

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
UNIDADE ACADÊMICA CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

SIMONE EULÁLIA GOMES DA SILVA

**REMOÇÃO DE FÁRMACOS VIA ADSORÇÃO UTILIZANDO HIDRÓXIDOS
DUPLOS LAMELARES: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA**

Maceió
2021

SIMONE EULÁLIA GOMES DA SILVA

**REMOÇÃO DE FÁRMACOS VIA ADSORÇÃO UTILIZANDO HIDRÓXIDOS
DUPLOS LAMELARES: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Meili.

Maceió
2021

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S586r Silva, Simone Eulália Gomes da.
Remoção de fármacos via adsorção utilizando hidróxidos duplos lamelares :
uma análise bibliométrica / Simone Eulália Gomes da Silva. – 2021.
25 f. il. : figs. ; tabs. color.

Orientador: Lucas Meili.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química).
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió.

Bibliografia: f. 22-25.

1. Bibliometria. 2. HDL colesterol. 3. Tratamento de efluentes industriais. I.
Título.

CDU: 665.238



ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 10 dias do mês de setembro de 2021 realizou-se às 16:05 horas, na sala virtual do Google Meet (<https://meet.google.com/fse-wwem-wmh>), a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) da discente **SIMONE EULÁLIA GOMES DA SILVA**, Matrícula: **15210529**, intitulado: **REMOÇÃO DE FÁRMACOS VIA ADSORÇÃO UTILIZANDO HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMELARES: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA**.

A apresentação oral da discente foi realizada em **24** minutos, findos os quais a discente foi arguida pelos componentes da Banca Examinadora, perfazendo um tempo total de defesa de **17 horas e 29 minutos**.

A discente obteve nota final (média das notas dos membros da Banca) **9,67 (NOVE VÍRGULA SEIS)**, correspondente a um 80% da nota total do TCC. A nota do plano de trabalho da discente foi de **9,50 (NOVE VÍRGULA CINCO)**, correspondente a um 20% da nota do TCC, desta forma, a nota final do Trabalho de Conclusão de Curso da discente corresponde a **9,63 (NOVE VÍRGULA SESSENTA E TRÊS)**.

E, para constar, foi lavrada a presente ata que vai assinada pelos componentes da Banca Examinadora seguida da nota obtida na defesa do TCC correspondente aos 80% da nota, a assinatura da aluna e a assinatura do Coordenador do TCC do Curso de Engenharia Química.

Maceió, 10 de setembro de 2021.

LUCAS MEILI (ORIENTADOR),

nota: **9,5 (NOVE VÍRGULA CINCO)**

WILLIAM GONÇALVES VIEIRA,

nota: **9,5 (NOVE VÍRGULA CINCO)**

MOZART DALTRÓ BISPO,

nota: **10,0 (DEZ VÍRGULA ZERO)**

Discente: *Simone Eulália Gomes da Silva*

Coordenador do TCC / Engenharia Química:

Albanise Enide da Silva

SIAPE: 1296115



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
UNIDADE ACADÊMICA CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA



SIMONE EULÁLIA GOMES DA SILVA

***REMOÇÃO DE FÁRMACOS VIA ADSORÇÃO UTILIZANDO HIDRÓXIDOS DUPLOS
LAMELARES: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA***

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Lucas Meili

Prof. Dr. Mozart Daltro Bispo

Prof. Dr. William Gonçalves Vieira

RESUMO

Os fármacos são compostos que possuem riscos associados à sua presença no meio ambiente, pois podem levar ao surgimento de bactérias resistentes. Também é possível destacar, a remoção ineficiente dessas substâncias via processos convencionais utilizados em estações de tratamento, o que leva a necessidade de outras técnicas de remoção, como a adsorção. Os Hidróxidos duplo lamelares têm atraído considerável atenção por conta das suas aplicações como adsorvente na remoção de fármacos de matrizes aquosas, devido suas propriedades, fácil síntese e baixo custo de produção. Esta análise bibliométrica tem como objetivo avaliar o potencial interesse na adsorção de compostos farmacêuticos utilizando HDLs através da análise bibliométrica e estudar os principais parâmetros e mecanismos que regem esse fenômeno. Foram recuperados 206.129 documentos, sendo 1767 voltados para o uso desses materiais na remediação de efluentes. O número de trabalhos obtidos para a utilização da propriedade adsortiva dos HDLs foi 1.297. Entre os países com maior número de publicações nessa área, o Brasil está em quarto lugar, o que demonstra a ampla aplicabilidade dos hidróxidos duplo lamelares no tratamento de efluentes, em especial os fármacos.

Palavras-Chave: bibliometria, HDLs, tratamento de efluentes.

ABSTRACT

Drugs are compounds that have risks associated with their presence in the environment, as they can lead to the emergence of resistant bacteria. It is also possible to highlight the removal of these substances through conventional treatment processes, which leads to the need for other removal techniques, such as adsorption. Double lamellar hydroxides have attracted attention due to their applications as an adsorbent in the removal of drugs from aqueous matrices, due to their properties, easy synthesis and low production cost. This bibliometric analysis aims to evaluate the potential interest in the adsorption of pharmaceutical compounds using HDLs through bibliometric analysis and to study the main parameters and mechanisms that govern this phenomenon. 206,129 documents were retrieved, 1767 of which focused on the use of these materials in the remediation of effluents. The number of works chosen to use the adsorptive property of HDLs was 1,297. Among the countries with the highest number of publications in this area, Brazil is in fourth place, which demonstrates the wide applicability of double layer hydroxides in the treatment of effluents, especially pharmaceuticals.

Keywords: bibliometrics, HDLs, effluent treatment.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVOS	9
2.1	Geral	9
2.2	Específico	9
3	REVISÃO DA LITERATURA	9
3.1	Poluentes emergentes	9
3.2	Fármacos	10
3.3	Bibliometria	10
3.4	Adsorção	11
3.4.1	pH e Potencial Zeta	11
3.4.2	Temperatura	12
3.4.3	Cinética e isotermas de adsorção	12
4	METODOLOGIA	14
4.1	Estratégia de pesquisa	15
4.2	Critério de seleção	15
4.3	Extração, análise e apresentação dos resultados	15
5	ESTRATIFICAÇÃO DAS PUBLICAÇÕES	16
6	CONCLUSÃO	21
7	REFERÊNCIAS	22

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço das técnicas analíticas foi possível detectar uma nova classe de poluentes nos corpos d'água, denominados de contaminantes emergentes. Esses contaminantes são compostos por produtos farmacêuticos, detergentes, pesticidas, dentre outros, que acabam no meio ambiente por diferentes meios, mas que ainda não estão inclusos nas legislações de controle de órgãos ambientais e por isso seus efeitos, comportamento e destino não são claramente evidentes (BERETTA et al., 2014; PACHECO et al., 2019; LIMA et al., 2018).

