

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MATERIAIS

JULIANA CRISTINA PEREIRA LIMA PAULINO

EVIDÊNCIAS DA APLICABILIDADE DOS HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMELARES
COMO AGENTES ADSORVENTES EM MATRIZES AQUÁTICAS

Maceió
2023

JULIANA CRISTINA PEREIRA LIMA PAULINO

**EVIDÊNCIAS DA APLICABILIDADE DOS HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMELARES
COMO AGENTES ADSORVENTES EM MATRIZES AQUÁTICAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Materiais da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Ciências com ênfase em Materiais.

Orientador: Lucas Meili

Coorientadora: Patrícia de Carvalho Nagliate

Maceió

2023

Catlogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

P328e Paulino, Juliana Cristina Pereira.
Evidências da aplicabilidade dos hidróxidos duplos lamelares como agentes adsorventes em matrizes aquáticas / Juliana Cristina Pereira Paulino. – 2023.
125 f. : il. color.

Orientador: Lucas Meili.
Coorientadora: Patrícia de Carvalho Nagliate.
Tese (Doutorado em Materiais) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Materiais. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 109-119.
Apêndices: f. 120-125.

1. Contaminantes. 2. Poluentes. 3. Matriz aquática. 4. Adsorção. 5. Hidróxidos duplos lamelares. I. Título.

CDU: 544.723.2

Juliana Cristina Pereira Lima Paulino

**Evidências do emprego dos hidróxidos duplo lamelares como
agentes adsorventes em matrizes aquáticas**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Materiais da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 28 de fevereiro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 LUCAS MEILI
Data: 24/04/2023 11:26:55-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Lucas Meili (Orientador - PPGMateriais/UFAL)

Documento assinado digitalmente
 PATRÍCIA DE CARVALHO NAGLIATE
Data: 24/04/2023 11:42:54-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. Patrícia de Carvalho Nagliate (Coorientadora – PPGEnf/UFAL)

Assinado eletronicamente
JOSEALDO TONHOLO
A conformidade com a legislação em vigor pode ser verificada em:
<http://www.gov.br/validar>


Prof. Dr. Josealdo Tonholo (PPGMateriais/UFAL)

Documento assinado digitalmente
 CAMILA BRAGA DORNELAS
Data: 27/04/2023 14:24:23-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profª. Drª. Camila Braga Dornelas (PPGMateriais/UFAL)

Documento assinado digitalmente
 ANAMÁLIA FERREIRA DA SILVA
Data: 23/04/2023 11:50:21-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. Anamália Ferreira da Silva (UFAL)

KELYANE DA
SILVA:05232646
400
Assinado de forma digital
por KELYANE DA
SILVA:05232646400
Dados: 2023.04.24 11:58:07
-03'00'

Profª. Dra. Kelyane da Silva (UFRJ)

"Science is supposed to be cumulative, but scientists only rarely cumulate evidence scientifically".

Chalmers, Hedges & Cooper.

“Persevera no cumprimento exato das obrigações de agora. - Esse trabalho - humilde, monótono, pequeno - é oração plasmada em obras que te preparam para receber a graça do outro trabalho - grande, vasto e profundo - com que sonhas”.

(Josemaria Escrivá de Balaguer)

À memória de Antonio Manoel de
Lima, meu Pai.

Obrigada por ser a recordação mais
linda e inspiradora que eu poderia
ter.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Alagoas por todas as oportunidades como discente e servidora;

Aos meus estimados orientadores Lucas e Patrícia por toda instrução, direcionamento, respeito, confiança, amizade, e sobretudo, disponibilidade, sempre tão solícitos na condução desta orientanda neste desafio. Que sejam sempre muito abençoados em suas vidas. Muito, mas muito obrigada;

Aos meus colegas de jornada por toda parceria, em especial Danilo e Ana. Vocês se tornaram verdadeiros amigos, daqueles de prontidão para todas as demandas, dias e turnos, literalmente. Jamais encontraria melhores;

Aos meus familiares por todo incentivo e orações, em especial à minha mãe Elizabete por me direcionar no caminho do cumprimento do dever, em qualquer circunstância, desde muito cedo, e alegrar-me com o resultado de tê-lo feito e feito da melhor maneira;

Aos meus avós Maria Rosa, Maria Josefa, Manoel Antonio e Antonio Pereira, sertanejos, agricultores e vaqueiros que tanto me inspiram força e coragem na vida;

Ao meu amado esposo e parceiro de vida Josilan por todo Amor com que sempre me alicerça. Sem dúvida alguma, meu maior incentivador;

Ao meu primogênito, Julian, por cada olhar de ternura. À minha pequena Júlia, por cada riso proporcionado. À minha pequenina Julie, contemporânea deste estudo, que a cada movimento em meu ventre, me proporcionava leveza e paz imensuráveis. Vocês ainda não conseguem compreender, mas através de vocês tenho a certeza da bondade divina;

Ao Criador por conceder tantas graças a esta pequena filha.

RESUMO

As ações antrópicas têm afetado a qualidade dos recursos hídricos causando grande impacto ao meio ambiente em todo o mundo, reduzindo significativamente suas disponibilidades para consumo. Diante da prioritária necessidade de remoção de contaminantes e poluentes em matrizes aquáticas, passa a ser imprescindível o desenvolvimento de novas tecnologias para esta finalidade. Alguns processos de descontaminação empregam materiais sólidos para adsorção, proporcionando baixo custo associado à alta eficiência. Os Hidróxidos Duplos Lamelares (HDLs) além de versáteis se mostram promissores em processos de adsorção. Foram feitas uma *Scoping Review* e uma Análise Bibliométrica com a finalidade de obtenção do panorama mundial do que tem sido estudado sobre a aplicabilidade dos hidróxidos duplos lamelares como agentes adsorventes de contaminantes/poluentes em efluentes. Para a *Scoping Review* a coleta de dados foi realizada por meio de busca de publicações por três revisores independentes nas plataformas online (a) Web of Science (WoS); (b) Scopus; (c) Science Direct; (d) National Library of Medicine (PubMed), (e) Google Scholar e (f) Open Grey; através do emprego das palavras-chaves: hidróxidos duplos lamelares, meio ambiente, contaminante, poluente, águas residuais e efluentes. Os critérios de inclusão foram: publicações indexadas nas bases de dados selecionadas de acesso aberto ou com acesso da Comunidade Acadêmica Federada e na literatura cinzenta e que contribuam de maneira relevante para a questão da pesquisa. A cronologia utilizada foi desde a data de origem de cada plataforma até ano de 2022. Com base nos critérios de elegibilidade 26 estudos foram selecionados, oriundos de diferentes nacionalidades, sendo o período de publicação dos mesmos compreendido entre 2005 e 2021, denotando o esforço científico de mais de 100 pesquisadores. A predominância da origem dos estudos foi registrada assim como a composição dos HDLs utilizados, os contaminantes/poluentes ou meios reacionais em que foram empregados, o método de síntese utilizado e as considerações mais relevantes de cada pesquisa. Para a Análise Bibliométrica foram utilizados R bibliometrix e VOSviewer tendo sido recuperados 663 documentos de 69 países, sendo China (328), Índia (51) e Japão (40) os mais produtivos. Periódicos importantes da área ambiental e com alto fator de impacto como Chemical Engineering Journal (44), Applied Clay Science (38), Journal of Hazardous Materials (35) e Chemosphere (27) foram os que mais publicaram. Este trabalho evidenciou as principais informações que descrevem os HDLs como materiais promissores e de significativa relevância como adsorventes de contaminantes e poluentes em matrizes aquáticas, ressaltando-se ainda, desafios identificados para o surgimento de novos estudos sobre o tema.

Palavras-chaves: Hidróxidos Duplos Lamelares. Contaminantes. Poluentes. Matrizes Aquáticas. Adsorção. Scoping Review. Análise Bibliométrica.

ABSTRACT

Anthropogenic actions have affected the quality of water resources, causing a great impact on the environment around the world, significantly reducing its availability for consumption. In view of the priority need to remove contaminants and pollutants from aquatic matrices, the development of new technologies for this purpose becomes essential. Some decontamination processes employ solid materials for adsorption, providing low cost associated with high efficiency. The Lamellar Double Hydroxides (HDLs) besides being versatile show promise in adsorption processes. A Scoping Review and a Bibliometric Analysis were carried out in order to obtain a world overview of what has been studied on the applicability of lamellar double hydroxides as adsorbent agents for contaminants/pollutants in effluents. For the Scoping Review, data collection was performed by searching for publications by three independent reviewers on online platforms (a) Web of Science (WoS); (b) Scopus; (c) Science Direct; (d) National Library of Medicine (PubMed), (e) Google Scholar, and (f) Open Grey; through the use of keywords: lamellar double hydroxides, environment, contaminant, pollutant, wastewater and effluents. The inclusion criteria were: open access publications that contribute in a relevant way to the research question. The chronology used was from the date of origin of each platform to the year 2022. Based on the eligibility criteria, 26 studies were selected, from different nationalities, with their publication period comprised between 2005 and 2021, denoting the scientific effort from more than 100 researchers. The predominance of the origin of the studies was registered, as well as the composition of the HDLs used, the contaminants/pollutants or reaction media in which they were used, the synthesis method used and the most relevant considerations of each research. For the Bibliometric Analysis, R bibliometrix and VOSviewer were used, having retrieved 663 documents from 69 countries, with China (328), India (51) and Japan (40) being the most productive. Important journals in the environmental area and with a high impact factor such as Chemical Engineering Journal (44), Applied Clay Science (38), Journal of Hazardous Materials (35) and Chemosphere (27) were the ones that published the most. This work showed the main information that describes HDLs as promising materials and of significant relevance as adsorbents of contaminants and pollutants in aquatic matrices, highlighting the challenges identified for the emergence of new studies on the subject.

Keywords: Lamellar Double Hydroxides. Contaminants. Pollutants. Aquatic matrices. Adsorption. Scoping review. Bibliometric Analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação da estrutura do HDL.....	31
Figura 2 - Representação esquemática das aplicações dos HDLs.	33
Figura 3 - Evolução do número de documentos contendo o termo “layered double hydroxides” nos campos título, resumo e palavras-chaves a partir de 1959 de acordo com a base de dados Scopus.	35
Figura 4 - Percentuais dos trabalhos por áreas do conhecimento obtidos na base de dados Scopus referente à busca do termo “layered double hydroxides” nos campos título, resumo e palavras-chaves.	36
Figura 5 - Relação dos países com maior número de documentos publicados na base de dados Scopus referente à busca do termo “layered double hydroxides” nos campos título, resumo e palavras-chaves.....	38
Figura 6 - Termos comumente empregados para os Hidróxidos Duplos Lamelares nas buscas às bases de dados destacados relativamente por predominância.....	60
Figura 7 - Fluxograma de seleção dos estudos que compõem a pesquisa de acordo com o PRISMA ScR.	62
Figura 8 - Descrição do processo de seleção dos estudos da <i>Scoping Review</i>	62
Figura 9 - Estudos incluídos na <i>Scoping Review</i> (2005 a 2021) (n=26).....	63
Figura 10 - Número de publicações recuperadas entre os anos 1997 e 2022. 86	
Figura 11 - Mapa da pesquisa que evidencia todos os países que publicaram sobre o tema (1997-2022)......	88
Figura 12 - Dez principais países/territórios que mais produziram acerca da temática do estudo.	88
Figura 13 - Redes de cooperações mais frequentes entre países.	89
Figura 14 - Média Anual de Citações de Documentos.	90
Figura 15 - As 20 instituições com mais publicações sobre o tema.	92
Figura 16 - Principais áreas de estudo sobre o tema.	93
Figura 17 - Grau de conexão entre clusters e entre palavras-chave no <i>cluster</i>	95

Figura 18 - Visualização de uma rede relacionada às palavras-chaves que ocorrem mais frequentemente nos documentos recuperados..... 97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valor dos espaçamentos basais (\AA) em HDLs com diferentes ânions.	32
Tabela 2 - Número de artigos científicos obtidos segundo o emprego de cada sintaxe de busca nas bases de dados científicas.....	55
Tabela 3 - Número de trabalhos obtidos segundo nas bases de dados de literatura cinzenta	58
Tabela 4 - Seleção dos estudos obtidos nas buscas às bases de dados eletrônicas mediante aplicação de critérios de elegibilidade.....	61
Tabela 5 - Características gerais dos estudos recuperados das bases de dados eletrônicas	63
Tabela 6 - Contribuições de estudos recuperados nas buscas por país de origem	66
Tabela 7 - Periódicos com documentos publicados na temática de estudo	67
Tabela 8 - Cooperação entre países/regiões.	91
Tabela 9 - Autores que mais publicaram sobre a temática do estudo.....	92
Tabela 10 - Periódicos que mais publicaram sobre o tema e seus fatores de impacto.....	94
Tabela 11 - Principais palavras-chaves e seu número de ocorrências.	98
Tabela 12 - Eficiência dos HDLs de composição variada obtidos por diferentes métodos de sínteses, usados como adsorventes na remoção de diferentes poluentes.....	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação entre os aspectos dos mecanismos de fisissorção e quimissorção.	27
Quadro 2 - Combinação de cátions divalentes com trivalentes que produzem HDLs	32
Quadro 3 - Artigos obtidos na base de dados Scopus referente à busca do termo “layered double hydroxides” restritos à área de Ciência dos Materiais segundo aplicação de filtro de recência.	37
Quadro 4 - Descrição de alguns métodos de síntese de conhecimento	40
Quadro 5 - Descrição sumária STARLITE da pesquisa	46
Quadro 6 - Apresentação dos dados baseados na metodologia PCC.	47
Quadro 7 - Descrição das bases de dados utilizadas na pesquisa	48
Quadro 8 - Sintaxes de buscas utilizadas na pesquisa.	51
Quadro 9 - Descrição dos estudos elegíveis para a <i>Scoping Review</i> através de identidade atribuída, base de dados, periódicos, autoria, país e ano de publicação e área de estudo.	64
Quadro 10 - Descrição dos artigos quanto ao tipo de HDL, contaminante/poluente/meio e método de síntese empregado no estudo.	69
Quadro 11 - Descrição geral dos estudos obtidos na <i>Scoping Review</i>	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Å Angstrom

CA Acetato celulose

Cd(II) Íon cádmio

C_e concentração de soluto na solução

Cl⁻ Cloreto

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente

DE Desreguladores Endócrinos

Er Eficiência de remoção

ETA Estação de Tratamento de Água

ETE Estação de Tratamento de Efluentes

Eu Európio

Fe Ferro

FI Fator de Impacto

HDL Hidróxido Duplo Lamelar

HDL-MgFe-Cl Hidróxido Duplo Lamelar de Magnésio e Ferro, com Cloreto Intercalado

ISSN Internacional Standard Serial Number

INCTAA Instituto Nacional de Ciências e Tecnologias Analíticas Avançadas

M²⁺ Cátion Metálico Bivalente

M³⁺ Cátion Metálico Trivalente

M (II) Designa o cátion divalente

M (III) Designa o cátion trivalente

Mg Magnésio

MS Ministério da Saúde

nm nanômetro

NZVI Nanoscale zero-valent iron

Pb(II) Íon chumbo

pH potencial hidrogeniônico

PHP Produtos de Higiene Pessoal

PLS Pillared Layered Structures

PUBMED National Library of Medicine

qt Capacidade de Adsorção

SNIS Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SPE Solid Phase Extraction

Sr Estrôncio

Th Tório

UE União Europeia

U Urânio

UFAL Universidade Federal de Alagoas

VMP Valor Máximo Permitido

WoS Web of Science

Γ_i quantidade de soluto adsorvida

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	19
2.1 Objetivos Gerais.....	19
2.2 Objetivos Específicos.....	19
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
3.1 Meio Ambiente e Matrizes Aquáticas	20
3.2 Contaminantes e Poluentes Aquáticos	22
3.3 Adsorção.....	26
3.4 Hidróxidos Duplos Lamelares	29
3.4.1 Levantamentos gerais de estudos dos HDLs em plataformas de dados eletrônicos.....	34
3.5 Avaliação do processo de adsorção	38
3.6 Síntese de Conhecimento.....	39
4 METODOLOGIA.....	45
4.1 Estudo de <i>Scoping Review</i>	45
4.1.1 Questão de pesquisa	47
4.1.2 Identificação de estudos relevantes.....	47
4.1.4 Estratégias de buscas.....	50
4.1.5 Seleção de Estudos	52
4.1.6 Mapeamento de Dados.....	53
4.1.7 Extração e síntese de resultados.....	53
4.2 Estudo de Análise Bibliométrica.....	53
5 RESULTADOS	55
5.1 Resultados obtidos da Scoping Review	55
5.1.1 Exploração Geral de Dados Obtidos na Etapa de Validação de Estratégias de Busca.....	55
5.1.2 Pesquisa e Seleção de Evidências.....	61
5.1.3 Extração e síntese de resultados.....	68
5.2 Resultados obtidos na Análise Bibliométrica	86
5.2.1 Características gerais das amostras recuperadas.....	86
5.2.2 Países relevantes na pesquisa sobre o tema	87

5.2.3 Análise de publicações por instituições e autores.....	91
5.2.4 Principais áreas de estudo sobre o tema.....	93
5.2.5 Periódicos que mais publicaram sobre o tema	94
5.2.6 Principais campos de pesquisa	95
6 CONCLUSÕES	104
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
8 PERSPECTIVAS.....	108
9 REFERÊNCIAS.....	109
APÊNDICE A - TERMOS EMPREGADOS NA FORMULAÇÃO DAS SINTAXES DE BUSCAS ÀS BASES DE DADOS ELETRÔNICAS	120
APÊNDICE B – SINTAXES DE BUSCAS UTILIZADAS NAS BASES DE DADOS NÃO-CINZENTAS INCLUÍDAS NA PESQUISA	121
APÊNDICE C - LISTA DE REFERÊNCIAS DOS ESTUDOS SELECIONADOS PARA A SCOPING REVIEW POR CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO.....	121

1 INTRODUÇÃO

O Brasil está entre as dez maiores economias do mundo, de acordo com o Fundo Monetário Internacional (FMI), com elevado grau de consumo, o que reflete em problemas ambientais que outros países de economias mais desenvolvidas também enfrentam, como a presença de inúmeras novas substâncias no ambiente. Por outro lado, ainda existe um sério problema de saneamento básico em diversas regiões do país, o que faz com que o Brasil também apresente problemas ambientais típicos de países menos desenvolvidos (MONTAGNER, 2017).

O crescimento da população e de suas necessidades de consumo contribuem para o aumento da poluição ao meio ambiente. A água para o consumo humano, por exemplo, torna-se escassa e os problemas de saneamento tornam-se mais difíceis de serem solucionados (RIBEIRO E ROOKE, 2010). Dentre os diversos serviços de saneamento realizados no Brasil, o esgotamento sanitário possui elevada ausência e precariedade em muitos municípios, sendo ele, um dos maiores desafios à gestão pública na atualidade (IBGE, 2017) e os determinantes demográficos da demanda por saneamento, constituídos de características básicas como tamanho da população, seu ritmo de crescimento e seu grau de urbanização.

Os efeitos das ações antrópicas têm comprometido a qualidade dos corpos d'água superficiais como alternativas de abastecimento. A tal constatação, soma-se a desigual distribuição dos recursos hídricos superficiais no Brasil – aproximadamente 92% da população vive onde se encontra 27% da disponibilidade hídrica superficial do País –, favorecendo a recorrente opção pela construção de reservatórios de acumulação visando a conferir maior robustez aos sistemas de abastecimento nos períodos de estiagem mais severa. Tal ocorre principalmente nas regiões Sudeste e Nordeste onde reside aproximadamente 70% da população brasileira (ANA, 2012). Desse modo, se faz necessário o emprego e desenvolvimento de novas tecnologias de tratamento com a finalidade de minimização desta problemática, dada a necessidade de maior eficiência de alguns métodos tradicionais amplamente já utilizados.

A adsorção é uma técnica de tratamento promissora, a qual pode ser aplicada na remoção de microcontaminantes de água e efluentes. As vantagens desse processo estão relacionadas a sua simples operação, e também a não introdução de subprodutos à água (AHMED et al., 2016).

Os Hidróxidos Duplos Lamelares (HDLs) têm mostrado uma alta taxa de remoção de micropoluentes. Estes se tratam de uma classe de argila aniônica que pode ser obtida sinteticamente em laboratório ou naturalmente, podendo apresentar aplicações tecnológicas e ambientais, de acordo com suas propriedades, como: composição, cristalinidade, estabilidade térmica e outras propriedades físico-químicas (PACHECO, 2019). Estes compostos são vantajosos por apresentarem baixo custo, facilidade na obtenção e elevada área superficial, fatores que tornam esses materiais promissores na aplicação como adsorventes na remoção de contaminantes e poluentes presentes em matrizes aquáticas, tais como: esgoto, águas superficiais e subterrâneas, etc.

Questões relacionadas ao desenvolvimento científico e tecnológico, incluindo a análise de políticas relacionadas à alocação de recursos, estratégias de P&D, avaliação de novos produtos, processos, tecnologias e a identificação de oportunidades futuras têm se tornado cada vez mais complexas (MILES et al., 2003). Além de complexas, decisões estratégicas sobre tecnologias emergentes e suas implicações na sociedade se mostram vitais para governos, empresas e demais instituições envolvidas nos sistemas de inovação (PORTER et al., 2004). A pesquisa bibliográfica, inserida especialmente na academia, cumpre o intuito de atualizar e aprimorar o conhecimento, por meio da investigação científica de obras publicadas, sendo também importante considerar que a pesquisa científica é uma investigação metódica acerca de um determinado assunto com o objetivo de esclarecer aspectos em estudo (BASTOS, 1995).

O avanço das tecnologias trouxe consigo uma grande variedade de meios de obtenção de dados, acerca dos mais diversos temas da ciência que necessitam de aprofundamento, como a própria produção científica e acadêmica. As novas formas de produção de conhecimento promovem as comparações entre estudos, assim como as atualizações e também o mapeamento do conhecimento existente. Desta maneira, os estudos que envolvem *Scoping Review* proporcionam além de uma visão global dos

assuntos objetos do processo de investigação, promovendo a compreensão de tendências das pesquisas científicas, identificando lacunas, e sobretudo, contribuindo com investigações posteriores e relevantes dentro da temática enquanto a Análise Bibliométrica como um método de análise quantitativa para a pesquisa científica é capaz de mensurar a contribuição do conhecimento oriundo das publicações dentro de uma determinada área de estudo.

Neste aspecto e diante deste cenário, este estudo apresenta, de maneira inovadora, uma análise da produção científica sobre os HDLs através da produção de estudos de *Scoping Review* e de Análise Bibliométrica, visando desse modo, identificar e mapear as evidências disponíveis através de critérios pré-estabelecidos de buscas na literatura eletrônica nacional e internacional, com o intuito de reunir estudos relevantes e que contribuam para reunião de informações científicas importantes para os problemas existentes, através de panorama da produção científica neste novo campo de pesquisa, avaliando aspectos como autores, veículos de publicação, áreas de conhecimento, palavras-chave relacionadas, entre outros.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Identificar as evidências científicas relacionadas à aplicabilidade dos Hidróxidos Duplos Lamelares como agentes adsorventes de contaminantes e poluentes em matrizes aquáticas.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar as características mais relevantes existentes na literatura que envolvem o emprego dos Hidróxidos Duplos Lamelares como agentes adsorventes de contaminantes e poluentes em matrizes aquáticas;
- Identificar os métodos de síntese mais utilizados para fabricação dos HDLs;
- Descrever os tipos de HDLs mais utilizados e os contaminantes e poluentes de maior ocorrência nos estudos;
- Mapear a produção científica acerca do emprego dos HDLs para tratamento de água;
- Apresentar desafios e tendências para a melhoria dos estudos dos HDLs como adsorventes em meios aquosos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico foi construído de modo a integrar os componentes essenciais à pesquisa científica e está apresentado com intuito de promover maior compreensão da temática desenvolvida, englobando a referida área de conhecimento, os objetos de estudo e o delineamento do processo investigativo.

3.1 Meio Ambiente e Matrizes Aquáticas

A preocupação com a preservação ambiental, incluindo a qualidade da água resulta na Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6938/81) com o objetivo de garantia do meio ambiente equilibrado, utilizando-se de critérios e padrões de qualidade ambiental definidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, órgão consultivo e deliberativo pertencente ao Sistema de Gestão Ambiental brasileiro (DINIZ et al., 2006).

A superfície terrestre é coberta em sua maioria por água, sendo 97% água salgada, e 3% de água doce. A água salgada é inviável ao consumo humano e uma parte considerável da água doce apresenta-se na forma congelada (geleiras) ou, ainda, contaminada, inviabilizando seu consumo. A racionalização do uso da água é um assunto que vem atraindo grande atenção nos últimos tempos, visto que está se tornando cada vez mais escasso, uma vez que 40% da população mundial têm sido afetadas pela ausência deste recurso (OTTOBONI, 2019).

A água doce, utilizada para o consumo humano está distribuída em rios, lagos, lagoas, córregos e aquíferos subterrâneos. As águas subterrâneas, correspondente a 30% do total de água doce do planeta, podem apresentar níveis elevados de elementos químicos prejudiciais à saúde humana. Arsênio, selênio, bário e chumbo são frequentemente encontrados em escavações de poços artesianos. Em muitas localidades, esses poços são a única alternativa para abastecimento de água. Essa contaminação pode ocorrer de forma natural, através do processo de lixiviação de rochas ou, ainda, decorrente do processo de mineralização e outras fontes de poluição (MANDAL E SUZUKI, 2002). A contaminação da água ocorre por diversos meios, os mais comuns são o esgoto doméstico, resíduos industriais, resíduos de mineração, agrotóxicos e ainda a contaminação natural (QU et al., 2013). A Portaria do

Ministério da Saúde MS 2.914/2011 descreve os parâmetros da água a ser servida à população brasileira, devendo os tratamentos convencionais que se utilizam de processos físico-químicos para potabilidade da água ser realizados nas ETA.

Segundo o Instituto Nacional de Ciências e Tecnologias Analíticas Avançadas – INCTAA (2014), a seleção dos contaminantes que devem ser regulamentados não é trivial e envolve o trabalho de diversas áreas do conhecimento, em especial no cenário atual, onde a cada ano mais de mil novas substâncias são cadastradas. Primeiramente deve-se considerar a produção mundial de uma dada substância, a maneira como ela é utilizada, a classe a que pertence (antibióticos, pesticidas, retardantes de chama etc.), as características físico-químicas, dados sobre a toxicidade (se disponíveis), mecanismo de ação e o potencial de periculosidade ambiental.

O crescente desenvolvimento industrial e a urbanização, embora sejam reflexos da melhora da economia global são responsáveis também pela, cada vez maior e incontrolável, produção de águas residuais (VERMA et al.,2012; GOH, 2018). Grandes volumes de efluentes são produzidos por processos industriais e que muitas vezes não recebem tratamentos adequados, agredindo o meio ambiente e gerando um grande desperdício de água. Em virtude dessa situação, cada vez mais têm sido estudadas formas de tratar esses efluentes ou pelo menos minimizar os níveis de contaminantes presentes (GOGATE, 2004).

Em função da menor disponibilidade aquática disponível, a necessidade de reutilização da mesma tende a aumentar progressivamente. As normas e leis ambientais impulsionam o desenvolvimento de pesquisas que tem como principal objetivo o tratamento de resíduos industriais, visando desse modo sua reutilização ou descarte no meio ambiente de acordo com a legislação ambiental vigente. O próprio reuso de água teve seu desenvolvimento resultante dos avanços em tecnologias de tratamento de boa qualidade a custos dentro da razoabilidade.

No Brasil, esta é uma questão bastante relevante devido à deficiência de políticas públicas que visem solucionar os problemas de saneamento básico, ainda muito evidentes. A precariedade do saneamento básico somada ao crescimento desordenado da população nas grandes cidades pode ser

considerada, nos dias atuais, como uma das principais causas da degradação e poluição dos corpos hídricos no Brasil (TUNDISI, 2011) uma vez que no ano de 2018, na questão do esgotamento sanitário apenas cerca de 53,2% da população é atendida com coleta de esgoto, enquanto em média 46,3% possui tratamento de esgoto segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (CONAMA 357/2005 e CONAMA 430/2011). Desse modo, para lançamento de efluentes de águas residuárias em mananciais se faz necessário o monitoramento de indicadores físicos e químicos, assim como bacterianos, virais e patogênicos.

As águas subterrâneas são as principais fontes de água potável em regiões com escassez de água superficial, sendo em algumas localidades utilizadas como complemento às águas superficiais. Geralmente, é consumida pela população sem levar em conta sua qualidade, principalmente em regiões onde tais problemas com qualidade da água subterrânea são preocupantes devido à infiltração de fertilizantes, agrotóxicos, esgotos domésticos irregulares e excrementos de animais, algo comum em regiões de semiárido (BRASIL, 2017).

3.2 Contaminantes e Poluentes Aquáticos

Segundo a Academia de Ciências do Estado de São Paulo (ACIESP, 1987), pode ser considerado contaminante qualquer substância ou composto que afeta negativamente o ecossistema, capaz de provocar alterações na estrutura e funcionamento das comunidades. Desse modo, contaminantes são agentes definidos como substâncias cujas concentrações e formas são nocivas à saúde humana e não humana, podendo ser encontrados em diferentes estados físicos: sólido, líquido ou gasoso. Estudos têm sido realizados para detectar a presença destes em águas para consumo humano e residuais (SODRÉ, 2010).

A denominação poluente deve ser empregada à substância ou energia que, lançado ao meio ambiente, interfere no funcionamento de parte ou de todo

o ecossistema. Os principais contaminantes encontrados em águas são: matéria orgânica, organismos patogênicos, compostos organossintéticos e metais pesados (SILVA, 2016). Contaminantes ou substâncias prioritárias são aqueles que oferecem risco significativo para o ambiente aquático ou à saúde humana, sendo estes, tóxicos, persistentes e bioacumulativos (UE, 2008) como exemplo de íons de metais tóxicos, como Cd(II) e Pb(II) que apresentam propriedades neurotóxicas (AHAMED et al., 2005).

Os mecanismos de poluição das águas podem ser divididos em duas categorias. A primeira consiste nas fontes de poluição pontuais que podem ser identificadas e diagnosticadas, sendo que, em muitos casos, é possível estabelecer ações corretivas ou mesmo punitivas. O descarte de esgotos domésticos ou industriais, tratados ou não, são exemplos de fontes pontuais. O esgoto bruto pode provocar a deterioração de ambientes aquáticos urbanos seja por meio do aporte de compostos antropogênicos ou por alterações na especiação de uma série de substâncias e elementos químicos presentes na coluna de água (SODRÉ, 2007). A segunda fonte de poluição de águas é oriunda das não pontuais ou difusas. Tomaz (2006) expõe que a poluição difusa ocorre quando ela não pode ser identificada e cobre uma extensa área, como aquela proveniente das chuvas sobre uma cidade, que molham os telhados, os jardins, as ruas, etc, levando consigo poluentes urbanos para os cursos d'água.

Montagner et al. (2014) descreveram que em amostras de águas tratadas brasileiras foram pesquisados 124 contaminantes de classes diversas incluindo hormônios, subprodutos de processos de desinfecção, compostos de uso industrial, cafeína, fármacos, produtos de higiene pessoal (PHPs), drogas e pesticidas. Também Machado e colaboradores (2016), investigaram a presença de vários contaminantes emergentes na água bruta e na água para consumo humano de diversas regiões do Brasil.

