



AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO DO FÁRMACO ATENOLOL EM SEDIMENTOS DE FUNDOS COLETADOS NO ARROIO ESTEIO /RS

KUHL, Gabrielle Oliveira¹; SOUZA, Fernanda Siqueira²; HAMM, Janice Souza³

RESUMO

Poluentes emergentes, como compostos farmacêuticos, são detectados em diversas matrizes ambientais, podendo causar impactos negativos para o ecossistema e saúde humana. Neste contexto o presente trabalho visa apresentar uma avaliação do comportamento de adsorção do fármaco Atenolol no sedimento do arroio Esteio em Esteio/RS. Os experimentos foram divididos em 3 principais etapas distintas: caracterização do sedimento, estudo do comportamento de adsorção do Atenolol no sedimento e comparação com as isotermas de Langmuir e Freundlich. A partir dos resultados da caracterização do sedimento, observou-se que a amostra possui textura argilosa, ácida e percentual de carbono orgânico baixo e a presença de metais. As concentrações de 5 e 10 mg/L de Atenolol foram completamente adsorvidas no sedimento, considerando os limites de detecção do método de análise. Já nas concentrações de 20 a 100 mg/L de Atenolol foram observadas eficiências de remoção na faixa entre 17 a 31 %. Nestas condições, a isoterma de Langmuir apresentou R² de 0,9026, Q_{max} de 357,1 e KL 5,73x10⁻⁶ e Freundlich R² de 0,9667 KF 4,05x10⁻⁴ e n 0,71. Assim, concluiu-se que o fármaco Atenolol é adsorvido no sedimento estudado e que a isoterma de Freundlich melhor se adapta aos valores experimentais de adsorção da amostra coletada.

Palavras-chave: Sedimento; Adsorção; Poluente emergente; Atenolol.

EVALUATION OF ATENOLOL ADSORPTION IN SEDIMENTS OF SAMPLES COLLECTED IN ESTEIO STREAM

ABSTRACT

Emerging pollutants, such as pharmaceutical compounds, are detected in various environmental matrices, which may have negative impacts on the ecosystem and human health. In this context the present work aims to present an evaluation of the adsorption behavior of Atenolol in the sediment of Esteio stream in Esteio/RS. The experiments were divided into three main stages: sediment characterization, study of the adsorption behavior of Atenolol in the sediment and comparison with Langmuir and Freundlich isotherms. From the results of the sediment characterization, it was observed that the sample has clay texture, acid and low organic carbon percentage and the presence of metals. Atenolol concentrations of 5 and 10 mg/L were completely adsorbed on the sediment, considering the detection limits of the analysis method. At Atenolol concentrations of 20 to 100

¹ Eng. Química, graduação Universidade LaSalle. Email: gabrielleKuhl96@gmail.com Registro ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0952-8050>.

² Doutora em Eng. Química, pesquisadora. E-mail: fernanda.siqsouza@gmail.com. Registro ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5262-2934>.

³ Doutora em Eng. Química, professora Universidade LaSalle. Email: janice.hamm@unilasalle.edu.br. Registro ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5653-1965>.

mg/L, removal efficiencies were observed in the range of 17 to 31%. Under these conditions, the Langmuir isotherm presented R² of 0.9026, Q_{max} of 357.1333 and KL 5.73x10⁻⁶ and Freundlich R² of 0.9667 KF 4.05x10⁻⁴ and n 0.71. Thus, it was concluded that the drug Atenolol is adsorbed on the studied sediment and that Freundlich isotherm is better adapted to the experimental values of adsorption of the collected sample.

Keywords: Sediment; Adsorption; Emerging pollutant; Atenolol.

