



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
– CAMPUS JOÃO PESSOA
UNIDADE ACADÊMICA I
CURSO SUPERIOR EM GESTÃO AMBIENTAL

ROSA KAROLINA BARROS ARAGÃO

**O USO DE HDLs NA REMOÇÃO DE ESPÉCIES EUTROFIZANTES COMO UMA
GESTÃO SUSTENTÁVEL DE QUALIDADE DE ÁGUAS: UMA REVISÃO.**

João Pessoa

2021

ROSA KAROLINA BARROS ARAGÃO

**O USO DE HDLs NA REMOÇÃO DE ESPÉCIES EUTROFIZANTES COMO UMA
GESTÃO SUSTENTÁVEL DE QUALIDADE DE ÁGUAS: UMA REVISÃO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Superior Tecnólogo de Gestão Ambiental do Instituto Federal da Paraíba como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

Orientador: Prof.(a) Dr. Antônio Cicero de Sousa

João Pessoa

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Nilo Peçanha do IFPB, *campus* João Pessoa

A659u Aragão, Rosa Karolina Barros.

O uso de HDLs na remoção de espécies eutrofizantes como
uma gestão sustentável de qualidade de águas : uma revisão /
Rosa Karolina Barros Aragão. – 2021

47 f. : il.

TCC (Graduação – Gestão Ambiental) – Instituto Federal de
Educação da Paraíba / Unidade Acadêmica I, 2021.

Orientação : Prof^o D.r Antônio Cícero de Sousa.

1. Gestão de recursos hídricos. 2. Tratamento de efluente. 3.
Hidróxilos duplos lamelares. 4. Eutrofização. 5. Adsorção. I. Tí-
tulo.

CDU 556.18(043)



DECISÃO 12/2021 - CCSTGA/UA1/UA/DDE/DG/JP/REITORIA/IFPB

ROSA KAROLINA BARROS ARAGÃO

O USO DE HDLS NA REMOÇÃO DE ESPÉCIES EUTROFIZANTES COMO UMA GESTÃO SUSTENTÁVEL DE QUALIDADE DE ÁGUAS: UMA REVISÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba como requisito parcial para obtenção do título de Tecnóloga em Gestão de Ambiental.

Aprovada em 26 de julho de 2021

Banca Examinadora

Prof. Dr. Antonio Cícero de Sousa (IFPB - JP) Orientador

Prof. Dr. Gesivaldo Jesus Alves de Figueiredo (IFPB - JP) Examinador

Prof. Dra. Keliana Dantas Santos (IFPB - JP) Examinadora

(assinado eletronicamente)

JOÃO PESSOA

2021

Documento assinado eletronicamente por:

- Gesivaldo Jesus Alves de Figueiredo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/07/2021 15:53:32.
- Keliana Dantas Santos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 27/07/2021 12:29:53.
- Antonio Cícero de Sousa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 27/07/2021 12:16:34.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 27/07/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 208815

Código de Autenticação: 40a7b664a3



NOSSA MISSÃO: Ofertar a educação profissional, tecnológica e humanística em todos os seus níveis e modalidades por meio do Ensino, da Pesquisa e da Extensão, na perspectiva de contribuir na formação de cidadãos para atuarem no mundo do trabalho e na construção de uma sociedade inclusiva, justa, sustentável e democrática.

VALORES E PRINCÍPIOS: Ética, Desenvolvimento Humano, Inovação, Qualidade e Excelência, Transparência, Respeito, Compromisso Social e Ambiental.

“Alegrem-se sempre. Orem continuamente. Deem graças em todas as circunstâncias, pois esta é a vontade de Deus para vocês em Cristo Jesus.” – 1 Tessalonicenses 5. 16-18.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais e aos meus irmãos, pelo incentivo, dedicação e carinho em todos os momentos da minha vida.

Aos meus familiares e todos os meus amigos que sempre estiveram presentes me apoiando.

AGRADECIMENTOS

Minha imensa gratidão ao meu Deus, pelo dom da vida, por todas as oportunidades concedidas e pôr está comigo em todos os processos. Nada disso seria possível sem as mãos dele e também principalmente sem a minha família, que me deu todo apoio necessário nessa caminhada. A cada um de vocês todo o meu amor e toda gratidão.

Agradeço a minha mãe Sheila, meu exemplo de mulher que sempre me apoiou nas minhas escolhas e que sempre me escutou. Meu pai, Alexandre Aragão meu exemplo de doação e amor, que nunca mediu esforços para me ajudar em quaisquer etapas da vida e que sempre acreditou em mim. Minha irmã Juliana, meu exemplo de persistência, força de vontade e bondade. E ao meu irmão Alexandre Filho, a pessoa que me incentiva a sonhar e que sempre me ajudou quando precisava, mesmo que fosse uma carona cobrada depois (risos). Agradeço todo o esforço de vocês para me mostrar os caminhos que podia seguir e nunca desistir quando as adversidades eram presentes.

Ao meu professor orientador Antônio Cícero, por acreditar em mim, na minha capacidade, pela direção, ensinamentos, paciência e atenção durante o tempo dos projetos e elaboração do TCC. Obrigada por contribuir para minha formação como aluna e como pessoa.

À todos os professores do curso de Gestão Ambiental por todo ensinamento transmitido, porque além de excelentes profissionais foram extraordinários como pessoas. Ao corpo técnico dos laboratórios de Análises Físico-químicas e do PMA, Raquel, Taís, Gracy e Felipe, por todo apoio, atenção e paciência no dia a dia.

A mina cunhada Iza Félix, que me ajudou de forma imediata, com muita atenção me ajudou nas correções do trabalho. Seu auxílio, apoio, companheirismo e palavras de incentivo foram fundamentais. Não podendo esquecer da minha amiga de caminhada nesse curso Elayne França, que me escutou, me aconselhou e que também me ajudou neste trabalho, lendo e dando dicas para melhorar. Aos meus amigos de curso, Taina M., Simielle S., Allyson N., Beatriz M., Daniel S., Jamila L., Jéssica R., Renata F., Ana Araújo e Edmara L., que ao longo desses anos se tornaram companheiros de conhecimentos, ensinamentos, cumplicidade, conversas e risadas. Vocês foram e são essenciais.

Às minhas amigas maravilhosas, Jaynara Almeida, Rossandra Pereira, Bruna Marcia, Ester Inocêncio, Ju Dantas, Ângela Aragão, que sempre estiveram de prontidão em ocasiões boas e ruins, serão com certeza para sempre. Agradeço, pôr fim a todos que contribuíram de alguma forma para meu sucesso e crescimento e desenvolvimento como pessoa.

RESUMO

No que tange os tratamentos de efluentes para remoção de espécies eutrofizantes, as tecnologias estão se inovando com o passar dos anos, tanto para diminuir, quanto erradicar a contaminação dos ambientes aquáticos. Este trabalho tem como objetivo fazer um levantamento bibliográfico em forma de revisão integrativa, referente aos resultados obtidos por outros autores mediante a utilização dos Hidróxidos Duplos Lamelares (HDLs) para remoção de espécies eutrofizantes de soluções aquosas e de efluentes, através do processo de adsorção. Os artigos foram pesquisados em plataformas, por exemplo: SciELO e Google acadêmico. Descritores como “Adsorção”, “HDL”, “Agentes eutrofizantes” e “Tratamento de efluentes” foram utilizados neste trabalho. Referente a periodicidade da pesquisa, os anos delimitados foram de 2011 à 2021, sendo assim encontrado cerca de 45 artigos relacionados ao tema geral, onde apenas 5 foram selecionados após a aplicação dos parâmetros de inclusão e exclusão. Os trabalhos selecionados mostraram que a utilização de HDL no processo de adsorção é muito eficiente, tendo em vista que os resultados obtidos pelos autores mostram uma eficiência acima de 70% na remoção dos contaminantes presentes em efluentes.

Palavras-chave: hidróxidos duplos lamelares, adsorção, tratamento de efluente.

ABSTRACT

With regard to effluent treatments for the removal of eutrophic species, technologies have been innovating over the years, both to reduce and eradicate contamination from aquatic environments. This work aims to carry out a bibliographic survey in the form of an integrative review, referring to the results obtained by other authors through the use of Double Lamellar Hydroxides (HDLs) for the removal of eutrophic species from aqueous solutions and effluents, through the adsorption process. Articles were searched on platforms, for example: SciELO and Academic Google. Descriptors such as “Adsorption”, “HDL”, “Eutrophication agents” and “Effluent treatment” were used in this work. Regarding the frequency of the survey, the delimited years were from 2011 to 2021, thus finding about 45 articles related to the general theme, where only 5 were selected after applying the inclusion and exclusion parameters. The selected works selected that the use of HDL in the adsorption process is very efficient, considering that the results obtained by the authors demonstrating an efficiency above 70% in the removal of contaminants present in effluents.

Keywords: lamellar double hydroxides, adsorption, effluent treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo de seleção dos artigos, com delimitação das suas etapas.	16
Figura 2 - Instrumentos de gestão de recursos hídricos	18
Figura 3 - Etapas para o tratamento de efluentes	20
Figura 4 - Nomenclatura e processo da Adsorção.....	25
Figura 5 - Estrutura do Hidróxido Duplo Lamelar.....	30
Figura 6 - Algumas das principais áreas de aplicação dos HDLs.	32
Figura 7 - Estrutura dos poros de um Carvão Ativado.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Diferenças entre adsorção física e química	26
Tabela 2 - Artigos encontrados entre 2011 e 2021 constantes nos bancos de dados utilizados, referentes a eficiência dos processos de adsorção empregando HDLs, com enfoque aos compostos de N e P.	35
Tabela 3 – Artigos encontrados entre 2011 e 2021 constantes nos bancos de dados utilizados, referentes a eficiência dos processos de adsorção empregando HDLs.	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumínio
As	Arsênio
AZT	Zidovudina
BDTD	Biblioteca Digital de Teses e Dissertações
Ca	Cálcio
CA	Carvão ativado
Cd	Cádmio
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
Cr	Cromo
Cu	Cobre
ETE	Estação de tratamento de Esgoto
Fe	Ferro
H	Hidrogênio
HDL	Hidróxido Duplo Laminar
Hg	Mercúrio
M ^{II}	Cátion metálico divalente
M ^{III}	Cátion metálico trivalente
Am ⁻	Ânion intercalado com carga m ⁻ (negativa)
Mg	Magnésio
N	Nitrogênio
Ni	Níquel
P	Fósforo
Pb	Chumbo
pH	Potencial hidrogênico
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	14
2.1. Objetivo Geral	14
2.2. Objetivos Específicos	14
3. METODOLOGIA	15
4. REVISÃO DA LITERATURA	16
4.1. Gestão de Recursos Hídricos	16
4.2. Tratamento de efluentes	18
4.3. Eutrofização	21
4.3.1. Consequências negativas da Eutrofização	22
4.3.2. Controle da Eutrofização	23
4.4. Adsorção	24
4.4.1. Fatores que influenciam a adsorção	27
4.5. Hidróxido Duplo Laminar – HDL	28
4.5.1. Métodos de síntese dos HDLs	30
4.5.2. Uso dos HDLs como material adsorvente	31
4.5.3. Carvão ativado como Adsorvente	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5.1. Uso dos HDLs como adsorventes, com destaque para os compostos de Nitrogênio e Fósforo	34
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

Os rios têm-se tornado ao longo dos anos receptores de rejeitos e resíduos de diversas formas, a saber, os esgotos domésticos e as águas residuárias provenientes de atividades da pecuária (contribuem com níveis elevados de cargas orgânicas); o setor industrial (com uma série de compostos sintéticos e espécies químicas potencialmente tóxicas); e as atividades agrícolas (que contribuem com aporte de pesticidas e fertilizantes ricos em sais minerais), bem como os efluentes brutos não tratados (NETO & FERREIRA, 2007).

