



UFC

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
CURSO DE OCEANOGRAFIA**

DÉBORA DA SILVA GORDIANO

**COMO OS MICROPLÁSTICOS AFETAM O FITOPLÂNCTON
MARINHO E A PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA DOS OCEANOS? - UMA
REVISÃO SISTEMÁTICA**

FORTALEZA

2022

DÉBORA DA SILVA GORDIANO

**COMO OS MICROPLÁSTICOS AFETAM O FITOPLÂNCTON MARINHO E A
PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA DOS OCEANOS? - UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares.

Coorientadora: Dra. Tallita Cruz Lopes Tavares.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G669c Gordiano, Débora da Silva.
COMO OS MICROPLÁSTICOS AFETAM O FITOPLÂNCTON MARINHO E A
PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA DOS OCEANOS? - UMA REVISÃO SISTEMÁTICA / Débora
da Silva Gordiano. – 2022.
52 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto
de Ciências do Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares.

Coorientação: Profa. Dra. Tallita Cruz Lopes Tavares.

1. Poluição plástica. 2. Revisão literária. 3. Produção primária. I. Título.

CDD 551.46

DÉBORA DA SILVA GORDIANO

**COMO OS MICROPLÁSTICOS AFETAM O FITOPLÂNCTON MARINHO E A
PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA DOS OCEANOS? - UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Oceanografia do
Instituto de Ciências do Mar da
Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharelado em Oceanografia.

Aprovada em: 16/12/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Tatiane Martins Garcia
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Mestre Pedro Henrique Gomes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A todos aqueles que não puderam estar aqui fisicamente, mas estão presentes em meu coração.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará (UFC), pela oportunidade de me formar nesta graduação que é meu sonho desde minha adolescência.

Ao Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares pela excelente orientação e por todo o conhecimento compartilhado ao longo dos anos.

À Dra. Tallita Cruz Lopes Tavares por toda a paciência, os auxílios, pelas conversas, direcionamentos e palavras. Muito obrigada!

À Dra. Tatiane Martins Garcia e ao Mestre Pedro Henrique Gomes por terem feito parte da banca, lido meu trabalho de conclusão de curso e pelas ótimas sugestões que fizeram engrandecer o trabalho.

Ao Programa de Educação Tutorial (PET) Oceanografia e às pessoas que o fazem. Com elas pude desenvolver um lado profissional muito importante para minha carreira, além de todo o carinho, aprendizado e oportunidades que tive a partir da minha passagem por lá.

Aos professores e demais servidores do LABOMAR/UFC, por todo o conhecimento repassado e compartilhado.

À minha família e meu pai Demócrito Filho, que sempre me ensinaram que a educação era o caminho para uma vida melhor, orientando a buscar pelos meus objetivos, mas em especial à minha mãe, Diana, que sempre foi minha amiga, companheira, cuidou de mim e respeitou meu tempo, além de me abençoar com seus melhores conselhos. Amo-os!

Ao Raynan, meu amor, que esteve comigo em todos os momentos bons e ruins ao longo desses anos, sempre querendo meu bem e me ajudando com seu companheirismo nesta caminhada linda que temos. À você, que o futuro seja nosso!

Aos meus amigos do curso de Oceanografia, 2017.1 a melhor turma de todas, pelos momentos inesquecíveis nas aulas de campos, as reuniões para estudar para as provas, as conversas e bons momentos no centro acadêmico, agradeço por todo o acolhimento, amizade e carinho, em especial ao Caio, Hélio, Dávila, Camille, Thays, Felipe e Duda. À vocês, desejo toda a sorte e sucesso do mundo!

À minhas queridas amigas Mariana e Letícia. Com vocês os anos se passaram rápido e mais leves e tudo o que ficou foram as lembranças de tempos bons que teriam sido terríveis se eu não tivesse vocês comigo. Agradeço muito,

demais, por tudo o que passamos e pelas pessoas que nos tornamos. Tenho orgulho de nós!

Aos meus amigos de fora da universidade que ao longo desses anos me ajudaram e apoiaram e a todos que de alguma forma me auxiliaram direta ou indiretamente nesta caminhada.

À vida, que ela possa ser boa e feliz!

Muito obrigada!

"Tudo tem que acabar eventualmente.
Senão, nada poderia começar."

(Doctor Who)

RESUMO

Os microplásticos são um tipo de resíduos sólidos não solúveis em água e têm esse nome devido ao seu tamanho menor que 5 milímetros e maior que 1 micrômetro. Eles podem chegar ao ambiente de duas formas: sendo formados a partir da degradação de macrolásticos ou já liberados como partículas pequenas. Por causa do seu tamanho, os microplásticos atingem diretamente pequenos animais que podem ingerir estes fragmentos, inserindo-os na cadeia trófica. Já para os organismos do fitoplâncton, esse material pode agir de forma negativa, pois libera na água substâncias tóxicas que podem causar impactos negativos aos mesmos. Por isso, realizar uma revisão sistemática da literatura sobre este tema irá proporcionar um direcionamento para onde é preciso realizar novos ou mais estudos e sobre o que se está pesquisando sobre o tema, além de reunir em um só documento diversas fontes literárias sobre o assunto. Para realização do trabalho de revisão sistemática foram necessárias algumas etapas, sendo (1) estabelecer a pergunta título, (2) definição de algumas palavras chave para compor o termo de busca para identificação dos trabalhos, (3) determinar um protocolo com perguntas que vão direcionar a pesquisa, como: *qual o efeito dos microplásticos sobre a produtividade primária oceânica?*; *Qual é o principal efeito dos microplásticos sobre o fitoplâncton?*; (4) buscar por trabalhos que tenham relação com o tema pesquisado em bases de dados específicas e fazer a curadoria com relação à repetição dos mesmos que possam estar presentes em plataformas de busca diferentes; e (5) leitura dos trabalhos e a retirada dos dados a fim de os analisar através de gráficos, tabelas e figuras procurando responder às perguntas propostas. Assim, a partir dessa análise sistemática da literatura, foi possível observar que os microplásticos podem afetar de forma física ou química o fitoplâncton de forma negativa inibindo o crescimento, aumentando a mortalidade, entre outros, além de ser maléfico para a produtividade primária, pois acaba reduzindo-a. Por demais, foi possível avaliar as lacunas a serem preenchidas no tema no que diz respeito a efeitos fisiológicos, observar as tendências de localização dos estudos e apontar novos avanços que devem ser feitos, além dos principais veículos de disseminação do conhecimento e se há possíveis direcionamentos novos que ainda não foram estudados visando almejar as linhas do conhecimento. Considerando o papel do fitoplâncton para a produtividade primária global e em contrabalancear os gases do efeito estufa, esse

trabalho contribui para os avanços ligados à Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável com foco para o objetivo 14 da Agenda 2030, Vida na água.

Palavras chave: Poluição plástica; Revisão literária; Produção primária.

ABSTRACT

Microplastics are a type of solid waste not soluble in water and named after their size smaller than 5 millimeters and larger than 1 micrometer. They can reach the environment in two ways: being formed from the degradation of macroplastics or released as small particles. Because of their size, microplastics directly affect small animals that can ingest these fragments, inserting them into the trophic chain. As for phytoplankton organisms, this material can act negatively, as it releases toxic substances into the water that can cause negative impacts on them. Therefore, carrying out a systematic review of the literature on this subject will provide a direction for where new or more studies need to be carried out and what is being researched on the subject, in addition to bringing together in a single document several literary sources on the subject. In order to carry out the systematic review work, some steps were necessary, being (1) establishing the title question, (2) defining some keywords to compose the search term for the identification of the works, (3) determining a protocol with questions that will direct research, such as: what is the effect of microplastics on oceanic primary productivity?; What is the main effect of microplastics on phytoplankton?; (4) search for works that are related to the topic researched in specific databases and curate with regard to repetition of the same that may be present in different search platforms; and (5) reading the works and extracting the data in order to analyze them through graphs, tables and figures, trying to answer the proposed questions. Thus, from this systematic analysis of the literature, it was possible to observe that microplastics can physically or chemically affect phytoplankton in a negative way, inhibiting growth, increasing mortality, among others, in addition to being harmful to primary productivity, as it ends up reducing it. In addition, it was possible to assess the gaps to be filled in the subject with regard to physiological effects, observe trends in the location of studies and point out new advances that must be made, in addition to the main vehicles for disseminating knowledge and if there are possible directions new ones that have not yet been studied in order to target the lines of knowledge. Considering the role of phytoplankton for global primary productivity and in counteracting greenhouse gasses, this work contributes to the advances in the Decade of Ocean Science for Sustainable Development with a focus on goal 14 of 2030 Agenda, Life below water.