1. INTRODUÇÃO

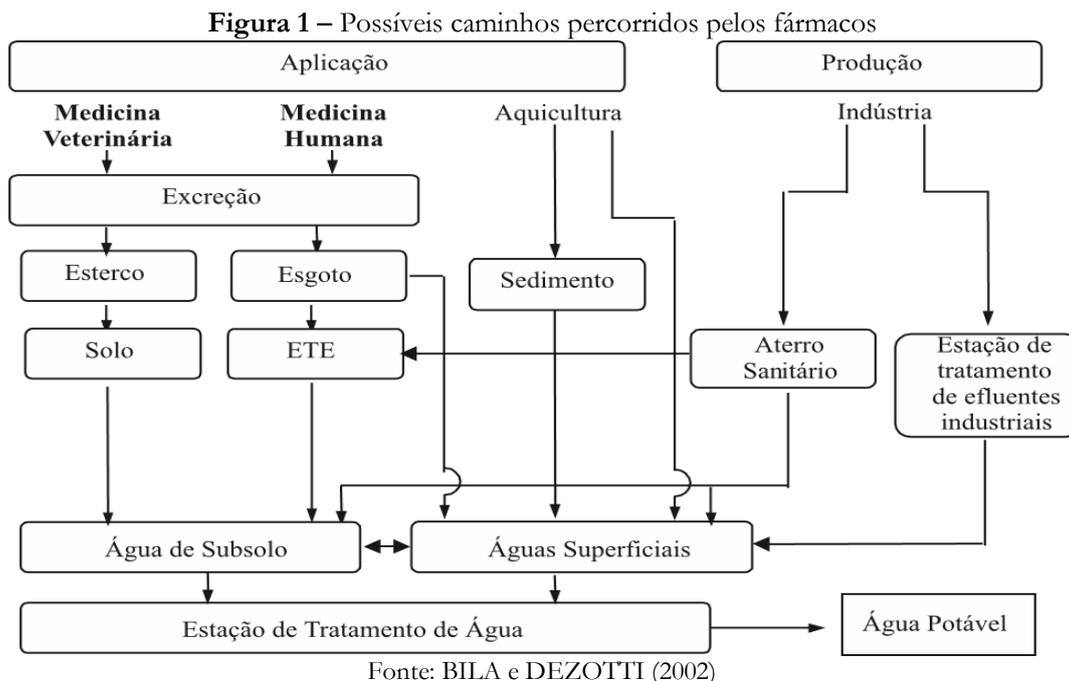
O crescimento populacional, o consumo de diversos produtos químicos e a falta de gestão dos resíduos são os principais fatores responsáveis pela degradação ambiental e pelos efeitos adversos aos ecossistemas e à saúde pública (BASHEER, 2018).

A Agência de Proteção Ambiental (EPA) define poluentes emergentes como novos compostos químicos sem estatuto regulamentar, na qual o impacto sobre o meio ambiente e saúde humana e animal são pouco compreendidos. Esses contaminantes emergentes têm difícil detecção devido suas baixas concentrações (mg L⁻¹ - µg L⁻¹) e tratamentos não apropriados. Tais contaminantes podem ser de origem farmacêutica, rejeitos de indústrias, produtos de higiene pessoal, aditivos de gasolina, rejeitos de pesticidas e tantos outros produtos de uso diário da população. Estes poluentes não são controlados ainda pela legislação brasileira, entretanto, estão presentes em diversas matrizes ambientais (ZHOU, 2019).

As estações de tratamentos de esgoto a partir dos processos convencionais não são capazes de remover esses poluentes (BILA e DEZOTTI, 2002), sendo estes conduzidos a corpos hídricos, conforme Figura 1.

O β-bloqueador Atenolol é usado frequentemente para o tratamento de diversas doenças cardiovasculares tais como, hipertensão, taquicardia, enfarto agudo do miocárdio, sendo capaz de amenizar a necessidade de oxigênio, reduzindo então a contração de vasos sanguíneos (KHETAN; COLLINS, 2007). Sua absorção no corpo humano é rápida, porém incompleta, após a administração oral, somente cerca de 50% da dosagem é absorvida, sendo expelido por meio da urina o restante (JONES et al., 2002). Assim o Atenolol pode ser encontrado em hospitalares e de ETEs, em águas residuais, e esgotos (HARO, 2017).

Quando associado a outras drogas (bezafibrato, carbamazepina, ciclofosfamida, ciprofloxacina, furosemida, hidroclorotiazida, ibuprofeno, lincomicina, salbutamol e sulfametoxazol), em níveis de exposição ambiental, o β-bloqueador apresenta efeito nocivo inibindo o crescimento de células embrionárias humanas diminuindo em 30% a proliferação celular (HARO, 2007).



Muitas pesquisas identificam poluentes emergentes, em especial o Atenolol, em águas e/ou efluentes, entretanto, é de extrema importância o estudo destes poluentes no solo e sedimentos (PAN e CHU, 2016; MROZIK e STEFANSKA, 2014; ESTEVEZ et al., 2014). A ocorrência e a distribuição de contaminantes emergentes no solo demanda uma investigação detalhada, especialmente porque o esgoto digerido é disposto em aterros ou usado como fertilizantes na agricultura, representando assim uma entrada de contaminantes emergentes no ambiente (MARTY, 2011). O sistema de esgoto sanitário de rede da cidade de Esteio/RS, por exemplo, atende somente 0,3% dos domicílios, enquanto 79,5% são atendidas por fossa sépticas ligadas a rede pluvial do município (NANNI, 2003).

