis tendem estatisticamente a diminuir a eficiência da remoção de concentração de DCF.

Com a condição ótima obtida no planejamento experimental (pH 6, concentração de DCF de 50 mg.L^{-1} , dose do biocarvão de 0,20 g) foram realizados os ensaios para o estudo da cinética de adsorção, onde o resultado está representado na Tabela 2, e permite a avaliação do comportamento do processo de adsorção ao longo do tempo.

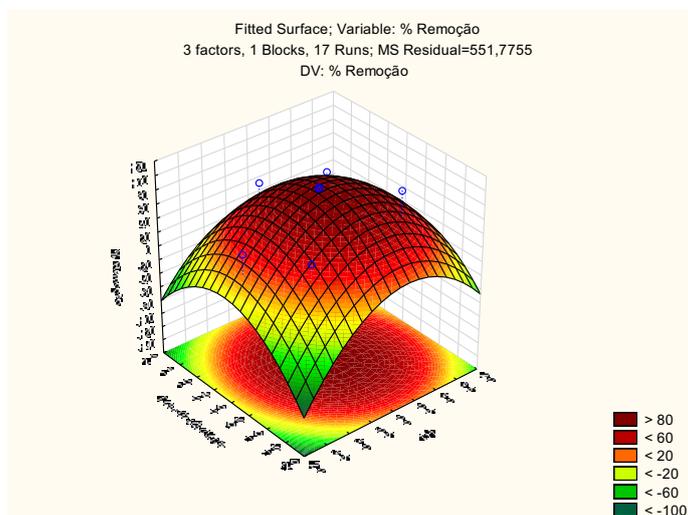


Figura 3: Perfil de contorno em relação à remoção do DCF no efluente sintético pelo processo de adsorção.

Tabela 2: Quadro de ensaios cinética de adsorção.

Ensaio	Tempo (minutos)	Concentração final de DCF (mg.L ⁻¹)	Eficiência de remoção de DCF (%)
1	10	28,86	43,4
2	20	28,36	44,4
3	30	27,50	46,1
4	45	24,52	51,9
5	60	20,30	60,2
6	90	18,13	64,4
7	120	16,50	67,6
8	150	14,12	72,3
9	180	11,09	78,2
10	240	7,52	85,2
11	300	5,01	90,2
12	330	4,98	90,2
13	360	4,97	90,3
14	1.440	4,98	90,2

Os resultados dos ensaios cinéticos apresentados na Tabela 2 foram realizados durante o período de 24 horas em diferentes intervalos de tempo. Desse modo, foi possível a elaboração do gráfico que relaciona a concentração de DCF em mg.L⁻¹ e a porcentagem de remoção de DCF com o tempo em minutos demonstrado na Figura 4.

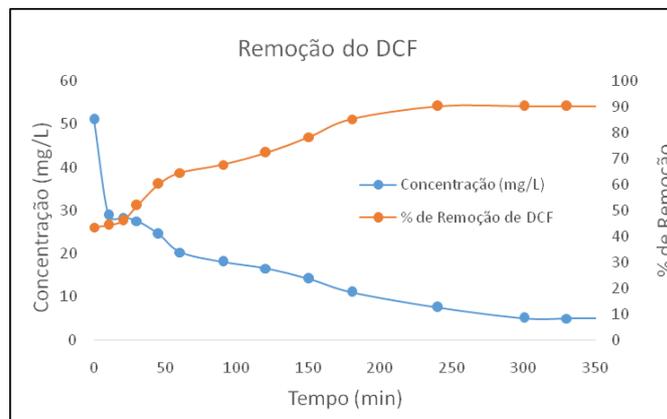


Figura 4: Remoção do DCF.

Como pode ser observado na Figura 4, a adsorção foi mais rápida nos primeiros 60 minutos alcançando aproximadamente 60% de remoção da concentração de DCF. Após esse período de tempo, de maneira mais lenta, a cinética teve seu ponto de equilíbrio após 300 minutos, em que apresentou remoção de 90,2%. A última análise da cinética de adsorção com tempo de 1440 minutos apresentou aproximadamente a mesma remoção, indicando que o equilíbrio já tinha sido alcançado anteriormente.