Um trabalho com coleta em âmbito nacional realizado pelo INCTAA verificou que concentrações de cafeína encontradas nas amostras de água de abastecimento de algumas capitais chegam a ser mil vezes superiores às aquelas encontradas em capitais populosas na Europa e EUA (INCTAA, 2014) sendo a concentração de cafeína também correlacionada com o potencial estrogênico de amostras de águas superficiais, pois mesmo não sendo considerada um

interferente endócrino, é oriunda do esgoto doméstico, o qual apresenta uma série de outros compostos que podem causar alterações no sistema endócrino (MONTAGNER et al., 2014).

Conforme definição do art. 3, III da PNMA – dos corpos hídricos, define-se poluição – lançamento de matéria ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos. Considera-se poluição o lançamento de efluentes que confirmam ao corpo receptor características em desacordo com o enquadramento feito com base nas suas diretrizes de classes, ou ações cinérgicas dos parâmetros definidos nas classes, capazes de causarem efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia da vida (CONAMA 20/86) (DINIZ et al., 2006).

No Brasil, somente 48,7% dos municípios contam com ao menos um sistema de tratamento de esgoto, totalizando 38,7% da população do país (BRASIL, 2016) o que inviabiliza o acesso à grande parte da população ao saneamento básico.

Diferentes indústrias desenvolvem e produzem vários compostos que devem melhorar a vida humana, sendo a maioria deles altamente tóxica ao meio ambiente se não for gerenciada adequadamente (MACEDONIO, 2017). Grande quantidade de trabalhos relata a presença de poluentes químicos como os PHPs em corpos hídricos diversos, sendo substâncias amplamente produzidas em ambientes urbanos como oriundas das ações humanas. Por suas características intrínsecas, e por serem objeto de interesse relativamente recente nos meios acadêmicos e regulatórios, são considerados como micropoluentes emergentes (SAMPAIO, 2018).

Diversas substâncias têm sido consideradas contaminantes emergentes, tais como: fármacos, compostos usados em produtos de higiene pessoal, hormônios, alquilfenóis e seus derivados, drogas ilícitas, sucralose e outros adoçantes artificiais, pesticidas; subprodutos provenientes de processos de desinfecção de águas; retardantes de chama bromados; compostos perfluorados; siloxanos; benzotriazóis; ácidos naftênicos; percloratos; dioxinas; nanomateriais; líquidos iônicos e microplásticos. Além desses, alguns microorganismos e toxinas de algas também são considerados contaminantes emergentes (MONTAGNER et al., 2017).

Dentre os micropoluentes emergentes, os fármacos constituem um grupo que merece grande atenção por sua presença no meio aquático. Os principais grupos são representados por antibióticos, analgésicos e antipiréticos, antidepressivos e tranquilizantes, antiinflamatórios e antirreumáticos, produtos esteroides e hormônios relacionados, anestésicos, betabloqueadores, antiepilépticos, antineoplásicos, reguladores lipídicos no sangue, e produtos de contraste de raios-X (SAMPAIO, 2018).

Alguns fármacos devem ser destacados por serem caracterizados como desreguladores endócrinos (DE), considerados substâncias ou compostos exógenos capazes de alterar uma ou várias funções do sistema endócrino e possui, conseqüentemente, efeitos adversos sobre a saúde num organismo intacto, sua descendência, ou (sub) populações (IPCS, 2002). A ocorrência destes poluentes emergentes em águas naturais ocorre principalmente nos grandes centros urbanos e é agravada pela falta de gestão ambiental (descarte inadequado de resíduos e efluentes), assim como a falta de tecnologias eficientes para a remoção de micropoluentes (STELATO et al., 2016).

Considerando que a remoção de micropoluentes em Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) é problemática, espera-se um grande aporte de fármacos em corpos aquáticos, o que pode representar até cerca de 60 a 80% da carga total de poluição nos países em desenvolvimento (SCHWARZENBACH et al., 2010). Estas substâncias se configuram como grandes contribuintes para a contaminação do meio ambiente, atuando negativamente para a saúde humana e para os sistemas aquíferos.

Para geração de valores máximos permitidos, o Brasil adota as recomendações da OMS para a potabilidade, entretanto, em muitos casos não há informações acerca de diversas substâncias de interesse recente utilizadas rotineiramente (UMBUZEIRO, 2012). No caso específico da água para abastecimento público um valor máximo permitido (VMP) para uma substância implica no nível máximo de um contaminante presente na água destinada a consumo humano que não provoque efeitos adversos (UMBUZEIRO et al., 2010).

Muitos contaminantes emergentes ainda estão presentes nos efluentes finais que são lançados nos corpos d'água devido a sistemas de tratamento inadequados. Conseqüentemente, alguns deles acabam sendo encontrados na

água tratada distribuída à população a qual é oriunda de mananciais já comprometidos (RAIMUNDO, 2011).

Assim como nas ETE, os processos convencionais de tratamento nas ETA não são eficientes para a eliminação de inúmeros contaminantes orgânicos (STACKELBERG, 2007; SODRÉ, 2013).

Os métodos baseados em adsorção são os mais amplamente utilizados na extração e concentração de analitos em amostras ambientais, sendo a extração em fase sólida (SPE, do inglês *Solid Phase Extraction*) a mais utilizada neste processo (SAMPAIO, 2018).

3.3 Adsorção

Dentre os métodos de tratamento de águas contaminadas com micropoluentes, a adsorção surge como uma técnica promissora, a qual pode ser aplicada como complemento do tratamento convencional de água e efluentes na remoção de microcontaminantes de água e efluentes. Visto que, as altas remoções de poluentes podem ser observadas mesmo em concentrações muito baixas de contaminantes. Vantagens desse processo estão relacionadas a operação e também a não introdução de subprodutos à água (AHMED et al., 2016). O processo de adsorção é considerado a melhor técnica sobre outras estratégias de tratamento de água contaminada devido sua simplicidade de operação e universalidade para orgânicos comuns e contaminantes inorgânicos (CRINI, 2005; JIANG et al., 2018; SANTOS et al., 2020).

Adsorção é um processo físico-químico de transferência de massa, que estuda a habilidade de certos sólidos em 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 adsorbente (CASTELLAN, 1999). As formas gráficas variantes para estes termos também são observadas como empregadas por Ruthven (1984) onde a espécie que se acumula na interface do material é normalmente denominada de adsorbato e a superfície sólida na qual o adsorbato se acumula é chamada de adsorbente.

Embora haja sempre uma forma preferida ou mais aplicada pelos autores, ambas são corretas.

A adsorção pode ocorrer por mecanismos químicos ou físicos, em ambos os casos o adsorvato, que é a substância a ser removida, acumula-se na superfície do material adsorvente, que é o material sólido utilizado (METCALF, 2016; SINGH et al., 2018). Ao comparar os dois mecanismos, observa-se que a adsorção física é caracterizada pela fraca ligação entre o adsorvente e o adsorvato, pois envolve forças de coesão molecular; é reversível, apresenta baixo calor envolvido e apesar de ocorrer em toda a superfície do material é verificada apenas na camada mais superficial. A adsorção química, caracterizada por uma ligação química forte, é considerada oposta à adsorção física, um dos motivos deve-se à força da ligação entre adsorvente e adsorvato, especificidade e compatibilidade necessária entre o adsorvente e o adsorvato para que os elementos possam se ligar, trocar ou partilhar elétrons nos sítios ativos (NASCIMENTO et al., 2014). As características gerais dos tipos principais de adsorção são sintetizadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Comparação entre os aspectos dos mecanismos de fisissorção e quimissorção.

Aspecto/Tipo de adsorção	Adsorção Física	Adsorção Química
Tipo de interação	Fraca (van der Waals)	Forte (compartilhamento de elétrons)
Calor de adsorção	Baixo ($< 40\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)	Alto
Especificidade	Não específica	Altamente específica
Número de camadas	Mono ou multicamada	Monocamada
Temperatura	Baixas temperaturas	Altas temperaturas
Velocidade	Rápida	Lenta ou rápida
Reversibilidade	Reversível	Pode ser irreversível

Fonte: RUTHVEN, 1984.

Os processos de separação por adsorção estão baseados em três mecanismos distintos: o mecanismo estérico, os mecanismos de equilíbrio e os mecanismos cinéticos. Para o mecanismo estérico, os poros do material adsorvente possuem dimensões características, as quais permitem que

determinadas moléculas possam entrar, excluindo as demais. Para os mecanismos de equilíbrio, têm-se as habilidades dos diferentes sólidos para acomodar diferentes espécies de adsorvatos, que são adsorvidos, preferencialmente, a outros compostos. O mecanismo cinético está baseado nas diferentes difusividades das diversas espécies nos poros adsorventes (DO, 1998).

Devido à habilidade que certos sólidos possuem de concentração em sua superfície de substâncias específicas e soluções aquosas, quando a concentração de uma substância aumenta em uma interface, ocorre o que se denomina de adsorção positiva, não obstante, quando a concentração desta substância diminui na região de interface, tem-se uma adsorção negativa. Este fenômeno está diretamente relacionado com a área superficial disponível do adsorvente, a relação entre a massa do adsorbato e massa do adsorvente, o pH, a temperatura, a força iônica e a natureza química do adsorvente/adsorbato (GUIMARÃES, 2001). Os atributos mais importantes de um adsorvente são: capacidade de adsorção (qt), seletividade, regenerabilidade, cinética e compatibilidade com o adsorbato (KNAEBEL, 2011). Além desses, no desenvolvimento de novos materiais é importante considerar: toxicidade, viabilidade econômica, disponibilidade, acesso, capacidade de regeneração e eficiência de remoção (Er) (SINGH et al., 2018).

Em termos do tratamento de efluentes líquidos há a transferência do meio líquido para a fase sólida. Essa transferência pode ser realizada de duas formas: (i) através de um leito fixo; ou (ii) por meio da mistura do adsorvente com o líquido, nesse caso, sendo necessária uma etapa de separação por centrifugação ou filtração (METCALF, 2016).

O processo de adsorção sólido-líquido explora a capacidade que certos sólidos apresentam em concentrar na sua superfície substâncias específicas em soluções aquosas. Quando existe a possibilidade de ocupação de sítios internos da estrutura do material pelas espécies a serem removidas, o fenômeno é denominado absorção e quando os dois fenômenos ocorrem simultaneamente, o processo é denominado sorção (SANTOS, 2016).

A simplicidade e a eficiência da adsorção e o baixo custo tornam-a um processo atrativo (SINGH et al., 2018; BACELO et al., 2020), tendo se tornado,

conseqüentemente, um dos processos mais empregados para tratamento de grande variedade de poluentes.

A escolha do adsorvente para um sistema é de crucial importância para a eficiência do processo. Entre as características desejáveis para o material, estão a seletividade, custo acessível, elevadas capacidade de adsorção e área específica, regenerabilidade e compatibilidade com o processo (OLIVEIRA, 2013).

A aplicação das argilas como material adsorvente é possível devido a sua alta capacidade de troca catiônica, grande estabilidade química e mecânica, abundância e baixo custo, quando comparada ao carvão ativado comercial (PARK et al., 2013).

Algumas argilas especificamente, apresentam-se na forma de lamelas, estruturalmente empilhadas, formadas pela conformação de dois tipos de folhas cristalinas, com estrutura octaédrica e/ou tetraédrica com espessura de aproximadamente 1nm (TEIXEIRA-NETO, 2009).

Os Hidróxidos Duplos Lamelares (HDLs), conhecidos como argilas aniônicas, são formados por lamelas, carregadas positivamente, empilhadas por ligação não covalente (JIA et al., 2019) sendo alguns HDLs precursores ou elementos de um conjunto mais geral de compostos, denominados como estruturas lamelares pilarizadas ou PLS: "*pillared layered structures*".

3.4 Hidróxidos Duplos Lamelares

A descoberta das argilas aniônicas foi marcada por um relato em 1842 na Suécia, descrevendo um mineral facilmente macerável em um pó branco e fino (CAVANI et al., 1991). Também os minerais da família das argilas aniônicas são reportados por mineralogistas desde o início do século 20 como Kurnakov e Chernykh (1926), Aminoff e Broomé (1930), Read e Dixon (1933) e Frondel (1941) (ROY et al., 1999).

O termo "Hidróxido Duplo Lamelar" se refere a características estruturais e destaca a presença de dois cátions metálicos na lamela destes compostos. Na literatura é possível encontrar ainda o termo "*hydrotalcite-like compounds*" também bastante empregado para designar estes materiais, ressalta-se que a hidrotalcita é uma argila aniônica natural com ânions carbonato que se intercalam entre lamelas de hidróxido duplo de magnésio e alumínio.

Quanto à nomenclatura, quando se refere aos hidróxidos duplos lamelares também é usado o termo “composto do tipo hidrotalcita” (CREPALDI E VALIM, 1998), e teve seu primeiro artigo na literatura, exatamente com esta nomenclatura, escrito por Mitaya e colaboradores em 1971. O emprego desta denominação às vezes pode ocasionar conflito relacionado às referências literárias como Frost e Musumeci (2006) ao tratar HDL exatamente como sinônimo de Hidrotalcita. Vale ressaltar que como descrito por Martin e Pinnavaia (1986) a Hidrotalcita é um HDL natural que tem como cátion bivalente o Mg^{2+} , como cátion trivalente o Al^{3+} e ânion interlamelar o CO_3^{2-} . O termo HDL é geral e refere-se a hidróxidos duplos com dois cátions metálicos e ânions nas lamelas, sendo que o uso de denominações como os empregados para as argilas naturais (hidrotalcita, piroaurita, etc.) não é recomendado no caso de materiais sintéticos, pois estas últimas não apresentam composição bem definida como as naturais. Entretanto, o termo “argilas aniônicas” pode ser aplicado tanto para o material natural como o sintético (CREPALDI & VALIM, 1998). Vários outros termos também são utilizados para designar estes materiais como hidróxidos metálicos mistos, sais duplos lamelares, etc.

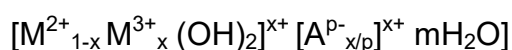
Em 2012, Mills et. al. revisaram o grande grupo de hidrotalcita e fizeram recomendações para a nomenclatura dessa classe de materiais. Em primeiro lugar, Mills e colaboradores (2012) recomendam que os HDLs sintéticos não fossem descritos usando o nome do mineral correspondente. Além disso, vários HDLs minerais que eram simplesmente politipos dos minerais existentes foram extintos.

Ainda de acordo com Crepaldi e Valim (1998) devido à composição não exatamente tão definida dos HDLs sintéticos, se torna pouco viável a utilização dos mesmos nomes dados às argilas naturais como hidrotalcita, manasseita, piroaurita, etc. Os HDLs sintéticos também não apresentam todos os requisitos necessários a fim de serem considerados argilas, como tamanhos de partículas reduzidos.

A hidrotalcita sintética é produzida por diversas indústrias em vários países do mundo, promovendo assim, a importância do uso de hidróxidos duplos lamelares como componentes de inúmeros produtos fabricados em escala industrial. O aumento gradativo do uso destas tecnologias impacta na economia gerada com o emprego destes materiais promissores.

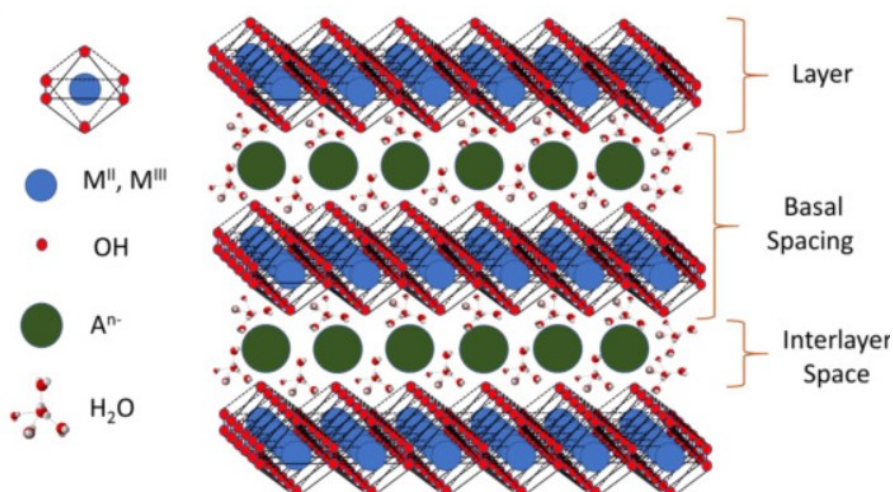
Estruturalmente, os HDLs consistem em lamelas de hidróxidos de metais separadas por ânions e moléculas de água. Podem ser representados pela fórmula: $(M^{II} 1-x M^x M^{III} (OH)_2 \cdot (X_n x/n n \cdot H_2O))$, em que M^{II} e M^{III} representam as cargas dos metais presentes nas lamelas e são respectivamente metais divalente e trivalente, como Mg^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Ca^{2+} e metal trivalente, como, Al^{3+} , Fe^{3+} , Ga^{3+} e Cr^{3+} . A camada interlamelar é representada por Xq^- , que é um ânion com valência n , sendo o x definido como $[M^{III}]/([M^{III}]+[M^{II}])$ (FORANO et al., 2013).

A Figura 1 apresenta a representação esquemática da estrutura dos hidróxidos duplos lamelares, sendo a fórmula geral designada por:



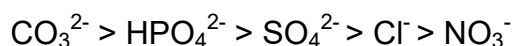
Onde o ânion A^{p-} é responsável por equilibrar as cargas interlamelares, os cátions M^{II} e M^{III} , divalente e trivalente, respectivamente, ocupam os interstícios das lamelas octaédricas por íons de hidróxido $M(OH)_6$, m representa o número de moléculas de água de hidratação, e x a razão entre $M^{+3}/(M^{+3} + M^{+2})$ que varia de 0,20 a 0,33 (PINNAVAIA, 1992; KHAN e O'HARE, 2002; LEMES, 2018; LINS et al., 2019; MEILI et al., 2019).

Figura 1 - Representação da estrutura do HDL



Fonte: SANTOS (2021).

Um grande número de ânions, tanto orgânicos como inorgânicos, pode ocupar o domínio interlamelar dos HDL. Porém é importante conhecer a capacidade de ânion em estabilizar a estrutura. Diversos autores classificaram alguns ânions em ordem de capacidade de estabilizar as lamelas (DAS, 2006).



As possíveis combinações de cátions divalentes e trivalentes para formação dos HDLs são: MgAl, MgFe, MgCr, MgSc, NiAl, NiFe, NiCr, NiCo, NiNi, ZnAl, ZnCr, CuAl, CuCr, CoAl, CoCo, CoTi, MnAl, MnMn, MnGa, FeAl, FeFe, CaAl, LiAl (CREPALDI e VALIM, 1998). O Quadro 2 ilustra de maneira concisa diversas combinações estudadas que produziram hidróxidos duplos lamelares.

Quadro 2 - Combinação de cátions divalentes com trivalentes que produzem HDLs

Cátions		Trivalentes													
Divalentes	Al	Fe	Cr	Co	Mn	Ni	Sc	Ga	Ti*	La	V	Sb	Y	In	Zr*
Mg	x	x	x	x	x		x	x		x	x	x	x	x	X
Ni	x	x	x	x	x	X		x		x					
Zn	x	x	x					x	x						
Cu	x		x												
Co	x	x	x	x					x	x					
Mn	x		x		x			x							
Fe	x	x													
Ca	x														
Li**	x														
Cd	x														

*tetraivalente, **monovalente

Fonte: SANTOS (2019).

Para formar o HDL, os cátions metálicos que fazem parte da camada inorgânica devem obrigatoriamente apresentar a coordenação octaédrica e apresentarem raio iônico na faixa entre 0,50-0,74 Å. A distribuição e a natureza dos ânions intercalados influenciam no espaçamento basal entre as lamelas, apresentando alterações de valores devido à posição dos ânions e do tamanho das moléculas. A Tabela 1 apresenta valores do espaçamento basal para HDLs intercalados com diferentes ânions.

Tabela 1 - Valor dos espaçamentos basais (Å) em HDLs com diferentes ânions.

Ânion	D (Å)
OH ⁻	7,55

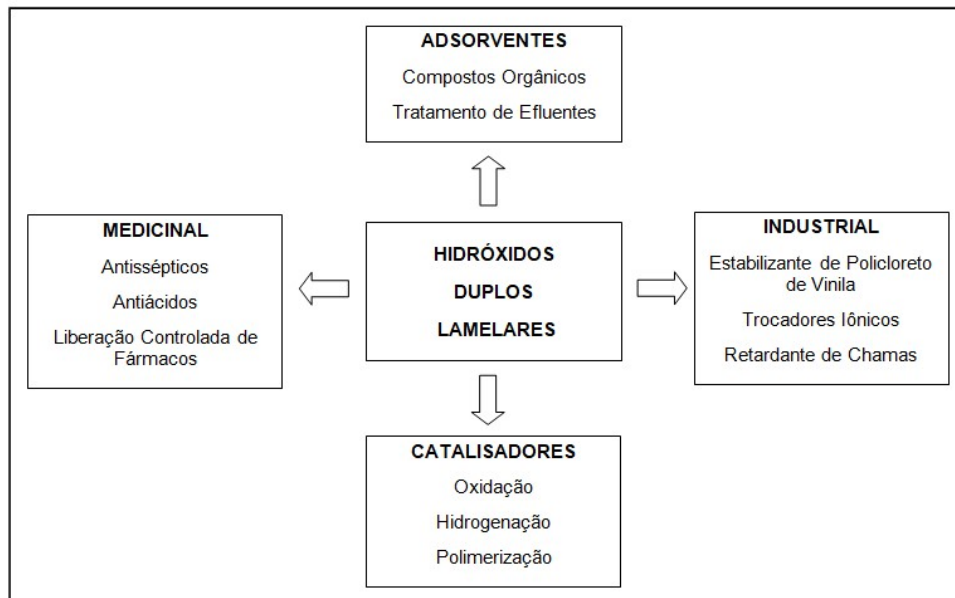
$(\text{CO}_3)^{2-}$	7,65
F^-	7,66
Cl^-	7,86
Br^-	7,9
$(\text{NO}_3)^-$	8,79
$(\text{SO}_4)^{2-}$	8,58

Fonte: CAVANI e VACCARI (1991).

Os HDLs podem remover ânions por mecanismos de adsorção, sorção (regeneração do HDL calcinado) e troca iônica (PAVAN, 1998; CREPALDI et al., 2002; DIAZ-NAVA et al., 2003). Assim, os HDLs podem ser aplicados como adsorventes para remoção de diversas espécies aniônicas em soluções aquosas, principalmente no tratamento de efluentes industriais contendo tensoativos, corantes e herbicidas ácidos (INACIO, J. et al., 2001; LAZARIDIS, 2003; DOS REIS, M.J., 2004).

Algumas das mais diversas aplicações dos Hidróxidos Duplos Lamelares são representadas esquematicamente na Figura 2.

Figura 2 - Representação esquemática das aplicações dos HDLs.



Fonte: Adaptado de CAVANI (1992).

Os HDLs podem ser sintetizados em laboratório usando-se métodos simples (COSTA, 2017), uma vez que a ocorrência natural dos mesmos é bastante limitada. Contudo, sua produção via síntese química pode ser

alcançada em laboratório por rotas simples e de baixo custo, o que permite a obtenção de sólidos com elevada pureza de fase e com alto grau de ordem estrutural, com as mais variadas propriedades, ajustadas de acordo com a finalidade desejada (SÁ et al., 2016).

Segundo Tronto (2006), existem vários métodos para a síntese dos HDLs, que podem ser divididos em duas categorias:

- i) Métodos de síntese direta: método sal-base ou coprecipitação, métodos sal-óxido, síntese hidrotérmica, hidrólise induzida, método sol-gel, preparação eletroquímica.
- ii) Métodos de síntese indireta: método de troca aniônica simples, troca aniônica por regeneração de material calcinado e troca aniônica, usando fase dupla, com a formação de um sal entre os tensoativos.

Alguns fatores devem ser avaliados, incluindo o grau de agitação, a velocidade de adição de uma solução à outra, o pH final da suspensão resultante (para métodos de pH variável), a temperatura da solução final (geralmente temperatura ambiente) e, em alguns casos, o controle atmosférico (BENÍCIO et al., 2015).

Os HDLs são capazes de remover uma grande variedade de contaminantes tóxicos a partir de adsorção, reconstrução e troca iônica. A grande área superficial e a acentuada estabilidade térmica exibida por HDL, permite o emprego dos HDLs em várias aplicações como catalisadores, precursores ou suporte para catálise, adsorventes, eletrodos modificados, além de aplicações medicinais como antiácido (CUNHA et al., 2010), adsorvente de pesticidas (KHENI et al., 2010), metais pesados (YANG et al., 2016), corantes (SÁ et al., 2013), fármacos (GHEMIT et al., 2017).

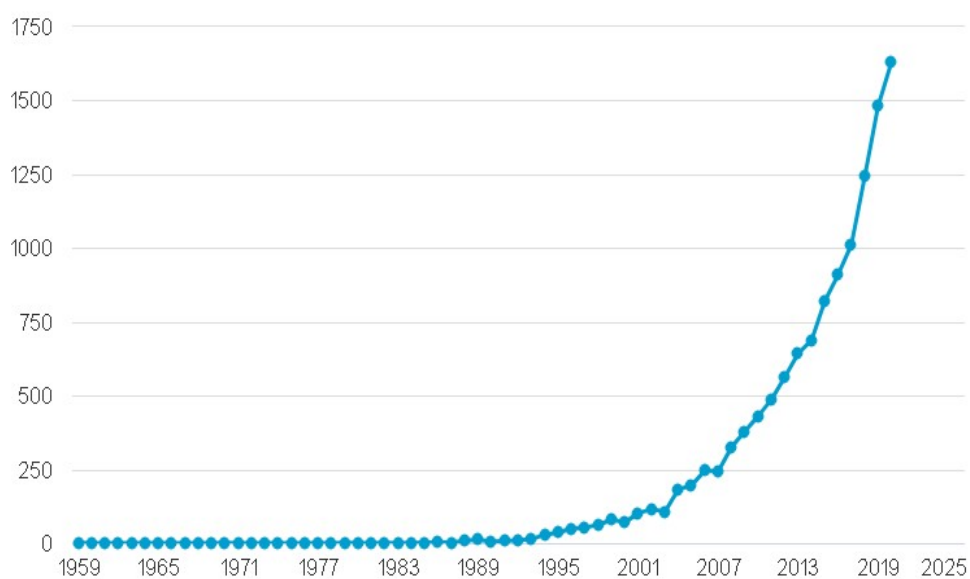
3.4.1 Levantamentos gerais de estudos dos HDLs em plataformas de dados eletrônicos

Através de amplo levantamento bibliográfico em plataforma de dados eletrônicos é possível verificar que os HDLs foram obtendo cada vez mais espaço em estudos científicos e também em interesse industrial por suas potenciais e comprovadas aplicações.

Na Figura 3, encontra-se representada a busca referente exclusivamente ao termo "*layered double hydroxides*" na base de dados eletrônicos SCOPUS

oriundos dos campos título, resumo e palavras-chaves. Os resultados obtidos englobam uma variada gama de documentos, mas sendo a absoluta maioria (89.7%) referente a artigos científicos, além de livros, capítulos de livros, revisões, erratas, entre outros trabalhos.

Figura 3 - Evolução do número de documentos contendo o termo “layered double hydroxides” nos campos título, resumo e palavras-chaves a partir de 1959 de acordo com a base de dados Scopus.

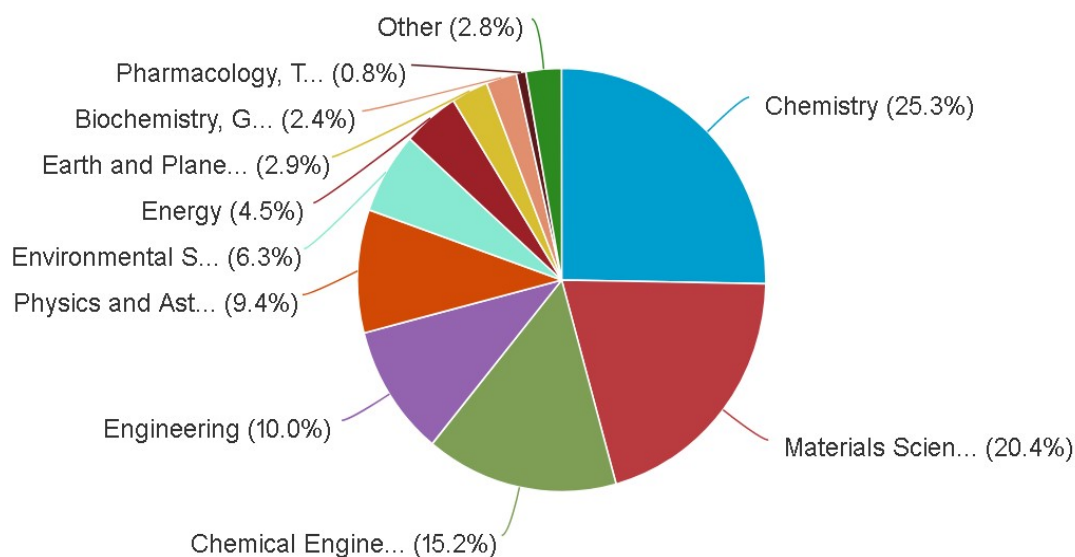


Fonte: Autora (2021).

É possível observar pela análise dos dados o crescente interesse em estudos relacionados aos HDLs no decorrer dos anos, principalmente a partir da década de 90, onde muitas pesquisas já abordavam estruturas, aplicabilidade e métodos de síntese reprodutíveis.

Os registros obtidos contemplaram 20 diferentes áreas do conhecimento, sendo o maior percentual de trabalhos (25.3%) oriundos da área de Química, seguido de Ciência dos Materiais (20.4%), Engenharia Química (15.2%), Engenharia (10%), Física e Astronomia (9.4%), Ciência Ambiental (6.3%), entre outras áreas. A representação destes resultados está descrita através da Figura 4.

Figura 4 - Percentuais dos trabalhos por áreas do conhecimento obtidos na base de dados Scopus referente à busca do termo “layered double hydroxides” nos campos título, resumo e palavras-chaves.



Fonte: Autora (2022).

Dentro da área temática de Ciência dos Materiais que corresponde a 20,4% do total de documentos encontrados (5.895 publicações), 519 trabalhos foram publicados em apenas cinco meses do ano 2022 em contraste com 682 trabalhos publicados no decorrer dos doze meses do ano anterior, denotando considerável aumento do interesse do emprego dos HDLs nesta área.

Ainda no eixo temático de Ciência dos Materiais, das buscas que resultaram em 5.895 publicações no total, o número de artigos corresponde a praticamente 95% dos trabalhos (5.586) sendo encontrados registros para as mais diversas aplicabilidades pesquisadas.

Os percentuais dos trabalhos por áreas do conhecimento obtidos na base de dados Scopus referente à busca do termo “layered double hydroxides” nos campos título, resumo e palavras-chaves, são abordados no Quadro 3.