Compostos orgânicos altamente móveis, presentes no esgoto, têm o potencial de lixiviar para as águas subterrâneas, enquanto os fármacos altamente sorventes podem se acumular nas camadas superiores do solo. Portanto, a adsorção é um processo determinante no destino ambiental de produtos químicos orgânicos em solos (PIGNATELLO e XING, 1995). A técnica de adsorção baseia-se na capacidade de algumas substâncias (adsorbato ou adsorvato) presentes em efluentes líquidos concentrarem-se na sua superfície de sólidos (adsorventes).

Neste contexto o presente trabalho tem como objetivos, avaliar a adsorção do fármaco Atenolol no sedimento quando este é exposto a concentrações variadas deste composto e identificar se os modelos de isotermas de Langmuir e Freundlich descrevem o comportamento de adsorção do Atenolol.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Situado na cidade de Esteio-RS, com sua nascente localizada em área urbana o arroio Esteio é diretamente afetado pelo esgoto local, devido a ocupação inadequada as margens do arroio e lançamentos irregulares de efluentes industrial e hospitalar. A Figura 2 mostra o ponto estabelecido para coleta do sedimento para o presente trabalho.

Figura 2 – Ponto referente à coleta da amostra



Fonte: Autor

Localização: (29°50'29"S 51°11'03"W)

Realizou-se a coleta dos padrões de sedimento no mês de abril 2019. A amostra foi coletada de acordo com a ISO 10381-6 na profundidade entre 0 a 20 cm. O armazenamento até o instante inicial do estudo dá-se em ambiente com baixa luminosidade. Para obter maiores resultados a respeito da presença e comportamento de adsorção do fármaco Atenolol no sedimento do arroio, a pesquisa possui sua parte experimental estruturada em três etapas principais distintas.

- Etapa 1 - Caracterização do sedimento amostrado no Arroio Esteio.
- Etapa 2 - Estudo do comportamento de adsorção do Atenolol no sedimento.
- Etapa 3 – Comparação com isotermas de Langmuir e Freundlich.

2.1. CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO

Para caracterização do sedimento, o solo foi seco a temperatura ambiente (20-25 °C) por 5 dias. A separação ocorreu ao natural, evitando alterar a textura original do solo. Após, ajustou-se a granulometria da amostra para ≤ 2 mm de acordo com a ISO 10381-6 e a deixou em local refrigerado (4°C).

A caracterização do sedimento é estabelecida através de parâmetros considerados importantes para os testes de adsorção sendo os principais, teor de carbono orgânico, teor de argila e textura do solo e pH (OECD 106). As análises de caracterização do sedimento foram realizadas pelo laboratório dos solos da Universidade Federal do Rio grande do Sul UFRGS através das metodologias apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Metodologias aplicadas na caracterização do sedimento

Determinações	Metodologia
Umidade - % (m/m)	Gravimetria
pH	Relação amostra: água 1:5 / potenciometria
Carbono orgânico - % (m/m)	Combustão úmida/ Walkley Black
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	Kjeldahl
Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Enxofre, Ferro. Total % (m/m) Cobre, Zinco, Manganês, Sódio, Cromo, Níquel, Chumbo, Bário. Total (mg/kg)	Digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES
Argila, areia grossa + areia fina, Slite (%)	Dispersão NaOH / Gravimetria

2.2. ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE ADSORÇÃO DO ATENOLOL NO SEDIMENTO

A Etapa 2 foi realizada a partir da técnica em batelada e pela razão solo/solução 1:5, 10 g solo para 50 mL de solução contendo o fármaco (OECD 106). Os parâmetros estabelecidos para o método baseia-se no estudo de Mrozik et al.(2014) avaliando sete concentrações do fármaco Atenolol (5, 10, 20, 40, 60, 80, 100 mg.L-1) preparadas em CaCl₂ 0,01M. Sequencialmente as amostras foram submetidas ao agitador de marca Incubadora Shaker (modelo SP 222), a 150 rpm por 24h na temperatura ambiente (23 ± 2 °C) conforme Figura 3, após centrifugadas (centrífuga Excelsa modelo 206 BL) conforme Figura 4, por 10 minutos a 2000 rpm.