Keywords: plastic pollution, literature review, primary production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Imagem comparativa ilustrando a dimensão máxima dos microplásticos em uma régua de 2 centímetros	19
Figura 2	- Esquema ilustrando as etapas da metodologia desta revisão (<i>flow diagram</i>)	22
Figura 3	- Esquema gráfico da etapa de separação e escolha dos trabalhos na metodologia	24
Figura 4	- Mapa do mundo indicando os países que tiveram trabalhos publicados para esta revisão	31
Figura 5	- Representação do processo de biomagnificação	33
Figura 6	- Efeitos tóxicos que os microplásticos podem causar ao fitoplâncton	34
Figura 7	- Consequências da agregação dos microplásticos na comunidade fitoplanctônica	35

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	- Esquema mostrando a porcentagem das etapas de remoção de trabalhos duplicados, trabalhos incluídos e excluídos	25
Gráfico 2	- Quantidade de trabalhos analisados na temática de “fitoplâncton, produção primária e microplástico” por ano de publicação, com observação, no texto, para o ano de 2022	28
Gráfico 3	- Países em que foram produzidos os trabalhos	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Perguntas iniciais do protocolo da metodologia	23
-----------------------------------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

As	Arsênio
Pb	Chumbo
Cd	Cádmio
Cu	Cobre
Cr	Crômio
PP	Polipropileno
PE	Polietileno
PS	Poliestireno
PES	Poliéster
PA	Poliamida

LISTA DE SÍMBOLOS

- μ Micrómetro
- % Porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	OBJETIVO.....	21
2.1	Geral	21
2.2	Específico	21
3	METODOLOGIA	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	Análise dos períodos	27
4.2	Análise dos países	29
4.3	Trabalhos analisados	32
4.4	Relação Fitoplâncton X Microplástico	32
4.5	Relação Produtividade Primária X Microplástico	35
5	CONCLUSÃO	36
	REFERÊNCIAS	37
	APÊNDICE A	45

1 INTRODUÇÃO

O plástico como conhecemos foi produzido por volta de 1907 pelo pioneiro Leo Hendrik Baekeland, sendo a primeira resina totalmente sintética, a baquelite. Desde então, diversos tipos de plásticos surgiram e vêm sendo uns dos materiais mais utilizados para a produção de objetos diversos, como revestimento de dispositivos telefônicos, brinquedos e utensílios domésticos, dentre outros, muito em decorrência do seu baixo custo de produção e comercialização, bem como pelo seu alto tempo de permanência, por serem leves, maleáveis e altamente duráveis. Essas qualidades do plástico são justamente os motivos pelos quais ele é tão prejudicial para o meio ambiente (The Story of Plastic, 2019). Devido ao plástico ser um material tão propagado e difundido, sua má gestão e baixa reciclagem implica em um descarte inadequado, o que gera uma deposição deste material ao acaso nos mais distintos ecossistemas, causando um impacto negativo ao meio ambiente.

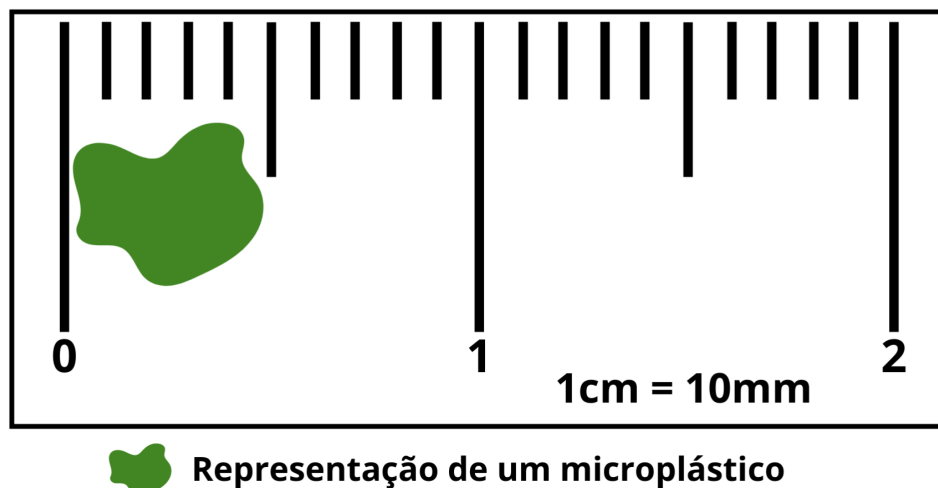
Alguns tipos de resinas sintéticas que se pode encontrar e que são os tipos de plásticos mais usados para produções são o Polipropileno (PP), o Polietileno (PE) e o Poliestireno (PS), Poliéster (PES), Poliamida (PA) (LEONI, 2021). Estas resinas, também conhecidas como polímeros, são derivadas de elementos do gás natural e do petróleo.

A poluição marinha pode ser ocasionada de diversas formas, sendo a mais preocupante nas últimas décadas a ocasionada pelo plástico e, mais alarmante ainda, a pelos microplásticos, pois, além de terem um alto tempo de permanência no meio, a sua coleta e extração do meio é difícil em virtude do seu tamanho reduzido. Os primeiros estudos sobre os microplásticos na coluna d'água foram feitos na década de 1970 (CAUWENBERGHE *et al.*, 2015), enquanto que os primeiros estudos da relação dos microplásticos com o fitoplâncton só foram ocorrer cerca de 40 anos depois, na década de 2010.

Os microplásticos recebem essa denominação devido ao seu tamanho menor do que 5 mm (cinco milímetros) (ZHU *et al.*, 2019) (Figura 1), podendo também ser conceituado pelo tamanho entre 1 µm a 5 mm (MONTAGNER *et al.*, 2021). Estes poluentes são um tipo de resíduo sólido não solúvel em água que também podem ser classificados de duas formas, a depender de como são originados, podendo ser: primários ou secundários. Os de origem primária são aqueles já produzidos e liberados no meio ambiente em forma de pequenas partículas, como em alguns cosméticos que os usam em sua composição, purpurinas e pastas de dentes, dentre

outros. Já os de origem secundária, são aqueles formados a partir do desgaste dos macrolásticos, como sacolas, fibras de roupas e garrafas, dentre outros, pelas intempéries ambientais, como a luz, os ventos, a ação mecânica das ondas, o calor, dentre outros, chegando, assim, ao tamanho entre 1 μm e 5 mm. Esse desgaste, além de degradar o plástico, também é responsável por causar outros impactos, como a liberação de gases do efeito estufa, o que pode contribuir de forma efetiva para as mudanças climáticas (The Story of Plastic, 2019).

Figura 1 - Imagem comparativa ilustrando a dimensão máxima dos microplásticos em uma régua de 2 centímetros.



Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Os microplásticos podem afetar diversos organismos como os peixes, os moluscos, os crustáceos, os zooplânctons, entre outros seres marinhos, que acabam o ingerindo e o adentrando nas cadeias alimentares (RIBEIRO *et al.*, 2022). Devido ao seu tamanho, os seres que também sofrem diretamente com os microplásticos são os seres microplânctônicos (entre 20 e 200 μm). Em especial, para esse estudo, os organismos fitoplânctônicos, pois estes acabam sofrendo de diversas formas os males que esse material pode acarretar.