Os fármacos podem ser considerados contaminantes potenciais devido sua composição química e sua larga escala de produção. Anualmente são produzidos milhares de compostos farmacêuticos para tratar diversas patologias. No entanto, esse crescimento tem gerado um grupo significativo de poluentes com impacto ambiental ainda pouco estudado. Vários fatores são responsáveis pela crescente produção de fármacos, dentre eles o aumento da população mundial e da expectativa de vida, doenças crônicas ou a entrada constante de novos produtos farmacêuticos no mercado. Nas últimas três décadas foram encontrados resíduos farmacêuticos em fontes de água em todos os continentes, o que é um reflexo dessa crescente produção (PATEL et al., 2019; LÓPEZ-PACHECO et al., 2019). Diante disso, os antibióticos, são compostos que possuem riscos associados à sua presença no meio ambiente, incluindo alta toxicidade para algas e bactérias mesmo em baixas concentrações, podem levar ao surgimento de bactérias resistentes a antibióticos e afetar negativamente os ecossistemas e os organismos que os habitam (DAVOODI et al. 2019).

Para a remoção desses contaminantes podem ser utilizadas diversas técnicas como a osmose reversa, fotocatalise, biorreatores com membranas e adsorção, cada uma com as suas vantagens e desvantagens. Normalmente, os principais fatores para a escolha da técnica mais adequada são os custos operacionais ou energéticos e a viabilidade de remoção desses contaminantes em larga escala. Dentre os diversos métodos de tratamento de efluentes, a adsorção tem se mostrado um processo efetivo na remoção de compostos farmacêuticos em solução aquosa, tendo em vista sua alta taxa de remoção de poluentes e baixo custo operacional. Além disso, é importante observar alguns fatores que podem interferir no processo adsorptivo e na viabilidade da técnica, como a natureza do adsorvente e do adsorvato, as condições operacionais, a regeneração e o gerenciamento das lamas (SANTAMARÍA et al., 2020).

Os hidróxidos duplos lamelares (HDL) são compostos iônicos lamelares também conhecidos como argilas aniônicas ou materiais do tipo hidrotalcita. Esses compostos possuem uma camada carregada positivamente e ânions intercalados substituíveis, sendo os únicos

minerais de argila com propriedades naturais de troca de ânions (THEISS; AYOKO; FROST, 2013; LIANG et al., 2013; CAVANI; TRIFIRO; VACCARI, 1991). Devido a sua excelente capacidade de troca aniônica e multifuncionalidade química, os HDL's podem ser utilizados como precursores para introduzir outras composições químicas na síntese de HDL's funcionais, sendo aplicados em diversos campos tais como a catálise, adsorção, administração de fármacos e em muitas outras aplicações potenciais (ZHANG et al., 2020).

A estrutura desses sólidos consiste em camadas do tipo brucita, pela substituição parcial de cátions divalentes por cátions trivalentes, M^{2+} por M^{3+} . Essa substituição gera um excesso de camadas carregadas positivamente que são balanceadas por uma ampla variedade de ânions em seus domínios intercalares nas regiões da camada intermediária hidratada (BOURAADA, et al., 2008; CAVANI; TRIFIRO; VACCARI, 1991).

Os hidróxidos duplos lamelares, não são materiais abundantes na natureza, podendo ser sintetizados no laboratório a um custo relativamente baixo (CREPALDI; VALIM, 1998). Em geral, esses materiais são representados pela fórmula $[M_{1-x}^{2+}M_x^{3+}(OH)_2]^{x+}(A^{n-})_{x/n}mH_2O$, onde M^{2+} representa um cátion metálico divalente e M^{3+} um cátion trivalente; x, variando de 0,20 a 0,33 denota a fração molar de M^{3+} nos íons metálicos; A^{n-} é o ânion intercalado com carga n e m é o número de mols de água (YANG et al., 2019). Em comparação com outros adsorventes convencionais, os HDLs despertaram atenção crescente na conservação ambiental por causa de sua alta área de superfície, caráter hidrofílico, estrutura de camadas, síntese simples, compatibilidade ambiental, locais de alta adsorção e baixo custo (XU et al., 2021).

Através dos estudos bibliométricos é possível avaliar um conjunto de dados e construir indicadores sobre a dinâmica da informação de um determinado assunto. Trata-se de uma ferramenta para indentificar áreas de pesquisa consolidadas e analisar o aparecimento de novos campos a serem estudados. Essa técnica visa compreender e avaliar a produtividade e a qualidade das pesquisas fornecendo medições detalhadas e eficazes e com isso pode-se obter informações como os padrões de colaboração entre pesquisadores, o crescimento da literatura e outros dados de acordo com a temática a ser estudada. (DA SILVA SANTOS et al., 2021).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise bibliométrica sobre o potencial de aplicação dos HDLs na adsorção de fármacos e estudar alguns parâmetros e mecanismos que regem esse fenômeno.

2.2 Específico

A partir do mapeamento das informações nas bases de dados escolhidas, verificar quais as principais áreas de estudo voltadas para a aplicação dos hidróxidos duplo lamelares, o surgimento de novos campos e perspectivas futuras.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Poluentes emergentes

Devido aos avanços tecnológicos foi possível detectar uma ampla variedade de poluentes nos corpos d'água. Essa classe de contaminantes normalmente não está incluída nas rotinas de monitoramento, devido a sua ocorrência, toxicidade e outros fatores que comparados a outras substâncias acabam não sendo regulamentados. Em contrapartida, essa classe de resíduos é responsável por diversos impactos à saúde e ao meio ambiente, mesmo em pequenas concentrações, variando de microgramas a nanogramas por litro. Atualmente existem mais de trinta classes diferentes de acordo com a sua origem e finalidade, e devido ao aumento constante da indústria farmacêutica, essa lista vem aumentando. Pode-se destacar algumas categorias predominantes como os pesticidas, biocidas, lubrificantes, aditivos alimentícios, retardantes de chama, conservantes, detergentes, hormônios, desinfetantes e diversos outros produtos. (DULIO et al., 2018)

Existem diversas maneiras de entrada desses contaminantes no meio ambiente, como os resíduos municipais, agrícolas e industriais ou por derramamentos acidentais. O crescente consumo de medicamentos também é um fator considerável para o aparecimento desses resíduos nos corpos d'água, pois além dos resíduos gerados durante o processo industrial, parte desses medicamentos quando consumidos são excretados pelo ser humano, pois não foram completamente metabolizados e podem impor tanta toxicidade quanto a estrutura original. Uma vez no ambiente esses produtos entram em rios e riachos, podendo alcançar os lençóis subterrâneos pelo processo de lixiviação, além de aumentar a sua concentração, tendo em vista

a sua inviabilidade de remoção por processos convencionais em estação de tratamento (SANTOS et al. 2019).

O potencial de toxicidade dessas substâncias e seus metabólitos têm sido bastante estudada; no entanto, ainda são poucos os trabalhos de investigação tendo em vista os inúmeros tipos de poluentes e seus efeitos para a saúde humana e o ecossistema. Os organismos aquáticos são os mais afetados, pois a concentração é maior nesse ambiente. Diante disso, peixes e algas podem sofrer alteração em seu metabolismo pela exposição frequente a esse tipo de resíduo. Além do desenvolvimento de organismos resistentes a medicamentos. Diante disso, o ponto mais indicado para a retirada desse poluente é nas estações de tratamento. Entretanto, a maioria das estações não foram projetadas para a retirada desse tipo de substância, o que leva a necessidade de outras técnicas que sejam capazes de remover uma ampla variedade de fármacos com uma alta eficiência de remoção (ARNOLD, 2019).