Figura 3 – Agitador Shaker SP 222



Figura 4 – Centrífuga Excelsa 206 BL



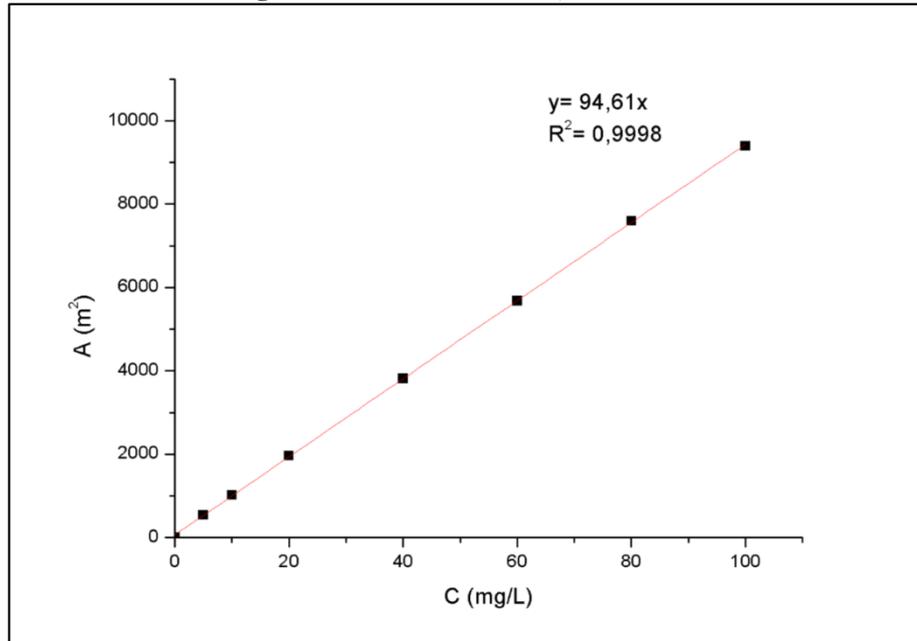
Fonte: Autor

Após a centrifugação, o sobrenadante foi filtrado com membranas de 0,45 μm para realizar a determinação da concentração do fármaco residual em solução por cromatografia líquida de alta eficiência. Foi utilizado um cromatógrafo líquido de alta eficiência (HPLC), marca Agilent e modelo 1200 Infinity Series. Para as análises, utilizou-se como fase estacionária a coluna C18, marca Perkin Elmer, com diâmetro de partícula igual a 5 μm e dimensões iguais a 250 \times 4,6 mm. Utilizou-se 40% de água ultrapura acidificada com 0,1% de ácido fosfórico e 60% de Acetonitrila para fase móvel, com vazão de 1mL/min, por eluição isocrática. O volume de injeção foi 50uL e comprimento de onda para o Atenolol foi de 224nm. Os parâmetros do método foram obtidos a partir do estudo de Wilde et al.(2014). A concentração limite de quantificação pelo método foi de 0,5 mg/L.

A figura 5 apresenta a curva de calibração do Atenolol obtida a partir dos resultados do cromatograma.

De acordo com a Figura 5, é possível calcular a concentração do Atenolol (C) após adsorção através de uma relação linear com a área do pico no cromatograma (A), ou seja, $A=94,61C$ com $R^2 = 0,9998$.

Figura 5 – Curva de Calibração do HPLC



2.3. COMPARAÇÃO COM ISOTERMAS DE LANGMUIR E FREUNDLICH

A Etapa 3 teve como objetivo a comparação dos dados experimentais com os modelos das isotermas de Langmuir e Freundlich. A Equação (1) representa o balanço de massa do adsorbato e é utilizada para determinar a concentração do soluto adsorvido.

$$(1) \quad q_{e,exp} = \frac{(C_i - C_e) \times V}{M_s}$$

Sendo Q a quantidade de soluto sorvido na fase sólida expressa em mg.g-1, Ci a concentração de adsorbato inicial expressa em mg.L-1, Ce a concentração de equilíbrio ou final do a adsorbato expressa em mg.L-1, V o volume da solução expresso em L e Ms a massa de adsorvente expressa em g.

