



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE FARMÁCIA
DEPARTAMENTO DE FARMÁCIA



Rodrigo Lener de Freitas Ramos

**Potencial uso da Quitosana como floculante natural e ambientalmente
amigável em processos de tratamento de água – uma revisão da literatura**

Ouro Preto

2024

Rodrigo Lener de Freitas Ramos

Potencial uso da Quitosana como floculante natural e ambientalmente amigável em processos de tratamento de água – uma revisão da literatura

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Farmácia pela Escola de Farmácia da Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Mônica Cristina Teixeira

Ouro Preto

2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R175p Ramos, Rodrigo Lener de Freitas.
Potencial uso da quitosana como floculante natural e
ambientalmente amigável em processos de tratamento de água
[manuscrito]: uma revisão da literatura. / Rodrigo Lener de Freitas
Ramos. - 2024.
52 f.: il.: color.. + Quadro.

Orientadora: Profa. Dra. Mônica Cristina Teixeira.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Farmácia. Graduação em Farmácia .

1. Água - Purificação - Flocculação. 2. Quitosana. 3. Produtos naturais.
4. Biopolímeros. I. Teixeira, Mônica Cristina. II. Universidade Federal de
Ouro Preto. III. Título.

CDU 579

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787



FOLHA DE APROVAÇÃO

Rodrigo Lener de Freitas Ramos

“Potencial uso da quitosana como floculante natural e ambientalmente amigável em processos de tratamento de água - uma revisão da literatura”

Monografia apresentada ao Curso de Farmácia da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel

Aprovada em 22 de março de 2024

Membros da banca

Dra. Mônica Cristina Teixeira - Orientador(a) (Universidade Federal de Ouro Preto)
MSc. Alcyane Caldeira Santos - (Universidade Federal de Ouro Preto)
MSc. Pablo Vinícius Silva Santos - (Samarco Mineração/Universidade Federal de Ouro Preto)

Mônica Cristina Teixeira, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 25/04/2024



Documento assinado eletronicamente por **Monica Cristina Teixeira, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/04/2024, às 19:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0691044** e o código CRC **2F9BA769**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sempre me iluminar;

Agradeço aos meus pais, Saulo e Mariléia, por estarem sempre comigo e tornarem este sonho possível;

Agradeço a minha irmã Kárittha pela torcida e por ser minha melhor amiga, meu porto seguro;

Agradeço ao meu sobrinho Leonardo por ser a luz que trouxe aos meus dias mais inspiração e motivação;

Agradeço ao meu avô Ari (in memoriam) por ser meu anjo da guarda;

Agradeço aos meus avós José, Orides e Marizia pelo apoio e incentivo de sempre;

Agradeço à minha família pela torcida e por estarem sempre comigo;

Agradeço ao meu cunhado Matheus pelas conversas e pelo companheirismo;

Agradeço à minha orientadora Mônica pelos conhecimentos, suporte e atenção, sempre me incentivando;

Agradeço à Escola de Farmácia por ter me proporcionado um ensino de qualidade;

E, por fim, agradeço a Ouro Preto por ter proporcionado os melhores anos da minha vida;

RESUMO

A Quitosana, um polímero derivado natural da quitina, vem ganhando certo espaço nas pesquisas científicas ao ter explorado o seu potencial uso como floculante natural. Por tratar-se de um material biodegradável, de origem renovável, e de baixa toxicidade, esta se destaca também pela boa interação com partículas em suspensão e formação de flocos sedimentáveis, sendo uma alternativa interessante aos floculantes sintéticos. Para compreender melhor os efeitos da Quitosana como floculante e elucidar seus efeitos na natureza, foi realizado uma busca detalhada por artigos científicos na plataforma Scopus. Os artigos foram posteriormente selecionados de acordo com critérios de inclusão para que estes pudessem auxiliar na construção de uma revisão bibliográfica com o principal objetivo de compreender o uso da Quitosana como floculante natural e seu potencial de substituir os floculantes sintéticos. Inicialmente, buscou-se pelo termo “*Chitosan*”. Em seguida, para refinar a busca, foram adicionados os termos “*Ecotoxicology*”, “*Environmental*”, “*Toxicology*” e “*Toxicity*” em uma busca combinada. Ao final, mil artigos foram recuperados e organizados em um banco de dados utilizando-se a plataforma Mendeley. Estes dados foram utilizados para se identificar algumas tendências tais como os países que mais pesquisaram sobre os termos e quais as áreas de pesquisas tiveram maior interesse sobre o tema. Em seguida, para refinar ainda mais a busca e selecionar apenas os trabalhos relevantes ao tema central da proposta, foi feito um quadro contendo o código adotado para organização do artigo, título do trabalho, autores, ano de publicação, se o artigo apresenta dados sobre avaliação toxicológica, tipo de estudo (“*In vivo*” “*In vitro*” ou “*In situ*”), breve resumo do objetivo e resultados. Após a seleção e aplicação dos trabalhos pelos critérios, 39 artigos foram selecionados e lidos detalhadamente para realizar a revisão da literatura.

A revisão revelou que a Quitosana possui um potencial significativo quanto ao seu uso como floculante. Como vários autores observaram, seu uso ecologicamente correto, facilidade de manipulação e custo relativamente baixo tornam-no objeto de pesquisas promissoras. Os números dados pela plataforma Scopus ressaltam o interesse global na pesquisa sobre Quitosana, com contribuições significativas da China, Índia, Estados Unidos e Brasil.

ABSTRACT

Chitosan, a remarkable natural polymer derived from chitin, is capturing the scientific community's interest for its unique potential as a natural flocculant. Its biodegradability, renewable origin, and low toxicity set it apart as a promising alternative to synthetic flocculants. Its exceptional ability to interact with suspended particles and form sedimentable flocs positions it as a compelling substitute for synthetic counterparts, suggesting a future where Chitosan could potentially revolutionize the field of flocculation.

To better understand the effects of Chitosan as a flocculant and elucidate its impact on the environment, a comprehensive search for scientific articles was conducted on the Scopus platform. Articles were subsequently selected based on inclusion criteria to aid in the proposed literature review, aiming to comprehend the use of Chitosan as a natural flocculant and a potential replacement for commercial synthetic flocculants. The initial search on the platform used the term "Chitosan." To refine the search, additional terms such as "Ecotoxicology," "Environmental," "Toxicology," and "Toxicity" were added in a combined search, thus resulting in a pool of a thousand articles organized by the Mendeley database.

The selected articles were meticulously analyzed. Graphics were generated to depict the countries where the terms were most relevant to this specific research area and the terms most frequently associated with Chitosan. A table was then created to organize the articles, including their codes, titles, authors, publication years, whether they provided data on toxicological assessment, the type of study, and a summary of the objective and results. After applying these rigorous criteria, 39 articles were carefully read for the literature review.

The review revealed that chitosan has significant potential for use as a flocculant. As several authors have noted, its ecologically sound use, ease of manipulation, and relatively low cost make it a subject of promising research. The figures generated by the Scopus platform underscore the global interest in Chitosan research, with significant contributions from China, India, the United States, and Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquematização do processo de busca e seleção de artigos científicos utilizando o banco de dados Scopus.

Figura 2 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: Chitosan. “Número de publicações por países”.

Figura 3 - Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: Chitosan. “Áreas de interesse”.

Figura 4 - Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: Chitosan. “Publicações por ano”.

Figura 5 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: Chitosan x Ecotoxicology. “Número de publicações por países”.

Figura 6 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: Chitosan x Ecotoxicology. “Áreas de interesse”.

Figura 7 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: Chitosan x Environmental. “Número de publicações por países”.

Figura 8 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: Chitosan x Environmental. “Áreas de interesse”.

Figura 9 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: Chitosan x Toxicology. “Número de publicações por países”.

Figura 10 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: Chitosan x Toxicology. “Áreas de interesse”.

Figura 11 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: Chitosan x Toxicity. “Número de publicações por países”.

Figura 12 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: Chitosan x Toxicity. “Áreas de interesse”.

Figura 13 – Nuvem de palavras do termo “*Chitosan*”

Figura 14 – Nuvem de palavras do termo “*Chitosan*” e “*Environmental*”

Figura 15 – Nuvem de palavras do termo “*Chitosan*” e “*Ecotoxicology*”

Figura 16 – Nuvem de palavras do termo “*Chitosan*” e “*Toxicology*”

Figura 17 – Nuvem de palavras do termo “*Chitosan*” e “*Toxicity*”

LISTA DE ABREVIATURAS

Ag ⁺	Íon de prata
Al ³⁺	Íon de Alumínio
Cd ²⁺	Íon de Cádmió
Cr ³⁺	Íon de Cromo
CSV	Valores Separados por Virgula
Cu ²⁺	Íon de Cobre
Hg ²⁺	Íon de Mercúrio
JPG	Joint Photographic Experts Group
PAC	Policloreto de Alumínio
PAM	Poliacrilamida
Pb ²⁺	Íon de Chumbo
pH	Potencial Hidrogeniônico
Zn ²⁺	Íon de Zinco

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	12
2 – JUSTIFICATIVA	13
3 - OBJETIVOS	13
3.1 – Objetivo geral:	13
3.2 – Objetivos específicos:	14
4 – MATERIAIS E MÉTODOS:.....	14
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1 – Busca bibliográfica e análise bibliométrica	21
5 – REVISÃO DA LITERATURA:	40
5.1 - Industrialização e seus impactos:	40
5.2 - Contaminantes inorgânicos em ambientes aquáticos:.....	41
5.3 - Flocculação e seus princípios:.....	42
5.4 - Uso de flocculantes Inorgânicos:.....	44
5.5 - PAC e saúde humana:.....	44
5.6 - Flocculantes orgânicos naturais:	45
5.7 - Propriedades físico-químicas da Quitosana:	46
5.8 - Auxiliares de coagulação:	48
5.9 - Quitosana como flocculante sustentável:	49
7 – CONCLUSÃO.....	49
8 – REFERÊNCIAS:.....	50
9- APÊNDICE.....	53

1 – INTRODUÇÃO

As atividades humanas e a industrialização global afetam cada vez mais o meio ambiente resultando no aumento da poluição das fontes de água. Dentre as principais causas da poluição ambiental podemos citar o rápido crescimento da população mundial, a industrialização, a urbanização não planejada, as atividades agrícolas, bem como o uso excessivo de produtos químicos. A grande quantidade de águas residuais descarregadas pelas empresas industriais deteriora o ambiente aquático afetando gravemente a utilização dos recursos hídricos e a estrutura dos ecossistemas aquáticos. Por conterem uma ampla gama de poluentes, as águas residuais que são descarregadas de indústrias e empresas apresentam uma ameaça particular ao meio ambiente.

Atualmente, é evidente que os resíduos estão causando impactos nos seres vivos, destacando um desafio contemporâneo que requer soluções urgentes para diminuir estes efeitos prejudiciais.

As águas das minas, ácidas ou não, têm uma influência marcante no ambiente circundante e representam uma séria ameaça através da degradação ambiental a longo prazo. Esses efluentes são tóxicos para a fauna e, além disso, afetam negativamente a saúde humana. Portanto, é importante melhorar e monitorar a qualidade da água com o objetivo de diminuir o perigo apresentado por esta emissão de efluentes.

Devido à não degradabilidade, bioacumulação e toxicidade de metais, metalóides e metais pesados, tem havido um crescimento constante da poluição ambiental por estes elementos potencialmente tóxicos. Nos últimos anos, com a intensificação da poluição da água, muitas pesquisas e análises sobre a eficiência dos métodos disponíveis para o tratamento da água têm sido realizadas. O processo de floculação/coagulação utilizando biopolímeros surge como alternativa para o tratamento de água, devido à sua operação simples e boa relação custo-benefício.