No âmbito do Brasil e na maioria dos países em desenvolvimento, a maior parte dos efluentes brutos (doméstico, industrial e efluente de sistema de cultivo) são lançados nos corpos d'água sem nenhum tratamento prévio. Como consequência, grandes aportes de matéria orgânica e poluentes têm sido relatados como as principais fontes responsáveis pela eutrofização dos ecossistemas aquáticos, gerando preocupação eminente com o elevado grau de poluição em que se encontram atualmente os rios e ambientes de água doce (ZANINI, 2009).

O aporte de nutrientes como os compostos de fósforo (P) e de nitrogênio (N) nos reservatórios e corpos d'águas é um dos principais fatores dos processos de eutrofização. Embora, tais processos em lagos ou reservatórios em condições naturais são lentos podendo levar até centenas de anos, o aumento das concentrações de N e P tem acelerado o processo de eutrofização natural, reduzindo as características naturais de lagos e represas. Obtendo resultados como o crescimento excessivo de plantas aquáticas devido ao enriquecimento das águas com nutrientes, o aumento da produção de toxinas por algumas espécies de algas tóxicas, ausência de oxigênio na água, efeitos crônicos e agudos na saúde humana, dentre outros. Tais consequências podem causar interferências nos usos desejáveis dos corpos d'águas, reduzindo a qualidade da água, tornando-a indisponível para vários usos, elevando consideravelmente o custo do processo de tratamento.

Neste sentido se faz necessário à avaliação, controle e a remoção de compostos gerados em efluentes, para isso surge o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que 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, segundo as resoluções CONAMA nº 357/2005 e CONAMA nº 430/2011.

Nos últimos anos o desenvolvimento de métodos envolvendo os processos de adsorção tem surgido como uma técnica de grande potencial para o tratamento de efluentes industriais, efluentes contaminados por óleo, metais pesados e outras substâncias tóxicas, principalmente

devido à utilização de adsorventes naturais onde alguns são obtidos de subprodutos da indústria e da agricultura.

Segundo GOMES (2018), a adsorção é uma tecnologia de tratamento de águas vista como promissora e com baixos riscos à saúde, que consiste na operação de transferência de massa, que estuda a habilidade de alguns sólidos - denominado adsorvente - em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em fluidos líquidos ou gasosos, gerando a separação dos componentes desses fluidos.

Assim, a adsorção é vista como uma técnica alternativa, pois tem elevada eficácia e simplicidade, baixo custo de implantação e flexibilidade. Embora muito estudada, existe o desafio de desenvolvimento de novos materiais adsorventes.

Neste contexto, surge os Hidróxidos Duplos Lamelares (HDL), por apresentarem grande potencial adsorativo, devido às suas propriedades estruturais, sua área superficial e capacidade de troca iônica entre os íons interlamelares e os ânions de interesse. Em conjunto a essas características, a síntese deste material não requer condições críticas, a exemplo de altas temperaturas e pressões no processo de tratamento de efluentes (SANTOS, L. 2019).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo desse trabalho foi realizar uma revisão integrativa da literatura com a finalidade de avaliar o potencial adsorativo dos Hidróxidos Duplo Lamelar (HDLs) na remoção de espécies eutrofizantes, como uma alternativa aos métodos convencionais de tratamento, para uma gestão sustentável de qualidade de água.

2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos foram:

- Analisar a eficiência dos processos de adsorção empregando os HDLs;
- Avaliar a eficiência de adsorção dos HDLs frente aos compostos de nitrogênio e fósforo.
- Avaliar a viabilidade do uso do HDL como adsorvente de espécies eutrofizantes para uma melhoria da qualidade da água.

3. METODOLOGIA

Foi escolhido um estudo bibliográfico na modalidade de revisão integrativa da literatura técnico científica, que permite uma ampla análise de estudos que regem determinado assunto fomentando uma síntese de trabalhos, possibilitando a identificação de lacunas e a necessidade de novos estudos.

A elaboração da metodologia da revisão integrativa consistiu nas seguintes etapas:

- 1) A concepção da pergunta norteadora;
- 2) Coleta de dados;
- 3) A avaliação dos dados;
- 4) Análise e interpretação dos dados obtidos;
- 5) A apresentação dos resultados.

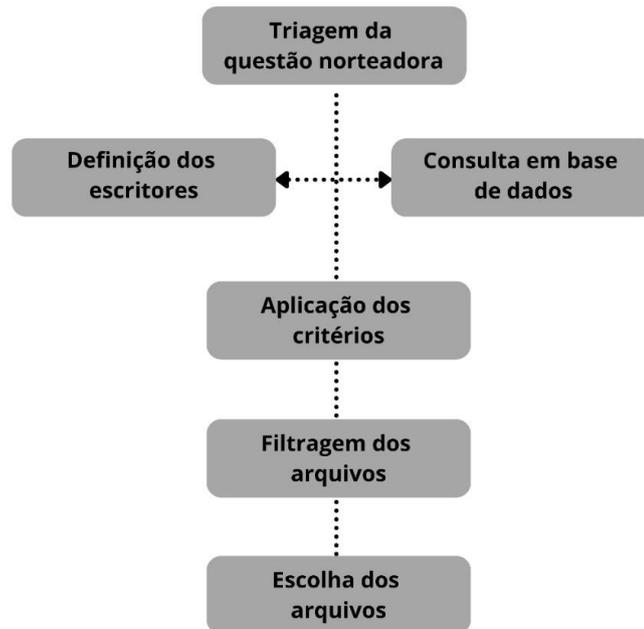
O questionamento do estudo foi planejado a partir do seguinte ponto: “O potencial adsorptivo dos HDLs é realmente eficaz na remoção de espécies eutrofizantes, podendo ajudar na melhoria da qualidade de água?”.

Com o intuito de fazer o levantamento dos artigos na literatura, as buscas foram realizadas nas seguintes plataformas: portal de Periódicos da CAPES, SciELO, Google acadêmico, Repositório Institucional UFRN e Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD). Para a busca dos artigos, foram utilizados os seguintes descritores na língua portuguesa, tais como: “Adsorção”, “Gestão sustentável”, “HDL”, “Agentes eutrofizantes”, “Eutrofização”, “Tratamento de efluentes” e “Qualidade de água”.

Para a seleção dos artigos, foram utilizados os seguintes parâmetros de inclusão: artigos em português, com o período de tempo pré-estabelecido de 2011-2021, ou seja, dos últimos 10 anos (utilização de artigos mais atualizados), disponíveis e artigos que retratassem a temática pertinente à adsorção com HDLs respondendo à questão norteadora do estudo. E os parâmetros de exclusão foram: os artigos em línguas estrangeiras, relatos de experiências e artigos não condizentes com o estudo proposto.

A princípio foi realizada uma leitura tanto dos títulos quanto dos resumos de todos os artigos pesquisados e relacionados com a proposta do estudo. Baseado nisso, os artigos que condiziam com o tema foram escolhidos para formar a amostra final deste trabalho. O processo de seleção dos artigos está descrito no fluxograma a seguir (Figura 1).

Figura 1 - Fluxograma do processo de seleção dos artigos, com delimitação das suas etapas.



FONTE: Adaptado de BATISTA, et. al, 2020.

Durante a seleção dos estudos correlacionados ao tema da pesquisa, foram feitas associações entre os descritores, também se elegeu um vocabulário não controlado, ou seja, sinônimos, siglas e termos relacionados à temática, para uma melhor observação, descrição e classificação das informações, com o propósito de agregar conhecimento gerado sobre o tema proposto.

4. REVISÃO DA LITERATURA

4.1. Gestão de Recursos Hídricos

O recurso natural mais primordial em todo o planeta é a água, pois está presente em todos os ciclos da vida terrestre. Tem-se que 97,5% da água presente no globo terrestre é salgada, sendo assim não é apropriada para o consumo direto e nem para irrigação. Dos 2,5% de água doce total do mundo, cerca de 69% são quase inacessíveis devido estar concentrado nas geleiras, 30% são subterrâneas e 1% está presente nos rios (Agência Nacional de águas, 2019). No Brasil, existe o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e em sua Resolução nº 357 de 2005 (Alterada pelas Resoluções nº 370, de 2006, nº 397, de 2008, nº 410, de 2009, e nº 430, de 2011. Complementada pela Resolução nº 393, de 2007) identifica a água

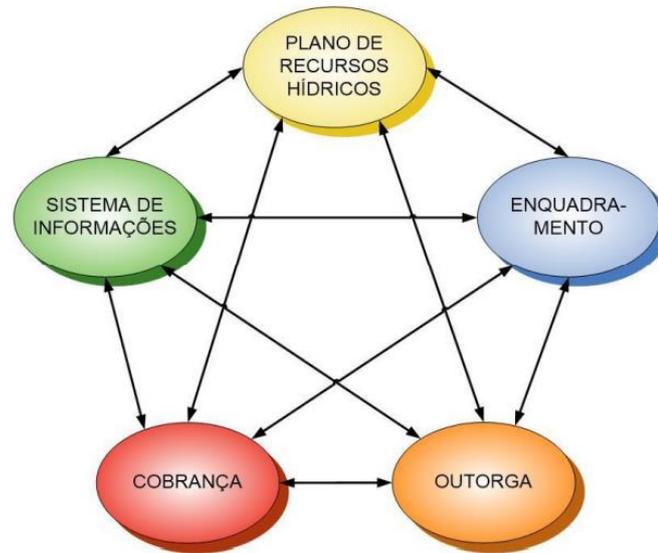
em três classes: as águas doces que apresentam salinidade igual ou inferior a 0,05%; as águas salobras que apresentam salinidade superior a 0,05% e inferior a 3% as águas salinas com salinidade igual ou superior a 3% (CONAMA, 1981). Diante disso, o uso desse recurso precisa ser pensado e repensado para que não prejudique nenhum dos diferentes tipos de usos que ela tem para o meio ambiente.

Hoje a expansão das áreas urbanas é um dos principais fatores atrelado à qualidade dos corpos aquáticos, visto que desde a década de 70 as cidades no Brasil passaram por mudanças significativas, inserido cada vez mais áreas residências junto aos corpos aquáticos. Em uma boa parte, esses corpos estão contaminados por agentes químicos e biológicos da grande maioria dos rios, seja pela falta de tratamento de efluentes das indústrias e dos esgotos domésticos ou pelo lançamento in natura. Partes dos contaminantes químicos presentes nas águas subterrâneas e superficiais estão relacionadas às fontes industriais e agrícolas. A variedade é enorme, com destaque para os pesticidas, agrotóxicos, os compostos orgânicos voláteis e os metais.

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) 2019, estima-se que no Brasil cerca de 78,5% tem rede coletora de esgoto e que apenas 49,1% são tratados, sendo este um dos fatores determinantes em relação aos indicadores de coleta e tratamento das águas residuárias melhores para aparecimento de muitos contaminantes emergentes (SNIS, 2020). Os esgotos sem tratamentos ou maltratados são umas das mais notáveis fontes de poluição hídrica no Brasil, sendo assim comprometendo os recursos hídricos.

A gestão dos recursos hídricos caracteriza-se como uma das interfaces da gestão ambiental que pode ser estabelecida como um conjunto de ações que abranjam as políticas públicas, o setor produtivo e a sociedade de modo a estimular o uso racional e sustentável dos recursos ambientais. Foi a partir dessa compressão que a Lei 9.433/97 que dispõe da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) no Brasil que possibilitou um momento de grandes avanços, tais como a admissão da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, prerrogativa do uso múltiplo das águas, admissão da água como recurso finito, vulnerável e dotado de valor econômico. Organizou a cobrança pelo seu uso e previsão de uma gestão descentralizada e participativa, com o deslocamento do poder de decisão para os níveis hierárquicos do poder público com a participação dos usuários e da sociedade civil organizada, bem como através de outros meios como os comitês de bacia (PNRH, 2010). Tais avanços podem ser visto de forma resumida na **Figura 2**.

Figura 2 - Instrumentos de gestão de recursos hídricos



FONTE: ANA, 2013.