Os dados experimentais da concentração do Atenolol sorvido na fase sólida adsorvente (qe) em função da concentração de equilíbrio na fase líquida (Ce) foram ajustados pelos modelos de Langmuir e Freundlich, apresentados nas equações (2) e (3), respectivamente.

$$(2) \quad Q_e = \frac{Q_m \times K_L \times C_e}{1 + Q_m \times C_e}$$

$$(3) \quad Q_e = K_F \times C_e^{\frac{1}{n}}$$

Onde: KL é a constante de Langmuir (Capacidade de adsorção teórica na monocamada L.g-1), Qmax é energia de adsorção (L.mg-1) Ce a concentração do

adsorbato no equilíbrio (mg.L⁻¹). KF é a Constante de Freundlich (mg.g⁻¹), n é a constante de regressão.

Os valores dos parâmetros e do coeficiente de determinação (R²) para as isotermas descritas foram obtidos pelo método dos mínimos quadrados para regressão linear utilizando o software Origin Pro 8.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos pela caracterização da amostra do sedimento.

Tabela 1 – Laudo e análises do sedimento

Determinações	Resultados
Umidade - % (m/m)	17
pH	5,4
Densidade – kg/m ³	1001
Carbono orgânico - % (m/m)	1,8
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	0,15
Fósforo total - % (m/m)	0,13
Potássio total - % (m/m)	0,15
Cálcio total - % (m/m)	0,70
Magnésio total - % (m/m)	0,23
Enxofre total - % (m/m)	0,20
Cobre total – mg/kg	41
Zinco total – mg/kg	187
Ferro total - % (m/m)	3,6
Manganês total – mg/kg	268
Sódio total – mg/kg	716
Cromo total – mg/kg	40
Cromo hexavalente – mg/kg	< 1
Cromo trivalente – mg/kg	40
Níquel total – mg/kg	22
Chumbo total – mg/kg	21
Bário total – mg/kg	74
Argila - %	25
Areia Grossa + Areia Fina - %	39
Slite - %	36

Obs.1: Resultados expressos na amostra seca a 65°C, com exceção do pH e densidade.

Obs.2: Média de duas determinações.

De acordo com a Tabela 1, observa-se que a amostra possui textura argilosa, levemente ácida e percentual de carbono orgânico baixo. Embora o local de coleta não seja o mesmo, Pan (2016) encontrou resultados muito semelhantes quando fez a análise de solo

de um rio, utilizando a mesma metodologia proposta, concluindo assim, que análise apresentou baixos teores destes compostos e um pH levemente ácido.

O CONAMA (2004) menciona critérios canadenses, Tabela 2, para avaliar a qualidade dos sedimentos: TEL (Threshold Effect Level) correspondendo a concentrações abaixo da qual raramente é esperado efeito adverso aos organismos, e PEL (Probable Effect Level) que a concentração acima da qual frequentemente espera-se efeito adverso Ezaki (2011).

Tabela 2 – Parâmetros estabelecidos de qualidade CONAMA

TEL ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)		PEL ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	
Cr	37,3	Cr	90
Cu	35,7	Cu	197
Ni	18	Ni	35,9
Pb	35	Pb	91,3
Zn	123	Zn	315

Analisando-se os valores determinados como limites mínimos pela Conama, Tabela 2, e comparando-se com os encontrados na amostra de sedimento coletada, na profundidade de 0-20 cm, percebe-se que os valores se encontram bem abaixo dos valores guia TEL. Assim, acredita-se que em relação aos metais pesados, na área de coleta, não se tem uma elevada contaminação no solo.

Em relação à solução, pode-se observar que, de acordo com a Figura 6, os cromatogramas obtidos no HPLC após o sedimento ficar em contato com o Atenolol apresentaram picos adicionais em comparação com o cromatograma antes da adsorção.

De acordo com a Figura 6 (a), o Atenolol é determinado no tempo de aproximadamente 2,3 minutos. Após o contato com o sedimento, observou-se outros picos com menores áreas e em diferentes tempos de retenção. Este resultado pode ser explicado com possíveis compostos que estejam sendo desorvidos do sedimento, assim, sendo analisados na fase líquida. Entretanto, para identificação adequada desses picos na análise do gráfico é necessário um maior aprofundamento no estudo, utilizando um espectrômetro de massas.

Com os resultados obtidos nas análises de HPLC obtém-se a concentração do Atenolol e a eficiência de adsorção das amostras que foram submetidas aos ensaios com o sedimento. Assim, por diferença comparam-se os valores de concentração inicial e final

Tabela 3. A partir das considerações de concentração analisa-se o teor adsorvido de Atenolol no sedimento para cada concentração de fármaco considerada no estudo.