O fitoplâncton é composto por pequenos organismos presentes na coluna d'água, os quais se locomovem majoritariamente através dos movimentos das águas, estando à deriva, embora alguns apresentem flagelos que os possibilitam de

fazer pequenos deslocamentos adjacentes. Esses seres são bastante conhecidos devido a sua grande importância ecológica para os ecossistemas e para os fluxos de energia, em razão que eles são a base das cadeias alimentares estabelecido como o primeiro nível trófico, bem como da sua fundamental função fisiológico como produtores primários (SUTHERS *et al.*, 2008).

Dessa forma, entender os impactos que os microplásticos causam no fitoplanctônico é profundamente necessário para a conservação dos ecossistemas, além de ser preciso entender mais a fundo sobre esta relação entre o fitoplâncton e os microplásticos. Ademais, saber o que está sendo pesquisado pela comunidade científica sobre este tema a fim de determinar se há bons resultados ou, até mesmo, apontar lacunas no conhecimento que requerem mais pesquisas, bem como também responder as perguntas chaves que vão direcionar o que não está sendo tão bem explorado, almejando, assim, cada vez mais o conhecimento adquirido de qualidade e voltado para a solução de problemas sobre esta relação.

2 OBJETIVO

2.1 Geral

Este trabalho visa realizar uma revisão sistemática da literatura científica reunindo informações sobre a relação entre o fitoplâncton marinho e os microplásticos a fim de conhecer os estudos que estão sendo realizados nesta área para não apenas fazer uma revisão do conhecimento produzido, mas também fazer uma análise crítica sobre o volume de produção, principais efeitos observados, direcionamento das pesquisas e assim, determinar os rumos que a área de pesquisa vem tomando e identificar as lacunas no conhecimento desse tema.

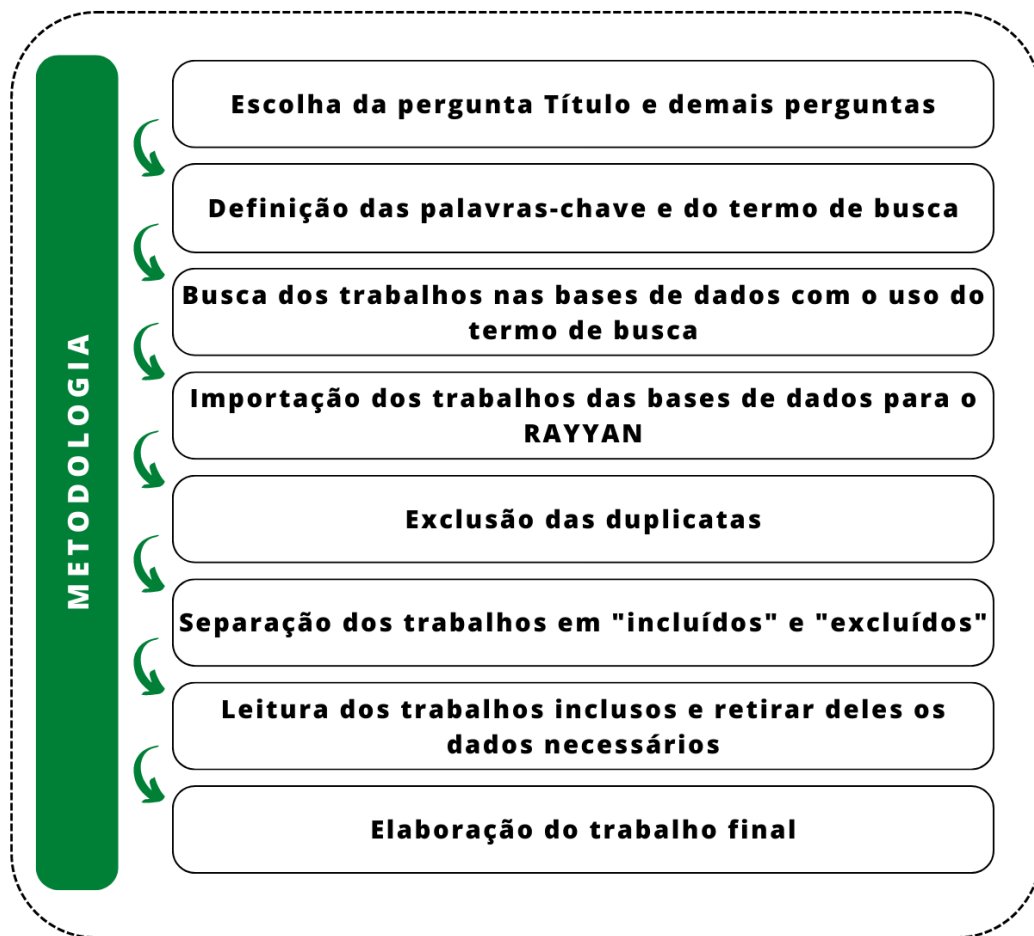
2.2 Específicos

- Reunir trabalhos diversos sobre o tema a fim de estudar os dados e traçar uma ideia sobre a relevância dos resultados;
- Determinar novos temas que possam vir a ser estudados visando otimizar o conhecimento desta área e preencher certas lacunas que possam estar acontecendo;
- Verificar e explicitar a relação que há entre o fitoplâncton e os microplásticos e o porquê que estudar esta relação é tão relevante para a pesquisa oceanográfica;
- Reunir em um só local, trabalhos sobre o tema visando facilitar a busca de futuros pesquisadores, reduzindo os esforços nessa tarefa de busca que pode ser bem lenta e trabalhosa;
- Identificar os locais no mundo onde estão sendo produzidos estes trabalhos;
- Identificar os períodos em que estes trabalhos foram feitos;
- Entender como os microplásticos afetam o fitoplâncton marinho e se há efeito sobre a produtividade primária dos oceanos.

3 METODOLOGIA

Revisões sistemáticas são um método de pesquisa utilizada em diversas áreas e que visa reunir informações sobre um determinado assunto a partir da sequência de protocolos específicos. Essas revisões podem ter diversas metodologias, mas a usada neste trabalho foi a *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA, 2015). Essa metodologia traz uma lista de sequências que devem estar presentes em um estudo de revisão sistemática, o chamado PRISMA *flow diagram* (GALVÃO, 2019) (Figura 2).

Figura 2 - Esquema ilustrando as etapas da metodologia desta revisão (*flow diagram*).



Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

A sequência de protocolos usada para a metodologia neste trabalho foi inicialmente determinar a pergunta título e também as perguntas norteadoras (Tabela 1), bem como investigar a quantidade de revisões sobre o assunto. Em seguida, foram estabelecidas as palavras-chaves e termos de busca do tema a partir dos componentes dessas perguntas utilizando-se de uma busca booleana, que é um tipo de pesquisa que utiliza os operadores conectores AND, OR e NOT (palavras encurtadoras para definir uma relação entre as palavras-chave, tornando a busca focalizada à um tema). Essa busca é uma forma muito útil para organizar uma pesquisa, utilizando das combinação das palavras-chave para adição, alternância ou negação. O termo usado nos sites de busca foi: ("*Microplastic*") AND ("*Phytoplankton*" OR "*Primary Productivity*"), utilizando de aspas para dar mais especificidade, além do uso dos parênteses para agrupar o termo. Assim, foi possível buscar os trabalhos que apresentarem as palavras “microplástico”, “fitoplâncton” e “produtividade primária” de forma condicionada, visando fazer um apanhado de trabalhos sobre o assunto. As bases de dados utilizadas foram: Springer Links, Scopus e Web of Science. Detalhes dos números de trabalhos encontrados, retirados e incluso no trabalho estão na figura 2.

Tabela 1 - Perguntas iniciais do protocolo da metodologia.