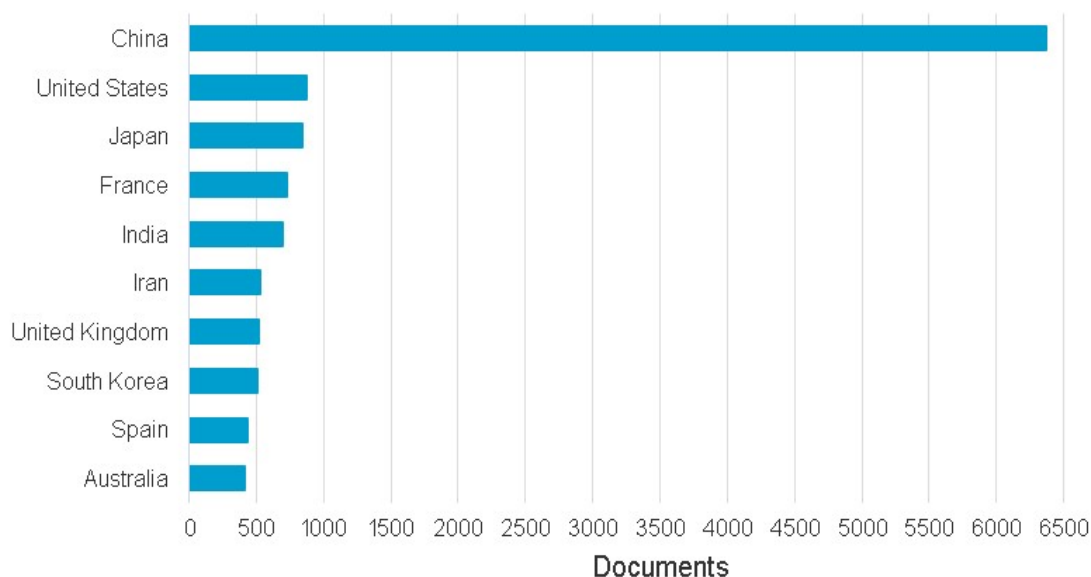
Quadro 3 - Artigos obtidos na base de dados Scopus referente à busca do termo “layered double hydroxides” restritos à área de Ciência dos Materiais segundo aplicação de filtro de recência.

Título	Autores
3D hollow Bi ₂ O ₃ @CoAl-LDHs direct Z-scheme heterostructure for visible-light-driven photocatalytic ammonia synthesis	Xia S., Zhang G., Gao Z., Meng Y., Xie B., Lu H., Ni Z.
Mesoporous nanostructures of NiCo-LDH/ZnCo ₂ O ₄ as an efficient electrocatalyst for oxygen evolution reaction	Shamloofard M., Shahrokhian S., Amini M.K.
Synergistically integrated Co ₉ S ₈ @NiFe-layered double hydroxide core-branch hierarchical architectures as efficient bifunctional electrocatalyst for water splitting	Lu Y., Liu C., Xing Y., Xu Q., Hossain A.M.S., Jiang D., Li D., Zhu J.
Leaf-like integrated hierarchical NiCo ₂ O ₄ nanorods@Ni-Co-LDH nanosheets electrodes for high-rate asymmetric supercapacitors	Acharya J., Park M., Ko T.H., Kim B.-S.
A three-dimensional NiCo-LDH array modified halloysite nanotube composite for high-performance battery-type supercapacitor	Wang Y., Zheng F., Pan Q., Deng D., Liu L., Chen B.
Rational construction of MOF-derived Zn-Co-O/NiCo-LDH core/shell nanosheet arrays on nickel foam for high-performance supercapacitors	Zhu M., Cai W., Wang H., He L., Wang Y.
Mesoporous CuZnAl-layered double hydroxide/graphene oxide nanohybrid as an energy storage electrode for supercapacitor application	Amani-Ghadim A.R., Khodam F., Aber S., Seyed Dorraji M.S.
TEM and EELS characterization of Ni-Fe layered double hydroxide decompositions caused by electron beam irradiation	Hobbs C., Downing C., Jaskaniec S., Nicolosi V.
Layered double hydroxides as high-performance anode material for potassium ion battery	Yang Q., Lv K., Liang L., Ma J., Liu C., Yan X., Wang M., Yao H., Wei D., Ma D., Xie K.

Fonte: Autora (2022).

A distribuição por países de todas as publicações da busca e sem delimitação de eixo temático está apresentada na Figura 5. Observa-se que do total de 13.388 documentos, a maioria foi de origem chinesa (6370) seguido por Estados Unidos (875), Japão (846), França (734) e Índia (696).

Figura 5 - Relação dos países com maior número de documentos publicados na base de dados Scopus referente à busca do termo “layered double hydroxides” nos campos título, resumo e palavras-chaves



Fonte: Autora (2022).

De maneira geral, baseando-se na análise de todos os resultados obtidos, denota-se o crescimento nos últimos anos da produção científica acerca dos hidróxidos duplos lamelares a nível mundial, o que indica o interesse e a viabilidade de desenvolvimento de novas pesquisas com este material.

3.5 Avaliação do processo de adsorção

Lin e colaboradores (2017) consideram que o estudo e o conhecimento das características cinéticas e de equilíbrio de adsorção são essenciais para o levantamento de informações importantes para a seleção das condições operacionais e projeto dos equipamentos do processo.

A estimativa dos parâmetros dos modelos cinéticos e isotérmicos é um dos primeiros passos para a análise do processo de adsorção e avaliação do desempenho de diferentes adsorventes e adsorvatos (BAHAMON et al., 2018).

Os mais diversos estudos relacionados à adsorção possuem diferentes focos e abordagens. Alguns atêm-se à elucidação dos mecanismos envolvidos no processo (JIANG et al., 2019), outros no desenvolvimento de novos

materiais adsorventes e regeneração destes (LU et al., 2019) e outros ainda, na otimização das condições experimentais (ZHANG et al., 2019).

A Cinética de adsorção é expressa como sendo a taxa de remoção do adsorvato na fase fluida em relação ao tempo. Envolve a transferência de massa de um ou mais componentes contidos em uma determinada massa líquida externa para o interior da partícula do adsorvente, que deverão migrar por meio dos macroporos às regiões mais interiores da partícula (NASCIMENTO et al., 2014). O estudo da cinética de adsorção permite, além do conhecimento da taxa e do tempo de equilíbrio de adsorção, a avaliação da etapa controladora da velocidade e do possível mecanismo adsorptivo (AN et al., 2020).

As isotermas de adsorção descrevem a relação entre a quantidade de adsorvato retido na fase sólida no equilíbrio e a quantidade restante presente em solução, em condição de temperatura constante (RUTHVEN, 1984) e podem ser compreendidas como a curva experimental que relaciona a quantidade de soluto adsorvida (Γ_i) com a concentração de soluto na solução (C_e) no equilíbrio termodinâmico.

3.6 Síntese de Conhecimento

Há diferentes nomenclaturas utilizadas para descrever as revisões da literatura que, mesmo não apresentando similaridade em alguns aspectos, possuem características essenciais como definição de pergunta de pesquisa, procedimentos de buscas, seleção, análise e síntese de evidências (ARMSTRONG, 2011; SOUZA, 2010).

Grant e Booth (2009) identificaram 14 diferentes tipos de revisões, dentre elas: revisão sistemática, revisão sistematizada, metanálise, *overview*, *scoping review*, entre outras. O Quadro 4 apresenta de maneira resumida a descrição de uma seleção de métodos de síntese de conhecimento utilizados no meio acadêmico.

Quadro 4 - Descrição de alguns métodos de síntese de conhecimento

Método de síntese do conhecimento	Descrição
Metanálise	Técnica combina estatisticamente o quantitativo de estudos para fornecer efeito mais preciso dos resultados
Revisão de Estudos Mistos	Refere-se a uma combinação de métodos onde pelo menos um dos componentes é uma revisão (geralmente sistemática). Pode associar a união de uma revisão qualitativa e uma quantitativa.
Revisão Sistemática	O tipo mais conhecido de revisão. Busca procurar sistematicamente pesquisas para avaliar e sintetizar evidências de pesquisa, muitas vezes aderindo às diretrizes sobre a conduta de uma revisão fornecida pela Cochrane Collaboration ou NHS Centre for Reviews and Dissemination. É transparente na comunicação de seus métodos para facilitar replicação do processo.
Revisão Sistemática Qualitativa	Método que integra/compara os achados de estudos qualitativos, podendo levar ao desenvolvimento de novas teorias.
<i>Scoping Review</i>	Fornece avaliação preliminar do tamanho potencial e escopo da literatura de pesquisa disponível. Visa identificar a natureza e a extensão das evidências de pesquisa (geralmente incluindo pesquisas em andamento).

Fonte: Adaptado de GRAND e BOOTH (2009).

Scoping review, revisão sistemática, metanálise, revisão rápida, revisão narrativa, síntese de pesquisa, revisão pictórica, revisão integrativa e revisão estruturada são algumas das nomenclaturas empregadas para descrição dos mais diversos tipos de revisões (ARSKEY H, O'MALLEY L., 2005; SOUZA, 2010). Devido à existência de uma variedade de métodos de síntese de conhecimento, os mesmos devem ser bem definidos a fim de evitar equívocos quanto à denominação correta do tipo de revisão aplicada aos estudos.

Segundo Arskey e O'Malley (2005) todos os métodos de revisão oferecem um conjunto de ferramentas que os pesquisadores necessitam usar de maneira adequada em consonância com os objetivos almejados.

3.6.1 *Scoping Review*

De acordo com os primeiros pesquisadores a nomear a *scoping review* como a mesma se apresenta, Mays, Roberts e Popay (2001) escreveram que as mesmas visam mapear rapidamente os conceitos-chave subjacentes a uma área de pesquisa e as principais fontes e tipos de evidências disponíveis, e podem ser empreendidas como projetos autônomos, especialmente quando uma área é complexa ou ainda não foi analisada de forma abrangente.

Colquhoun et al. (2014) consideram a revisão de escopo ou estudo de escopo como sendo uma forma de síntese de conhecimento que aborda uma questão de pesquisa destinada a mapear conceitos-chave, tipos de evidências e lacunas na pesquisa relacionados a uma área ou campo definido, pesquisando sistematicamente, selecionando e sintetizando conhecimento existentes.

Embora as revisões de escopo possam ser utilizadas como parte de um processo contínuo de revisão, cujo objetivo final é uma revisão sistemática tradicional, elas também podem ser realizadas como exercícios em si mesmas para resumir e disseminar os resultados dos estudos, identificar lacunas no campo de interesse pesquisado, bem como fazer recomendações para pesquisa futura (BRAGGE et al., 2011).

Scoping Reviews são uma forma de síntese do conhecimento que incorporam uma série de estudos a fim de assumir e sintetizar exaustivamente as evidências com o objetivo de informar práticas, programas e políticas e orientações para futuras prioridades de pesquisa (ARKSEY E O'MALLEY, 2005a). As *scoping reviews* ainda são uma metodologia relativamente nova que ainda não possui uma definição universal ou um método definitivo (DIJKERS, 2015), culminando na utilização de metodologia derivada de artigo de Arskye e O'Malley (2005) pela maioria dos pesquisadores que se utilizam desse método de síntese de conhecimento. Este método permite mapear os principais conceitos, clarificar áreas de pesquisa e identificar lacunas do conhecimento (JBI, 2015).

Segundo ARSKEY O'MALLEY (2005) diferentemente da revisão sistemática que geralmente concentra-se em uma pergunta bem definida com a

inclusão de desenhos de estudos apropriados e bastante específicos, a *scoping review* tende a abordar temas mais abrangentes e a englobar diferentes desenhos de estudos, podendo ser usada como estudo independente ou como passo preliminar para uma revisão sistemática. Armstrong et al. (2011), ressalta que os critérios de inclusão e exclusão na revisão sistemática são geralmente definidos no início, enquanto na *scoping review* os mesmos podem ser desenvolvidos *post hoc*, sendo ainda na primeira obrigatória a extração detalhada de dados já nesta última, prescindível.

Os Métodos de *Scoping Review* propostos por Arksey e O'Malley (2005) propunham um guia metodológico estruturado com seis estágios que consistiam em:

- Buscar estudos relevantes;
- Selecionar estudos;
- Mapear os dados;
- Agrupar;
- Resumir e relatar os resultados;
- Consultoria com as partes interessadas para informar ou validar os resultados do estudo.

Posteriormente, técnicas mais aprimoradas foram propostas por Levac (LEVAC et al., 2010) e anos mais tarde, um guia para conduzir sistematicamente *scoping reviews* foi proposto também por Peters (PETERS et al., 2015).

A seleção de uma *scoping review* assenta no seu principal objetivo: mapear as evidências subjacentes a um determinado foco de investigação, identificando lacunas, constituindo um esforço preliminar que justifique a realização de uma revisão sistemática da literatura (Peters et al., 2017).

A coleta e organização de dados é realizada a partir de uma pergunta de pesquisa definida, que busca identificar, avaliar, selecionar e sintetizar evidências de estudos que atendam a critérios de elegibilidade pré-definidos. Na revisão sistemática, são utilizados métodos voltados à minimização de vieses, a fim de produzir achados confiáveis que possam ser usados para apoiar a tomada de decisão (GARCIA, 2014). Enquanto a *scoping review* visa mapear os principais conceitos da área de pesquisa, fontes e evidências

disponíveis que requerem a descrição de aspectos abrangentes, realizadas mediante temas complexos, a revisão sistemática atua diante de temas mais restritos e que demandem avaliação da evidência e indicações de delineamentos baseados em alta qualidade.

As buscas por literatura cinzenta nas *scoping reviews* e revisões sistemáticas são indicadas devido à relevância dos documentos também inclusos neste meio. A Quarta Conferência Internacional sobre Literatura Cinzenta (GL'99), realizada em Washington, DC, em outubro de 1999, definiu literatura cinzenta como: "O que é produzido em todos os níveis do governo, institutos, academias, empresas e indústria, em formato impresso e eletrônico, mas que não é controlado por editores científicos ou comerciais." Em geral, considera-se literatura cinzenta publicações não-convencionais, evasivas e, às vezes, efêmeras. Podem incluir, mas não estão limitadas aos seguintes tipos de materiais: relatórios (pré-impresso, preliminar e avançados, técnicos, relatórios estatísticos, memorandos, estudos de mercado, etc), teses, atas de conferências, especificações técnicas e normas, traduções não-comerciais, bibliografias, documentação técnica e comercial, bem como documentos oficiais não publicados comercialmente (principalmente relatórios de governo e documentos) (Alberani, 1990). Santiago (1999) prefere empregar as estratégias documentação cinzenta e/ou informação cinzenta, que seriam, na verdade, uma evolução da literatura cinzenta. Banks (2010) indica que os blogs e o Twitter serão a próxima fronteira da literatura cinzenta.

Os dados levantados a partir dos critérios preestabelecidos serão comentados criticamente e o autor não irá apenas resumir estudos incluídos, mas discuti-los criticamente, identificando problemas e apontando lacunas nas investigações (GANONG, 1987).

3.6.2 Análise Bibliométrica

Uma ferramenta de grande relevância para as mais diversas revisões existentes é a Análise Bibliométrica. Trata-se de uma técnica bastante abrangente relacionada a métodos matemáticos e estatísticos para descobrir a distribuição, variação e quantidade de publicações em bancos de dados públicos sobre um determinado assunto (GALLEGO-VALERO et al., 2021). É um método que permite situar um país em relação ao mundo, uma instituição

em relação a um país, e cientistas individuais em relação às próprias comunidades científicas (SOARES et al., 2016).

Baseia-se na contagem de artigos científicos, patentes e citações. Dependendo da finalidade do estudo bibliométrico, os dados podem ser tanto o texto que compõe a publicação como os elementos presentes em registros sobre publicações extraídos de base de dados bibliográficos, como nome de autores, título, fonte, idioma, palavra-chave, classificação e citações (RAO, 1986; ZHU et al., 1999).

A bibliometria tem sido amplamente empregada como uma metodologia de análise quantitativa para as pesquisas científicas. Os dados estatísticos elaborados pelo desenvolvimento de estudos bibliométricos são capazes de mensurar o aporte do conhecimento científico oriundo das publicações em determinadas áreas. Esses dados podem ser largamente utilizados na representação de tendências atuais de pesquisa e também na identificação de temas para novos estudos (SU; LEE, 2010).

A análise bibliométrica por permitir identificar, organizar e avaliar os elementos constitutivos de uma área de estudo específica contribui de maneira significativa para observação da dinâmica e evolução das informações científicas e tecnológicas de determinadas áreas do conhecimento, organizações ou países.

4 METODOLOGIA

Foram definidos para desenvolvimento deste trabalho a elaboração de dois estudos como metodologias próprias: 1. *Scoping Review* e 2. Análise Bibliométrica.

4.1 Estudo de *Scoping Review*

A etapa preliminar ao estudo 1. *Scoping Review* consistiu em elaboração das sintaxes de buscas às bases de dados e posteriores testes de validação de pesquisas e de resultados obtidos. Na elaboração da sintaxe foram estudadas as disposições das palavras nas sentenças, bem como a relação lógica estabelecida entre as mesmas.

O presente trabalho engloba a *Scoping Review* para a investigação do objeto: aplicabilidade dos hidróxidos duplos lamelares como agentes adsorventes de contaminantes e poluentes em matrizes aquáticas, sendo realizado através de: definição da questão norteadora da pesquisa, identificação dos estudos relevantes, seleção e mapeamento de estudos, extração de dados, análise dos estudos e interpretação e apresentação de resultados.

Foram lidos os títulos, resumos e palavras-chaves dos estudos obtidos nas buscas às bases de dados, excluindo-se os que não se enquadravam para este trabalho. Após esta etapa, três revisores independentes (AF, DS e JP) avaliaram os artigos completos para inclusão neste trabalho.

As seguintes informações foram obtidas dos artigos selecionados após aplicação dos critérios de elegibilidade: autoria, país de origem, ano e veículo de publicação, objetivos do estudo, contaminante/polvente/meio, HDL empregado e método de síntese e das principais considerações de cada trabalho.

Com a finalidade de apresentar os parâmetros de investigação empregados, optou-se pelo uso da estratégia de reporte de pesquisa STARLITE (*Standards for Reporting Literature Searches*) (Booth, 2006) para sua descrição sumária devido suas características didáticas representadas no Quadro 5. A sigla STARLITE representa estratégia de amostragem, tipo de

estudo, abordagens, intervalo de anos, limites, inclusão e exclusão, prazos usados e fontes eletrônicas.

Definidos a questão de pesquisa, critérios de inclusão e exclusão – consistente com uma *Scoping Review*, como estudo desenvolvido por Moscou e colaboradores (MOSCOU et al., 2016).

Quadro 5 - Descrição sumária STARLITE da pesquisa

S	Estratégia amostral (sampling strategy) seletiva: identificação de estudos científicos, dissertações, teses, capítulos de livros, livros e demais estudos que abordem os hidróxidos duplos lamelares como agentes adsorventes em matrizes aquáticas. Dentro das especificações propostas adiante.
T	Tipos de publicações: estudos quali-quantitativos, descritivos, avaliativos, revisões, etc.
A	Abordagens: pesquisas em bases de dados eletrônicas.
R	Intervalo (range) de anos: sem restrições ou recorte de tempo. Identificadas publicações a partir da criação de cada uma das bases até a data de busca.
L	Limites: publicações nos idiomas: inglês, português e espanhol.
I	Inclusão: 1) publicações indexadas nas bases de dados selecionadas e na literatura cinzenta e que respondam à questão da pesquisa; 2) de acesso aberto ou com acesso da Comunidade Acadêmica Federada (café) via Instituição Federal de Ensino Superior, através do portal de periódicos CAPES. Exclusão: 1) trabalhos não científicos; 2) trabalhos que utilizem os HDLs apenas para critérios comparativos e não como objeto de estudo; 3) estudos não publicados integralmente; 4) publicações de opiniões, consensos, editoriais, retratações, websites, <i>feed</i> de notícias, podcasts, blogs, sites, publicações governamentais e oficiais e publicações duplicadas.
T	Termos (palavras-chaves): Layered Hydroxides, Layered Double Hydroxides, LDH, Hidróxidos Duplos Lamelares, Environmental, Meio Ambiente, Pollut*, Poluente*, Contaminant*, Effluent*, Efluente*, Wastewater*.
E	Fontes eletrônicas de dados (eletronic sources): Web of Science, Scopus (Elsevier), Science Direct, National Library of Medicine (Medline/PubMed), Google Scholar (http://scholar.google.com.br) e Open Grey (www.opengrey.eu).

Fonte: Autora (2021).

4.1.1 Questão de pesquisa

A fim de examinar e resumir a amplitude do tema de interesse, as questões de revisão de escopo devem ser amplas, isto é, a questão de investigação deve ser adequadamente aberta, no ensejo de alcançar a amplitude de respostas que se deseja (Karstner et al., 2012).

A definição da questão de pesquisa foi norteada pelo objetivo de analisar as evidências existentes quanto o emprego dos HDLs como agentes adsorventes de contaminantes ou poluentes em soluções aquosas, corpos hídricos, efluentes e demais sistemas aquíferos que pudessem ser conglomerados no termo “matrizes aquáticas”.

A identificação da questão de pesquisa baseou-se no Método PCC, acrônimo às palavras Problema/População, Conceito e Contexto inspirado no Joanna Briggs (2020). O Quadro 6 apresenta, de maneira esquematizada, os elementos considerados neste estudo para definição da pergunta norteadora.

Quadro 6 - Apresentação dos dados baseados na metodologia PCC.

Acrônimo	Conceito	Questão de Estudo
P	Problema	Contaminante/Poluente
C	Conceito	HDL
C	Contexto	Matrizes Aquáticas

Fonte: Autora (2021).

Desse modo, a questão norteadora da pesquisa da *Scoping Review* foi:

“Quais são as evidências científicas sobre a aplicabilidade dos Hidróxidos Duplos Lamelares como agentes adsorventes em matrizes aquáticas?”

4.1.2 Identificação de estudos relevantes

Na *Scoping Review*, como se pretende realizar uma pesquisa ampla, são classificáveis para entrar na revisão estudos primários, qualitativos ou quantitativos, publicados tanto em periódicos, como na literatura cinza, isto é, para além das bases de dados (Armstrong et al., 2011), entretanto, não sendo impreterível a inclusão de todas as fontes disponíveis nos casos em que os

pesquisadores julgarem que certos estudos não são apropriados ou úteis para a revisão. Saliendo-se ainda que, devido a sua natureza, as revisões de escopo são especialmente indicadas para a síntese de evidências nas mais diferentes fontes de dados (PETERS et al., 2020).

Para o presente trabalho, empregaram-se como fontes para buscar evidências as bases de dados eletrônicas, onde são encontradas inúmeras publicações e revistas científicas. Optou-se pela utilização de bases de conteúdos multidisciplinares e também de bases de conteúdos mais específicos, com o objetivo de englobar de maneira mais ampla as produções acerca da temática de estudo proposta.

Foram consultadas as bases de dados eletrônicos Web of Science (WoS), Scopus, Science Direct, PubMed, Google Scholar e Open Grey a fim de pesquisar sistematicamente os termos e suas respectivas associações. As buscas nas bases científicas que necessitavam de permissão foram realizadas via subscrição institucional da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

O Quadro 7 fornece informações gerais inerentes às bases de dados empregadas nesta pesquisa.

Quadro 7 - Descrição das bases de dados utilizadas na pesquisa

Bases de Dados	Endereço	Acesso	Características
Web of Science	www.webofscience.com	Gratuito ^{a,b}	Base de dados de referências bibliográficas multidisciplinar. Indexa literatura científica revisada por pares. Contagem de citações a partir de 1900. Atualização semanal.
Scopus	www.scopus.com	Gratuito ^{a,b}	Base de dados de resumos e referências bibliográficas multidisciplinar. Indexa literatura científica revisada por pares. Contagem de citações a partir de 1996. Atualização diária.
Science Direct	www.sciencedirect.com	Gratuito ^{a,b}	Textos completos nas áreas científica, tecnológica e médica. Indexa literatura científica revisada por pares. Atualização diária.
PubMed	www.pubmed.com	Gratuito	Versão pública da base de dados Medline. Conteúdo principalmente das áreas de biomedicina e saúde, e disciplinas relacionadas,

			como ciências químicas. Citações podem incluir links para textos completos. Principalmente literatura norte-americana. Atualização diária.
Google Scholar	scholar.google.com.br	Gratuito	Anais de congressos, artigos científicos de diversos, teses de doutorado, dissertações de mestrado, trabalhos de conclusão de curso (TCC), periódicos eletrônicos, livros, relatórios, resenhas críticas, repositórios digitais etc.
Open Gray	www.opengrey.eu	Gratuito	Sistema de Informação sobre Literatura Cinza produzida na Europa. Exporta registros/localiza documentos: relatórios técnicos ou de pesquisa, dissertações, teses, artigos de conferências, publicações oficiais, etc.

Fonte: Autora (2021).

a) Via Portal de Periódicos Capes

b) O acesso às diversas coleções depende da assinatura da instituição

Com todas as suas vantagens substanciais, por ser um modo de busca com caixa de consulta simples e com a facilidade no uso, há críticas em relação às suas funções de pesquisa avançada no Google, que pode não ser confiável ou atual, por não possuir limites do seu alcance e cobertura, devido à falta de recursos e opções para classificação e limitação do seu conteúdo (SHULTZ, 2007). Para manutenção dos objetivos deste tipo de trabalho, a permanência desta fonte de dados é imprescindível.

As sintaxes empregadas nas bases de dados eletrônicas foram construídas uma a uma, apostando inicialmente nas combinações de maior amplitude e menor especificidade, objetivando filtrar o maior número de publicações dentro da temática, para em seguida, progressivamente, empenhar os buscadores na apresentação de toda produção relevante e objetivamente em conformidade para discussão posterior. Desta maneira, efetuou-se a validação de estratégias de buscas nas bases de dados, em seguida realizou-se busca nas bases de dados e de literatura cinzenta e busca nas referências dos estudos selecionados a fim de explorar os resultados recuperados.

A princípio, foram analisados os termos contidos nos títulos, resumos e palavras-chaves, uma vez que se considera que estes campos evidenciam o objeto principal do estudo, sendo selecionados os estudos que respondiam à questão norteadora deste trabalho para serem lidos na íntegra e suas referências consideradas em busca de estudos relevantes suplementares.

4.1.3 Critérios de Elegibilidade

Os critérios de elegibilidade são uma combinação de aspectos importantes da pergunta da revisão associados a especificações concernentes ao tipo de estudo que serve para responder a pergunta da revisão (HIGGINS, 2011).

Os critérios de inclusão da *Scoping Review* foram: 1) publicações indexadas nas bases de dados selecionadas e na literatura cinzenta e que respondam à questão da pesquisa; 2) de acesso aberto ou com acesso da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe) via Instituição Federal de Ensino Superior, através do portal de periódicos CAPES.

Os critérios de exclusão englobam: 1) trabalhos não científicos; 2) trabalhos que utilizem os HDLs apenas para critérios comparativos e não como objeto de estudo; 3) estudos não publicados integralmente; 4) publicações de opiniões, consensos, editoriais, retratações, websites, *feed* de notícias, podcasts, blogs, sites, publicações governamentais e oficiais e publicações duplicadas.

4.1.4 Estratégias de buscas

A sintaxe de busca consiste no cruzamento de busca empregada no preenchimento dos campos de localização nas bases eletrônicas. As sentenças, estratégias de buscas ou códigos textuais pré-definidos, formados a partir da disposição harmoniosa entre os termos combinados com os operadores booleanos configuram a sintaxe, que foram adaptadas, sempre que necessário, às plataformas de buscas.

O levantamento bibliográfico foi realizado, primeiramente, com os termos relacionados às “argilas (aniônicas/lamelares)” e “hidrotalcita” e finalizado com

os termos mais específicos como “hidróxidos duplos lamelares”, “poluente/contaminante” e “adsorção” nas bases de dados científicas Web of Science – WoS (Clarivate Analytics), Scopus (Elsevier), Science Direct (Elsevier) e National Library of Medicine (Medline/PubMed) e nas plataformas de literatura cinzenta Google Scholar e Open Grey.

As sintaxes de buscas também denominadas de cruzamentos foram formadas utilizando operadores booleanos “OR” e “AND” e os operadores de truncamento para ligar os termos com base nos elementos PCC e ampliar a busca por termos similares. Dessa maneira, foram construídas as sintaxes que estão apresentadas no Quadro 8, de modo que se caracterizaram como um teste piloto de uma série de termos associados até culminar nos que melhor configuraram o escopo do presente trabalho.

Os operadores lógicos booleanos “AND” e “OR” assim como os operadores de truncamento “ ”, “*” e “\$” foram empregados de acordo com as características inerentes a cada plataforma uma vez que as mesmas não utilizam uma linguagem única. Desse modo, atendendo-se a necessidade de direcionamento das buscas de acordo com o cruzamento das palavras pesquisadas.

Alguns termos por maior relevância à questão da pesquisa foram utilizados no idioma inglês e, ao mesmo tempo, em português e espanhol, tornando possível dessa maneira, a verificação se a inclusão dos termos nestes dois outros idiomas é capaz de fornecer mais registros.

Os campos delimitados nas bases de dados para as buscas das estratégias compreenderam: Título, Resumo e Palavras-Chaves.

Quadro 8 - Sintaxes de buscas utilizadas na pesquisa.

N	Sintaxes de Buscas
S1	("lamellar clays" OR "argila* lamelar*" OR "anionic clays" OR "argila* aniônica*" OR "hydrotalcit*" OR "hidrotalcit*" OR "hydrotalcite compounds")
S2	(("lamellar clays" OR "argila* lamelar*" OR "anionic clays" OR "argila* aniônica*" OR "hydrotalcit*" OR "hidrotalcit*" OR "hydrotalcite compounds") AND (environmental OR "meioambiente"))
S3	("layered hydroxides" OR "layered double hydroxides" OR "LDH" OR "hidróxidosduploslamelares")
S4	(("layered hydroxides" OR "layered double hydroxides" OR "LDH" OR "hidróxidosduploslamelares") AND (environmental OR "meioambiente"))
S5	(("layered hydroxides" OR "layered double hydroxides" OR "LDH" OR

	"hidróxidosduploslamelares") AND (environmental OR "meioambiente") AND (pollut* OR poluente* OR contaminant*))
S6	((("layered hydroxides" OR "layered double hydroxides" OR "LDH" OR "hidróxidosduploslamelares") AND (environmental OR "meioambiente") AND (pollut* OR poluente* OR contaminant*)) AND ("corposhídricos" OR "water resource**"))
S7	((("layered hydroxides" OR "layered double hydroxides" OR "LDH" OR "hidróxidosduploslamelares") AND (environmental OR "meioambiente") AND (pollut* OR poluente* OR contaminant*)) AND (effluent* OR efluente* OR wastewater*))
S8	((("layered hydroxides" OR "layered double hydroxides" OR "LDH" OR "hidróxidosduploslamelares") AND (environmental OR "meioambiente") AND (pollut* OR poluente* OR contaminant*)) AND ("corposhídricos" OR "water resource**") AND (effluent* OR efluente* OR wastewater*))
S9	((("layered hydroxides" OR "layered double hydroxides" OR "LDH" OR "hidróxidosduploslamelares") AND (environmental OR "meioambiente") AND (pollut* OR poluente* OR contaminant*)) AND ("corposhídricos" OR "water resource**") AND (effluent* OR efluente* OR wastewater*) AND (adsorption OR adsorção OR adsorción OR adsorbent OR "adsorbent agent**"))
S10	((("layered hydroxides" OR "layered double hydroxides" OR "LDH" OR "hidróxidosduploslamelares") AND (environmental OR "meioambiente") AND (pollut* OR poluente* OR contaminant*)) AND ("aqueous media" OR "meioaquoso" OR "aqueous solut**" OR "soluçãoaquosa") AND (adsorption OR adsorção OR adsorción OR adsorbent OR "adsorbent agent**"))

Fonte: Autora (2022).