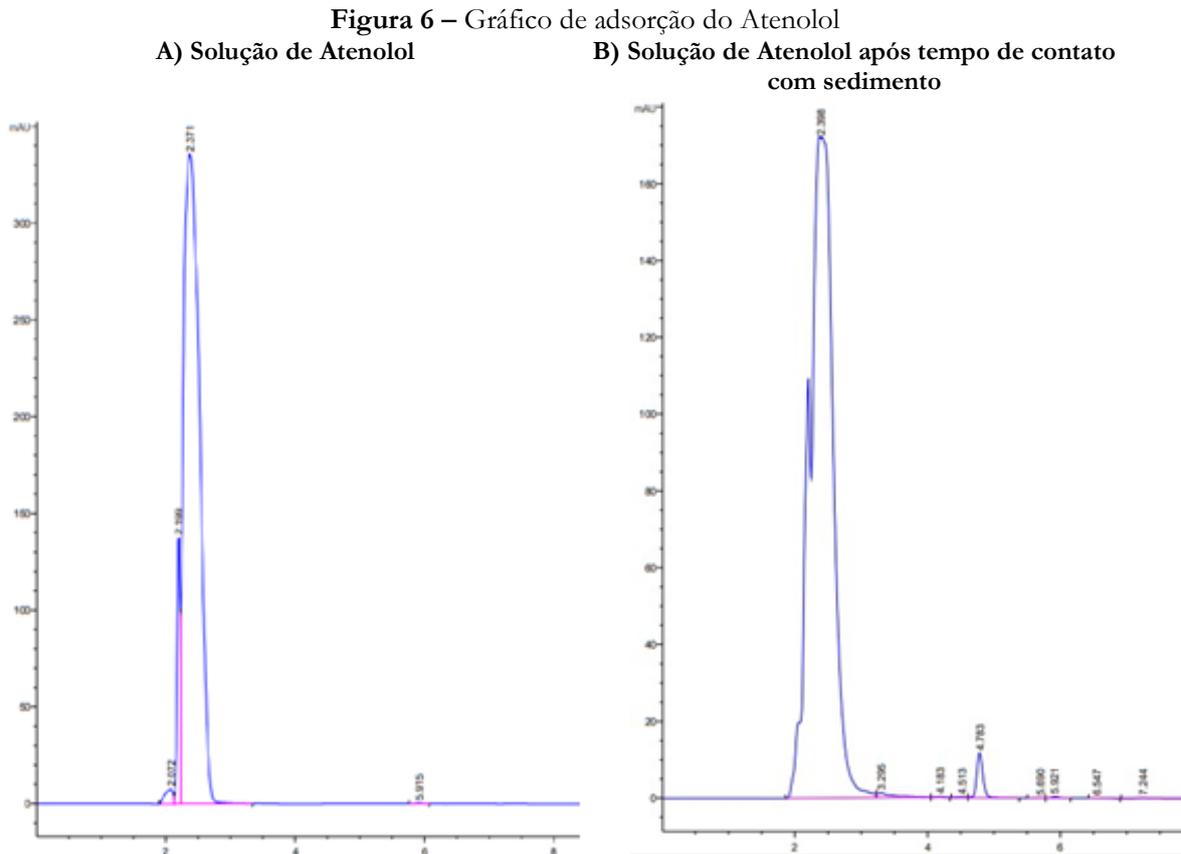


Tabela 3 – Concentração e adsorção do Atenolol nas amostras de sedimento

Concentração Inicial de Atenolol (mg/L)	Concentração residual de Atenolol (mg/L)	Eficiência da Adsorção (%)
0	0	0
5	0	100
10	0	100
20	16,5	17,6
40	28,6	28,6
60	45,1	24,8
80	56,7	29,1
100	68,7	31,3

De acordo com a Tabela 3, é possível observar que para as menores concentrações de Atenolol disposto no sedimento, 5 e 10 mg/L, a eficiência de adsorção alcança 100%, ou seja, a concentração inicial do fármaco é adsorvida no sedimento, considerando o limite de detecção do método estudado. Para as concentrações entre 20 e 100 mg/L, observam-se eficiências de adsorção entre 17,57 e 31,30%.

A Figura 7 apresenta a comparação dos dados experimentais com os modelos de Freundlich e Langmuir e a Tabela 4 apresenta os parâmetros das isotermas obtidos com o software Origin Pro 8.