Com o objetivo de analisar o mecanismo cinético que rege o processo de adsorção de DCF de efluente sintético pelo biocarvão produzido a partir de folhas de *Persea a. Mill.*, baseado nos dados experimentais obtidos, foram avaliados os modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem, equação de Elovich e difusão intrapartícula, com suas equações linearizadas. Na Figura 5 estão as representações gráficas dos valores experimentais (pontos vermelhos) e os modelos cinéticos linearizados (retas em preto).

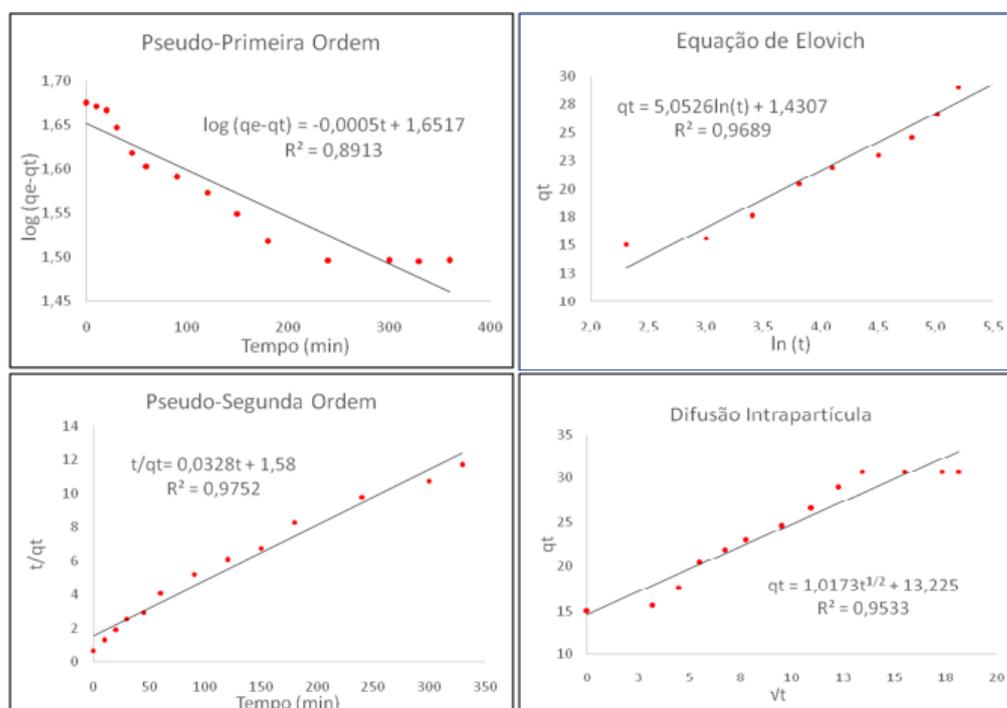


Figura 5: Modelos cinéticos para adsorção de DCF.

Analisando os gráficos e os coeficientes de correlação, é possível observar que o modelo de pseudo-segunda ordem é o que melhor descreve o comportamento cinético dos dados experimentais com valor de R^2 igual a 0,97. Os modelos de Elovich e difusão intrapartícula apresentaram coeficientes um pouco menores, por outro lado, o modelo de pseudo-primeira ordem apresentou coeficiente de correlação baixo igual a 0,89 e não



descreve o comportamento cinético. Os dados experimentais empregados nos modelos cinéticos estão demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros cinéticos característicos e coeficientes de correlação.