3.2 Fármacos

Os produtos farmacêuticos possuem diversas finalidades que auxiliam na manutenção da vida, proporcionando a longevidade humana. São moléculas complexas que possuem diferentes propriedades biológicas e físico-químicas sendo utilizados para efeitos específicos no campo da medicina, como o alívio de sintomas, tratamento ou prevenção de doenças. Apesar dos seus efeitos positivos, eles também podem causar impactos significativos ao ecossistema se administrados de forma incorreta ou feito o descarte indevido no meio ambiente. Além disso, com o crescimento da indústria farmacêutica e o desenvolvimento de produtos mais eficazes, com alta potência, biodisponibilidade e resistência a degradação, esses componentes se tornaram mais persistentes no ambiente aquático, o que dificulta a sua remoção (DEMBOGURSKI, 2019).

A maioria dessas substâncias não são completamente metabolizadas pelo organismo, pois esses produtos são desenvolvidos para manter suas propriedades químicas o bastante para servir para fins medicinais. Com isso, mais da metade dessa substância é expelida em forma de metabólitos ou em sua estrutura inicial, sendo direcionados para esgotos e efluentes, persistindo no meio ambiente (BILA, D. M.; DEZOTTI, M., 2003).

3.3 Bibliometria

A bibliometria surgiu no início do século devido a necessidade em se estudar o comportamento da literatura, a avaliação da produção acadêmica e a comunicação científica.

Essa técnica tem como objetivo aplicar modelos estatísticos e matemáticos para poder descrever os aspectos da literatura buscando por uma avaliação objetiva da produção científica. Entende-se por bibliometria um conjunto de leis e princípios empíricos sobre o comportamento da literatura, estabelecendo os fundamentos teóricos da ciência da informação (ARAÚJO, 2006).

O estudo bibliométrico possui três leis básicas, cada uma faz referência ao nome de três pesquisadores que se destacaram por suas descobertas. A lei de Lotka, que investiga a produtividade dos autores em distintas disciplinas mediante um modelo que relaciona frequência de trabalhos publicados em diferentes campos, ou seja, quanto mais se publica mais fácil é o surgimento de novos trabalhos com resultados interessantes e refinados. A lei de Zipf descreve a frequência do aparecimento das palavras num determinado texto, essa lei consiste na utilização de poucos sinônimos para uma mesma palavra, evitando a dispersão do texto e evidenciando o assunto do trabalho. Já a lei de Bradford, também conhecida como lei de dispersão, é responsável pela medição da produtividade dos periódicos e com isso, pode-se distinguir um núcleo particular de revistas e as áreas de dispersão devotado a um determinado assunto. (VANTI, 2002; FERREIRA, 2010).

O estudo bibliométrico tem sido utilizado por diversos pesquisadores para avaliar as tendências globais de um campo específicos. Pois a partir da bibliometria é possível fazer um levantamento estatístico com análises mais complexas, sendo uma ferramenta bastante útil para a pesquisa científica (LI; ZHAO, 2015).

3.4 Adsorção

A adsorção é um processo físico-químico de transferência de massa de um soluto dissolvido para uma superfície sólida que tem a capacidade de se concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em fases líquida ou gasosa, possibilitando a separação dos componentes dessas interfaces. Em um processo de adsorção, a substância presente no fluido é denominada de adsorbato enquanto a superfície sólida é chamada de adsorvente (CASTELLAN, 1999).

3.4.1 pH e Potencial Zeta

O pH da solução é um fator crucial no processo de adsorção, pois à medida que o pH da solução é alterado, a capacidade de adsorção também é modificada. Pois, o pH afeta a natureza dos grupos funcionais presentes na superfície das partículas e controla as interações eletrostáticas entre as partículas e o meio de dispersão. O potencial de carga zero é utilizado

para avaliar se a superfície do adsorvente se carregará positivamente ou negativamente, esse parâmetro é representado pelo valor de pH na qual a carga líquida na superfície é igual a zero. Para valores de pH maior do que o $pHpzc$ indica que a carga superficial é negativa, favorecendo a adsorção de espécies catiônicas. Já para valores de pH inferiores ao $pHpzc$ resulta numa carga superficial positiva o que favorece a adsorção de espécies aniônicas (NASCIMENTO et al., 2014).

Conforme observado por ZAHER, TAHA, MAHMOUD (2021) em pH 2 houve diminuição na adsorção de tetraciclina, provavelmente pela repulsão eletrostática, pois nessas condições a superfície do adsorvente tem cargas positivas e o adsorvato existe como espécie catiônica. Já para pH 4 houve maior capacidade de adsorção, cerca de 80%, pois nessas condições o antibiótico carrega cargas parcialmente negativas, devido a desprotonação do grupo ácido tricarbonil-metano favorecendo o processo de adsorção.

O potencial zeta ou potencial eletrocinético, é utilizado para aproximar a carga superficial de uma nanopartícula, que pode ser catiônica, aniônica ou de caráter neutro. Devido ao fato de a partícula possuir carga cria-se ao seu redor uma camada e devido ao movimento browniano essa camada se move como parte da partícula e o potencial zeta mede o potencial eletrocinético nesta camada. Deve-se notar que as medições do potencial zeta não apenas medem o potencial da superfície, mas também espécies adsorvidas na superfície e contra-íons na camada dupla. (SMITH et al. 2017; MOREIRA, 2018).

3.4.2 Temperatura

A temperatura tem bastante influência no processo de adsorção e sua variação afeta, principalmente, a constante de velocidade de adsorção. Pois o aumento da temperatura provém maior energia cinética para as moléculas e na mobilidade das espécies do adsorvato, e ainda provocar um aumento na taxa de difusão intrapartícula do adsorvato (JIMENEZ; DAL BOSCO; CARVALHO, 2004).

3.4.3 Cinética e isotermas de adsorção

O processo de adsorção de uma substância de uma fase fluida em uma superfície sólida adsorvente é expresso como a quantidade de adsorvato adsorvida por unidade de massa do adsorvente, como uma função da concentração de equilíbrio do adsorvato na fase fluida, em uma dada temperatura constante. A essa curva dá-se o nome de isoterma de adsorção (RUTHVEN, 1984; RASHED, 2013).

A isoterma de Langmuir assume que a adsorção ocorre em uma monocamada e supõe um número definido de sítios que podem comportar apenas uma molécula adsorvida. O modelo de Freundlich foi um dos primeiros a equacionar a relação entre a quantidade de material adsorvido e a concentração do material na solução em um modelo com características empíricas. Este modelo melhor se aplica a fenômenos de adsorção que ocorrem com formação de multicamadas (fisiossorção) em superfície heterogênea e as moléculas adsorvidas possuem certo efeito entre si. (NASCIMENTO et. al., 2014).