4.2. Tratamento de efluentes

A água doce é uma das fontes principais para a vida humana e para o desenvolvimento da sociedade, com a evolução da mesma e a falta de tratamento adequada, ela se tornou uma das principais questões a ser discutida, pois esse bem é escasso.

Os recursos hídricos no Brasil, apesar de serem definidos com algumas discrepâncias entre disponibilidade e necessidade, ela ainda pode ser considerada generosa. Segundo GOMES e BARBIERI (2004), o Brasil pode ser considerado como um dos países mais ricos em água doce do mundo, considerando assim 54% do escoamento total dos rios da América Latina e até 14% de água doce mundial, contudo, mesmo com essa disponibilidade a contaminação por lançamento de efluentes diminui o acesso à água pela população (GOMES et al, 2004).

O portal Agência Brasil, cita que “No Brasil, 45% da população ainda não tem acesso a serviço adequado de esgoto”. Nesse sentido, a situação de esgotamentos sanitários das cidades brasileiras e o lançamento de esgotos nos rios e lagos pode impactar os reservatórios do país.

Segundo o portal ATLAS ESGOTOS (2017):

No Brasil, 43% da população possui esgoto coletado e tratado e 12% utilizam-se de fossa séptica (solução individual), ou seja, 55% possuem tratamento considerado adequado; 18% têm seu esgoto coletado e não tratado, o que pode ser considerado como um atendimento precário; e 27% não possuem coleta nem tratamento, isto é, sem atendimento por serviço de coleta sanitário.

Os recursos hídricos por vez também exercem a função de corpo receptor, ou seja, corpo hídrico superficial que recebe o lançamento de um efluente. Sendo assim, o tratamento prévio

e adequado dos esgotos urbanos e industriais é indispensável para a conservação dos recursos hídricos em padrões de qualidades congruentes com a sua utilização para os mais diversos usos (LEI Nº 11.445/2007).

Segundo resolução do CONAMA 430/2011 o conceito de efluente é definido como o termo usado para caracterizar os despejos líquidos provenientes de diversas atividades ou processos causados pelas sociedades. Quando são liberados de forma errônea, podem causar diversos danos como efeito estufa até inversão térmica. Esses efluentes podem ser divididos em duas categorias: domésticos e industriais. São defendidos como doméstico os que são resultantes de residências e empresas, como por exemplo: os esgotos, caixa de gordura e fossa séptica. Já os efluentes industriais são os rejeitos produzidos durante os processos de fabricação e que são descartados, pois não tem mais serventia; como por exemplo, água residuária, lodo líquido e água de lavagem (TERA, 2013).

O portal AMBSCIENCE (2021), informa que “Os efluentes líquidos podem ser originados de diversas formas, pois a água pode ser contaminada por compostos químicos e tóxicos, por exemplo”. Quando os efluentes são lançados nos corpos d’águas sem o devido tratamento, traz danos para a fauna e a flora aquática, bem como, os seres humanos que habitam no entorno (TERA, 2021).

O tratamento de efluentes é fundamental para alcançar o tripé da sustentabilidade, pois tal tratamento engloba a esfera do meio ambiente, que deve ser preservado através de ações efetivas que visem manter a qualidade de água para as atuais e futuras gerações; a esfera social que insere a sociedade num ciclo de trabalho e educação consciente e adequado para que proporcionem a saúde, o bem estar e a capacitação profissional e pôr fim a esfera econômica, que tem como intuito garantir a viabilidade do processo para a empresa ser produtiva, ter uma melhor performance econômica, redução de desperdício e dar continuidade ao ciclo da sustentabilidade (SUNO ARTIGOS, 2021).

Segundo REISMANN (2017), o tratamento de efluentes pode ser especificado de acordo com os materiais que se pretende eliminar da água em tratamento preliminar, primário, secundário e terciário. No tratamento preliminar somente é removido os sólidos grosseiros, ao passo que no tratamento primário a finalidade é a remoção de sólidos sedimentáveis (processo físico) e conseqüentemente é removido também parte da matéria orgânica. Já no tratamento secundário, prevalece a remoção da matéria orgânica e, casualmente, nutrientes como nitrogênio e fósforo; e nessa etapa é utilizado procedimentos biológicos. E por fim, o tratamento terciário que é responsável pela remoção de poluentes específicos, a saber, tóxicos, compostos

não biodegradáveis e metais pesados, assim como os nutrientes nitrogênio e fósforo, que não foram removidos no tratamento secundário (VON SPERLING, 2014).

A **Figura 3** retrata de forma simples o procedimento do tratamento de efluentes, com destino final o reuso ou descarte do efluente.

Figura 3 - Etapas para o tratamento de efluentes



FONTE: P e Q Engenharia Jr., 2018

Segundo o portal EJESAM (2021), o tratamento de efluentes se faz necessário para reduzir o impacto no meio ambiente gerado pela sociedade. Existem iniciativas que buscam novas soluções para o tratamento de efluentes. E a evolução da tecnologia se tornou uma aliada para desenvolver técnicas mais eficientes e sustentáveis, como a exemplo da filtração mecânica para sólidos suspensos e a ultrafiltração pressurizada para macromoléculas e bactérias

(AMBSCIENCE, 2021). Ainda relacionado as novas tecnologias, no Brasil são utilizados as ETEs (Estações de tratamento de Esgoto) compactas, que são uma estação de tratamento de efluentes convencionais e que apresentam uma proporção de pequeno porte para atender as baixas vazões. Atualmente, essas ETEs são usadas em indústrias e condomínios, pois possuem baixo custo de operação, menor consumo de energia elétrica e alta eficiência (AMBSCIENCE, 2021).

Ainda com a imensa variedade de técnicas para o tratamento de efluentes, não se pode utilizar tais técnicas isoladas, pois os resultados não são tão favoráveis. Nesse aspecto, a junção de dois ou mais processos de tratamentos são feitos para melhores resultados.

Um tratamento alternativo empregado pós-tratamento na remoção de espécies eutrofizantes é a adsorção. A mesma tem grande aplicação industrial, associando custos operacionais relativamente baixos e com elevadas taxas de remoção (AGUIAR, 2012).

Segundo SANTOS (2016), o carvão ativado é o material adsorvente mais utilizado, devido a sua boa capacidade de adsorção. Todavia, o alto custo e a baixa eficiência de regeneração são desvantagens significativas para o seu uso, mas vários outros materiais surgiram como alternativa e entre eles se destaca os HDLs por terem características relevantes para o processo de adsorção, em razão da sua habilidade de suportar modificações.

Neste contexto, a adsorção por HDL e seus derivados aplicados na remoção de compostos presentes pós-tratamento em efluentes, são bastante estudados por apresentarem baixo custo e características adequadas, principalmente por apresentarem quase sempre uma alta área superficial, alta porosidade, mobilidade do ânion interlamelar, etc.

4.3. Eutrofização

A eutrofização é definida como o processo que aumenta os nutrientes essenciais (como nitrogênio, fósforo, potássio e entre outros) para o meio aquático, ocasionando o crescimento de organismos e plantas aquáticas, que podem atingir níveis que interfiram nos usos dos corpos d'água (MOTA, 2009).

Além do processo de eutrofização natural, que ocorre em rios, lagos, lagoas e córregos; existe o processo de eutrofização artificial (feito pelo homem), sendo chamada de eutrofização acelerada ou antrópica, que ocorre em reservatórios e represas. São várias as causas que colaboram para que ocorra a eutrofização, como: tendências globais de alimentação, desmatamento, urbanização próximo as áreas de drenagem, entre outros.

Segundo PANTANO (2016), destaca-se dois principais causadores da eutrofização, a saber, o uso de fertilizantes na agricultura e o lançamento de esgotos in natura. Tal problemática gera um enorme desafio no gerenciamento de recursos hídricos.

De acordo com MOTA (2009), como consequência desse processo, há implicação relacionada a qualidade de água de tais ambientes para o abastecimento da população, diminuição no valor recreativo do corpo hídrico e redução significativa do oxigênio, podendo causar a mortandade de peixes e organismos da biota.

4.3.1. Consequências negativas da Eutrofização

A eutrofização é o desenvolvimento em grande quantidade de plantas aquáticas. O aumento das algas é resultante do processo de eutrofização, pois cria uma camada verde na superfície d'água, que resulta no impedimento da passagem da luz. Deste modo, as plantas que ficam nas profundezas não podem fazer a fotossíntese e assim o oxigênio fica insuficiente e resulta na morte de organismos aquáticos.

Segundo ROVERI (2011):

Outra possibilidade de morte à biota é através da toxicidade da amônia. Em condições de pH elevado (frequentes durante os períodos de elevada fotossíntese), a amônia apresenta-se em grande parte na forma livre (NH_3), tóxica aos peixes, ao invés de na forma ionizada (NH_4^+), não tóxica. Desta, lagos e represas podem apresentar modificações na qualidade e quantidade de peixes com valor comercial.

“O processo de decomposição dos organismos também utiliza oxigênio. Então, quando essa quantidade de oxigênio dissolvido não consegue mais ser medida, é considerado que o lago ou lagoa chegou ao estado de anoxia”.

Portanto, entendemos que existe um problema quando ocorre a eutrofização, pois as plantas não conseguem obter o oxigênio necessário para conseguir fazer o seu processo natural. Essas consequências da eutrofização podem ocorrer em reservatórios, como a qualidade da água, que vai trazer problemas com o abastecimento para a sociedade.

De acordo com PANTANO (2016):

Diversas consequências da eutrofização já foram citadas, no entanto vale destacar os efeitos indiretos que a mesma pode causar. Com o aumento na carga de nutrientes, majoritariamente P (fósforo) e N (nitrogênio), há um incremento na quantidade de biomassa bacteriana e conseqüentemente no processo de biodegradação de outras diversas classes de compostos químicos presentes no corpo aquático. Dentre elas os hidrocarbonetos aromáticos e pesticidas, o que leva por sua vez, à geração de diferentes metabólitos destes contaminantes.

São os seguintes os principais efeitos indesejáveis e problemáticas da eutrofização
MOTA (2009):

- *Problemas estéticos e recreacionais:* Diminuição do uso da água para recreação, balneabilidade e redução geral na atração turística devido a:
 - frequentes florações das águas;
 - crescimento excessivo da vegetação;
 - distúrbios com mosquitos e insetos;
 - eventuais maus odores;
 - eventuais mortandades de peixes.
- *Maior dificuldade e elevação nos custos de tratamento da água.* A presença excessiva de algas afeta substancialmente o tratamento da água captada no lago ou represa, devido à necessidade de:
 - remoção da própria alga;
 - remoção de cor;
 - remoção de sabor e odor;
 - maior consumo de produtos químicos;
 - lavagens mais frequentes dos filtros.
- *Problemas com o abastecimento de águas industriais:* Elevação dos custos para o abastecimento de água industrial devido a razões similares às anteriores, e também aos depósitos de algas nas águas de resfriamento.
- *Toxicidade das algas:* rejeição da água para abastecimento humano e animal em razão da presença de secreções tóxicas de cianobactérias (cianotoxinas).
- *Modificações na qualidade e quantidade de peixes de valor comercial.*

4.3.2. Controle da Eutrofização

Segundo ALMADA (2018), as técnicas que podem ser usadas no controle da eutrofização são as técnicas preventivas ou corretivas. As preventivas se baseiam em diminuir o fornecimento dos nutrientes danosos para o lago por uma fonte externa, controlando o esgoto urbano, tratando os efluentes industriais e diminuindo o uso de agrotóxicos. As corretivas, por sua vez, atuam sobre o corpo d'água já eutrofizado, como uso de reagentes para diminuir a disponibilidade de fósforo e colheita das algas da superfície.

Existem técnicas que são ou podem ser usadas como prevenção retificadora. Elas podem ser fundamentadas e tem como objetivo diminuir o fortalecimento dos nutrientes prejudicados para o lago, tendo o controle do esgoto urbano e tratando os efluentes industriais. A maior

dificuldade para o reparo do ambiente aquático, é compreender a dinâmica do pensamento científico, e assim atender a sistemática econômica, social e ambiental e seus impactos na organização.