Uma limitação temporal dos estudos não foi estabelecida culminando em artigos oriundos desde as criações das bases de dados propriamente ditas. A busca dos estudos foi realizada em abril de 2022 por três revisores independentes. Os artigos duplicados identificados pelo software de gerenciamento bibliográfico *EndNote Web*[®] foram excluídos. Em seguida realizou-se a etapa de seleção dos resultados com bases em critérios de elegibilidade previamente definidos e abstração dos dados dos estudos.

As referências listadas nos estudos provenientes das buscas em literatura cinzenta também foram pesquisadas, de modo a identificar documentos adicionais para potencial inclusão.

4.1.5 Seleção de Estudos

Para atingir os objetivos deste trabalho optou-se por considerar relevantes termos equivalentes e amplamente empregados na literatura.

Realizou-se a seleção através da leitura dos títulos, resumos e palavras-chaves dos estudos identificados nas bases, de maneira independente pelos revisores, e havendo divergência, o trabalho seria analisado na íntegra através

da leitura do texto completo culminando na elegibilidade ou inelegibilidade do mesmo.

4.1.6 Mapeamento de Dados

Esta etapa do desenvolvimento da pesquisa consiste na adequada sistematização das informações mais relevantes contidas nos estudos recuperados.

É imprescindível o registro das principais informações específicas relativas assim como informações mais generalistas sobre os estudos obtidos nas buscas. O assentamento de uma série de dados relevantes são recomendados pelo protocolo Joanna Briggs (2020), a saber:

- a) autor (es);
- b) ano de publicação;
- c) localização do estudo;
- d) população do estudo e tamanho da amostra (quando aplicável);
- e) tipo de intervenção (se aplicável);
- f) objetivos do estudo;
- g) metodologia;
- h) resultados importantes.

Conforme recomendado por Arksey e O'Malley (2005), aplicou-se um quadro analítico a fim de coletar padronizadamente as informações provenientes de cada estudo incluído à pesquisa.

4.1.7 Extração e síntese de resultados

Os dados mais relevantes extraídos dos trabalhos recuperados foram incluídos na *Scoping Review*, tais como: objetivo do estudo, método de síntese, principais características, sugestão para estudos futuros, conclusão etc.

Visando a apresentação dos dados fundamentais obtidos, os estudos incluídos na *Scoping Review* foram descritos quanto às suas principais características, de forma descritiva e tabelar.

4.2 Estudo de Análise Bibliométrica

A segunda etapa do presente trabalho consiste em elaboração de análise bibliométrica com o intuito de mapear o alcance dos estudos relacionados à eficiência dos HDLs na remoção de diferentes poluentes, suas composições, associação com outros materiais e/ou técnicas.

4.2.1 Fonte de dados

A base de dados multidisciplinar *Web of Science* (WoS) desenvolvida pela Thomson Scientific – Institute for Science Information (ISI) foi utilizada para realizar a análise bibliométrica.

A WoS tem grande visibilidade nas diversas áreas do conhecimento, filtro de seleção para publicações de prestígio, além de ser amplamente utilizada para a realização de estudos bibliométricos (Jiang et al., 2018).

4.2.2 Seleção e processamento de dados

A amostra de documentos analisados neste estudo foi obtida através dos termos ("layered double hydroxides" OR "anionic clays" OR "hydrotalcite-like materials") AND ("adsorption" OR "adsorbent") AND ("treatment OR remediation") AND (water OR "contaminated waters" OR "effluents" OR "wastewater"). O levantamento bibliográfico foi realizado com todos os termos que, de acordo com a literatura, são comumente utilizados para se referir aos HDLs com o intuito de se obter resultados mais condizentes com a realidade (Vaccari, 1998). A cronologia utilizada para a busca levou em consideração a data da primeira publicação recuperada sobre o tema na base de dados até março de 2022 (1997-2022).

Optou-se por utilizar todos os tipos de documentos, sem restrição ou especificação de qualquer linguagem a fim de reunir o panorama mais geral possível de produção científica.

Os *softwares bibliometrix R-package* e *VOSviewer* foram usados para análise bibliométrica e mapeamento científico dos dados recuperados sendo estes escolhidos para desenvolvimento deste trabalho por possuírem interface gráfica e versões gratuitas e atualizadas.

5 RESULTADOS

Nesta seção encontram-se os principais resultados obtidos para os estudos de: 1. *Scoping Review* 2. Análise Bibliométrica através de dados recuperados na *Web of Science* (WoS).

5.1 Resultados obtidos da *Scoping Review*

Nos tópicos que se seguem são demonstrados os resultados do estudo de *Scoping Review* em função do levantamento realizado nas bases de dados eletrônicas científicas *Web of Science*, *Scopus*, *Science Direct* e *PubMed*, bem como nas bases de literatura cinzenta *Google Scholar* e *Open Grey*.

5.1.1 Exploração Geral de Dados Obtidos na Etapa de Validação de Estratégias de Busca

Na Tabela 2 estão apresentadas as sintaxes de buscas realizadas em cada uma das bases de dados científicas e seus respectivos números de estudos encontrados. As sintaxes estão numericamente codificadas de 1 a 10 e serão referenciadas quando da necessidade de sua menção (S1, S2, S3, S4 etc.).

Tabela 2 - Número de artigos científicos obtidos segundo o emprego de cada sintaxe de busca nas bases de dados científicas

Sintaxe de busca	Web of Science	Scopus	Science Direct	PubMed
S1	9.803	7.346	255	797
S2	336	325	20	265
S3	44.361	58.151	18.287	35.785
S4	1.343	1.758	706	3.691
S5	441	773	52	897
S6	4	5	5	4
S7	74	108	26	23
S8	3	3	2	4
S9	3	3	2	3
S10	112	60	9	60

Fonte: Autora (2021)

Os resultados numéricos obtidos para cada sintaxe de busca mostram as diferenças entre as mesmas diante da inclusão, exclusão e/ou combinação de novos termos.

A sintaxe S3 foi a que contabilizou o maior número de artigos em todas as bases sendo 44.361 na Web of Science, 58.151 na Scopus, 18.287 na Science Direct e 35.785 na PubMed. A grande abrangência do descritor “hidróxidos duplos lamelares” resulta numa grande quantidade de publicações, uma vez que ao usá-lo isoladamente, obtêm-se os resultados de qualquer temática em que os HDLs já tenham sido abordados e, dessa maneira, acabam não satisfazendo às especificidades deste estudo. Vale ressaltar que diante do uso da sigla em inglês LDH para hidróxidos duplos lamelares houve ocorrências de artigos que tratavam de “lactato desidrogenase” uma vez que esta mesma sigla também é empregada para denominar a enzima. Optou-se estrategicamente por não utilizar a sigla HDL que designa em português os hidróxidos duplos lamelares devido ao fato de seu emprego resultar num grande número de artigos que tratam de lipoproteína de alta densidade (*high density lipoprotein*, em inglês). No entanto, salienta-se que os trabalhos escritos estritamente em português também foram devidamente contemplados nas buscas uma vez que o termo “hidróxidosduploslamelares” foi encontrado não apenas em títulos, mas também em resumos obtidos.

O segundo maior número de artigos encontrados se deu pelo emprego da sintaxe de buscas S1, onde a base Web of Science liderou com 9.803 artigos, seguido de Scopus, PubMed e Science Direct com 7.346, 797 e 255 publicações respectivamente. Na sintaxe de busca S1 foram empregados os termos gerais diversos como “argilas lamelares”, “argilas aniônicas” e também “hidrotalcita” ou “compostos tipo hidrotalcita” que culminam em resultados que contemplam as mais diversas formas de se fazer referência aos HDLs na literatura, mesmo que sejam notadas continuamente as tentativas de maior especificidade da nomenclatura por parte dos autores com o passar dos anos, a fim de diminuir prováveis equívocos conceituais.

A cooptação dos termos relacionados ao aspecto ambiental das pesquisas como “meioambiente” e “environmental” à sintaxe S1 culminou na S2, que trouxe como resultado os artigos que necessariamente associam as argilas lamelares/aniônicas ou hidrotalcita/compostos tipo hidrotalcita à temática ambiental. A quantidade de trabalhos obtidos diminuiu significativamente em cada base de dados sendo encontrada a maior variação

de 9.803 para 336 artigos e a menor de 797 para 265 artigos, na Web of Science e PubMed, respectivamente.

A sintaxe de busca S4 constitui-se na associação imediata dos termos relativos ao meio ambiente à sintaxe S3, objetivando dessa maneira, restringir de fato os HDLs às potenciais aplicações ambientais. Observa-se a partir do emprego de S4 a diminuição numérica expressiva do total de artigos para 3.691 na PubMed, 1.758 na Scopus, 1.343 na Web of Science e 706 na Science Direct.

A partir da sintaxe S5 os termos que associam poluentes ou contaminantes foram inseridos às sintaxes, sendo a sintaxe S6 conectora dos termos “corposhídricos”, “waterresource*” e “wastewater” sintaticamente reunidos no campo de buscas por conjunção coordenativa OR, a fim de indicar alternância ou exclusão entre os mesmos. Para a sintaxe S7 os termos finais e específicos de S6 sofreram substituição por “effluent*” e “efluente” sendo os demais termos mantidos da sintaxe antecessora.

A construção da sintaxe S8 foi realizada pela aglutinação das sintaxes S6 e S7 sendo os termos específicos inerentes a cada uma conectados por OR.

Para a formulação da sintaxe de busca S9 os termos relacionados à adsorção foram adicionados às buscas a fim de restringir ainda mais os resultados obtidos à temática. Observou-se que ao incluir os termos à S8 separados por OR “adsorption”, “adsorção”, “adsorción”, “adsorbent” e “adsorbent agent*” culminando na sintaxe E9 o número de artigos obtidos foi igualmente pequeno, demonstrando assim, um escopo insuficiente além de se tratar ainda exatamente dos mesmos artigos da sintaxe anterior com exceção de um único artigo da base PubMed que na nova sintaxe foi suprimido.

A última sintaxe de busca utilizada, S10, constituiu-se da substituição dos termos específicos de S9 pelos termos separados por OR “aqueousmedia”, “meioaquoso”, “aqueoussolut*” e “soluçãoaquosa” resultando numa quantidade maior de artigos obtidos que nas duas sintaxes anteriores que se delineavam como sendo alternativas adequadas ao objeto de estudo pelos termos associados empregados. Para as buscas de S10 os números de artigos obtidos foram para Web of Science 112, Scopus e PubMed ambos 60, e Science Direct 6 publicações.

Segundo LOPES (2022) para alcançar a resposta pretendida pelo usuário de informação, faz-se necessária a execução de movimentos e operações táticas, ora restringindo os resultados alcançados, ora ampliando-os para a obtenção de informações mais relevantes, conforme o pedido de busca demandado. Neste sentido, as publicações que englobam as propriedades adsorptivas dos HDLs em efluentes foram obtidas através da execução da seguinte sintaxe de busca (S7): (("layered hydroxides" OR "layered double hydroxides" OR "LDH" OR "hidróxidosduploslamelares") AND (environmental OR "meioambiente") AND (pollut* OR poluente* OR contaminant*) AND (effluent* OR efluente* OR wastewater*)).

Diante do emprego exatamente das mesmas sintaxes de buscas nas bases de dados que englobam a literatura cinzenta, os resultados obtidos foram descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Número de trabalhos obtidos segundo nas bases de dados de literatura cinzenta

Sintaxe de busca	Google Scholar	Open Grey
S1	10.100	44
S2	4.660	45
S3	689.000	131
S4	156.002	132
S5	22.600	131
S6	509	131
S7	11.004	903
S8	337	887
S9	366	279
S10	3.210	1.405

Fonte: Autora (2022).

O aumento expressivo do resultado numérico oriundo do emprego das sintaxes de buscas nas bases de literatura cinzenta Google Scholar e Open Grey em relação às bases de dados científicas pode ser explicado pelo fato de estas últimas não se restringirem a tipos de publicações específicas como os artigos, abrangendo as mais diversas categorias de documentos disponíveis, o que denota a ausência de recursos favoráveis às aplicações de alguns filtros específicos de publicações nestas bases, limitações de conteúdos e opções para classificação.

Quanto aos descritores que são empregados para se referirem exclusivamente aos HDLs e objetivando melhor visualização dos mesmos, o recurso de “nuvem de palavras” é apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Termos comumente empregados para os Hidróxidos Duplos Lamelares nas buscas às bases de dados destacados relativamente por predominância.



Fonte: Autora (2022).

5.1.2 Pesquisa e Seleção de Evidências

Considerando-se que após a etapa de validação das sintaxes de buscas, a sintaxe de busca S7 comportou-se como a que mais se adéqua ao objetivo proposto no presente estudo, ela passa a ser a norteadora dos principais resultados da pesquisa.

Foram recuperados das bases de dados eletrônicas para o emprego de S7 o somatório de 11907 estudos para as buscas em Google Scholar (11004) e Open Grey (903) e o somatório de 231 estudos provenientes das buscas em WoS (74), Scopus (108), Pubmed (23) e Science Direct (26), totalizando 12138 estudos obtidos. A seleção dos estudos recuperados nas buscas às bases de dados estão sumarizados na Tabela 4.

Tabela 4 - Seleção dos estudos obtidos nas buscas às bases de dados eletrônicas mediante aplicação de critérios de elegibilidade

Base de dados	Estudos encontrados	Estudos inclusos após leitura de títulos e resumos	Estudos excluídos por apresentarem -se em mais de uma base	Estudos selecionados para análise integral	Estudos selecionados após análise integral
Web of Science	74	43	16	27	6
Scopus	108	54	7	47	9
Science Direct	26	14	5	9	4
Pubmed	23	4	1	3	1
Google Scholar	11004	41	12	29	3
Open Grey	903	6	2	4	1
Total	12138	162	43	119	24

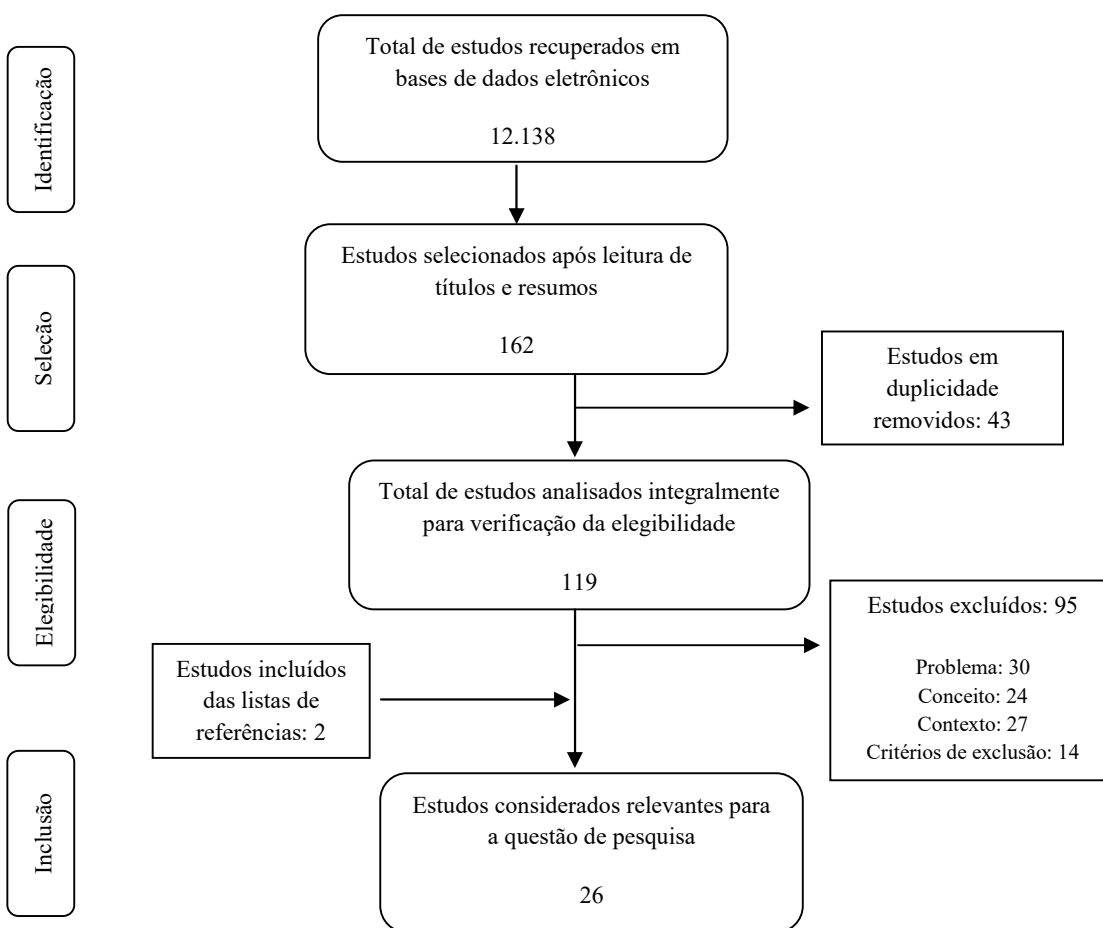
Fonte: Autora (2022)

Dos resultados obtidos nas buscas em bases de literatura cinzenta, a grande maioria, após aplicação dos critérios de elegibilidade, foram excluídos, fato devido à ausência de recursos às aplicações de filtros específicos para limitação do conteúdo disponibilizado por estas bases.

A sistematização do processo de inclusão dos estudos seguiu as diretrizes do PRISMA-ScR, estando o fluxograma deste representado também pela Figura 7. Considerando os objetivos deste estudo, assim como a contemplabilidade dos critérios de inclusão e exclusão, realizou-se o

refinamento dos resultados através de leitura de título e resumo, permanecendo desta maneira, 119 trabalhos para serem analisados quanto ao conteúdo do texto completo. Após leitura dos textos na íntegra, permaneceram 24 estudos, que somados a 2 estudos adicionais oriundos da lista de referências, compuseram a amostra final deste trabalho com 26 artigos, sendo estes considerados pesquisas relevantes para o objetivo deste estudo e que representam esforços científicos de diferentes nações para posterior extração e categorização de dados obtidos. A Figura 7 apresenta o processo de seleção dos estudos através de um diagrama de fluxo PRISMA ScR.

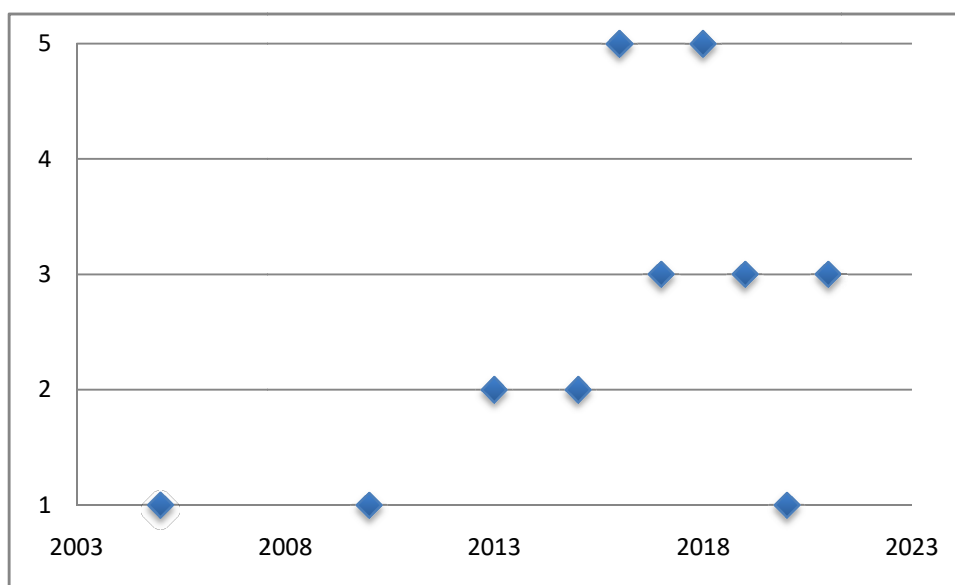
Figura 7 - Fluxograma de seleção dos estudos que compõem a pesquisa de acordo com o PRISMA ScR.



Fonte: Autora (2022).

Todos os documentos incluídos nesta *scoping review* se encontravam redigidos no idioma inglês, tendo dimensão temporal compreendida entre os anos 2005 e 2021, verificável na Figura 9.

Figura 9 - Estudos incluídos na *Scoping Review* (2005 a 2021) (n=26)



Fonte: Autora (2022).

A produção científica entre 2005 e 2013 é considerada mais discreta, tendo comportamento ascendente nos dois anos seguintes a este período, sendo os anos de 2016 e 2018 os que mais promoveram a recuperação de documentos nas buscas, ambos contribuindo com 5 trabalhos cada para este estudo. Algumas características gerais da produção científica elegida estão relacionadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Características gerais dos estudos recuperados das bases de dados eletrônicas

Categorias	Resultados	
Descrição	Documentos obtidos	26
	Período	2005-2021
	Número total de autores	162
	Média de autores por documento	6,23
	Média de co-autores por documento	5,23
Período de publicação	2005-2010	2
	2011-2016	9
	2017-2021	15
Continentes de origem da publicação	África	0
	América	5
	Ásia	20
	Europa	4

	Oceania	0
Palavras-chaves mais frequentes	Layered double hydroxide	-
	Interaction mechanism	-
	Adsorption	-
	Sorption	-

Fonte: Autora (2022).

Do total amostral de artigos obtidos, 50% dos artigos obtidos foram resultantes de cooperação mútua entre países, entre eles China, Arábia Saudita, Índia, Paquistão, Malásia, Vietnã, Estados Unidos, Argentina, Alemanha, Espanha, Qatar e Romênia. Os demais trabalhos recuperados são provenientes de estudos realizados sem colaboração entre nações, sendo portanto, resultantes de esforço científico de um único país. Destaca-se a China como o território que mais produziu artigos tanto individualmente quanto em parcerias com outras nações.

O número atribuído ao estudo, autoria, veículo de publicação, ano e país de origem estão apresentados no Quadro 9. Para fins de descrição geral deste trabalho os estudos estão identificados de 1 a 26 e são referenciados quando da necessidade de sua menção (E1, E2, E3, E4 etc.).

Quadro 9 - Descrição dos estudos elegíveis para a *Scoping Review* através de identidade atribuída, base de dados, periódicos, autoria, país e ano de publicação e área de estudo.

ID	Autores	Veículo de publicação	Ano	País
E1	Sharifur Rahman, Chanaka M. Navarathna, Naba Krishna Das, Jacinta Alchouron, Parker Reneau, Sean Stokes, Rooban V.K.G. Thirumalai, Felio Perez, E. Barbary Hassan, Dinesh Mohan, Charles U. Pittman Jr., Todd Mlsna.	Journal of Colloid and Interface Science	2021	Estados Unidos da América Argentina Índia
E2	Nguyen Thi Kim Phuong, Min-wook Beak, Bui The Huy, Yong-III Lee.	Chemosphere	2015	Coreia do Sul Vietnã
E3	Qing Wang, Xin Song, Shiyue Tang, Lei Yu.	Chemosphere	2019	China
E4	Sílvia Santos, Gabriela Ungureanu, Rui Boaventura, Cidália Botelho.	Science of the Total Environment	2015	Portugal
E5	Matei D. Raicopola, Corina Andronesuc, Stefan I. Voicub, Eugeniu Vasiled, Andreea M. Pandele.	Carbohydrate Polymers	2019	Romênia Alemanha
E6	Yidong Zou, Xiangxue Wang, Zhongshan Chen, Wen Yao, Yuejie Ai, Yunhai Liu, Tasawar Hayat, Ahmed Alsaedi, Njud S. Alharbi,	Environmental Pollution	2016	China Paquistão Arábia Saudita

continua
64

	Xiangke Wang.			
E7	Wen Yao, Jian Wang, Pengyi Wang, Xiangxue Wang, Shujun Yu, Yidong Zou, Jing Hou, Tasawar Hayat, Ahmed Alsaedi, Xiangke Wang.	Environmental Pollution	2017	China Arábia Saudita
E8	Pengcheng Gu, Sai Zhang, Xing Li, Xiangxue Wang, Tao Wen, Riffat Jehan, Ahmed Alsaedi, Tasawar Hayat, Xiangke Wang.	Environmental Pollution	2018	China Arábia Saudita Paquistão
E9	Shujun Yu, Yang Liu, Yuejie Ai, Xiangxue Wang, Rui Zhang, Zhongshan Chen, Zhe Chen, Guixia Zhao, Xiangke Wang.	Environmental Pollution	2018	China
E10	Pengyi Wang, Ling Yin, Xiangxue Wang, Guixia Zhao, Shujun Yu, Gang Song, Jing Xie, Ahmed Alsaedi, Tasawar Hayat, Xiangke Wang.	Journal of Environmental Management	2018	China Arábia Saudita
E11	Chunsheng Lei, Xiaofeng Zhub, Bicheng Zhua, Chuanjia Jianga, Yao Lea, Jiaguo Yua.	Journal of Hazardous Materials	2016	China Arábia Saudita
E12	Haijun Chen, Zhe Chen, Guixia Zhao, Zhibin Zhang, Chao Xu, Yunhai Liu, Jing Chen, Li Zhuang, Tasawar Haya, Xiangke Wang.	Journal of Hazardous Materials	2018	China Arábia Saudita
E13	Ajaz Ahmad Wani, Amjad Mumtaz Khan, Yahiya Kadaf Manea, Mansour A.S. Salem, Mohammad Shahadat.	Journal of Hazardous Materials	2021	Índia Malásia
E14	Yanwei Guo, Zhiliang Zhu, Yanling Qiu, Jianfu Zhao.	Journal of Environmental Sciences	2013	China
E15	Ho Nguyen Nhat Ha, Nguyen Thi Kim Phuong, Tran Boi An, Nguyen Thi Mai Tho, Tran Ngoc Thang, Bui Quang Mihn, Cao Van Du.	Journal of Environmental Science and Health	2016	Vietnã
E16	Feng Li, Yunfeng Wang, Qiaozhen Yang, David G. Evans, Claude Forano, Xue Duan.	Journal of Hazardous Materials	2005	China França
E17	Ya-Hui Chuang, Cheng-Hua Liu, Yu-Min Tzou, Jo-Shu Chang, Po-Neng Chiang, Ming-Kuang Wang.	Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects	2010	Taiwan
E18	Mariana A. Teixeira, Aparecida B. Mageste, Anderson Dias, Luciano S. Virtuoso, Kísla P.F. Siqueira	Journal of Cleaner Production	2018	Brasil
E19	Francisco R. Peligro, Ivana Pavlovic, Ricardo Rojas, Cristobalina Barriga	Chemical Engineering Journal	2016	Argentina Espanha
E20	Nadeem Baiga, Muhammad Sajidb	Trends in Environmental Analytical Chemistry	2017	Arábia Saudita
E21	K. Nava-Andrade, G.G. Carbajal-Arízaga, S. Obregon, V. Rodríguez-Gonzalez	Journal of Environmental Management	2021	México
E22	Pollyanna Vanessa dos Santos Lins, Danielly Carlos Henrique ,	Environmental Science and	2019	Brasil

continuação

	Alessandra Honjo Ide, Carmem Lúcia de Paiva e Silva Zanta, Lucas Meili	Pollution Research		
E23	Ruihong Zhang, Yuejie Ai, Zhanhui Lu	Journal of Environmental Chemical Engineering	2020	China
E24	Mukarram Zubaira, Muhammad Daud, Gordon McKay , Farrukh Shehzad , Mamdouh A. Al-Harhi	Applied Clay Science	2017	Arábia Saudita Paquistão Qatar
E25	Zhongzhu Yang, Fenghua Wang, Chang Zhang, Guangming Zeng, Xiaofei Tan, Zhigang Yu, Yu Zhong, Hou Wangab, Fang Cuiab	Royal Society of Chemistry Advance	2016	China
E26	Xin Liu, Xiaofei Zhao, Yue Zhu, Fazhi Zhang	Applied Catalysis B: Environmental	2013	China

Fonte: Autora (2022).

conclusão

A relação dos países participantes dos estudos dos estudos e seus respectivos quantitativos de contribuições estão sintetizados na Tabela 6.

Tabela 6 - Contribuições de estudos recuperados nas buscas por país de origem

País participante do estudo	Quantidade de estudos
Alemanha	1
Arábia Saudita	8
Argentina	2
Brasil	2
China	13
Coreia do Sul	1
Espanha	1
Estados Unidos da América	1
França	1
Índia	2
Malásia	1
México	1
Paquistão	3
Portugal	1
Qatar	1
Romênia	1
Taiwan	1
Vietnã	2

Fonte: Autora (2022).

Observa-se que valor numérico referente à quantidade de estudos por país é superior ao valor numérico relacionado aos estudos abordados nesta pesquisa, fato devido à existência de estudos multicêntricos que foram desenvolvidos simultaneamente por diferentes nações através de cooperações

Quanto aos periódicos com documentos publicados na temática de estudo dois detiveram o maior número de artigos resultantes das buscas, ambos com exatamente 4 publicações recuperadas cada, *Environmental Pollution* e *Journal of Hazardous Materials*, enquanto nas revistas *Chemosphere* e *Journal of Environmental Management* o número de publicações trata-se da metade (n=2). Os demais periódicos, contaram com apenas um único artigo resultante das buscas cada (n=1).

Os periódicos e suas respectivas quantidades de publicações referentes aos documentos recuperados estão apresentados na Tabela 7 juntamente com seus números de ISSN (*Internacional Standard Serial Number*).

Tabela 7 - Periódicos com documentos publicados na temática de estudo

Periódico	ISSN	Número de publicações
Journal of Colloid and Interface Science	0021-9797	1
Chemosphere	0045-6535	2
Science of the Total Environment	0048-9697	1
Carbohydrate Polymers	0144-8617	1
Environmental Pollution	0269-7491	4
Journal of Environmental Management	0301-4797	2
Journal of Hazardous Materials	0304-3894	4
Journal of Environmental Sciences	1001-0742	1
Journal of Environmental Science and Health	1093-4529	1
Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects	0927-7757	1

Trends in Environmental Analytical Chemistry	2214-1588	1
Journal of Environmental Chemical Engineering	2213-3437	1
Applied Clay Science	0169-1317	1
Applied Catalysis B: Environmental	0926-3373	1
RSC Advances	2753-1457	1
Environmental Science and Pollution Research	1614-7499	1
Trends in Environmental Analytical Chemistry	2214-1588	1
Chemical Engineering Journal	0375-8699	1
Journal of Cleaner Production	1879-1786	1

Fonte: Autora (2022).

5.1.3 Extração e síntese de resultados

O HDL mais citado nas publicações recuperadas foi o MgAl, apresentado em mais da metade dos estudos obtidos (n=14), seguido de MgFe (n=6) e de CaAl (n=3). Os demais artigos empregaram outros HDLs como FeMgTi, ZnAl, ZnCr, ZnAlFe, MgZnAl, CaAl, LiAl, CuAl, NiAl, NiMgAl e CuMgFe em seus estudos.

