

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**THAMIRES MIRIAN ZANELATTO**

**CLORIDRATO DE FLUOXETINA: ANÁLISE EM ÁGUA E EM ESGOTO E ESTUDO  
DA ADSORÇÃO POR FILTRO DE CARVÃO ATIVADO DOMÉSTICO**

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2022**

**THAMIRES MIRIAN ZANELATTO**

**CLORIDRATO DE FLUOXETINA: ANÁLISE EM ÁGUA E EM ESGOTO E ESTUDO  
DA ADSORÇÃO POR FILTRO DE CARVÃO ATIVADO DOMÉSTICO**

**Fluoxetine Hydrochloride: analysis in water and sewage and study of  
adsorption by domestic activated carbon filter**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Silvane Morés  
Coorientador: Prof. Dr. Adir Silvério Cembranel  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fernanda Batista de Souza

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**THAMIRES MIRIAN ZANELATTO**

**CLORIDRATO DE FLUOXETINA: ANÁLISE EM ÁGUA E EM ESGOTO E ESTUDO  
DA ADSORÇÃO POR FILTRO DE CARVÃO ATIVADO DOMÉSTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 22/junho/2022

Silvane Morés  
Doutorado em Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Adir Silvério Cembranel  
Doutorado em Engenharia Agrícola  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Fernanda Batista de Souza  
Doutorado em Engenharia Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

“A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2022**

Enquanto a maior parte dos recursos naturais colocados ao alcance do homem desaparece com o uso, a forma de utilização da água produz alterações que repercutem sobremaneira nos seus aspectos qualitativos e quantitativos. (DERISIO, J. C., 2013).

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Celito e Clari, por me ampararem em todos os passos dessa jornada e sempre acreditarem em mim, por possibilitarem essa conquista e por não medirem esforços para que eu chegasse até aqui. Ao meu irmão, Murilo, por todo o companheirismo e inspiração. Sem vocês nada disso seria possível.

À minha orientadora, Silvane Morés, por ter sido paciente, ter me ouvido e me amparado, por ter confiado em mim e por ter contribuído com o meu crescimento, tanto pessoal quanto profissional. Obrigada por ter tornado desta uma experiência única.

Aos meus coorientadores, Adir Silvério Cembranel e Fernanda Batista de Souza, pela dedicação e por todos os conhecimentos transmitidos, os quais foram fundamentais para a realização desse projeto.

Aos amigos, Andressa, Gabrielle, Gabrielly, Henrique, Izadora, Nicole, Suelen e Tais, por tudo o que vocês me possibilitaram viver, por todas as conversas, conselhos, risadas e lágrimas. Agradeço imensamente todo o apoio e cumplicidade nessa etapa da minha vida.

À equipe da Universidade Tecnológica Federal do Paraná de Francisco Beltrão, aos professores, técnicos e funcionários, pela constante e incondicional ajuda.

A todos que, de uma forma ou de outra, permitiram que esse momento fosse possível.

## RESUMO

O aumento de casos de depressão e ansiedade ao redor do mundo promove o consumo, por vezes descontrolado, de fármacos utilizados para o tratamento dessas doenças. Como consequência, maiores concentrações de medicamentos antidepressivos são detectadas no meio ambiente, gerando problemas à fauna e contaminando a flora. Tais princípios ativos, por se tratarem de microcompostos de difícil degradação, não são completamente removidos nas Estações de Tratamento de Água e de Esgoto e são direcionados a águas naturais utilizadas como fonte de consumo humano. Portanto, esse trabalho teve a finalidade de quantificar resíduos do antidepressivo Cloridrato de Fluoxetina em matrizes de água e em esgoto líquido. Além disso, possuiu o intuito de promover o tratamento terciário da água potável por meio de filtro de carvão ativado doméstico. A presença do fármaco foi determinada em águas naturais, na água potável e no esgoto em concentrações médias de 4,42 mg.L<sup>-1</sup>, 2,02 mg.L<sup>-1</sup> e 24,90 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente. Todavia, essas quantidades podem ter sido influenciadas por uma classe de poluentes emergentes. Na avaliação da eficiência de remoção da droga em água potável por meio do filtro de carvão ativado doméstico, a cinética de adsorção foi regida pelo modelo de Yan *et al.* Por meio dele, a quantidade máxima de soluto adsorvido por grama de adsorvente foi de 3,86 g.g<sup>-1</sup> e a constante exponencial  $\alpha_Y$  apresentou um valor de 0,7811. Tais parâmetros podem ser aplicados para o projeto de colunas de adsorção de carvão ativado empacotado em leito fixo, sendo úteis no cálculo de uma gama de variáveis operacionais. No entanto, o empacotamento do adsorvente e a vazão de alimentação no filtro doméstico foram fatores que desfavoreceram o processo de adsorção. Dessa forma, comprovou-se que o equipamento não é eficiente na remoção de substâncias micropoluentes, como é o caso dos antidepressivos, da água potável.

Palavras-chave: antidepressivo; coluna de leito fixo; cinética de adsorção.

## ABSTRACT

The increase in cases of depression and anxiety around the world promotes the consumption, sometimes uncontrolled, of drugs used to treat these diseases. As a consequence, higher concentrations of antidepressant drugs are detected in the environment, causing problems for the fauna and contaminating the flora. Such active principles, because they are microcompounds that are difficult to degrade, are not completely removed in the Water and Sewage Treatment Stations and are directed to natural waters used as a source of human consumption. Therefore, this work aimed to quantify residues of the antidepressant Fluoxetine Hydrochloride in water matrices and liquid sewage. In addition, it aimed to promote the tertiary treatment of drinking water through a domestic activated carbon filter. The presence of the drug was determined in natural waters, drinking water and sewage at mean concentrations of 4,42 mg.L<sup>-1</sup>, 2,02 mg.L<sup>-1</sup> and 24,90 mg.L<sup>-1</sup>, respectively. However, these amounts may have been influenced by a class of emerging pollutants. In evaluating the efficiency of drug removal in drinking water through the domestic activated carbon filter, the adsorption kinetics was governed by the model of Yan *et al.* Through it, the maximum amount of solute adsorbed per gram of adsorbent was 3,86 g.g<sup>-1</sup> and the exponential constant  $\alpha$  presented a value of 0,7811. Such parameters can be applied to the design of adsorption columns of activated carbon packed in a fixed bed, being useful in the calculation of a range of operational variables. However, the packing of the adsorbent and the flow rate of feeding in the domestic filter were factors that did not favor the adsorption process. Thus, it was proved that the equipment is not efficient in removing micropolluting substances, such as antidepressants, from drinking water.

Keywords: antidepressant; fixed bed column; adsorption kinetics.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Curva de <i>breakthrough</i> genérica .....	23
Nenhuma entrada de índice de ilustrações foi encontrada.	
Figura 4 - Pontos de coleta de água e de esgoto .....	31
Figura 5 - Bacia hidrográfica do rio Marrecas .....	32
Fotografia 1 - Aparato experimental do sistema de filtração .....	35
Gráfico 1 - Concentrações de Fluoxetina para cada ponto em cada coleta .....	38
Gráfico 2 - Curva de calibração de padrão externo de Fluoxetina.....	42
Gráfico 3 - Curva de <i>breakthrough</i> do carvão ativado .....	42
Gráfico 4 - Porcentagem de remoção de Fluoxetina em função do tempo .....	43
Fotografia 2- Carvão ativado empacotado .....	44
Gráfico 5 - Ajuste dos modelos de Thomas, Yoon-Nelson e Yan <i>et al.</i> aos dados experimentais .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades farmacológicas do Cloridrato de Fluoxetina .....	16
Tabela 2 - Modelos cinéticos de Thomas, Yoon-Nelson e Yan <i>et al.</i> ....	36
Tabela 3 - Parâmetros de validação para a Fluoxetina nos Pontos 1, 2 e 3.....	37
Tabela 4 - Parâmetros de precisão para a Fluoxetina nos Pontos 1, 2 e 3 .....	40
Tabela 5 - Parâmetros de exatidão para a Fluoxetina nos Pontos 1, 2 e 3.....	41
Tabela 6 - Grandezas físicas do carvão ativado empacotado .....	44
Tabela 7 - Parâmetros dos modelos de Thomas, Yoon-Nelson e Yan <i>et al.</i> .....	45

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
2	<b>OBJETIVOS</b> .....	13
2.1	Objetivo geral.....	13
2.2	Objetivos específicos.....	13
3	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	14
3.1	Depressão .....	14
3.2	Antidepressivos.....	15
3.3	Antidepressivos no meio ambiente .....	18
3.4	Adsorção .....	21
3.4.1	Adsorção em coluna de leito fixo.....	22
3.4.2	Cinética de adsorção .....	24
3.4.2.1	<u>Modelo de Thomas.....</u>	<u>25</u>
3.4.2.2	<u>Modelo de Yoon-Nelson .....</u>	<u>26</u>
3.4.2.3	<u>Modelo de Yan <i>et al.</i>.....</u>	<u>27</u>
3.5	Carvão ativado.....	27
4	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	30
4.1	Seleção do medicamento.....	30
4.2	Coleta das amostras .....	31
4.3	Análise das amostras.....	32
4.4	Validação da metodologia .....	33
4.5	Tratamento da água com carvão ativado .....	34
4.6	Avaliação do ponto de ruptura do carvão ativado .....	35
4.7	Avaliação da cinética de adsorção .....	36
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	37
5.1	Validação da metodologia e quantificação de Fluoxetina .....	37
5.2	Tratamento da água com carvão ativado .....	41

<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>50</b>
	<b>APÊNDICE.....</b>	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A depressão é uma doença multifatorial que acomete o indivíduo em todos os ângulos de sua vida. Na psicologia, é caracterizada como um estado emocional marcado por sentimentos de baixa autoestima ou culpa e uma capacidade reduzida de sentir prazer em atividades normais. No entanto, o curso do transtorno é variável e inerentemente imprevisível, podendo ocorrer de maneira aguda em episódios persistentes (ROGERS *et al.*, 2019).

Os sintomas da depressão podem ser agrupados em manifestações emocionais, neurovegetativas e cognitivas. Estes prognósticos, por sua vez, também ocorrem em outros transtornos psiquiátricos, como é o caso da ansiedade e da esquizofrenia. A detecção da síndrome depressiva, em vista disso, é realizada por meio da percepção de alguns fenômenos específicos, tal como anedonia, insônia, fadiga, perda de apetite, retardo psicomotor ou agitação e redução da habilidade de tomar decisões (MALHI, MANN, 2018).

Quimicamente, a etiologia do transtorno é oriunda da redução da atividade dos neurotransmissores de monoamina no cérebro, como serotonina, norepinefrina e edopamina. Os desequilíbrios destas substâncias no corpo podem ser mitigados pelo uso de drogas antidepressivas, medicamentos de dosagem oral cuja ação biológica é capaz de inibir a recaptção das moléculas reguladoras do humor. A ação medicamentosa, quando controlada, caracteriza um dos principais tratamentos de disfunções psiquiátricas e patologias intermediárias à depressão (SOARES, CAPONI, 2011, KALTENBOECK, HARMER, 2018, CRUZ *et al.*, 2020).

Os antidepressivos podem ser categorizados de acordo com o seu arranjo químico ou propriedades farmacológicas. As principais classes dos medicamentos incluem os antidepressivos tricíclicos (ADTs), os inibidores da monoamina oxidase (IMAOs) e os inibidores seletivos da recaptção da serotonina (ISRSs). Clinicamente, o mecanismo de ação dos fármacos produz o aumento da disponibilidade de neurotransmissores na fenda sináptica, o qual pode ocorrer pela suspensão da enzima responsável por suas degradações ou pelo bloqueio (seletivo ou não) de suas recaptações (VISMARI *et al.*, 2008).

Apesar de seus indiscutíveis benefícios, as drogas antidepressivas não possuem regulamentação legal quanto à presença no meio ambiente. Contudo, por se tratarem de substâncias consideradas poluentes emergentes, apresentam riscos

de contaminação especialmente aos corpos hídricos e à saúde humana. Contaminantes emergentes são compostos específicos utilizados na fabricação de produtos de uso diário, como cosméticos e fármacos. Por possuírem ação biocida ou estruturas não passíveis de biodegradação, quando presentes em efluentes, precisam passar por um tratamento terciário de líquidos para que sejam integralmente removidos (BORRELY *et al.*, 2012, IVANOV, 2018).

A filtração em meio granular, principalmente em carvão ativado, é amplamente utilizada como tratamento terciário de águas naturais. A operação objetiva a remoção de partículas e microrganismos indesejáveis não retidos no pré-tratamento, usualmente realizado por coagulação, floculação e sedimentação ou flotação por ar dissolvido. A técnica, além de ser barata e possuir fácil aplicabilidade, possibilita a adequação do efluente aos padrões legais de lançamento em cursos d'água e de potabilidade. Sendo assim, vem se mostrando eficiente quanto à adsorção de matéria orgânica remanescente do processo metabólico de antidepressivos (MELO, 2014, GEHLING, 2017).

Segundo Guilarduci *et al.* (2006), a adsorção de compostos orgânicos em carvão ativado (CA) é uma das tecnologias mais importantes utilizadas para o tratamento de líquidos. O CA é um adsorvente microporoso obtido de uma variedade de materiais carbonáceos, como madeira, hulha, lignina e casca de coco. Devido ao seu elevado grau de porosidade, extensa área superficial interna e variedade de grupos funcionais, se destaca quanto à purificação de efluentes e pode ser utilizado como etapa complementar ao tratamento de água.

Este trabalho vem de encontro à problemática da contaminação de águas superficiais com antidepressivos. Com ele, visa-se a quantificação de resíduos do medicamento Cloridrato de Fluoxetina em amostras de água e em esgoto tratado e, posteriormente, a análise da eficiência de remoção do fármaco pelo uso de filtro de carvão ativado doméstico.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Quantificar resíduos do antidepressivo Cloridrato de Fluoxetina em amostras de água e de esgoto líquido (tratado). Analisar a eficiência e a cinética de adsorção do fármaco na água potável pelo uso de filtro de carvão ativado doméstico.

### 2.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar a concentração do antidepressivo Cloridrato de Fluoxetina, por espectrometria no UV-Vis, em amostras de água antes e após o tratamento na Estação de Tratamento de Água do município de Francisco Beltrão, no Paraná;
- ✓ Determinar a concentração do antidepressivo Cloridrato de Fluoxetina, por espectrometria no UV-Vis, em amostras de esgoto tratado da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Francisco Beltrão;
- ✓ Avaliar a eficiência de remoção do antidepressivo Cloridrato de Fluoxetina em água potável por meio de filtro de carvão ativado doméstico;
- ✓ Avaliar o ponto de ruptura do carvão ativado na curva de *breakthrough*;
- ✓ Avaliar a cinética de adsorção do carvão ativado em coluna de leito fixo;

## 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 3.1 Depressão

Depressão é o distúrbio afetivo mais proeminente na atualidade. A doença, vista como o mal da sociedade moderna, sujeita o homem à debilidade, evidenciando quadros de apatia, pessimismo, irritabilidade, atraso motor ou agitação e múltiplas queixas somáticas, tal como insônia, fadiga e anorexia. Descrita por muitos autores sob a categoria de melancolia, a síndrome depressiva se trata de um problema psiquiátrico crônico e incontestavelmente perigoso (BECK, ALFORD, 2011).

Com grande expressividade no cenário mundial, a depressão tem apresentado índices alarmantes nos últimos tempos. Em conformidade com o catálogo de dados do Instituto de Métricas e Avaliação em Saúde (IHME), cerca de 310 milhões de pessoas no mundo sofrem com a enfermidade (IHME, 2019). Diferente das flutuações normais de humor e das respostas emocionais de curta duração aos devaneios da vida cotidiana, o transtorno depressivo, principalmente quando recorrente e com intensidade moderada, pode se transformar em uma condição séria de saúde (WHO, 2021). De tal modo, tende a ser, em 2030, a doença mais comum em todo o globo (OPAS, 2017).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO), o Brasil é campeão de casos de depressão na América Latina e o segundo maior das Américas, atrás apenas dos Estados Unidos (MELLIS, 2019). Dados disponibilizados pelo Ministério da Saúde indicam que a doença caracteriza a quarta maior causa de mortalidade entre jovens de 15 a 29 anos, atrás apenas de acidentes de trânsito e agressões. Onde, a cada 100 mil casos evidenciados de suicídio, cerca de 2,9% são compostos por mulheres identificadas com a síndrome e 10,7%, por homens. Em 2019, o Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM) registrou um aumento, em relação à 2010, de 43% no número anual de mortes no país, variando de 9.454 para 13.523 ocorrências (BRASIL, 2021).