2 – JUSTIFICATIVA

O tratamento de água desempenha um papel fundamental na preservação da saúde humana e dos animais, além de ser crucial para minimizar os impactos ambientais que podem, por exemplo, ser causados por processos industriais (Sun *et al.*, 2020). No entanto, vários flocculantes convencionais, que são utilizados nesses procedimentos, apresentam um grande desafio para a saúde humana e para a sustentabilidade ambiental (Haufe *et al.*, 2018). Neste contexto, a Quitosana, um biopolímero derivado da quitina, surge como uma alternativa sustentável e de uso promissor, pois apresenta características que corroboram para utilizar a mesma nestes processamentos de água (Liu *et al.*, 2018) o que justifica uma investigação aprofundada quanto ao seu uso nesses tratamentos.

Além disso, a crescente preocupação com a presença de elementos potencialmente tóxicos em corpos d'água, como os íons residuais do tratamento convencional, a utilização da Quitosana como um método mais eficiente e seguro destaca sua relevância nesta pesquisa, visto que a mesma se apresenta como uma alternativa promissora para melhorar a qualidade do tratamento de águas residuais.

Considerando, por fim, a crescente demanda por soluções de tratamento de águas sustentáveis, entender o processo e conhecer os insights críticos da utilização desse material, conciliando a eficiência operacional, preservação ambiental e saúde pública, analisar o uso da Quitosana nesse meio proporcionará uma compreensão mais abrangente de seus benefícios e uma abordagem holística e sustentável no tratamento de água.

3 - OBJETIVOS

3.1 – Objetivo geral:

Investigar e elucidar o potencial uso da Quitosana como flocculante natural em processos de tratamento de água, com ênfase na sua eficácia na remoção de partículas suspensas de elementos potencialmente tóxicos residuais do tratamento convencional feito por flocculantes comerciais, promovendo a redução do impacto ambiental e para a saúde humana.

3.2 – Objetivos específicos:

- Realizar uma busca bibliográfica abrangente e ao mesmo tempo detalhada para avaliar os estudos acerca do uso da Quitosana como floculante e seus impactos para o meio ambiente e para a saúde.
- Avaliar a aplicação da Quitosana em processos de tratamento de água.
- Buscar na literatura dados sobre a caracterização da Quitosana, explicitando sua desacetilação, peso molecular e outras características relevantes para a sua aplicação como um floculante natural.
- Discutir sobre a eficácia do uso da Quitosana como floculante natural, que discutam a possibilidade de seu uso para a remoção partículas suspensas comparando-a com floculantes comerciais frequentemente utilizados para o tratamento convencional de água, como o policloreto de alumínio.
- Comparar os impactos à saúde humana e ao meio ambiente causados pelas águas tratadas convencionalmente e com uso da Quitosana como floculante natural, considerando a biodegradabilidade, ecoeficiência e desenvolvimento de doenças.

Considerações sobre a organização do documento.

Por se tratar de um projeto de revisão de bibliográfica, optou-se por apresentar a metodologia da pesquisa antes da revisão bibliográfica sobre o tema uma vez que o resultado da busca bibliográfica e a análise dos resultados obtidos foi o que possibilitou o estabelecimento do Estado da Arte e a Discussão dos Resultados, respondendo assim aos nossos Objetivos Geral e Específicos.

4 – MATERIAIS E MÉTODOS:

Este estudo consiste em uma revisão bibliográfica sistemática seguida de análise bibliométrica simplificada visando melhor compreender as vantagens do uso da Quitosana no tratamento de águas e águas residuárias.

Foram empregadas as seguintes ferramentas de busca e softwares:

- Site Periódicos CAPES
- Plataforma Scopus

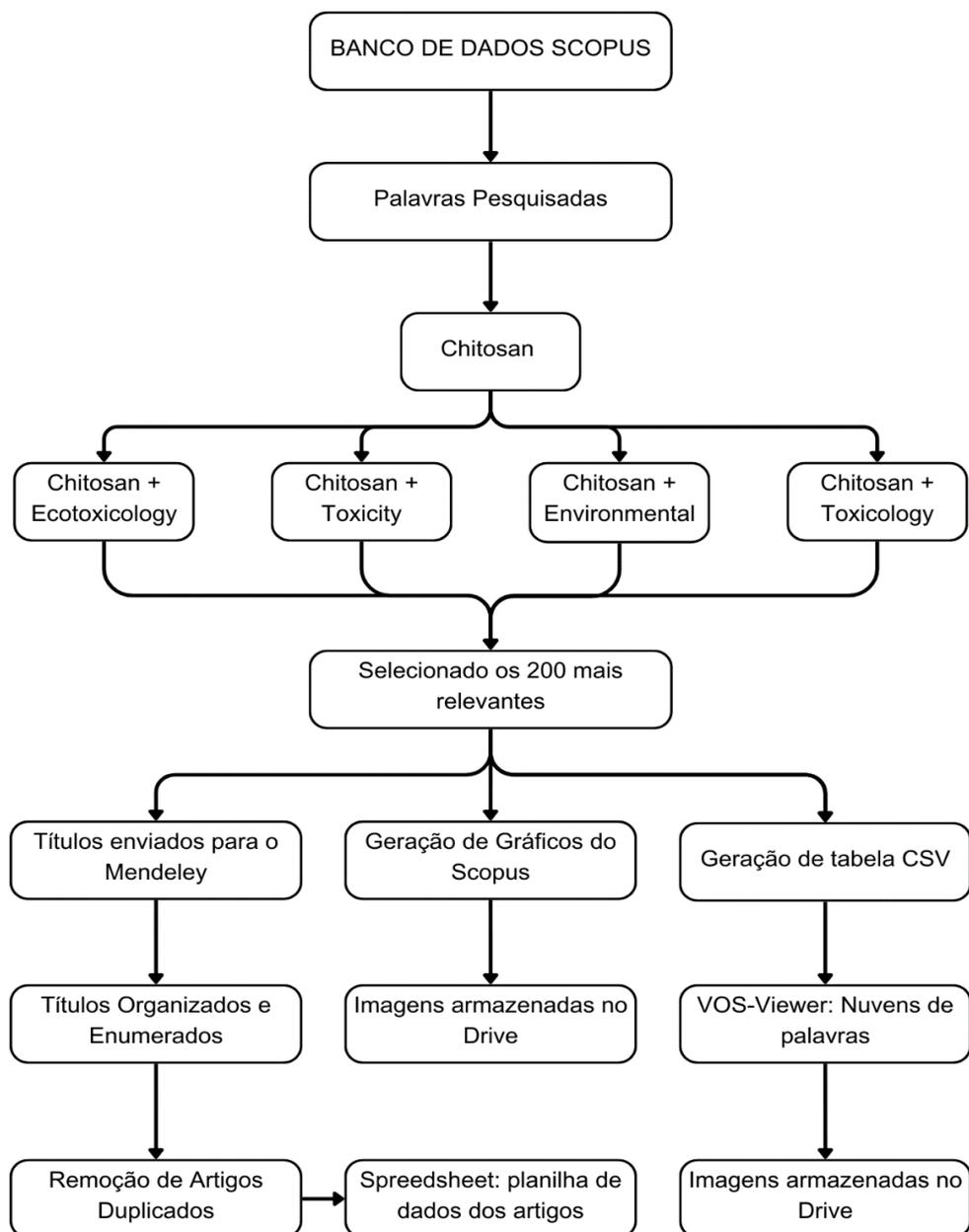
- Google drive
- Google docs
- Mendeley para Desktop
- Mendeley (plataforma online)
- VOS Viewer

O processo de busca bibliográfica realizado encontra-se sumarizado na Figura 1. Primeiramente, no banco de dados da Scopus, foi realizada uma busca por termos específicos, ou seja, dentre todos os artigos da plataforma, procurou-se resultados diretamente relacionados com as palavras-chave escolhidas, a saber: “*Chitosan*”, “*Environmental*”, “*Toxicology*”, “*Toxicity*” e “*Ecotoxicity*” foram pesquisadas. Para todas as pesquisas foram empregadas palavras-chave em idioma inglês.

Para realizar a busca bibliográfica foram definidos alguns pontos para a seleção:

- Os artigos foram exibidos em ordem de relevância – do mais relevante para o menos relevante;
- Foram exibidos duzentos artigos por página;
- Foram selecionados para o refinamento da busca apenas os artigos publicados entre os anos de 2000 e 2023.

Figura 1 – Esquematização do processo de busca e seleção de artigos científicos utilizando o banco de dados Scopus.



Fonte: o Autor

Para iniciar a pesquisa, o primeiro termo de busca foi “*Chitosan*”. A partir dos resultados, foram selecionados os duzentos primeiros artigos, pois estes seriam considerados os mais relevantes, de acordo com o filtro. Tais artigos foram salvos e armazenados em um banco de dados com o auxílio do Software Mendeley (plataforma online e versão para Desktop). Esta plataforma é utilizada para gerenciamento de referências bibliográficas, mas, para além disso, a mesma foi utilizada, neste trabalho, para organizar os artigos que eram selecionados.

Ainda com os trabalhos selecionados na plataforma Scopus, foi utilizado um recurso da mesma para a geração de arquivos de imagens resultante da análise dos trabalhos selecionados. Estes arquivos exibem dados em formato de gráficos com informações sobre os trabalhos selecionados. Para isso, de todos os termos, foram selecionadas as informações sobre os países que mais realizaram estudos sobre o termo da busca e qual área de estudo corresponde ao trabalho. Além disso, o primeiro termo, por ser o termo tema deste trabalho, foi gerado um terceiro gráfico: número de trabalhos publicados por ano.

Além deste, outro arquivo também foi gerado, este em formato de tabela “Valores Separados por Vírgula”, também chamado de CSV. Essa tabela continha as palavras chaves citadas nos duzentos artigos selecionados em formato de dados. Esse arquivo foi utilizado posteriormente para outras análises.

Na sequência, na plataforma da Scopus, foi realizada uma busca de múltiplos termos, cruzando palavras chaves, seguindo a descrição do quadro 1.

A primeira pesquisa foi realizada cruzando-se as informações entre o termo “*Chitosan*” e “*Ecotoxicology*”. Com os resultados encontrados, os passos seguintes foram os mesmos adotados para a primeira etapa, selecionando os duzentos mais relevantes, enviando-os para o gerenciador de referências, gerando os gráficos da plataforma Scopus com informações dos países e área de atuação e gerando a planilha em CSV.

Para dar continuidade, também foram pesquisados os termos “*Chitosan*” e “*Toxicology*”, em combinação, “*Chitosan*” e “*Toxicity*” e “*Chitosan*” e “*Environmental*”.

Quadro 1 – Cruzamentos de palavras-chave gerais utilizadas na pesquisa na plataforma Scopus

Chitosan	Ecotoxicology	Toxicology	Toxicity	Environmental
+	-	-	-	-
+	+	-	-	-
+	-	+	-	-
+	-	-	+	-
+	-	-	-	+

Fonte: o Autor

A primeira pesquisa foi realizada cruzando-se os termos “*Chitosan*” e “*ecotoxicology*”. Com os resultados encontrados, os passos seguintes foram os mesmos adotados para a primeira etapa, selecionando os duzentos mais relevantes, enviando-os para o gerenciador de referências, gerando os gráficos da plataforma Scopus com informações dos países e área de atuação e gerando a planilha em CSV.

Para dar continuidade, também foram pesquisados os termos “*Chitosan*” e “*Toxicology*”, em combinação, “*Chitosan*” e “*Toxicity*” e “*Chitosan*” e “*Environmental*”.

Ao finalizar as cinco buscas pelo Scopus e ter enviado para o gerenciador os artigos resultantes de cada uma delas, estavam disponíveis mil artigos na plataforma Mendeley, e também, no Google Drive os gráficos referentes a cada uma das pesquisas e os arquivos CSV.

Em seguida, na aba “*duplicates*” da própria plataforma Mendeley, os artigos repetidos foram identificados, sendo também registrado quais eram seus correspondentes. Em seguida, estes foram deletados, restando apenas um dos duplicados. Ao final da remoção, foram mantidos 857 artigos para realizar o detalhamento.