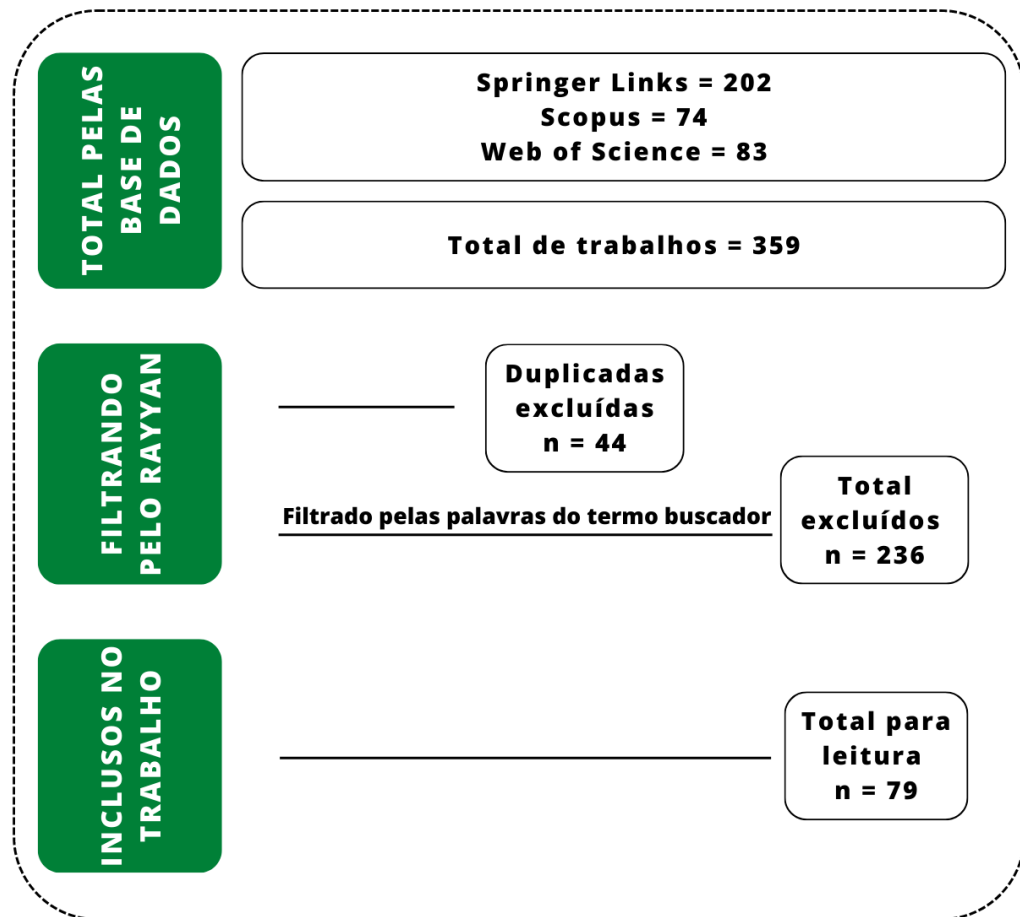
1	Existe uma relação entre o fitoplâncton e os microplásticos?
2	Esta relação é positiva ou negativa?
3	Há algum efeito sobre a produtividade primária dos oceanos?
4	Onde foram feitas essas pesquisas?
5	Quando foram feitas essas pesquisas?

Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Após definir os termos de busca, passou-se para a segunda etapa, onde foi feita a busca pelos trabalhos que tratassem sobre o assunto de forma bem conservadora. Nessa etapa, os resultados das buscas foram baixados das bases de dados em forma de planilhas e importadas para o programa RAYYAN, um gerenciador de referências, pois com isso foi mais prático e objetivo a escolha e separação dos trabalhos.

A próxima etapa foi detectar as duplicatas no programa, ou seja, os trabalhos que apresentaram mais de um exemplar e que vieram de, no mínimo, duas bases de dados diferentes, visando, assim, deixar apenas um volume de cada trabalho. Depois, houve a separação dos trabalhos entre "incluídos" ou "excluídos" a partir do rastreio pelas próprias palavras-chaves da primeira busca considerando os textos dos resumos dos trabalhos, e apenas os "incluídos" foram lidos (Figura 3).

Figura 3 - Esquema gráfico da etapa de separação e escolha dos trabalhos na metodologia.



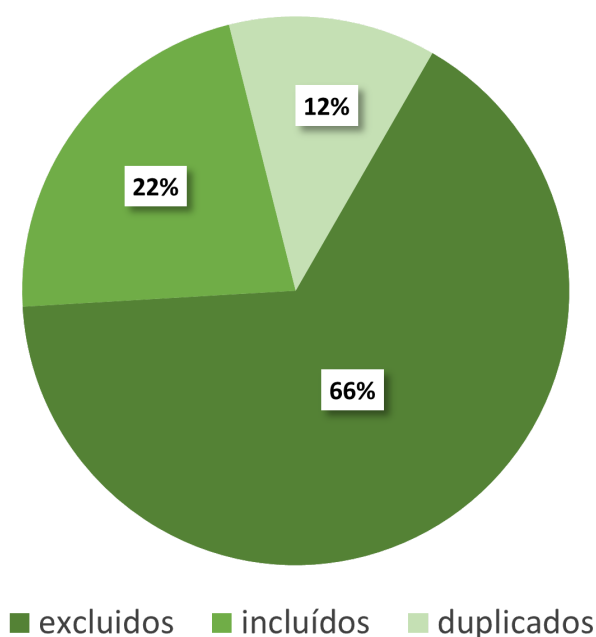
Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Em seguida, foi preciso ler e separar os dados presentes em cada trabalho utilizando-se de planilhas eletrônicas para catalogação e organização, visando sempre manter as etapas ordenadas com a finalidade de, em nenhum momento, houvesse desorganização dos dados, para que, assim, fosse mais prática e objetiva a escolha e separação dos trabalhos.

Os dados surgiram após o preenchimento da tabela 1, as quais foram respondidas a partir da retirada de informação ao longo da leitura dos trabalhos. Assim, gráficos foram criados com base na catalogação desses dados e os resultados foram analisados, seguido da discussão dos mesmos. Com isso, a pergunta e o tema norteador do trabalho foram interpretados e levados em consideração para a escrita do trabalho.

Um total de 359 trabalhos foram encontrados nas bases de dados e exportados para o gerenciador de referências RAYYAN. Após a retirada das 44 duplicadas, equivalente a 12% dos trabalhos, ficaram 315 trabalhos para serem separados entre "incluídos" ou "excluídos", onde se obteve 79 incluídos e 236 trabalhos excluídos, equivalente a 22% e 66%, respectivamente (Gráfico 1). A partir da leitura desses 79 trabalhos é que foram obtidos os resultados apresentados.

Gráfico 1 - Esquema mostrando a porcentagem das etapas de remoção de trabalhos duplicados, trabalhos incluídos e excluídos.



Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

A escolha para a exclusão dos 236 trabalhos se deu como consequência da leitura dos resumos e a posterior constatação de que os trabalhos não abordavam o tema tratado. Essa exclusão de 236 trabalhos ressalta a importância de determinar bons termos de busca, visando diminuir essa margem de trabalhos posteriormente excluídos. Além disso, a escrita de um bom título e também de boas palavras-chaves para que a procura nas bases de dados sejam mais assertivas. Uma forma que poderia ter sido refinado o termo de busca era a utilização das palavras "*production*" e "*ocean*" uma vez que poderia ter aumentado e refinado o alcance dos trabalhos.