Informações divulgadas pela Pesquisa Nacional de Saúde (PNS), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), apontam um número significativo de quadros de depressão no Brasil. Segundo a pesquisa, 16,3 milhões de pessoas com mais de 18 anos sofrem da doença, um aumento de 34,2% de 2013 para 2019. Quando analisado por sexo, as mulheres representam o grupo de maior porcentagem

de episódios depressivos já evidenciados, chegando a 14,7%, enquanto que 5,1% para os homens. A faixa etária com maior incidência, no entanto, ocorre entre 60 e 64 anos, onde cerca de 13,2% de episódios são relatados (IBGE, 2019).

Nas regiões urbanas, o número de ocorrências diagnosticadas prevalece, alcançando cerca de 10,7%, ao passo que nas áreas rurais o índice é de 7,6%. Esta característica é, sem dúvida, fruto do crescimento da população global e do aumento proporcional de grupos de idade na qual doença é mais evidente (GIGLIOTTI, 2020). Conforme Solomon (2014), as taxas crescentes de depressão são uma consequência da modernidade. O ritmo da vida e a administração do tempo, o desenvolvimento tecnoindustrial e a individualização social, a rigidez subjetiva e a solidão intransponível se mostram catastróficos (SOLOMON, 2014, PETERS, 2021).

Apesar da compreensão da fisiopatologia do transtorno depressivo ter progredido consideravelmente, nenhum modelo ou mecanismo pode satisfatoriamente explicar todos os aspectos da doença. Inúmeras causas podem estar subjacentes a episódios em diferentes pacientes, entre as quais estressores psicossociais e biológicos, como o período pós-parto, são precursores que corriqueiramente conduzem a quadros clínicos graves (MALHI, MANN, 2018). Os avanços da neurociência, contudo, tem possibilitado compreender melhor a relação mente-cérebro e a criar técnicas de intervenção mais eficientes (GARCIA, 2010).

Desde a década de 90, a medicina e a psicologia vêm consolidando o uso associado de recursos farmacológicos e psicoterápicos no tratamento das crises depressivas, apoiando a ideia da interferência mútua entre fatores psíquicos e fisiológicos no surgimento dessa patologia (GARCIA, 2010). O procedimento medicamentoso, aplicado progressivamente no trato da doença, é realizado por meio do uso de drogas antidepressivas, substâncias químicas capazes de regular o humor e controlar o estresse (NITH, 2018).

### **3.2 Antidepressivos**

Os antidepressivos são medicamentos comumente utilizados para aliviar os sintomas causados pela ansiedade e pela depressão, sendo também indicados para o auxílio de outras condições, como bulimia, transtorno obsessivo compulsivo (TOC), transtorno de estresse pós-traumático (PTSD) e dor crônica (CAMH, 2012). A considerável prescrição dessa classe de neuroativos ocorre devido à sua capacidade

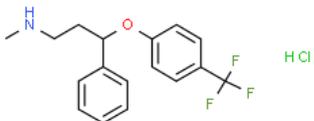
de retificar os níveis de neurotransmissores cerebrais, substâncias responsáveis pela regulação do humor e das emoções (NHS, 2021).

O mecanismo de ação pelo qual os antidepressivos atuam ainda não está completamente esclarecido. Todavia, sabe-se que a maioria dessas drogas, ao agir na transmissão neuroaminérgica, produz efeitos iniciais dentro da sinapse que impactam na sinalização intracelular e em vias mensageiras secundárias. Essas vias, por sua vez, culminam em alterações na expressão gênica que promovem mudanças adaptativas e levam aos benefícios terapêuticos que já se tem conhecimento (MALHI, MANN, 2018).

Uma das primeiras drogas antidepressivas ministradas foi a Imipramina, divulgada em 1957 por meio do Segundo Congresso Nacional de Psiquiatria realizado em Zurique, na Suíça (CRESPO DE SOUZA, 2013). Na mesma época, surgiram os antidepressivos inibidores da monoamina oxidase (IMAOs) e os antidepressivos tricíclicos (ADTs) que, embora muito eficazes, apresentavam efeitos colaterais indesejáveis causados pela inespecificidade de sua ação farmacológica e superdosagem (LANNES, 2018).

No decorrer dos anos, novas classes de drogas, categorizadas a partir dos tipos de receptores com os quais interagem no organismo, foram incluídas no grupo dos antidepressivos. Na década de 1980, se destacaram os inibidores seletivos da recaptação de serotonina (ISRSs), tal como a Paroxetina, a Sertralina, o Citalopram e o Cloridrato de Fluoxetina, cujas propriedades farmacológicas são apontadas na Tabela 1, exibindo baixas taxas de efeitos adversos graves e melhora significativa no tratamento da depressão e em distúrbios de ansiedade. Devido aos consideráveis benefícios dos ISRSs, a categoria se consolidou como a primeira escolha para o tratamento de inúmeros pacientes (BITTENCOURT, CAPONI, MALUF, 2013).

**Tabela 1 - Propriedades farmacológicas do Cloridrato de Fluoxetina**

Fórmula molecular	Massa molecular	Solubilidade	Estrutura molecular	Referência
$C_{17}H_{18}F_3NO \cdot HCl$	345,79 g.mol <sup>-1</sup>	14 mg.mL <sup>-1</sup>		CLORIDRATO DE FLUOXETINA, 2016.

Fonte: Autoria própria (2022)

No Brasil, os antidepressivos estão entre os medicamentos mais consumidos de todo o território nacional. Segundo pesquisa realizada pela Funcional Health Tech,

entre as categorias terapêuticas, a psiquiatria localiza-se em 10º lugar no ranking de vendas no país, dentro da qual as drogas estimulantes do sistema nervoso central são as mais comercializadas. O estudo ainda constatou que essa classe de psicofármacos apresentou um aumento de prescrição de aproximadamente 20% entre os anos de 2014 e 2018, sendo mais empregada para mulheres na faixa dos 40 anos (RIBEIRO, 2020).

De acordo com um levantamento efetuado pelo Conselho Federal de Farmácia (CFF), a venda de antidepressivos e estabilizadores do humor teve uma alta expressiva durante a pandemia de coronavírus (COVID-19). Nos 5 primeiros meses de 2021, cerca de 4,78 milhões de caixas de medicamentos controlados foram comercializadas a mais no Brasil, caracterizando um salto de 13% em relação ao mesmo período de 2020. Em alguns estados, como é o caso do Acre, Alagoas e Amazonas, a comercialização dos fármacos ainda foi maior que a verificada em âmbito nacional, representando um aumento de 40%, 20% e 17%, respectivamente (CFF, 2021).

A ingestão de tais fármacos, no entanto, nem sempre é acompanhada de laudo médico. Contexto que é fortemente desaconselhado, pois os antidepressivos possuem elevada probabilidade de causar dependência (LEONARDI, 2019). Tal efeito, que surge pela associação das drogas à obtenção da felicidade por pacientes que sofrem de transtornos psiquiátricos, pode provocar síndromes de abstinência em casos de automedicação, caracterizada tanto pela interrupção abrupta dos remédios quanto pelo seu consumo descontrolado (RANGEL, 2019).

Desse modo, o uso indevido de antidepressivos, mesmo que em baixas quantidades, pode conduzir a inúmeros quadros clínicos, entre os quais cita-se ansiedade, insônia, irritabilidade, oscilações de humor, tonturas, falta de coordenação motora, náuseas, vômitos, calafrios, fadiga e dor muscular (RANGEL, 2019). Além disso, quando aplicados para fins não indicados, estes medicamentos podem se transformar em substâncias tóxicas capazes de produzir sérias reações alérgicas no corpo humano (RAMOS, 2016).

Contudo, a ingestão de antidepressivos, inúmeras vezes, ocorre involuntariamente. Quando excretados pelo metabolismo ou descartados de forma incorreta, os compostos são direcionados a Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) que não foram projetadas para removê-los e, como consequência, rumam para o meio ambiente. Assim que incorporados em cursos d'água utilizados como

fonte de consumo, os micropoluentes são tratados de forma convencional e acabam sendo conduzidos para a ingestão em âmbito residencial (COSTA JUNIOR *et al.*, 2014, MAIN, 2021).

De acordo com Costa Junior *et al.* (2014), a presença destes fármacos tem sido detectada em águas superficiais, sedimentos de rios, tecidos de organismos aquáticos e em Estações de Tratamento de Água e de Esgoto, pelas quais transcorre sem que seja completamente eliminada. Como explicam os autores, devido à sua baixa biodegradabilidade e persistência no meio ambiente, a contaminação por antidepressivos caracteriza um risco em potencial no que diz respeito tanto a efeitos ecotoxicológicos quanto à saúde humana.

### **3.3 Antidepressivos no meio ambiente**

Segundo o Ministério da Saúde, a água é considerada potável se atender aos requisitos impostos pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, referente aos procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e de seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2021). Todavia, essa normativa não abrange os parâmetros relacionados a micropoluentes e poluentes orgânicos emergentes, substâncias tóxicas continuamente descarregadas em águas superficiais (SOARES, SOUZA E SOUZA, 2019).

Poluentes orgânicos emergentes (POE) são produtos químicos residuais que não são completamente removidos pelos processos tradicionais de tratamento de água e de esgoto. É o caso de hormônios endógenos e sintéticos, anticoncepcionais, fármacos de diversas composições, cafeína, sucralose, nanomateriais, bactericidas, inseticidas, algicidas e herbicidas (FIGUEIREDO, 2018). Tais elementos podem agir negativamente sobre os lençóis freáticos, afetar o equilíbrio químico dos solos, prejudicar o desenvolvimento de espécies terrestres e marinhas, e promover severos danos à saúde dos seres humanos. Por meio disso, a sua introdução ao meio ambiente deve ser constantemente monitorada (JESUS, 2020).

O sistema de saneamento básico no Brasil atende a população usando predominantemente o procedimento convencional das Estações de Tratamento de Água (ETA's) e de Esgoto (ETE's). Nessas unidades, as principais etapas de remoção de contaminantes envolvem os processos de coagulação, floculação, decantação, peneiramento, filtração, fluoretação e biodegradação aeróbica, operações voltadas

essencialmente à eliminação de quantidades elevadas de nutrientes e microrganismos. Poluentes emergentes, contudo, possuem propriedades físico-químicas específicas que tornam a sua eliminação bastante dificultada. É o caso das drogas antidepressivas, que permanecem de maneira residual em águas já tratadas e no esgoto líquido (MONTAGNER, VIDAL, ACAYABA, 2017).

De acordo com Costa Junior *et al.* (2014), a introdução dos resíduos farmacológicos no meio ambiente é centrada em dois processos distintos, sendo um deles o descarte incorreto por parte da indústria farmacêutica e da própria população, e o outro inerente ao metabolismo dos indivíduos pós-ingestão. A contribuição gerada pelo consumo humano, como frisam os autores, é ocasionada pela parcial metabolização dos fármacos, que são excretados na urina e fezes e direcionados às ETE's, onde acabam sendo processados junto a outros constituintes orgânicos e inorgânicos das águas residuárias.

As drogas antidepressivas estão entre os medicamentos detectados com maior frequência em rios de inúmeros países ao redor do mundo. É o caso dos afluentes Boulder Creek (Colorado) e Fourmile Creek (Iowa), localizados nos Estados Unidos, onde foi encontrada, por meio de um método de cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massa sequencial (LC-MS/MS), a presença dos fármacos Venlafaxina, Bupropiona, Citalopram, Fluoxetina e Sertralina (SCHULTZ *et al.*, 2010). E de Madri, na Espanha, onde dados envolvendo sedimentos e recursos hídricos da região metropolitana apontaram taxas médias de 14 ng.L<sup>-1</sup> de Fluoxetina. Essa concentração foi ainda inferior às diagnosticadas na região de Galiza (80 a 120 ng.L<sup>-1</sup>) e de Catalunha (135 a 200 ng.L<sup>-1</sup>) (CARBALLA *et al.*, 2008).

No rio Pecan Creek (Texas), estudos realizados em peixes revelaram concentrações de Fluoxetina, Sertralina, Norfluoxetina, e Norsertralina superiores a 0,1 ng.g<sup>-1</sup> em todas as amostras de músculo, fígado e tecidos cerebrais examinados (BROOKS *et al.*, 2005). Em fontes superficiais e redes de fornecimento geograficamente dispersas nos Estados Unidos, amostras de água potável destinadas para consumo humano reportaram teores de Fluoxetina que beiravam a margem de 0,5 ng.L<sup>-1</sup> (SNYDER, 2008). De forma semelhante ocorreu no norte da Europa, onde resquícios químicos da droga e de seu metabólito, Norfluoxetina, foram diagnosticados na faixa de 150 a 225 ng.L<sup>-1</sup>, respectivamente, em águas de esgoto já tratado (ZORITA *et al.*, 2007).

Em Córrego Rico (Jaboticabal), no Brasil, por meio de um método analítico de cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massa sequencial (LC-MS/MS), a Fluoxetina foi quantificada em  $8,6 \text{ ng.L}^{-1}$  (CARVALHO, 2020). Já em amostras de sedimento do emissário submarino de Santos, a técnica de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) constatou a droga em uma concentração de  $10,4 \text{ ng.g}^{-1}$  (LARANJEIRA, 2019). Em Guarujá, durante a primeira quantificação de medicamentos em águas marinhas da América Latina, teores de 0,2 a  $0,4 \text{ ng.L}^{-1}$  de Citalopram foram detectados mediante, também, a técnica de LC-MS/MS (ROVERI *et al.*, 2020).

Com o intuito de minimizar a presença destes medicamentos, tal como o Cloridrato de Fluoxetina, processos de tratamento terciário de resíduos líquidos e águas superficiais vem ganhando foco em diversos países (MONTAGNER, VIDAL, ACAYABA, 2017). O Quadro 1 relaciona alguns métodos complementares de remoção de contaminantes que são aplicados em estações de tratamento e/ou escala piloto em determinados continentes do globo. Entre eles, a filtração em meio granular, essencialmente em carvão ativado, recebe ideal importância, pois demonstra resultados positivos à adsorção de micro concentrações de poluentes em águas destinadas ao consumo humano.

**Quadro 1 - Métodos de tratamento terciário em alguns continentes**

Tratamento terciário	Continente	Citação
Adsorção em carvão ativado	Europa (Suécia, França, Alemanha, Suíça)	MAILLER <i>et al.</i> , 2015 ALTMANN <i>et al.</i> , 2016 KÄRELID <i>et al.</i> , 2017 ZIETZSCHMANN <i>et al.</i> , 2019 KRAHNSTÖVER, WINTGENS, 2018
Desinfecção por radiação ultravioleta ou cloração	Europa (Áustria, Bélgica, Finlândia, Hungria, Irlanda, Romênia, Grécia)	PROCHASKA, ZOUBOULIS, 2020 EEA, 2020
Filtração, ultrafiltração e osmose reversa	Ásia (Coreia do Sul)	CHON <i>et al.</i> , 2013
Osmose reversa e nanofiltração	Europa (Espanha)	GARCIA <i>et al.</i> , 2013
Ozonização, UV/O <sub>3</sub> e eletro-peroxônio	Ásia (China)	YAO <i>et al.</i> , 2015

**Fonte: Autoria própria (2022)**

### 3.4 Adsorção

O tratamento de água naturais tem uma importância significativa para a saúde da população. Segundo Camatti *et al.* (2015), inúmeros problemas relacionados a doenças infecciosas e a degradação de corpos receptores podem ser gerados quando tais líquidos não são adequadamente purificados. Em vista disso, o tratamento terciário surge como uma etapa complementar de remoção de poluentes, pois garante uma qualidade superior da água ao decorrer em que promove a captação de partículas específicas, como micronutrientes e substâncias patogênicas, em seu interior (GORGOZINHO, 2010).

Conforme Silva *et al.* (2011), o tratamento terciário é um procedimento avançado que se faz necessário sempre que águas naturais, mesmo após passarem pelo tratamento primário e secundário, ainda evidenciem níveis de matéria ou organismos que possam causar danos à saúde humana. Tal prática, como frisam os autores, engloba as técnicas de ozonização, osmose reversa, eletrodialise, troca iônica, desinfecção com radiação ultravioleta ou cloração, nitrilação e filtração em meio granular, na qual a descontaminação do fluido ocorre pela adsorção do material poroso em sua estrutura. Devido à elevada praticidade e aplicabilidade, o processo de adsorção é foco de inúmeros estudos envolvendo tratamento de água, tanto em âmbito industrial quanto residencial.

A adsorção é uma operação unitária que envolve a transferência de massa das moléculas de um fluido à superfície dos poros de um sólido, episódio que ocorre espontaneamente por meio do contato direto entre ambas as fases (TAMBOSI, 2008). A eficiência desse processo, de acordo com Tadini *et al.* (2016), depende das características do material adsorvente, do tipo de adsorvato e de fatores como a temperatura, pressão e pH em que o sistema está inserido. Em função disso, a natureza da adsorção pode ser classificada em duas categorias básicas, sendo elas a fisissorção e a quimissorção.