Os contaminantes/poluentes ou meios em que foram estudados a aplicação do material sintetizado em cada publicação foram diversos, incluindo diversos fármacos como: diclofenaco sódico, tetraciclina, oxitetraciclina, amoxicilina, ciprofloxacina, ofloxacina, ácido salicílico, sulfametoxazol etc. Outros meios também foram estudados nos artigos como os meios aquosos que contêm íons de metais tóxicos (Cu (II), Pb (II) e Cr(VI)), radionuclídeos (U(VI), Eu (III), Sr (II), Th (IV), ²⁴¹Am(III)), cafeína, naftaleno, fluoreto, manganês, ânions variados, azul de metileno, laranja de metila, formaldeído, além de sistemas de água sem tratamento etc.

Quanto ao método de síntese, dentre os trabalhos que divulgaram os que foram empregados na pesquisa, têm-se que 65,38% deles estudaram ou empregaram a coprecipitação (n=17), sendo que destes, 12 artigos empregou-a com exclusividade no trabalho. Os demais estudos utilizaram o método hidrotérmico de síntese 38,45% do total (n=10), troca iônica, intercalação, funcionalização ou incorporação de ânions e apenas um único estudo associou um método seguido do outro. Três publicações não deram enfoque à metodologia de síntese empregada na pesquisa científica.

A descrição dos artigos quanto o HDL empregado nos estudos, os contaminantes, poluentes ou meio e também os métodos de síntese empregados estão apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 - Descrição dos artigos quanto ao tipo de HDL, contaminante/polvente/meio e método de síntese empregado no estudo.

ID	HDL	Contaminantes/poluentes/meio	Método de síntese/ Estratégia pós-síntese
E1	FeMg	CO_3^{2-} , AsO_4^{3-} , SeO_4^{2-} , NO_3^- , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, Cl^- , F^- , SO_4^{2-} e MoO_4^{2-}	Coprecipitação
E2	FeMg e FeMgTi	2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid	Coprecipitação
E3	nZVI- HDL	Tetrachloroethylene	Coprecipitação
E4	MgAl, ZnAl e MgAl CO_3	Selênio	-
E5	CA/MgAl	Diclofenaco de sódio e tetraciclina	-
E6	MgAl	Sistema de água natural sem qualquer purificação	Hidrotérmico
E7	CaAl	Cu(II), Pb (II) e Cr(VI)	Hidrotérmico
E8	MgAl LiAl CuAl ZnAl	U(VI), Eu (III), Sr (II), Th (IV) e outros radionuclídeos	-
E9	NiAl	Cu(II) e Cr (VI)	Hidrotérmico
E10	MgAl	U(VI)	Coprecipitação
E11	Ni/Mg/Al	Cr(VI) e vermelho do congo	Hidrotérmico
E12	CaAl	U(VI) e $^{241}\text{Am(III)}$	Coprecipitação/Hidrotérmico
E13	ZnAl	Cr(VI)	Hidrotérmico
E14	CuMgFe	Arsenato	Coprecipitação

E15	MgAl, MgFe	Arsenato	Coprecipitação
E16	MgAl	N-phosphonomethyl glycine (Glifosato)	Coprecipitação
E17	Mg ₂ Al-(NO ₃)	Naftaleno	Coprecipitação
E18	MgAl	Fluoreto, Manganês	Coprecipitação
E19	MgAl MgAl CO ₃	Íons de metais pesados com alta concentração de sulfato	Coprecipitação
E20	CoAl CuAl MgAl ZnAl MgFe NiAl	Metais, peróxido de hidrogênio, pesticidas, fenóis, nitritos, iodatos	Hidrólise da uréia Hidrotérmico Troca iônica Coprecipitação Síntese eletroquímica na superfície do eletrodo
E21	CaAl(MoS ₄)- MgAl MgFe NiAlTi	Fármacos (Tetracycline, Oxytetracycline, Diclofenac, Amoxicillin, Ciprofloxacin, Ofloxacin, Salicylic acid, Sulfamethoxazole)	Hidrólise da uréia Hidrotérmico Troca iônica Coprecipitação Estratégia de Esfoliação-remontagem Calcinação Reidratação Impregnação
E22	MgAl	Caféina	Coprecipitação
E23	CaAl MgAl NiAl	Radionuclídeos, íons de metais pesados, poluentes aniônicos e poluentes orgânicos	Hidrotérmico Troca iônica Coprecipitação
E24	LDH – containg hybrid	Cd, Cu, Hg, Zn, Ni, Co, Ag, Pb	Intercalação, funcionalização ou incorporação de ânions
E25	MgAl, MgFe ZnAl	Poluentes orgânicos	Coprecipitação
E26	MgAl, MgZnAl ZnCr, ZnAlFe ZnTi	Azul de metileno (MB), laranja de metila (MO) e formaldeído	Hidrotérmico Troca iônica Coprecipitação

Fonte: Autora (2022).

Do total amostral de publicações recuperadas (n=26), 65,38% dos estudos avaliados possuíam caráter experimental (n=17) enquanto os demais se tratavam de artigos resultantes de trabalhos do tipo revisão de literatura propriamente dita.

Quanto aos artigos de revisão, o estudo E4 expõe de maneira detalhada o panorama dos aspectos centrais quanto à presença e remoção de selênio de corpos hídricos e esgotos. As técnicas revisadas no trabalho são abordadas ainda quanto às limitações de aplicações relacionadas aos custos associados ao emprego, e ainda, quanto à eficiência distinta para selenito e selenato, mas concluindo serem os HDLs adsorventes de cinética rápida e boa capacidade adsorptiva.

O estudo E8, ressalta as vantagens intrínsecas dos HDLs devidas à moderada quimioestabilidade, baixo custo e não-toxicidade. A síntese de novos compósitos em HDL assim como a otimização das técnicas de caracterização do material são abordadas no trabalho, sendo enfatizada a eliminação de radionuclídeos de soluções aquosas através do emprego de HDLs em materiais com alto desempenho de adsorção. Foram abordados os efeitos das condições ambientais, incluindo pH, temperatura e tempo de contato, considerando-se a complexidade dos sistemas de águas residuais associados aos mecanismos de reação subjacentes para investigar com mais profundidade o comportamento da adsorção. Quanto às simulações em modelagem, ressalta-se a necessidade contínua de concentração de esforços para a elucidação do mecanismo exato de interação entre os materiais baseados em HDLs e os radionuclídeos.

As informações relacionadas aos objetivos e principais considerações levantadas assim como os respectivos títulos dos estudos, *keywords* e *highlights* estão apresentados no Quadro 11.

Quadro 11 - Descrição geral dos estudos obtidos na *Scoping Review*

Estudo	Título	Keywords	Highlights	Objetivos	Principais considerações dos estudos
E1	High capacity aqueous phosphate reclamation using Fe/Mg-layered double hydroxide (LDH) dispersed on biochar	Layered double hydroxide Phosphate Eutrophication Biochar Adsorption	Fe/Mg-LDH was dispersed on commercial high surface area Douglas fir biochar (LDHBC) LDHBC phosphate capacity (1279 mg/ g) was six-fold greater than LDH (234 mg/g). 1 M NaOH stripped phosphate but reduced following P uptake. Ion-exchange, chemisorption and precipitation mechanisms were considered.	Estudar a adsorção de fosfato, monitorando pH, equilíbrio, tempo, concentrações de fosfato, doses adsorventes, temperaturas, e a presença de contaminantes competitivos co-existent.	Fe/MG-LDH dispersado em (LDHBC), preparado por método simples de coprecipitação. A sorção foi robusta com pH independente, pouca interferência de íons competitivos, capacidade de remoção de fosfato em matriz de água complexa, potencial desempenho para moderadas e baixas concentrações. A troca de íons foi o principal mecanismo de sorção em concentrações mais baixas (10-500 ppm). A formação de chemisorption e fosfato estequiométrico também foram consideradas em concentrações mais elevadas (>500 ppm). A dispersão aumentou a adsorção da fase HDL de fosfato em aproximadamente 6 vezes <i>versus</i> partículas HDL puras.
E2	Adsorption and photodegradation kinetics of herbicide 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid with MgFeTi layered double	Layered double hydroxides Ti-doping Photocatalyst Degradation 2,4,5-T	Calcined LDHs (MgFe and MgFeTi) were synthesized by coprecipitation method. The developed LDHs showed excellent photo-Fenton-like	Sintetizar MgFe/HDL e MgFeTi/HDL via método de coprecipitação seguido de calcinação a 500° C. Caracterizar usando vários métodos, incluindo SEM, XRD, BET e UV-Vis.	Os HDLs calcinados foram preparados pelo método de coprecipitação, seguido de calcinação a 500° C. Foram caracterizados por SEM/EDS, XRD, Reflexão difusa UV-Vis, BET. Testado para adsorção e fotodegradação o 2,4,5-T em soluções

continua

	hydroxides		<p>degradation of 2,4,5-T.</p> <p>The mechanisms for adsorption and photodegradation of 2,4,5-T are proposed.</p> <p>A green, low cost and high efficiency photocatalyst for environmental remediation.</p>	<p>Apresentar, a cinética da adsorção e degradação para oxidação fotocatalítica, semelhante a Fenton e foto-Fenton de 2,4,5-T, juntamente com um mecanismo proposto.</p>	<p>aquosas sob irradiação de luz visível.</p> <p>XRD e SEM indica Ti4p bem disperso na estrutura MgFe a presença de Ti4p na estrutura MgFe causou quebra resultando em menor tamanho de cristal.</p> <p>O MgFe, MgFeTi 0.5 e MgFeTi 1.0 não exibiram alta eficiência para a adsorção de 2,4,5-T (menos de 50%), mas apresentou excelente degradação foto-Fenton de 2,4,5-T (de 81 para 94%).</p> <p>O desaparecimento de 2,4,5-T em solução seguiu o modelo pseudo segunda ordem e modelo Langmuir-Hinshelwood para adsorção e degradação foto-Fenton-like, respectivamente.</p>
E3	Enhanced removal of tetrachloroethylene from aqueous solutions by biodegradation coupled with nZVI modified by layered double hydroxide	<p>Tetrachloroethylene</p> <p>Zero-valent iron nanoparticles</p> <p>Layered double hydroxides</p> <p>PCE-Degrading consortium</p>	<p>Coating nZVI with HDL dispersed nZVI and improved the removal efficiency of PCE.</p> <p>The presence of Cu²⁺ improved the removal efficiency of PCE by nZVIHDL.</p> <p>Removal of PCE was enhanced by coupling nZVI-HDL and a PCEdegrading consortium.</p> <p>PCE removal was dominated by</p>	<p>Preparação de nZVI-HDL e posterior acoplamento com biodegradação por consórcio microbiano aclimatado, para abordar os desafios da remediação chlorinated volatile organic compounds (cVOCs).</p> <p>Avaliação da remoção do PCE por nZVI-HDL sob efeitos de vários fatores ambientais como pH, concentração inicial de PCE, e coexistência de cátions e ânions comumente encontrados em águas subterrâneas.</p> <p>Investigação da eficiência de</p>	<p>Observação do aumento da eficiência de remoção do PCE pelo composto nZVI-HDL em presença de Cu²⁺ (atribuída ao papel deste íon como umcatalisador ou meio de transferência de carga durante a reação).</p> <p>Geralmente, o consórcio microbiano combinado de degradação do PCE com o nZVI-HDL aumenta o alcance de aplicativos para remoção de cVOCs.</p> <p>No sistema acoplado, a remoção inicial do PCE foi dominada principalmente pela degradação</p>

			nZVIHDL, then followed by biodegradation.	remoção e cinética da biodegradação PCE juntamente com nZVI-HDL, e exploração de mecanismos de remoção.	abiótica e adsorção de nZVI-HDL, complementado pelo processo de biodegradação PCE. Posteriormente, após o esgotamento do nZVI-HDL a biodegradação atuou de modo principal.
E4	Selenium contaminated waters: An overview of analytical methods, treatment options and recent advances in sorption methods	Selenium Water Wastewater Treatment Adsorption	<p>Outline of the chemistry, distribution and analytical speciation of selenium</p> <p>Brief review of treatment methods for Se removal from water/wastewaters</p> <p>Critical review of Se removal by conventional and non-conventional adsorbents.</p> <p>Discussion about the factors affecting Se adsorption</p> <p>Considerations for future research on Se sorption from water</p>	<p>Fornecimento de visão geral sobre distribuição de selênio, fontes, química, toxicidade e impacto ambiental. Revisão de técnicas analíticas utilizadas para a determinação do Se e opções de tratamento de água e esgoto. Análise crítica de trabalhos sobre adsorção como método de tratamento para remoção de Se em soluções aquosas.</p>	<p>Apresentação de panorama dos principais aspectos relacionados à presença e remoção do selênio de águas e esgotos.</p> <p>Muitas técnicas, revisadas no documento, são capazes de remover selênio, mas geralmente são limitadas pelos custos, eficiência distinta para selenito e selenato.</p> <p>Valiosas pesquisas têm sido conduzidas no desenvolvimento de adsorventes sendo avaliados através de estudo do equilíbrio, cinética e fatores operacionais</p> <p>Adsorventes como os HDLs apresentaram boas capacidades de adsorção e cinética rápida.</p>
E5	Cellulose acetate/layered double hydroxide adsorptive membranes for efficient removal of pharmaceutical environmental	Nanocomposite membrane Cellulose acetate Layered double hydroxide	-	Desenvolvimento de novas camadas de acetato celulose/MgAl/hidróxido duplo lamelar (MgAl/HDL) membrana de nanocompósito como um eficiente método para remover fármacos de águas residuais.	<p>Propriedades hidrodinâmicas e capacidade de adsorção de membranas de nanocompósitos foram avaliadas usando soluções aquosas de dois contaminantes farmacêuticos comumente encontrados.</p> <p>A membrana preparada com 4% em peso de carga de MgAl/HDL exibiu o</p>

	contaminants				maior fluxo de água e 10 vezes maior capacidade de adsorção do diclofenaco de sódio em comparação com o acetato de celulose puro. No caso da tetraciclina, o aumento na capacidade de adsorção foi menor.
E6	Superior coagulation of graphene oxides on nanoscale layered double hydroxides and layered double oxides	Coagulation Mechanism Natural water Environmental simulation Graphene oxide	-	Síntese, aplicação e estudo de HDLs em nanoescala (glycerinum-modified nanocrystallined Mg/Al layered double hydroxides, HDL-GI), óxidos duplos lamelares e óxido metálico como coagulantes superiores para remoção eficiente de óxidos de grafeno em soluções aquosas.	A presença de SO_3^{2-} e HCO inibiu a coagulação de óxido de grafeno em HDL-GI e LDO-G enquanto outros cátions (K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Ni^{2+} , Al^{3+}) ou ânion (Cl^-) tiveram efeito leve na coagulação do óxido de grafeno. A principal força motriz da coagulação no HDL-GI pode ser atribuída à interação eletrostática e ligação de H, evidenciadas por análises TEM, SEM, FT-IR e XRD. Os materiais estudados são efetivos e promissores na eliminação de óxido de grafeno, sendo valiosos para limpeza do meio ambiente.
E7	Synergistic coagulation of GO and secondary adsorption of heavy metal ions on Ca/Al layered double hydroxides	Layered double hydroxides Graphene oxide Coagulation mechanism Adsorption	-	Síntese e aplicação de Ca/Al-HDL como coagulante eficiente para remoção de óxido de grafeno em soluções aquosas.	Foram benéficos à coagulação de óxido de grafeno: pH neutro, cátions coexistentes e temperatura mais elevada. A sequência do efeito catiônico para promoção da coagulação de OG foi $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ enquanto o efeito dos ânions foi $\text{PO}_4^{3-} > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$. Comparando-se cátions e ânions, os cátions mostraram efeito mais dominante para coagulação de OG. O produto recuperado de CA-HDL

					<p>após a coagulação OG(CA-HDL + GO) foi aplicado como adsorvente na remoção de íons de metais pesados de soluções aquosas possuindo ainda altas capacidades de adsorção, sendo as capacidades máximas de adsorção (q_{max}) para Cu (II), Pb (II) e Cr (VI) de 122,7mg/g, 221,2mg/g e 64,4mg/g, respectivamente, mais elevados que outros materiais semelhantes.</p> <p>Os nanomateriais à base de HDL são promissores para eliminação de poluentes ambientais.</p>
E8	Recent advances in layered double hydroxide-based nanomaterials for the removal of radionuclides from aqueous solution	Layered double hydroxides Radionuclides Interaction mechanisms Review	-	Revisão com visão geral dos avanços recentes em nanomateriais à base de HDLs, incluindo métodos de preparação e modificação até suas aplicações na remoção de radionuclídeos e exploração de mecanismos de adsorção subjacentes.	<p>Os materiais de alto desempenho de adsorção à base de HDL são propícios para eliminação de radionuclídeos de soluções aquosas diante da poluição ambiental. São necessários produção em grande escala e projetos de engenharia para funcionalização e aplicação de remediação ambiental.</p> <p>A reciclagem de adsorventes deve ser considerada.</p> <p>Os mecanismos de interação entre materiais à base de HDL e radionuclídeos ainda permanecem obscuros.</p>
E9	Rational design of carbonaceous nanofiber/Ni-Al layered double hydroxide nanocomposites for high-efficiency	Carbonaceous nanofiber Layered double hydroxide Heavy metal ion Sorption	-	Síntese de nanofibra carbonácea/ Ni-Al hidróxido duplo lamelar (CNF-HDL) nanocompósitos de alta eficiência para eliminação de metais em solução aquosa	<p>Os nanocompósitos exibiram excelente hidrofiliidade e alta estabilidade estrutural em soluções aquosas, garantindo alta disponibilidade de sítios ativos.</p> <p>As isotermas de sorção coincidem</p>

	removal of heavy metals from aqueous solutions	Density functional theory calculation			com o modelo de Freundlich (heterogeneidade dos sítios). Mecanismos de interação dominantes consistiram em complexação de superfície e interação eletrostática.
E10	L-cysteine intercalated layered double hydroxide for highly efficient capture of U(VI) from aqueous solutions	Layered double hydroxide L-cysteine U(VI) Adsorption Interaction mechanism	-	Preparação de Cys-HDL por meio de moléculas Cys intercaladas em camadas intermediárias de Mg/Al-HDL e, em seguida, aplicação de Cys-HDL para remoção de UO_2^{2+} . Exploração dos efeitos dos íons coexistentes, temperatura, tempo de contato para investigação da interação de mecanismos para especulação da possibilidade de uso de Cys-HDL no tratamento de água poluída.	Cys-HDL possui alta capacidade de adsorção de U(VI) em sistemas de água. O processo de eliminação de U(VI) em Cys-HDL não depende fortemente de força iônica, mas sim do pH. A adsorção de urânio em Cys-HDL é atribuído à formação de complexos Cys U (VI) – Cys nas camadas intermediárias de Cys-HDL. Comparado a outros materiais, Cys-HDL tem capacidade de adsorção bem maior com remoção efetiva de U(VI) de grandes volumes de soluções aquosas.
E11	Superb adsorption capacity of hierarchical calcined Ni/Mg/Al layered double hydroxides for Congo red and Cr(VI) ions	Layered double hydroxide Hierarchical hollow sphere Adsorption Congo red Cr(VI) íon	Ni/Mg/Al layered double hydroxides (NMA-HDLs) synthesized NMA-HDLs with hierarchically hollow microsphere structure Calcined NMA-HDLs have large adsorption capacities for CR and Cr(VI) ions.	Fornecimento de nova visão sobre o design e a fabricação de materiais avançados de adsorção para remoção de poluentes da água. Projeto e preparo de Ni/Mg/Al-HDLs de metal triplo usando método hidrotérmico simples. Investigação da cinética de adsorção, isotermas e termodinâmica, temperatura e ânions coexistentes.	Após a calcinação, NMA-HDLs transformado em óxidos duplos lamelares de Ni/Mg/Al (NMA-ODLs) com microestrutura permanecendo inalterada. A amostra de NMA-ODL apresentou capacidade de adsorção superior ao NMA-HDL. A cinética de adsorção segue modelo de pseudo segunda ordem e as isotermas de equilíbrio pelo modelo de Langmuir.

					O material é considerado satisfatório devido sua estrutura de poros, baixo custo, síntese simples e alta eficiência.
E12	Enhanced adsorption of U(VI) and 241Am(III) from wastewater using Ca/Al layered double hydroxide@carbon nanotube composites	Ca/Al-LDH@CNTs composites U(VI)241Am(III) Adsorption Interaction mechanism	Ca/Al-HDL@CNTs was fabricated ingeniously and applied as a scrubber for U(V) and 241Am(III) originall The adsorption of U(VI) on Ca/AlHDL@CNTs was four times higher than that of U(VI) on bare CNTs Ca/Al-HDL@CNTs was a promising material for multiply low level radionuclides' pollution remediation	Síntese de Ca/Al-HDL nanotubo de carbono funcionalizado, compósito de (Ca/Al-HDL@CNTs) usando coprecipitação e tratamento hidrotérmico envelhecido. Estudo da eliminação de 241 (Am)III em (Ca/Al-HDL@CNTs) para avaliação de aplicação de actínideos a concentração de nível traço.	Os resultados de caracterização de SEM, TEM, EDS, FT-TR, UV-Vis, XRD e análise XPS demonstraram a modificação bem sucedida dos CNTs por Ca/Al-HDL. A capacidade máxima de adsorção de U(VI) em Ca/Al-HDL@CNTs na temperatura de 289,15K, quatro vezes mais altas que os CNTs. O Ca/Al-HDL2CNTs também apresentou alta eliminação de 241Am(III) de soluções aquosas, sugerindo extenso potencial de aplicação dos compósitos em tratamento de águas residuais radioativas.
E13	Selective adsorption and ultrafast fluorescent detection of Cr(VI) in wastewater using neodymium doped polyaniline supported layered double hydroxide nanocomposite	Polyaniline LDH Cr(VI) Adsorption Fluorescence detection	-	Proposta de nova compreensão da detecção e adsorção de Cr (VI) por PANI@Nd-HDL, que pode ser uma aplicação deste nanocompósito no tratamento de águas residuais contaminadas com Cr.	Primeiro exemplo de um nanocompósito recém-sintetizado que foi empregado para detecção e remoção de Cr(VI) em níveis traço ultra baixos em soluções aquosas e amostras reais de água. Nanomaterial que tende a surgir como alternativa econômica e ambientalmente eficaz.
E14	Synthesis of mesoporous Cu/Mg/Fe layered double hydroxide and	Arsenate Adsorption Mesoporous	-	Síntese de novo material mesoporoso Cu/Mg/Fe-HDL e uso para investigar seu desempenho de adsorção para arsenato em	O Cu/Mg/Fe-HDL apresentou boa capacidade de adsorção para As(V). A isoterma de adsorção de Langmuir pode descrever de forma excelente a

	its adsorption performance for arsenate in aqueous solutions	layered double hydroxide Anion Exchange		soluções aquosas. Investigação dos efeitos de várias condições experimentais (pH, tempo de contato, concentração inicial de arsenato e íons coexistentes na adsorção).	adsorção de As(V). Os íons coexistentes tiveram efeitos diferentes sobre a adsorção de As(V): $\text{HPO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$. O Cu/Mg/Fe-HDL pode ser considerado um material adsorvente para tratamento de águas poluídas com arsênio. A reutilização eficiente após a adsorção necessita de mais investigações.
E15	Arsenate removal by layered double hydroxides embedded into spherical polymer beads: Batch and column studies	Adsorption isotherm Adsorption kinetics Arsenate removal Fixed-bed column Poly(LDHs) beads Regeneration	-	Investigação do desempenho de [poli (HDLs)] como adsorvente para remoção de arsenato em solução aquosa. Estudo da potencial reutilização de [poli (HDLs)].	Os grânulos de poli(HDLs) são um potencial adsorvente de arsenato de baixo custo e boa compatibilidade ambiental no tratamento de água. Os dados de adsorção são bem descritos pelo modelo cinético de pseudo-segunda ordem e modelo de isoterma de Langmuir. O efeito dos ânions coexistentes diminuíram a capacidade de adsorção na seguinte ordem: $\text{HPO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$. Sob condições otimizadas, os poli(HDLs) removeram mais que 82% do total arsênio.
E16	Study on adsorption of glyphosate (N-phosphonomethyl glycine) pesticide on MgAl-layered double hydroxides in	Layered double hydroxides Glyphosate (N-phosphonomethyl glycine)	-	Preparar MgAl/HDL com $\text{Mg}^{2+}/\text{Al}^{3+}$ e ânions como nitrato, carbonato e cloreto. Estudar a retenção de Glifosato (Gly) em HDLs.	Experimentos de adsorção examinando a remoção do pesticida glifosato de soluções aquosas por MgAl-HDLs indicaram dois caminhos de adsorção distintos, adsorção de superfície externa e troca de ânions

	aqueous solution	Water treatment Pesticides Environmental			<p>intercamada.</p> <p>Em baixa concentração de glifosato, apenas adsorvido na superfície externa, enquanto na troca intercamadas ocorreu em altas concentrações.</p> <p>Em baixa concentração de glifosato, glifosato apenas adsorvido na superfície externa, enquanto em troca de ânions intercamadas ocorreu em alta concentração. A capacidade de adsorção aumentou com a densidade de carga de camada (Raio molar Al^{3+}/Mg^{2+}) de HDLs. O valor de adsorção em</p> <p>$C_e = 1,0$ mmol/L é diminuído na ordem dos ânions intercamadas:</p> <p>$Cl^- > NO_3^- > CO_3^{2-}$. Os materiais MgAl-LDHs são potenciais adsorventes para remoção de poluentes glifosato da água.</p>
E17	Comparison and characterization of chemical surfactants and bio-surfactants intercalated with layered double hydroxides (LDHs) for removing naphthalene from contaminated aqueous solutions	Bio-surfactant Layered double hydroxide PAH (Polycyclic aromatic hydrocarbons) Rhamnolipid Sorption Surfactant	-	<p>Avaliar os efeitos de (1) HDL calcinado ou não-calcinado e várias relações sólidos/soluções, (2) as concentrações de dodecil sulfato de sódio (SDS) e bio-surfactante de rhamnolipídio (RL), e (3) temperaturas e tempo de reação da síntese de SDS-LDH e RL-LDH.</p> <p>Comparação da eficiência de remoção de naftalina do SDS-LDH e RL-LDH.</p>	<p>SSDS e RL podem ser intercalados na intercamada por método de troca iônica para formar SDS-LDH e RL-LDH.</p> <p>RL-LDH tem maior potencial do que o SDS-LDH como um sorvente para remoção de contaminação orgânica.</p> <p>As curvas de sorção de naftalina no SDS-LDH e RL-LDH exibem o modelo de sorção de partição com sua interação hidrofóbica-hidrofóbica característica.</p>

continuação

					RL-LDH tem o mais alto capacidade de sorção para naftalina, além de ter baixa toxicidade, tornando-o um adsorvente seguro remoção de contaminantes orgânicos de soluções aquosas
E18	Layered double hydroxides for remediation of industrial wastewater containing manganese and fluoride	Wastewater Pollutants removal Fluoride Manganese	-	Descrever um procedimento ecologicamente correto para remoção de manganês e flúor de efluentes industriais usando hidróxidos duplos lamelares (HDLs) e óxidos duplos lamelares calcinados (LDOs)	Os Hidróxidos Duplos Lamelares foram capazes de remover 94% do flúor presente no efluente industrial com concentração inicial de 162 mg L ⁻¹ . O procedimento reduziu as concentrações dos poluentes (manganês e flúor) para níveis que atendessem às normas brasileiras de efluentes.
E19	Removal of heavy metals from simulated wastewater by in situ formation of layered double hydroxides	Sorption Precipitation Mechanism Heavy metal Layered double hydroxide	Heavy metal sorption by LDHs based on dissolution/precipitation and diadochy. Hydroxide addition to solutions containing Al ³⁺ and M ²⁺ ions lead to in situ LDH formation. This process led to a complete Cu ²⁺ and partial Zn ²⁺ and Pb ²⁺ removal. Addition of Mg ²⁺ ions after pH increase led to	Tratar água residual com alta concentração de sulfatos com HDL Mg-Al contendo carbonato para estudar os processos de sorção, enquanto a alcalinização na presença de íons Mg ²⁺ foi usada para produzir precipitação <i>in situ</i> de HDL, analisando a capacidade remoção desses processos.	A remoção de metais pesados de águas residuais de mineração foi produzida por sorção por um Mg-Al LDH intercalado com carbonato (LDH-CO ₃) ou precipitação <i>in situ</i> de HDL por adição de hidróxido e íons Mg ²⁺ . A adição de LDH CO ₃ levou a um aumento do pH e à precipitação de fases de HDL contendo íons Cu ²⁺ e Zn ²⁺ , enquanto os íons Pb ²⁺ foram removidos devido à sorção em Al(OH) ₃ , formado no meio levemente ácido de águas residuais.

			<p>competition with Zn²⁺ ions for LDH sites.</p> <p>Addition of Mg²⁺ ions before pH led to LDH formation and Zn²⁺ removal increase</p>		
E20	<p>Applications of layered double hydroxides based electrochemical sensors for determination of environmental pollutants: A review</p>	<p>Layered double hydroxides</p> <p>Electrochemical sensors</p> <p>Biosensors</p> <p>Modified electrodes</p> <p>Pollutant sensing</p> <p>Environmental analysis</p>	-	<p>Estudar aplicações de sensores eletroquímicos modificados por HDLs no tratamento de águas poluídas.</p>	<p>Eletrodos modificados por HDL são aplicados para detecção de metais pesados, pesticidas, compostos fenólicos e outros compostos inorgânicos perigosos sendo bons agentes para detecção de poluentes ambientais. Perspectiva de fabricação de sensores de HDL seletivos e orientados para aplicação, além de economicamente viáveis.</p>
E21	<p>Layered double hydroxides and related hybrid materials for removal of pharmaceutical pollutants from water</p>	<p>LDH</p> <p>Pharmaceutical pollutants</p> <p>Adsorption</p> <p>Photocatalysis</p> <p>Fenton process</p>	-	<p>Discutir os avanços em engenharia molecular dos hidróxidos duplos lamelares que têm sido usados para a remoção de poluentes farmacêuticos.</p>	<p>Sistemas fotoativos e catalíticos homogêneos, como o processo foto Fenton-like, são potencializados pelo uso do sistema Fe-LDH, que reduz significativamente a lixiviação do sistema Fenton tradicional. A engenharia molecular da nova geração de HDLs atuará na remoção de novos compostos farmacêuticos e fármacos para pecuária que também possuem efeitos agrícolas, drogas naturais ou alcaloides passivos, cafeína modificada e derivados de medicamentos tradicionais.</p>

E22	Evaluation of caffeine adsorption by MgAl-LDH/biochar composite	Biochar Bovine bone biochar Adsorption Layered double hydroxides Alternative adsorbents Caffeine	-	Sintetizar MgAl-LDH/Biochar usando carvão ativado de osso bovino para emprego como adsorvente para remoção de cafeína da água.	continuação O ajuste ao modelo de pseudo-primeira ordem sugere a ocorrência de adsorção física. O modelo de Redlich-Peterson indica que o processo combina características de adsorção em monocamadas e em multicamadas.
E23	Application of Multifunctional Layered Double Hydroxides for Removing Environmental Pollutants: Recent Experimental and Theoretical Progress	Layered Double Hydroxides Adsorption DFT method Interaction mechanism	-	Sistematizar o avanço da pesquisa dos HDLs e seus materiais resultantes para a remoção de radionuclídeos, íons de metais pesados, poluentes aniônicos e orgânicos em dois aspectos: cálculo experimental e teórico.	Foi proposto que a troca iônica seja o meio mais eficiente para a remoção dos contaminantes aniônicos, o HDLs mostram potencial como os adsorventes mais adequados para a adsorção de ânions
E24	Recent progress in layered double hydroxides (LDH)-containing hybrids as adsorbents for water remediation	Layered double hydroxides Hybrid Water treatment Adsorption Adsorption mechanism	-	Levantamento da aplicação de LDHs na remoção de vários poluentes em vários aspectos como: características e aplicações dos HDLs, possíveis mecanismos de adsorção na remoção de poluentes etc.	Apresentar os mecanismos de interação de híbridos contendo os HDLs com poluentes e a influência dos principais parâmetros de adsorção como pH, tempo de contato, dose de adsorvente e temperatura. Além disso, o potencial de regeneração e reutilização de resíduos híbridos contendo HDL e seus efeitos tóxicos também foram discutidos.