Paralelamente a isso, os arquivos em formato CSV que foram gerados na plataforma da Scopus foram aplicados ao programa VOS-Viewer para a geração de nuvens de palavras. Essas nuvens foram salvas em formato JPG e armazenadas para realizar, em posterior, uma análise referente aos termos.

Após isso, foi criada uma planilha (Apêndice) utilizando a plataforma Spreadsheet, do Google. Para preencher a planilha, todos os artigos que se encontravam no banco de dados, após a remoção dos duplicados, foram avaliados e, de acordo com as informações que estes continham, as colunas do quadro eram preenchidas. Para cada coluna do quadro, uma informação sobre o artigo foi extraída, a saber:

- Coluna A - referente ao número atribuído ao artigo para organização no gerenciador de referências;
- Coluna B – o título do artigo;
- Coluna C – os autores;
- Coluna D – o ano de publicação;
- Coluna E – a base do estudo ou o uso em que se dava o produto estudado;
- Coluna F – a matriz de pesquisa, referindo-se ao meio em que se realizava o estudo;
- Coluna G – o setor da pesquisa, dizendo respeito a qual área profissional se tratava;
- Coluna I – o tipo de estudo, caracterizando se o mesmo foi realizado com experimentos *in vivo*, *in vitro*, *in sito*, etc.;
- Coluna J – a avaliação toxicológica, sendo preenchido por “SIM” para os artigos que tiveram avaliações deste perfil e “NÃO” para os artigos que não apresentaram nenhum tipo de avaliação;
- Coluna K – o objetivo do estudo, e por fim;
- Coluna L – um resumo dos principais resultados obtidos.

Finalizado o preenchimento da planilha, passou-se a selecionar os artigos que seriam utilizados para realizar este trabalho. Foram feitas novas combinações de palavras-chave visando refinar mais a busca. Para isso, buscou-se aqueles artigos que atendessem aos seguintes critérios definidos pelo quadro de critérios de seleção de artigos para análise, apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 –Critérios para seleção de artigos para análise

Chitosan	Toxicology	Ecotoxicology	Health	Mining	Environmental	Flocculant	Ecotoxicity
+	+	+	-	-	-	-	-
+	+	-	+	-	-	-	-
+	+	-	-	+	-	-	-
+	+	-	-	-	+	-	-
+	+	-	-	-	-	+	-
+	+	-	-	-	-	-	+
+	-	+	+	-	-	-	-
+	-	+	-	+	-	-	-
+	-	+	-	-	+	-	-
+	-	+	-	-	-	+	-
+	-	+	-	-	-	-	+
+	-	-	+	-	-	-	+
+	-	-	-	+	-	-	+
+	-	-	-	-	+	-	+
+	-	-	-	-	-	+	+
+	-	+	-	+	-	+	+

Quadro 2. Fonte: o Autor

Os critérios definidos no Quadro 2 incluíram os termos saúde (*health*), mineração (*mining*) e floculação (*flocculant*) visando aproximar ainda mais os resultados do objetivo principal deste estudo bibliográfico. Os artigos selecionados segundo os critérios acima foram identificados na planilha disponível no Apêndice 1 pela cor verde. Aqueles removidos por duplicidade tiveram seu espaço preenchido pela cor cinza no quadro, ressaltando-se a informação sobre qual cópia dentre as duas (ou mais) foi mantida. Outros tipos de trabalhos publicados como revistas, boletins, capítulos de livros, etc., foram identificados pela cor laranja e não foram utilizados, uma vez que a análise de bibliometria proposta visava apenas artigos científicos. As publicações que se mantiveram na cor branca, não corresponderam aos critérios de inclusão, logo, não foram selecionadas. A utilização destas cores permite uma melhor identificação visual.

Por fim, tendo então selecionado os artigos para o estudo, iniciou-se a revisão na literatura acerca do tema proposto por este estudo.

Inicialmente serão apresentados os resultados quali-quantitativos da busca bibliográfica. Na sequência, será apresentada a Revisão Bibliográfica construída a partir da leitura criteriosa dos artigos selecionados ao longo da pesquisa, segundo os critérios já apresentados, visando responder aos objetivos propostos.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – Busca bibliográfica e análise bibliométrica

Inicialmente, na plataforma da Scopus, ao realizar as pesquisas por termos gerais, foram encontrados os seguintes resultados para cada palavra-chave:

- *Chitosan*: 102.522 resultados.
- *Chitosan + Ecotoxicology*: 2.427 resultados.
- *Chitosan + Toxicology*: 13.584 resultados.
- *Chitosan + Toxicity*: 18.596 resultados.
- *Chitosan + Environmental*: 36.105 resultados.

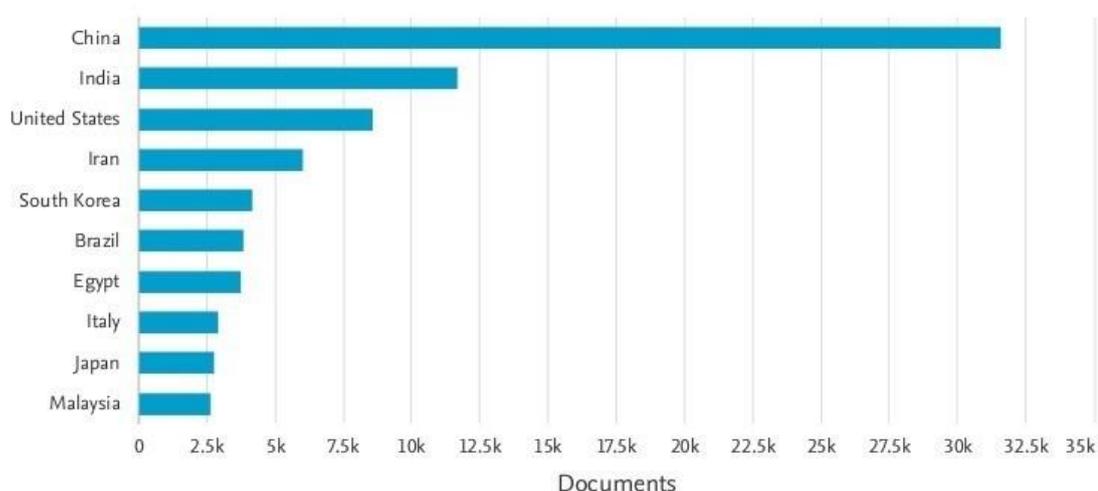
Os resultados gerais destas buscas estão apresentados nas figuras 2 a 12. Para cada uma delas, foram selecionados os 200 artigos mais relevantes, segundo os critérios da plataforma Scopus, de cada um dos cinco grupos. Tais artigos relevantes foram enviados para a plataforma Mendeley, que organizou todo o processo, formando-se um banco de dados, inicialmente contendo 1000 registros.

Para o termo “*Chitosan*”, as análises gráficas produzidas pelo próprio sistema da plataforma Scopus correspondentes ao termo pesquisado são apresentados nas figuras 2, 3 e 4, trazendo informações acerca do número de documentos publicados entre os anos de 2000 e 2023, das áreas de pesquisas em que foi realizado o estudo e dos países que mais realizaram estudos sobre os termos.

Figura 2 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: *Chitosan*. “Número de publicações por países”

Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.



Fonte: Scopus

Na figura 2, percebe-se que os países que mais pesquisaram sobre o termo foram a China, com 31.572 trabalhos, a Índia com 11.662 trabalhos e os Estados Unidos com 8.525 trabalhos publicados. O Brasil ocupa a sexta posição, tendo 3.802 trabalhos publicados.

Estes dados apresentados revelam uma distribuição significativa de pesquisas relacionadas com destaque para os países que lideram a produção acadêmica sobre o termo. A China se destaca como líder nesse cenário, podendo ser atribuído a este fator diversas causas, incluindo: maior investimento em pesquisa e desenvolvimento, uma população numerosa e uma economia em rápido crescimento.

Já o segundo e o terceiro lugar, ocupado pela Índia e Estados Unidos, demonstram um forte engajamento na produção de conhecimento sobre o tema em análise, podendo refletir sobre a crescente importância à pesquisa e inovação como impulsionadores do desenvolvimento.

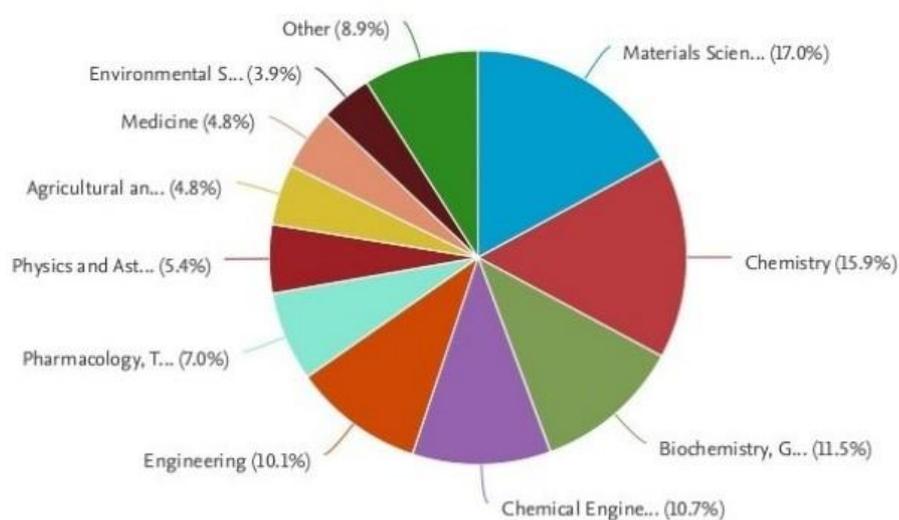
O Brasil, na sexta posição, embora em uma escala menor quando comparada com os demais países, também contribui significativamente para a produção científica. Tendo em vista a posição atual, o dado sugere um envolvimento ativo da comunidade acadêmica brasileira na pesquisa sobre o termo em questão.

Já com relação aos setores de pesquisa dos autores relacionados ao termo “*Chitosan*” na busca, apresentados na figura 3, as áreas que mais apresentam

atuantes no momento são: Ciências dos Materiais, correspondendo a 37.154 dos trabalhos; Química, com 34.586 materiais publicados; Bioquímica, Genética e Biologia Molecular, com 24.994 artigos publicados; e Engenharia química e com 23.386 trabalhos publicados.

Figura 3 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: *Chitosan*. “Áreas de interesse”.