A fisissorção, ou adsorção física, é o resultado de forças de atração intermoleculares fracas entre o adsorvente e a molécula a ser adsorvida. Trata-se de um fenômeno reversível e geralmente rápido, onde as interações de Van der Waals são predominantes e há a possibilidade de haver várias camadas sobrepostas de moléculas adsorvidas. Do ponto de vista termodinâmico, a energia envolvida na fisissorção é relativamente pequena, comumente situando-se abaixo de  $10 \text{ kcal.mol}^{-1}$

da ordem de uma condensação/vaporização. Ressalta-se, ainda, que como não ocorre formação ou quebra de ligações, a natureza química do adsorvato não é alterada nesse processo (TADINI *et al.*, 2016, NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Já a quimissorção, ou adsorção química, é a decorrência de interações mais específicas entre o adsorvente e a primeira camada de soluto adsorvido, envolvendo a partilha de elétrons. Sucede-se de maneira localizada, ocorrendo apenas em sítios ativos livres, e lenta, quando a energia de ativação envolvida no processo for elevada. Trata-se de uma operação irreversível que possui uma quantidade de calor envolvido cerca de 10 vezes maior que a entalpia de condensação, ou seja, superior a 20 kcal.mol<sup>-1</sup>. Nesse modelo de adsorção, o aumento da temperatura favorece o caminho da reação direta, decorrência que não se procede na fisissorção (TADINI *et al.*, 2016, NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Quando aplicada em sistemas multicomponentes, como é o caso de águas naturais e efluentes reais, a adsorção depende de interações complexas entre o adsorvente e as espécies químicas da fase fluida, podendo conduzir a resultados bastante divergentes quando comparados a conjuntos monossoluto. Nestes casos, as espécies contaminantes competem quanto à ocupação dos sítios ativos livres do material poroso, o que promove alterações na velocidade e quantidade adsorvida do processo. Algumas variáveis, como o tamanho e estrutura molecular, solubilidade, polaridade, difusividade efetiva e concentração dos micropoluentes interferem diretamente no efeito competitivo e seletividade da operação (LUZ, 2012).

#### 3.4.1 Adsorção em coluna de leito fixo

A adsorção em coluna de leito fixo tem sido amplamente introduzida em diversas áreas de tratamento e descontaminação. Tal configuração é a mais comumente utilizada em processos adsorptivos, pois os ciclos de adsorção e dessorção destes equipamentos são realizados de maneira constante, permitindo que a purificação de líquidos seja efetuada sem interrupção (SIAHPOOSH *et al.*, 2009). Por se tratar de um sistema relativamente mais econômico, é amplamente aplicado em campos voltados à descoloração de óleos e à remoção de poluentes orgânicos em líquidos (MEMLAK, 2019).

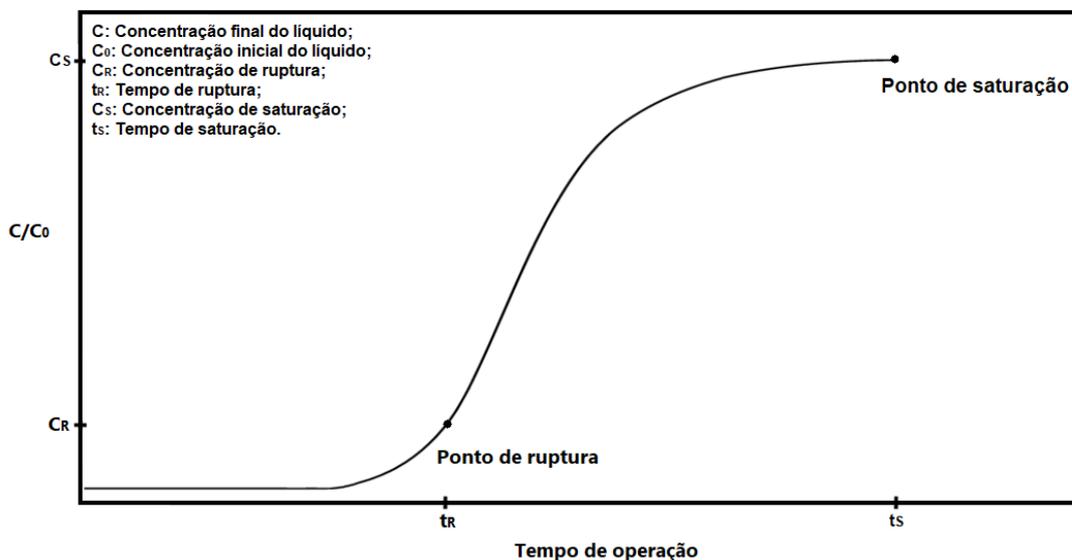
De acordo Greenwald, Redding e Cannon (2015), um sistema de leito fixo convencional é composto por uma coluna onde partículas do adsorvente com

características específicas são colocadas em contato com a solução contendo o adsorvato a ser tratado. Na saída do equipamento, como descreve Luz (2006), o componente menos adsorvido é captado, enquanto que na coluna de adsorção permanece a substância que se deseja reter. Com o passar do tempo, no entanto, o sólido adsorvente atinge sua saturação e o conjunto entra em equilíbrio, não havendo mais a remoção de sujidades.

Em nível operacional, o tempo de trabalho de uma coluna de leito fixo é determinado pela sua capacidade de adsorção, a qual deve atuar de modo a fazer com que a concentração de substâncias no líquido tratado esteja dentro do permitido (LUZ, 2006). Assim, um dos elementos mais importantes associados ao projeto deste equipamento é prever quando a coluna alcançará o ponto de ruptura e de saturação para um dado conjunto de condições. Ambos os momentos podem ser representados através da denominada curva de *breakthrough* ou de ruptura (LUZ, 2012).

A curva de *breakthrough* é demonstrada na forma de gráfico como a razão da concentração final do líquido ( $C$ ) pela sua concentração inicial ( $C_0$ ) em função do tempo (SILVA NETO *et al.*, 2018), como pode ser visto na Figura 1. Conforme Nascimento *et al.* (2020) e Luz (2006), essa curva explica a dinâmica e a eficiência de um sistema de adsorção contínua, podendo ser aplicada para determinar a capacidade utilizada na coluna, as perdas da solução no eluente e o tempo total do processo. Estas, por sua vez, são informações importantes para otimizar uma operação de purificação (LUZ, 2006, NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Figura 1 - Curva de *breakthrough* genérica



Fonte: Autoria própria (2022)

Quando o ponto de ruptura é atingido, os componentes de interesse deixam de ficar retidos na coluna e a concentração de saída no equipamento aumenta sensivelmente, alcançando cerca de 5% da concentração inicial do soluto (MOREIRA, 2008). Nesse momento, torna-se viável uma etapa de regeneração para a recuperação do sólido adsorvente, a qual pode ser conduzida por meio de uma variação de temperatura e/ou mudanças na composição da fase fluida. Esse procedimento visa maximizar o uso do adsorvente por meio da restauração de sua capacidade adsortiva, reduzindo consideravelmente os custos relacionados à troca do material (TADINI *et al.*, 2016).

De acordo com Sulaymon e Ahmed (2008), compreender a dinâmica da coluna de adsorção em leito fixo é uma tarefa exigente. Isso devido aos efeitos de interferência da competição de soluto por sítios ativos do adsorvente, resistência à transferência de massa entre fase fluida e fase sólida e fenômenos de dispersão fluidodinâmica (SULAYMON, AHMED, 2008). Assim, a forma da curva de *breakthrough* depende de parâmetros como a taxa real de adsorção, natureza do equilíbrio de adsorção, velocidade do fluido, concentração de soluto na alimentação, altura do leito e características físicas e químicas do material adsorvente (RIBAS, 2016).

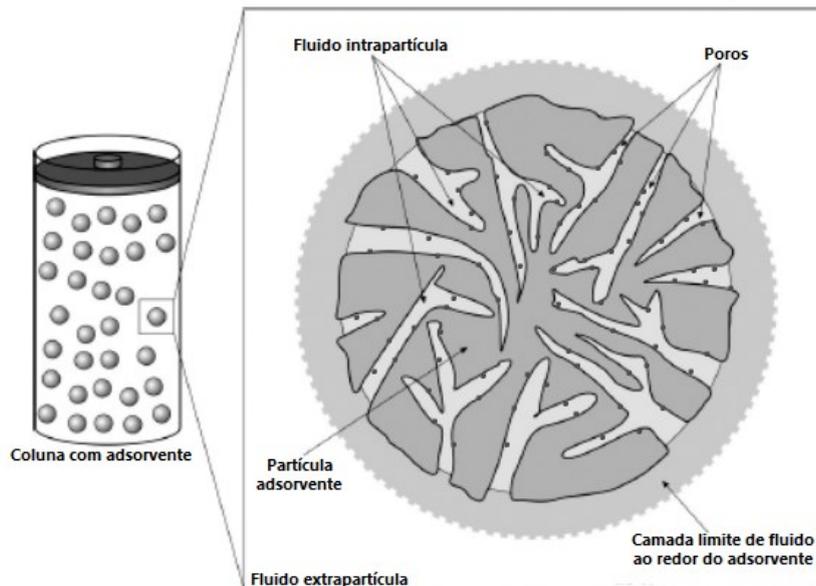
#### 3.4.2 Cinética de adsorção

Em processos adsortivos, prever a velocidade com a qual um constituinte sólido é removido da fase fluida é imprescindível para a sua modelagem e determinação de variáveis essenciais à operação. Em leitos empacotados, a cinética de adsorção, responsável por expressar essa taxa, é afetada principalmente pela configuração do equipamento utilizado e pelas condições hidrodinâmicas de escoamento. Nesse modelo de adsorção, a força motriz para a transferência de massa é dada pela diferença de concentração entre o fluido e a superfície do adsorvente. Tendo posto isso, a cinética de adsorção se procede em quatro diferentes etapas (TADINI *et al.*, 2016, NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Inicialmente, por intermédio de efeitos de mistura, ocorre a convecção e dispersão das moléculas de soluto através do leito, as quais se aproximam de um filme fluido estacionário na superfície externa ao adsorvente. Na sequência, por transferência de massa externa (interpartícula), elas são direcionadas até a camada limite do filme, onde são, por transferência de massa interna (intrapartícula),

difundidas no interior dos poros do material. Por fim, por meio da difusão superficial, as moléculas são adsorvidas nos sítios ativos da matriz (TADINI *et al.*, 2016, SILVA JUNIOR, 2018, NASCIMENTO *et al.*, 2020). A Figura 2 representa o processo de adsorção em uma coluna de leito fixo.

**Figura 2 - Adsorção em coluna de leito fixo**



**Fonte: Adaptado de Tadini *et al.* (2016)**

Com o intuito de melhor avaliar a cinética de adsorção em colunas de leito fixo, modelos empíricos foram desenvolvidos. Por meio deles, tornou-se possível estimar parâmetros matemáticos que conduzissem à condição mais favorável de operação. Desse modo, permitindo a determinação de variáveis que possuem influência direta no processo, como é o caso da massa de adsorvente requerida para tratar determinado volume de efluente e a vazão ideal do fluido. Entre eles, destacam-se o modelo de Thomas, de Yoon-Nelson e de Yan *et al.* (NASCIMENTO *et al.*, 2020).

#### 3.4.2.1 Modelo de Thomas

O modelo de Thomas (1944) é um dos mais utilizados para prever o comportamento do leito em fluxo contínuo, sendo baseado na hipótese de que a isoterma de Langmuir é capaz de descrever a adsorção no equilíbrio e a cinética de reação de segunda ordem reversível. A sua grande vantagem é a aplicação em sistemas com condições tanto favoráveis quanto desfavoráveis de adsorção

(NASCIMENTO *et al.*, 2020, SILVA, 2015, TRGO, *et al.*, 2011). Tal modelo pode ser expresso de acordo com (1).

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + \exp \left[ \frac{k_T(q_T \cdot m - C_0 \cdot Q \cdot t)}{Q} \right]} \quad (1)$$

Quando:

- $k_T$  é a constante cinética de Thomas ( $L \cdot mg^{-1} \cdot min^{-1}$ );
- $q_T$  é a capacidade máxima do leito de Thomas ( $mg \cdot g^{-1}$ );
- $m$  é a massa de adsorvente (g);
- $t$  é o tempo de saturação do leito (min);
- $Q$  é o fluxo volumétrico ( $L \cdot min^{-1}$ );
- $C_0$  e  $C$  são a concentração inicial e a final de adsorvato no fluido, respectivamente ( $mg \cdot L^{-1}$ ).

#### 3.4.2.2 Modelo de Yoon-Nelson

O modelo de Yoon-Nelson (1984) foi desenvolvido para a adsorção e neutralização de gases utilizando, em específico, o carvão ativado. Trata-se de uma expressão relativamente simples que não exige dados detalhados quanto as características do adsorvato, ao tipo de adsorvente e às propriedades físicas do leito. No entanto, possui a desvantagem de se restringir a sistemas monocomponente (SILVA, 2015). Segundo Canteli (2018), pode ser retratado conforme (2).

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + \exp \left[ \frac{k_{YN}}{(1 - \epsilon_L) \cdot \rho_A} \cdot \left( \frac{m}{Q} - \frac{C_0 \cdot t}{q_{YN}} \right) \right]} \quad (2)$$

Quando:

- $k_{YN}$  é a constante cinética de Yoon-Nelson ( $min^{-1}$ );
- $q_{YN}$  é a capacidade máxima do leito de Yoon-Nelson ( $mg \cdot g^{-1}$ );
- $\rho_A$  é a densidade aparente do adsorvente ( $g \cdot L^{-1}$ );
- $\epsilon_L$  é a porosidade do leito.

A porosidade do leito e a densidade aparente do adsorvente podem, em suma, ser calculadas por (3) e (4), respectivamente.

$$\varepsilon_L = \frac{V_Z}{V_L} \quad (3)$$

$$\rho_A = \frac{m}{V_L} \quad (4)$$

Quando:

- $V_Z$  é o volume de espaços vazios no leito (L);
- $V_L$  é o volume do leito (L).

#### 3.4.2.3 Modelo de Yan *et al.*

O modelo de Yan *et al.* (2001), também conhecido como modelo de dose-resposta modificado (MDR), foi baseado em evidências experimentais, inferência estatística e no modelo de Thomas, sendo proposto para minimizar os erros ocasionados pelo ajuste de dados quando, em especial, tempos de operação muito longos ou muito curtos fossem requeridos (CANTELI, 2018, FRANCO, 2018). Sua expressão matemática, de acordo com Yan *et al.* (2001), é dada por (5).

$$\frac{C}{C_0} = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{C_0 \cdot Q \cdot t}{q_Y \cdot m}\right)^{\alpha_Y}} \quad (5)$$

Quando:

- $\alpha_Y$  é a constante exponencial de Yan *et al.*;
- $q_Y$  é a capacidade máxima do leito de Yan *et al.* ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ).

### **3.5 Carvão ativado**

O carvão ativado (CA) é o adsorvente mais antigo que se tem conhecimento, sendo aplicado pela primeira vez para a purificação de fluidos venenosos em máscaras de gás na Primeira Guerra Mundial. Atualmente, é utilizado em grande

escala na desintoxicação de produtos das indústrias química, alimentícia e farmacêutica, tendo excepcional destaque no que diz respeito à remoção de cor, odor e sabor de líquidos, como água e óleos. Além de servir como catalisador em meio reacional, o CA também é empregado para o controle de emissão de vapor de gasolina em automóveis, no fracionamento de hidrocarbonetos e em filtros em sistemas de limpeza de ar (ANSARI *et al.*, 2009, SCHNEIDER, 2008).

Em suma, o carvão ativado é um material carbonoso e quimicamente inerte que apresenta forma microcristalina, não grafitica, com elevada porosidade interna e área superficial específica, a qual pode ser superior a  $800 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ . Esse sólido, que possui afinidade por compostos poluentes devido aos grupos funcionais presentes em sua estrutura, é constituído por uma rede tridimensional de túneis e bifurcações. Nela, encontra-se a presença da vitrinita, componente maceral responsável pela formação de macro, meso e microporos, cuja relação varia consideravelmente de acordo com o precursor de síntese e processo de fabricação do adsorvente (CLAUDINO, 2003, MARCH, RODRÍGUEZ-REINOSO, 2006, MOREIRA, 2010). Observa-se, na Figura 3, o arranjo molecular da vitrinita presente no carvão ativado, produzindo porosidade no sólido.