E25	Utilization of LDH-based materials as potential adsorbents and photocatalysts for the decontamination of dyes wastewater: a review	Layered Double hydroxides Adsorption and degradation of pollutants Water treatment	-	Destacar os adsorventes de baixo custo baseados em HDLs e catalisadores fotocatalíticos para corantes presentes na literatura, além de incluir desempenho, fatores-chave e mecanismos envolvidos nos processos de adsorção.	A análise dos mecanismos de adsorção revela que a adsorção de superfície, troca aniônica e reconstrução são predominantemente responsáveis por vincular os poluentes orgânicos. As principais vantagens dos HDLs sobre as resinas de troca aniônica convencionais incluem sua maior capacidade de troca de ânions para certos ânions e sua boa estabilidade térmica.
E26	Experimental and theoretical investigation into the elimination of organic pollutants from solution by layered double hydroxides	Layered double hydroxides Organic pollutants Photoassisted Density functional theory	-	Preparar os HDLs de Mg ₂ Al e Zn ₂ Cr visando discutir a essência da eliminação de poluentes orgânicos de solução aquosa.	A diferença na capacidade de adsorção dos HDLs Mg ₂ Al e Zn ₂ Cr no experimento está intimamente relacionada com a área de superfície e os estados de superfície de tais partículas de HDL na solução durante o processo de adsorção além de poder ser atribuída aos diferentes pontos isoelétricos do material.

Fonte: Autora (2022).

conclusão

A heterogeneidade entre os estudos foi alta em relação aos diversos aspectos considerados neste trabalho como demonstrado no Quadro 11.

Do ponto de vista da abordagem de buscas dos trabalhos às bases, observou-se que as *keywords* definidas pelos autores dos trabalhos resumem os tópicos mais relevantes da publicação científica e atuam como ferramentas de mecanismos de busca nas bases, além de contribuir auxiliando indexadores, mesmo quando alguns termos também poderiam ser incluídos aumentando o raio de alcance da busca na base eletrônica.

Considerando ainda os aspectos técnicos de recuperação dos artigos nas bases eletrônicas, pode-se afirmar que os *highlights* atuando como conjuntos de termos capazes de transmitir, de maneira sucinta, os principais resultados do artigo sendo de emprego obrigatório em alguns veículos, ainda são pouco adotados nas publicações. Apenas sete (7) estudos recuperados, o equivalente a 26,92% da amostragem total, continham este recurso disponível como os estudos E1, E2, E3, E4, E11, E12 e E19.

Quanto aos aspectos que categorizam os estudos como sendo experimentais ou não, observa-se que o número de artigos que abordam revisões tem aumentado, no entanto, os mesmos tem se restringido à revisão de literatura especificamente, não sendo localizadas na amostragem deste estudo, revisões com metodologia técnica pré-definida como as *scoping reviews*, revisões sistemáticas etc. Há ainda os estudos mistos que promovem a junção da abordagem de revisão e experimental no mesmo trabalho.

Em relação aos HDLs e aos desafios associados ao seu emprego é possível extrair algumas dentre várias considerações disponíveis nos estudos. Nadeem Baig et al. (2017), afirmam que os sensores baseados em HDL têm sido ainda pouco explorados na área de sensoriamento analítico, necessitando de novas e mais robustas investigações com intuito de promover seletividade em suas aplicações e viabilidade econômica na fabricação. Em outro aspecto de contribuição científica, Nava-Andrade et al. (2021), consideram que outras metodologias podem ser desenvolvidas onde o procedimento de precipitação permite a preparação de um grande número de materiais diferentes.

5.2 Resultados obtidos na Análise Bibliométrica

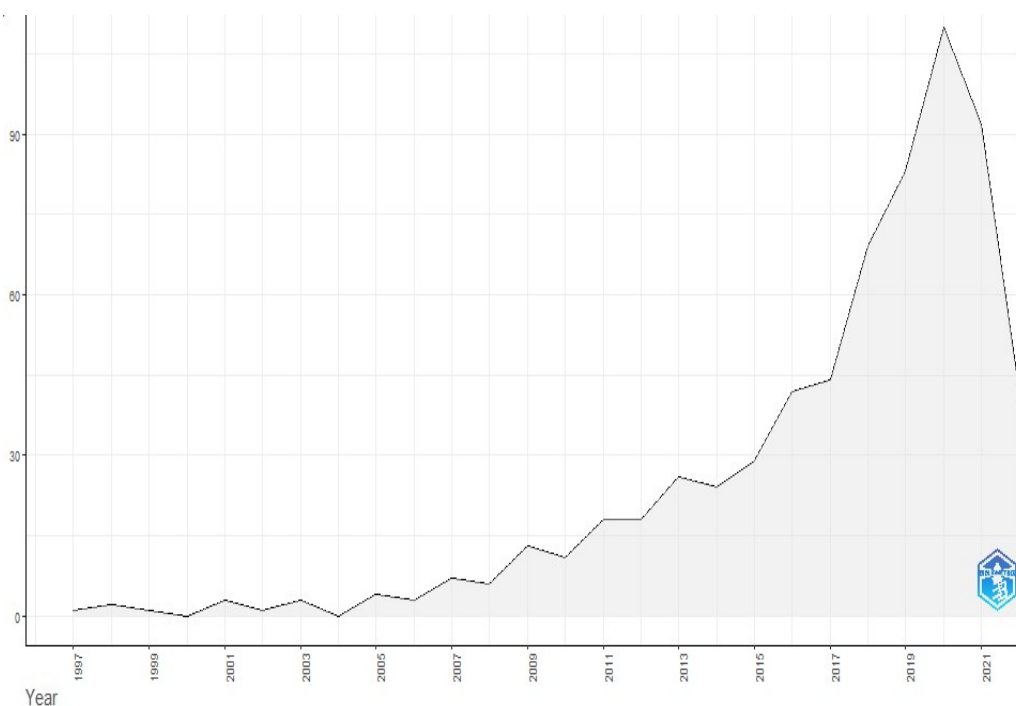
O levantamento obtido nas buscas para o estudo de análise bibliométrica culminou nos resultados que seguem apresentados.

5.2.1 Características gerais das amostras recuperadas

Através das buscas realizadas na base de dados WoS foram recuperados ao todo 663 documentos, desse total 89,54% (595 registros), a absoluta maioria, são referentes a artigos científicos, 9,05% (60 registros) correspondem a documentos de revisão e os menos de 2% restantes correspondem a soma de outros tipos registros como resumo de reunião, capítulo de livro, notícia, material editorial, entre outros.

A impressão de artigos em inglês corresponde a 98,6 % do total de registros, seguidos de artigos publicados em chinês, 0,9% do total. A proporção do somatório dos outros três idiomas com registros recuperados, que incluem francês, polonês e turco, é inferior a 0,5%. O histograma apresentado na Figura 10 mostra as variações no número de publicações recuperadas relacionados ao tema entre os anos de 1997 e 2022.

Figura 10 - Número de publicações recuperadas entre os anos 1997 e 2022.



Fonte: bibliometrix.org.

Os dados obtidos apresentam, de maneira geral, uma tendência ascendente. Nos primeiros nove anos (1997-2005) a pesquisa acadêmica nessa área estava em seu estágio inicial e apresentava uma taxa de publicação de 1,75 documentos por ano, valor pouco significativo.

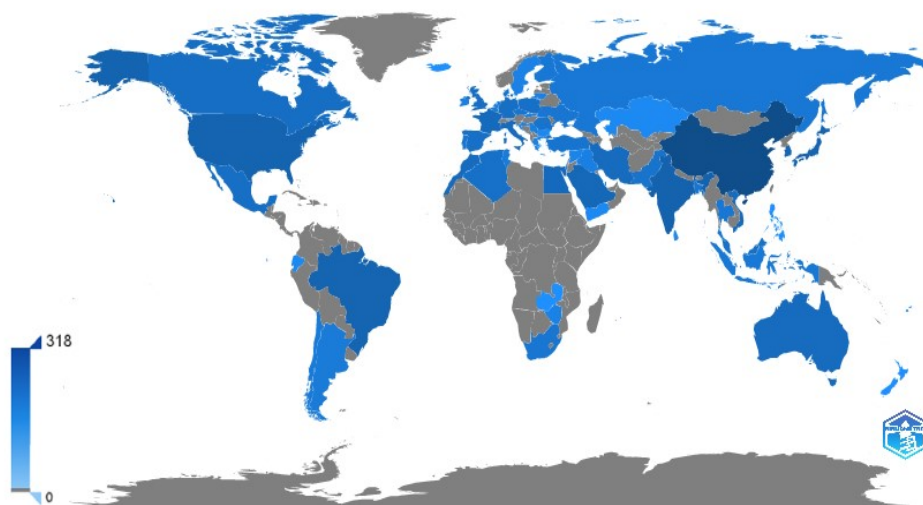
Nos anos posteriores, 2006 a 2015, um maior número de documentos foram recuperados, atingindo a média de 15,5 publicações por ano, uma taxa 8,9 vezes superior à observada anteriormente (1997-2005). No entanto, em períodos mais recentes (2016 a 2022), o ritmo de publicação aumentou de forma rápida e substancial, sendo o número médio de publicações cerca de 3,1 vezes maior que no período anterior avaliado (2006 a 2015).

No ano de 2022, antes do término do primeiro trimestre, já haviam sido publicados 10 estudos sobre o tema. Estes resultados sugerem que no próximos anos, as publicações anuais sobre este tema continuarão a crescer.

5.2.2 Países relevantes na pesquisa sobre o tema

Os artigos publicados sobre o tema no período 1997-2022 são oriundos de um total de 69 países. A Figura 11 mostra o mapa dos países com resultados na pesquisa, quanto mais escura a cor do país/região, mais publicações haverá naquele país/região. Embora a maioria dos estudos neste campo venham de um número relativamente pequeno de países, como China, Índia, EUA, Japão, Brasil, Arábia Saudita, Austrália, França, Coreia do Sul e Canadá, é notadamente explícito que países de todos os continentes e com uma grande diversidade de características econômicas e socioculturais produzem relevantes pesquisas nesta área do conhecimento.

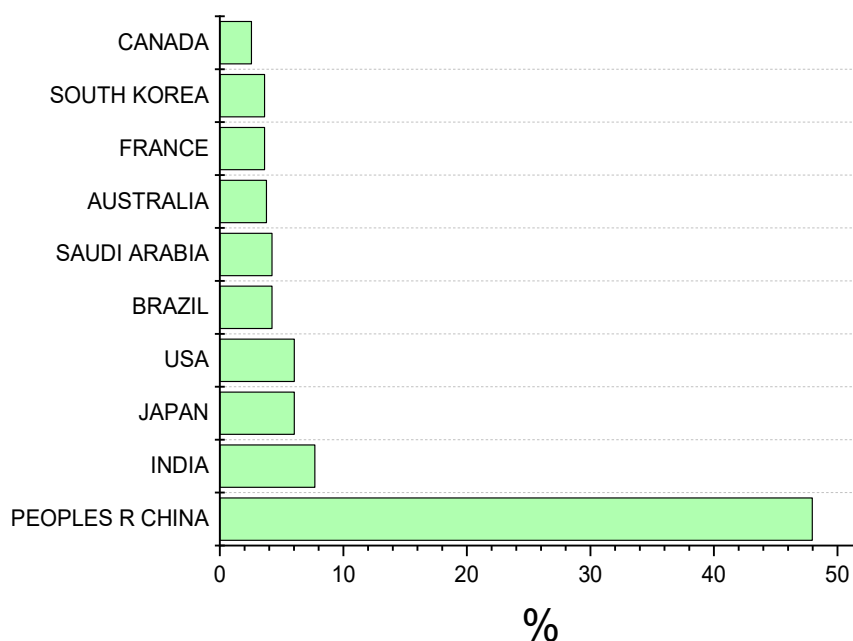
Figura 11 - Mapa da pesquisa que evidencia todos os países que publicaram sobre o tema (1997-2022).



Fonte: webofscience.com

A Figura 12 apresenta os percentuais dos 10 países/territórios mais produtivos acerca da temática deste estudo.

Figura 12 - Dez principais países/territórios que mais produziram acerca da temática do estudo.



Fonte: webofscience.com

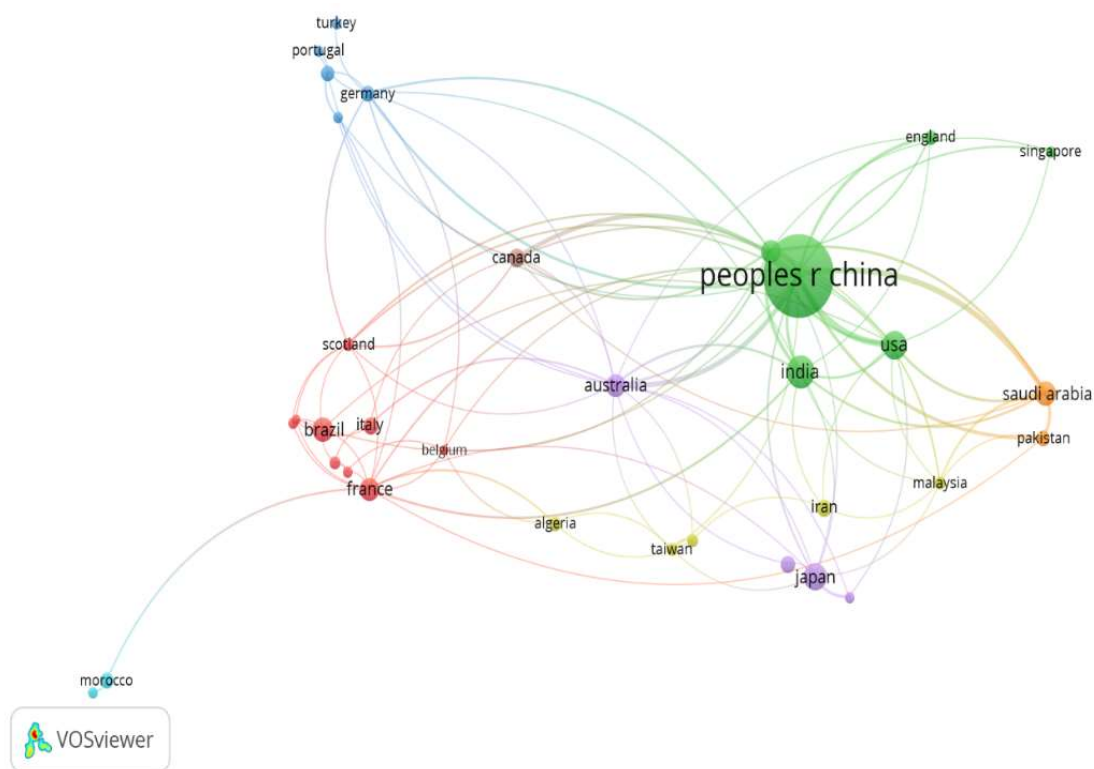
A China é o território mais prolífico, representando 47,96% do total, com 318 documentos recuperados. O segundo lugar é ocupado pela Índia (7,69% do total, 51 artigos), seguido da Japão com 40 documentos, o que representa

6,03% do total. Posteriormente temos USA (40 documentos, 6,03%), Brasil (28 documentos, 4,22%), Arábia Saudita (28 documentos, 4,22%), Austrália (25 documentos, 3,77%), França (25 documentos, 3,62%), Coreia do Sul (24 documentos, 3,62%) e Canadá (17 documentos, 2,56%).

A análise de rede social foi então aplicada para analisar as relações de coautoria entre todos os países/territórios produtivos, os resultados são exibidos na Figura 13.

Cada ponto representa um nó na rede, sendo os nós equivalentes aos países. Quanto maior o nó, maior o número de cooperações realizadas por estes países. As linhas entre os nós indicam a ocorrência de cooperações entre os países e a espessura da linha é proporcional ao número de publicações recuperadas destas cooperações.

Figura 13 - Redes de cooperações mais frequentes entre países.

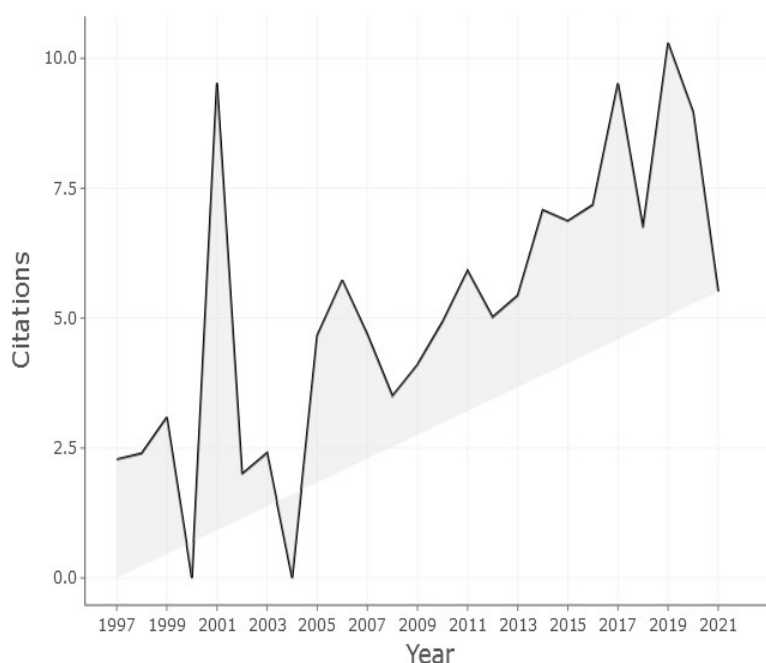


Fonte: VOSviewer.com

Nitidamente a China é a maior produtora de documentos sobre o tema e apresenta também o maior número de colaborações com outros países/territórios, dado o tamanho do círculo correspondente a este país na Figura 13. Os chineses produziram publicações em cooperação com diversos

países, destacando-se suas colaborações com EUA, Índia, Arábia Saudita, Canadá, Austrália, Inglaterra e Singapura como as mais intensas, devido à espessura das linhas de conexões. Os EUA apresentam dados de cooperações pouco expressivos, além de interação com um número reduzido de países/territórios, suas principais produções são frutos de uma intensa cooperação com os chineses, cooperação essa, que de acordo com a Figura 13, é a mais robusta dentre todas as outras, com um total de 23 documentos recuperados. A Figura 14 apresenta a média anual de citação de documentos.

Figura 14 - Média Anual de Citações de Documentos.



Fonte: bibliometrix.org

Observa-se que em relação às citações há uma tendência em zigue-zague o que indica que a cada dia mais cientistas estão dando atenção a esta área de pesquisa nos últimos anos. A média de citações totais para cada artigo chegou a 9,52 vezes ao ano. O artigo publicado por Liang (2017)(Liang et al., 2017) é o mais citado.

As 10 cooperações mais frequentes entre países/regiões obtidos pelo pacote *bibliometrix* (versão 3.1.4), são disponibilizados na Tabela 8.

Tabela 8 – As 10 cooperações mais frequentes entre países/regiões.

From	To	Frequency
China	USA	23
China	Saudi Arabia	17
China	Australia	14
China	Canada	10
China	Korea	10
China	United Kingdom	8
India	Korea	8
Saudi Arabia	Pakistan	7
China	India	6
Japan	Bangladesh	5

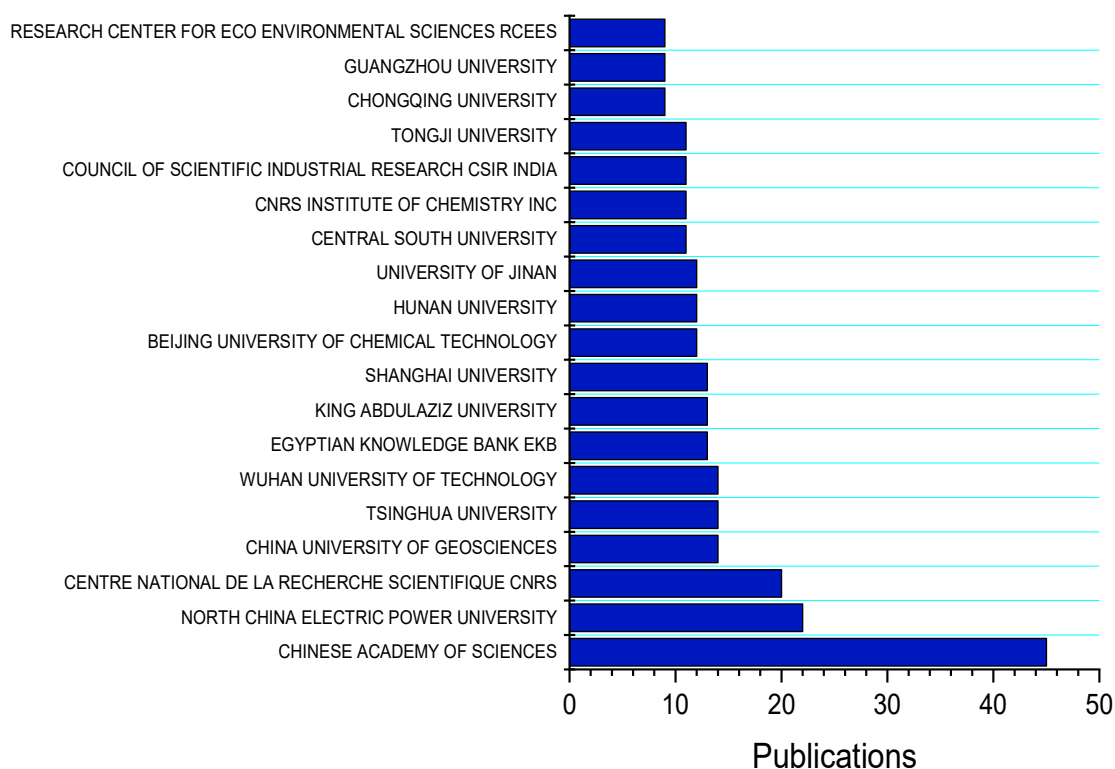
Fonte: Autores (2022).

5.2.3 Análise de publicações por instituições e autores

Um total de 765 instituições contribuiu para as 663 publicações recuperadas sobre o tema. A instituição mais produtiva foi a *Chinese Academy of Sciences*, que publicou 45 documentos, seguidos de *North China Electric Power University* (22), *Centre National de la Recherche Scienque CNRS* (20), *China University of Geosciences* (14) e *Tsinghua University* (14).

As vinte (20) instituições com maior número de publicações recuperadas sobre o tema são sumarizadas na Figura 15.

Figura 15 - As 20 instituições com mais publicações sobre o tema.



Fonte: webofscience.com

Através dos resultados constatou-se que 15 das 20 instituições mais produtivas são da China, as outras 5 instituições estão distribuídas por 4 países: França, Arábia Saudita, Índia e Egito.

Participaram das publicações recuperadas 2.910 pesquisadores. Os autores com mais publicações sobre o tema da pesquisa são mostrados na Tabela 9.

Tabela 9 - Autores que mais publicaram sobre a temática do estudo.

Autor	Índice H	Citações	Quantidade de documentos
Wang XK	22	1246	20
Wang XX	13	1099	13
Qian GR	42	352	11
Zhang XL	9	181	11
Yu SJ	42	523	10
Kameda T	33	73	9
Yan LG	42	161	9
Yoshioka T	12	73	9
Zhang J	13	225	9
Chen H	22	90	8
Hayat T	112	593	8
Li J	6	95	8

Fonte: Autores (2022).

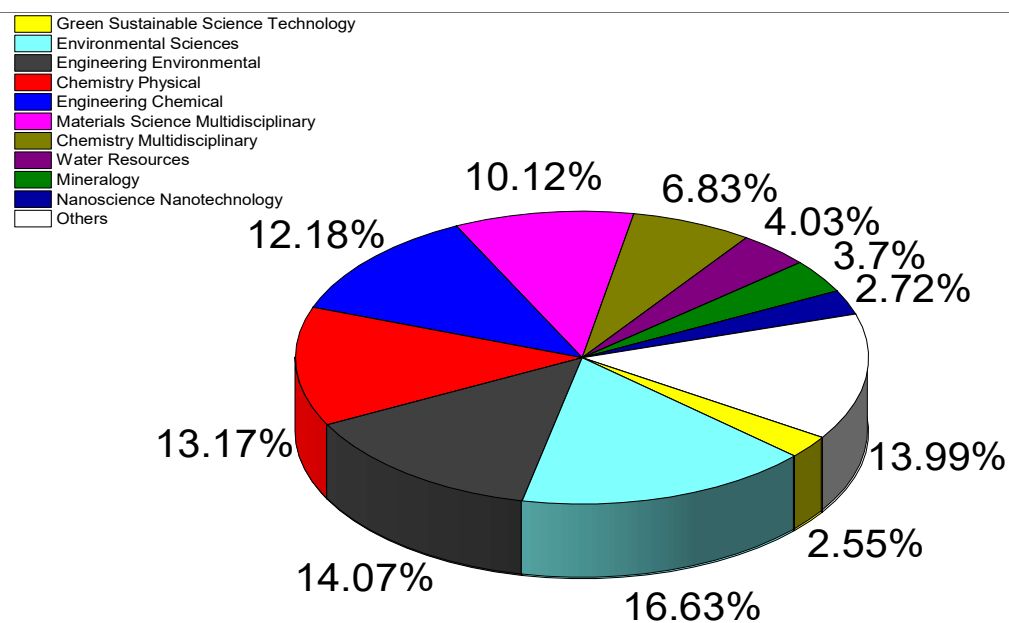
O pesquisador Wang XK aparece com o maior número de publicações (20, 3,01%), seguido por Wang XX (13, 1,96%), Qian GR (11, 1,65%), Zhang XL (11, 1,65%), Yu SJ (10, 1,50%).

Outro parâmetro importante a ser considerado é o número de citações. Neste caso, Wang XK lidera a lista com um número total de 1246 citações, Wang XXA foi o segundo com mais citações (1099), seguido por Hayat T, Yu SJ e Ok YS que tiveram um total de 593, 523 e 497 citações, respectivamente.

5.2.4 Principais áreas de estudo sobre o tema

Os resultados da análise bibliométrica permitem distinguir entre as diferentes disciplinas a que pertencem os artigos científicos analisados. Deve-se observar que um artigo pode pertencer a mais de uma categoria; por isso, os resultados são analisados em porcentagens. Ao todo, 25 diferentes áreas do conhecimento são contempladas com publicações sobre o tema. A Figura 16 mostra as 10 principais áreas de estudo desta temática.

Figura 16 - Principais áreas de estudo sobre o tema.



Fonte: webofscience.com.

Dentre as diversas áreas de pesquisa, as que mais se destacaram foram Ciências Ambientais com 16,63% do total, seguido de Engenharia Ambiental (14,07%), Físico-Química (13,17%), Engenharia Química (12,18%), Ciências dos Materiais Multidisciplinar (10,12%), Química Multidisciplinar (6,83%), Water Resources (4,03%), Minerologia (3,7%), Nanotecnologia Nanociência (2,72%) e Green Sustainable Science Technology (2,55 %). O item identificado como “outros” (13,99% do total) inclui uma ampla e diversificada gama de áreas do conhecimento como microbiologia, matemática, geologia, microscopia, toxicologia, biofísica, entre outras.

5.2.5 Periódicos que mais publicaram sobre o tema

As informações dos 10 periódicos que mais publicam artigos sobre o tema da pesquisa e seus principais índices estão sumarizados na Tabela 10.

Tabela 10 - Periódicos que mais publicaram sobre o tema e seus fatores de impacto.

Periódico	Documentos		FI*
	Quantidade	Percentual	
Chemical Engineering Journal	44	6,637%	13.273
Applied Clay Science	38	5,732%	5.467
Journal of Hazardous Materials	35	5,279%	10.588
Chemosphere	27	4,072%	7.086
Journal of Cleaner Production	18	2,715%	9.297
Colloids and Surfaces a Physicochemical and Engineering Aspects	14	2,112%	4.539
Science of the Total Environment	14	2,112%	7.963
Environmental Science and Pollution Research	13	1,961%	4.223
Journal of Environmental Chemical Engineering	13	1,961%	5.876
Desalination and Water Treatment	12	1,810%	1.254
Journal of Materials Chemistry A	9	1,357%	7.393

*Fator de impacto em 2022.

O total de documentos recuperados está distribuído em 217 periódicos. Com 6,63% da amostra total de artigos (44 documentos) o periódico Chemical Engineering Journal, um periódico abrangente para Engenharia Química

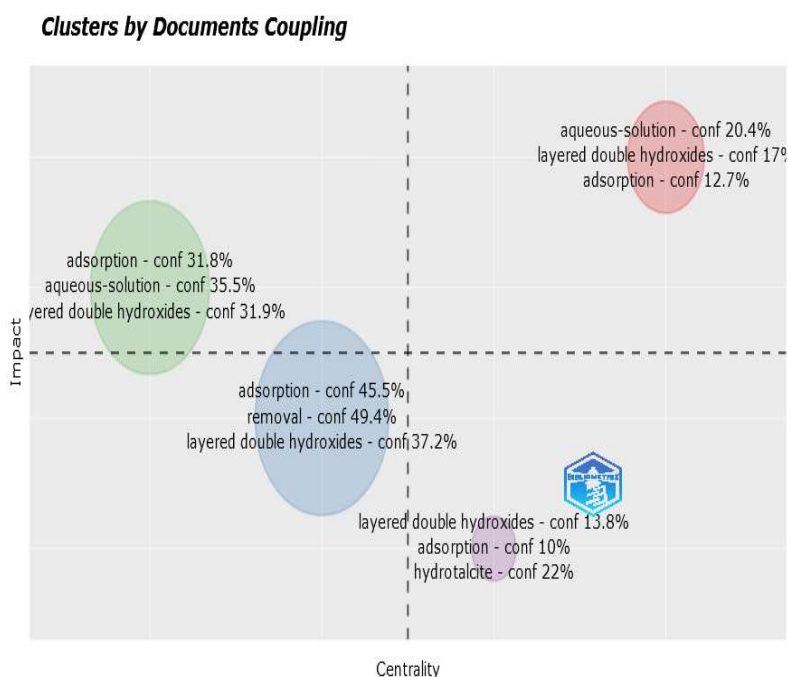
Ambiental, foi o periódico mais produtivo, seguido de Applied Clay Science (38), Journal of Hazardous Materials (35) e Chemosphere (27). Em conjunto, esses quatro periódicos publicaram 21,49% do total de artigos sobre esse tema de pesquisa. Além dos mencionados anteriormente, outros importantes periódicos também publicaram dentro da temática abordada.