A avaliação de equilíbrio de adsorção é importante para determinar a eficácia da adsorção. Porém, também é útil estudar o tipo de mecanismo para determinado processo de adsorção. Os parâmetros cinéticos fornecem informações relevantes, principalmente para selecionar condições de uma possível aplicação do processo de remoção em escala industrial. A cinética da reação pode fornecer informações como o tempo necessário para remover o adsorvato, a quantidade adsorvida e o tempo de residência do mesmo na interface sólido-líquido (NASCIMENTO et. al., 2014).

O modelo de pseudo-primeira ordem avalia se a cinética de adsorção é controlada pela etapa de difusão, já o modelo de pseudo-segunda ordem assume que o processo de adsorção é limitado pela taxa de adsorção química (LU et al., 2021). A equação dos modelos de cinética e isoterma são listados na tabela 1.

Tabela 1: Equação dos modelos de isotermas mais utilizados e cinética

Modelo isoterma	Expressão	Modelo cinética	Expressão
Langmuir	$q = \frac{q_{max}K_l C_e}{1 + K_l C_e}$	Pseudo-primeira ordem	$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$
Freundlich	$q_e = K_F C_e^{1/n}$	Pseudo-segunda ordem	$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$
		Difusão intrapartícula	$\frac{dq_t}{dt} = k_3 t^{\frac{1}{2}} + C$

Fonte: Autor, 2021.

Onde:

q : quantidade de soluto adsorvido por grama de adsorvente no equilíbrio ($\text{mg } g^{-1}$)

q_{max} : capacidade máxima de adsorção ($\text{mg } g^{-1}$);

K_l : constante de interação adsorvato/adsorvente ($L \text{ } mg^{-1}$);

C_e : concentração do adsorvato no equilíbrio (mg L^{-1}).

$1/n$: constante relacionada a heterogeneidade da superfície;

K_F : constante de capacidade de adsorção de Freundlich ($\text{mg}^{1-(1/n)} (\text{g}^{-1}) \text{L}^{1/n}$).

k_1 : constante da taxa de adsorção de pseudo-primeira ordem (min^{-1});

k_2 : constante da taxa de adsorção de pseudo-segunda ordem ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$);

q_e e q_t : são as quantidades adsorvidas por grama de adsorvente no equilíbrio e no tempo t , respectivamente (mg g^{-1}).

k_3 : constante da taxa de difusão;

C : indica a espessura da camada limite.

Os modelos de isotermas foram estudados para entender o efeito da temperatura sobre a adsorção e a capacidade máxima de adsorção do adsorvente utilizado. Conforme abordado por YANG et al. (2020) o processo de remoção de amoxicilina foi mais bem descrito pela isoterma de Freundlich, provavelmente pela formação de multicamadas no processo de adsorção. Além disso, houve maior adsorção com o aumento da temperatura o que sugeriu um processo endotérmico.

(DOS SANTOS et al., 2020) sintetizou MgAl-LDH pelo método de co-precipitação para avaliar a capacidade de remoção de diclofenaco. Foi observado que para uma concentração inicial de 50mg/L de diclofenaco o equilíbrio foi alcançado em 1 h de contato, removendo 78% do poluente, já para uma concentração inicial de 200mg/L o equilíbrio foi alcançado após 6 horas, chegando a taxa de remoção de 82%. Normalmente, para concentrações iniciais de adsorvato elevadas, o modelo que melhor se ajusta é o de pseudo-primeira ordem, já para concentrações mais baixas a melhor correlação é o modelo de pseudo-segunda ordem. Nesse artigo o comportamento foi diferente, os dados de tempo de contato se ajustaram melhor ao modelo de pseudo-primeira ordem quando em concentrações iniciais mais baixas e melhor ajuste com o modelo de pseudo-segunda ordem para concentrações iniciais mais elevadas. Essa mudança de comportamento aconteceu porque a adsorção de diclofenaco ocorreu primeiro na superfície do adsorvente, caracterizando reações mais rápidas. Posteriormente, por meio da difusão, a adsorção tornou-se mais lenta em concentrações mais altas.

4 METODOLOGIA

O trabalho a ser desenvolvido seguirá a base do estudo exploratório, por meio de pesquisa bibliográfica.

4.1 Estratégia de pesquisa

Foi feita uma revisão da literatura, de modo a obter uma síntese sobre a remoção de fármacos via adsorção utilizando hidróxidos duplo lamelares. A busca foi configurada em três etapas: validação da estratégia de busca; pesquisa em todas as bases de dados e na literatura; além da busca no referencial teórico do artigo (MCGOWAN et al., 2016; LIMA et al., 2021). Na primeira etapa, foi verificada qual configuração da estratégia foi mais efetiva considerando os dados mais relevantes e consistência com o assunto proposto. Na segunda etapa, foi feita a escolha das fontes e formas de coleta de dados onde podem ser usadas as seguintes plataformas: Portal de Periódicos CAPES, Scopus, Sciencedirect, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Scholar. Então, foram pesquisados os referenciais teóricos dos artigos encontrados. Esta terceira etapa caracteriza-se pela leitura dos títulos dos estudos citados nas referências dos artigos que foram analisados na íntegra.

4.2 Critério de seleção

Quanto aos critérios de inclusão foram: artigos originais disponíveis na íntegra, com diversas abordagens metodológicas, em português, inglês e espanhol. Foram ainda consideradas as referências desses artigos ou livros.

4.3 Extração, análise e apresentação dos resultados

A extração de dados teve como objetivo fornecer as informações necessárias para o estudo da remoção de fármacos via adsorção utilizando HDLs. Para isso, foi feita uma estratificação das publicações utilizando alguns filtros para refinar a busca através do uso de operadores booleanos e truncadores, além da discussão dos resultados de alguns autores. Com isso, foi possível fazer uma breve avaliação sobre a utilização dessas argilas no processo adsorptivo e verificação das principais descobertas.

Os filtros utilizados estão descritos na tabela 2 que foi construída de acordo com a metodologia de DA SILVA SANTOS, et al. (2021).

Tabela 2: Estratégias de pesquisa utilizadas para o refino das publicações

Nome	Estratégia de Pesquisa
S1	((layered double hydroxide) OR (hidroxido duplo lamelar) OR (Hidroxido de doble capa) OR (LDH) OR (hydrotalcite))
S2	((layered double hydroxide) OR (hidroxido duplo lamelar) OR (Hidroxido de doble capa) OR (LDH) OR (hydrotalcite) AND (effluent* OR efluente*))

S3	((layered double hydroxide) OR (hidroxido duplo lamelar) OR (Hidroxido de doble capa) OR (LDH) OR (hydrotalcite) AND (effluent* OR efluente*) AND (remoção OR removal OR eliminación OR treatment OR tratamiento OR tratamiento))
S4	((layered double hydroxide) OR (hidroxido duplo lamelar) OR (Hidroxido de doble capa) OR (LDH) OR (hydrotalcite) AND (effluent* OR efluente*) AND (remoção OR removal OR eliminación OR treatment OR tratamiento OR tratamento) AND (adsorption OR adsorção OR adsorción))
S5	((layered double hydroxide) OR (hidroxido duplo lamelar) OR (Hidroxido de doble capa) OR (LDH) OR (hydrotalcite) AND (effluent* OR efluente*) AND (remoção OR removal OR eliminación OR treatment OR tratamiento OR tratamento) AND (adsorption OR adsorção OR adsorción) AND (medicine OR drugs OR fármaco OR droga OR medicamento OR pharmaceuticals OR antibiotic OR antibiótico))

Fonte: Adaptado de DA SILVA SANTOS (2021).