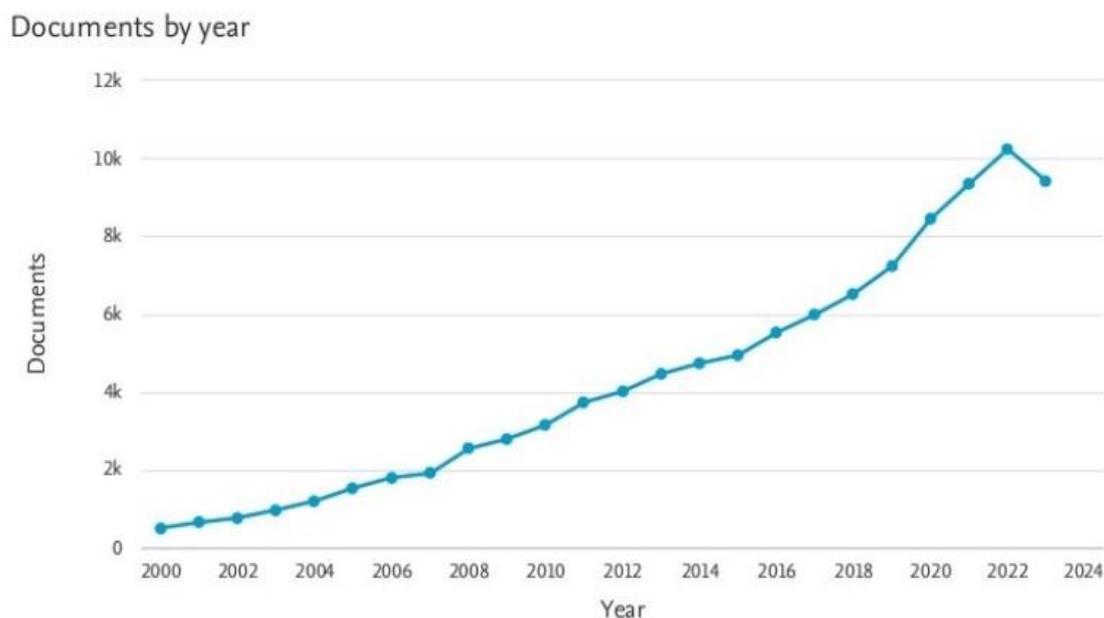
Documents by subject area



Fonte: Scopus

Além destes, o gráfico apresentado na figura 4, ainda sobre o termo supracitado, pode-se observar, em um olhar extra geográfico, que as produções dos trabalhos e o interesse de pesquisa sobre a Quitosana vem crescendo exponencialmente com o passar do tempo, com um aumento ao longo dos anos. Na figura, a diminuição observada no número referente ao ano de 2023 refere-se ao período em que a busca foi realizada, tendo, após a geração do gráfico, sido publicados outros artigos.

Figura 4 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: *Chitosan*. “Publicações por ano”.



Fonte: Scopus

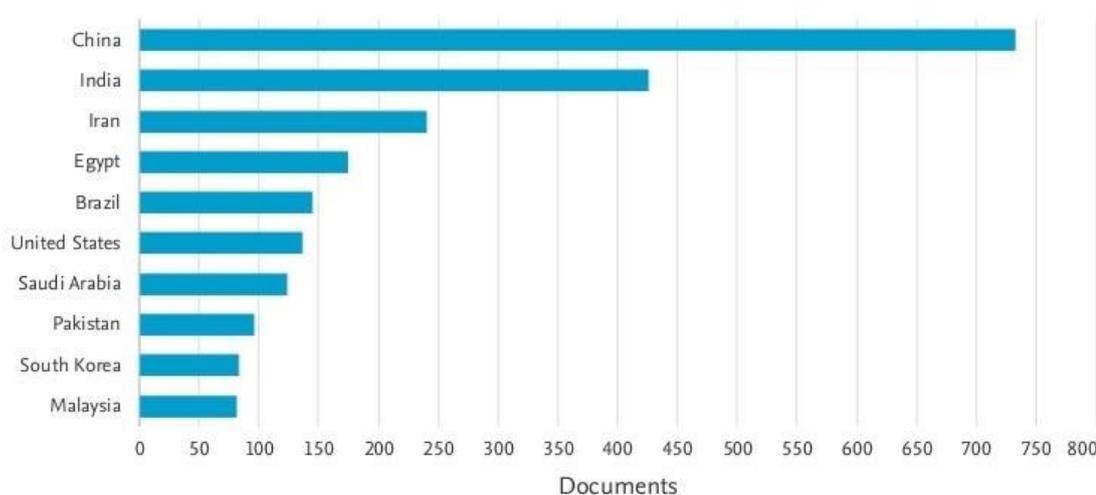
Ao analisar a curva apresentada pelo gráfico, pode-se constatar que, de um modo geral, ao longo dos anos, vem ocorrendo um aumento no interesse sobre o termo, tendo este refletido nos números de trabalhos apresentados à plataforma.

Com os termos “*Chitosan*” e “*Ecotoxicology*” (Figura 5 e 6) , o gráfico produzido pela plataforma da Scopus, apresentado na figura 5, permite identificar que os países que mais realizaram pesquisas associando as duas áreas foram, respectivamente: China, com 732 trabalhos; Índia, com 425 trabalhos; Iran, com 240 publicações; Egito, com 174 trabalhos; e Brasil, com 144 trabalhos publicados, ocupando então a quinta posição.

Figura 5 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: *Chitosan x Ecotoxicology*. “Número de publicações por países”.

Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.



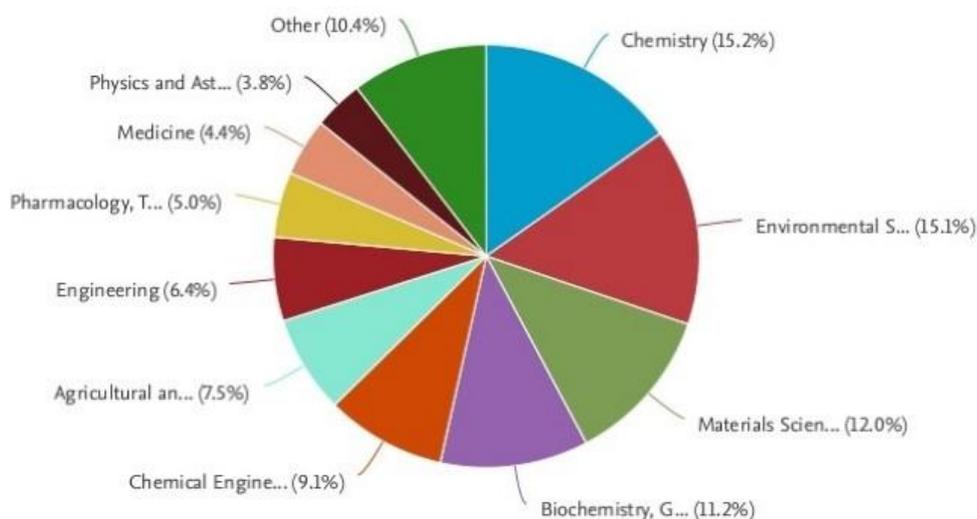
Fonte: Scopus

Ao comparar os dados da figura 5 com o gráfico apresentado na figura 2, pode-se perceber que, ao inserir o termo “*Ecotoxicology*” em associação ao termo principal “*Chitosan*”, houve uma diminuição no número de trabalhos publicados. Isso pode ser visto como um reflexo de uma menor exploração da aplicação da Quitosana na área da Ecotoxicologia, indicando oportunidades significativas para pesquisas mais aprofundadas explorando o potencial da Quitosana neste contexto.

Já a figura 6 apresenta as áreas correspondentes destas publicações, onde as principais foram: Química, com 757 artigos; Ecotoxicologia, com 751 trabalhos; Ciência dos Materiais, com 599 publicações; Bioquímica, genética e Biologia Molecular, com 561 e Engenharia Química, com 455 trabalhos publicados.

Figura 6 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: *Chitosan x Ecotoxicology*. “Áreas de interesse”.

Documents by subject area



Fonte: Scopus

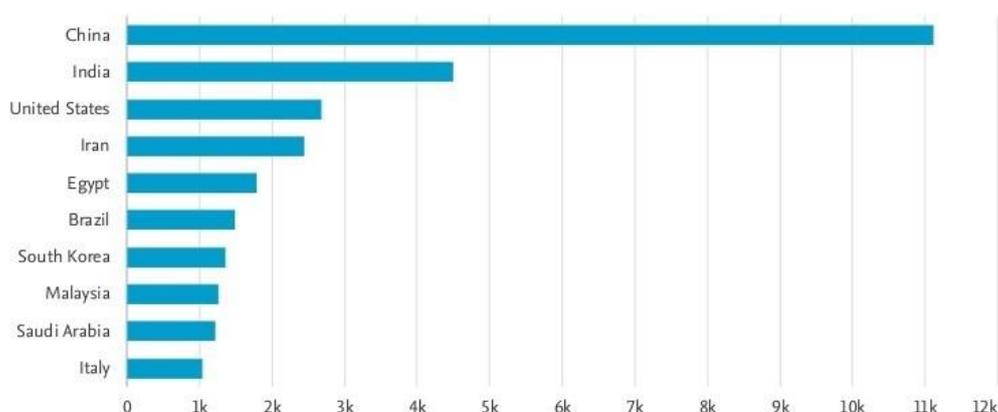
Essa diversidade interdisciplinar relacionada aos termos reflete a amplitude de aplicações do termo “*Chitosan*”, onde fica evidenciado a sua relevância nos diversos campos científicos. Isso sugere que a Quitosana é um tema de interesse em diversas áreas, indicando a necessidade de colaboração entre várias áreas de estudos para uma compreensão abrangente do seu potencial.

Já as figuras 7 e 8 apresentam, para os termos “*Chitosan*” e “*Environmental*”, assim como para os dados anteriores, dados acerca dos países e das áreas de pesquisas, respectivamente.

Figura 7 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: *Chitosan* x *Environmental*. “Número de publicações por países”.

Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.

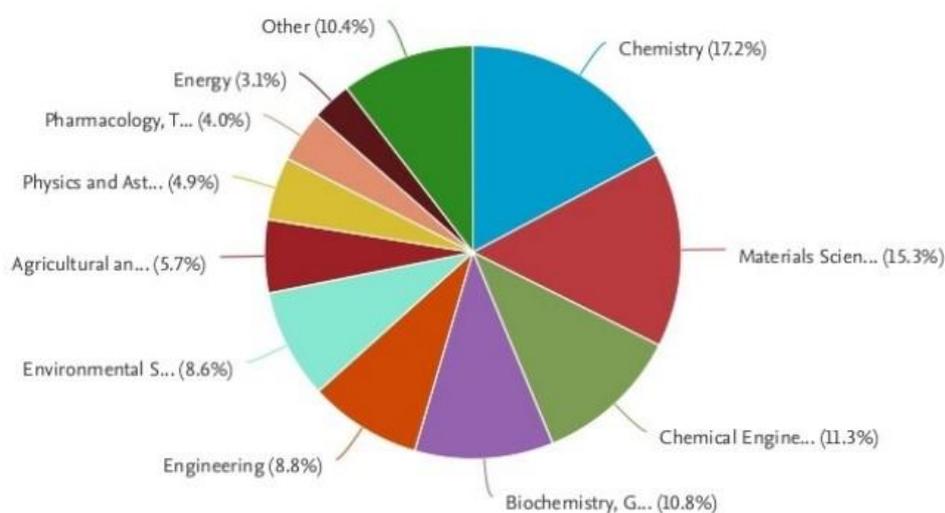


Fonte: Scopus

Ao analisar a figura, é possível notar que os principais países que mais apresentaram trabalhos na literatura foram: China, com 11.112 publicações; Índia, com 4.494 trabalhos; Estados Unidos, com 2.667 trabalhos; e Iran, com 1.790 trabalhos. Neste contexto, o Brasil ocupa o sexto lugar, tendo 1.473 trabalhos publicados sobre os termos.

Figura 8 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: *Chitosan x Environmental*. “Áreas de interesse”.