5.2.6 Principais campos de pesquisa

As palavras-chaves de um documento científico podem oferecer importantes informações sobre as principais ideias e tendências de um determinado tema, sendo, portanto, uma ferramenta extremamente importante em análises bibliométricas. Neste trabalho foram identificadas ao todo 1475 palavras-chave, das quais a grande maioria tiveram apenas uma (1179, 79,7%) ou duas (210, 14,62%) ocorrências, enquanto 69 (4,06%) das palavras-chaves tiveram 5 ou mais ocorrências.

A análise de evolução temática pode ser usada para detectar, quantificar e visualizar campos específicos de pesquisa, podendo mostrar visualmente a evolução do tema nos últimos anos. Um mapa de estratégia mostrado na Fig. 6 dividido em quatro quadrantes mostra o grau de conexão entre os *clusters* e entre as palavras-chave no *cluster*.

Figura 17 - Grau de conexão entre clusters e entre palavras-chave no *cluster*.



Fonte: bibliometrix.org.

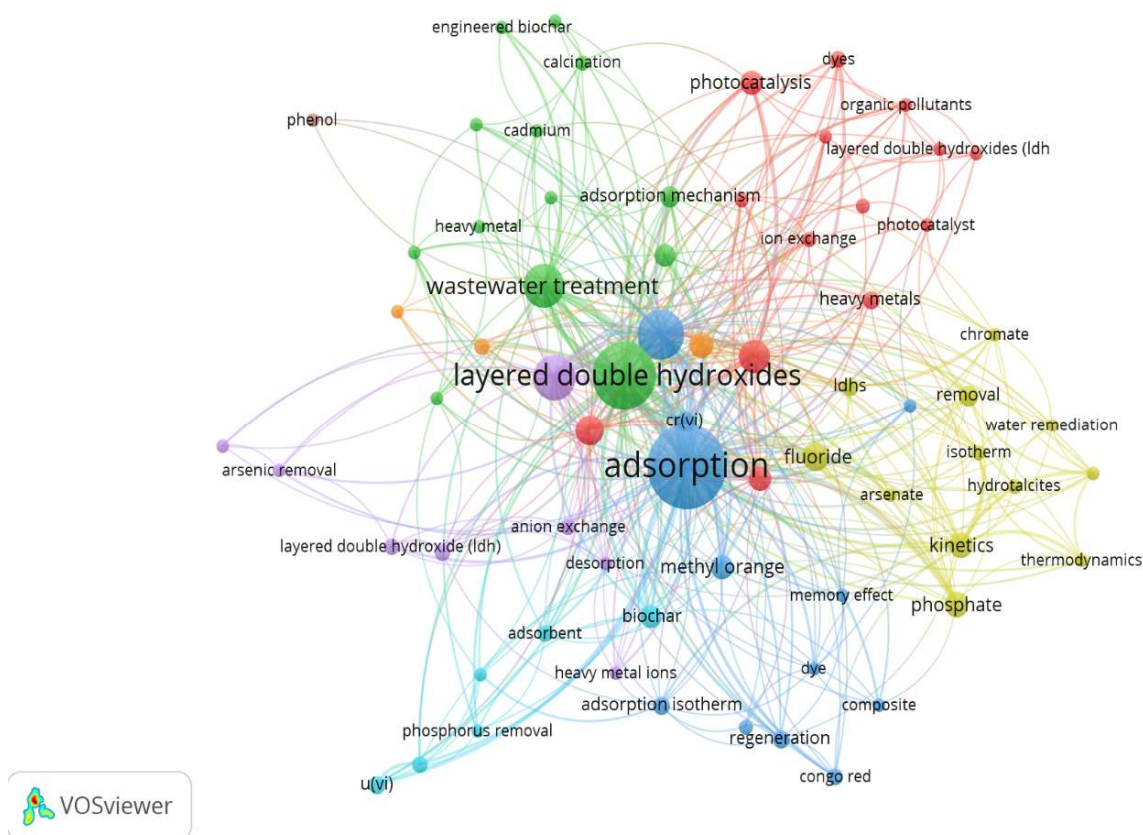
O segundo e o terceiro quadrantes são os mais desenvolvidos, com forte centralidade e alto impacto sendo os mais relevantes para o campo atual. Palavras semelhantes são encontradas no primeiro e quarto quadrantes, indicando certa linearidade no uso de HDLs.

Os diagramas estratégicos permitem visualizar o campo de pesquisa como um conjunto de temas mapeados e classificados em quatro grupos categorizados em termos de densidade e centralidade: (I) *cluster engine* (primeiro quadrante com alta densidade e forte centralidade); (II) *clusters* altamente desenvolvidos e isolados (segundo quadrante superior esquerdo, com importância marginal para o campo de pesquisa; 'tópicos especializados'); (III) clusters em declínio ou emergentes (terceiro quadrante, com baixa densidade e baixa centralidade; 'temas emergentes ou em extinção'); e (IV) clusters básicos e transversais (quarto quadrante, com temas importantes, mas não desenvolvidos; temas transversais e gerais;) (Alcaide-Muñoz et al. 2017; Cobo et al. 2012).

Vale ressaltar que a esfera representa um agrupamento de palavras (ou tema) e o nome de cada uma delas está relacionado à palavra e/ou tema mais recorrente; o volume das esferas corresponde ao número de artigos associados - quanto maior a esfera, maior o número de artigos que citaram aquela palavra como palavra-chave (Cobo et al. 2012; 2011).

A detecção das palavras-chaves mais comumente utilizadas nos documentos recuperados, limitada ao número mínimo de 5 ocorrências, são apresentadas na Figura 18. Cada ponto representa um nó na rede, sendo os nós equivalentes às palavras-chaves. Quanto maior o nó, maior o número de links feito por estes termos. As linhas entre os nós indicam a co-ocorrência entre as palavras-chave e a espessura da linha é proporcional à quantidade com a qual esta co-ocorrência é percebida.

Figura 18 - Visualização de uma rede relacionada às palavras-chaves que ocorrem mais frequentemente nos documentos recuperados.



Fonte de dados: webofscience.com

Visivelmente os termos “adsorção”, “hidróxidos duplos lamelares” e “tratamento de água”, se destacam entre os demais, como os termos que possuem os maiores números de *links* com outras palavras-chaves. O termo “adsorção” é o mais evidenciado pelos documentos recuperados com total de 199 ocorrências, o que reflete sua posição central neste campo de pesquisa de alta frequência.

O primeiro grupo da Figura 18, de coloração amarela, compreende um total de 12 palavras-chaves e tem foco na determinação nos parâmetros relacionados ao processo de adsorção devido à sua junção com termos como “cinética”, “termodinâmica”, “isoterma” e “equilíbrio”.

O segundo grupo, de coloração azul, possui 17 palavras-chaves e a presença dos termos “compósito”, “ biochar”, “efeito memória”, “separação magnética de íons metálicos” e “regeneração” indicam que este grupo tem foco

principalmente relacionado à produção de materiais compósitos e nas propriedades dos HDLs.

O terceiro grupo, de coloração verde, com 13 palavras-chaves, tem foco nos métodos de síntese e composição dos materiais visto a presença dos termos “precipitação”, “adsorção seletiva”, “calcinação”, “engenharia”. Já o quarto grupo, de coloração vermelha, possui 14 palavras-chaves, e trata sobre a eficiência dos HDLs na remoção de diferentes classes de poluentes devido à sua adjeção aos termos “poluentes orgânicos”, “corantes”, metais pesados entre outros.

Alguns termos como “fosfato”, “fenol”, “íons metálicos”, “corantes”, “pesticidas”, entre outros, usados para referirem-se à ampla gama de poluentes e/ou contaminantes presentes em águas, e os termos “biochar”, “fotocatálise”, “nanomaterias” entre outros, que referem-se à estrutura e composição dos HDLs são encontrados em mais de um grupo na Figura 18. A análise levou em consideração apenas os termos distintos presentes nos grupos, a fim de entender as diferentes diretrizes de trabalhos recuperados sobre o tema.

As 20 principais palavras-chaves recuperadas e seu respectivos números de ocorrência estão sumarizados na Tabela 11.

Tabela 11 - Principais palavras-chaves e seu número de ocorrências.

Palavras-chaves	Ocorrência
Adsorption	199
Layered Double Hydroxides	129
Layered Double Hydroxide	67
Water Treatment	56
Wasterwater Treatment	54
Kinetics	18
Hydrotalcite	30
Sorption	25
Fluorede	23
Wasterwater	17
Phosphate	19
LDH	18
Biochar	15
Photocatalysis	17
Methyl Orange	16

Cr(VI)	13
Removal	13
Dyes	8
Equilibrium	6
Arsenic	15

Fonte: webofscience.com.

Alguns trabalhos que tratam das diferentes diretrizes de pesquisas relacionadas ao tema estão sumarizadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Eficiência dos HDLs de composição variada obtidos por diferentes métodos de sínteses, usados como adsorventes na remoção de diferentes poluentes.

Composição	Poluente	Eficiência/capacidade de adsorção	Método de síntese	Ciclos de regeneração	Referências
	Cromatos				
MgFe-Cl	Sulfatos	100% 93%	Coprecipitação	-	(Matusik and Rybka 2019)
MgFe- CO ₃ ⁻	Molibdênio	39,9 mg/g	Coprecipitação	-	(Golban et al. 2019)
MgFe-Cl	Nitrato	18,17 mg/g	Coprecipitação	-	(L. C. Santos et al. 2020)
MgAl-Cl	Amarelo Brilhante	115,00 mg/g	Hidrotérmico	-	(Pourfaraj et al. 2017)
CaAl-NO ₃	Corante Sunset Yellow	398,41 mg/g	Coprecipitação	-	(De Sá, Cunha, and Nunes 2013)
MgAl-CO ₃ ⁻	Laranja de metila	197.62 mg/g	Hidrólise da uréia	-	(Zaghloul et al. 2020)
ZnAl- NO ₃	Vermelho do congo	625,00 mg/g	Coprecipitação	4	(A. Li et al. 2020)
ZnFe-NO ₃	Laranja de metila Azul de metileno Verde malaquita	230,68 mg/g 133,29 mg/g 57,34 mg/g	Coprecipitação	-	(Mahmoud et al. 2021)

Mg ₃ Al-NO ₃ Mg ₃ Al-IL-US Mg ₃ Al-IL-COS	Diclofenaco	143 mg/g 217 mg/g 648 mg/g	Coprecipitação Ultrassom Cossíntese	-	(T̄olea et al. 2021)
MgAl-Cl Gly-Cl-HDL Ala-Cl-LDH	Fosfato	63,2 mg/g 55,8 mg/g 58,2 mg/g	Coprecipitação	-	(Q. Zhang et al. 2022)

A Tabela 12 mostra de maneira sucinta a diversidade na composição de HDLs, assim como sua versatilidade em remover uma variedade de contaminantes em solução aquosa. Além disso, percebe-se ainda que o método de coprecipitação é o mais comumente utilizado para as sínteses, fato elucidado por ser um método simples e de fácil manipulação em laboratório (CHANG et al., 2005). Neste método, a formação da estrutura lamelar dos hidróxidos se dá em uma etapa simples de precipitação dos cátions bi e trivalentes com o ânion interlamelar, usando a adição de solução aquosa alcalina, em batelada (SILVA et al., 2021).

O número de ciclos, dado bastante importante para conhecimento da capacidade de regeneração e, que pode ser utilizado para aplicação industrial, é pouco relatado nos trabalhos pesquisados. Li et al. (2020) (A. Li et al., 2020), avaliou a reciclabilidade do adsorvente ZnAl utilizando hidróxido de sódio para os experimentos de adsorção-dessorção e, indentificou que a taxa de remoção do corante vermelho do congo diminui de 98,01% (1º ciclo) para 67,11% após quatro vezes de reciclagem.

Assim como a capacidade de adsorção em HDLs puros são amplamente investigadas, novos trabalhos envolvendo a produção de compósitos de HDLs estão em crescente desenvolvimento, demonstrando excelentes performaces no aumento da remoção de contaminantes. Em Tolea et al., (2021) (Tolea et al. 2021), o HDL-Mg₃Al foi utilizado para suportar Cloreto de Metil Trialquil Amônio e aumentar a capacidade de adsorção do novo material adsorvente, além disso, no mesmo trabalho, duas rotas sintéticas também foram investigadas e comparadas em função da sua capacidade de adsorção como mostrado na Tabela 12.

Desta maneira, o estudo identificou que a funcionalização de Mg₃Al com cloreto de Metil Trialquil Amônio (Mg₃Al-IL-US) aumentou a capacidade de adsorção de 143 mg/g para 217 mg/g e apresentou capacidade máxima de adsorção de 648 mg/g para amostra (Mg₃Al-IL-COS) obtida por cossíntese.

No HDL-MgAl intercalado por cloreto Cl-HDL uma ligeira melhora na remoção de fosfato foi apresentada, com o valor de 63,2 mg/g, quando comparada aos materiais com glicerina (Gly-Cl-HDL) e alanina intercaladas (Ala-Cl-LDH), com capacidade de remoção de 55,8 e 58,2 mg/g, respectivamente (Q. Zhang et al. 2022). No entanto, no mesmo trabalho, os

resultados de caracterização mostraram que, comparados com MgAl-CL, Gly-CI-LDH e Ala-CI-LDH, apresentam maior porosidade e maior área superficial específica, além do espaço intercamada maior para amostras com glicerina e alanina intercalada.

6 CONCLUSÕES

Através do levantamento bibliográfico realizado nas bases de dados, observou-se o crescente interesse no desenvolvimento de publicações que empregam os hidróxidos duplos lamelares em diversas áreas do conhecimento e, sobretudo, nas temáticas ambientais e relacionadas à adsorção.

Amplamente utilizado em tratamento de águas, os hidróxidos duplos lamelares resultaram num elevado número de publicações obtidas nas bases de dados eletrônicos, mostrando-se um adsorvente seguro para ser empregado na remoção de diversos materiais contaminantes em soluções aquosas, efluentes e diversos outros meios. Os resultados satisfatórios oriundos do emprego dos HDLs tão bem destacados em todas as publicações recuperadas, associados à contínua preocupação existente com a qualidade dos corpos hídricos, culminam conforme indica o presente estudo, na ascendência das pesquisas destes materiais.

A multiplicidade de países em que foram realizados os estudos expõe a abrangência e também a pluralidade de contextos em que os HDLs são empregados devido suas propriedades em meios aquosos, sendo reconhecidamente um ótimo material a ser aplicado como adsorvente nos mais diversos sistemas.

O estudo de *Scoping Review* destacou a China e Arábia Saudita como os territórios líderes em número de publicações recuperadas.

O método de síntese de HDL mais empregado nos estudos obtidos foi o de coprecipitação seguido do método hidrotérmico. Este fato pode estar associado à vantagem da preparação mais simples e rápida do HDL além da maior facilidade de controle do tamanho e composição das partículas, enquanto a síntese hidrotérmica possui custos mais elevados além de o processo reacional não poder ser observado.

Com relação ao estudo de busca de dados sobre o uso de HDLs funcionalizados a outros materiais, alguns trabalhos foram relatados, com exemplos de uso de biochar, pontos quânticos de carbono e polímeros como suporte de HDLs para o tratamento de efluentes aquáticos.

Quanto ao estudo de anáse bibliométrica o levantamento obtido das buscas nas bases científicas, culminou na observação do interesse ascendente

do desenvolvimento de pesquisas e tecnologias que utilizam os hidróxidos duplos lamelares como material adsorvente no tratamento de águas contaminadas.

De 1997 a 2021, um total de 663 documentos relacionados ao tema foram publicados em revistas científicas indexadas à base de dados *Web of Science*. Um aumento significativo na produção sobre o tema foi observado nos 5 últimos anos. A China foi país que apresentou o maior número de publicações recuperadas sobre a temática, e também o país que mais tem cooperado com outras nações no desenvolvimento de novos documentos, esta é uma informação importante, uma vez que a questão da poluição hídrica atinge o mundo inteiro.

A análise bibliométrica também indicou que os autores mais produtivos foram Wang XK, Wang XX e Qian GR. Os periódicos que mais publicaram sobre o tema fora o *Chemical Engineering Journal*, *Applied Clay Science*, *Journal of Hazardous Materials* e *Chemosphere*. Além do foco principal e tendências de pesquisas na área através do uso das palavras-chaves mais frequentemente encontradas nos documentos recuperados foram “adsorção”. “Hidroxidos duplos lamelares” e “tratamento de água”.

No âmbito dos desafios para aplicabilidade dos HDLs é preciso considerar que diante das vantagens da preparação simples no laboratório, a aplicação prática dos HDLs em larga escala na indústria tem limitações associadas e este deve ser um ponto focal de futuras pesquisas assim como novas tecnologias e métodos de dessorção e regeneração, além de algumas pesquisas apontarem para o desenvolvimento de materiais compósitos e/ou materiais com composição adequada a fim de melhorar ainda mais a eficiência desses materiais.

Contribuir com a maior seletividade para um determinado poluente e promover sítios ativos estáveis que garantam a reutilização e desempenho satisfatório para uso prolongado também se configuram como obstáculo a ser contornado na aplicação e desenvolvimento das tecnologias dos HDLs.

Considerando os dados obtidos nos estudos de *Scoping Review* e Análise Bibliométrica a maioria dos autores das publicações recuperadas, ao tratarem das perspectivas, recomendam o aprofundamento dos estudos de

compósitos de HDLs para remoção de poluentes em efluentes e meios aquosos em geral.

Diante da diversidade de abordagens, características e métodos de síntese apresentados, observa-se a necessidade de ininterrupta investigação dos HDLs com a finalidade de contínua identificação de critérios relevantes e distinção de desafios e de tendências para a melhoria dos estudos orientados de modo estratégico e inovador na aplicabilidade dos hidróxidos duplos lamelares como agentes adsorventes de contaminantes e poluentes em matrizes aquáticas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre os diversos tipos de síntese de conhecimento, a *scoping review* como metodologia para sintetizar evidências que pode ser influente para as políticas e as práticas, tem sido bastante empregada nos últimos anos, estimando-se que as mesmas possam contribuir ainda mais por sua relevância para o avanço dos estudos de engenharia, ciências dos materiais e demais áreas correlacionáveis.

Espera-se que o interesse por estudos com os HDLs como adsorventes, além de outras empregabilidades, continue aumentando para maior desenvolvimento de atividades e aplicações na sociedade uma vez que é evidente a viabilidade de desenvolvimentos de tecnologias com estes materiais.

O resultado deste estudo constitui-se também como um dispositivo ou promotor de *insights* para o direcionamento de futuras pesquisas sobre o tema.

8 PERSPECTIVAS

Alguns estudos já vêm sendo realizados, sobretudo com a finalidade de aprofundamento do conhecimento acerca dos HDLs na formulação de novos produtos e também no campo da análise de dados quanto às seguintes perspectivas:

- Levantamento de dados oriundos de bases tecnológicas como DERWENT, INPI e Spacenet com a finalidade de verificar as perspectivas dos hidróxidos duplos lamelares em patentes;
- Influência das designações das palavras-chave pelos autores no alcance e localização efetiva de suas publicações;
- Utilização e vantagens do emprego de highlights como sintetizadores das publicações a fim de promover ênfase às admissíveis informações de maior interesse do leitor, além de transmitir os principais resultados dos artigos.

9 REFERÊNCIAS

AHAMED, M.; VERMA, S.; KUMAR, A.; SIDDIQUI, M. K. J. Environmental Exposure to Lead and Its Correlation with Biochemical Indices in Children. **Science of the Total Environment.**, 2005, 346, 48.

AHMED, A. A. A.; TALIB, Z. A.; HUSSEIN, M. Z. Synthesis and Optimization of Electric Conductivity and Thermal Diffusivity of Zinc-Aluminum Hydroxide (ZnAl-NO₃-LDH) Prepared at Different pH Values. **Materials Today: Proceedings**, v. 3, n. 2, p. 130–144, 2016.

ALBERANI, V.; PIETRANGELI, P. D. C.; MAZZA, A.M.R. The use of grey literature in health sciences: a preliminary survey. **Bulletin of the Medical Library Association**, v. 78, n. 4, p. 358-363, Oct. 1990.

ALCAIDE-MUÑOZ, L.; PEDRO RODRÍGUEZ-BOLÍVAR M.; COBO, M.J.; HERRERAVIEDMA, E. (2017) Analysing the scientific evolution of e-Government using a science mapping approach. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2017.05.002>.

AN, Y. et al. Two-step synthesis of a single-layer grafting self-floating adsorbent for anionic dyes adsorption, surface separation and concentration. **Journal of Hazardous Materials**, v. 384, p. 121262, 2020.

ANA - Agência Nacional de Águas - Panorama da Qualidade das Águas do Brasil, **ANA**, Brasília, 266 p., 2012.

ARKSEY, H.; O'MALLEY, L. Scoping studies: towards a methodological framework. **Int J Social Res Methodol.** 2005;8:19-31.

ARKSEY, H.; O'MALLEY, L. Scoping studies: Towards a Methodological Framework. **Int J Soc Res Methodol.** 2005;8(1):19–32.

ARMSTRONG, R.; HALL, B.J.; DOYLE, .J; WATERS, E. “Scoping the scope” of a cochrane review. **J Public Health** (Bangkok). 2011;33(1):147–50.

BACELO, H.; PINTOR, A.M.A.; SANTOS, S.C.R.; BOAVENTURA, R.A.R.; BOTELHO, C.M.S. Performance and prospects of different adsorbents for phosphorus uptake and recovery from water. **Chemical Engineering Journal**, v. 381, p. 122566, 2020.

BAHAMON, D. et al. Energetic evaluation of swing adsorption processes for CO₂ capture in selected MOFs and zeolites: Effect of impurities. **Chemical Engineering Journal**, v. 342, p. 458-473, 2018.

BALAGUER, J.M.E. **Caminho**. Pequenas coisas, Ponto 825. Disponível em: <https://www.escrivaworks.org.br/book/caminho-ponto-825.htm>. Acesso em: novembro de 2021.

BANKS, M. Blog posts and tweets: the next frontier for grey literature. In: FARACE, D.J.; SCHÖPFEL, J. (Ed.). **Grey literature in library and information studies**. Berlin: De Gruyter Saur, 2010. p. 217-226.

BASTOS, C. L.; KELLER, V. **Aprendendo a aprender**. Petrópolis: Vozes, 1995.

BENICIO, L.P.; SILVA, R.A.; LOPES, J.A.; et al. Layered double hydroxides: nanomaterials for applications in agriculture. **Rev Bras Ciênc Solo**. 2015;39(1):1-13.

BOOTH, A. (2006). "Brimful of STARLITE": toward standards for reporting. // **J Med Lib Assoc**. 94: October (2006) 421–430. Disponível em: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1629442&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>. Acesso em: outubro de 2021.

BRAGGE, P.; CLAVISI, O.; TURNER, T.; TAVENDER, E.; COLLIE, A.; GRUEN, R.L. (2011). The Global Evidence Mapping Initiative: scoping research in broad topic áreas. **BMC Medical Research Methodology**, 11, 92-2288-11-92.

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos. Brasília. 2016.

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Fundação Nacional de Saúde. Tratamento de águas com excesso de ânions fluoreto e nitrato utilizando HDLs como adsorventes/ Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde; colaboradores Sibebe B. C. Pergher... [et al.] – Natal : Caule de Papiro, 2017.

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

CAVANI, F.; TRIFIR, F.; VACCARI, A. Hydrotalcite-type anionic clays: preparation, properties and applications. **Catalysis Today**, v. 11, n.2, p. 1773-301, 1991.

CAVANI, F.; TRIFIRO, F.; VACCARI, A. Hydrotalcite-type anionic clays: preparation, properties and applications. **Catalysis Today**, Shanghai, v.11, p.173-301, Jan. 1992.

CHANG, Z., D. G. EVANS, X. DUAN, C. VIAL, J. GHANBAJA, V. PREVOT, M. DE ROY, AND C. FORANO. 2005. "Synthesis of [Zn–Al–CO₃] Layered Double Hydroxides by a Coprecipitation Method under Steady-State Conditions." **Journal of Solid State Chemistry** 178 (9): 2766–77. <https://doi.org/10.1016/J.JSSC.2005.06.024>.

CHEN, Y.; LIN, M.; ZHUANG, D. (2022) Wastewater treatment and emerging contaminants: bibliometric analysis. **Chemosphere** 297:133932. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.133932>

COBO, M.J.; LÓPEZ-HERRERA, A.G.; HERRERA-VIDEIRA, E.; HERRERA, F. (2011) Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. **J Am Soc Inf Sci Technol** 62:1382–1402.

<https://doi.org/10.1002/ASI.21525>

COBO, M.J.; LÓPEZ-HERRERA, A.G.; HERRERA-VIDEIRA, E.; HERRERA, F. (2012) SciMAT: a new science mapping analysis software tool. **Journal American Society Inf Sci Technol** 63:1609–1630. <https://doi.org/10.1002/ASI.22688>.

COLQUHOUN, H.L.; LEVAC, D.; O'BRIEN, K.K; STRAUS, S.; TRICCO, A.C. ; PERRIER, L.; KASTNER, M; MOHER, D. **Scoping reviews: Time for clarity in definition, methods and reporting.** https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/73365/1/Commentary%20Paper_Feb%2027_2014.pdf.

COSTA, R.; SANTOS, L. Delivery systems for cosmetics - From manufacturing to the skin of natural antioxidants. **Powder Technol.** 2017;322:402-16.

CREPALDI, E.L.; TRONTO, J.; CARDOSO, L.P.; VALIM, J.B. **Colloids and Surfaces A-Physicochemical and Engineering Aspects**, 2002, 211, 103.

CREPALDI, E.L. e VALIM, J.B.; Hidróxidos duplos lamelares: síntese, estrutura, propriedades e aplicações. **Química Nova**, 1998, 21(3), 300.

CRINI, G. (2005) Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment. **Prog. Polym. Sci.** 30:38–70. <https://doi.org/10.1016/J.PROGPOLYMSCI.2004.11.002>

CUNHA, V. R. R.; FERREIRA, C. M. A.; CONSTANTINO, V. L. R. Hidróxidos duplos lamelares: Nanopartículas inorgânicas para armazenamento e liberação de espécies de interesse biológico e terapêutico. **Química Nova**, 2010, 1, 159-171.

DAS, J. et al; Adsorption of Phosphate by layered Double hydroxides in aqueous solutions. **Applied Clay Science**, v. 32, p. 252-260, 2006.

DIAZ-NAVA, C.; SOLACHE-RIOS, M.; OLGUIM, M.T. **Separation Science and Technology**, 2003, 38, 131.

DIJKERS, M. What is a Scoping Review? **KT Update**; Vol. 4. No 1. Dezembro, 2015.

DINIZ, L.T.; YAZAKI, L.F.O.; JUNIOR, J.M.M.; PORTO, M.F.A. O enquadramento de cursos d'água na Legislação Brasileira. **I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste**, 2006.

DO, D. D. Adsorption analysis: equilibria and Kinetics. London. **Imperial College Press**, 1998.

DOS REIS, M.J.; SILVERIO, F.;TRONTO, J.;VALIM, J.B. **Journal of Physics and Chemistry of Solids**, 2004, 65, 487.

FORANO, C.; COSTANTINO, U.; PRÉVOT, V. "Layered Double Hydroxides (LDH)", **Developments in Clay Science**, pp. 745-782, 2013.

FROST, R.L.; MUSUMECI, A.W. Nitrate absorption through hydrotalcite reformation. **Journal of Colloid and Interface Science**, 302 (2006) 203–206.

GALLEGO-VALERO, L., MORAL-PARAJES, E., ROMÁN-SÁNCHEZ, I.M., 2021. Wastewater Treatment Costs: A Research Overview through Bibliometric Analysis. **Sustain**. 2021, Vol. 13, Page 5066 13, 5066. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/SU13095066>. Acesso em: Agosto de 2022.

GANONG, L.H. Integrative reviews of nursing research. **Research in Nursing & Health**, New York, v. 10, n.11, p. 1-11. 1987.

GARCIA, L.P. Revisão sistemática da literatura e integridade na pesquisa. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 23, n. 1, p. 7-8, 2014.

GHEMIT, R.; BOUTAHALA, M.; KAHOU, A. Removal of diclofenac from water with calcined ZnAlFe-CO₃ layered double hydroxides: Effect of contact time, concentration, pH and temperature. **Desalination and Water Treatment**, v. 83, p. 75-85, 2017.

GOH, P. S.; ISMAIL, A. F. A review on inorganic membranes for desalination and wastewater treatment. **Desalination**, v.434, p. 60-80,2018.

GOGATE, P. R.; PANDIT, A. B. A review of imperative technologies for waste water treatment II: hybrid methods . **Advances in Environmental Research**, v. 8, n. 3-4, p. 553-597, 2004.

GUIMARÃES, J. R.; NOUR, E. A. A. Tratando nossos esgotos: processos que imitam a natureza. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, Edição especial Maio 2001.

GRANT, M. J.; BOOTH, A. **A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies**. Journal compilation. 2009 Health Libraries Group. Health Information and Libraries Journal, 26, pp.91–108.

HIGGINS, J.P.T.; GREEN, S. The Cochrane Collaboration. **Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions** Version 5.1.0 [update March 2011]. 2011 [Online]. Disponível em: <http://handbook.cochrane.org>. Acesso em: junho de 2021.

IBGE (2017), **Atlas de Saneamento**, 2011. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm. Acesso em: abril de 2021.

INACIO, J.; TAVIOT-GUEHO, C.; FORANO, C.; BESSE, J.P. **Applied Clay Science**, 2001, 18, 255.

INCTAA; Cafeína em águas de abastecimento no Brasil; Canela, M. C.; Jardim, W. F.; Sodré, F. F.; Grassi, M. T., eds.; **Cubo**: São Carlos, 2014, cap. 1.5.

IPCS; *Global Assessment of the State-of-the-Science of Endocrine Disruptors*, International Programme on Chemical Safety Report WHO/PCS/EDC/02.2, **World Health Organization (WHO)**, Geneva,

Switzerland; Damstra, T.; Barlow, S.; Bergmna, A.; Kavlock, R.; Van Der Kraak, G., eds.; 2002.

JIA, Y.; ZHANG, Y.; FU, J.; et al. A novel magnetic biochar/MgFe-layered double hydroxides composite removing Pb²⁺ from aqueous solution: Isotherms, kinetics and thermodynamics. **Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.** Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.01.064>. Acesso em: outubro de 2021.

JIANG M, QI Y, LIU H, CHEN Y (2018) The role of nanomaterials and nanotechnologies in wastewater treatment: a bibliometric analysis. **Nanoscale Res Lett** 13:1–13. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/S11671-018-2649-4/TABLES/6>. Acesso em: julho de 2022.

JIANG, N. et al. Adsorption of triclosan, trichlorophenol and phenol by high-silica zeolites: Adsorption efficiencies and mechanisms. **Separation and Purification Technology**, v. 235, p. 116152, 2019.

JIANG, M.; QI, Y.; LIU, H.; CHEN, Y. (2018) The role of nanomaterials and nanotechnologies in wastewater treatment: a bibliometric analysis. **Nanoscale Res Lett** 13:1–13. <https://doi.org/10.1186/S11671-018-2649-4/TABLES/6>

JOANNA BRIGGS INSTITUTE (JBI). **Joanna Briggs Institute Reviewers' Manual**: 2020 edition / Supplement. Australia: The Joanna Briggs Institute, 2015.

JOANNA BRIGGS INSTITUTE (JBI). **Methodology for JBI Scoping Reviews** - Joanna Briggs 2015. . Australia: JBI; c2015. [cited 2015 Jul 10]. Disponível em: http://joannabriggs.org/assets/docs/sumari/Reviewers-Manual_Methodology-for-JBI-Scoping-Reviews_2015_v2.pdf. Acesso em: outubro de 2021.