Segundo SILVA, D. (2018),

Quando se trata de ambientes aquáticos eutrofizados, a redução e o controle do aporte externo e interno de nutrientes caracterizam-se como principais medidas de restauração, as quais incluem métodos biológicos, químicos e mecânicos que podem ser utilizados isoladamente e/ou associados entre si para o controle/contenção de cargas da bacia de drenagem.

As prevenções e/ou controle incluem estratégias que associam esgoto e drenagem.

Segundo MOTA (2009), atualmente existem estratégias de controle adotadas que podem ser classificadas em duas categorias amplas:

- *medidas preventivas* (atuação na bacia hidrográfica, controlando as fontes externas);
 - controle do esgoto;
 - controle da drenagem pluvial, incluindo a questão dos resíduos sólidos;
 - controle do uso do solo na bacia, sobretudo quanto à utilização abusiva de adubos na agricultura e pecuária;
- *medidas corretivas* (atuação no lago ou represa);
 - processos mecânicos, químicos e biológicos

No que se refere a medida preventiva de controle de esgoto, vale a pena destacar alguns tipos de tratamento (MOTA, 2009), como:

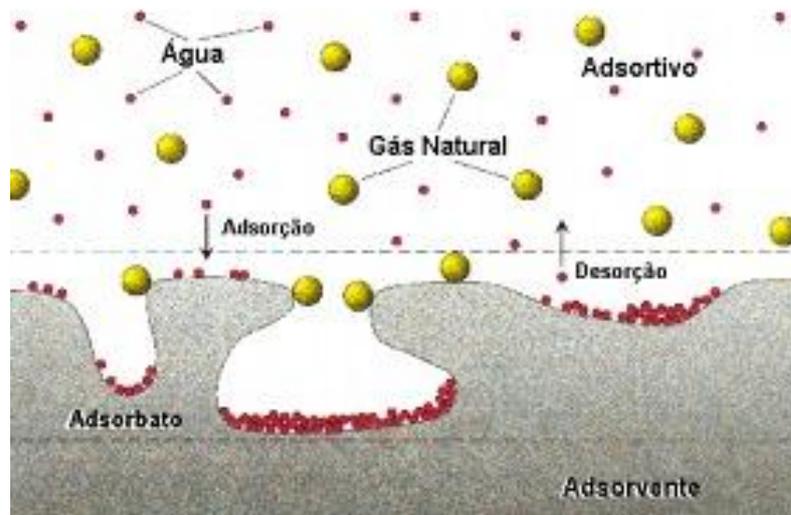
- Tratamento do esgoto com remoção de nutrientes
- Tratamento convencional do esgoto e lançamento à jusante da represa
- Exportação do esgoto para outra bacia hidrográfica, que não possua lagos ou represas, seguida por tratamento convencional do esgoto;
- Infiltração do esgoto no terreno (se a água do aquífero sob o terreno for utilizada para consumo humano há necessidade de tratamento com remoção de nitrogênio)

4.4. Adsorção

A adsorção é o processo de acumulação, enriquecimento ou transferência de massa em uma interface, podendo ser gás-líquido, líquido-líquido, gás-sólido ou líquido-sólido, que possibilita a separação dos componentes. Nesse processo, o soluto é intitulado adsorvato ou

adsorbato, o adsorvente é a fase que adsorve e o processo inverso da sorção é chamado de dessorção, observar **Figura 4** (CAMPOS 2012).

Figura 4 - Nomenclatura e processo da Adsorção.



FONTE: NOBREGA, 2001.

O processo de adsorção é uma separação baseada na velocidade de transferência de massa, com ou sem reação química. Segundo CAMPOS (2012), tal processo pode ter por propósito a purificação de correntes (tratamento de efluentes líquidos ou gasosos) ou de separação de componentes de uma mistura (análises cromatográficas).

De acordo com SANTOS, R. (2016), o processo de adsorção em fase sólida é um dos mais utilizados e que tem maior credibilidade na remoção de compostos tóxicos presentes em efluentes. Tal fato está associado à sua facilidade de processamento, viabilidade econômica, elevado desempenho na remoção, fácil obtenção e também pela disponibilidade de uma enorme variedade e quantidade de materiais adsorventes. Tendo em vista isso, em alguns casos, é praticável a recuperação do adsorbato, sem perder a identidade química, além disso reciclar os adsorventes para novas atualizações.

O processo de adsorção é classificado em físico ou químico, baseado nos diferentes tipos de interações (força de ligações) que ocorrem entre os adsorvatos e os adsorventes. A adsorção física conhecida também como fisissorção, acontece pelo acúmulo do adsorbato através de interações de Van der Waals (interações fracas), possibilitando que o adsorvente seja facilmente regenerado por troca de solvente ou por outros métodos físicos como tratamento térmico (MIOTO, 2013). Em contrapartida, adsorção química também chamada de quimissorção, é

aquela em que o adsorvente mostra uma forte interação com o adsorbato, similar à de uma reação química (CAMPOS, 2012). De modo geral, os aspectos que diferenciam a adsorção física e química estão descritos na **TABELA 1**.

Tabela 1 - Diferenças entre adsorção física e química

Adsorção Física	Adsorção Química
Baixo calor de adsorção (menor que duas ou três vezes o calor latente de vaporização).	Alto calor de adsorção (maior que duas ou três vezes o calor latente de vaporização).
Formação de monocamada ou multicamada.	Formação somente de monocamada.
Não há dissociação das espécies adsorvidas.	Pode envolver a dissociação das espécies adsorvidas.
Significativa somente a baixas temperaturas.	Possível em uma larga escala de temperatura.
Rápida, não ativada, reversível.	Pode ser lenta, ativada, irreversível.
Não há transferência de elétrons, embora possa haver polarização do adsorbato.	Há transferência de elétrons, formando ligações entre adsorbato e superfície.

FONTE: CAMPOS, 2012.

O processo de adsorção de espécies e/ou compostos químicos em determinado adsorvente poroso pode ser descrito por três mecanismos básicos distintos: equilíbrio, cinética e mecanismos estéricos. O mecanismo de equilíbrio baseia-se no sólido que tem capacidades diferentes para acomodar as diferentes espécies, isto é, a espécie de mais forte adsorção é preferencialmente removida pelo sólido. O mecanismo cinético baseia-se nas diferentes taxas de difusão de espécies distintas no sólido poroso. Dessa forma, controlando-se o tempo de exposição, serão removidas preferencialmente, pelo sólido, as espécies que se difundirem mais rapidamente através dele. No mecanismo de separação estérico, o sólido tem poros com dimensão tal que permita que moléculas pequenas penetrem, enquanto exclui as moléculas grandes (CAMPOS, 2012).

A matéria-prima adsorvente mais extensivamente usada nas últimas décadas é o carvão ativado, devido a sua alta eficácia de adsorção. Todavia, existem as desvantagens, como a baixa capacidade de regeneração e seu valor econômico, diante do exposto foram surgindo outros materiais adsorvativos alternativos. Dentre eles, os Hidróxidos Duplos Lamelares (HDLs), ganham destaque por apresentarem propriedades relevantes para o processo de adsorção, em virtude de suportar as modificações estruturais, capacidade de troca aniônica e suas elevadas capacidades de adsorção (SANTOS, R. 2016). Neste enquadramento, os HDLs e seus derivados estão sendo copiosamente estudados em processos de adsorção com baixo custo econômico e

características adequadas (alta área superficial, alta porosidade, mobilidade de Ânion interlamelar, entre outros).

Essas características são fatores (parâmetros) que influenciam o processo de adsorção, tais como as propriedades do adsorvente e do adsorbato, área superficial, temperatura do sistema e o pH. Os quais estão descritos logo a seguir.

4.4.1. Fatores que influenciam a adsorção

A combinação de várias forças envolvidas na adsorção física e química, resulta no fenômeno da adsorção, sendo assim são diversos os fatores que influenciam tal processo. Os principais fatores que influenciam de forma expressiva na capacidade adsortiva dos múltiplos processos de adsorção. Conforme Morães (1996) são eles:

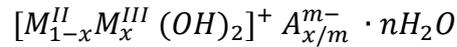
- *Área superficial* – A acentuação da adsorção é equivalente à área superficial específica, dado que a adsorção é uma ocorrência de superfície. Para partículas maiores, a relutância à difusão é menor e a maior parte da superfície interna da partícula não é propiciado para adsorção (NASCIMENTO et al, 2014).
- *Propriedades do adsorvente* – a estrutura do adsorvente é um agente determinante, visto que a eficácia e a taxa de adsorção dependem da área superficial específica, porosidade, volume específico de poros, distribuição do tamanho de poros, densidade, dos grupos funcionais presentes na superfície do adsorvente e da natureza do material precursor (MORÃES, 1996; NASCIMENTO et al, 2014).
- *Propriedades do adsorbato* – a adsorção será maior, quando a solubilidade do adsorbato no solvente for menor (regra de Lundelius); a adsorção de substâncias orgânicas com base em soluções aquosas aumenta com o comprimento da cadeia destas (regra de Traube) (MORÃES, 1996). Um ponto importante é a polaridade do adsorbato, dado que uma espécie polar terá uma alta afinidade para o solvente ou para o adsorvente, segundo a sua polaridade. Outro fator é o diâmetro da molécula do adsorbato, compostos menores tem mais propensão a se difundir no interior do sólido, por conseguinte maior é a adsorção (CAMPOS, 2012).

- *Temperatura* – nos processos de adsorção, a temperatura afeta diretamente a constante de velocidade de adsorção, sendo assim a mudança na temperatura acarreta uma mudança na capacidade de adsorção. A interação da extensão da adsorção com a temperatura, ocorre através de calores de adsorção, enquanto a interação da velocidade com este mesmo fator, dar-se-á através da energia de ativação, de acordo a equação de Arrhenius. De acordo com CAMPOS (2012), altas temperaturas reduzem significativamente a quantidade de soluto adsorvido, e já em baixas temperaturas favorecem a adsorção, ainda que prejudique a velocidade de adsorção.
- *pH (determina a carga da superfície)* – o mesmo afeta a adsorção na medida em que determina o grau de distribuição das espécies químicas. O pH é capaz de ter influência mesmo sobre o adsorvente, se este dispor de cargas de superfície, posto que o íon H^+ é fortemente adsorvido. Valores baixos de pH são promissores à adsorção de ácidos orgânicos, ao passo que os valores altos favorecem a adsorção de bases orgânicas (CAMPOS, 2012).
- *Presença de outras substâncias adsorvíveis* – com a presença de tais elementos, a adsorção do soluto de interesse diminui, uma vez que ocorre competição na adsorção (MORÃES, 1996; CAMPOS, 2012).
- *Concentração de soluto na solução* – com o aumento da concentração do soluto no meio, a taxa de adsorção também aumenta, em geral acontece de acordo com as isotermas de Langmuir e Freundlich (MORÃES, 1996; CAMPOS, 2012).
- *Interações específicas entre o soluto e o adsorvente ou entre o soluto e outras substâncias adsorvidas.*
- *Interações específicas derivadas da ocorrência de adsorção química.*

4.5. Hidróxido Duplo Laminar – HDL

Os HDLs são compostos que pertencem a família das argilas aniônicas formados por lamelas, como da brucita, possuindo em sua estrutura metais di e trivalentes coordenados

octaedricamente por íons hidroxila e ânions hidratados alternados nos espaços interlamelares (SANTOS, L. 2019). Tais compostos podem ser representados pela seguinte fórmula geral:



onde:

M^{II} representa um cátion metálico divalente

M^{III} represente um cátion metálico trivalente

A^{m-} representa um ânion intercalado com carga m^-

Que ainda pode ser simplificada e representada por:

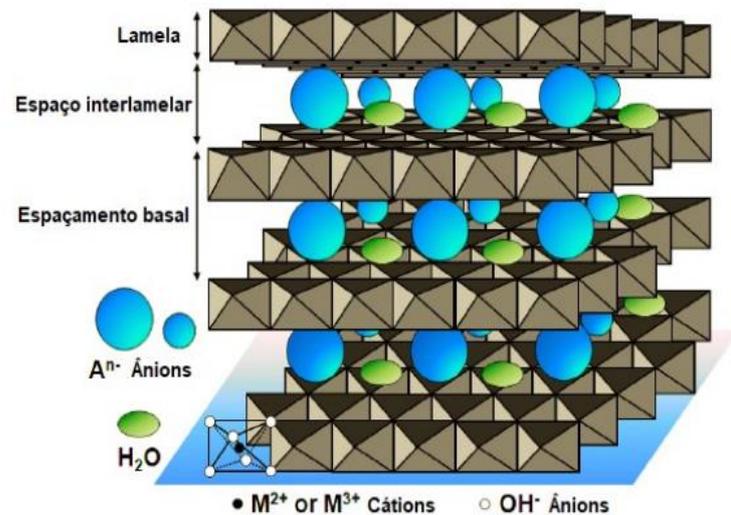


Segundo FARIAS (2011), outro termo intitulado para esses materiais é hidróxidos metálicos mistos, sais duplos lamelares, etc. Contudo, será utilizado o termo Hidróxido Duplo Lamelar (HDL).