Documents by subject area



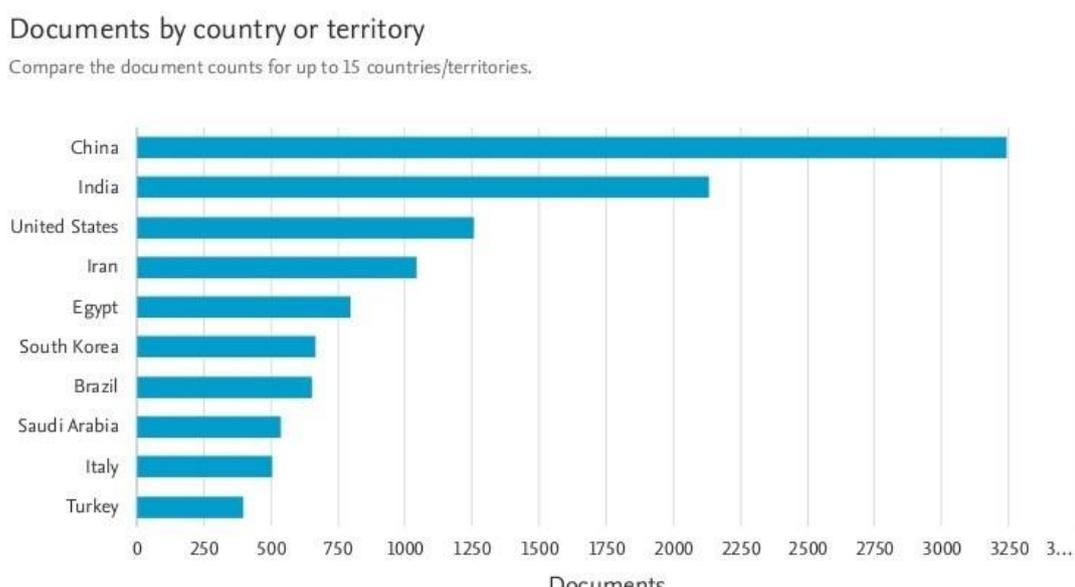
Fonte: Scopus

Já com relação as áreas de pesquisa, as principais foram: química, com 13.338 trabalhos; Ciências dos Materiais, com 11.855 trabalhos; Engenharia química, 8.349 trabalhos; Bioquímica, genética e Biologia Molecular, com 83.349; e Engenharia, apresentando 6.813 trabalhos na área.

Estes dados apresentam também uma relação direta entre o uso da Quitosana e suas aplicações ao meio ambiente, colaborando para um crescente interesse científico nesta temática. A figura 4 destaca o termo “*environmental*”, onde este é apresentado com uma relevância de 8.6%, sugerindo que há um foco na pesquisa de soluções ambientais ecologicamente corretas, assim o reconhecimento do uso promissor da Quitosana para abordar questões ambientais.

Para os termos “*Chitosan*” e “*Toxicology*”, quando analisadas as informações sobre ambos os gráficos, percebe-se que os países que mais pesquisaram sobre os termos em associação foram: China, Índia, e Estados Unidos, correspondendo a, respectivamente, 3.240, 2.132, 1.252. Neste cenário, o Brasil ocupa a sétima posição com 651 trabalhos, apresentadas na figura 9.

Figura 9 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: *Chitosan x Toxicology*. “Número de publicações por países”.



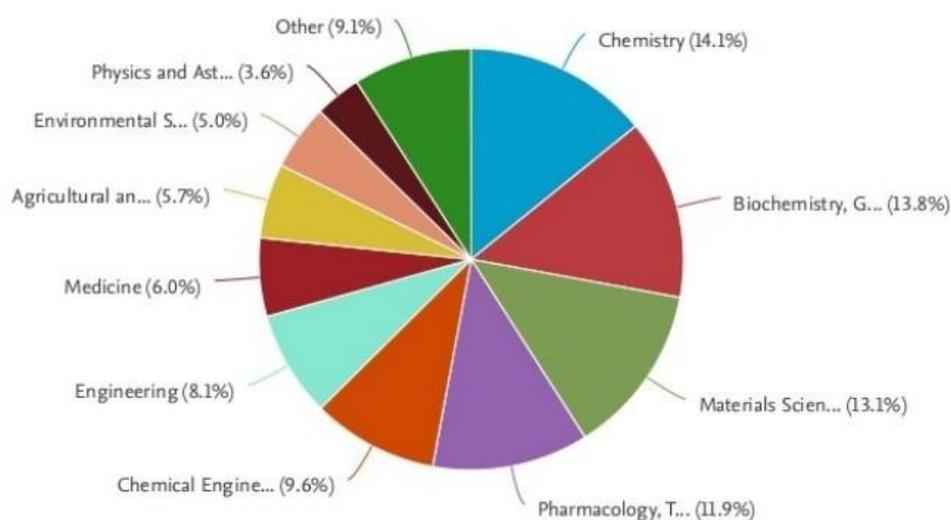
Fonte: Scopus

Já com relação as áreas de pesquisa, apresentadas na figura 10, as áreas de Química; Bioquímica, Genética e Biologia Molecular; Ciências dos Materiais e

Farmacologia, Toxicologia e Ciências Farmacêuticas foram as que mais se destacaram, tendo, respectivamente, 4.062, 3.968, 3.769 e 3.424 artigos publicados. Essa distribuição reflete a importância da pesquisa envolvendo os termos pesquisados e seus impactos para a sociedade.

Figura 10 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: *Chitosan x Toxicology*. “Áreas de interesse”.

Documents by subject area



Fonte: Scopus

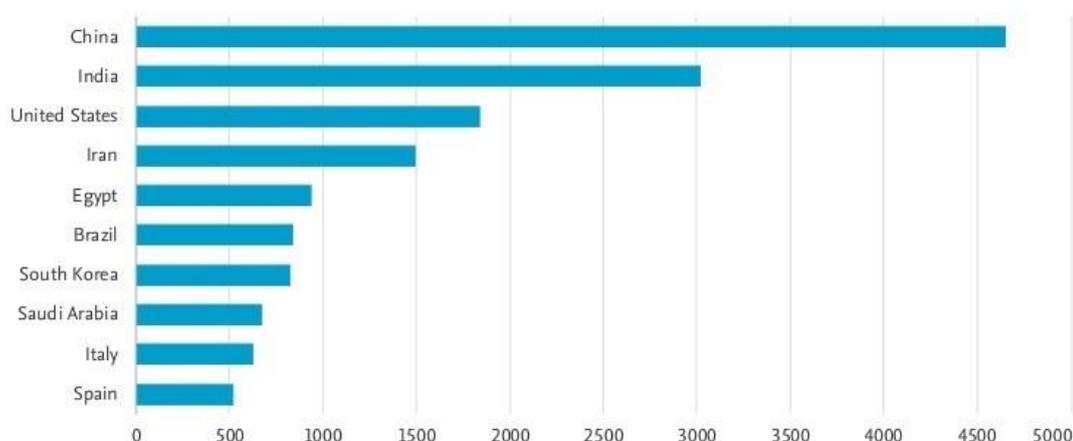
Com estes gráficos pode-se perceber a complexidade da área de pesquisa, uma vez que envolve várias áreas de aplicação, assim como o engajamento internacional pela busca de novos saberes a respeito.

Quando o termo “*Toxicity*” foi associado ao termo “*Chitosan*”, os países que mais pesquisaram sobre o termo, apresentados na figura 11, foram: China, com 4.649 artigos publicados; Índia, 3.014 artigos e Estados Unidos, com 1.836 trabalhos na plataforma. Para estes termos, o Brasil também ocupa a sexta posição, apresentando 883 trabalhos publicados na literatura.

Figura 11 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: *Chitosan x Toxicity*. “Número de publicações por países”.

Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.

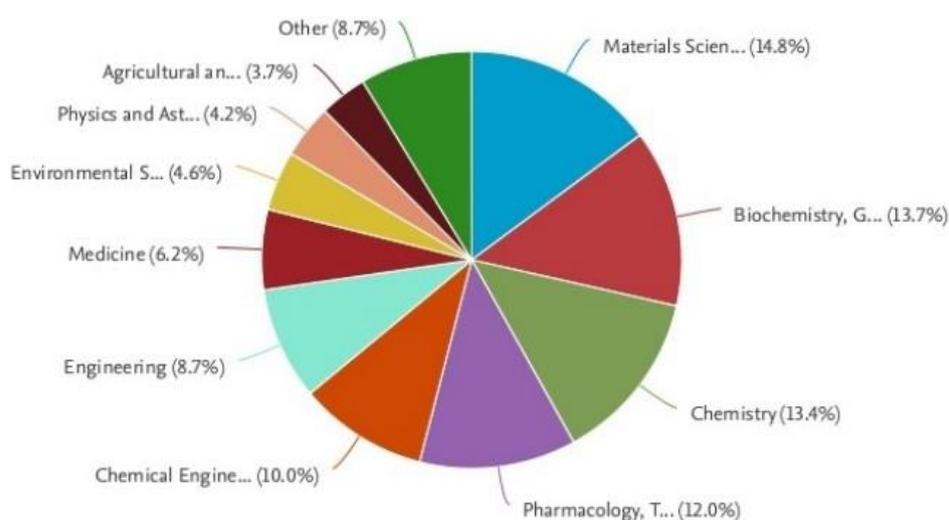


Fonte: Scopus

Já as áreas de pesquisas dos trabalhos (figura 12) que corresponderam ao maior número de pesquisa foram: Ciência dos Materiais, 5.904 artigos; Bioquímica, Genética e Biologia Molecular, com 5.478 artigos; Química, com 5.343 artigos; e Farmacologia, Toxicologia e Ciências Farmacêuticas, com 4.805 artigos publicados.

Figura 12 – Análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos através da busca na plataforma Scopus. Termo Buscado: *Chitosan x Toxicity*. “Áreas de interesse”.

Documents by subject area



Fonte: Scopus

No contexto dos termos pesquisados na plataforma, a concentração da pesquisa observada em Ciências dos Materiais sugere uma ênfase na compreensão das propriedades físicas e químicas da Quitosana com relação a sua atoxicidade para os seres humanos, assim como também a fauna. Esta preocupação em particular, pode-se relacionar com a segurança e a eficácia das aplicações tecnológicas envolvendo o polímero. Já para Bioquímica, Genética e Biologia Molecular, a presença destes trabalhos sugere a necessidade de estudar melhor os mecanismos bioquímicos associados as respostas tóxicas, contribuindo também para o um entendimento mais abrangente dos seus efeitos biológicos.

A mesma busca bibliográfica foi utilizada para a criação de nuvens de palavras utilizando-se a ferramenta VOS Viewer. Tal ferramenta identifica os termos mais recorrentes em cada um dos documentos que fazem parte de cada banco de dados e os correlaciona. Quanto maior a fonte e mais intensa a cor da área do gráfico, maior é a relevância do termo para aquele grupo de resultados avaliados, além disso, quando dois ou mais termos são utilizados concomitantemente nos mesmos documentos, mais próximos, espacialmente falando, eles se encontrarão em uma nuvem de palavras.

Novamente, os resultados das buscas por “*Chitosan*”; “*Chitosan*” e “*Ecotoxicology*”; “*Chitosan*” e “*Environmental*”; “*Chitosan*” e “*Toxicology*” e “*Chitosan*” e “*Toxicity*” foram empregados. As planilhas geradas pela plataforma Scopus tiveram seus dados extraídos e analisados pela ferramenta VOS Viewer visando possibilitar a construção de nuvens de palavras nas (Figuras 7 a 11) que nos permitissem visualizar os termos secundários mais recorrentes em cada conjunto de dados.

Observando-se a nuvem de palavras produzida a partir do conjunto de artigos selecionados quando o termo buscado foi apenas “*Chitosan*” (Figura 13), percebe-se haver uma forte correlação entre o termo principal e outros associados principalmente à sua origem, características físico-químicas e possibilidades de emprego sobretudo na produção de novos medicamentos, tais como “*Chitin, Chitosan Derivatives, Solubility, Drug Delivery System*”. Pequena correlação com termos relativos à sua toxicidade e sobretudo ecotoxicidade foi encontrada, sendo observada pelos termos “*Biodegradability*”, “*Citotoxicity*” e “*Cell Viability*”.

de oitocentos artigos foi reduzido para 39 artigos que atendiam aos critérios pré-estabelecidos pelo Quadro 03.

Os artigos de código 19 (Ruhsing Pan *et al.*, 1999) e 22 (Huang *et al.*, 2000), código este adotado para organizar melhor o banco de dados no programa Mendeley, apresentam a substituição do floculante comercial PAC, o policloreto de alumínio, por floculantes naturais a base de Quitosana, uma vez que o PAC apresenta danos a saúde humana, como é descrito no artigo de código 57 (Bina *et al.*, 2009)

A leitura de cada um destes artigos permitiu verificar que todos apresentam resultados satisfatórios em relação à proposta de uso da Quitosana descrita, atendendo assim aos critérios de inclusão que foram utilizados para selecioná-los. Essa consistência nos resultados não apenas valida a seleção criteriosa dos artigos, mas também fornece uma base sólida para a seção de revisão de literatura que se segue.