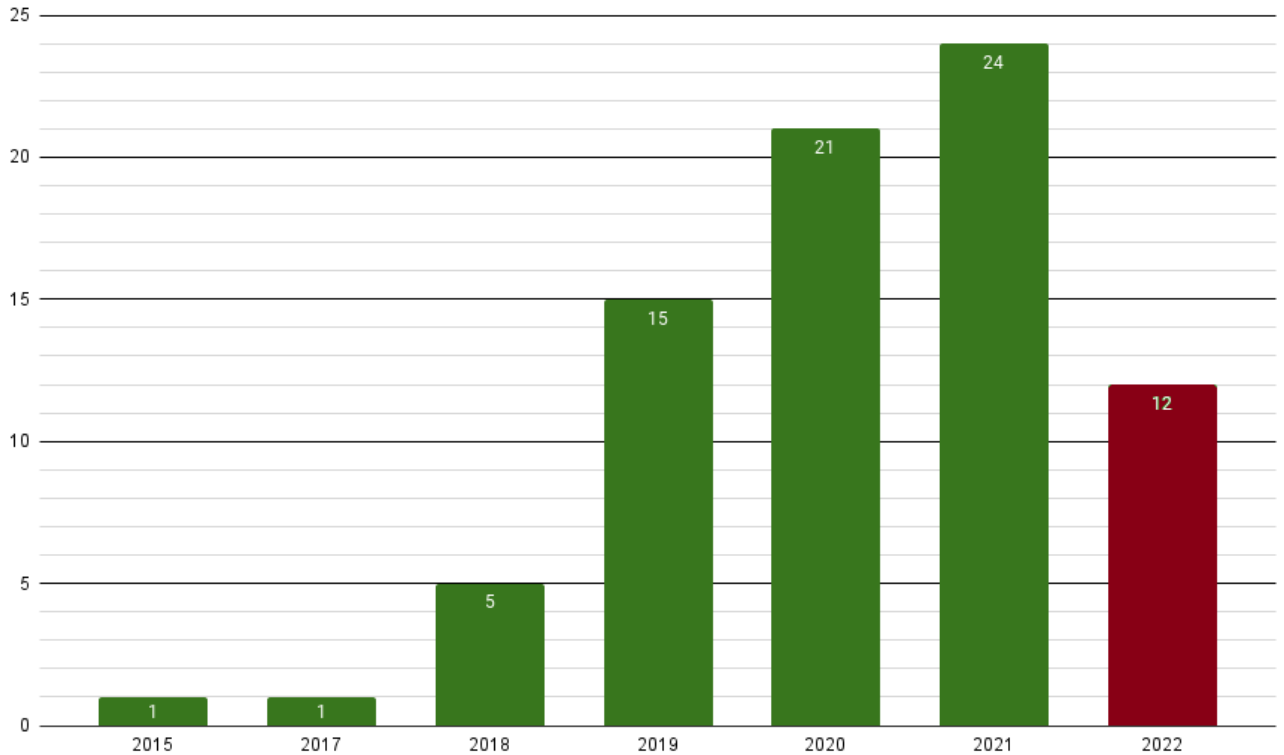
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As diferentes informações encontradas nos trabalhos foram sintetizadas e descritas separadas em cinco tópicos: “Análise dos períodos”, “Análise dos países”, “Trabalhos analisados”, “Relação Fitoplâncton X Microplástico” e “Relação Produtividade Primária X Microplástico”.

4.1 Análise dos períodos

Com relação aos anos em que os trabalhos encontrados foram feitos, houve dados de 2015 a 2022, exceto em 2016 que não houve trabalhos. Os anos de 2015 e 2017 apenas obtiveram 1 (um) trabalho em cada ano. Em 2018, obteve-se 5 (cinco) trabalhos, o que representa 5,75% do total analisado. Em 2019, o número de trabalhos encontrados aumentou consideravelmente para 15, o que representa 18,39%. Em 2020, encontrou-se 21 trabalhos, representando 25,29% do total. Já em 2021, foram 24 trabalhos, sendo 31,03% do todo e, por fim, 2022 tendo 12, o que equivale a 16,09% do total de trabalhos incluídos para esta revisão (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Quantidade de trabalhos analisados na temática de “fitoplâncton, produção primária e microplástico” por ano de publicação, com observação, no texto, para o ano de 2022.



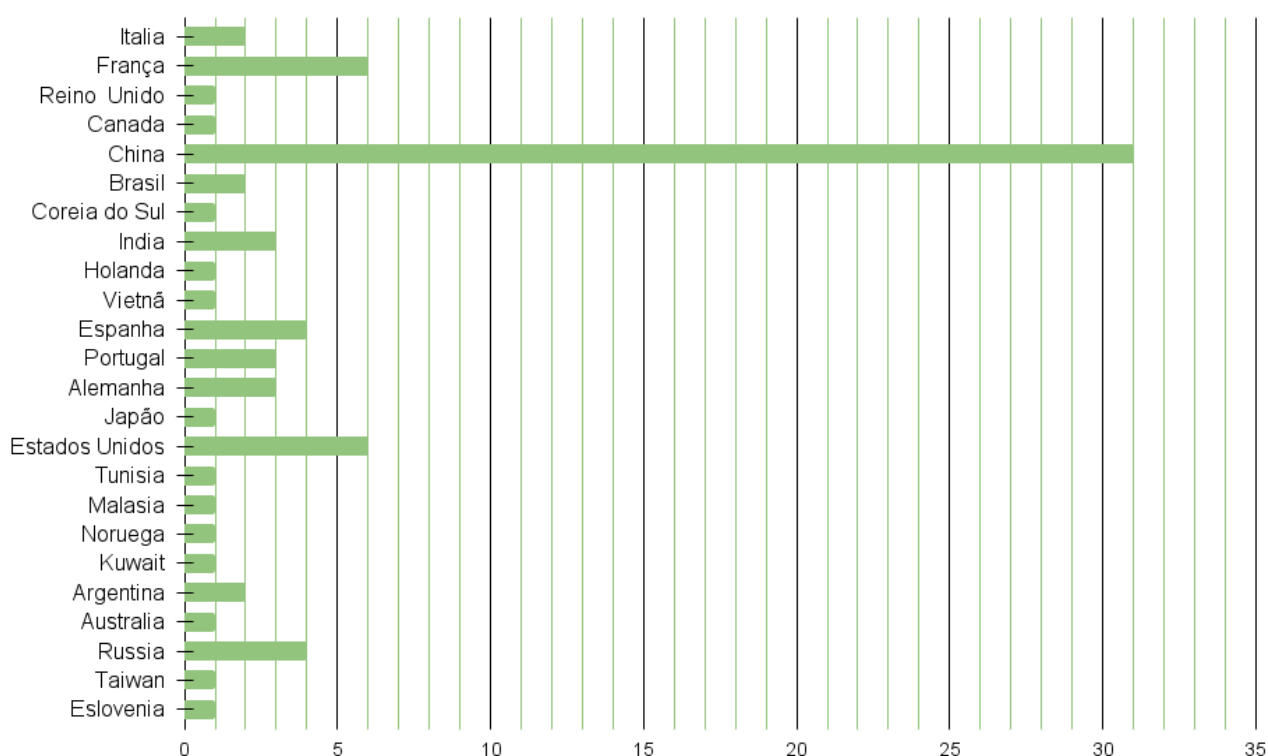
Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Assim, pode-se observar que o aumento dos trabalhos que investigam e tratam sobre essa relação e a influência dos microplásticos sobre o fitoplâncton marinho e a produtividade primária dos oceanos é relativamente recente, cerca de 7 anos para esta revisão. Com isso, entende-se o porquê de se ter poucos trabalhos publicados uma vez que este tema é recente e não tão bem explorado. Na verdade, entre o início do período com trabalhos (2015) e o pico destas publicações (2021), ocorreu um aumento de 2300%, o que aponta que o número destas pesquisas tendem a aumentar, indicando um crescimento de interesse pelo tema. Em 2022, entende-se que os resultados não mostraram esta mesma tendência de crescimento visto que só tiveram trabalhos publicados até abril deste ano, ou seja, o período em questão ainda está ocorrendo durante a produção deste trabalho.

4.2 Análise dos países

No que diz respeito aos locais no mundo onde estes trabalhos foram produzidos e publicados, foi identificado um total de 24 países para esta revisão, sendo, de forma descritiva, os países que tiveram apenas 1 (um) trabalho publicado: Reino Unido, Canadá, Coreia do Sul, Holanda, Vietnã, Japão, Tunísia, Malásia, Noruega, Kuwait, Austrália, Taiwan, e Eslovênia. Os que tiveram 2 (dois) trabalhos foram Brasil, Itália e Argentina. Os que tiveram 3 (três) foram Alemanha, Índia e Portugal. Os que tiveram 4 (quatro) foram apenas Espanha e Rússia. A França e os Estados Unidos tiveram 6 (seis) trabalhos, e, por fim, a China sendo o país que mais apresentou trabalhos publicados, tendo 31 (trinta e um) (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Países em que foram produzidos os trabalhos.