Modelo	Equação	Coeficientes	
		R^2	
Pseudo-primeira ordem	$\log(q_e - q_t) = -0,0005t + 1,6517$	R^2	0,891
		K_1 (L.min ⁻¹)	0,001
		q_e (mg.g ⁻¹)	44,843
Pseudo-segunda ordem	$t/q_t = 0,0328t + 1,58$	R^2	0,975
		K_1 (g.mg ⁻¹ .min ⁻¹)	0,001
		h (mg.g ⁻¹ .min ⁻¹)	0,021
		q_e (mg.g ⁻¹)	30,488
Equação de Elovich	$q_t = 5,0526 \ln(t) + 1,4307$	R^2	0,96
		α (mg.g ⁻¹ .min ⁻¹)	6,707
		β (g.mg ⁻¹)	0,199
Difusão intrapartícula	$q_t = 1,0173t^{1/2} + 13,225$	R^2	0,95
		K_1 (mg.g ⁻¹ .min ^{-1/2})	1,0173
		C	13,225

Utilizando as equações de cada modelo cinético foi possível calcular os parâmetros cinéticos. Nota-se com os dados dos parâmetros cinéticos do modelo de pseudo-segunda ordem que os valores de K_2 e h foram baixos, o que indica que a cinética de adsorção é lenta, já que estes valores representam a velocidade de adsorção do modelo cinético de pseudo-segunda ordem.

Com os resultados apresentados foi possível determinar estatisticamente os valores críticos ideais de máxima eficiência do processo de remoção da concentração do DCF de forma independente. Confirmou-se, de forma geral que o pH da solução de 6, a dose do biocarvão de 0,20 g.L⁻¹ e a concentração de DCF de 0,50 mg.L⁻¹ foram as melhores condições para remoções da concentração do DCF superiores a 90%. Este fato indica que experimentos futuros terão melhores resultados nestas condições.

CONCLUSÃO

A adsorção com o biocarvão de *Persea a. Mill.* se mostrou um processo eficiente para remoção de DCF. O pH da solução e a dose do biocarvão foram variáveis importantes que afetaram a eficiência da remoção do DCF, sendo as variáveis significativas no processo no intervalo de confiança de 95%. Desta maneira, estes parâmetros devem ser levados em consideração na definição das condições operacionais ótimas do processo.

A efetividade do processo de adsorção para remoção das concentrações do DCF no efluente estudado é comprovada pelos bons índices de remoção do fármaco. As melhores condições operacionais com concentração de DCF 0,50 mg.L⁻¹, dose do biocarvão de 0,20 g e pH 6, promoveram remoção da concentração do DCF superior a 90%.

O DCCR mostrou-se uma ferramenta simples e prática para planejar os experimentos e possibilitou a avaliação do efeito das variáveis independentes (pH, concentração de DCF e dose do biocarvão) e suas interações, na remoção da concentração do DCF do efluente. Além disso, também proporcionou o desenvolvimento do modelo matemático que poderá ser útil para a realização de previsões quanto à remoção do fármaco DCF do efluente no intervalo de valores das variáveis independentes estudadas.

O modelo cinético que melhor ajustou-se aos dados experimentais foi o modelo de pseudo-segunda ordem, o qual apresentou coeficiente de correlação de 0,97. Os valores de K_2 e h foram baixos, indicando que a cinética de adsorção é lenta.