Quadro 3 – Artigos selecionados após refinamento da busca - dados principais.

CÓDIGO	TÍTULO DO ARTIGO	AUTORES	ANO	USO	AVAL. TOXICOLÓGICA	OBJETIVO PRINCIPAL
19	Evaluation of a modified chitosan biopolymer for the coagulation of colloidal particles	Rushing Pan J., <i>et al.</i>	1999	Floculante	NÃO	Substituição de sais de alumínio
22	Ideal condition for the modification of chitosan: a biopolymer for coagulation of colloidal particles	Huang C., <i>et al.</i>	2000	Floculante	NÃO	Substituição do alumínio pela quitosana
57	Efficacy of chitosan as a natural coagulant aid in the treatment of turbid water	Bina B., <i>et al.</i>	2009	Floculante	NÃO	Investigar os efeitos do alumínio como coagulante em conjunto com a quitosana
97	Removal of humic acid from synthetic water using chitosan as a coagulant aid in the electrocoagulation process for Al and Fe electrodes	Seid-Mohammadi A., <i>et al.</i>	2014	Floculante	NÃO	Eletroprovação com alumínio e ferro utilizando a quitosana como auxiliar de floculante natural
151	Development of chitosan-catechol conjugates as mucoadhesive polymer: Assessment of acute oral toxicity in mice	Kaur L., <i>et al.</i>	2020	Bioadesivo	SIM	Avaliar a toxicidade oral aguda de dose única em conjugados de quitosana-catecol
206	Preparation and application of a new chitosan composite flocculant	Defang Z., <i>et al.</i>	2004	Floculante	NÃO	Verificação da ação da quitosana como floculante no tratamento da água de esgoto
209	Flocculating power of chitosan and its derivatives in mixtures with anionic flocculants	Izvozchikova V., <i>et al.</i>	2003	Floculante	NÃO	Avaliação do uso da quitosana como floculante para o tratamento de águas residuais
212	Synthesis of cationic chitosan and study of flocculation Synthesis of cationic chitosan and study of flocculation performance	Jiang C., <i>et al.</i>	2006	Floculante	NÃO	Avaliação da quitosana catiônica sintetizada e o seu desempenho na floculação
214	Application of chitosan flocculant in water treatment	Zeng D., <i>et al.</i>	2008	Floculante	NÃO	Avaliação do uso de quitosana + cloreto de polialumínio e silicato em comparação com o floculante convencional PAC
219	Application of chitosan for water treatment	Klimová Z., <i>et al.</i>	2008	Floculante	NÃO	Encontrar o uso ideal da quitosana e comparar a efetividade coagulativa com a dos coagulantes padrão - sulfato ferroso e argiloso
225	Effect of water-soluble chitosan on the flocculation of Huangqi aqueous extract solution	Zheng H., <i>et al.</i>	2009	Floculante	NÃO	Observar o efeito de floculação da quitosana
235	Application of chitosan for treatment of Beni-Amrane dam	Zemmouri H., <i>et al.</i>	2013	Coagulante	NÃO	Aplicação para o tratamento de água por coagulação e floculação
239	Preparation and flocculation properties of cross-linked cationic starch/chitosan copolymer	You L., <i>et al.</i>	2009	Floculante	NÃO	Avaliação do comportamento floculante
246	Preparation of chitosan-based flocculant for solid-liquid separation of high-density waste drilling mud	Zhu H., <i>et al.</i>	2012	Floculante	NÃO	Avaliação da capacidade floculante do polímero sintetizado
250	Preparation of chitosan-polyacrylamide cationic flocculant and its properties in wastewater treatment	Wang B., <i>et al.</i>	2011	Floculante	NÃO	Avaliar a capacidade de floculação do polímero resultante PCAD
259	Synthesis and flocculation characteristics of chitosan and its grafted polyacrylamide	Zhang Y., <i>et al.</i>	2012	Floculante	NÃO	Avaliação do comportamento de floculação
261	Flocculation properties of composite bioflocculant	Yu Q., <i>et al.</i>	2013	Floculante	NÃO	Determinação das características do floculante
265	Chitosan flocculation and application in water treatment	Xu Y., <i>et al.</i>	2014	Floculante	NÃO	Determinação do mecanismo de floculação da quitosana
279	Preparation of biological flocculant and its application in environmental research	Zhang W., <i>et al.</i>	2014	Floculante	NÃO	Avaliação da solubilidade, estabilidade e desempenho na floculação do floculante a base de quitosana
310	Manufacture of a cationic polysaccharide for high-performance flocculation	You L., <i>et al.</i>	2017	Floculante	NÃO	Avaliação e caracterização da eficácia e eficiência do floculante no meio
326	Comparison of commercial and re-ethylated chitosan in relation to their flocculation quality	Haufe S., <i>et al.</i>	2018	Floculante	NÃO	Caracterização da quitosana após ser reacetilada
333	Treatment of wastewater containing Cu ²⁺ using a novel macromolecular heavy metal chelating flocculant	Yang K., <i>et al.</i>	2018	Floculante	NÃO	Avaliação da remoção de taxa de turbidez e de Cobre 2+
355	The role of chitosan-based sulfonated flocculant in the treatment of hematite wastewater containing heavy metals	Tang X., <i>et al.</i>	2020	Floculante	NÃO	Avaliação da eficiência no tratamento de águas residuais de hematita contendo metais pesados
362	Progress in the research and application of natural polymer coagulants	Yu X., <i>et al.</i>	2020	Coagulante	NÃO	Avaliação do uso do floculante em águas residuais de metais pesados
366	Flocculation activity and evaluation of chitosan-based flocculant CMCTS-G-P (AM-CA) for heavy metal removal	Sun Y., <i>et al.</i>	2020	Floculante	NÃO	Avaliação da remoção de metais pesados dissolvidos em partículas coloidais, por floculante de quitosana
377	Improving the quality of wastewater treatment by flocculation	Atamanova O., <i>et al.</i>	2021	Floculante	NÃO	Estimar a eficiência do uso de novos tipos de floculantes à base de poliácridamida para tratamento de águas residuais industriais
383	Removal of heavy metals from aqueous solutions by chitosan-based magnetic composite flocculants	Xiao X., <i>et al.</i>	2021	Floculante	NÃO	Avaliar o efeito da condição de floculação no desempenho de remoção de Cr(III), Co(II) e Pb(II)
390	Optimized preparation and performance evaluation of a chitosan-modified bifunctional flocculant	Li X., <i>et al.</i>	2022	Floculante	NÃO	Avaliação das propriedades floculantes e bactericidas de monômeros de quitosana
392	Preparation and performance of CTS-AM-Eta-a modified chitosan flocculant	Yang X., <i>et al.</i>	2022	Floculante	NÃO	Avaliação da eficiência e eficácia

395	Use of flocculants for wastewater treatment	Ulrich E., <i>et al.</i>	2023	Floculante	NÃO	Revisão de floculantes sintéticos de base biológica e lista às aplicações potenciais no tratamento de água
398	Improving the quality of wastewater treatment by flocculation	Atamanova O., <i>et al.</i>	2022	Floculante	NÃO	Avaliação do efeito floculante em águas residuais
460	Preparation of a new chitosan derivative and use in water treatment	Zhang M., <i>et al.</i>	2011	Floculante	NÃO	Avaliação da solubilidade e o potencial uso para o tratamento de água
531	A Review on Chitosan for Removal of Heavy Metal Ions	Zia Q., <i>et al.</i>	2019	Quelante	NÃO	Uma revisão relacionando o uso de quitosana e seus derivados para remoção de metais pesados
563	A review on the use of chitosan and chitosan derivatives as bio-adsorbents for water treatment: removal of nitrogen-containing pollutants	Keshvardoostchokami M., <i>et al.</i>	2021	Adsorvente	NÃO	Remoção de poluentes de soluções aquosas
581	Assessment of Remediation of Coal Mining Wastewater by Chitosan Microspheres Using Biomarkers	Banassi J., <i>et al.</i>	2006	Tratamento de Água	NÃO	Avaliar a remediação de efluentes de águas residuárias de mineração por microesferas de quitosana
654	Emerging applications of chitosan: from biology to the environment	Bayoumy A., <i>et al.</i>	2018	Meio Ambiente	NÃO	Uso e aplicação de microesferas de quitosana para o tratamento de água
757	Removal of heavy metal from water contaminated by crab biopolymer chitosan	Rana M., <i>et al.</i>	2009	Biossorvente	NÃO	Remoção de metais pesados por filtração ou adsorção
788	Sorption of heavy metal ions onto carboxylate chitosan derivatives-a mini-review	Boamah P., <i>et al.</i>	2015	Solvente	NÃO	Preparação e caracterização de sorventes de metais pesados à base de quitosana
814	Applications of chitosan derivatives in wastewater treatment	Rashid T., <i>et al.</i>	2017	Tratamento de Água	NÃO	Vantagens do uso da quitosana como adsorvente no tratamento de água

Como é possível observar no quadro 3, a grande maioria dos trabalhos selecionados contam com o uso geral da Quitosana como floculante, buscando avaliar sua eficácia e seu uso em sistemas aquáticos. Além de evidenciar o interesse da comunidade acadêmica pelo assunto, atualmente relevante, demonstra também que os critérios de exclusão que foram utilizados foram bem aplicados e se mostraram eficazes para propósito que fora utilizado.

Por outro lado, apenas um dos trabalhos selecionados apresentou a avaliação toxicológica da Quitosana com teste *in vivo*, sendo este o artigo de código 151 (Kaur *et al.*, 2020), tendo os outros 38 trabalhos focado no uso e nas propriedades propostas da Quitosana, sem realizar tais testes.

Ademais, vemos a predominância das pesquisas realizadas pela China, com 24 trabalhos dos 39 selecionados, seguidos da Rússia, com 5 artigos, Irã e Reino Unido com 2 artigos, e Índia, Egito, Bangladesh, Argélia, Romênia e Alemanha com 1 trabalho cada país, o que reflete em um maior interesse vindo da Ásia e Europa.

Embora o interesse pelo uso da Quitosana tenha aumentado ao longo dos anos, como mostra a figura 2, C, é notável que nenhum trabalho brasileiro foi selecionado após a aplicação dos critérios. Isso reflete que as pesquisas nacionais relacionadas ao uso da Quitosana como floculante deve ser fomentada e ter os seus trabalhos incentivados nas universidades e centros de pesquisas nacionais.

5 – REVISÃO DA LITERATURA:

Essa seção visa não apenas sintetizar o conhecimento existente sobre a Quitosana como floculante, mas também contextualizar seu papel relevante para o tratamento de água, contribuindo para o avanço do conhecimento na área.

5.1 - Industrialização e seus impactos:

Visto que as principais causas da poluição ambiental se devem ao rápido crescimento da população mundial, à industrialização, à urbanização não planejada, às atividades agrícolas, bem como ao uso excessivo de produtos químicos, vê-se que

o desenvolvimento industrial contínuo vem elevando os níveis de contaminantes inorgânicos presentes nas fontes de água, uma consequência do aumento na quantidade de resíduos descartados em ambientes aquáticos (LI *et al.*, 2022; Yu & Fu, 2020).

Esses produtos de descarte apresentam uma ameaça particular ao meio ambiente por conterem uma ampla gama de poluentes como metais, metalóides, nitrogênio amoniacal, surfactantes e outros (ULRICH & BARKOVA, 2023). Visto a presença desses materiais, Yu & Fu, 2020, retratam também que os poluentes metálicos pesados geralmente apresentam toxicidade aguda ou crônica e apresentam uma enorme ameaça à saúde humana e à segurança ambiental afetando, não somente a poluição de águas superficiais, mas também, águas subterrâneas, tornando a poluição por metais pesados um sério problema ambiental nesta situação (DILMA *et al.*, 2015; Ulrich & Barkova, 2023; Xiao *et al.*, 2021).