As estruturas octaédricas dos HDLs são constituídas por cátions no centro e moléculas de hidroxilas nos seus vértices. Tais octaedros dispõem em suas arestas formadas, estruturas planas e neutras, que são sustentadas unidas por ligações de hidrogênio. Em relação a estrutura dos cátions bivalentes, os mesmos são isomorficamente substituídos por cátions trivalentes, as lamelas passam a exibir uma carga residual positiva. Para a obtenção da neutralidade, é indispensável a presença dos ânions entre as lamelas, o qual acompanhado de moléculas de água possibilitam o empilhamento das camadas do hidróxido duplo com um domínio interlamelar pouco ordenado (CARDOSO, 2019).

A estrutura do HDL é apresentada **na Figura 5** (ANGELOS, 2018) a seguir:

Figura 5 - Estrutura do Hidróxido Duplo Lamelar.



FONTE: Angelos, 2018.

A formação dos HDLs tem vasta abundância de composições químicas, em virtude da sua ocorrência natural ser muito baixa; além disso os HDLs obtidos em laboratório são de baixo custo e com etapas simples, em comparação a obtenção do carvão ativado, sendo capaz de se obter sólidos com alta pureza e propriedades físico-químicas variadas que são ajustadas de acordo com as finalidades desejadas (BEZERRA, 2018).

Em HDLs calcinados a temperaturas entorno de 500°C, promove a decomposição dos ânions interlamelares e a quase completa desidroxilação do material, ocasionando assim a perda da estrutura lamelar (confirmada por difração de raios-X, mediante da ausência dos planos de difração 003, 006, 009). Decorrente deste processo é formada uma solução sólida de um hidróxido-óxido duplo de M²⁺ e M³⁺, um composto tipo periclásio (REIS, 2009).

As propriedades da hidrotalcita assumida após a calcinação faz com que os HDLs do tipo Mg-Al e Zn-Al na sua composição intercalados com ânions de fácil decomposição térmica, é interessante quando visa a aplicação como adsorventes de poluentes orgânicos, pois com essa capacidade de regeneração o mesmo HDL pode ser utilizado várias vezes para a adsorção de diversos poluentes (AGUIAR, 2012).

4.5.1. Métodos de síntese dos HDLs

Na síntese dos HDLs, são levados em considerações vários fatores, como por exemplo, a natureza dos cátions, o pH da síntese o grau de substituição dos cátions M²⁺ por M³⁺, natureza do ânion interlamelar e em alguns casos, o controle da atmosfera (AGUIAR, 2012).

O processo de síntese possibilita um controle preciso da composição e estrutura do material, o que é de extrema importância para muitas aplicações. A literatura retrata numerosos métodos de síntese dos HDLs, todavia, as mesmas são divididas em dois tipos, síntese direta e síntese indireta; na qual cada método é atribuído suas vantagens e desvantagens relacionados à pureza da fase ou a alternativa de intercalação de outro ânion desejado (HORA, 2014).

Os métodos diretos que a literatura expressa são: método sal-base ou coprecipitação; método sal-óxido; síntese hidrotérmica; hidrólise induzida; síntese eletroquímica e método sol-gel; e os métodos indiretos são: método de troca iônica em solução, troca iônica em meio ácido, troca iônica por regeneração de material calcinado e troca aniônica por substituição em fase dupla (SILVA, 2014).

O método mais conhecido e utilizado pela literatura é o de coprecipitação, que consiste na precipitação simultânea do hidróxido de dois ou mais cátions metálicos di e trivalentes. Podendo ser empregado de duas maneiras diferentes: coprecipitação com pH variável (crescente ou decrescente) e coprecipitação com pH constante (SILVA, 2014).

4.5.2. Uso dos HDLs como material adsorvente

Segundo SILVÉRIO (2004), os HDLs se tornam potenciais adsorventes devido a sua grande área superficial específica. Os estudos de adsorção com HDLs ainda é recente, o primeiro trabalho publicado nessa área foi desenvolvido por Hermosin, que avaliou a adsorção de triclorofenol em $MgAlCO_3$ -HDL, utilizando o método de batelada, com variações de: razão sólido/solução, pH, tempo de contato e concentração do adsorvato.

Com o desenvolvimento tecnológico, a aplicação das argilominerais como material adsorvente tem se tornado muito promissora, tendo em vista que as mesmas possuem fácil capacidade de adsorção de poluentes apropriado a maioria das condições experimentais, como: carga de sólidos, variações de pH e força iônica. Além disso, uma variada quantidade de HDLs naturais e sintéticos composto-se de cátions metálicos vem sendo estudados aos longos dos anos; os cátions divalentes mais comuns são os de Mg, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn e Ca e os cátions trivalentes são os de Al, Cr, Mn, Fe, Co e Ni (MORAES, 2020).

De acordo com BATISTA (2016), os HDLs proporcionam a remoção de vários contaminantes tóxicos, a partir de diferentes processos de adsorção, podendo ser através da sua superfície externa ou pela troca iônica pelo meio do seu domínio interlamelar. Dentro desse

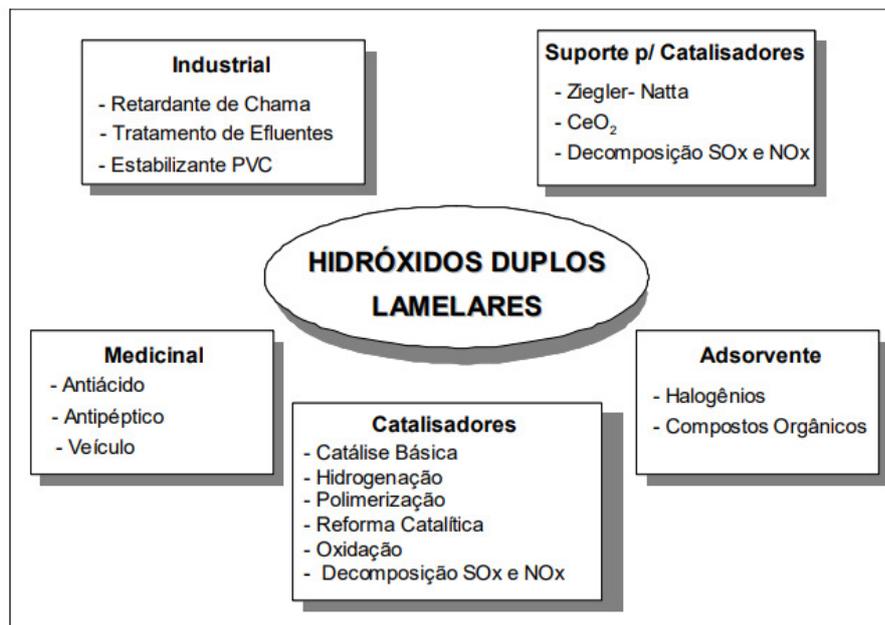
contexto, os HDLs têm uma grande área superficial, o que amplia sua eficiência na interação com as espécies em solução.

BATISTA (2016) cita que,

Depois de utilizado no processo de adsorção de espécies orgânicas, os HDLs podem ser reciclados e utilizados novamente para adsorção de mais espécies. Inicialmente, aquece-se o material adsorvido até temperaturas de até a 550 °C, causando a volatilização da matéria orgânica adsorvida e destruindo a estrutura inicial do HDL. Posteriormente a etapa de aquecimento, uma mistura de óxidos mistos de metais é gerada e tem como característica singular reverter à forma de HDL quando é colocado em contato com uma solução aquosa contendo o ânion inicialmente intercalado. O termo “efeito memória” é usado para designar a capacidade de regenerar a estrutura lamelar que alguns HDLs calcinados apresentam, quando em contato com a solução aquosa contendo os ânions passíveis de intercalação.

Devido as propriedades como: área superficial relativamente alta, capacidade de troca iônica, capacidade de regeneração, entre outros, os HDLs têm suas aplicações disseminadas em várias áreas, na **Figura 6** é mostrado algumas dessas principais áreas.

Figura 6 - Algumas das principais áreas de aplicação dos HDLs.



FONTE: SILVÉRIO, 2004.

Os HDLs têm seu uso disseminado em amplas áreas da ciência, a saber, a área ambiental, operando na remoção de cátions, ânions e oxiânions potencialmente tóxicos como Herbicidas (FREITAS, 2017), Boro (DELAZARE et al, 2010), AsO₄³⁻ (TOLEDO, T. V. et al, 2011), Cu²⁺, Pb²⁺, Cd²⁺ e Hg²⁺ (BALBINO, 2017). Sua utilização também se aplica a adsorção de corante catiônico azul de metileno (MIRANDA, 2014) e corante alaranjado de metila (SOUSA, 2015).

Outras áreas que têm aplicações de HDLs, são as áreas medicinal onde os HDLs funcionam como carreador para fármacos pouco solúveis (ANGELOS, 2018) e também como espécie utilizada na suspensão e/ou dispersão de nimesulida na superfície do HDL (MORAIS, 2016).

4.5.3. Carvão ativado como Adsorvente

Segundo estudos de SANTOS (2016), o primeiro registro do uso de carvão ativado (CA) com a finalidade de adsorvente em tratamento de água é datado na década de 1910, com a instalação de um filtro de carvão ativado (a base de lignina) para remoção de subprodutos do cloro na água do município de Reading na Inglaterra.

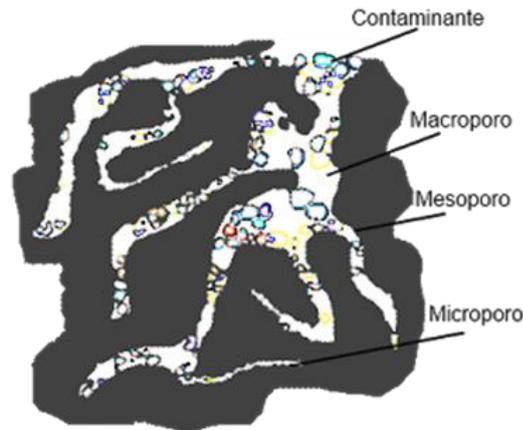
Nos processos de adsorção, o carvão ativado proporciona a remoção de diferentes poluentes, tanto em fase aquosa quanto em fase gasosa. Tal processo é dependente principalmente da sua área superficial específica, sendo assim a adsorção de substâncias específicas como iodo, azul de metileno e fenol pode oferecer uma boa aproximação da área superficial do carvão ativado.

Para a avaliação do desempenho do CA, se faz necessário uma avaliação da porosidade dos carvões, as principais diferenças nas características de adsorção estão associadas com a estrutura dos poros do material.