KARSTNER, M.; TRICCO, A.C.; SOOBIAH, C.; et al. What is the most appropriate knowledge synthesis to conduct a review? Protocol for a scoping review. **BMC Med. Res. Methodol.** 2012;12:114.

KEYIKOGLU R, KHATAEE A, YOON Y (2022) Layered double hydroxides for removing and recovering phosphate: recent advances and future directions. **Advanced Colloid Interface Science.** 300:102598. <https://doi.org/10.1016/J.CIS.2021.102598>

KHAN, A.I., O'HARE, D. Intercalation chemistry of layered double hydroxides: Recent developments and applications, in: **Journal of Materials Chemistry**. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/b204076j>. Acesso em: Agosto de 2021.

KNAEBEL, K.S. Adsorbent selection. **Adsorption Research Inc.**, 2011. Disponível em: Acesso em: 15 junho de 2021.

LAZARIDIS, N.K. **Water Air and Soil Pollution**, 2003, 146, 127.

LEVAC, D.; COLQUHOUN, H., O'BRIEN, K.K. Scoping studies: advacing the methodology. **Implement Sci.** 2010;5:69.

LI A., DENG H., YE C., JIANG Y. (2020) Fabrication and characterization of novel ZnAl-layered double hydroxide for the superadsorption of organic contaminants from wastewater. **ACS Omega** 5:15152–15161. https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.0C01092/ASSET/IMAGES/ACSOMEGA.0C01092.SOCIAL.JPEG_V03

LIN, X. et al. Estimation of fixed-bed column parameters and mathematical modeling of breakthrough behaviors for adsorption of levulinic acid from aqueous solution using SY-01 resin. **Separation and Purification Technology**, v. 174, p. 222-231, 2017.

LINS, P.V.S.; HENRIQUE, D.C.; IDE, A.H.; et al. Evaluation of caffeine adsorption by MgAl-LDH/biochar composite. **Environ. Sci. Pollut. Res.** <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06288-3>.

LOPES, I.L. Estratégia de busca na recuperação da informação: revisão da literatura. **Ci. Inf.**, Brasília, v. 31, n. 2, p. 60-71, maio/ago. 2022.

LU, J. et al. Stable, regenerable and 3D macroporous Pd (II)-imprinted membranes for efficient treatment of electroplating wastewater. **Separation and Purification Technology**, v. 235, p. 116220, 2019.

MACEDONIO, F.; DRIOLI, E. **Sustainable Membrane Technology for Water and Wastewater Treatment**. doi:10.1007/978-981-10-5623-9. 2017.

MACHADO, K.C.; GRASSI, M.T.; VIDAL, C.; et al. A preliminary nationwide survey of the presence of emerging contaminants in drinking and source waters in Brazil. **Sci. Total Environ.** 572, 138–146. Disponível em: <<https://doi:10.1016/j.scitotenv.2016.07.210>>. Acesso em: novembro de 2021.

MANDAL, B.K.; SUZUKI, K.T. Arsenic round the world: a review. **Talanta**. V. 58. P. 201–235. 2002.

MAYS, N.; ROBERTS, E.; POPAY, J. **Methods for studying the delivery and organisation of health services**. Ed. / N. Fulop; P. Allen; A. Clarke; N. Black. London; Routledge, 2001.

MEILI, L.; LINS, P. V.; ZANTA, C.L.P.S.; SOLETTI, J.I.; RIBEIRO, L.M.O.; DORNELAS, C.B.; SILVA, T.L.; VIEIRA, M.G.A. 2019. MgAl-LDH/Biochar composites for methylene blue removal by adsorption. **Appl. Clay Sci.** Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.10.012>. Acesso em: outubro de 2021.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5 Ed. Tradução: HESPANHOL I, MIERZWA J C. New York : AMGH Editora Ltda, 2015. p.1980.

MILES, I.; KEENAN, M.; KAIVO-OJA, J. (2003). **Handbook of knowledge society foresight**. European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, Dublin. Disponível em: <https://www.eurofound.europa.eu/publications/2003/handbook-ofknowledge-society-foresight>. Acesso em: abril de 2021.

MILLS, S. J.; CHRISTY, A. G.; GÉNIN J.-M. R.; KAMEDA, T.; COLOMBO, F. Nomenclature of the hydrotalcite supergroup natural layered double hydroxides. **Mineralogical Magazine**: Australia, v. 76, n.5, p. 1289-1336, 2012.

MITAYA, S.; KUMURA, T.; HATTORI, H.; TANABE, K. *Nippon Kugaku Zasshi*, 1971, 92, 514.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D.G. Prisma Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **PLoS Med**[Internet].. Disponível em: <http://journals.plos.org/plosmedicine/article?id=10.1371/journal.pmed.1000097>. Acesso em fevereiro de 2021.

MONTAGNER, C. C.; UMBUZEIRO, G. A.; PASQUINI, C.; JARDIM, W. F.; **Environ. Sci. Process**. Impacts 2014, 16, 10.

MONTAGNER, C.C.; VIDALA, C.; ACAYABAB, R.D. Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. **Quim. Nova**, Vol. 40, No. 9, 1094-1110, 2017.

MOSCOU, K.; KOHLER, J.C.; MAGAHAN, A. Governance and pharmacovigilance in Brazil: a scoping review. **Journal of Pharmaceutical Policy and Practice** 9:3, 2016. Disponível em: <https://joppp.biomedcentral.com/>. Acesso em: outubro de 2021.

NASCIMENTO, R. F.; DE LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.p. 52.

NASCIMENTO, R. F.; DE LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.p. 255.

NUEVA, D. H. **Guia para la investigacion científica**. DF, México; 2001. 237 p.

OTTOBONI, J. **Documento da ONU alerta para escassez de água**. 15 mar. 2018. Disponível em: <https://unric.org/pt/agua/>. Acesso em: junho de 2021.

OLIVEIRA, F.J.V.E.; MELO JR, M.A.; AIROLDI, C. Inorganic-organic hybrids presenting high basic center content: SBA-15 incorporation, toxic metals sorption and energetic behavior. **Materials Research Bulletin**, v. 48, n. 3, p. 1045-1056, 2013.

PACHECO, I. D. S. **Remoção dos Contaminantes Emergentes Diclofenaco e Ibuprofeno por Adsorção em Argilas Aniônicas**: Processo Em Batelada. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS (ICIAG), Universidade Federal de Uberlândia, [S. I.], 2019.

PARK, Y.; AYOKO, G. A.; KURDI, R.; HORVARTH, E.; KRISTOF, J.; FROST, R. L. Adsorption of phenolic compounds by organoclays: Implications for the

removal of organic pollutants from aqueous media. **Journal of Colloid And Interface Science**, v. 406, p. 196-208, 2013.

PAVAN, P.C.; GOMES, G.D.; VALIM, J.B. **Microporous and Mesoporous Materials**, 1998, 21, 659.

PETERS, M.D.; GODFREY, C.M.; KHALIL, H.; et al. Guidance for conducting systematic scoping reviews. **Int J Evid Based Healthc**. 2015;13(3):141–6.

PETERS, M. D.; GODFREY, C.; MCINERNEY, P.; et al. **The Joanna Briggs Institute reviewers' manual** 2015: methodology for JBI scoping reviews [Internet]. Disponível em: http://joannabriggs.org/assets/docs/sumari/Reviewers-Manual_Methodology-for-JBI-Scoping-Reviews_2015_v2.pdf. Acesso em: novembro de 2021.

PETERS, M.; GODFREY, C.; MCINERNEY, P.; et al. **Scoping reviews**. In E. Aromataris & Z. Munn (Eds.), *Joanna Briggs Institute Reviewer's Manual*, 2017. Disponível em: <https://reviewersmanual.joannabriggs.org/>. Acesso em: dezembro de 2021.

PETERS, M. D.; GODFREY, C.; MCINERNEY, P. et al. (2020). Chapter 11: scoping reviews. **Joanna Briggs Institute reviewer's manual**.

PINNAVAIA, T.J. 1992. Approaches to the Synthesis of Supergallery Pillared Clays, in: **Expanded Clays and Other Microporous Solids**. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4684-8866-1_1. Acesso em: julho de 2021.

PORTER, A. L.; ASHTON, W. B.; CLAR, G.; COATES, J. F.; CUHLS, K.; CUNNINGHAM, S. W.; DUCATEL, K.; VAN DER DUIN, P.; GEORGEHIOU, L.; GORDON, T.; LINSTONE, H.; MARCHAU, V.; MASSARI, G.; MILES, I.; MOGEE, M.; SALO, A.; SCAPOLO, F.; SMITS, R.; THISSEN, W. (2004). Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods. **Technological Forecasting and Social Change**, 71(3), 287-303.

QU, X.; ALVAREZ, P.J.J.; LI, Q. **Application of nanotechnology in water and wastewater treatment**. Department of Civil and Environmental Engineering, Rice University, Houston. V. 47. P. 3931-3946. 2013.

RAIMUNDO, C.C.M. **Contaminantes emergentes em águas tratadas e seus mananciais: sazonalidade, remoção e atividade estrogênica**. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química da Universidade de Campinas. Campinas, p. 18. 2011.

RAO, I. K. **Métodos Quantitativos em Biblioteconomia e em Ciência da Informação**. Brasília: ABDF, 1986.

RIBEIRO, J. W., ROOKE, J. M. S. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública**. 2010. 36 f. Curso de especialização em análise ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2010.

ROY, A.; FORANO, C.; EL MALKI, K.; BESSE, J. P.; *Anionic Clays: Trends in Pillaring Chemistry*; Occelli, M. L. and Robson, H. E.; **Synthesis of**

Microporous Materials, 1. ed., New York, Van Nostrand Reinhold, 1992, vol. 2, cap. 7, pp. 108-169.

RUTHVEN, D. M. **Principles of Adsorption and Adsorption Process**. New York: John Wiley & Sons, 1984.

SÁ, F. P.; CUNHA, B. N.; NUNES, L. M. Effect of pH on the adsorption of Sunset Yellow FCF food dye into a layered. **Chemical Engineering Journal**, v. 215-216, p. 122-127, 2013.

SÁ, F.P. de; NUNES, L.M.;BORGES. E.C.L. Treatment of Food Industry Effluent with the use of Hidrocalumita as Adsorbent. **Revista Tecnica**, v. 1, n. 1, 2016.

SAMPAIO, T.R. **Micropoluentes emergentes em águas de abastecimento público: estratégia analítica para priorização de mananciais e diagnóstico preliminar no DF**.Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química da Universidade de Brasília. Brasília, p. 1. 2018.

SAMPAIO, T.R. **Micropoluentes emergentes em águas de abastecimento público: estratégia analítica para priorização de mananciais e diagnóstico preliminar no DF**.Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química da Universidade de Brasília. Brasília, p. 20. 2018.

SANTIAGO, L. G. Manual básico de literatura gris. **El lado oscuro de la documentación**. Gijón: Trea, 1999.

Santos D.H.S.; Paulino, J.C.P.L.; ALVES, G.F.S.; OLIVEIRA, L.M.T.M.; NAGLIATE, P.C.; DUARTE, J.L.S.; MEILI, L.; TONHOLO, J.; ZANTA, C.L.P.S. (2021) Effluent treatment using activated carbon adsorbents: a bibliometric analysis of recent literature. **Environmental Science Pollution Research**. Int 28:32224–32235. <https://doi.org/10.1007/S11356-021-14267-W>

SANTOS, G. E. de S. **Síntese de compósitos MgAl/HDL-biocarvão de ouricuri para aplicação na remoção de poluentes emergentes**. 2019. Universidade Federal de Alagoas, [s. l.], 2019

SANTOS, G.E. de S. et al. **Layered double hydroxides/biochar composites as adsorbents for water remediation applications: recent trends and perspectives**. Journal of Cleaner Production. V. 284, 2021.

SANTOS, R.M.M. **Materiais derivados de hidróxidos duplos lamelares: síntese, caracterização e aplicação em adsorção e processos avançados de oxidação**. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química da Universidade de Araraquara. Araraquara, p. 24. 2016.

SCHWARZENBACH, R.P.; EGLI, T.; HOFSTETTER, T.B.; VON GUNTEN, U.; WEHRLI, B. 2010. **Global Water Pollution and Human Health**. Annu. Rev. Environ. Resour. 35, 109–136. Disponível em: [doi:10.1146/annurev-environ-100809-125342](https://doi.org/10.1146/annurev-environ-100809-125342). Acesso em: agosto de 2021.

SILVA, A.F.; DUARTE, J.L. DA S.; MEILI, L. (2021) Different Routes for MgFe/LDH Synthesis and Application to Remove Pollutants of Emerging Concern. **Sep Purif Technol** 264(June):118353. <https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2021.118353>

SINGH, N. B.; NAGPAL, G.; AGRAWAL, S.; RACHNA. Water purification by using Adsorbents: A Review. **Environmental Technology & Innovation**, v. 11, p. 187 -240, 2018.

SOARES, P. B.; CARNEIRO, T. C. J.; Calmon, J. L.; CASTRO, L. O. da C. de O. Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre Tecnologia de Construção e Edificações na base de dados Web of Science. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 175-185, jan./mar. 2016. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000100067>. Acesso em: novembro de 2022.

SODRÉ F.F.; GRASSI, M.T. (2007) Changes in copper speciation and geochemical fate in freshwaters following sewage discharges; **Water Air Soil Poll**; 178; 103-112.

SODRÉ, F. F. et al. Sistema limpo em linha para extração em fase sólida de contaminantes emergentes em águas naturais. **Química Nova**, 2010.

SODRÉ, F.F.; FEITOSA, R.S.; MALDANER, A.O. Drogas de abuso em águas naturais e residuárias urbanas: ocorrência, determinação e aplicações forenses. **Química Nova**, Vol. 36, No. 2, 291-305, 2013.

SOUZA, M.T.; SILVA, M.D.; CARVALHO, R. **Integrative review: what is it? How to do it?** Einstein (São Paulo, Brazil) [Internet]. 2010;8(1):102–6. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S167945082010000100102&lng=en&nrm=iso&tlng=En. Acesso em: junho de 2021.

STACKELBERG, P. E.; GIBS, J.; FURLONG, E. T.; MEYER, M. T.; ZAUGG, S. D.; LIPPINCOTT, R. L.; **Sci. Total Environ**. 2007, 377, 255.

STELATO, E.S.; STUNGES, T.G.; SILVA, G. M.; PELEGRINELI E.C.; CUBA, R.M.F.; MINILLO, A.; ISIQUE, W. D. Avaliação da presença de resíduos de anti-inflamatórios não esteroides nos córregos veado e cedro do município de Presidente Prudente (SP), Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** (Online), n. 39, p. 97-113, 2016.

SU, H.; LEE, P. Mapping Knowledge Structure by Keyword Co-Occurrence: a first look at journal papers in technology foresight. **Scientometrics**, v. 85, n. 1, p.65-79, jun. 2010.

TEIXEIRA-NETO, E.; TEIXEIRA-NETO, A.A. Modificação química de argilas: desafio científicos e tecnológicos para obtenção de novos produtos com maior valor agregado. **Química Nova**. v.32, n. 3, 2009, p. 809-817.

TOLEA, S. N. et al. "Development of New Efficient Adsorbent by Functionalization of Mg₃Al-LDH with Methyl Trialkyl Ammonium Chloride Ionic Liquid." *Molecules* 2021, Vol. 26, Page 7384 26 (23): 7384. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26237384>.

TOMAZ, P. **Poluição Difusa**. Porto Alegre: Navegar Editora, 2006. 230 p.

TRONTO, J. **Síntese, caracterização e estudo das propriedades de hidróxidos duplos lamelares intercalados com polímeros condutores**. Tese (Doutorado em Ciências) – Departamento de Química da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto, p. 18. 2006.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Recursos Hídricos no Século XXI. 1ª edição. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2011. 328 p.

UMBUZEIRO, G. A., 2012. **Guia de potabilidade para substâncias químicas**, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

UMBUZEIRO, G.D.A.; KUMMROW, F.; REI, F.F.C. 2010. Toxicologia, Padrões De Qualidade De Água E a Legislação. **Rev. Gestão Integr. em Saúde do Trab. e Meio Ambiente**. 5, 1–14.

UNIÃO EUROPEIA. **Directiva 2008/105/CE** do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2008, relativa a normas de qualidade ambiental no domínio da política da água (JO L 348 de 24.12.2008, p. 84).

VACCARI, A (1998) Preparation and catalytic properties of cationic and anionic clays. **Catal Today** 41:53–71. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0920-5861\(98\)00038-8](https://doi.org/10.1016/S0920-5861(98)00038-8). Acesso em: setembro de 2022.

YANG, F.;SUN, S., CHEN, X., CHANG, Y., ZHA, Y., LEIET, Z.vMg-Al layered double hydroxides modified clay adsorbents for efficient removal of Pb²⁺, Cu²⁺ and Ni²⁺ from water. **Applied Clay Science**, v. 123, p. 134-140, 2016.

ZHANG, Q. et al. "Glycine- and Alanine-Intercalated Layered Double Hydroxides as Highly Efficient Adsorbents for Phosphate with Kinetic Advantages." *Nanomaterials (Basel, Switzerland)* 12 (4). <https://doi.org/10.3390/NANO12040586>. 2022.

ZHANG, Z. et al. Removal of mercury by magnetic nanomaterial with bifunctional groups and core-shell structure: Synthesis, characterization and optimization of adsorption parameters. **Applied Surface Science**, v. 500, p. 143970, 2019.

ZHU, D.et AL. A Process For Mining Science & Technology DocumentsDatabasellustrate For the Case ofKnowledge Discovery and Data Mining. **Ciência da Informação**, v. 28, n. 1, jan. 1999.

APÊNDICES

APÊNDICE A - TERMOS EMPREGADOS NA FORMULAÇÃO DAS SINTAXES DE BUSCAS ÀS BASES DE DADOS ELETRÔNICAS

Lamellar clays	Argila* lamelar*	Anionic clays	Argila*aniônica	Hidrotalcit
Hydrotalcit*	Hydrotalcite compounds	Environmental	Meio ambiente	Layered hydroxides
Layered double hydroxides	LDH	Hidróxidos duplos lamelares	Pollut*	Poluente*
Contaminant*	Corpos hídricos	Water resource*	Effluent*	Efluente*
Wastewater*	Adsorption	Adsorção	Adsorción	Adsorbent
Adsorbent agent*	Aqueous media	Meio aquoso	Aqueous solut*	Solução aquosa

Fonte: Autora (2021).

APÊNDICE B – SINTAXES DE BUSCAS UTILIZADAS NAS BASES DE DADOS NÃO-CINZENTAS INCLUÍDAS NA PESQUISA

Base de Dados	Sintaxes de Busca
Web of Science	((("layered hydroxides" OR "layered double hydroxides" OR "LDH" OR "hidróxidosduploslamelares") AND (environmental OR "meioambiente") AND (pollut* OR poluente* OR contaminant*) AND ("aqueous media" OR "meioaquoso" OR "aqueous solut*" OR "soluçãoaquosa") AND (adsorption OR adsorção OR adsorción OR adsorbent OR "adsorbent agent*"))
Scopus	((("layered hydroxides" OR "layered double hydroxides" OR "LDH" OR "hidróxidosduploslamelares") AND (environmental OR "meioambiente") AND (pollut* OR poluente* OR contaminant*) AND ("aqueous media" OR "meioaquoso" OR "aqueous solut*" OR "soluçãoaquosa") AND (adsorption OR adsorção OR adsorción OR adsorbent OR "adsorbent agent*"))
Science Direct	((("layered hydroxides" OR "layered double hydroxides" OR "LDH" OR "hidróxidosduploslamelares") AND (environmental OR "meioambiente") AND (pollut\$ OR poluente\$ OR contaminant\$) AND ("aqueous media" OR "meioaquoso" OR "aqueous solute\$" OR "soluçãoaquosa") AND (adsorption OR adsorção OR adsorbent OR "adsorbent agent*"))
PubMed	((("layered hydroxides"[Title/Abstract] OR "layered double hydroxides"[Title/Abstract] OR "LDH"[Title/Abstract] OR "hidróxidosduploslamelares")[Title/Abstract] AND (environmental[Title/Abstract] OR "meioambiente"[Title/Abstract])[Title/Abstract] AND (pollut*[Title/Abstract] OR poluente*[Title/Abstract] OR contaminant*[Title/Abstract]) AND ("aqueous media"[Title/Abstract] OR "meioaquoso"[Title/Abstract] OR "aqueous solut*" [Title/Abstract] OR "soluçãoaquosa" [Title/Abstract]) AND (adsorption[Title/Abstract] OR adsorção[Title/Abstract] OR adsorción[Title/Abstract] OR adsorbent[Title/Abstract] OR "adsorbent agent*" [Title/Abstract]))

Fonte: Autora (2022).

APÊNDICE C - LISTA DE REFERÊNCIAS DOS ESTUDOS SELECIONADOS PARA A SCOPING REVIEW POR CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

ID	Referência
E1	Sharifur Rahman, Chanaka M. Navarathna, Naba Krishna Das, Jacinta Alchouron, Parker Reneau, Sean Stokes, Rooban V.K.G. Thirumalai, Felio Perez, E. Barbary Hassan, Dinesh Mohan, Charles U. Pittman, Todd Mlsna, High capacity aqueous phosphate reclamation using Fe/Mg-layered double hydroxide (LDH) dispersed on biochar, <i>Journal of Colloid and Interface Science</i> , Volume 597, 2021, Pages 182-195, ISSN 0021-9797, https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.03.114 .
E2	Nguyen Thi Kim Phuong, Min-wook Beak, Bui The Huy, Yong-Il Lee, Adsorption and photodegradation kinetics of herbicide 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid with MgFeTi layered double hydroxides, <i>Chemosphere</i> , Volume 146, 2016, Pages 51-59, ISSN 0045-6535, https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.12.008 .
E3	Qing Wang, Xin Song, Shiyue Tang, Lei Yu, Enhanced removal of tetrachloroethylene from aqueous solutions by biodegradation coupled with nZVI modified by layered double hydroxide, <i>Chemosphere</i> , Volume 243, 2020, 125260, ISSN 0045-6535, https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125260 .
E4	Sílvia Santos, Gabriela Ungureanu, Rui Boaventura, Cidália Botelho, Selenium contaminated waters: An overview of analytical methods, treatment options and recent advances in sorption methods, <i>Science of The Total Environment</i> , Volumes 521–522, 2015, Pages 246-260, ISSN 0048-9697, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.107 .
E5	Matei D. Raicopol, Corina Andronescu, Stefan I. Voicu, Eugeniu Vasile, Andreea M. Pandele, Cellulose acetate/layered double hydroxide adsorptive membranes for efficient removal of pharmaceutical environmental contaminants, <i>Carbohydrate Polymers</i> , Volume 214, 2019, Pages 204-212, ISSN 0144-8617, https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.03.042 .
E6	Yidong Zou, Xiangxue Wang, Zhongshan Chen, Wen Yao, Yuejie Ai, Yunhai Liu, Tasawar Hayat, Ahmed Alsaedi, Njud S. Alharbi, Xiangke Wang, Superior coagulation of graphene oxides on nanoscale layered double hydroxides and layered double oxides, <i>Environmental Pollution</i> , Volume 219, 2016, Pages 107-117, ISSN 0269-7491, https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.052 .
E7	Wen Yao, Jian Wang, Pengyi Wang, Xiangxue Wang, Shujun Yu, Yidong Zou, Jing Hou, Tasawar Hayat, Ahmed Alsaedi, Xiangke Wang, Synergistic coagulation of GO and secondary adsorption of heavy metal ions on Ca/Al layered double hydroxides, <i>Environmental Pollution</i> , Volume 229, 2017, Pages 827-836, ISSN 0269-7491, https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.06.084 .
E8	Pengcheng Gu, Sai Zhang, Xing Li, Xiangxue Wang, Tao Wen, Riffat Jehan, Ahmed Alsaedi, Tasawar Hayat, Xiangke Wang, Recent advances in layered double hydroxide-based nanomaterials for the removal of radionuclides from aqueous solution, <i>Environmental Pollution</i> , Volume 240, 2018, Pages 493-505, ISSN 0269-7491, https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.136 .
E9	Shujun Yu, Yang Liu, Yuejie Ai, Xiangxue Wang, Rui Zhang, Zhongshan Chen, Zhe

	Chen, Guixia Zhao, Xiangke Wang, Rational design of carbonaceous nanofiber/Ni-Al layered double hydroxide nanocomposites for high-efficiency removal of heavy metals from aqueous solutions, <i>Environmental Pollution</i> , Volume 242, Part A, 2018, Pages 1-11, ISSN 0269-7491, https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.031 .
E10	Pengyi Wang, Ling Yin, Xiangxue Wang, Guixia Zhao, Shujun Yu, Gang Song, Jing Xie, Ahmed Alsaedi, Tasawar Hayat, Xiangke Wang, L-cysteine intercalated layered double hydroxide for highly efficient capture of U(VI) from aqueous solutions, <i>Journal of Environmental Management</i> , Volume 217, 2018, Pages 468-477, ISSN 0301-4797, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.112 .
E11	Chunsheng Lei, Xiaofeng Zhu, Bicheng Zhu, Chuanjia Jiang, Yao Le, Jiaguo Yu, Superb adsorption capacity of hierarchical calcined Ni/Mg/Al layered double hydroxides for Congo red and Cr(VI) ions, <i>Journal of Hazardous Materials</i> , Volume 321, 2017, Pages 801-811, ISSN 0304-3894, https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.09.070 .
E12	Haijun Chen, Zhe Chen, Guixia Zhao, Zhibin Zhang, Chao Xu, Yunhai Liu, Jing Chen, Li Zhuang, Tasawar Haya, Xiangke Wang, Enhanced adsorption of U(VI) and 241Am(III) from wastewater using Ca/Al layered double hydroxide@carbon nanotube composites, <i>Journal of Hazardous Materials</i> , Volume 347, 2018, Pages 67-77, ISSN 0304-3894, https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.12.062 .
E13	Ajaz Ahmad Wani, Amjad Mumtaz Khan, Yahiya Kadaf Manea, Mansour A.S. Salem, Mohammad Shahadat, Selective adsorption and ultrafast fluorescent detection of Cr(VI) in wastewater using neodymium doped polyaniline supported layered double hydroxide nanocomposite, <i>Journal of Hazardous Materials</i> , Volume 416, 2021, 125754, ISSN 0304-3894, https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125754 .
E14	Yanwei Guo, Zhiliang Zhu, Yanling Qiu, Jianfu Zhao, Synthesis of mesoporous Cu/Mg/Fe layered double hydroxide and its adsorption performance for arsenate in aqueous solutions, <i>Journal of Environmental Sciences</i> , Volume 25, Issue 5, 2013, Pages 944-953, ISSN 1001-0742, https://doi.org/10.1016/S1001-0742(12)60106-5 .
E15	Ho Nguyen Nhat Ha, Nguyen Thi Kim Phuong, Tran Boi An, Nguyen Thi Mai Tho, Tran Ngoc Thang, Bui Quang Minh & Cao Van Du (2016) Arsenate removal by layered double hydroxides embedded into spherical polymer beads: Batch and column studies, <i>Journal of Environmental Science and Health, Part A</i> , 51:5, 403-413, DOI: 10.1080/10934529.2015.1120526
E16	Feng Li, Yunfeng Wang, Qiaozhen Yang, David G. Evans, Claude Forano, Xue Duan, Study on adsorption of glyphosate (N-phosphonomethyl glycine) pesticide on MgAl-layered double hydroxides in aqueous solution, <i>Journal of Hazardous Materials</i> , Volume 125, Issues 1–3, 2005, Pages 89-95, ISSN 0304-3894, https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.04.037 .
E17	Ya-Hui Chuang, Cheng-Hua Liu, Yu-Min Tzou, Jo-Shu Chang, Po-Neng Chiang, Ming-Kuang Wang,

	<p>Comparison and characterization of chemical surfactants and bio-surfactants intercalated with layered double hydroxides (LDHs) for removing naphthalene from contaminated aqueous solutions, <i>Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects</i>, Volume 366, Issues 1–3, 2010, Pages 170-177, ISSN 0927-7757, https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2010.06.009.</p>
E18	<p>Mariana A. Teixeira, Aparecida B. Mageste, Anderson Dias, Luciano S. Virtuoso, Kislá P.F. Siqueira, Layered double hydroxides for remediation of industrial wastewater containing manganese and fluoride, <i>Journal of Cleaner Production</i>, Volume 171, 2018, Pages 275-284, ISSN 0959-6526, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.010.</p>
E19	<p>Francisco R. Peligro, Ivana Pavlovic, Ricardo Rojas, Cristobalina Barriga, Removal of heavy metals from simulated wastewater by in situ formation of layered double hydroxides, <i>Chemical Engineering Journal</i>, Volume 306, 2016, Pages 1035-1040, ISSN 1385-8947, https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.054.</p>
E20	<p>Nadeem Baig, Muhammad Sajid, Applications of layered double hydroxides based electrochemical sensors for determination of environmental pollutants: A review, <i>Trends in Environmental Analytical Chemistry</i>, Volume 16, 2017, Pages 1-15, ISSN 2214-1588, https://doi.org/10.1016/j.teac.2017.10.003.</p>
E21	<p>K. Nava-Andrade, G.G. Carbajal-Arízaga, S. Obregón, V. Rodríguez-González. Layered double hydroxides and related hybrid materials for removal of pharmaceutical pollutants from water, <i>Journal of Environmental Management</i>, Volume 288, 2021, 112399, ISSN 0301-4797, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112399.</p>
E22	<p>Pollyanna V. S. Lins, Danielly C. Henrique, Alessandra H. Ide, Carmem L. P. S. Zanta, Lucas Meili. Evaluation of caffeine adsorption by MgAl-LDH/biochar composite. <i>Environ Sci Pollut Res</i> 26, 31804–31811 (2019). https://doi.org/10.1007/s11356-019-06288-3.</p>
E23	<p>Ruihong Zhang, Yuejie Ai, Zhanhui Lu, Application of Multifunctional Layered Double Hydroxides for Removing Environmental Pollutants: Recent Experimental and Theoretical Progress, <i>Journal of Environmental Chemical Engineering</i>, Volume 8, Issue 4, 2020, 103908, ISSN 2213-3437, https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103908.</p>
E24	<p>Mukarram Zubair, Muhammad Daud, Gordon McKay, Farrukh Shehzad, Mamdouh A. Al-Harhi, Recent progress in layered double hydroxides (LDH)-containing hybrids as adsorbents for water remediation, <i>Applied Clay Science</i>, Volume 143, 2017, Pages 279-292, ISSN 0169-1317, https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.04.002.</p>
E25	<p>YANG, Z., WANG, F., ZHANG, C. et al. Utilization of LDH-based materials as potential adsorbents and photocatalysts for the decontamination of dyes wastewater: a review. <i>RSC Adv.</i>, 2016,6, 79415-79436 https://doi.org/10.1039/C6RA12727D</p>
E26	<p>Xin Liu, Xiaofei Zhao, Yue Zhu, Fazhi Zhang,</p>

	Experimental and theoretical investigation into the elimination of organic pollutants from solution by layered double hydroxides, <i>Applied Catalysis B: Environmental</i> , Volumes 140–141, 2013, Pages 241-248, ISSN 0926-3373, https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2013.04.008 .
--	---

Fonte: Autora (2023).