5 ESTRATIFICAÇÃO DAS PUBLICAÇÕES

A partir das estratégias de pesquisa utilizadas foi possível extrair resultados interessantes utilizando algumas bases científicas, como mostrado na tabela 3. Pode-se verificar que para a primeira estratégia de pesquisa S1, foi obtido um número significativo nas bases de dados utilizadas, totalizando 206.129 documentos, o que confirma a ampla aplicabilidade dos hidróxidos duplo lamelares em pesquisas científicas.

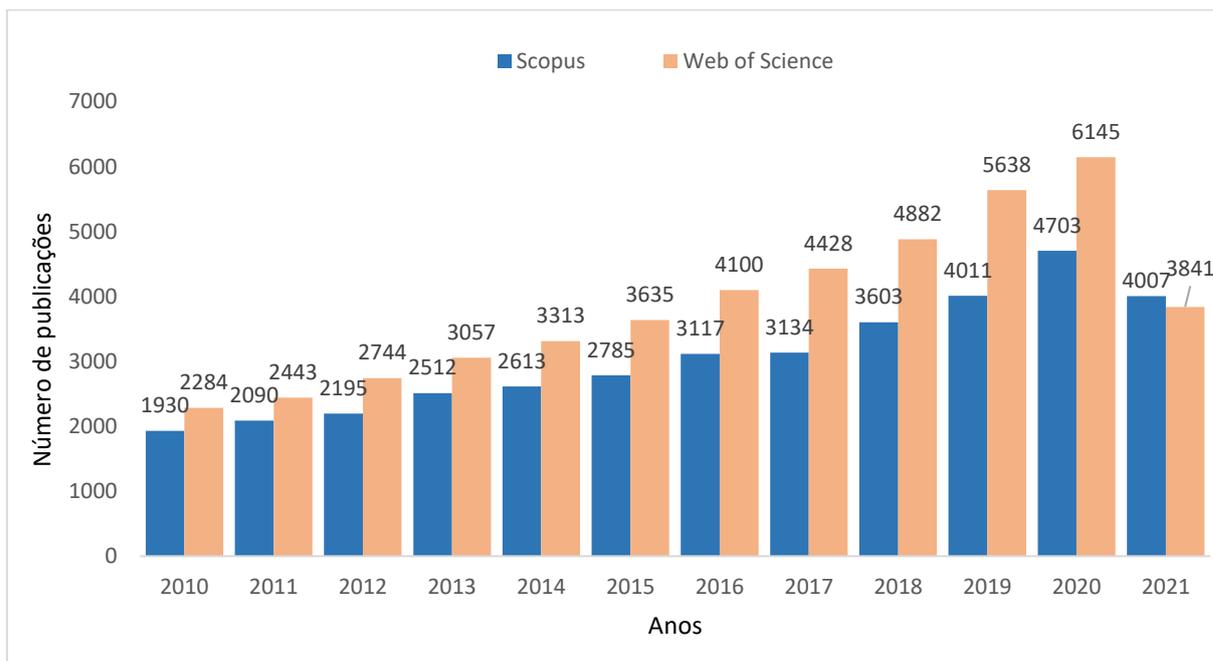
Tabela 3: Quantificação das publicações em diferentes bases de dados

Base	Estratégia de		Tempo	Resultados
	Pesquisa	Categoria		
Scopus (Elsevier)	S1			36700
	S2	Título,	2010 - 2021	1173
	S3	resumo,		1004
	S4	palavras- chaves		736
	S5			331
ScienceDirect	S1	Artigos		2010 - 2021
Web of Science (Todas as bases de Dados)	S2			119189
	S1			46508
	S2			933
	S3	Tópico	2010 - 2021	763
	S4			561
	S5			20

Fonte: Autor, 2021.

Na figura 1 é mostrado a quantidade de publicações nos últimos 10 anos, tendo em vista a base de dados Scopus e Web of Science, devido ao maior número de resultados obtidos. Pode-se observar um crescimento considerável do interesse em se utilizar e desenvolver tecnologias relacionadas com os hidróxidos duplo lamelares. Isso se deve as propriedades dessas argilas, em especial o “efeito memória”, baixo custo de síntese e ampla variedade de aplicações (CREPALDI; VALIM, 1998).

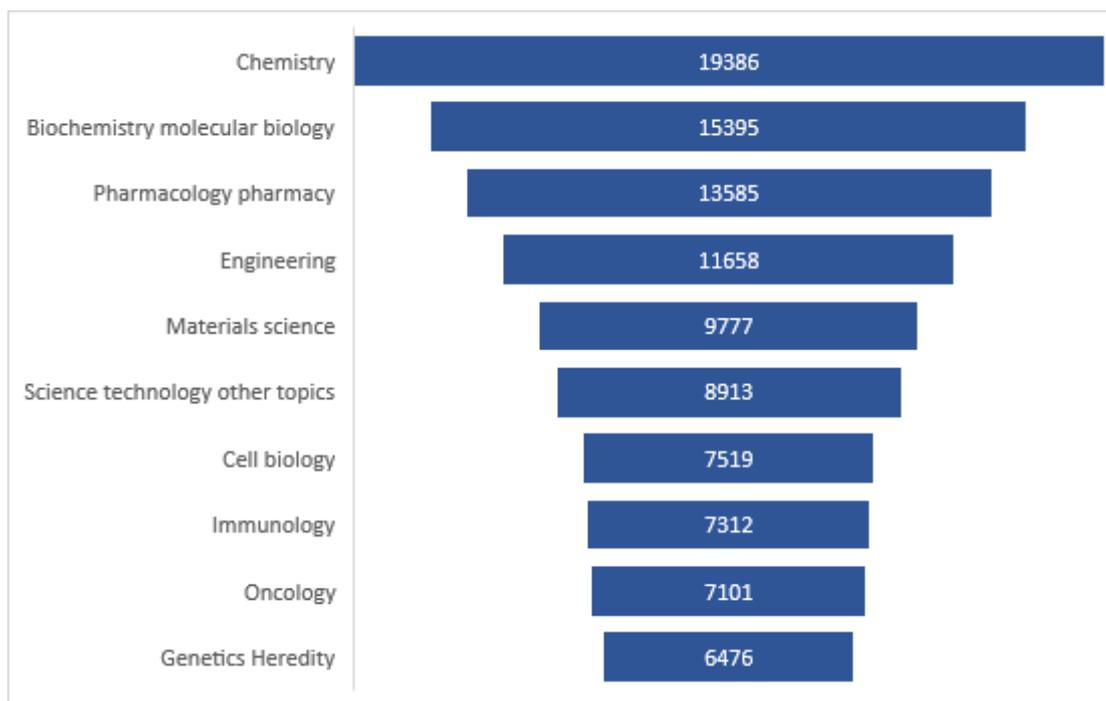
figura 1: Quantidade de documentos extraídos em função do tempo



Fonte: Autor, 2021.