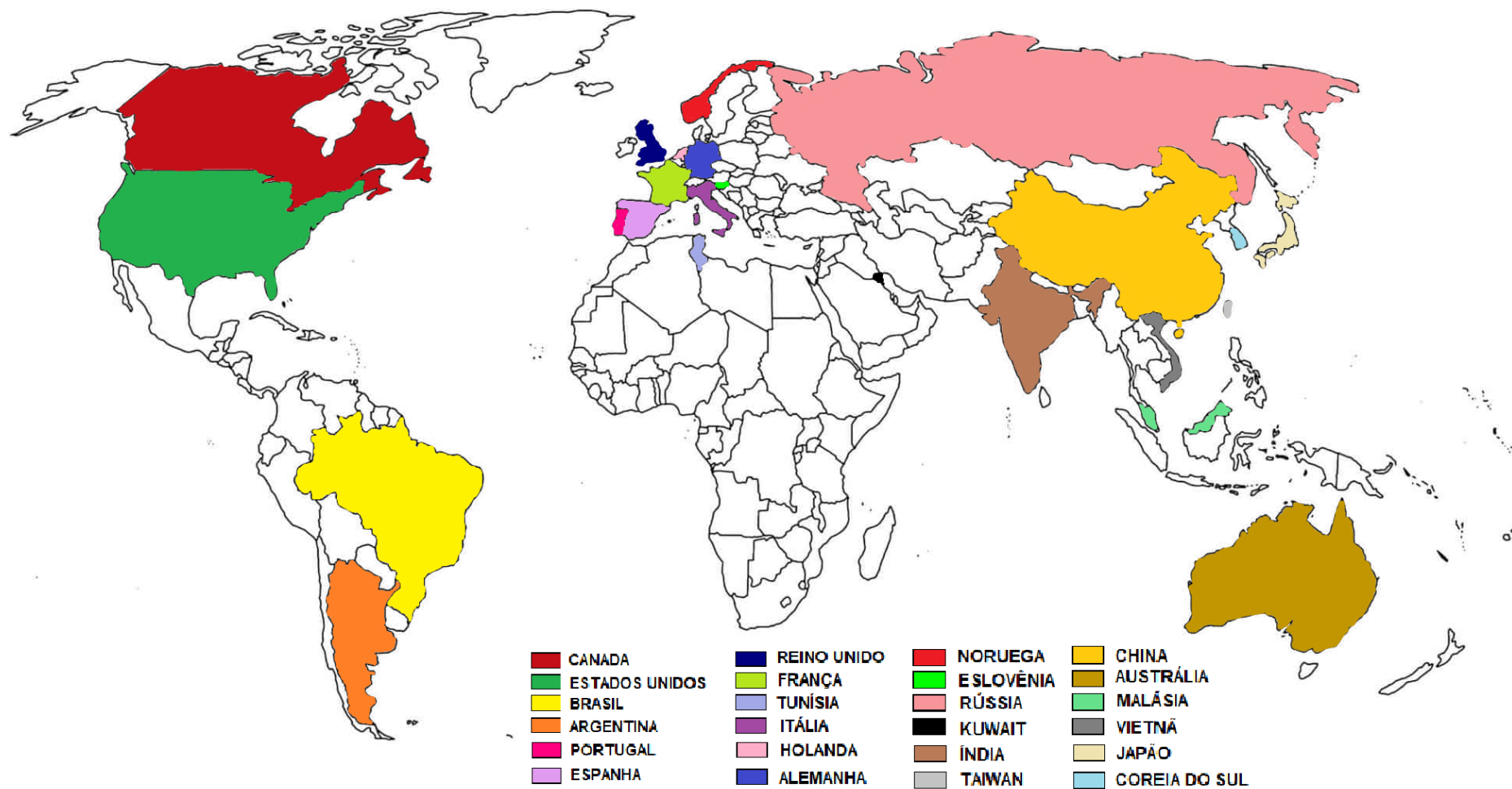


Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Com isso, pode-se inferir que os países que mais produziram trabalhos sobre o tema são países em sua maioria Europeus e Asiáticos, tendo apenas 11 trabalhos sendo produzidos no continente americano, embora desses 11, 6 foram dos Estados

Unidos e 1 do Canadá, ambos país desenvolvidos e do Hemisfério Norte. Assim, com esses resultados, pode-se observar uma lacuna no Hemisfério Sul visto que a maioria dos trabalhos foi produzida no Hemisfério Norte, mais precisamente Europa e Ásia (com enorme concentração na China). A baixa quantidade de trabalhos no Hemisfério Sul pode ser devido à falta de incentivos em pesquisa científica e educação dos países classificados como em desenvolvimento. Pode-se perceber que os oceanos Pacífico e Atlântico Norte foram os mais estudados, porém, ainda assim, tanto essas partes precisam ser melhor estudadas como precisa-se avançar para novas fronteiras geográficas a fim de se desenvolver e enriquecer o tema. Por exemplo, o Atlântico Sul e o Oceano Austral são grandes incógnitas no conhecimento e merecem ser melhor explorados para se entender a relação entre a origem e o destino dos microplásticos, assim como os efeitos sobre as cadeias tróficas como um todo.

Figura 4 - Mapa do mundo indicando os países que tiveram trabalhos publicados para esta revisão.



Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

4.3 Trabalhos analisados

Com o objetivo de reunir em um só local trabalhos que tratam sobre o assunto visando facilitar a busca de futuros pesquisadores sobre o tema, uma vez que a procura por esses trabalhos possa ser cansativa e trabalhosa, foi criada uma tabela (Apêndice A) contendo os títulos dos trabalhos e seus respectivos DOI, bem como suas referências no final do documento.

4.4 Relação Fitoplâncton X Microplástico

Acerca da relação entre o fitoplâncton e os microplásticos, após a leitura dos 79 trabalhos, observou-se que 100% dos trabalhos afirmam que há sim uma relação entre eles, mas que esta, no entanto, ocorre de forma negativa, uma vez que o fitoplâncton sofre algum tipo de prejuízo na presença dos microplásticos.

Estes prejuízos ocorrem principalmente através de efeitos tóxicos para o fitoplâncton devido ao fato deles apresentarem em suas composições substâncias químicas como, por exemplo, os plastificantes (LEONI, 2021), que se no ecossistema liberado e, quando em altas concentrações, resulta na inibição do crescimento e aumento da mortalidade do fitoplâncton (GAO *et al.*, 2020).