Além da biota aquática, essas substâncias também são tóxicas para os animais selvagens, assim como afetam negativamente a saúde humana, uma vez que seus componentes causam danos à pele, aos pulmões, deficiência visual, enxaquecas e náuseas, podendo também causar problemas respiratórios, renais e hepáticos (Qi *et al.*, 2020; Ulrich & Barkova, 2023).

Ao olharmos para essas considerações, fica claro que a poluição ambiental é uma das questões mais desafiadoras para a nossa civilização moderna (LI *et al.*, 2022). Para isso, as águas residuais industriais que contêm estes contaminantes devem ser tratadas antes de serem lançadas no meio ambiente para a segurança ecológica e a saúde humana (Xiao *et al.*, 2021).

5.2 - Contaminantes inorgânicos em ambientes aquáticos:

Existem diferentes tipos de poluição ambiental e a poluição da água é um problema sério, especialmente o problema das águas residuais industriais, uma vez que o descarte de águas residuais com elementos potencialmente tóxicos é a principal fonte de poluição dos corpos d'água. (Sarkka, Bhatnagar & Sillanpaa, 2015; Thakur & Voicu, 2016; Sun *et al.*, 2020)

Nas águas residuais, especialmente de indústrias, é comum que contenham elementos potencialmente tóxicos que costumam exceder os limites permitido pela legislação nos ambientes. Estes elementos incluem o cromo, cádmio, chumbo, mercúrio, níquel, arsênio, chumbo e etc. Estes metais e metalóides residuais nas águas descartadas no meio ambiente, afeta todo o ecossistema, de um modo geral (Li *et al.*, 2022).

Além dos efeitos tóxicos diretos e indiretos nos seres humanos, pois estão associados a câncer, icterícia, tumores, irritação cutânea, alergias, problemas cardíacos e mutações genéticas (Alver & Metin, 2012; Hariharasuthan, Rao & Bhaskaran, 2013), estão também relacionados com a deterioração da biota aquática pois, de acordo com Sun *et al.*, 2020, a grande concentração destes metais e metalóides na água afetam sua utilização, como por exemplo, em atividades agrícolas, como também para o consumo humano.

Portanto, é nosso dever conhecer a fonte, a composição e o processo de geração de águas residuais para que possamos aplicar métodos de tratamento de água, como, por exemplo, a floculação, um dos mais utilizados hoje em dia, a fim de melhorar a qualidade destes sistemas (Li *et al.*, 2022).

5.3 - Floculação e seus princípios:

Os floculantes são os materiais utilizados em separações rápidas sólido/líquido por um processo de agregação de partículas coloidais; o processo é denominado floculação. São amplamente utilizados em processos de fermentação, processos de fabricação de papel, fabricação de alimentos e tratamento de água, etc. visando, principalmente, a remoção de impurezas. O principal objetivo dos coagulantes tradicionais é remover substâncias coloidais e partículas suspensas formadas por substâncias insolúveis em água (Rana *et al.*, 2009).

Os floculantes utilizados no tratamento de água podem ser classificados em três grupos: floculantes inorgânicos como alúmen, floculantes de ferrita ou cloreto de polialumínio; floculantes orgânicos sintéticos tais como derivados de poliacrilamida; floculantes orgânicos de origem natural, como o alginato de sódio, a Quitosana e floculantes microbianos.

A floculação é um meio de remover contaminantes orgânicos e inorgânicos de águas residuais e envolve a agregação de partículas dispersas em flocos maiores que podem ser separados da água (Zhang *et al.*, 2012). Esta ocorre pela adição de polímeros sintéticos ou naturais em um sistema de mistura lenta, visando promover a agregação e unir os microflocos de partículas desestabilizadas em flocos maiores que podem ser removidos posteriormente por sedimentação e/ou filtração (Zemmouri *et al.*, 2013).

Após a agregação das partículas coloidais em flocos, pelo movimento browniano ou pelo movimento líquido, o processo de floculação associa as micelas formadas em agregados maiores com o auxílio do floculante (Ulrich & Barkova, 2023). Os floculantes podem ser amplamente utilizados para separação sólido-líquido em muitos procedimentos técnicos (You *et al.*, 2009; Zhu *et al.*, 2012). O desempenho deste processo depende não apenas do peso molecular do floculante, mas também dos grupos funcionais disponíveis no mesmo, especialmente alguns grupos iônicos carregados (Chen *et al.*, 2017), e ainda de outros vários fatores, como, por exemplo, o tempo e a velocidade de mistura no sistema, a carga superficial do floculante, o pH inicial da solução, a temperatura, a dose do floculante e a concentração inicial da solução, por exemplo (Cui *et al.*, 2020) Visto isso, um agente floculante de alta qualidade é aquele que apresenta uma remoção eficaz de impurezas, na menor concentração possível e no menor tempo possível (Ulrich & Barkova, 2023).

Existem muitos tipos de floculantes, mas dois tipos são particularmente estudados e amplamente utilizados. O primeiro tipo é o grupo dos floculantes inorgânicos contendo ferro e alumínio, que são relativamente baratos mas, como desvantagem, apresentam o problema de sua eficiência ser muito afetada pelo pH, e ainda pelo fato de que o seu uso leva à produção de uma grande quantidade de lodo e à liberação de íons metálicos residuais na água (Huang *et al.*, 2000; Yu & Fu, 2020). Visto esses problemas, surge o segundo grupo, o dos floculantes poliméricos (sintéticos e naturais) que estão se tornando cada vez mais populares. Os floculantes orgânicos são essencialmente de natureza polimérica. Os polímeros sintéticos são floculantes muito eficientes. Dependendo do grau de ionização, distinguem-se floculantes não iônicos, aniônicos, catiônicos e anfotéricos (Ulrich & Barkova, 2023; Zhang *et al.*, 2012).

5.4 - Uso de floculantes Inorgânicos:

Os floculantes inorgânicos são geralmente sais de metais multivalentes como alumínio ou ferro. Ao serem comparados com os floculantes orgânicos, os inorgânicos apresentam várias desvantagens como, por exemplo, a necessidade de uma maior dosagem, maior volume de lodo resultante ao fim do processo e sensibilidade ao pH.

Estes floculantes possuem sua ação afetada pelas características do material que é composto, como o peso molecular, a distribuição do peso molecular, a estrutura química dos polímeros e a natureza e a proporção dos grupos funcionais na estrutura polimérica. Ao mesmo tempo em que, geralmente, sua baixa dosagem é eficiente para um sistema de tratamento de água, seus monômeros residuais apresentam certa toxicidade, podendo causar danos aos seres humanos (Rana *et al.*, 2009).

Dentre os floculantes inorgânicos, um dos mais utilizados atualmente é o agente a base de alumínio, o Policloreto de Alumínio - PAC (Zhang *et al.*, 2012). Este, para sua utilização, requer uma dosagem elevada para que possa ser eficiente. Além disso, um dos principais problemas que este floculante apresenta é a liberação de alumínio residual ao final do processo, o que torna o seu uso um problema para a saúde humana e para o meio ambiente (You *et al.*, 2017).

5.5 - PAC e saúde humana:

O policloreto de alumínio, também chamado de PAC, é um floculante inorgânico sintético derivado da poliacrilamida (PAM). Este material tem sido utilizado largamente nas indústrias e empresas para tratar águas residuais. O seu amplo uso pode ser explicado pelo seu preço, que é considerado barato, e pela sua fácil utilização e manuseio. Por outro lado, embora estes floculantes sejam frequentemente utilizados devido à sua boa relação custo/eficácia, tais reagentes causam problemas ambientais por não serem facilmente biodegradáveis. Ademais, os monômeros resultantes da sua degradação, como por exemplo, as acrilamidas, possuem efeitos neurotóxicos para os seres humanos e apresentam também um forte potencial carcinogênico, afetando diretamente a saúde humana (Haufe *et al.*, 2018; You *et al.*, 2009).

Dessa forma, a utilização destes produtos químicos, especialmente os sais de alumínio, pode ter diversas consequências, indo desde impactos ao meio ambiente até danos à saúde humana. O uso desse floculante gera a produção de lodo que é espalhado naturalmente com a água. Essas águas carregam os íons Al^{3+} que poluem o solo e afetam também as plantações e as atividades agrícolas. Ao fluírem para águas subterrâneas, ocorre também a contaminação da água potável, afetando diretamente a saúde humana dadas as propriedades cancerígenas conhecidas dos sais de alumínio que já se sabe ter relação direta com doenças neurodegenerativas, como o Alzheimer (Zemmouri *et al.*, 2013).

Sendo assim, uma alternativa sustentável, natural e eficiente para o tratamento de água, seria a utilização de floculantes orgânicos neste sistema. Estes, comparados com os floculantes inorgânicos, são considerados inofensivos, mais eficientes e ecologicamente corretos (Zhang *et al.*, 2012).

5.6 - Floculantes orgânicos naturais:

Com o objetivo de remover substâncias coloidais e partículas suspensas insolúveis em água, os floculantes naturais são produtos que são obtidos pela extração ou modificação de substâncias poliméricas orgânicas que apresentam estas propriedades de acordo com a sua estrutura química, sendo essa rica em fragmentos funcionais, como o grupo amina ou hidroxila. Estes materiais são derivados de estruturas presentes em produtos agrícolas ou materiais presentes na natureza, como tecidos animais, vegetais, ou materiais residuais, o que os torna inofensivos para o meio ambiente (Ulrich & Barkova, 2023; Yu & Fu, 2020).

Além de serem ecologicamente corretos, os floculantes orgânicos apresentam algumas vantagens com relação aos inorgânicos sendo elas:

- sua atividade independe do pH do meio;
- formam grandes flocos coesos durante o processo de floculação/coagulação permitindo melhor remoção das impurezas;
- são resistentes à mistura ativa durante o processo;
- não são tóxicos para os seres humanos nem para os animais, sendo, portanto, considerados seguros para o uso;

- possuem alta biodegradabilidade;
- podem ser facilmente modificados, quanto a sua estrutura, o que melhora a eficiência no processo de floculação e os tornam uma alternativa para o tratamento de água.

Além das vantagens em comparação com os floculantes inorgânicos, os floculantes orgânicos possuem outras características que os fazem ser promissores quanto ao seu uso. Uma delas é a presença de grupos tensoativos de grandes estruturas moleculares, o que garante que, durante a etapa do tratamento, poderá ocorrer o processo de quelação e adsorção de elementos potencialmente tóxicos. – (Rana *et al.*, 2009; Ulrich & Barkova, 2023).

Ao adotar o uso de floculantes naturais, além dos benefícios ambientais e para a saúde humana, poderão ser alcançadas economias consideráveis visto que os produtos químicos, além do custo de manuseio de lodo, também requerem outros processos posteriores, como um segundo tratamento para tornar a água potável, o que não é necessário com os floculantes naturais. Atualmente, com a necessidade de cuidar melhor do meio ambiente, os floculantes orgânicos têm se tornado um material promissor para ser utilizado no tratamento de águas residuais e para o desenvolvimento de novos floculantes. Dentre esses materiais, está a Quitosana, que vem sendo estudada há muito tempo e tendo sua atividade floculante comentada em vários estudos e pesquisas (Bina *B.*, Mehdinejad *M.*, Nikaeen *M.*, Movahedian *H.*, 2009).