**Figura 3 - Porosidade do carvão ativado devido à vitrinita**



**Fonte: March, Rodríguez-Reinoso (2006)**

A fabricação do carvão em sua forma ativa pode ser efetuada por meio da ativação de qualquer elemento que possua alto teor de carbono em sua composição,

como carvões minerais (antracita, betuminoso, linhito), polpas de madeira, ossos de animais, grãos de café e resíduos de petróleo. Nesse estágio, comumente realizado após a etapa carbonização, processos físicos ou químicos são aplicados com o intuito de remover componentes passíveis à obstrução dos poros do adsorvente, como alcatrão, creosoto, naftas e resíduos orgânicos. Por meio disso, sítios ativos eletricamente insaturados são formados, intensificando a capacidade adsortiva do material e permitindo que uma quantidade superior de partículas seja fisicamente retida (CLAUDINO, 2003, MOREIRA, 2010, NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Devido aos altos níveis de adsorção de moléculas, tanto em fase líquida quanto gasosa, o CA é capaz de captar um amplo espectro de drogas e agentes tóxicos em sua superfície (CLARK, 2010). Quando em forma física granulada, é passível a sucessivas regenerações, tornando econômicos muitos processos que operam em leitos e colunas de filtração (ARMELIN, 2011). Por meio disso, os filtros que possuem carvão ativado granular como elemento filtrante tem ganhado considerável repercussão, pois admitem excepcional eficiência à remoção de uma vasta gama de contaminantes, como é o caso de resíduos de antidepressivos, presentes na água utilizada para consumo humano (SARMA, DOMÍNGUEZ, LEE, 2022).

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 4.1 Seleção do medicamento

A seleção do antidepressivo Cloridrato de Fluoxetina utilizado nesse estudo foi baseada na vasta citação pela literatura da sua ocorrência no meio ambiente, tal como incluso no Quadro 2.

Quadro 2 - Ocorrência de Cloridrato de Fluoxetina no meio ambiente

(continua)

Concentração	País	Amostra	Método de detecção	Autor
0,9 a 36 ng.L <sup>-1</sup>	Austrália	Águas do estuário de Sydney	Cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massa sequencial (HPLC-MS/MS)	BIRCH <i>et al.</i> , 2015
0,58 ng.L <sup>-1</sup>	Brasil	Emissário submarino de esgoto na baía de Santos (São Paulo)	Cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massa sequencial (LC-MS/MS)	CORTEZ, 2018
8,6 ng.L <sup>-1</sup>	Brasil	Água bruta do Córrego Rico que abastece a ETA da cidade de Jaboticabal (São Paulo)	Cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massa sequencial (LC-MS/MS)	CARVALHO, 2020
10 ng.g <sup>-1</sup>	Brasil	Sedimento do emissário submarino de Santos (São Paulo)	Cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC)	LARANJEIRA, 2019
44 ng.L <sup>-1</sup>	Espanha	Rios localizados na região de Madri	Espectrometria de massa sequencial (MS/MS)	ALONSO <i>et al.</i> , 2010
0,1 a 3,5 ng.g <sup>-1</sup>	Estados Unidos	Músculo, fígado e tecidos cerebrais de peixes do rio Pecan Creek (Texas)	Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (GC-MS)	BROOKS <i>et al.</i> , 2005
0,5 ng.L <sup>-1</sup>	Estados Unidos	Água potável em fontes superficiais e redes de fornecimento	Cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massa (LC-MS)	SNYDER <i>et al.</i> , 2003 SNYDER, 2008
0,5 a 43,2 ng.L <sup>-1</sup>	Estados Unidos	Afluentes Boulder Creek (Colorado) e Fourmile Creek (Iowa)	Cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massa sequencial (LC-MS/MS)	SCHULTZ <i>et al.</i> , 2010

Quadro 2 - Ocorrência de Cloridrato de Fluoxetina no meio ambiente

(conclusão)

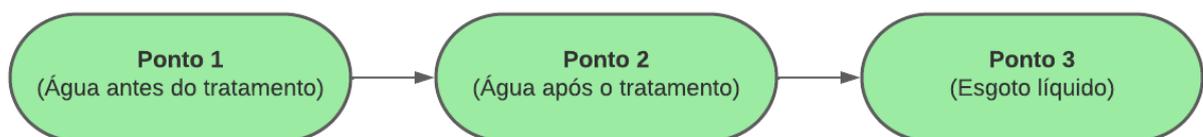
Concentração	País	Amostra	Método de detecção	Autor
104 a 119 ng.L <sup>-1</sup>	Estados Unidos	Aflente Crabtree Creek (Carolina do Norte)	Cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massa (LC-MS)	BRINGOLF <i>et al.</i> , 2010
112 ng.L <sup>-1</sup>	Estados Unidos	Esgoto tratado de alguns estados do país	Extração em fase sólida com cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massa com ionização por Eletrospray (LC/MS-ESI(+))	KOLPIN <i>et al.</i> , 2000
1,87 a 1,94 ng.L <sup>-1</sup> 6,69 a 28,9 ng.L <sup>-1</sup>	Portugal	Rio Douro e rio Leça, respectivamente	Cromatografia líquida de ultra eficiência acoplada à espectrometria de massa sequencial (UHPLC-MS/MS)	FERNANDES <i>et al.</i> , 2020
225 ng.L <sup>-1</sup>	Suécia	Esgoto tratado de Kristianstad	Cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC)	ZORITA <i>et al.</i> , 2007

Fonte: Autoria própria (2022)

## 4.2 Coleta das amostras

As amostras de água e de esgoto foram coletadas em 23 de dezembro de 2021, em 18 de fevereiro de 2022 e em 9 de maio de 2022. As coletas de água, tanto do ponto em que ocorre a sua captação quanto logo após o seu tratamento, foram realizadas na Estação de Tratamento de Água do município de Francisco Beltrão, no Paraná. Já o esgoto líquido foi captado na Estação de Tratamento de Esgoto da cidade. Os três pontos de interesse foram nomeados como Ponto 1, Ponto 2 e Ponto 3, como pode ser visualizado na Figura 4.

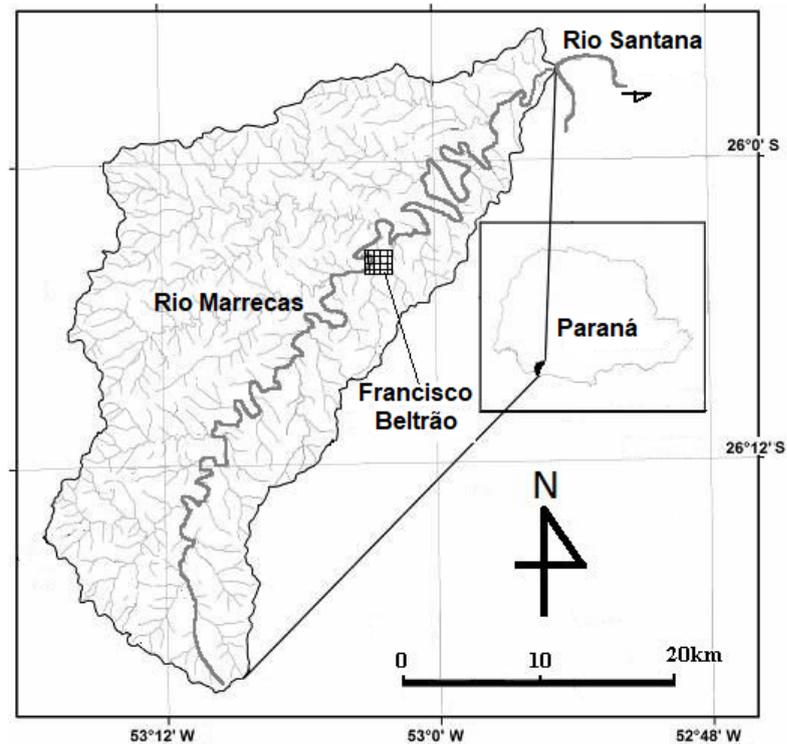
Figura 4 - Pontos de coleta de água e de esgoto



Fonte: Autoria própria (2022)

Na Figura 5, é mostrada a bacia hidrográfica do rio Marrecas, a qual é responsável por abastecer a Estação de Tratamento de Água de Francisco Beltrão (LUZ, FERNANDEZ, 2014).

**Figura 5 - Bacia hidrográfica do rio Marrecas**



**Fonte: Adaptado de Luz e Fernandez (2014)**

Com o auxílio de recipientes plásticos estéreis e herméticos, assim como descrito pelo Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA, CETESB, 2011), foram coletadas 6 amostras de 50 mL para cada um dos pontos avaliados. Estas foram levadas até a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Francisco Beltrão, sob refrigeração. Em laboratório, foram filtradas à vácuo a fim de reter sujidades que interferissem no processo de análise espectroscópica. Então, permaneceram armazenadas e refrigeradas até o momento de sua avaliação.

### **4.3 Análise das amostras**

A metodologia utilizada na análise do antidepressivo Cloridrato de Fluoxetina nas amostras de água e no esgoto foi baseada na descrita pela Farmacopeia Brasileira (ANVISA, 2010), sendo qualquer modificação direcionada a um processo de

validação. Desse modo, as análises ocorreram por meio de espectrometria de absorção molecular no UV-Vis (MS-UV-Vis).

Inicialmente, a solução estoque de Cloridrato de Fluoxetina, que admitiu concentração de 100 mg.L<sup>-1</sup>, foi preparada por meio da dissolução de um comprimido de 20 mg do medicamento em 200 mL de ácido clorídrico (HCl) a 0,1M. A partir dela, realizaram-se diluições com determinado volume das amostras e de água Mili-q, com fator de diluição de magnitude três, para a elaboração da curva de calibração por adição de padrão.

Para construção da curva de calibração, leituras de absorvância foram realizadas em comprimento de onda de 227 nm, tal como proposto pela metodologia de referência. Já o ajuste do branco ocorreu por meio de amostras não enriquecidas pelo fármaco.

#### 4.4 Validação da metodologia

A validação da metodologia para a detecção de Cloridrato de Fluoxetina em amostras de água e esgoto foi baseada nos critérios descritos pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) (INMETRO, 2020). Sendo eles:

- i. Regressão linear;
- ii. Coeficiente de determinação ( $R^2$ );
- iii. Sensibilidade;
- iv. Linearidade;
- v. Limite de detecção (LD) e de quantificação (LQ), representados por (6) e (7). Quando  $s$  é o desvio padrão de dez medidas do branco e  $IC$  é a inclinação da curva de calibração;

$$LD = \frac{3,3 \cdot s}{IC} \quad (6)$$

$$LQ = \frac{10 \cdot s}{IC} \quad (7)$$

- vi. Precisão, dada pelo desvio padrão relativo (DPR) das concentrações experimentais calculadas pela absorvância de dez medidas da mesma

solução em três concentrações teóricas diferentes e avaliada quanto à repetibilidade;

- vii. Exatidão, avaliada quanto à recuperação, dada por (8). Quando  $C_{teórica}$  é a concentração adicionada de Cloridrato de Fluoxetina na amostra e  $C_{média\ experimental}$  é a concentração média calculada pela triplicata das leituras de absorvância da mesma solução em três concentrações teóricas diferentes.

$$\text{Recuperação (\%)} = \frac{C_{média\ experimental}}{C_{teórica}} \cdot 100 \quad (8)$$

#### 4.5 Tratamento da água com carvão ativado

Água tratada na Estação de Tratamento de Água do município de Francisco Beltrão foi enriquecida com Cloridrato de Fluoxetina, admitindo uma concentração de  $38,7\text{ mg.L}^{-1}$ , a qual foi escolhida utilizando como referência o valor aplicado por Kalinoski (2019) em circunstâncias similares. Logo após, foi filtrada com uso de um filtro de carvão ativado doméstico, cujo modelo utilizado foi da marca Tigre devido ao destaque de vendas na cidade.

O aparato experimental foi montado a fim de promover um fluxo descendente de líquido na coluna de filtração, como pode ser visto na Fotografia 1, que apresenta o barrilete de polipropileno de 30 litros conectado ao filtro doméstico. O fluxo volumétrico na saída do equipamento, estipulado em escala piloto, possuiu um valor aproximado de  $25\text{ mL.min}^{-1}$ , cujo controle ocorreu manualmente. A fim de evitar a decantação do soluto, o líquido foi mantido sob agitação mecânica constante à 2200 RPM. As grandezas físicas particulares do aparelho foram medidas e calculadas ao final do experimento.

Inicialmente, alíquotas de 5 mL da solução filtrada foram retiradas a cada 30 segundos. Após os primeiros 5 minutos do processo, o tempo de coleta foi aumentado para 5 minutos. Passados 230 minutos, esse período foi elevado para 10 minutos, o qual foi mantido até o final do experimento, em 505 minutos. A absorvância da água potável foi aferida e relacionada com a concentração de Fluoxetina por meio da curva de calibração de padrão externo do fármaco. A curva foi manipulada na faixa de

concentração de 0 a 45 mg.L<sup>-1</sup>, por meio da adição da solução estoque de Cloridrato de Fluoxetina e de água Mili-q.

Então, a porcentagem de remoção do fármaco em função do tempo foi avaliada por (9).

$$\text{Remoção (\%)} = 100 - \left( \frac{100 \cdot \text{FAT}}{\text{FANT}} \right) \quad (9)$$

Quando:

- FAT é a concentração de Fluoxetina na amostra filtrada (mg.L<sup>-1</sup>);
- FANT é a concentração de Fluoxetina na amostra antes do tratamento (não filtrada) (mg.L<sup>-1</sup>).

**Fotografia 1 - Aparato experimental do sistema de filtração**



Fonte: Autoria própria (2022)

#### 4.6 Avaliação do ponto de ruptura do carvão ativado

A determinação do ponto de ruptura do carvão ativado foi feita pela plotagem da curva de *breakthrough*, com base nos dados de concentração e tempo de adsorção obtidos experimentalmente. Por meio dela, também foi possível determinar os valores

de  $C_R$  e  $t_R$ , os quais representam a concentração, em  $\text{mg.L}^{-1}$ , e o tempo, em minutos, quando  $C/C_0$  é igual a 0,05, respectivamente.

#### 4.7 Avaliação da cinética de adsorção

A avaliação do modelo cinético que melhor prescreve a adsorção em leito fixo do Cloridrato de Fluoxetina com carvão ativado foi dada pela modelagem matemática, no *software* MATLAB, versão R2022a (9.12.0.1956245), dos modelos de Thomas, Yoon-Nelson e Yan *et al.*, representadas na Tabela 2.

**Tabela 2 - Modelos cinéticos de Thomas, Yoon-Nelson e Yan *et al.***

Modelo cinético	Expressão	Parâmetros avaliados
Thomas	$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{k_T(q_T \cdot m - C_0 \cdot Q \cdot t)}{Q}\right]}$	$k_T$ e $q_T$
Yoon-Nelson	$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{k_{YN}}{(1 - \varepsilon_L) \cdot \rho_A} \cdot \left(\frac{m}{Q} - \frac{C_0 \cdot t}{q_{YN}}\right)\right]}$	$k_{YN}$ e $q_{YN}$
Yan <i>et al.</i>	$\frac{C}{C_0} = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{C_0 \cdot Q \cdot t}{q_Y \cdot m}\right)^{\alpha_Y}}$	$\alpha_Y$ e $q_Y$

**Fonte: Autoria própria (2022)**

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Validação da metodologia e quantificação de Fluoxetina

Com base em cada uma das soluções manipuladas, que admitiram concentração pré-determinada de estoque com Cloridrato de Fluoxetina, desenvolveu-se o Quadro 3, no apêndice. Nele, encontram-se as equações da reta que representam o comportamento da concentração (C) em função da absorvância (A) do medicamento e seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), para cada uma das triplicatas dos Pontos 1, 2 e 3, nas três coletas realizadas.

A partir dessas equações, determinou-se a concentração do antidepressivo inclusa nas matrizes analisadas pela intersecção da reta na ordenada igual a zero, considerando um fator de diluição de três vezes. No Quadro 3, os números destacados em verde foram desconsiderados no cálculo da concentração média devido à discrepância de seus valores quando comparados ao restante da amostra ou, ainda, pelo seu baixo coeficiente de determinação.

Com o intuito de certificar-se que tais dados foram coerentes com a realidade e que o procedimento baseado no proposto pela Farmacopeia Brasileira é aplicável, efetuou-se a comprovação da metodologia. Os parâmetros iniciais de validação para o Cloridrato de Fluoxetina, nos Pontos 1, 2 e 3, estão inclusos na Tabela 3.