Todos os carvões ativados contem micro, meso e macroporos em sua estrutura, porém a proporção relativa ente eles variam consideravelmente, dependendo do precursor e do processo de fabricação utilizado. Segundo a IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), os carvões são classificados em:

- Microporosos: com poros até 20 Å; sua principal função é contribuir para a maioria da área superficial que proporciona alta capacidade de adsorção para moléculas de dimensões pequenas, tais como gases e solventes comuns.
- Mesoporosos: com poros de 20 a 500 Å; sua principal função é a adsorção de moléculas grandes tais como corantes e proporcionar a maioria da área superficial para carvões impregnados com produtos químicos.
- Macroporosos: com poros acima de 500 Å; são considerados sem muita importância para adsorção, mas sua função é servir como meio de transporte para moléculas gasosas NORIT, (1996).

Figura 7 - Estrutura dos poros de um Carvão Ativado



FONTE: CRUZ SILVA, 2019

O carvão ativado pode ser encontrado de duas diferentes formas: pó e granular. O tamanho das partículas apresenta efeito na capacidade de adsorção do carvão, partículas menores de carvão ativado granular demonstraram ser mais eficazes (SANTOS, 2016). Nas mais diversas aplicações dos carvões ativados, a adsorção de poluentes orgânicos e metais pesados são recorrentes nos estudos especializados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Uso dos HDLs como adsorventes, com destaque para os compostos de Nitrogênio e Fósforo

Considerando a utilização dos descritores utilizados foram identificados 45 artigos referentes ao tema proposto, porém após a utilização dos parâmetros utilizados foram identificados apenas 5 artigos específicos referente a remoção de espécies eutrofizantes com ênfase ao N e F.

Com relação a matéria prima, os HDLs podem ser obtidos de forma natural e de forma sintética, podendo ser combinados ou modificados com outros elementos. Ao analisar a eficiência dos processos de adsorção empregando os HDLs, observou-se que em sua grande maioria os trabalhos apresentados e selecionados, obtiveram uma porcentagem acima de 70% de capacidade de adsorção.

Para os HDLs mostrarem uma excelente habilidade de adsorção de ânions orgânicos e inorgânicos, os mesmos precisam apresentar interações químicas nos espaços interlamelar relativamente fracas. Vale destacar algumas principais características, como a alta área superficial e a alta capacidade de troca iônica (2-3 meq/g). Ademais, há a possibilidade de aplicação do tratamento térmico ao HDL, que se baseia na calcinação do material a altas temperaturas por algumas horas, o que causa a perda da estrutura lamelar do HDL. Tal tratamento contribui com importantes propriedades físico-químicas como o “efeito de memória” das lamelas do hidróxido, o qual permite que várias espécies diferentes aniônicas sejam capazes de se incorporar no espaço interlamelar do HDL; e também com a eliminação do carbonato (CO_3^{2-}) interlamelar, o qual são notavelmente um grande limitante do processo de troca iônica em HDL. Os resultados podem ser observados na **Tabela 2**.

Na **Tabela 2**, são mencionados os trabalhos que obtiveram maior eficiência no processo de adsorção com HDLs, frente aos compostos de nitrogênio e fósforo.

Tabela 2 - Artigos encontrados entre 2011 e 2021 constantes nos bancos de dados utilizados, referentes a eficiência dos processos de adsorção empregando HDLs, com enfoque aos compostos de N e P.

Autores/Ano	Título	Eficiência no processo de Adsorção	Tipos de amostras utilizadas
SILVA, C. 2019	Estudo dos parâmetros cinéticos e termodinâmicos da Adsorção do dihidrogenofosfato pelo HDL [Co-Al-Cl] em Águas	A maior eficácia do processo de adsorção do dihidrogenofosfato pelo HDL foi em torno de 98,0 %, ou seja, 58 mg g ⁻¹ .	Foi utilizado um efluente sintético.
MAIA, 2019	Adsorção de ânions de soluções aquosas utilizando hidroxicarbonatos de Mg-Al, Zn-Al e Ca-Al	Nos ensaios de adsorção para o ânion fosfato, ao utilizar uma dosagem de 5 g/L em solução aquosa, os HDLs Mg-Al, Zn-Al e Ca-Al atingiram remoção de 97%, 94% e 50%, respectivamente. E na aplicação em um efluente real. Foram alcançadas remoções de 73,7% e 67,1% para Mg-Al e Zn-AL HDLs	Um primeiro teste foi feito em um efluente sintético e posteriormente foi realizado o ensaio de adsorção em um efluente industrial (real).
SANTOS, 2019	Síntese e aplicação de MgFe/HDL como	Segundo o autor, foi atingida a remoção de 70% do íon nitrato em 30 min. e	Foi utilizado um efluente sintético de NaNO_3 .

	adsorvente para remoção de nitratos de águas	os resultados experimentais mostraram melhor ajuste ao modelo de pseudo-segunda ordem, demonstrando predominância de interações químicas no processo adsorptivo.	
BERNADO, 2016	Adsorção de fosfato em [Ca-Al] - HDL: comparação entre o efeito de memória e troca iônica	Neste trabalho foi estudado a adsorção de fosfato em HDL do tipo hidrocalumita (Ca-Al) através de processos de troca iônica e reconstrução estrutural (efeito de memória), em ambos houve remoção de fosfato, porém a troca iônica foi mais eficiente para a remoção desse ânion.	Foi utilizado um efluente sintético de KH_2PO_4 .
HORA, 2014	Síntese, caracterização, propriedades e aplicação dos sistemas Mg-Al, Zn-Al e Mg-Fe	Segundo o autor as amostras apresentaram uma dinâmica de adsorção semelhante no tempo de contato de 5 minutos, rápida adsorção em quantidade de 76- 77% de remoção de nitrato nesse curto espaço de tempo.	Foi utilizado um efluente sintético de nitrato.

FONTE: autoria própria.

Os autores citados na Tabela 2, obtiveram o composto HDL em diferentes métodos de síntese, mas com a mesma premissa, remover os compostos quer sejam N ou P das soluções aquosas para uma melhor redução da poluição das águas. Tais trabalhos citados acima foram os que se encaixaram nos parâmetros estabelecidos.

Silva, C. (2019) obteve o HDL[Co-Al-Cl] pelo método de co-precipitação a um pH constante $8,0 \pm 0,5$, observou que fatores como a variação da massa do HDL, do pH e o tempo de contato, influenciaram a porcentagem de adsorção. O autor estudou a remoção do composto dihidrogenofosfato, obtendo como resultado uma remoção de 98,36% no tempo de 30 minutos. Segundo o autor a decorrência desse tempo e da quantidade removida são mais rentáveis e interessantes economicamente para o processo, por terem o menor tempo e uma melhor eficácia. Exposto isso, “o HDL [Co-Al-Cl] é um material promissor como adsorvente de dihidrogenofosfato em águas e efluentes que contenham derivados de fosfatos em concentrações de 100 até 800 mg L^{-1} ”.

MAIA, (2019), em seu estudo sintetizou os HDLs Mg-Al, Zn-Al e Ca-Al através do método de co-precipitação em pH variável. Após as análises dos compostos, apenas os materiais Mg-Al e Zn-Al formaram a estrutura dos compostos do tipo Hidrotalcita. Segundo o autor, nos ensaios de remoção individual para os ânions cloreto, brometo, nitrato, fosfato e sulfato, o fosfato obteve a taxa de remoção mais significativa seguida pelo sulfato. O autor fez uma avaliação da aplicabilidade industrial do processo de adsorção para a remoção de fosfato de soluções utilizando um efluente real e obteve os seguintes resultados em relação a adsorção de fosfato de 73,67 % e de 67,13% para Mg-Al e Zn-Al HDLs, respectivamente. Podendo ser concluído deste trabalho, que os Mg-Al e Zn-Al HDLs podem ser utilizados com adsorventes eficazes para a remoção de fosfato de efluentes industriais através de um tratamento terciário.

SANTOS (2019), obteve o MgFe-HDL sintetizado pelo método de co-precipitação a pH constante, após a obtenção da matéria-prima o autor realizou vários experimentos mudando concentração inicial do adsorbato, dosagem do adsorvente de 10g/L para 20 g/L o que não produziu efeito no aumento da adsorção e na mudança de pH observou que em meio ácido ocasionou a desestabilização do HDL. Ainda foi realizado ainda um estudo cinético para avaliar a remoção de nitrato em função do tempo, alcançando o tempo de equilíbrio de 30 min e uma redução de 70% de nitrato presente no meio. Apresentado os resultados, pode-se concluir que o MgFe/HDL pode ser um adsorvente alternativo para a remoção de nitratos de águas.

BERNADO (2016), em seu trabalho sintetizou o HDL-CaAl pelo método de co-precipitação à alta supersaturação. E em sua aplicação comparou dois tipos de metodologias de adsorção, por troca iônica e por tratamento térmico (efeito memória), na troca iônica o HDL foi utilizado da forma que foi adquirido na síntese e no tratamento térmico o mesmo foi calcinado. Para os resultados quando comparado a quantidade de fosfato adsorvida, há expressiva diferença entre os métodos utilizados. O processo de troca iônica mostra maior eficiência devido a sua maior área superficial (63,94 m²/g) em comparação ao material calcinado (27,84 m²/g). De acordo com o autor o processo de troca iônica em hidrocalumita é o mais recomendado para a remediação de ambientes contaminados por fósforo.

Hora (2014), em seus estudos destaca uma ótima adsorção do nitrato pelo HDL sintetizado, ressaltando que >70% de nitrato fora removido em apenas 5 minutos de contato.

Diante destes trabalhos apresentados, podemos observar que o uso de HDL para a remoção de composto de Nitrogênio, Fósforo e seus derivados é viável. Além disso, deve-se levar em conta sua utilização no tratamento de efluentes, devido ao baixo custo e a alta

capacidade de adsorção em tão pouco tempo. Todavia, se faz necessário mais estudos que ressaltem a remoção de espécies eutrofizantes (nitrogênio, fósforo e seus derivados) por HDLs.

Na **Tabela 3**, são mencionados artigos que também obtiveram sucesso na remoção espécies poluidoras do meio aquático. Nesse contexto, se faz necessário a menção de tais trabalhos por abordarem a mesma temática e por mostrarem resultados satisfatórios referentes a eficiência dos HDLs no processo de adsorção.

Tabela 3 – Artigos encontrados entre 2011 e 2021 constantes nos bancos de dados utilizados, referentes a eficiência dos processos de adsorção empregando HDLs.