5.7 - Propriedades físico-químicas da Quitosana:

A Quitosana (Quitosana) é um biopoliaminossacarídeo de cadeia linear composto de D-glucosamina e N-acetil-D-glucosamina ligadas através de ligações 1,4- β -glicosídicas. Trata-se de um polímero de origem natural, obtido pela desacetilação da quitina em meio alcalino. Já a quitina, o precursor da Quitosana, é um biopolímero semelhante à celulose amplamente distribuído na natureza, especialmente em invertebrados marinhos, insetos, fungos e leveduras, também atuando como componente protetor das cutículas de crustáceos como caranguejos, camarões e lagostas, além de ser encontrada também nas células de alguns fungos como *Aspergillus* e *Mucor*. Como a quitina é o segundo biopolímero mais abundante

no planeta, a utilização da Quitosana como floculante não só evita a ameaça à saúde com tratamento de água a base de alumínio, mas também permite a reciclagem de uma grande quantidade de resíduos orgânicos (Bina *et al.*, 2009; Ruhsing Pan *et al.*, 1999).

A Quitosana apresenta uma coloração branca com um brilho perolado, é amorfa, translúcida e sólida. Como a mesma pode ser obtida de várias fontes diferentes, o seu peso molecular varia de acordo com sua matéria prima. Possui viscosidade e graus de desacetilação entre 40% e 98% e também propriedades mucoadesivas, sendo atóxico, hidrofóbica e biodegradável (Kaur *et al.*, 2020).

Apesar de também haver a possibilidade de utilizar outros biopolissacarídeos no processo de floculação, a Quitosana apresenta vantagens frente a estes materiais como, por exemplo, sua estrutura hemica que permite modificações exclusivas para projetar polímeros para aplicações específicas e selecionadas (Klímová *et al.*, 2008). Além disso, a Quitosana também apresenta, na sua estrutura molecular, muitas hidroxilas e grupamentos aminos. Estes contêm um par de elétrons desemparelhados, oferecendo o carregamento de íons metálicos por ligações eletrônicas (Zeng *et al.*, 2008).

Sabendo-se desses grupamentos ativos, os radicais amino da molécula podem ser protonados com íons H^+ em água, transformando-os em um polieletrólito catiônico, fazendo então com que a Quitosana possa ser utilizada para a remoção de vários íons metálicos da água, como o Al^{3+} , Zn^{2+} , Cr^{3+} , Hg^{2+} , Ag^+ , Pb^{2+} , Ca^{2+} , Cu^{2+} e Cd^{2+} e etc. (Pesic *et al.*, 1994; Zeng *et al.*, 2008)

Com essa protonação, a ligação entre os grupos funcionais da Quitosana e os íons metálicos do meio se assemelha ao processo de biossorção, um processo de adsorção de elementos potencialmente tóxicos por uma substância orgânica, que pode ocorrer por diferentes reações, como a de complexação, atração eletrostática, microprecipitação e troca iônica. Independente do processo que ocorra, a formação dos complexos entre a Quitosana e os íons metálicos durante o processo de adsorção pode ser desenvolvido de duas maneiras: pelo modelo de cume, onde os íons metálicos estão ligados a vários grupos amino da mesma cadeia ou de cadeias diferentes por meio de reações inter ou intramoleculares complexas; ou o modelo final,

onde íons metálicos estão ligados a grupos amino de forma suspensa (Klímová *et al.*, 2008).

Ademais, a Quitosana é uma base fraca e insolúvel em água e solventes orgânicos. No entanto, é solúvel em soluções aquosas ácidas onde, à medida que o valor do pH aumenta, o grau de rotação dos grupos funcionais diminui, influenciando o processo de formação de ligações complexas de ordenação entre os íons metálicos e grupos funcionais (Bina *et al.*, 2009; Klímová *et al.*, 2008).

Com relação a sua solubilidade em água, os floculantes à base de Quitosana, em condições alcalinas médias, tem o seu tempo de dissolução longo, precisando de uma alta dosagem (Wei *et al.*, 2018). Para melhorar sua estabilidade, a Quitosana pode ser modificada para que possa aumentar a sua capacidade de degradação em ácidos fortes e melhorar a sua capacidade quelante e sua taxa de remoção de íons de elementos potencialmente tóxicos assim, sua estabilidade química e seu desempenho da floculação podem ser otimizados (Liu *et al.*, 2018; Xiao *et al.*, 2021; W. Zhang *et al.*, 2014).

5.8 - Auxiliares de coagulação:

Estudos mostram que, ao combinar a Quitosana com o policloreto de alumínio, o processo de floculação é significativamente melhorado. Isso pois, para atingir o objetivo final do processo, a Quitosana atua como um auxiliar de coagulação, onde é possível observar que a quantidade de PAC usualmente utilizada é diminuída pela metade. Isso acarreta na diminuição eficaz da formação de íons residuais de alumínio no processo, reduzindo-os em 85% e também na redução dos gastos, em torno de 7% a 34%, quando comparado com o processamento com o PAC puro (Defang & Jizu, 2004; Ruhsing Pan *et al.*, 1999). Além desta diminuição, também é observado um aumento na eficiência de floculação em 97%, melhorando o tempo de processamento e a taxa de floculação. Além disso, também é observado a formação de flocos mais densos e a diminuição da turbidez (Zemmouri *et al.*, 2013).

Com isso, a adição de Quitosana no processo de floculação convencional, apesar de não ser tão ecologicamente correto como utilizar somente a Quitosana como floculante, o uso da mesma como auxiliar de floculante reduz os impactos

ambientais em níveis significativos, o que poderia ser um bom começo para a adoção de práticas sustentáveis no meio industrial visto seu potencial como um agente floculante.

5.9 - Quitosana como floculante sustentável:

Segundo Liu *et al*, 2018, a aplicação da Quitosana nos sistemas de floculação demonstra que o polímero auxilia tanto na floculação e na coagulação de partículas, quanto no aumento da taxa de sedimentação e redução do tempo do processo, utilizando uma quantidade menor dos floculantes naturais. Isso mostra que, ao utilizar a Quitosana no processo, a poluição ambiental resultante do processo é reduzida consideravelmente.

Considerada com um importante e eficaz floculante por Zeng Defang e Yuan Jizu (2004) a Quitosana destaca-se por sua capacidade de reduzir a concentração de alguns íons metálicos da água, dentre eles, o íon alumínio. Além disso, esse polímero demonstra ser benéfico para a biota aquática pois é atóxico e de origem natural. Vale ressaltar também que, além dos benefícios, a Quitosana não oferece mal para a saúde humana como os floculantes sintéticos, o que a torna uma escolha segura e sustentável.

7 – CONCLUSÃO

A análise abrangente do termo "Quitosana" evidenciou a sua versatilidade e potencial significativo em diversas aplicações, destacando-se dentre os seus muitos usos, sua utilização como um floculante natural, tornando promissor o seu uso para a purificação de águas e efluentes de maneira sustentável e ecologicamente correta.

Outro aspecto relevante a ser considerado é a atoxicidade da Quitosana. Sua natureza inócua traz à Quitosana vantagens significativas, especialmente em comparação com outros agentes floculantes convencionais. Essa característica amplia ainda mais o seu potencial de aplicação em processos de tratamento de água, minimizando preocupações ambientais e de saúde pública.

Com a análise dos gráficos gerados pela plataforma Scopus, pôde-se constatar que a utilização da Quitosana é de interesse global, evidenciado pelo envolvimento de pesquisadores de diversos países, nas suas mais variadas áreas de atuação. Além disso, os gráficos gerados oferecem uma visão abrangente da disseminação da pesquisa sobre Quitosana, indicando seu destaque em investigações científicas ao redor do mundo.

Ademais, a análise de nuvens de palavras permitiu visualizar a amplitude de usos e contextos associados à Quitosana, consolidando a compreensão de sua aplicabilidade diversificada, destacando não apenas o interesse contínuo na pesquisa sobre Quitosana, mas também reforçando sua importância como um recurso promissor em diferentes campos de aplicações.

Diante disso, é evidente que a Quitosana representa um tema de pesquisa relevante e em constante expansão, oferecendo oportunidades significativas para inovação e desenvolvimento em diversas áreas científicas e industriais. Este trabalho contribui para o entendimento mais aprofundado das potencialidades da Quitosana, incentivando futuras investigações e aplicações práticas desse composto versátil e promissor.

8 – REFERÊNCIAS:

BINA, B., *et al.* Effectiveness of chitosan as natural coagulant aid in treating turbid waters. **Iranian Journal of Environmental, Health, Science and Engineering**, n. 6(4), p. 247-252, feb. 2009.

HAUFE, S. *et al.* Vergleich von herkömmlichen und reacctylierten Chitosanen hinsichtlich ihrer Flockungseigenschaften. **Chemie Ingenieur Technik**, v. 90, n. 3, p. 324–332, 22 jan. 2018.

KAUR, L. *et al.* Development of chitosan-catechol conjugates as mucoadhesive polymer: assessment of acute oral toxicity in mice. **Environmental Analysis Health and Toxicology**, v. 35, n. 3, p. e2020014, 21, aug. 2020.

KLIMOVÁ, Z., *et al.* Application of chitosan for water treatment. **Chemicke Listy**, v. 29, p. 209-228, jan. 2017

LI, X. *et al.* Optimized preparation and performance evaluation of a bifunctional chitosan-modified flocculant. **RSC Advances**, v. 12, n. 32, p. 20857–20865, 1 jan. 2022.

PAN, J. *et al.* Evaluation of a modified chitosan biopolymer for coagulation of colloidal particles. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 147, n. 3, p. 359–364, 1 fev. 1999.

RANA, M. S. *et al.* Removal of Heavy Metal from Contaminated Water by Biopolymer Crab Shell Chitosan. **Journal of Applied Sciences**, v. 9, n. 15, p. 2762–2769, 15 jul. 2009.

SUN, Y. *et al.* Flocculation activity and evaluation of chitosan-based flocculant CMCTS-g-P(AM-CA) for heavy metal removal. **Separation and Purification Technology**, v. 241, p. 116737–116737, 1 jun. 2020.

ULRIKH, E.; БАРКОВА, А. С. Использование флокулянтов для очистки сточных вод. **Трансформация экосистем**, n. 1(19), p. 72–91, 15 mar. 2023.

WEN, Z. *et al.* Preparation of Biological Flocculant and Its Application in Environment Research. **Asian Journal of Chemistry**, v. 26, n. 10, p. 2965–2970, 1 jan. 2014.

XIAO, X. *et al.* Heavy metal removal from aqueous solutions by chitosan-based magnetic composite flocculants. **Journal of Environmental Sciences**, v. 108, p. 22–32, 1 oct. 2021.

YOU, L. *et al.* Fabrication of a cationic polysaccharide for high performance flocculation. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 520, p. 841–849, may. 2017.

YOU, L. *et al.* Preparation and flocculation properties of cationic starch/chitosan crosslinking-copolymer. **Journal of Hazardous Materials**, v. 172, n. 1, p. 38–45, dez. 2009.

YU, X.; FU, Y. Progress in Research and Application of Natural Polymer Coagulants. **E3S Web of Conferences**, v. 143, p. 02042, 2020.

ZEMMOURI, H. *et al.* Chitosan Application for Treatment of Beni-Amrane's Water Dam. **Energy Procedia**, v. 36, p. 558–564, 2013.

ZENG, D.; WU, J.; KENNEDY, J. F. Application of a chitosan flocculant to water treatment. **Carbohydrate Polymers**, v. 71, n. 1, p. 135–139, 5 jan. 2008.

ZENG, D.; YUAN JIZU. Preparation and application of a new composite chitosan flocculant. **International Journal of Environment and Pollution**, v. 21, n. 5, p. 417–417, 1 jan. 2004.

ZHANG, Y.; JIN, H.; HE, P. Synthesis and flocculation characteristics of chitosan and its grafted polyacrylamide. **Advances in Polymer Technology**, v. 31, n. 4, p. 292–297, 31 oct. 2011.

ZHU, H. *et al.* Preparation of chitosan-based flocculant for high density waste drilling mud solid-liquid separation. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 125, n. 4, p. 2646–2651, 29 jan. 2012.

9- APÊNDICE

Siga este link para acessar ao arquivo contendo o banco de dados completo.