**Tabela 3 - Parâmetros de validação para a Fluoxetina nos Pontos 1, 2 e 3**

Parâmetro	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Equação da reta	$A = 0,0409.C + 0,0445$	$A = 0,0406.C + 0,0273$	$A = 0,0408.C + 0,2926$
Coefficiente de determinação	0,9946	0,9966	0,9996
Limite de detecção (mg.L <sup>-1</sup> )	0,10	0,07	0,12
Limite de quantificação (mg.L <sup>-1</sup> )	0,29	0,20	0,35
Sensibilidade (L.mg <sup>-1</sup> )	0,0409	0,0406	0,0408
Linearidade (mg.L <sup>-1</sup> )	0 a 5,33	0 a 5,33	0 a 5,33

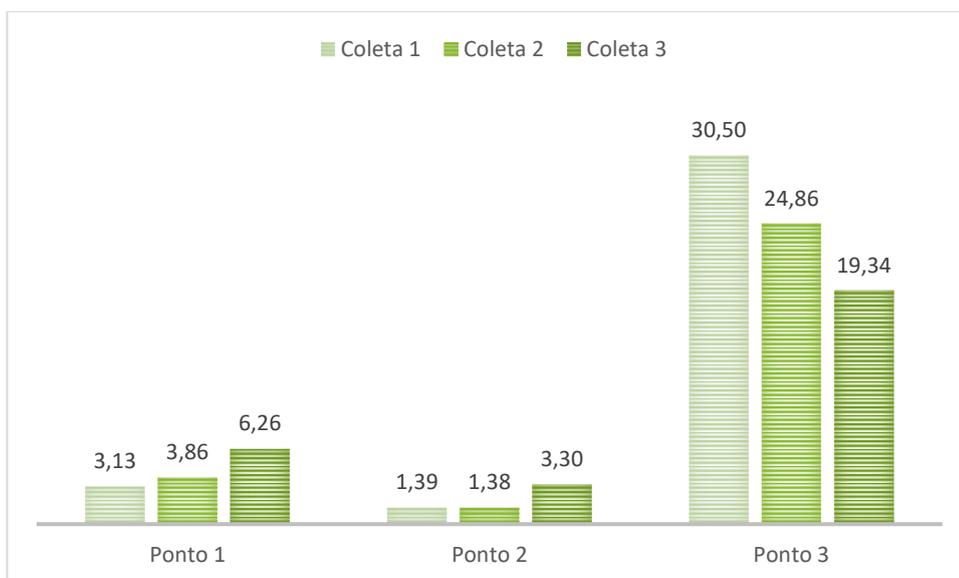
Fonte: Autoria própria (2022)

Por meio do coeficiente de determinação, foi possível avaliar que, para o intervalo de concentração de 0 a 5,33 mg.L<sup>-1</sup>, os pontos apresentaram comportamento linear quando plotados. Além disso, a sensibilidade do método foi relativamente alta, permitindo que o limite de quantificação da Fluoxetina fosse moderadamente

pequeno. A magnitude deste limite, quando o analito dissolvido na matriz de estudo se encontra em pequenas porções, como é o caso dos antidepressivos em água, possibilita mensurar a sua concentração e torna a técnica substancialmente melhor.

Considerando os limites de detecção e de quantificação obtidos, nota-se que foi possível captar sinais de absorvância do medicamento nas três matrizes de estudo. Além disso, mesmo com os baixos valores da droga na água após o tratamento, pôde-se contabilizá-la em todos os pontos. Com 95% de confiança, para os Pontos 1, 2 e 3, a concentração média do poluente, englobando as três coletas e cada uma de suas triplicatas, foi de 4,42 mg.L<sup>-1</sup>, 2,02 mg.L<sup>-1</sup> e 24,90 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente. Tais valores, admitindo os parâmetros de validação anteriormente destacados, podem ser ditos como congruentes ao real. No Gráfico 1, são apresentadas as concentrações do fármaco aferidas para cada ponto em cada uma das coletas.

**Gráfico 1 - Concentrações de Fluoxetina para cada ponto em cada coleta**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Pelo Gráfico 1, nota-se que a concentração do antidepressivo, para os Pontos 1 e 2, foi similar nas Coletas 1 (dezembro) e 2 (fevereiro), enquanto que, na Coleta 3 (maio), a parcela do poluente aumentou consideravelmente. Por sua vez, para o Ponto 3, essa quantidade diminuiu ao longo das três coletas, o que pode ter acontecido por diversos fatores. Entre eles, cita-se o decréscimo do consumo da droga pela população local ou o descarte inadequado da substância no esgoto doméstico e diferenças no tratamento da ETA do município, como o tempo de retenção hidráulica.

Também, variações nos índices pluviométricos e na temperatura local (nível de insolação) (BRAGA *et al.*, 2005, OLIVEIRA, CUNHA, 2014, SCARATTI *et al.*, 2014).

Os elevados e persistentes valores de Fluoxetina no esgoto tratado podem ser explicados por meio da farmacocinética da droga. Segundo Djordjevic *et al.* (2005) e Soares (2005), o medicamento é parcialmente metabolizado no fígado à Norfluoxetina, seu composto ativo, e em outros metabólitos não identificados. Com meia vida de eliminação variando entre 1 a 6 dias, cerca de 11% da dose ingerida é excretada pela urina e fezes sob forma inalterada e 7% sob a forma de Norfluoxetina (UNCETA *et al.*, 2008). Desse modo, após a primeira semana de uso, aproximadamente 2,2 mg de Fluoxetina são expelidos do organismo ao esgoto residencial diariamente.

No entanto, é possível que outras substâncias presentes no esgoto tratado, assim como na água antes e após o tratamento, que absorvem radiação eletromagnética na região ultravioleta do espectro em comprimentos de onda similares ao do Cloridrato de Fluoxetina (227 nm), também estejam sendo em parte quantificadas. Entre elas, se tem conhecimento de medicamentos antidepressivos, hormônios, antibióticos e herbicidas utilizados para o plantio, os quais podem ser vistos no Quadro 4. Isso explicaria a concentração exorbitante encontrada nos três pontos de coleta, a qual foi consideravelmente maior que a diagnosticada na literatura, tal como exposto no Quadro 2.

**Quadro 4 - Picos de detecção de algumas substâncias poluentes**

Classe	Substância	Pico de detecção	Citação
Antibiótico	Amoxicilina	230 nm	WAGNER, M. C., 2016
Antidepressivo	Citalopram	239 nm	MENEGOLA, J, 2007, KALINOSKI, A., 2019
Herbicida	Atrazina	221 nm	BALESTEROS, M. R., 2009
Herbicida	Glifosato	206 nm	PEITER, G. C., 2017
Herbicida	2,4-D Amina	201 nm	SOUZA <i>et al.</i> , 2012
Hormônio	Estriol	230 nm	TEIXEIRA <i>et al.</i> , 2018
Hormônio	Estrona	230 nm	TEIXEIRA <i>et al.</i> , 2018
Hormônio	17- $\alpha$ -etinilestradiol	230 nm	TEIXEIRA <i>et al.</i> , 2018
Hormônio	17- $\beta$ -estradiol	230 nm	TEIXEIRA <i>et al.</i> , 2018

**Fonte: Autoria própria (2022)**

O frequente uso dos herbicidas citados no Quadro 4 e o montante de chuvas que antecedeu a coleta do mês de maio de 2022, como explícito no The Weather Channel (2022), podem, simultaneamente, explicar o aumento de concentração aferido nos Pontos 1 e 2. De acordo com Spadotto (2006), as condições

meteorológicas têm uma grande influência no transporte e perda de agrotóxicos, que ocorrem através do escoamento superficial e da percolação da água no solo. Em vista disso, o volume, a frequência e a intensidade das chuvas afetam o destino dessas substâncias no meio ambiente, conduzindo-as por lixiviação aos lençóis freáticos das águas subterrâneas e promovendo a contaminação de fontes utilizadas para consumo humano. Como resultado, o aumento de poluentes em águas naturais se mostra evidente tanto antes quanto após o seu tratamento nas ETA's.

Na Tabela 4, são mostrados os parâmetros de precisão do método para os Pontos 1, 2 e 3, respectivamente. Nela, tem-se a  $C_{\text{média experimental}}$ , que representa a concentração média calculada por dez leituras de absorvância da amostra em solução estoque de Cloridrato de Fluoxetina de 0,67, 2,00 e 5,33  $\text{mg.L}^{-1}$ . Também, o desvio padrão e o desvio padrão relativo (DPR) dos valores de  $C_{\text{média experimental}}$ , por meio do qual o método pode ser avaliado quanto à repetibilidade.

**Tabela 4 - Parâmetros de precisão para a Fluoxetina nos Pontos 1, 2 e 3**

<b>Ponto 1</b>				
<b><math>C_{\text{teórica}} (\text{mg.L}^{-1})</math></b>	<b><math>C_{\text{média experimental}} (\text{mg.L}^{-1})</math></b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>DPR (%)</b>	
0,67	0,52	0,026	5,095	
2,00	1,82	0,014	0,761	
5,33	5,32	0,024	0,457	
<b>Ponto 2</b>				
<b><math>C_{\text{teórica}} (\text{mg.L}^{-1})</math></b>	<b><math>C_{\text{média experimental}} (\text{mg.L}^{-1})</math></b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>DPR (%)</b>	
0,67	0,64	0,024	3,854	
2,00	1,90	0,050	2,602	
5,33	5,31	0,053	1,004	
<b>Ponto 3</b>				
<b><math>C_{\text{teórica}} (\text{mg.L}^{-1})</math></b>	<b><math>C_{\text{média experimental}} (\text{mg.L}^{-1})</math></b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>DPR (%)</b>	
0,67	0,64	0,024	3,716	
2,00	1,94	0,024	1,254	
5,33	5,36	0,027	0,504	

**Fonte: Autoria própria (2022)**

De acordo com os critérios sugeridos pela Official Methods of Analysis (AOAC), que são adotados pelo INMETRO para a aceitação da repetibilidade, um método é preciso quando o desvio padrão relativo (DPR) para concentrações traço de até 1 ppm e 10 ppm é menor ou igual a 11% e 7,3 %, de modo respectivo (AOAC, 2016). Logo, ao analisar os dados para a Fluoxetina nos três pontos de coleta, nota-se que o DPR é menor que o limite máximo permitido nas concentrações de estudo. Assim, o método pode ser dito como preciso para ambas as matrizes.

Na Tabela 5, são mostrados os parâmetros de exatidão do método para os Pontos 1, 2 e 3, respectivamente. Nela, tem-se a  $C_{\text{média experimental}}$ , que simboliza a

concentração média calculada por três leituras de absorvância da amostra em solução estoque de Cloridrato de Fluoxetina de 0,33, 1,67 e 3,33 mg.L<sup>-1</sup>, e a recuperação de cada concentração teórica, estimada por (8).

**Tabela 5 - Parâmetros de exatidão para a Fluoxetina nos Pontos 1, 2 e 3**

Ponto 1		
C <sub>teórica</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	C <sub>média experimental</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	Recuperação (%)
0,33	0,31	92,61
1,67	1,75	104,68
3,33	3,44	103,16
Ponto 2		
C <sub>teórica</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	C <sub>média experimental</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	Recuperação (%)
0,33	0,34	102,25
1,67	1,64	98,38
3,33	3,35	100,62
Ponto 3		
C <sub>teórica</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	C <sub>média experimental</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	Recuperação (%)
0,33	0,35	104,48
1,67	1,46	87,67
3,33	3,05	91,56

Fonte: Autoria própria (2022)

De acordo com os critérios sugeridos pela AOAC, um método é exato quando a recuperação para concentrações traço de até 1 ppm ou 10 ppm está inclusa entre 80 e 110% (AOAC, 2016). Baseando-se nesse intervalo e nos valores de recuperação dados na Tabela 5, nota-se que o método pode ser dito como exato para os três pontos de interesse.

## 5.2 Tratamento da água com carvão ativado

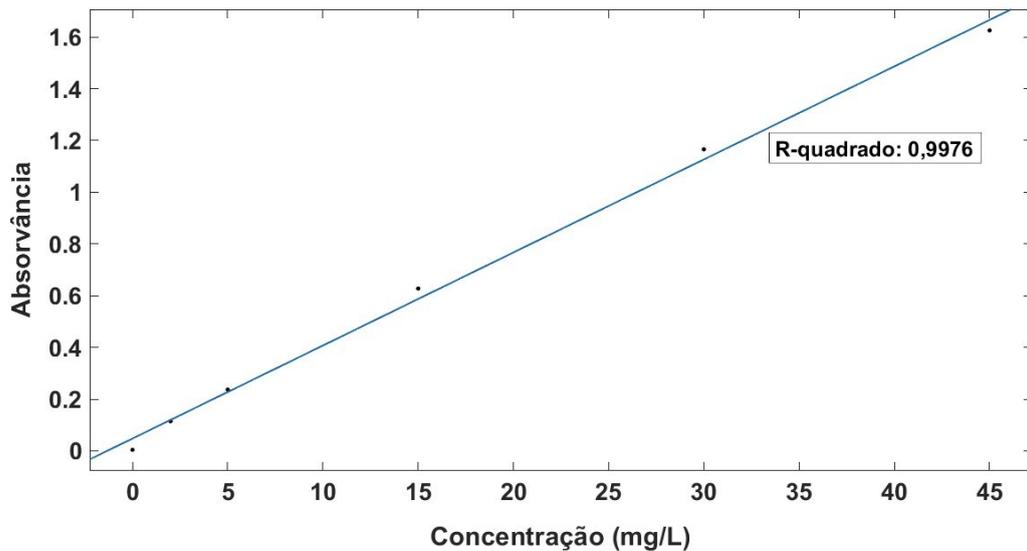
Após iniciado o sistema de filtração em leito fixo, amostras do filtrado foram coletadas em períodos pré-determinados de tempo de operação e analisadas imediatamente. A absorvância da solução na saída do equipamento foi, então, relacionada com a sua concentração por meio da curva de calibração de padrão externo do Cloridrato de Fluoxetina, obtida experimentalmente e plotada no Gráfico 2. Devido à correlação linear de seus pontos, obteve-se a reta que fundamentou os cálculos de concentração do medicamento ao longo do experimento, dada por (10). Os dados de absorvância, concentração e a relação C/C<sub>0</sub> estão disponíveis no Quadro 5, no apêndice.

O tempo no qual o processo de filtração permaneceu ativo não foi suficiente para a total saturação do adsorvente da coluna, a qual ocorre em C/C<sub>0</sub> igual a 1. Sendo

assim, após percorrido 8 horas de processamento, a concentração de saída do filtrado admitiu um valor de, aproximadamente, 80% da sua concentração inicial. No Gráfico 3, pode-se visualizar a curva de *breakthrough* do carvão ativado.

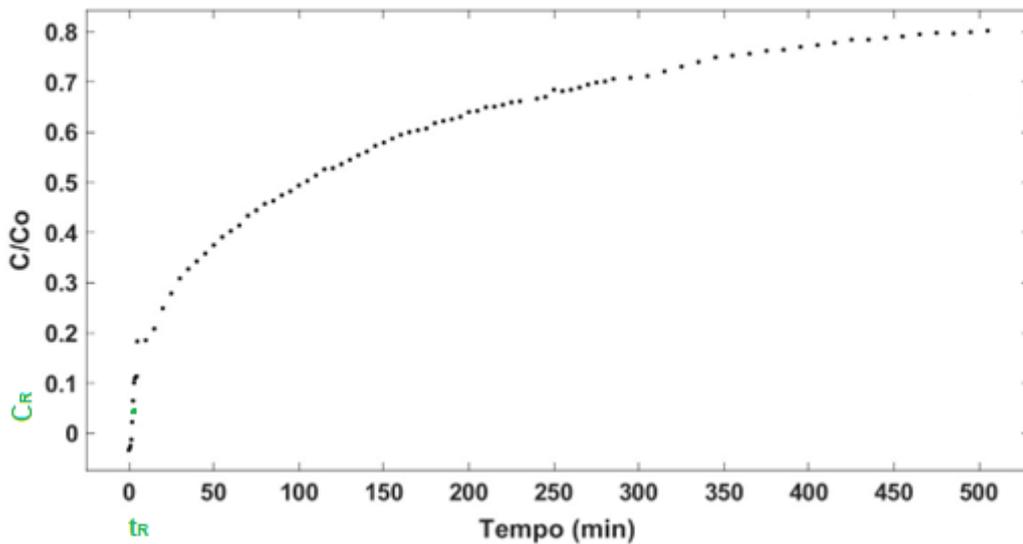
$$A = 0,036.C + 0,0477 \quad (10)$$

Gráfico 2 - Curva de calibração de padrão externo da Fluoxetina



Fonte: Autoria própria (2022)

Gráfico 3 - Curva de *breakthrough* do carvão ativado

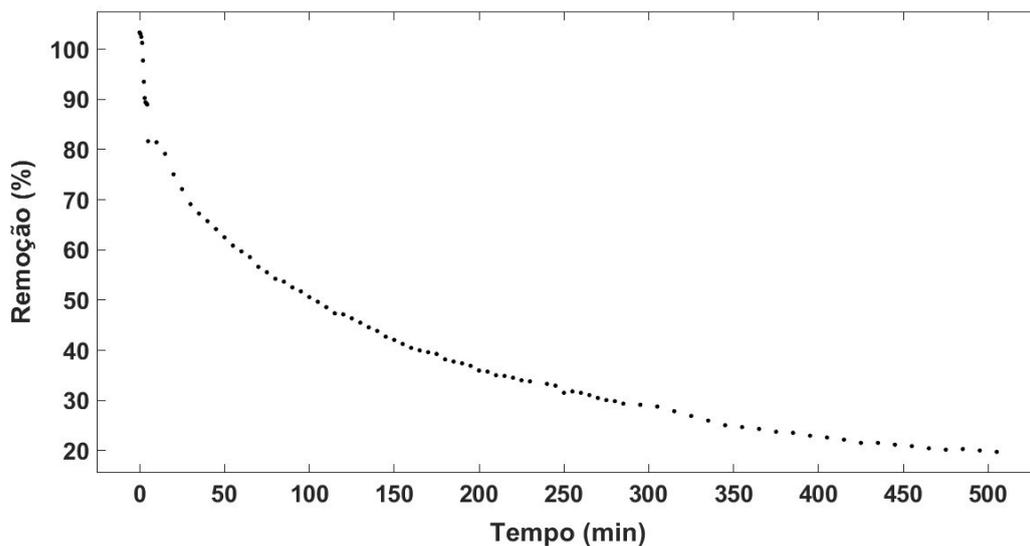


Fonte: Autoria própria (2022)

Por meio da curva no Gráfico 3, é possível analisar que a ruptura do leito, dada em  $C/C_0$  igual a 0,05, ocorreu quase imediatamente após início da filtração, aos 2

primeiros minutos do processo, com  $C_R$  de  $1,94 \text{ mg.L}^{-1}$ , como destacado em verde. Ao final do experimento, com pouco mais de 80% de sua concentração inicial, a concentração de saída da solução de Fluoxetina admitiu um valor de  $31,06 \text{ mg.L}^{-1}$ . Sendo assim, com base em (9) e nos tempos de operação expostos na curva de *breakthrough*, plotou-se a curva que relaciona a porcentagem de remoção do fármaco em função do tempo, representada no Gráfico 4. Os dados de seus pontos podem ser melhor visualizados no Quadro 5, no apêndice.