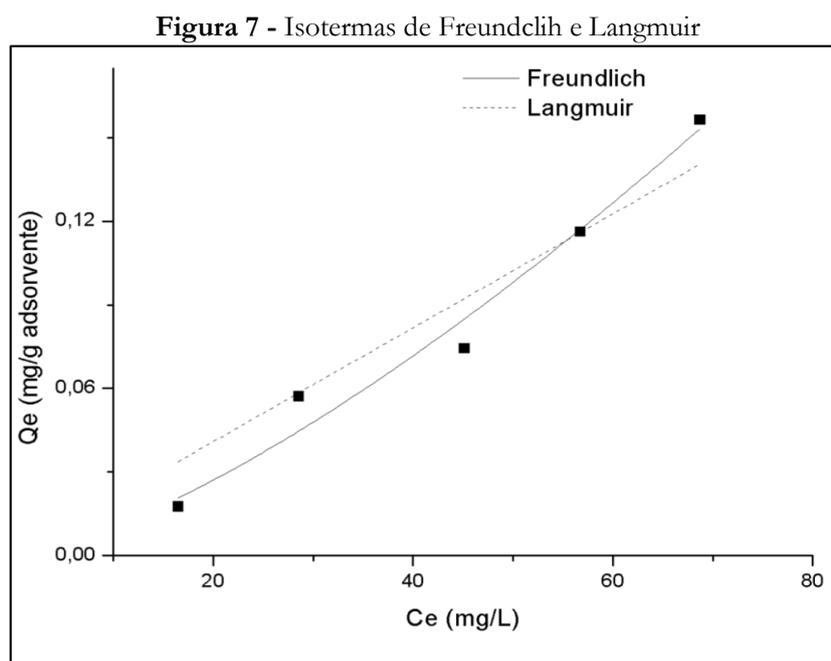


Tabela 4. Parâmetros das isotermas de adsorção

Langmuir		Freundlich	
R2	0,9026	R2	0,9667
Qmáx	357,13	KF	4,05x10 ⁻⁴
KL	5,73x10 ⁻⁶	n	0,71

De acordo com a Figura 7 e a Tabela 4, pode-se observar que o modelo de Freundlich se ajustou melhor aos dados experimentais do presente trabalho, apresentando um R2= 0,9667, KF= 4,0466E-4 e n= 0,7125. Já modelo de Langmuir obteve R2 0,9026, capacidade máxima de adsorção do soluto pelo sorvente em equilíbrio 357,1333, constante KL 5,7279E-6. Resultados semelhantes também foram obtidos por Pan et al.(2016).

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a adsorção do fármaco Atenolol em um sedimento coletado no Arroio Esteio quando este é exposto a concentrações variadas de Atenolol e identificar se os modelos de isothermas de Langmuir e Freundlich descrevem o comportamento da adsorção.

Com dados experimentais, observou-se que para as menores concentrações de 5 e 10 mg/L a adsorção do fármaco foi de 100%. Comparando os dados das isothermas de Langmuir e Freundlich, observou-se que a Isotherma de Freundlich melhor se ajusta aos dados experimentais.

Este estudo deve ser apenas o início de uma investigação do comportamento de diferentes sedimentos quando estes estão expostos a diferentes concentrações de poluentes emergentes. Assim, como sugestões para trabalhos futuros podem-se incluir:

- Realização de triplicatas dos experimentos.
- Isothermas de adsorção em diferentes temperaturas e maiores concentrações iniciais do poluente.
- Comparação com outras isothermas, como SIPS, Redlich-Peterson e BET.
- Realizar o processo de lixiviação do sedimento antes das análises de adsorção.
- Comparar amostras de sedimento in natura e após um processo de esterilização.

5. REFERÊNCIAS

BASHEER, A. A. New generation nano-adsorbents for the removal of emerging contaminants in water. **Journal of Molecular Liquids**, v. 261, p. 583–593, 2018.

BILA, D.M.; DEZOTTI, M.. Fármacos no Meio Ambiente UFRJ, **Quim. Nova**, Vol. 36, No. 4523-530, 2003.

DHARUPANEEDI, S. P.; NATARAJ, S. K.; NADAGOUDA, M.; REDDY, K. R.; SHUKLA, S. Membrane-based Separation of Potential Emerging Pollutants. **Separation and Purification Technology**, 2018.

DÍEZ, A. M.; PAZOS, M.; SANROMÁN, M. A. Synthesis of magnetic-photo-Fenton catalyst for degradation of emerging pollutant. **Catalysis Today**, 2018.