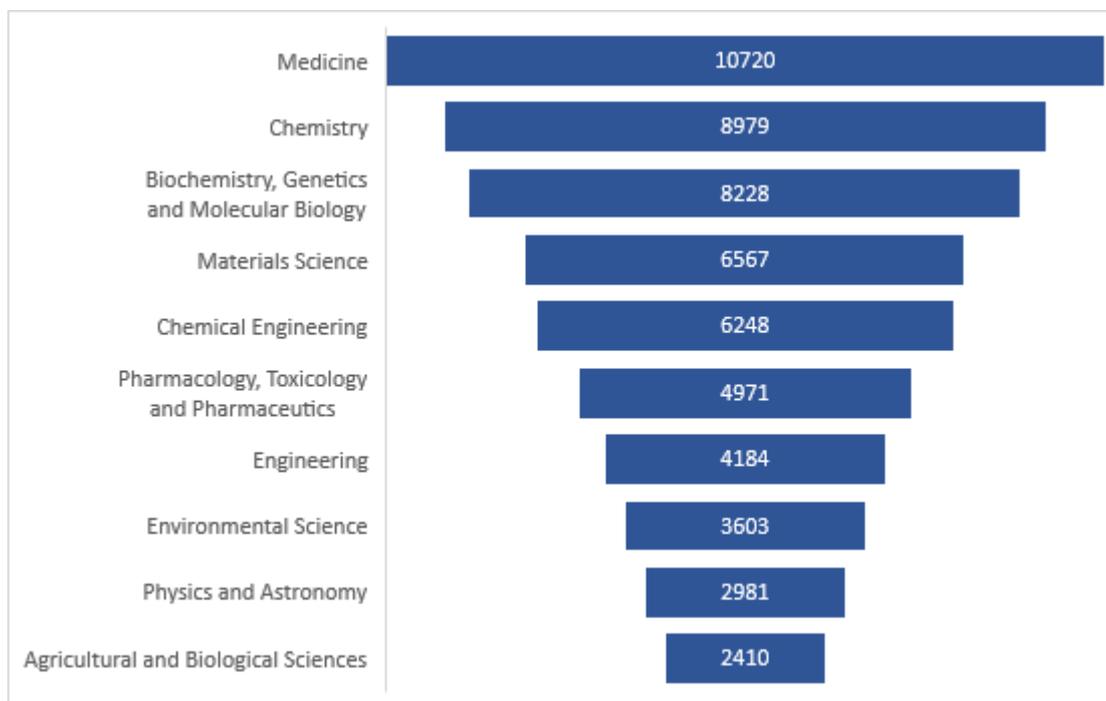
Na figura 2, são mostrados os 10 principais assuntos com maior quantidade de trabalhos acadêmicos. Conforme observado, os HDLs possuem aplicabilidade em diferentes áreas de conhecimento, em ambas as bases as áreas de química e bioquímica estão entre os três assuntos com maior recuperação de documentos.

Figura 2: Quantidade de publicações por área na base de dados Web of Science.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 3: Quantidade de publicações por área na base de dados Scopus.



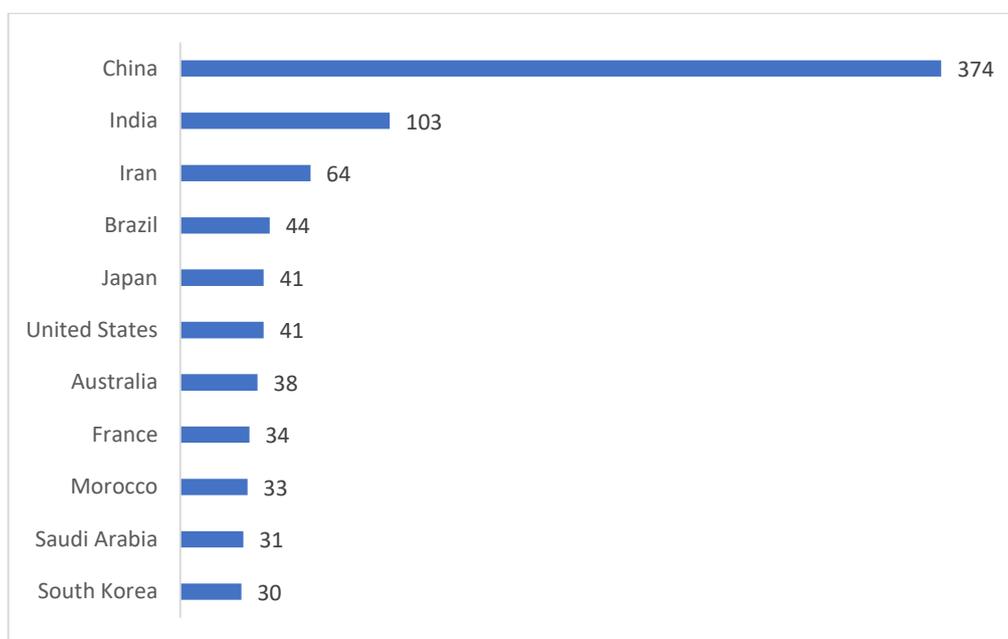
Fonte: Autor, 2021.

Para a base de dados Scopus as publicações se concentraram na medicina com cerca de 10720 resultados, já para a base de dados Web of Science, a área com maior número de

documentos é a química, contabilizando 19386 resultados. Além disso, outras áreas como engenharia, física, farmacologia, também apresentaram um número considerável de publicações.