**Gráfico 4 - Porcentagem de remoção de Fluoxetina em função do tempo**



Fonte: Autoria própria (2022)

Pelo Gráfico 4, observa-se que a porcentagem de remoção de Fluoxetina na solução é bastante elevada nos minutos iniciais da filtração, diminuindo consideravelmente em função do tempo. Isso ocorre porque, ao atingir a camada superior da coluna, os poluentes são adsorvidos rapidamente e o efluente na saída do leito está praticamente livre de soluto. Por conta disso, o carvão ativado localizado no topo do equipamento começa a se saturar e a adsorção, nesse ponto, ocorre em uma estreita zona de transferência de massa (ZTM). Conforme o líquido permeia o leito, a ZTM vai se movimentando para baixo e, com o tempo, todos os sítios ativos do material adsorvente ficam indisponíveis. Nesse momento, a taxa de remoção de partículas é nula e a concentração de saída do filtro é igual a de entrada (MACHADO, 2013).

Após contabilizadas as 8 horas de prática, o filtro foi desmontado e seu refil foi aberto, permitindo que o carvão ativado empacotado pudesse ser analisado. O leito

do material, visto na Fotografia 2, foi medido e preenchido com água destilada, sendo avaliado quanto ao seu volume ( $V_L$ ) e ao volume de espaços vazios ( $V_z$ ) em seu interior. Posteriormente, o carvão foi seco em estufa, à 100°C, por cerca de 4 horas. Então, a massa do adsorvente foi pesada.

**Fotografia 2 - Carvão ativado empacotado**



Fonte: Autoria própria (2022)

Por meio de (3) e (4) e das grandezas físicas obtidas experimentalmente para o adsorvente, a porosidade do leito e a densidade aparente do carvão ativado empacotado foram calculadas. Ambos são dados na Tabela 6.

**Tabela 6 - Grandezas físicas do carvão ativado empacotado**

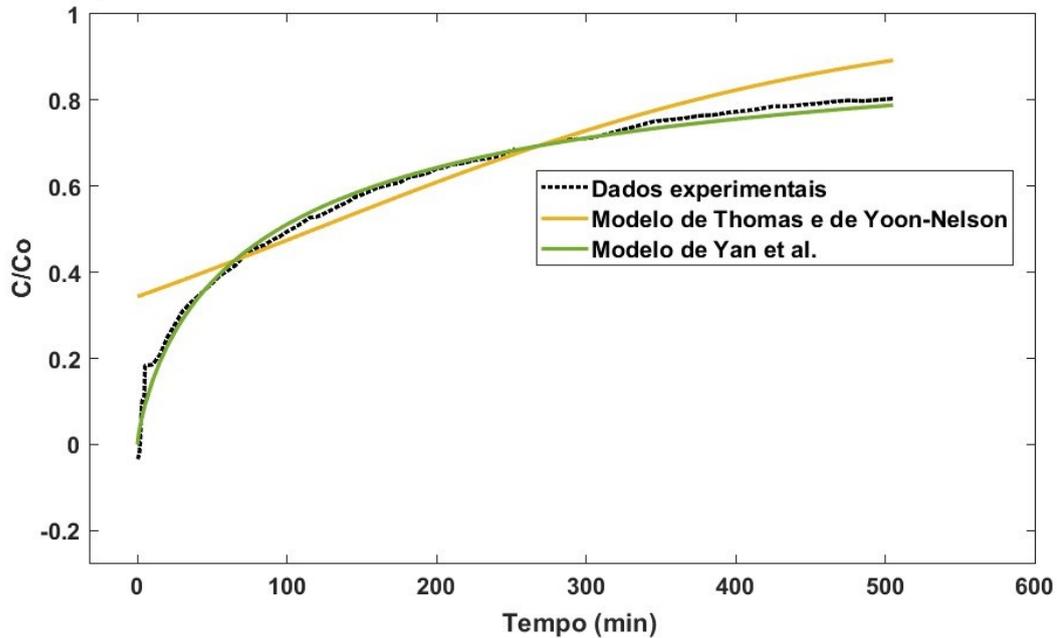
Grandeza	$V_L$ (L)	$V_z$ (L)	$\epsilon_L$	m (g)	$\rho_A$ (g.L <sup>-1</sup> )
Valor	0,1749	0,0365	0,207	42,19	240

Fonte: Autoria própria (2022)

Tendo isso e os dados de  $C/C_0$  em função de  $t$ , representados no Quadro 5, como base, as expressões de Thomas, Yoon-Nelson e Yan *et al.* foram implementadas no *software* MATLAB, com o auxílio da extensão *Curve Fitter*. No Gráfico 5, são apresentadas as curvas oriundas do ajuste de cada um dos três modelos e, na Tabela 7, pode ser avaliado o valor obtido para os parâmetros

particulares de cada equação, assim como a raiz quadrada do erro-médio (RMSE) e o coeficiente de determinação do ajuste dos dados.

**Gráfico 5 - Ajuste dos modelos de Thomas, Yoon-Nelson e Yan *et al.* aos dados experimentais**



Fonte: Autoria própria (2022).

**Tabela 7 - Parâmetros dos modelos de Thomas, Yoon-Nelson e Yan *et al.***

Modelo de Thomas		Modelo de Yoon-Nelson		Modelo de Yan <i>et al.</i>	
R <sup>2</sup>	0,9922	R <sup>2</sup>	0,9922	R <sup>2</sup>	0,9929
RMSE	0,020917	RMSE	0,020917	RMSE	0,020001
k <sub>T</sub> (L.mg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	0,0001409	k <sub>YN</sub> (min <sup>-1</sup> )	0,0731	α <sub>Y</sub>	0,7811
q <sub>T</sub> (mg.g <sup>-1</sup> )	2,727	q <sub>YN</sub> (mg.g <sup>-1</sup> )	2,727	q <sub>Y</sub> (mg.g <sup>-1</sup> )	3860

Fonte: Autoria própria (2022)

Por meio do Gráfico 5 e da Tabela 7, nota-se que os modelos de Thomas e de Yoon-Nelson, além de promoverem um ajuste com tendência linear aos dados cinéticos de adsorção, também apresentaram o mesmo comportamento, com valores idênticos de R<sup>2</sup> e de RMSE. Esse fenômeno pode ser explicado pelo incremento extremamente elevado de concentração na saída da coluna ainda no início da operação, o qual ocorreu abruptamente. Devido a isso, as equações não conseguiram englobar os pontos iniciais da curva de *breakthrough* do carvão ativado e prosseguiram o ajuste com os dados intermediários de C/C<sub>0</sub> em função do tempo. Logo, a modelagem não foi adequada.

Todavia, é pertinente observar que cada modelo foi desenvolvido com uma finalidade. O modelo de Yoon-Nelson, segundo os autores, é aplicável à investigação

da saturação de vapores e adsorvatos gasosos em sistemas de componente único (YOON, NELSON, 1984). Já o modelo de Thomas foi fundamentado para processos limitados pela cinética de adsorção, não sendo ideal àqueles cuja etapa predominante é a transferência de massa externa (THOMAS, 1944, SILVA, 2015). Sendo assim, como a adsorção na coluna ocorreu em multicomponentes sólidos e o empacotamento do carvão ativado no leito restringiu a passagem do soluto na interface do adsorvente, ambas as expressões são passíveis a erros quando ajustadas.

Por sua vez, o modelo de Yan *et al.* foi fundamentado justamente com o intuito de amenizar desvios causados por tempos atípicos de operação e de evitar interferências produzidas pelo modelo de Thomas (YAN *et al.*, 2001). Desse modo, decorreu em um melhor ajuste aos dados experimentais, sendo capaz de abranger grande parte dos pontos iniciais e finais do experimento. Como efeito, seu ajuste resultou em um coeficiente de determinação mais elevado e em um menor erro médio quando comparado aos dois primeiros modelos cinéticos.

Portanto, considerando um nível de confiança de 95%, a constante exponencial de Yan *et al.*, derivada da junção de alguns dos elementos do modelo de Thomas, foi igual a 0,7811. Já a capacidade de saturação do leito, como observado na Tabela 7, foi de 3860 mg.g<sup>-1</sup>, ou 3,86 g.g<sup>-1</sup>. Tais parâmetros, dadas algumas das variáveis descritas pela expressão matemática de Yan *et al.*, podem ser utilizados para projetar colunas de adsorção de carvão ativado empacotado em leito fixo. A exemplo, pode-se determinar o tempo total do processo, a massa de adsorvente e a concentração final da solução com base nas características e critérios operacionais desejados. Sendo assim, para a completa adsorção da coluna de leito fixo avaliada nesse trabalho, cerca de 57 dias de operação contínua deveriam ser requeridos.

A capacidade do leito obtida pela modelagem da equação descrita por Yan *et al.*, em comparação com a literatura, foi bastante elevada. Ribas (2016), ao avaliar a eficiência de tratamento do corante Violeta Reativo 5 por coluna de leito fixo de carvão ativado, obteve uma remoção de 603,3 mg.g<sup>-1</sup> para o carvão produzido a partir de caroço de cacau e de 517,1 mg.g<sup>-1</sup> para o carvão ativado comercial (CAC). Esse parâmetro, quando avaliado por Soletto *et al.* (2013) na adsorção do antibiótico Flumequina em CAC, foi igual a 222,7 mg.g<sup>-1</sup>. Já Ferreira (2018) alcançou um valor máximo de 648,51 mg.g<sup>-1</sup> para a remoção de Azul de Metileno por carvão ativado de borra de café.

Apesar dessa característica, a rapidez com a qual a coluna entrou em ruptura e a performance da curva de *breakthrough* não se mostraram favoráveis. Tais fenômenos podem ser explicados por dois fatores: o empacotamento do carvão ativado no leito e a elevada vazão da água na saída do filtro doméstico. Quando empacotado, como visto na Fotografia 2, a área de contato do líquido com o adsorvente é diminuída e a difusão nos macroporos se torna dificultada, já que os grânulos do material estão extremamente compactados. Segundo Ferraz e Lisbôa (2011), o carvão ativado granular, além de ser mais utilizado, também se mostra mais eficiente e é o mais recomendado para o tratamento de efluentes.

Além disso, quando se trabalha com vazões de saída elevadas, como foi o caso da aplicada ao filtro doméstico em laboratório, o fluido não possui tempo de residência suficiente na coluna para que a adsorção ocorra de maneira favorável (FERRAZ, LISBÔA, 2011). Por meio desse aspecto, houve indícios da existência de caminhos preferenciais no leito, os quais podem ser observados pelo acúmulo de Cloridrato de Fluoxetina em algumas regiões do carvão ativado, dadas pela coloração esbranquiçada (GARCIA, 2014). De acordo com Figueiredo (2014), a aplicação de fluxo descendente na entrada do equipamento também pode aumentar a formação de tais caminhos e afetar a adsorção.

A vazão de saída aplicada em filtros domésticos, dada a pressão da água no encanamento residencial, é consideravelmente maior que a empregada nesse trabalho. Mesmo admitindo que grande parte desses equipamentos são planejados de forma a gerar um fluxo ascendente de líquido, o processo de adsorção ao qual são direcionados não é eficiente. Logo, sua utilização é compreendida na remoção de sólidos suspensos e na redução de partículas na água, não se mostrando efetiva na adsorção de substâncias micropoluentes, como é o caso dos antidepressivos.

A fim de comprovar essa afirmação, o tempo real de ruptura do carvão ativado no filtro doméstico foi calculado. Para isso, assumiu-se que uma concentração de Fluoxetina de  $2,02 \text{ mg.L}^{-1}$  está de fato presente na água potável, tal qual obtido analiticamente. Como fluxo volumétrico do filtro, utilizou-se o valor máximo de  $0,5 \text{ L.min}^{-1}$ , da mesma maneira como apresentado em sua embalagem. Logo, tendo em vista a massa do adsorvente e os parâmetros de Yan *et al.* anteriormente calculados, quando  $C/C_0$  fosse igual a 0,05,  $t_R$  ocorreria em, aproximadamente, 62 horas. Ou seja, a vida útil do equipamento, nessas condições e considerando uma remoção eficiente do fármaco da água tratada, seria de menos de 3 dias.

Sendo assim, caso a concentração média quantificada na água tratada seja, completa ou parcialmente, de Cloridrato de Fluoxetina, é possível que parte dela esteja sendo indiretamente consumida pela população. Como consequência a essa ingestão equivocada, inúmeros problemas relacionados à saúde humana podem ser causados com o tempo. Entre eles, é plausível citar ansiedade, oscilações no humor, insônia e reações alérgicas em pessoas sensíveis aos princípios ativos do medicamento. Ademais, a própria dependência (RAMOS, 2016, LEONARDI, 2019, RANGEL, 2019).

## 6 CONCLUSÃO

Com base nos parâmetros de validação evidenciados, o método derivado do descrito pela Farmacopeia Brasileira pôde ser aplicado para a quantificação de Cloridrato de Fluoxetina em matrizes de água e em esgoto líquido, mostrando-se replicável. Por intermédio dele, as concentrações médias resultantes do fármaco foram de  $4,42 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $2,02 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $24,90 \text{ mg.L}^{-1}$  nos Pontos 1, 2 e 3, respectivamente. Todavia, substâncias que absorvem radiação eletromagnética na região ultravioleta do espectro em comprimentos de onda iguais ou similares a 227 nm, tais como hormônios e herbicidas de uso comum, podem ter influenciado na contabilização real da droga nas matrizes.

Quanto ao tratamento terciário da água pelo filtro doméstico, houve um aumento de concentração de Fluoxetina na saída do leito bastante elevado ainda nos períodos iniciais da operação. Por conta disso, o ponto de ruptura do carvão ativado na curva de *breakthrough* ocorreu nos primeiros 2 minutos do experimento, resultando em um  $C_R$  igual a  $1,94 \text{ mg.L}^{-1}$ . Todavia, a saturação do leito não pôde ser evidenciada nas 8 horas de filtração contínua, havendo a necessidade de cerca de 57 dias de prática para a sua obtenção, tal como previsto pela modelagem matemática.

A cinética de adsorção da coluna de leito fixo foi melhor descrita pelo modelo de Yan *et al.*, devido à funcionalidade da expressão em sistemas com tempos atípicos de operação. Assim, a constante exponencial  $\alpha_Y$  foi igual a 0,7811 e a capacidade máxima do leito,  $q_Y$ , foi de  $3,86 \text{ g.g}^{-1}$ . Tais parâmetros podem ser úteis ao projeto de colunas de carvão ativado empacotado em leito fixo, dadas as características e critérios operacionais necessários, para o cálculo de uma gama de variáveis.