Autores/ ano	Título	Eficiência no processo de Adsorção
SILVA, 2019	Adsorção de contaminante herbicida atrazina por meio de Hidróxido Duplo Lamelar e Carvão Ativado em coluna de leito fixo	Neste estudo o resultado de remoção da Atrazina, C.A. + HDL obteve 96,35% para 1 mg L ⁻¹ , e para 2 mg L ⁻¹ o resultado foi de 97,54% de adsorção.
SANTOS, et al 2019	Síntese de compósitos HDL-biocarvão de ouricuri para aplicação na remoção de poluentes emergentes	Neste estudo cafeína e fenol não apresentaram afinidade de modo que não ocorreu remoção. O estudo cinético revelou que o equilíbrio de adsorção aconteceu em uma hora de contato para o fármaco diclofenaco de sódio em concentração de 30 mg/L.
CARDOSO, 2019	Síntese de hidróxido duplo lamelar para a adsorção de corantes alimentícios	Os resultados mostraram que o hidróxido duplo lamelar possui uma grande eficiência na remoção dos corantes amarelo tartrazina e azul indigotina.
PACHECO, 2019	Utilização de hidróxidos duplos lamelares para a remoção do contaminante emergente diclofenaco	No presente trabalho a melhor eficiência de remoção foi com a utilização do HDL[Co-Al-NO ₃], o qual apresentou 96,16 % de remoção em 180 min.
BALBINO, 2017	Remoção de metais pesados de águas empregando organocompósito magnético de Hidrocalcita modificada com ácido húmico.	As capacidades de adsorção máximas pelo organocompósito HT-AH/Fe para Cu ²⁺ , Pb ²⁺ , Cd ²⁺ e Hg ²⁺ foram de 170,95; 397,82; 196,70 e 174,52 mg g ⁻¹ , respectivamente, assim possibilitando o reuso do adsorvente HT-AH/Fe no qual mostra ser viável e apresentou ser estável por pelo menos cinco ciclos, além do mais apresentou eficiência na remoção de cátions metálicos em solução aquosa e de efluentes industriais.
EFFTING, 2017	Síntese, Caracterização e avaliação do adsorvente HDL-	Os resultados obtidos nos experimentos em batelada indicaram remoção de 98% dos íons arseniato do meio aquoso e, o ajuste da

	Mg/Al magnético na remoção de arsênio(V).	isoterma de Langmuir apontou que a capacidade máxima de adsorção do HDL-Mg/Al é de aproximadamente 17mg de arsênio por grama de adsorvente.
FREITAS, 2017	Síntese de Hidróxidos Duplos Lamelares (HDL) para adsorção de herbicida e obtenção de HDL a partir do material catódico de baterias exauridas para aplicação como eletrodo.	O autor padronizou os parâmetros de adsorção e otimizou através do planejamento quimiométrico e planejamento fatorial, sendo assim possível obter 99,56% de retenção do pesticida 2,4-Diclorofenoxiacético pelo HDL [Co-Al-Cl] sintetizado.
BATISTA, 2016	Adsorção de corantes em hidróxidos duplos lamelares (HDLs)	Nos experimentos desse autor a maior quantidade de material adsorvente, reduziu em mais de 75 % da concentração inicial do corante após um período de 30 minutos de exposição.
FONTES, 2016	Síntese e aplicação de Hidróxidos Duplos Lamelares: adjuvantes funcionais para incremento de solubilidade e dos sistemas de liberação de fármacos.	Os sistemas montados pelo autor tornaram-se menos tóxicos, ou seja, foi possível obter um perfil de liberação prolongada do Zidovudina (AZT) fármaco antiretrovirais, de 90% de fármaco em 24 horas de estudo.
KREUTZ, 2016	Adsorção de selênio presente em água utilizando Hidróxido Duplo Lamelar Lítio-Alumínio magnético.	Através dos experimentos em batelada obtiveram-se resultados que mostraram remoção de aproximadamente 98% dos íons de selênio do meio aquoso
SANTOS, 2016	Materiais derivados de HDLs: síntese, caracterização e aplicação em adsorção e processos avançados de oxidação.	Os resultados indicam que a maior capacidade de adsorção/sorção do adsorvato foi atribuída ao beneficiamento das propriedades texturais, bem como a comportamento da “regeneração” da estrutura do HDL pelo precursor calcinado.
SOUSA, 2015	Preparo e avaliação do Hidróxido Duplo Lamelar MgZnAlFe calcinado no processo de adsorção – fotodegradação do corante alaranjado de metila	O autor utilizou o fotocatalisador MgZnAl-Fe que se mostrou bastante eficiente na degradação do alaranjado de metila, com uma remoção de 93,4 % de cor e 91,9% do Carbono Orgânico Total (COT), após 120 minutos de reação
MIRANDA, 2014	Hidrotalcita-óxido de ferro e hidrotalcita-TiO ₂ -óxido de ferro magnéticos intercalados com surfactantes aniônicos: estudos de adsorção e fotodegradação do corante catiônico azul de metileno.	As capacidades de adsorção máximas, obtidas pelos organocompósitos HT-DS/Fe e HT-DSB/Fe foram de 110,05 e 94,69 mg/g, respectivamente, para adsorção do azul de Metileno. As capacidades de adsorção máximas dos materiais permaneceram-se elevadas, mesmo depois do terceiro ciclo de reutilização (83,47 e 62,54 mg/g para HT-DS/Fe HT-DSB/Fe)

FONTE: autoria própria.

Miranda (2014) e Sousa (2015), avaliaram a eficiência do HDL na remoção de corantes, em ambos os trabalhos a capacidade de remoção foram superiores a 80%; no trabalho de Miranda (2014), os seus resultados foram satisfatórios mostrando a eficiência da remoção do azul de metileno utilizando o HDL como catalisador, obtendo assim uma percentagem de remoção de 96 % após 120 min de reação. Além de tal aplicação, o autor mencionou a reutilização do mesmo através de uma simples aplicação de um campo magnético externo. Quanto a Sousa (2015), houve primeiramente a aplicação do compósito magnético no processo de adsorção fotodegradação sendo observado a remoção do alaranjado de metila em pH 4, 7 e 9, onde se obteve remoções de 84,4, 73,0 e 64,2 %, respectivamente. Após a otimização das condições experimentais, a porcentagem de remoção do alaranjado de metila foi de 93,4 % e do carbono orgânico total de 91,9% em uma solução de 100 mg L⁻¹ de alaranjado de metila e 100 minutos de irradiação de luz UV-visível. Em ambos os trabalhos houve a possibilidade da reutilização dos compostos, mantendo elevado a capacidade de adsorção, mesmo após o terceiro ciclo, e com base nos dados experimentais conclui-se que o HDL se destaca como melhor adsorvente.

Ao comparar as eficiências dos trabalhos mencionados na tabela 2 e 3, observa-se que a utilização do HDL como adsorvente comparados aos métodos tradicionais de tratamento de efluentes mostraram que existe uma melhor afinidade na remoção dos metais pesados, dos compostos orgânicos e inorgânicos e de compostos catalisadores, devido a remover compostos que após o tratamento ainda persistem nas águas.

Embora os processos biológicos e físico-químicos sejam amplamente utilizados e façam uma remoção eficaz de DBO e DQO é necessário um acréscimo ao tratamento com o intuito de remover os componentes específicos e adequar a descarga de águas ao limite máximo permitido pelas regulamentações atuais, como a Resolução nº 397 do CONAMA. Dentre as tecnologias que podem ser utilizadas para o tratamento terciário, o processo de adsorção pode ser destacado pelo tratamento eficaz de substâncias solúveis em águas residuárias e por sua alta capacidade de remoção mesmo em baixas concentrações, podendo ser equiparável ao tratamento biológico no que tange a sua eficácia.

Tendo em vista a viabilidade do uso do HDL como adsorvente de espécies eutrofizantes para uma melhoria da qualidade da água, todos os artigos mencionados neste trabalho têm como temática principal a área ambiental, e que visam a resolução ou a minimização das problemáticas ambientais, como a contaminação de rios por espécies eutrofizantes (MAIA, 2019; SILVA, 2019; SANTOS, 2019; BERNADO, 2016 e HORA, 2014;), remoção de corantes

descartados por indústrias alimentícias (CARDOSO, 2019), remoção de fármacos (FONTES, 2016), herbicidas (FREITAS, 2017), corantes e azocorantes (MIRANDA, 2014; SOUSA, 2015 e SANTOS, 2016) e metais pesados (BALBINO, 2017; EFFTING, 2017 e KREUTZ, 2016).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitos são os impactos gerados pela crescente contaminação de águas por espécies eutrofizantes, porém vários estudos e métodos eficientes nessa área vêm sendo desenvolvidos para reverter e/ou minimizar tais problemas.

Como forma de complementar os tratamentos de efluentes, águas superficiais e subterrâneas de forma subsidiar o desenvolvimento para uma gestão sustentável de qualidade de água, surgem os HDLs como material argiloso de grande potencial quanto a utilização no processo de adsorção, produto de processo viável tanto com relação a técnica quanto economicamente frente a diversas classes químicas de contaminantes, a saber, espécies eutrofizantes, metais tóxicos, pesticidas, fármacos, corantes, dentre outros.

Baseado na análise dos estudos selecionados, foi possível constatar uma grande eficiência do uso dos HDLs como potenciais adsorptivos de espécies eutrofizantes, os quais contribuem para um melhor controle de qualidade de água, tendo em vista que os resultados obtidos pelos autores mostram uma eficiência acima de 70% na remoção dos contaminantes presentes em efluentes, sendo assim uma alternativa para diminuir os impactos ambientais e futuros problemas que as espécies eutrofizantes podem causar ao meio ambiente e em especial aos recursos hídricos.

Quanto a eficiência dos adsorventes, é necessário realizar mais estudos para se ter uma melhor identificação das condições favoráveis para uma maior capacidade de adsorção das espécies eutrofizantes. Tornando-se possível uma otimização dos processos e a criação de novos compostos a partir dos HDLs com uma boa aplicabilidade na remoção de mais contaminantes. Do mesmo modo, avaliar e aplicar em outras possíveis áreas, pois se mostra muito promissora para diversos outros setores, a saber, catalise, área medicinal, inclusão em otimização de reações biológicas, aplicações na área de eletroquímica, aditivos para polímeros e entre outros.

Assim, pode-se considerar que tais estudos sejam capazes de favorecer de forma positiva o meio ambiente, contribuindo de maneira significativa para a população, tanto para as atuais quanto as futuras gerações.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, J. E. de. **Remoção de corantes têxteis utilizando adsorventes nanoporosos.** 2012. 126 f. Dissertação (mestrado), Pós graduação em Química – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

ALMADA, E. V. C. **Proposta de mitigação da eutrofização na lagoa do Vigário – RJ através da macrófita Eichhornia crassipes: de praga a Fitorremediadora.** 2018. 93f. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Do Norte Fluminense, Darcy Ribeiro – UENF, Campos Dos Goytacazes, 2018.

AMBSCIENCE. **Tratamento de efluentes: principais desafios e soluções.** Artigo publicado em portal, 2021. Disponível em: < <https://ambscience.com/tratamento-de-efluentes/>>. Acessado em: 05 jul. 2021.

ANA, Agência Nacional de Água. **Informação de como está a água no mundo e projetos do ANA.** Artigo publicado em portal. 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/cooperacao-internacional/agua-no-mundo>> Acessado em: 12 dez. 2020

ANA, Agência Nacional de Água. **Conservação, uso racional e sustentável da água – Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos no Nordeste.** 2013. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2533/1/M%C3%B3dulo%201_Gerenciamento%20Integrado.pdf>. Acessado em: 10 jul 2021

ANGELOS, M. A. **Obtenção de Hidróxidos duplos lamelares como carregadores de fármacos através de secagem por spray-drying.** 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Inovação Terapêutica. Recife, 2018.

ATLAS ESGOTO, **No Brasil, 45% da população ainda não têm acesso a serviço adequado de esgoto.** 2017. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-09/no-brasil-45-da-populacao-ainda-nao-tem-acesso-servico-adequado-de-esgoto>>. Acessado em: 01 jul. 2021.

BALBINO, **Remoção de metais pesados de águas empregando organocompósito magnético de hidrotalcita modificada com ácido húmico,** 2017. Dissertação (Dissertação) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2017.

BATISTA, A. S. S. et al. **Diferentes tipos de adsorventes empregados na remoção de nitratos em águas: uma revisão.** Anais III WIASB. Campina Grande: Realize Editora, 2017. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/39015>>

BATISTA, J. S. **Adsorção de corantes em hidróxidos duplos lamelares.** 2016. Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Itacoatiara – AM.

BATISTA, T. R. de M.; LEAL, T. da R. B.; SILVA, M. L. A. da; VERÍSSIMO, M. H. G.; LIMA, R. R. de; CARVALHO, M. M. S. G. de; SAMPAIO, F. C. **Avaliação de sistemas de desfluoretação com materiais de adsorção para tratamento de águas em zonas endêmicas para fluorose: uma revisão integrativa.** 2020. Research, Society and Development, [S. l.], v. 9, n. 9, p. e748997825, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.7825.

BEZERRA, E. D. G. **Síntese e caracterização de hidróxidos duplos lamelares do sistema Mg - Al - NO³.** 2018. 25f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras, Paraíba, Brasil, 2018.