Os resultados obtidos apontam o processo de adsorção com o biocarvão produzido como promissor no tratamento de efluentes contaminados com fármacos, evidenciando que a aplicação do adsorvente produzido com folhas de *Persea a. Mill.* é apta ao tratamento de efluentes com DCF, comprovando ter grande potencial em promover sua remoção. Deste modo o biocarvão produzido pode contribuir para o tratamento do efluente sem causar agressão ou destruição do meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AQUINO, S. F., BRANDT, E. M. F., CHERNICHARO, C. A. L. *Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em estações de tratamento de esgoto: revisão da literatura. Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 18, p. 187-204, 2013.
2. CAMPOS, A., et al. *Adsorção de diclofenaco sódico utilizando carvão vegetal produzido a partir de resíduo da indústria cervejeira. Anais XXVII Encontro de Química da região Sul*, v. 1, n. 1, p. 64-64, 2021.
3. CHEN, C., WEN, T. Y., WANG, G. S., CHENG, H. W., LIN, Y. H., LIEN, G. W. *Determining estrogenic steroids in Taipei waters and removal in drinking water treatment using high-flow solid-phase extraction and liquid chromatography/tandem mass spectrometry. Science of the Total Environment*, v. 378, n. 3, p. 352-365, 2007.
4. DARRYLE, C. M., ACAYANKA, E., TAKAM, B., LINE, L.N., KAMGANG, G. Y., LAMINSI, S., SELLAOUI, L., BONILLA-PETRICIOLET, A. *Influence of plasma-based surface functionalization of palm fibers on the adsorption of diclofenac from water: Experiments, thermodynamics and removal mechanism. Journal of Water Process Engineering*, v. 43, p. 102254, 2021.
5. GRABOSKI, J., ALESSANDRETTI, I., RIGUETO, C. V. T., PERONDI, D., MANERA, C., GODINHO, M., DETTMER, A. *Adsorção de diclofenaco de sódio por carvão ativado obtido a partir de resíduos de couro curtido ao cromo (III). Anais do I Web Encontro Nacional de Engenharia Química, Diamantina (MG) online*, 2021.
6. LIMA, L. (2014) *Avaliação da remoção de sulfametoxazol, diclofenaco e 17β-estradiol em águas por adsorção em carvão ativado granular*. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira (SP).
7. MAIA, G. S., ANDRADE, J. R., SILVA, M. G.C., VIEIRA, M. G. A. *Adsorption of diclofenac sodium onto commercial organoclay: kinetic, equilibrium and thermodynamic study. Powder Technology*, v. 345, p. 140-150, 2019.
8. MANSOURI, H., CARMONA, R. J., GOMIS-BERENGUER, A., SOUSSI-NAJAR, S., OUEDERNI, A., ANIA, C. O. *Competitive adsorption of ibuprofen and amoxicillin mixtures from aqueous solution on activated carbons. Journal of Colloid and interface Science*, v. 449, p. 252-260, 2015.
9. MONTAGNER, C. C., VIDAL, C., ACAYABA, R. D. *Contaminantes emergentes em matrizes marinhas do Brasil: ambientes atuais e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. Química Nova*, v. 40, p. 1094-1110, 2017.
10. SCHILLO, H. C. F. L., VASCONCELOS, H. L., SIMÕES, M. R., DRAGUNSKI, D. C. *Adsorção do fármaco diclofenaco por biocarvão com uso de planejamento experimental. Revista Thêma et Scientia*, v. 11, n. 2, p. 196-216, 2021.
11. SILVA, M. N. (2016). *Determinação de desreguladores endócrinos na água e nos sedimentos do açude Santo Anastácio na cidade de Fortaleza/CE*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza (CE).
12. TOMASSONI, F., SCHNEIDER, E. E., GIROLETTI, C. L., LOBO-RECIO, M. A., NAGEL-HASSEMER, M. E. LAPOLLI, F. R. *A new adsorbent from avocado leaves: production, characterization, and optimization of its use. Environmental Engineering and Management Journal*, v. 21, p. 1835-1845, 2022.
13. WU, L., DU, C., HE, J., YANG, Z., LI, H.. *Effective adsorption of diclofenac sodium from neutral aqueous solution by low-cost lignite activated cokes. Journal of hazardous materials*, v. 384, p. 121284, 2020.
14. YANG, Y., OK, Y. S., KIM, K. H., KWON, E. E., TSANG, Y. F. *Occurrences and removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in drinking water and water/sewage treatment plants: A review. Science of the Total Environment*, v. 596, p. 303-320, 2017.



15. ZHAO, Y., LIU, F., QIN, X. *Adsorption of diclofenac onto goethite: adsorption kinetics and effects of pH.* *Chemosphere*, v. 180, p. 373-378.