No entanto, devido ao empacotamento do carvão ativado no leito e à elevada vazão de saída no sistema de filtração, os filtros domésticos convencionais não são eficientes quanto à adsorção de substâncias micropoluentes. Isso é comprovado pela vida útil dos equipamentos, a qual seria inferior a 3 dias caso a concentração de Fluoxetina na água tratada fosse, verdadeiramente, de  $2,02 \text{ mg.L}^{-1}$ . Assim, sua aplicação é fundamentada apenas na remoção de sólidos suspensos e na redução de partículas da água potável, não à eliminação de resíduos de medicamentos antidepressivos.

## REFERÊNCIAS

- ALTMANN, J. *et al.* **Combination of granular activated carbon adsorption and deep-bed filtration as a single advanced wastewater treatment step for organic micropollutant and phosphorus removal.** *Water Research*, v. 92, p. 131-139, 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras.** Brasília, 2011.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Farmacopeia Brasileira.** Brasília, ed. 5, v. 2, 2010.
- ANSARI, R. *et al.* **Activated charcoal: preparation, characterization and Applications: A review article.** *International Journal of ChemTech Research*, v.1, n. 4, p. 859-864, 2009.
- ARMELIN, R. L. **Remoção de íons fosfato de efluentes industriais por adsorção.** Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, Lorena, 2011.
- BALESTEROS, M. R. **Desenvolvimento e otimização de metodologia para análise de atrazina e seus subprodutos de degradação por cromatografia líquida de alta eficiência e eletroforese capilar.** Dissertação (Mestrado) – Curso de Química, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.
- BECK, A. T., ALFORD, B. A. **Depression: causes and treatment.** Editora Artmed, ed. 2, 2011.
- BIRCH, G. F. *et al.* **Emerging contaminants (pharmaceuticals, personal care products, a food additive and pesticides) in waters of Sydney estuary, Australia.** *Marine Pollution Bulletin*, 2015.
- BITTENCOURT, S. C., CAPONI, S., MALUF, S. **Medicamentos antidepressivos: inserção na prática biomédica (1941 a 2006) a partir da divulgação em um livro-texto de farmacologia.** *Jornal Mana*, v.19, s. 2, p. 219-247, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/mana/v19n2/a01v19n2.pdf>. Acesso em: 28 de out. de 2021.
- BORRELY, S. I. *et al.* **Contaminação das águas por resíduos de medicamentos: ênfase ao Cloridrato de Fluoxetina.** *O Mundo da Saúde*, São Paulo, 2012. Disponível em: [http://www.saocamilo-sp.br/pdf/mundo\\_saude/97/03.pdf](http://www.saocamilo-sp.br/pdf/mundo_saude/97/03.pdf). Acesso em: 29 de set. de 2021.
- BRAGA, B. *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável.** Editora Pearson Universidades, ed. 2, 336 p., 6 de abril de 2005.
- BRASIL. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021.** Diário Oficial da União (DOU), ed. 85, s. 1, p. 127, 7 de maio de 2021. Disponível em:

<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 4 de nov. de 2021.

BRASIL. **Mortalidade por suicídio e notificações de lesões autoprovocadas no Brasil**. Boletim Epidemiológico, Secretaria de Vigilância em Saúde, Ministério da Saúde, v. 52, n. 33, 17 de setembro de 2021.

BRINGOLF, R. B. *et al.* **Environmental occurrence and reproductive effects of the pharmaceutical fluoxetine in native freshwater mussels**. Environmental Toxicology and Chemistry, v. 29, n. 6, p. 1311-1318, 2010.

BROOKS, B. W. *et al.* **Determination of select antidepressants in fish from an effluent-dominated stream**. Environ. Toxicol. Chem. v. 24, 2005.

CAMATTI, A. *et al.* **As diferentes formas de tratar um efluente industrial**. Revista Tecnológica, v. 3, n. 2, p. 17-85, setembro de 2015.

CANTELI, A. M. D. **Adsorção de corante por um biossorvente obtido do casulo do bicho-da-seda (*Bombyx mori*): experimentos e modelagem**. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

CARBALLA, M. *et al.* **Comparison of predicted and measured concentrations of selected pharmaceuticals, fragrances and hormones in Spanish sewage**. Chemosphere, v. 72, p. 1118–1123, 2008.

CARVALHO, A. C. C. **A presença de fármacos e cafeína em água superficial e destinada ao consumo humano**. Tese (Doutorado) – Curso de Ciências, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, 2020.

CENTRE FOR ADDICTION AND MENTAL HEALTH (CAMH). **Antidepressant medications**. 2012. Disponível em: <https://www.camh.ca/en/health-info/mental-illness-and-addiction-index/antidepressant-medications>. Acesso em: 28 de out. de 2021.

CHON, K. *et al.* **A pilot-scale hybrid municipal wastewater reclamation system using combined coagulation and disk filtration, ultrafiltration, and reverse osmosis: removal of nutrients and micropollutants, and characterization of membrane foulants**. Bioresource Technology, v. 141, p. 109-116, 2013.

CLARK, H. L. M. **Remoção de fenilalanina por adsorvente produzido a partir da torta prensada de grãos defeituosos de café**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CLORIDRATO DE FLUOXETINA: cápsulas. Responsável técnico Andreia Cavalcante Silva. Anápolis (GO): Teuto Brasileiro S/A, 2016. 1 bula de remédio (4 p.)

CONSELHO FEDERAL DE FARMÁCIA (CFF). **Vendas de medicamentos para depressão aumentaram 13% este ano**. 30 de julho de 2021. Disponível em: <https://www.cff.org.br/noticia.php?id=6428&titulo=Vendas+de+medicamentos+para+depress%C3%A3o+aumentaram+13%25+este+ano>. Acesso em: 8 de mar. de 2022.

CORTEZ, F. S. **Estudo ecotoxicológico de contaminantes de preocupação emergente na baía de Santos, SP**. Tese (Doutorado) – Curso de Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, São Vicente, 2018.

COSTA JUNIOR, I. L. *et al.* **Occurrence of antidepressant drugs in the environment - a review**. Revista Virtual de Química, s. 1, v. 6, n. 5, p.1408-1431, 2014. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20140092>. Acesso em: 4 de nov. de 2021.

CRESPO DE SOUZA, C. A. **Histórico dos antidepressivos, novos compostos e precauções - parte 1**. Psychiatry On Line Brasil, v. 18, n. 5, maio de 2013. Disponível em: <https://www.polbr.med.br/ano13/art0513.php>. Acesso em: 29 de out. de 2021.

CRUZ, A. F. P. *et al.* **Fármacos antidepressivos: prevalência, perfil e conhecimento da população usuária**. Brazilian Journal of Health and Pharmacy, v. 2, n. 2, 2020.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. Editora Oficina de Textos, ed. 4, 2013.

DJORDJEVIC, S. *et al.* **Liquid chromatographic-mass spectrometric method for the determination of fluoxetine and norfluoxetine in human plasma: application to clinical study**. Il Farmaco, v. 60, p. 345-349, 2005.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). **Urban waste water treatment in Europe**. 2020. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/urban-waste-water-treatment/urban-waste-water-treatment-assessment-5>. Acesso em: 13 de mar. de 2022.

FERNANDES, M. J. *et al.* **Antibiotics and antidepressants occurrence in surface waters and sediments collected in the north of Portugal**. Chemosphere, v. 239, 2020.

FERRAZ, D. L. L., LISBÔA, A. C. L. **Adsorção de fenóis em leito fixo de carvão ativado granular**. Enciclopédia Biosfera, v. 7, n. 12, Goiânia, 2011.

FERREIRA, G. W. **Modelagem da remoção de azul de metileno por carvão ativado de borra de café em micro coluna de leito fixo**. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

FIGUEIREDO, R. **Contaminantes emergentes podem ser uma ameaça na água para consumo humano**. Embrapa, 23 de março de 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/32796742/contaminantes-emergentes-podem-ser-uma-ameaca-na-agua-para-consumo-humano>. Acesso em: 4 de nov. de 2021.

FIGUEIREDO, R. S. **Estudo da adsorção de manganês em batelada e coluna de leito fixo utilizando zeólita sintética**. Dissertação – Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

FRANCO, M. A. E. **Adsorção de fármacos em carvão ativado: processo em batelada, leito fixo e modelagem das curvas de ruptura**. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

GARCIA, N. *et al.* **The cost and performance of an MF-RO/NF plant for trace metal removal**. *Desalination*, v. 309, p. 181-186, 2013.

GARCIA, C. G. **Montagem e operação de unidade de adsorção em leito fixo para remoção de H<sub>2</sub>S de corrente gasosa**. Dissertação – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

GARCIA, W. L. T. **Depressão: corpo, mente e alma**. ed. 2, Uberlândia (MG), 2010.

GEHLING, G. **IPH 02058: Tratamento de água e esgoto**. Cap. 7. Curso de Engenharia Hídrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, maio de 2017. Disponível em: [http://avasan.com.br/pdf/cap7\\_agua\\_filtros.pdf](http://avasan.com.br/pdf/cap7_agua_filtros.pdf). Acesso em: 25 de set. de 2021.

GIGLIOTTI, A. IBGE: crescimento da depressão é realidade no Brasil. **Manual de sobrevivência no século XXI**. Veja Rio, 24 de novembro de 2020. Disponível em: <https://vejario.abril.com.br/blog/manual-de-sobrevivencia-no-seculo-21/ibge-crescimento-depressao-brasil/>. Acesso em: 25 de out. de 2021.

GREENWALD M. J., REDDING A. M., CANNON F. S. **A rapid kinetic dye test to predict the adsorption of 2-methylisoborneol onto granular activated carbons and to identify the influence of pore volume distributions**. *Water Research*, v. 68, p. 784–792, 2015.

GORGOZINHO, G. O. **Eficiência da utilização de bactérias no processo de tratamento de efluentes (ETE)**. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Ciências Biológicas, Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix, Belo Horizonte, 2010.

GUILARDUCI, V. V. S. *et al.* **Adsorção de fenol sobre carvão ativado em meio alcalino**. *Química Nova*, s. 1, v. 29, n. 6, 1226-1232, 2006. Disponível em: [http://static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/Vol29No6\\_1226\\_14-AR05422.pdf](http://static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/Vol29No6_1226_14-AR05422.pdf). Acesso em: 28 de set. de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Percepção do estado de saúde, estilos de vida, doenças crônicas e saúde bucal**. Pesquisa Nacional de Saúde, Brasil, 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **DOQ-CGCRE-008**. Orientação sobre validação de métodos analíticos, rev. 9, junho de 2020.

INSTITUTE FOR HEALTH METRICS AND EVALUATION (IHME). **Life expectancy data is available under the all causes mortality context**. Global Health Data Exchange (GHDx), 2019. Disponível em: <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool?params=gbd-api-2019-permalink/d780dffbe8a381b25e1416884959e88b>. Acesso em: 13 de mar. de 2022.

IVANOV, I. **Poluentes emergentes**: mais um desafio para o meio ambiente. Portal LimnoNews, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://limnonews.wordpress.com/2018/04/05/poluentes-emergentes-mais-um-desafio-para-o-meio-ambiente/>. Acesso em: 30 de set. de 2021.

JESUS, T. **Poluentes emergentes**. UFU Sustentável, Universidade Federal de Uberlândia, 28 de agosto de 2020. Disponível em: <http://www.sustentavel.ufu.br/node/483>. Acesso em: 4 de nov. de 2021.

KALINOSKI, A. **Utilização de carvão ativado de estróbilo masculino de *Araucaria Angustifolia* para o tratamento de efluentes contaminados com antidepressivos**. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.

KALTENBOECK, A., HARMER, C. **The neuroscience of depressive disorders: a brief review of the past and some considerations about the future**. *Brain and Neuroscience Advances*, v. 2, p. 1-6, 2018.

KÅRELID, V. *et al.* **Pilot-scale removal of pharmaceuticals in municipal wastewater**: comparison of granular and powdered activated carbon treatment at three wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Management*, v. 193, p. 491-502, 2017.

KOLPIN D. W. *et al.* **Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in U.S. streams, 1999-2000: a national reconnaissance**. *Environ. Sci. Technol.*, v. 36, p. 1202-1211, 2002.

KRAHNSTÖVER, T., WINTGENS, T. **Separating powdered activated carbon (PAC) from wastewater** - technical process options and assessment of removal efficiency. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 6, p. 5744-5762, 2018.

LANNES, A. S. **Uso de antidepressivos na infância e adolescência**. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Farmácia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2018.

LARANJEIRA, D. R. A. S. **Avaliação do risco ambiental da fluoxetina em sedimentos marinhos para invertebrados aquáticos**. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nuclear, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

LEONARDI, E. **Atenção farmacêutica em psicofármacos**. Instituto de Ciência, Tecnologia e Qualidade (ICTQ), 16 de abril de 2019. Disponível em: <https://ictq.com.br/varejo-farmaceutico/915-atencao-farmaceutica-em-psicofarmacos>. Acesso em: 31 de out. de 2021.

LUZ, A. D. **Aplicação de coluna de adsorção em leito fixo para a remoção de compostos BTX multicomponentes presentes em efluentes petroquímicos**. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

LUZ, C. E., FERNANDEZ, O. V. Q. **Variação longitudinal dos parâmetros estatísticos granulométricos nos sedimentos de fundo no Rio Marrecas, região sudoeste do Paraná**. Rev. Geogr. Acadêmica, v. 8, n. 2, p. 20-32, 2014.

LUZ, D. A. **Estudos de equilíbrio e dinâmica de adsorção em leito fixo para o sistema glicose / frutose em resinas catiônicas**: aplicação ao suco de caju clarificado. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

MACHADO, L. M. O. **Estudo da regeneração com NaOH em carvão ativado saturado utilizado no tratamento de efluentes de refinaria de petróleo**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

MAIN, D. **Resíduos de antidepressivos na água podem tornar lagostins mais ousados e aumentar predação**. National Geographic, 18 de junho de 2021. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/animais/2021/06/residuos-de-antidepressivos-na-agua-podem-tornar-lagostins-mais-ousados-e-aumentar-predacao>. Acesso em: 12 de mar. de 2022.

MAILLER, R. *et al.* **Study of a large scale powdered activated carbon pilot: removals of a wide range of emerging and priority micropollutants from wastewater treatment plant effluents**. Water Research, v. 72, p. 315-330, 2015.

MALHI, G. S., MANN, J. J. **Depression**. The Lancet, v. 392, p. 2299-2312, 24 de novembro de 2018.

MARCH, H, RODRÍGUEZ-REINOSO, F. **Activated carbon**. Elsevier, 536 p., 2006.

MELLIS, F. **Dia da saúde mental**: Brasil lidera rankings de depressão e ansiedade. Portal R7, 10 de outubro de 2019. Disponível em: <https://noticias.r7.com/saude/dia-da-saude-mental-brasil-lidera-rankings-de-depressao-e-ansiedade-10102019>. Acesso em: 26 de out. de 2021.

MELO, A. R. B. **Pós-tratamento de efluente de reator UASB por filtração em areia e carvão ativado**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

MEMLAK, D. M. **Aplicação de coluna de leito fixo na adsorção e dessorção mono e multicomponente de metais tóxicos presentes em água utilizando adsorvente alternativo**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade do Estado de Santa Catarina, Pinhalzinho, 2019.

MENEGOLA, J. **Citalopram: desenvolvimento e validação de métodos analíticos, perfil de dissolução, separação enantiomérica e estudo preliminar de fotoestabilidade para a forma farmacêutica comprimido**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MONTAGNER, C. C., VIDAL, C., ACAYABA, R. D. **Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios**. Quím. Nova, v. 40, n. 9, p. 1094-1110, 11 de setembro de 2017.

MOREIRA, D. R. **Desenvolvimento de adsorventes naturais para tratamento de efluentes de galvanoplastia**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Química Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, março de 2010.

MOREIRA, S. A. **Adsorção de íons metálicos de efluente aquoso usando bagaço do pedúnculo de caju: estudo de batelada e coluna de leito fixo**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

NASCIMENTO, R. F. *et al.* **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Editora UFC, ed. 2, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

NATIONAL HEALTH SERVICE (NHS). **Overview – antidepressants**. 16 de agosto de 2021. Disponível em: <https://www.nhs.uk/mental-health/talking-therapies-medicine-treatments/medicines-and-psychiatry/antidepressants/overview/>. Acesso em: 28 de out. de 2021.

NATIONAL INSTITUTE OF MENTAL HEALTH (NIMH). **Depression**. Fevereiro de 2018. Disponível em: <https://www.nimh.nih.gov/health/topics/depression>. Acesso em: 27 de out. de 2021.

OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS (AOAC). **Appendix F: Guidelines for Standard Method Performance Requirements**. p. 9, 2016.