BERNARDO, M.P.; MOREIRA, F.K.V.; RIBEIRO, C. **Adsorção de fosfato em [Ca-Al]-HDL: comparação entre o efeito de memória e troca iônica.** 2016. Artigo apresentado na 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. São Carlos-SP, 2016.

BRASIL. **Resolução CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357, de 17 de março de 2005.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n.92 de 16/05/2011 p.89. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=563>>. Acesso em: 02 de março 2021

BRASIL. **Resolução CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 430 de 13 maio de 2011.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n.92 de 16/05/2011, p.89. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 02 de março 2021

CAMPOS, E. C. **Adsorção de fenol via carvão ativado tendo como estudo de caso o efluente da refinaria Gabriel passos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

CARDOSO, P. H. S. **Síntese de hidróxido duplo lamelar para a remoção de corantes alimentícios.** 2019. 33f. Trabalho de conclusão de curso - Instituto Federal de Goiás, Inhumas, 2019.

CRUZ SILVA, K. **Síntese de material zeolítico de valor agregado a partir de fontes alternativas de sílico e alumínio.** 2019. 19p. Dissertação (Mestrado em tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN – CNEN/SP, São Paulo.

ECYCLE. **O que é eutrofização?** Artigo publicado em 2013. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/eutrofizacao/>>. Acessado em: 08 jul. 2021.

EJESAM. **Tratamento de efluentes.** Artigo publicado em 2021. Disponível em: <<https://ejesam.ufsc.br/como-funciona-o-sistema-de-tratamento-de-efluentes-confira/>>. Acessado em: 08 jul. 2021.

EFFTING, L. **Síntese, caracterização e avaliação do adsorvente HDL-mg/al magnético na remoção de arsênio(V) de água.** 2017. Trabalho de conclusão de curso, Licenciatura em Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2017.

FARIAS, S. B. P. **Síntese, caracterização e Avaliação do Grau de Cristalinidade de compostos Hidrotalcita,** 2011. Dissertação (Mestrado) – Pós-graduação em Química. Universidade de Juiz de Fora.

FREITAS, L. L. de. **Síntese de hidróxidos duplos lamelares (HDL) para a adsorção de herbicida e obtenção de HDL a partir do material catódico de baterias exauridas para a aplicação como eletrodo.** 2017. 123 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

FONTES, D. A. F. **Síntese e aplicação de hidróxidos duplos lamelares: adjuvantes funcionais para incremento de solubilidade e sistemas de liberação de fármacos.** 2016. 144 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal De Pernambuco, CCS, Recife – PE, 2016.

GOMES, D. V. **Remoção de nitrogênio amoniacal de efluentes de indústrias de pescados por processo adsorptivo utilizando carvão ativado.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina, 2018.

GOMES, J. de L. e BARBIRI, J. C. **Gerenciamento de recursos hídricos no Brasil e no Estado de São Paulo: um novo modelo de política pública.** 2004. Centro de Estudos de Gestão Empresarial e Meio Ambiente (FGV/Eaes- Ceama e Unifecap).

HORA, P. **Síntese, caracterização, propriedades e aplicações dos sistemas Mg-Al, Zn-Al e Mg-Fe,** 2014. 138f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2014.

KREUTZ, J. C. **Adsorção de selênio presente em água utilizando hidróxido duplo lamelar lítio-alumínio magnético.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2016.

MAIA, M. A. **Adsorção de ânions de soluções aquosas utilizando Hidroxicarbonatos de Mg-Al, Zn-Al e Ca-Al.** 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2019.

MILAGRES, J. L. **Preparo e avaliação do hidróxido duplo lamelar de cálcio e alumínio na remoção de cobre(II), níquel(II), zinco(II) e cromo(VI) de solução aquosa.** 2015. 75f. Dissertação (Mestrado/ em Agroquímica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015.

MIOTTO, N. **Hidrotalcita Hidrofóbica e magnética aplicada no tratamento de efluentes oleosos.** 2013. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Engenharia Química - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2013.

MIRANDA, L. D. L. **Hidrotalcita-óxido de ferro e Hidrotalcita-TiO₂-óxido de ferro magnéticos intercalados com surfactantes aniônicos: estudos de adsorção e fotodegradação do corante catiônico azul de metileno,** 2014. Tese, Pós Graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

MORÃES, L. C. D. P., **Tratamento de efluentes têxteis simulados usando técnicas de adsorção.** 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, 1996, p. 19-20.

MOTA, F. S. B. e VON SPERLING, M. **Nutrientes de esgoto sanitários: utilização e remoção.** 2009. Edital 5. PROSAB, Programa de pesquisa em saneamento básico. Rio de Janeiro: ABES. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_2.pdf>. Acessado em: 25 jun. 2021.

MUNDO EDUCAÇÃO, **Poluição Hídrica,** 2021. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/poluicao-das-aguas.htm>>. Acessado em: 12 jul. 2021.

NASCIMENTO, R. F. do; LIMA, A. C. A. de; VIDAL, C. B.; Melo, D. de Q. e RAULINO, G. S. C. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais.** 2014. E-book. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 256 p.: il.; 21 cm. (Estudos da Pós - Graduação). ISBN: 978-85-7485-186-0.

NETO, M. L. F e FERREIRA, A. P. **Perspectivas da Sustentabilidade Ambiental Diante da Contaminação Química da Água: Desafios Normativos** - Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente, Belo Horizonte, v.2, n.4, p. 1-15, ago. 2007.

NÓBREGA, G. A. S. – **Determinação do teor de umidade do gás natural usando um dispositivo com adsorção**. Monografia, UFRN, Departamento de Engenharia Química. 2001.

P e Q engenharia Jr. **ETE e ETA: Um cuidado indispensável com a água**, 2018. Disponível em: <<https://peqengenhariajr.com.br/ete-e-eta-um-cuidado-indispensavel-com-agua/>>. Acesso em 17 de jul. de 2021.

PACHECO, I. DA S.; AMARAL, F. A. DO; CANOBRE, S. C. **Utilização de hidróxidos duplos lamelares para a remoção do contaminante emergente diclofenaco**. 2019. Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 5, n. 4, p. 3796-3802, apr. 2019. ISSN 2525-87613796. Utilização de hidróxidos duplos lamelares para a remoção do contaminante emergente diclofenaco.

PANTANO, G. **Recuperação de reservatórios eutrofizados por atividades antrópicas: estudos em microcosmos**. 2016. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

PRESIDENCIA DA REPUBLICA, **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, diretrizes nacionais para o saneamento básico -GOV**. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/L11445compilado.htm>. Acessado em: 02 de março 2021

PRESIDENCIA DA REPUBLICA, **Lei nº 9.433/97 – Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)**. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acessado em: 02 de março 2021

REIS, M. J. **Síntese e caracterização de hidróxido duplos lamelares preparados na presença de polímeros orgânicos ou com macromoléculas intercaladas**. 2009. 111f. (Tese de Doutorado em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

REISMANN, H.; VIEIRA, B. e RODRIGUES, T. M. **Remoção de nitrogênio e fósforo em efluentes: principais técnicas existentes, características, oportunidades e desafios para o tratamento terciário de efluentes**. 2017. Portal Tratamento de água. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2019/06/II-580.pdf>>. Acessado em: 20 abril 2021.

ROVERI, V. **Recursos Hídricos Eutrofizados: Descrição de métodos preventivos e corretivos para sua recuperação.** 2011. Simpósio Internacional De Ciências Integradas da UNAERP, Campus Guarujá.

SANTOS, G. E. de S. dos; MEILI, L.; SÁ, Í. M. G. L. de; SILVA, L. L. I. da. **Síntese de compósitos HDL-biocarvão de ouricuri para aplicação na remoção de poluentes emergentes.** 2019. p.798-804. In: Anais do XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. São Paulo: Blucher, 2019. ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/cobecic2019-EMN12.

SANTOS, L.C.; SILVA, A.F.; IDE, A.H.; MEILI, L. **Síntese e aplicação de MgFe/HDL como adsorvente para remoção de nitratos de águas.** XXXIX Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados. Belém do Pará-, 27 a 30 de outubro de 2019.

SANTOS, R. M. M. **Materiais derivados de hidróxidos duplos lamelares: síntese, caracterização e aplicação em adsorção e processos avançados de oxidação.** 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Araraquara – SP, 2016.

SILVA, C. X. de J. **Estudo dos parâmetros cinéticos e termodinâmicos da adsorção do dihidrogenofosfato pelo HDL [Co-Al-Cl] em águas.** 2019. 81 f. Trabalho de conclusão de curso de Química Industrial, Universidade Federal de Uberlândia.

SILVA, D. de L. **Restauração de água eutrofizadas do semiárido brasileiro através da técnica Flock & Lock.** 2018. 59f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2018.

SILVA, I. H. G. **Adsorção de contaminante herbicida atrazina por meio de hidróxido duplo lamelar e carvão ativado em coluna de leito fixo.** 2019. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

SILVA, L. P. R. **Híbridos de hidróxidos duplos lamelares e herbicidas: intercalação, liberação e eficácia dos princípios ativos.** 2014. 122 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto / USP.

SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços e água e esgoto- SNIS.** 2020. Disponível em:

<http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico_SNIS_AE_2019_Republicacao_31032021.pdf>. Acessado em: 28 maio 2021.

SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Informações para planejar o esgotamento sanitário – SNIS**. 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/cadernos/2019/DO_SNIS_AO_SINISA_ESGOTO_SNIS_2019.pdf> Acessado em: 28 maio 2021.

SOUSA, P. V. F. **Preparo e avaliação do hidróxido duplo lamelar MgZnAl-Fe calcinado no processo de adsorção – fotodegradação do corante alaranjado de metila**, 2015. 73 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2015.

SUNO ARTIGOS, **Tripé da sustentabilidade: entenda o que é e qual a sua importância**. 2021. Disponível em: <<https://www.suno.com.br/artigos/tripe-da-sustentabilidade/>>. Acessado em: 12 jul. 2021

TERA. **Conheça a diferença entre afluente e efluente**. Artigo publicado em 2020. Disponível em: <<https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/diferenca-entre-afluente-e-efluente>>. Acessado em: 28/05/2021.

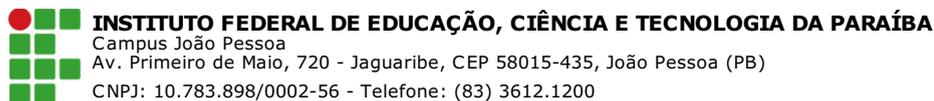
TERA. **Conheça os danos causados pelos efluentes não tratados**. Artigo publicado em 2021. Disponível em: <<https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/bid/350779/conheca-os-danos-causados-pelos-efluentes-nao-tratados>>. Acessado em: 28 maio 2021.

TERA. **Tratamento de efluentes de fossa séptica, caixa de gordura e efluente sanitário**. Artigo publicado em 2013. Disponível em: <<https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/tratamento-de-efluentes-de-fossa-septica-caixa-de-gordura-e-efluente-sanitario>>. Acessado em: 28 maio 2021.

TOLEDO, T. V.; BELLATO, C. R.; ROSÁRIO, R. H. do; e NETO, J. de O. M. **Adsorção de arsênio(v) pelo composto magnético hidrotalcita - óxido de ferro**. 2010. Departamento de Química, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. publicado na web em 18/2/11.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Dep. de Engenharia Sanitária e Ambiental- Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

ZANINI, Helen Lira Henriques Torres. **Caracterização limnológica e microbiológica do córrego rico que abastece Jaboticabal (SP)**. 2009. v, 75 f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009.



Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

Trabalho de conclusão de curso

Assunto: Trabalho de conclusão de curso
Assinado por: Rosa Karolina
Tipo do Documento: Relatório
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Rosa Karolina Barros Aragão, ALUNO (20171620017) DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL - JOÃO PESSOA, em 02/08/2021 20:25:20.

Este documento foi armazenado no SUAP em 02/08/2021. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 291964

Código de Autenticação: 877e38399d