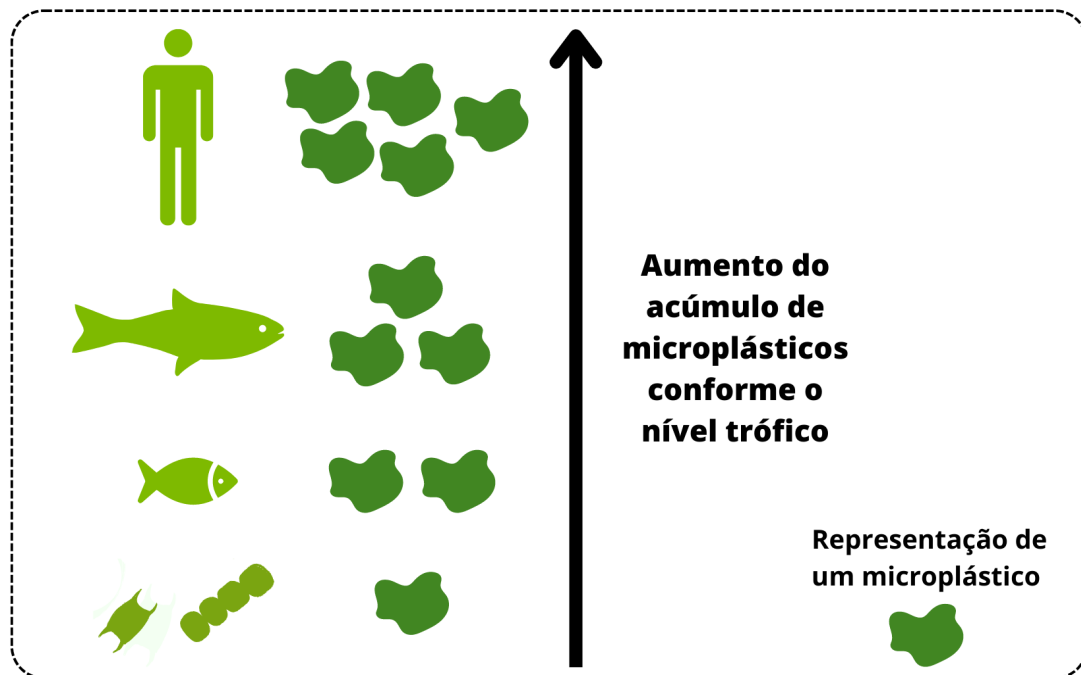
Os microplásticos podem também se associar a altas quantidades de produtos químicos e patógenos bacterianos advindos de, por exemplo, águas de lastro ou águas residuais, e acabam atuando como vetores em potenciais para o transporte no ambiente aquático (NAIK *et al.*, 2019). Além destes, podem também ser vetores para os metais pesados, como o arsênio (As), chumbo (Pb), cádmio (Cd), Cobre (Cu) e cromo (Cr) (VO, 2021) que chegam ao ecossistema por meio de, por exemplo, algumas tintas para pintar navios e píeres que os possam ter em suas composições.

Um outro efeito que pode ocorrer são as agregações de drogas farmacêuticas com os microplásticos, o que pode reduzir a concentração de clorofila e afetar a taxa de crescimento do fitoplâncton (GOSWAMI *et al.*, 2021). Tudo isso, além de afetar o fitoplâncton, pode também atingir, em algum momento, de forma negativa os seres humanos, sendo um possível sério risco à saúde.

Essa interação deve-se, em parte, em virtude das características de baixas polaridades e propriedades hidrofóbicas dos microplásticos. Com isso, as suas

agregações ao fitoplâncton, além de alterar a flutuabilidade, podem, também, carregar contaminantes para outras regiões da coluna d'água, havendo a possibilidade dessa agregação com os contaminantes potencializar o fenômeno de biomagnificação que consiste no acúmulo progressivo de substâncias de um nível trófico para outro (GUO *et al.*, 2019) (Figura 5).

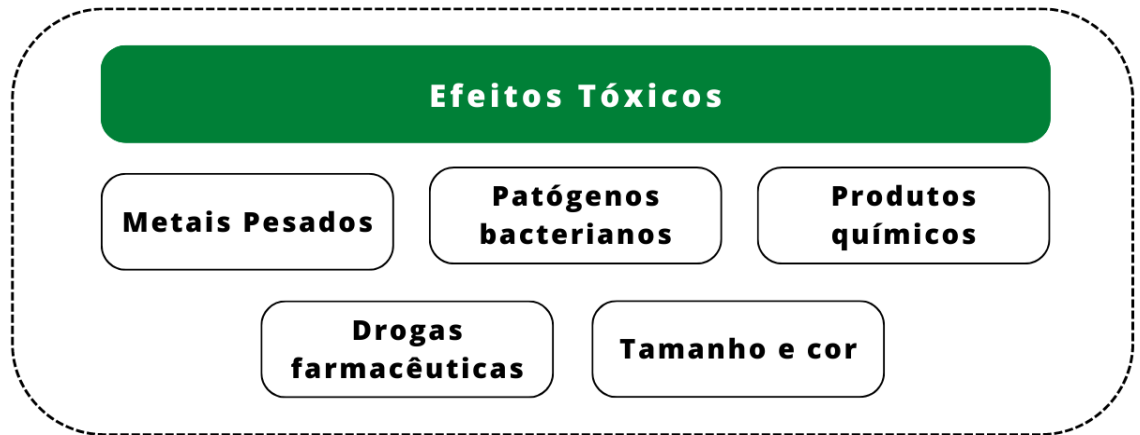
Figura 5 - Representação do processo de biomagnificação.



Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Por fim, as cores e os tamanhos dos microplásticos podem afetar para mais ou para menos os organismos. As cores branco e azul fluorescente inibem mais o crescimento do que os com cor apenas azul (SÁNCHEZ-FORTÚN *et al.*, 2021). O branco inibe devido a presença de etanol na sua composição. A cor que causa menor impacto é a verde, provavelmente pela semelhança com a cor do fitoplâncton (CHEN, 2020) (Figura 6).

Figura 6 - Efeitos tóxicos que os microplásticos podem causar ao fitoplâncton.



Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Além destes efeitos químicos, os microplásticos podem afetar o fitoplâncton de forma física. Isto deve-se a partir da agregação com a superfície do fitoplâncton, causando um obstáculo na sua flutuabilidade, fazendo com que haja uma modificação na sua densidade, ocorrendo uma precipitação mais rapidamente (GREEN, 2020). Isto é desfavorável em razão da necessidade que o fitoplâncton tem em permanecer na superfície da coluna d'água para conseguir realizar suas funções fisiológicas. Então, se este passa menos tempo em contato com a luz, também terá um decréscimo da produtividade primária da coluna d'água, desencadeando um desequilíbrio para a cadeia trófica e para o ecossistema em que o fitoplâncton está inserido.

Os microplásticos por serem hidrofóbicos e com baixa polaridade tendem a ter uma flutuabilidade positiva e a implicação disto é a formação de sombreamento, prevenindo que a luz solar adentre no meio (ZHANG *et al.*, 2020). Assim, quanto menor a entrada de luz na coluna d'água menor é o crescimento e sobrevivência das plantas submersas.

Um outro ponto sobre esta agregação, é que os microplásticos podem deslocar o fitoplâncton para outras regiões do oceano, podendo causar uma invasão de espécies e um desequilíbrio que não se sabe ao certo das consequências (MARQUES, 2020). Além disso, pode haver uma possível deposição, o que gera um acúmulo da agregação microplástico-fitoplâncton nos sedimentos marinhos (CUNHA *et al.*, 2019), podendo ocasionar um impacto negativo para os seres que necessitam

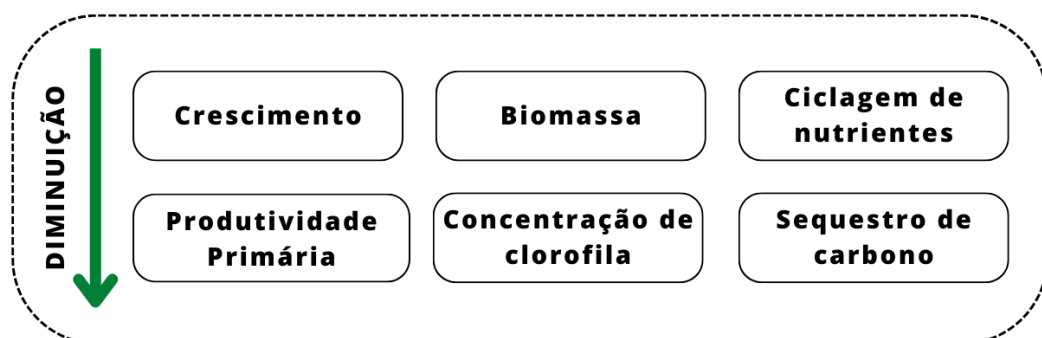
do substrato para viver de forma direta, como os seres bentônicos, ou indireta, como animais que se alimentam nestas regiões.