OLIVEIRA, B. S. S., CUNHA, A. C. **Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do estado do Amapá**. Rev. Ambient. Água, v. 9, n. 2, Taubaté, 2014.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). **Aumenta o número de pessoas com depressão no mundo**. 23 de fevereiro de 2017. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/23-2-2017-aumenta-numero-pessoas-com-depressao-no-mundo>. Acesso em: 13 de mar. de 2022.

PEITER, G. C. **Desenvolvimento e validação de metodologia analítica para determinação de glifosato e AMPA em águas**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2017.

PETERS, G. **O novo espírito da depressão: imperativos de autorrealização e seus colapsos na modernidade tardia.** Civitas, v. 21, n. 1, p. 71-83, 2021.

PROCHASKA, C., ZOUBOULIS, A. **A mini-review of urban wastewater treatment in Greece: history, development and future challenges.** Sustainability, v. 12, 2020.

RAMOS, A. **Riscos e consequências da automedicação.** Associação Paulista para o Desenvolvimento da Medicina (SPDM), 15 de julho de 2016. Disponível em: <https://www.spdm.org.br/blogs/saude-em-geral/item/2296-riscos-e-consequencias-da-automedicacao>. Acesso em: 31 de out. de 2021.

RANGEL, A. **Antidepressivos causam dependência?** Blog - Psiquiatra em São Paulo | Dra. Aline Rangel, 15 de novembro de 2019. Disponível em: <https://apsiquiatra.com.br/antidepressivos/>. Acesso em: 31 de out. de 2021.

RIBAS, M. C. **Remoção de corantes têxteis pelo processo de adsorção utilizando carvão ativado produzido a partir de subprodutos agroindustriais - estudos em batelada e coluna de leito fixo.** Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

RIBEIRO, W. **Cresce mais de 20% o consumo de antidepressivos no Brasil.** Instituto de Ciência, Tecnologia e Qualidade (ICTQ), 13 de janeiro de 2020. Disponível em: <https://ictq.com.br/farmacia-clinica/1105-cresce-mais-de-20-o-consumo-de-antidepressivos-no-brasil>. Acesso em: 31 de out. de 2021.

ROGERS, K. *et al.* **Depression.** Encyclopaedia Britannica, 24 de janeiro de 2019. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/depression-psychology>. Acesso em: 28 de set. de 2021.

ROVERI, V. *et al.* **Occurrence and ecological risk assessment of pharmaceuticals and cocaine in a beach area of Guarujá, São Paulo State, Brazil, under the influence of urban surface runoff.** Environmental Science and Pollution Research, 10 de agosto de 2020.

SARMA, H., DOMÍNGUEZ, D. C., LEE, W. Y. **Emerging contaminants in the environment: challenges and sustainable practices.** Elsevier, 712 p., 8 de janeiro de 2022.

SCARATTI, D *et al.* **Influência das condições hidroclimáticas no tratamento de esgoto sanitário por lagoas de estabilização de esgoto.** Evidência, Joaçaba, v. 14, n. 2, p. 139-154, 2014.

SCHNEIDER, E. L. **Adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado.** Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

SCHULTZ, M. M. *et al.* **Antidepressant pharmaceuticals in two U.S. effluent-impacted streams: occurrence and fate in water and sediment, and selective uptake**

in fish neural tissue. *Environmental Science & Technology*, v. 44, ed. 6, p. 1918-1925, 1 de fevereiro de 2010. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/es9022706>. Acesso em: 4 de nov. de 2021.

SIAHPOOSH, M. *et al.* **Mathematical modeling of single and multi-component adsorption fixed beds to rigorously predict the mass transfer zone and breakthrough curves**. *Iran. J. Chem. Chem. Eng.*, v. 28, n. 3, 2009.

SILVA JUNIOR, I. J. **Cinética e fundamentos de transferência de massa em adsorção**. 12º Encontro Brasileiro sobre Adsorção (EBA), Gramado, 2018.

SILVA NETO, H. A. *et al.* **Adsorção em coluna de leito fixo aplicada para a pré-concentração de cádmio em amostras de água**. *Scientia Plena*, v. 14, n. 6, 2018.

SILVA, R. V. C. A. **Troca iônica em zeólita y - avaliação de modelos de curva de ruptura**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, outubro de 2015.

SILVA, S. A. S. *et al.* **Tratamento terciário de esgoto**. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Iguazu, Itaperuna, 23 de novembro de 2011.

SNYDER, S. A. *et al.* **Analytical methods used to measure endocrine disrupting compounds in water**. *Pract. Period. Hazard. Toxic Radioact. Waste Manage*, v. 7, p. 224-234, outubro de 2003.

SNYDER, S. A. **Occurrence, treatment, and toxicological relevance of edcs and pharmaceuticals in water**. *Ozone: Science and Engineering*, v. 30, p. 65-69, 4 de março de 2008.

SOARES, A. F. S., SOUZA E SOUZA, L. P. **Contaminação das águas de abastecimento público por poluentes emergentes e o direito à saúde**. *Revista de Direito Sanitário, São Paulo*, v. 20, n. 2, p. 100-133, 2019.

SOARES, G. B., CAPONI, S. **Depressão em pauta: um estudo sobre o discurso da mídia no processo de medicalização da vida**. *Interface - Comunic., Saúde, Educ.*, v. 15, n. 37, p. 437-46, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/icse/v15n37/aop0311>. Acesso em: 6 de out. de 2021.

SOARES, P. J. R. **Fluoxetina**. *Psychiatry on Line Brasil*, v. 10, n. 12, dezembro de 2005. Disponível em: <http://www.polbr.med.br/ano05/artigo1205b.php>. Acesso em: 12 de abr. 2022.

SOLETO, J. L. *et al.* **Analysis and modeling of fixed bed column operations on flumequine removal onto activated carbon: pH influence and desorption studies**. *Chemical Engineering Journal*, v. 228, p. 102-113, 2013.

SOLOMON, A. **O demônio do meio-dia: uma anatomia da depressão**. Companhia das Letras, 22 de julho de 2014.

SOUZA, L. A. *et al.* **Deposição do herbicida 2,4-D Amina com diferentes volumes e pontas de pulverização em plantas infestantes.** Revista Ciência Agrônômica, v. 43, n. 1, p. 78-85, 2012.

SPADOTTO, C. A. **Influência das condições meteorológicas no transporte de agrotóxicos no ambiente.** Boletim SBMET, Jaguariúna, abril de 2006.

SULAYMON, A. H., AHMED, K. W. **Competitive adsorption of furfural and phenolic compounds onto activated carbon in fixed bed column.** Environ. Sci. Technol., v. 42, p. 392-397, 2008.

TADINI, C. C. *et al.* **Operações unitárias na indústria de alimentos.** Grupo GEN, v. 2, 2016.

TAMBOSI, J. L. **Remoção de fármacos e avaliação de seus produtos de degradação através de tecnologias avançadas de tratamento.** Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

TEIXEIRA, R. B. *et al.* **Determinação de hormônios estrogênicos em esgoto bruto e efluente de uma estação descentralizada de tratamento por lodos ativados.** Rev. Ambient. Água, v. 13, n. 2, Taubaté, 2018.

THE WEATHER CHANNEL. **Clima para o mês – Francisco Beltrão, Paraná.** 2022. Disponível em: <https://weather.com/pt-BR/clima/mensal//Francisco+Beltr%C3%A3o+Paran%C3%A1?canonicalCityId=b404379681ab4e509cea5a362556e4d3c9e523d0a8e97f1ff3aad460a855dbc9>. Acesso em: 28 de mai. de 2022.

THOMAS, H. C. **Heterogeneous ion exchange in a flowing system.** J. Am. Chem. Soc., v. 66, n. 10, p. 1664-1666, 1944.

TRGO, M. *et al.* **Application of mathematical empirical models to dynamic removal of lead on natural zeolite clinoptilolite in a fixed bed column.** Indian Journal of Chemical Technology, v. 18, p.123-131, 2011.

UNCETA, N. *et al.* **Simultaneous determination of citalopram, fluoxetine and their main metabolites in human urine samples by solid-phase microextraction coupled with high-performance liquid chromatography.** Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, v. 46, p. 763-770, 2008.

VISMARI, L. *et al.* **Depressão, antidepressivos e sistema imune: um novo olhar sobre um velho problema.** Archives of Clinical Psychiatry, v. 35, s. 5, p. 196-204, São Paulo, 2008.

WAGNER, M. C. **Ocorrência e degradação dos fármacos amoxicilina e cafeína em esgoto doméstico e águas superficiais.** Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Depression**. 13 de setembro de 2021. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/>. Acesso em: 26 de out. de 2021.

YAN, G. *et al.* **A new model for heavy metal removal in a biosorption column**. Adsorption Science & Technology, v. 19, n. 1, 2001.

YAO, W. *et al.* **Pilot-scale evaluation of micropollutant abatements by conventional ozonation, UV/O<sub>3</sub>, and an electro-peroxone process**. Water Research, v. 138, p. 106-117, 2018.

YOON, Y. H., NELSON, J. H. **Application of gas adsorption kinetics I. a theoretical model for respirator cartridge service life**. American Industrial Hygiene Association Journal, v. 45, n. 8, p. 509-516, 1984.

ZIETZSCHMANN, F. *et al.* **Fast empirical lab method for performance projections of large-scale powdered activated carbon re-circulation plants**. Chemosphere, v. 215, p. 563-573, 2019.

ZORITA, S. *et al.* **Hollow-fibre supported liquid membrane extraction for determination of fluoxetine and norfluoxetine concentration at ultra trace level in sewage samples**. J. Sep. Sci., v. 30, p. 2513-2521, 2007.

## APÊNDICE

**Quadro 3 - Dados experimentais para validação da metodologia**

Ponto	Coleta 1			
	Equação da reta	R <sup>2</sup>	Concentração (mg.L <sup>-1</sup> )	Média (mg.L <sup>-1</sup> )
1	A = 0,0387.C + 0,0456	0,9983	3,15	3,13
	A = 0,0387.C + 0,0445	0,9978	3,07	
	A = 0,0407.C + 0,0483	0,9976	3,18	
2	A = 0,0399.C + 0,0236	0,9957	1,40	1,39
	A = 0,0401.C + 0,0235	0,9995	1,38	
	A = 0,0402.C + 0,0281	0,9975	1,72	
3	A = 0,0359.C + 0,3478	0,9965	28,68	30,50
	A = 0,0343.C + 0,3426	0,9693	29,97	
	A = 0,0343.C + 0,3739	0,9948	32,32	
Ponto	Coleta 2			
	Equação da reta	R <sup>2</sup>	Concentração (mg.L <sup>-1</sup> )	Média (mg.L <sup>-1</sup> )
1	A = 0,0385.C + 0,0543	0,9984	3,85	3,86
	A = 0,0391.C + 0,0427	0,9996	2,90	
	A = 0,0400.C + 0,0565	0,9953	3,86	
2	A = 0,0414.C + 0,0252	0,9963	1,45	1,38
	A = 0,0422.C + 0,0235	0,9997	1,29	
	A = 0,0409.C + 0,0244	0,9977	1,40	
3	A = 0,0326.C + 0,3390	0,9991	30,82	24,86
	A = 0,0354.C + 0,3080	0,9950	25,72	
	A = 0,0375.C + 0,3048	0,9973	24,00	
Ponto	Coleta 3			
	Equação da reta	R <sup>2</sup>	Concentração (mg.L <sup>-1</sup> )	Média (mg.L <sup>-1</sup> )
1	A = 0,0403.C + 0,0845	0,9997	5,91	6,26
	A = 0,0400.C + 0,0885	0,9988	6,26	
	A = 0,0407.C + 0,0957	0,9995	6,61	
2	A = 0,0405.C + 0,0519	0,9991	3,46	3,30
	A = 0,0400.C + 0,0529	0,9990	3,59	
	A = 0,0451.C + 0,0484	0,9966	2,84	
3	A = 0,0453.C + 0,3049	0,9975	19,81	19,34
	A = 0,0405.C + 0,1916	0,9949	13,81	
	A = 0,0386.C + 0,2475	0,9995	18,86	

Nota: Os valores destacados em verde foram desconsiderados do cálculo da concentração média. A é a absorvância da amostra com Fluoxetina; C é a concentração de Fluoxetina na amostra, em mg.L<sup>-1</sup>; R<sup>2</sup> é o coeficiente de determinação das retas.

Fonte: Autoria própria (2022)

Quadro 5 - Dados experimentais para avaliação da filtração

(continua)

Tempo (min)	Absorvância	Concentração (mg.L <sup>-1</sup> )	C/C <sub>0</sub>	Remoção (%)
0,0	0,001	-1,30	-0,03	103,0
0,5	0,005	-1,19	-0,03	103,0
1,0	0,013	-0,96	-0,02	102,0
1,5	0,030	-0,49	-0,01	101,0
2,0	0,079	0,87	0,02	97,8
2,5	0,138	2,51	0,06	93,5
3,0	0,183	3,76	0,10	90,3
3,5	0,195	4,09	0,11	89,4
4,0	0,198	4,18	0,11	89,2
4,5	0,201	4,26	0,11	89,0
5,0	0,303	7,09	0,18	81,7
10	0,306	7,18	0,19	81,5
15	0,338	8,06	0,21	79,2
20	0,395	9,65	0,25	75,1
25	0,436	10,79	0,28	72,1
30	0,478	11,95	0,31	69,1
35	0,504	12,68	0,33	67,2
40	0,525	13,26	0,34	65,7
45	0,547	13,87	0,36	64,2
50	0,570	14,51	0,37	62,5
55	0,593	15,15	0,39	60,9
60	0,609	15,59	0,40	59,7
65	0,625	16,04	0,41	58,6
70	0,652	16,79	0,43	56,6
75	0,667	17,20	0,44	55,5
80	0,685	17,70	0,46	54,3
85	0,693	17,93	0,46	53,7
90	0,709	18,37	0,47	52,5
95	0,720	18,68	0,48	51,7
100	0,736	19,12	0,49	50,6
105	0,749	19,48	0,50	49,7
110	0,764	19,90	0,51	48,6
115	0,781	20,37	0,53	47,4
120	0,784	20,45	0,53	47,2
125	0,795	20,76	0,54	46,4
130	0,807	21,09	0,54	45,5
135	0,820	21,45	0,55	44,6
140	0,830	21,73	0,56	43,8
145	0,846	22,18	0,57	42,7
150	0,855	22,43	0,58	42,1
155	0,866	22,73	0,59	41,3
160	0,877	23,04	0,60	40,5
165	0,884	23,23	0,60	40,0
170	0,889	23,37	0,60	39,6
175	0,894	23,51	0,61	39,3
180	0,909	23,93	0,62	38,2
185	0,915	24,09	0,62	37,7
190	0,920	24,23	0,63	37,4
195	0,927	24,43	0,63	36,9
200	0,940	24,79	0,64	36,0
205	0,943	24,87	0,64	35,7
210	0,953	25,15	0,65	35,0
215	0,955	25,20	0,65	34,9
220	0,960	25,34	0,65	34,5
225	0,967	25,54	0,66	34,0

Quadro 5 - Dados experimentais para avaliação da filtração

(conclusão)

Tempo (min)	Absorvância	Concentração (mg.L <sup>-1</sup> )	C/C <sub>0</sub>	Remoção (%)
230	0,970	25,62	0,66	33,8
240	0,977	25,81	0,67	33,3
245	0,982	25,95	0,67	32,9
250	1,002	26,51	0,69	31,5
255	0,998	26,40	0,68	31,8
260	1,002	26,51	0,69	31,5
265	1,008	26,68	0,69	31,1
270	1,016	26,90	0,70	30,5
275	1,022	27,06	0,70	30,1
280	1,025	27,15	0,70	29,9
285	1,032	27,34	0,71	29,3
295	1,035	27,43	0,71	29,1
305	1,040	27,56	0,71	28,8
315	1,053	27,93	0,72	27,8
325	1,066	28,29	0,73	26,9
335	1,079	28,65	0,74	26,0
345	1,092	29,01	0,75	25,0
355	1,097	29,15	0,75	24,7
365	1,102	29,29	0,76	24,3
375	1,110	29,51	0,76	23,8
385	1,113	29,59	0,76	23,5
395	1,121	29,81	0,77	23,0
405	1,126	29,95	0,77	22,6
415	1,132	30,12	0,78	22,2
425	1,141	30,37	0,78	21,5
435	1,141	30,37	0,78	21,5
445	1,146	30,51	0,79	21,2
455	1,150	30,62	0,79	20,9
465	1,156	30,79	0,80	20,4
475	1,160	30,90	0,80	20,2
485	1,158	30,84	0,80	20,3
495	1,162	30,95	0,80	20,0
505	1,166	31,06	0,80	19,7

Nota: C<sub>0</sub> é a concentração inicial de Fluoxetina na água potável, em mg.L<sup>-1</sup>; C é a concentração final de Fluoxetina na água potável, em mg.L<sup>-1</sup>;

Fonte: Autoria própria (2022)