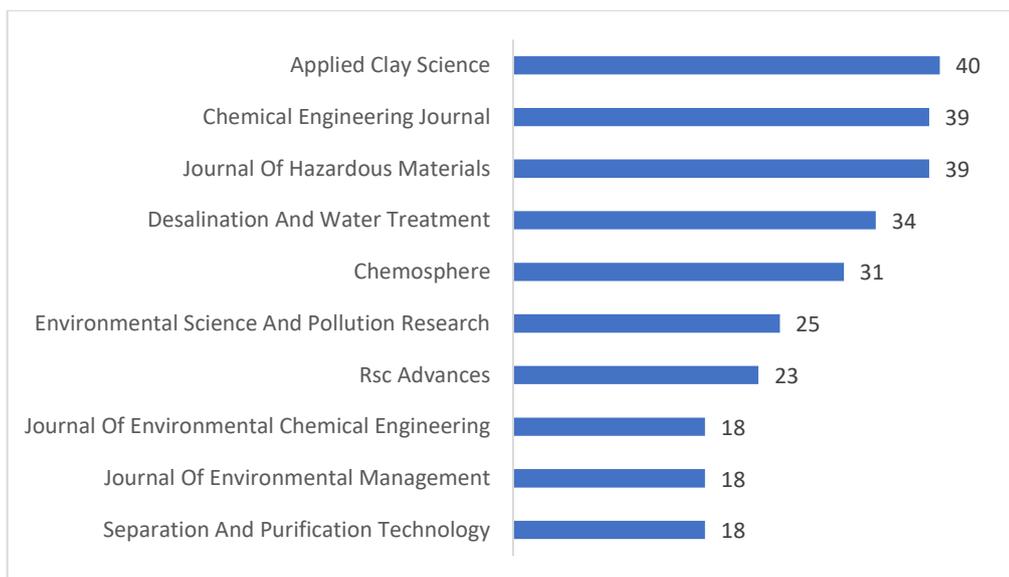
Para avaliar o interesse em se utilizar hidróxidos duplo lamelares no tratamento de efluentes foi utilizada a estratégia de pesquisa S3. Com isso, foi encontrado 1004 artigos na base de dados Scopus. Na figura 4 é mostrada a distribuição das publicações entre 10 países com maior número de registros nessa área. Conforme observado, a China se destaca com cerca de 374 documentos, enquanto o Brasil se encontra quarta posição com 44 publicações. Nas figuras 5 e 6 é possível observar os principais autores e os periódicos onde se encontram os maiores números de registros referente a esse tema.

Figura 4: Quantidade de publicações por país na base de dados Scopus.



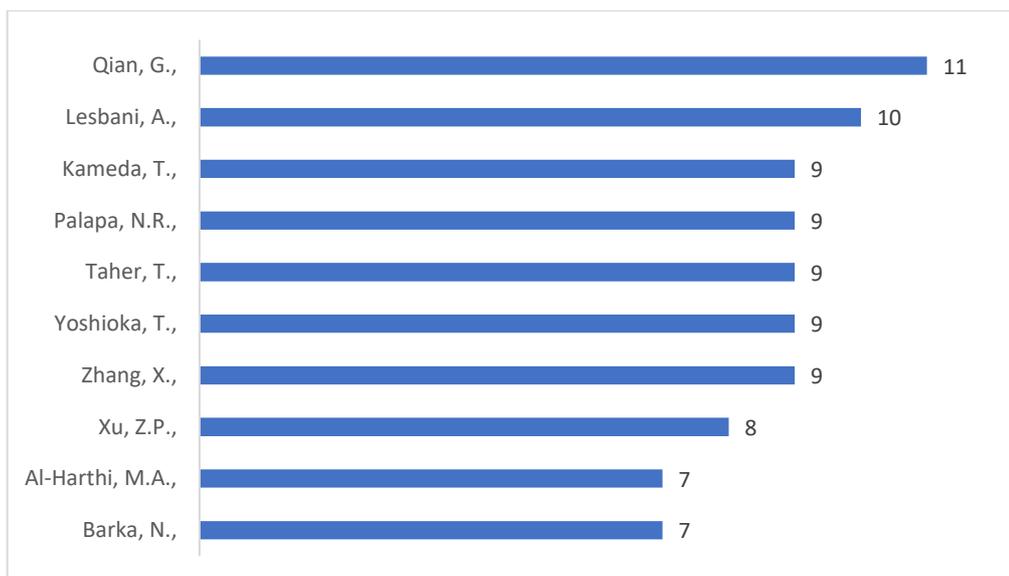
Fonte: Autor, 2021.

Figura 5: Quantidade de publicações por periódico na base de dados Scopus.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 6: Quantidade de publicações por autor na base de dados Scopus.



Fonte: Autor, 2021.

A partir desses resultados, é possível observar que o Brasil não é o único a buscar por tecnologias que utilizem os HDLs como material para remoção de contaminantes que são cada vez mais nocivos à saúde, e por não serem removidos nas estações de tratamento convencionais, acabam se acumulando e gerando danos mais significativos.

A propriedade adsorptiva dos HDLs foi avaliada pela estratégia de pesquisa S4. A partir dessa busca, foram encontrados no total 1297 publicações. Esses resultados se justificam pelas vantagens particulares dos hidróxidos duplo lamelares, que demonstram mecanismo de captação diferente de outros adsorventes mais comuns, devido a capacidade da superfície intercamada

em hospedar diversas espécies aniônicas, flexibilidade composicional e alta estabilidade química (MARQUES et al. 2020).

Em seguida, foi avaliado o número de registros referente a propriedade adsortiva dos HDLs na remoção de classes específicas de contaminantes. Para isso foi feito um refinamento utilizando a quinta estratégia de pesquisa S5 que retornou cerca de 351 resultados. Esses resultados evidenciam a diversidade desse material que devido a sua excelente capacidade de troca aniônica, eles podem servir como trocadores de ânions inorgânicos com uma alta afinidade para vários poluentes aniônicos em solução, em especial os fármacos (TRAN et al., 2019).

6 CONCLUSÃO

Diante da estratificação das publicações, foi possível observar o crescente interesse no uso de hidróxidos duplo lamelares para várias finalidades, principalmente no campo da química, bioquímica e medicina. Além disso, é perceptível o desenvolvimento de tecnologias voltadas para a aplicação dessas argilas, tendo em vista o crescente número de publicações ao longo dos anos, pois esse material tem se mostrado bastante promissor no campo da adsorção devido as suas propriedades, fácil síntese e baixo custo de produção. Os registros recuperados totalizaram cerca de 351 documento sobre a aplicação dos HDLs na remoção de fármacos, embora pequeno esse resultado demonstra o crescimento gradual das pesquisas nessa área. Em termos científicos, o Brasil está em quarto lugar com cerca de 44 publicações nesse campo, sendo a China a líder de publicações com 374 documentos, o que evidencia a viabilidade em desenvolver tecnologias com esse material. A partir do estudo de alguns artigos notou-se a predominância dos modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem, assim como a preferência pelos modelos de Langmiur e Freundlich para descrever o processo adsortivo. Em relação a algumas condições operacionais com pH e temperatura, observou-se que para uma maior temperatura a adsorção pode ser favorecida, assim como os efeitos na estabilidade da suspensão de acordo com o valor de pH. Ademais, ainda há muito o que se estudar sobre o uso desse material para remoção de fármacos, tendo em vista o contexto real onde normalmente é encontrado vários poluentes em uma solução e o nível de controle das condições de operação quanto a aplicação em larga escala.

7 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. Em questão, v. 12, n. 1, p. 11-32, 2006.

ARNOLD, D. Aplicação de argilas e biossorventes na remoção da cafeína por adsorção. 2019.

BERETTA, M. et al. Ocorrência de produtos farmacêuticos e de higiene pessoal (PPCPs) em sedimentos marinhos da Baía de Todos os Santos e litoral norte de Salvador, Bahia, Brasil. **Journal of Soils and Sediments** , v. 14, n. 7, pág. 1278-1286, 2014.

BILA, D.; DEZOTTI, M. Fármacos no meio ambiente. **Química Nova**, v. 26, p. 523-530, 2003.