ESTEVEZ, E.; HERNANDEZ-MORENO, J.M.; FERNANDEZ-VERA, J.R.; PALACIOS-DIAZ, M. P. Ibuprofen adsorption in four agricultural volcanic soils. **Science of the Total Environment** 468–469, p. 406–414, 2014.

EZAKI S. HYPOLITO R. AGUILAR. P. A. – Avaliação da qualidade das águas e sedimentos na microbacia hidrográfica do Córrego do Ajudante, Salto (SP). UNESP. São Paulo, 2011.

HARO, N. K. Remoção dos fármacos Atenolol, Paracetamol e Ampicilina por adsorção em carvão ativado. f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.

HUERTA-FONTELA, M., GALCERAN, M.T., VENTURA, F. Occurrence and removal of pharmaceuticals and hormones through drinking water treatmentl. **Water Research**, v.45, p. 1432-1442, 2011.

JANK, L.; HOFF, R.B.; COSTA, F.J.; PIZZOLATO, T.M. Simultaneous determination of eight antibiotics from distinct classes in surface and wastewater samples by solid-phase extraction and high-performance liquid chromatography-electrospray ionisation mass spectrometry. **Journal of Environmental Analytical Chemistry**, v. 94, n. 10, p. 1013-1037, 2014.

JONES, O. A.; VOULVOULIS, N.; LESTER, N. J. Aquatic environmental assessment of the top 25 English prescription pharmaceuticals. **Water Research**, v. 36, p. 5013–5022, 2002.

KLEYWEGT, S., PILEGGI, V., YANG, P., HAO, C., ZHAO, X., ROCKS, C., THACH, S., CHEUNG, P., WHITEHEAD, B. Pharmaceuticals, hormones and bisphenol A in untreated source and finished drinking water in Ontario, Canada e Occurrence and treatment efficiency. **Science of the Total Environment**, v. 409, p. 1481-1488, 2011.

KHETAN, S. K.; COLLINS, T. J. Human pharmaceuticals in the aquatic environment: a challenge to green chemistry. **Chemical reviews**, v. 107, p. 2319-2364, 2007.

MARTY J. L. - Contaminantes emergentes - Desafios e perspectivas. 51º Congresso Brasileiro de Química. São Luís - MA 2011.

MROZIK, W.; STEFANSKA, J. Adsorption and biodegradation of antidiabetic pharmaceuticals in soils. **Chemosphere** 95, p. 281–288, 2014.

NANNI, A. S. – Contaminação do meio físico por hidrocarbonetos e metais na área da refinaria Alberto Pasqualine, Canoas, RS. f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

OECD, 2000. Organisation of Economic Cooperation and Development, Guideline for the Testing of Chemicals: Adsorption-Desorption Using a Catch Equilibrium Method, Guideline 106, Belgirate, Italy.

PAN, M.; CHU, L. M. Adsorption and biodegradation of five antibiotics in agricultural Soils. School of Life Sciences, The Chinese University of Hong Kong, Shatin, NT, Hong Kong SAR, China. 2016.

PIGNATELLO JJ, XING B. Mechanisms of slow sorption of organic chemicals to natural particles. **Environ Sci Technol** 30:1–11. 1995.

SOUZA, S. S. - Degradação de poluentes emergentes por processos oxidativos avançados (O₃, O₃/UV, O₃/Fe²⁺, O₃/UV/Fe²⁺) visando o tratamento de efluentes hospitalares. f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

VULLIET, E.; CREN-OLIVE, C.; GRENIER-LOUSTALOT, M. F. Occurrence of pharmaceuticals and hormones in drinking water treated from surface waters. **Environmental Chemistry Letters**, v. 9, p.103-114, 2011.

WANG, C. Assessment of the Occurrence and Potential Effects of Pharmaceuticals and Personal Care Products in South Florida Waters and Sediments. Doctor of Philosophy in Chemistry. Florida International University, 2012.

WILDE, M.L.; MONTIPO, S.; MARTINS, A.F. Degradation of b-blockers in hospital wastewater by means of ozonation and Fe²⁺/ozonation. **Water Research**, v.48, p. 280 – 295, 2014.

ZHOU, S.; DI PAOLO, C.; WU, X.; SHAO, Y.; SEILER, T.; HOLLERT, H. Optimization of screening-level risk assessment and priority selection of emerging pollutants – The case of pharmaceuticals in European surface waters. **Environment International**, p. 1–10, 2019.