BOURAADA, M. et al. Basic dye removal from aqueous solutions by dodecylsulfate-and dodecyl benzene sulfonate-intercalated hydrotalcite. **Journal of Hazardous Materials**, v. 153, n. 3, p. 911-918, 2008.

CASTELLAN, G. W. Fundamentos de físico-química. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

CAVANI, F.; TRIFIRO, F.; VACCARI, A. Hydrotalcite-type anionic clays: Preparation, properties and applications. **Catalysis today**, v. 11, n. 2, p. 173-301, 1991.

CREPALDI, E. L.; VALIM, J. B. Hidróxidos duplos lamelares: Síntese, estrutura, propriedades e aplicações. **Química Nova**, v. 21, n. 3, p. 300-311, 1998.

DA SILVA SANTOS, D. H. et al. Tratamento de efluentes com adsorventes de carvão ativado: uma análise bibliométrica da literatura recente. **Ciência Ambiental e Pesquisa de Poluição** , p. 1-12, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14267-w>

DAVOODI, S. et al. Remoção adsortiva de azitromicina de soluções aquosas usando nano diatomita crua e modificada com saponina. **Water Science and Technology** , v. 80, n. 5, pág. 939-949, 2019.

DEMBOGURSKI, L.. Remoção dos poluentes emergentes paracetamol e diclofenaco sódico por adsorção em carvão ativado em pó. 2019.

DOS SANTOS, G. et al. Adsorption of anti-inflammatory drug diclofenac by MgAl/layered double hydroxide supported on Syagrus coronata biochar. **Powder Technology**, v. 364, p. 229-240, 2020.

DULIO, V. et al. Poluentes emergentes na UE: 10 anos de NORMAN em apoio a políticas e regulamentos ambientais. **Ciências Ambientais Europa**, v. 30, n. 1, pág. 1-13, 2018.

FERREIRA, A. Bibliometria na avaliação de periódicos científicos. **DataGramZero-Revista de Ciência da Informação**, v. 11, n. 3, pág. 1-9, 2010.

JIMENEZ, R.; DAL BOSCO, S.; CARVALHO, W. Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural escolécita-influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. **Química nova**, v. 27, n. 5, p. 734-738, 2004.

LI, W.; ZHAO, Y. Bibliometric analysis of global environmental assessment research in a 20-year period. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 50, p. 158-166, 2015.

LIANG, X. et al. Sorção de cátions metálicos em hidróxidos duplos em camadas. **Colóides e superfícies A: aspectos físico-químicos e de engenharia**, v. 433, p. 122-131, 2013.

LIMA, AA; NUNES, ICM; DUARTE, JL da S.; MEILI, L.; NAGLIATE, P. de C.; ALMEIDA, AGC dos S. Características da dispersão do aerossol SARS-CoV-2 no ar interno: revisão do escopo. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 10, n. 4, pág. e44310414300, 2021.

LIMA, E. C. et al. Removal of emerging contaminants from the environment by adsorption. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 150, p. 1-17, 2018.

LÓPEZ-PACHECO, I. Y. et al. Anthropogenic contaminants of high concern: existence in water resources and their adverse effects. **Science of the Total environment**, v. 690, p. 1068-1088, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.052>

LU, Z. et al. Investigação das propriedades de síntese e adsorção de Fe₃O₄ @ ZnAl-LDH @ MIL-53 (Al) para remoção de fungicidas azólicos da água ambiental. **Separation and Purification Technology**, p. 119282, 2021.

MARQUES, B. S. et al. Ca–Al, Ni–Al and Zn–Al LDH powders as efficient materials to treat synthetic effluents containing o-nitrophenol. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 838, p. 155628, 2020.

MCGOWAN, J. et al. PRESS peer review of electronic search strategies: 2015 guideline statement. **Journal of clinical epidemiology**, v. 75, p. 40-46, 2016.

MOREIRA, C. Revisão bibliográfica da adsorção do atenolol: materiais e parâmetros. 2018.

NASCIMENTO, R. et al. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. 2014.

PACHECO, I. et al. Remoção dos contaminantes emergentes diclofenaco e ibuprofeno por adsorção em argilas aniônicas: processo em batelada. 2019.

PATEL, M. et al. Pharmaceuticals of emerging concern in aquatic systems: chemistry, occurrence, effects, and removal methods. **Chemical reviews**, v. 119, n. 6, p. 3510-3673, 2019. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00299>

RASHED, M. Adsorption technique for the removal of organic pollutants from water and wastewater. **Organic pollutants-monitoring, risk and treatment**, v. 7, p. 167-194, 2013.

RUTHVEN, D. M. **Principles of adsorption and adsorption processes**. John Wiley & Sons, 1984.

SANTAMARÍA, L. et al. Progresso na remoção de compostos farmacêuticos de solução aquosa usando hidróxidos duplos em camadas como adsorventes: uma revisão. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, p. 104577, 2020.

SANTOS, G. et al. Síntese de compósitos MgAl/HDL-biocarvão de ouricuri para aplicação na remoção de poluentes emergentes. 2019.

SMITH, M. C. et al. Zeta potential: a case study of cationic, anionic, and neutral liposomes. **Analytical and bioanalytical chemistry**, v. 409, n. 24, p. 5779-5787, 2017.

THEISS, L.; AYOKO, G.; FROST, L. Remoção de espécies de boro por hidróxidos duplos em camadas: uma revisão. **Journal of colloid and interface science**, v. 402, p. 114-121, 2013.

TRAN, H. et al. Mecanismo de adsorção de cromo hexavalente em adsorventes baseados em hidróxidos duplos em camadas: uma revisão sistemática em profundidade. **Jornal de materiais perigosos** , v. 373, p. 258-270, 2019.

VANTI, N. Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento. **Ciência da informação**, v. 31, p. 369-379, 2002.

XU, H et al. Remoção rápida e eficiente de diclofenaco de sódio da solução aquosa via compósito núcleo-concha ternário CS @ PANI @ LDH: estudo experimental e do mecanismo de adsorção. **Journal of Hazardous Materials** , v. 402, p. 123815, 2021.

YANG, C. et al. Remoção altamente eficiente de amoxicilina da água por grânulos nanocompósitos de hidróxido duplo / celulose em camadas de Mg-Al sintetizados através do método de coprecipitação in-situ. **Jornal internacional de macromoléculas biológicas** , v. 149, p. 93-100, 2020.

YANG, Z. et al. A review on strategies to LDH-based materials to improve adsorption capacity and photoreduction efficiency for CO₂. **Coordination Chemistry Reviews**, v. 386, p. 154-182, 2019.

ZAHER, A.; TAHA, M; MAHMOUD, R. Possíveis mecanismos de adsorção da remoção de tetraciclina da água por hidróxido duplo em camadas de Zn-Fe dopado com La. **Journal of Molecular Liquids** , v. 322, p. 114546, 2021

ZHANG, X. et al. Adsorção de metais pesados por hidróxido duplo de camadas intercaladas de L-cisteína: estudos cinéticos, isotérmicos e mecanísticos. **Journal of colloid and interface science** , v. 562, p. 149-158, 2020.