4.5 Relação Produtividade Primária X Microplástico

Para os efeitos sobre a produtividade primária, essa agregação reduz as chances do fitoplâncton interagir com a luz, levando, assim, a uma baixa produtividade. Ademais, as mudanças na distribuição vertical do fitoplâncton, além de ter um impacto ambiental, podem causar variações dos fluxos de energia, alterando a produtividade e, conseqüentemente, a cadeia alimentar (LEONI, 2021). Os microplásticos afetam a quantidade de organismos fitoplanctônicos a partir da inibição do crescimento ou com o aumento da mortalidade, fazendo com que haja uma diminuição da biomassa e da capacidade fotossintética.

Essa mudança na distribuição vertical ou horizontal do fitoplâncton pode impactar diretamente na ciclagem dos nutrientes na coluna d'água, sendo outra forma de desequilíbrio para a região afetada, e também no sequestro de carbono (RODRIGUES *et al.*, 2021), muito importante para os processos relacionados ao efeito estufa e às mudanças climáticas, uma vez que com essa diminuição da capacidade fotossintética levará a um menor sequestro de carbono na forma de dióxido de carbono da atmosfera, aumentando suas concentrações no meio e podendo contribuir com o aumento das mudanças climáticas (Figura 7).

Figura 7 - Conseqüências da agregação dos microplásticos na comunidade fitoplanctônica.



Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

5 CONCLUSÃO

Assim, conclui-se que as pesquisas que avaliam a relação entre fitoplâncton e microplásticos são relativamente recentes e concentradas no hemisfério Norte, evidenciando várias lacunas sobre o assunto em muitas partes do globo terrestre. Contudo, os dados já mostram que os microplásticos inibem o crescimento do fitoplâncton por vias químicas ou físicas com consequências sérias, como inibição da bomba biológica de carbono e diminuição da produtividade primária.

Atentando o papel do fitoplâncton para a produtividade primária global, os impactos que os microplásticos causam ao fitoplâncton são, sem dúvidas, muito negativo para o equilíbrio ambiental devido aos seres fitoplanctônicos serem extremamente importantes para o ecossistema, arriscando dizer serem um dos mais fundamentais, pois, além de serem a base de diversas cadeias alimentares, são responsáveis pela produção de oxigênio para o planeta Terra. Por isso, entender essa relação e buscar formas de atenuá-la através dos conhecimentos e das pesquisas oceanográficas é tão relevante.

Para estudos futuros é preciso entender melhor como os metais pesados impactam o fitoplâncton, assim como agem os componentes químicos inibidores a fim de se promover informações úteis para que se possa produzir plásticos menos tóxicos se não for possível sua erradicação. Mais lugares no mundo, principalmente no Hemisfério Sul, precisam ter suas produções científicas incentivadas, aumentando as elaborações de trabalhos e, assim, contribuindo para o conhecimento geral.

Por fim, pode-se dizer que esse trabalho possui informações e contribui de forma positiva para os avanços ligados à Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável com foco para o objetivo 14 da Agenda 2030, Vida na água, uma vez que preservar e fomentar o uso sustentável dos oceanos, dos mares, dos rios e dos recursos marinhos é de suma importância para o prolongamento da qualidade de vida dos seres vivos.

REFERÊNCIAS

BADYLAK, Susan *et al.* **Polystyrene microplastic contamination versus microplankton abundances in two lagoons of the Florida Keys.** Scientific Reports, v. 11, n. 1, p. 1-10, 2021.

BAUDRIMONT, Magalie *et al.* **Ecotoxicity of polyethylene nanoplastics from the North Atlantic oceanic gyre on freshwater and marine organisms (microalgae and filter-feeding bivalves).** Environmental Science and Pollution Research, v. 27, n. 4, p. 3746-3755, 2020.

BEREZINA, Anfisa *et al.* **Modelling the influence from biota and organic matter on the transport dynamics of microplastics in the water column and bottom sediments in the oslo fjord.** Water, v. 13, n. 19, p. 2690, 2021.

Biologia de Campbell [recurso eletrônico] / Jane B. Reece ... [et al.]; [tradução: Anne D. Villela ... et al.]; revisão técnica : Denise Cantarelli Machado, Gaby Renard, Paulo Luiz de Oliveira. – 10. ed. – Porto Alegre: Artmed, 2015.

BRANDON, Jennifer A.; FREIBOTT, Alexandra; SALA, Linsey M. **Patterns of suspended and salp-ingested microplastic debris in the North Pacific investigated with epifluorescence microscopy.** Limnology and oceanography letters, v. 5, n. 1, p. 46-53, 2020.

CEN, Cheng *et al.* **Odor-producing response pattern by four typical freshwater algae under stress: Acute microplastic exposure as an example.** Science of The Total Environment, v. 821, p. 153350, 2022.

CHEN, Qiqing; LI, Yue; LI, Bowen. **Is color a matter of concern during microplastic exposure to *Scenedesmus obliquus* and *Daphnia magna*?** Journal of hazardous materials, v. 383, p. 121224, 2020.

CHEN, Yingxin *et al.* **Size-dependent cellular internalization and effects of polystyrene microplastics in microalgae *P. helgolandica* var. *tsingtaoensis* and *S. quadricauda*.** Journal of Hazardous Materials, v. 399, p. 123092, 2020.

CHEN, Zuyin *et al.* **Hormesis-like growth and photosynthetic physiology of marine diatom *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin exposed to polystyrene microplastics.** Frontiers of Environmental Science & Engineering, v. 16, n. 1, p. 1-13, 2022.

CHENG, Yuqi *et al.* **Low microalgae availability increases the ingestion rates and potential effects of microplastics on marine copepod *Pseudodiaptomus annandalei*.** Marine pollution bulletin, v. 152, p. 110919, 2020.

CUNHA, César *et al.* **Marine vs freshwater microalgae exopolymers as biosolutions to microplastics pollution.** Environmental pollution, v. 249, p. 372-380, 2019.

DAI, Yanhui *et al.* **Interaction and combined toxicity of microplastics and per-and polyfluoroalkyl substances in aquatic environment.** *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, v. 16, n. 10, p. 1-17, 2022.

DÉNIEL, Maureen *et al.* **Infrared spectroscopy as a tool to monitor interactions between nanoplastics and microalgae.** *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, v. 412, n. 18, p. 4413-4422, 2020.

DJAOUDI, Kahina *et al.* **Seawater copper content controls biofilm bioaccumulation and microbial community on microplastics.** *Science of the Total Environment*, v. 814, p. 152278, 2022.

ELERSEK, Tina *et al.* **The effects of bisphenol A, F and their mixture on algal and cyanobacterial growth: from additivity to antagonism.** *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, n. 3, p. 3445-3454, 2021.

FULFER, Victoria M.; MENDEN-DEUER, Susanne. **Heterotrophic dinoflagellate growth and grazing rates reduced by microplastic ingestion.** *Frontiers in Marine Science*, p. 1044, 2021.

Fundamentos de oceanografia - 7a ed. - Impresso. Editora: CENGAGE Learning. Autor: Tom Garrison. Páginas: 480. ISBN: 978-85-221-2421-3. Publicação 2016

GALVÃO, Maria Cristiane Barbosa; RICARTE, Ivan Luiz Marques. **Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação.** *Logeion: Filosofia da informação*, v. 6, n. 1, p. 57-73, 2019.

GAO, Guang *et al.* **Current understanding and challenges for aquatic primary producers in a world with rising micro-and nano-plastic levels.** *Journal of Hazardous Materials*, v. 406, p. 124685, 2020.

GARRIDO, Soledad *et al.* **Effect of microplastics on the toxicity of chlorpyrifos to the microalgae *Isochrysis galbana*, clone t-ISO.** *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 173, p. 103-109, 2019.

GE, Jingke *et al.* **Microplastics impacts in seven flagellate microalgae: Role of size and cell wall.** *Environmental Research*, v. 206, p. 112598, 2022.

GOSWAMI, Rahul Kumar *et al.* **Current perspective on wastewater treatment using photobioreactor for *Tetraselmis* sp.: an emerging and foreseeable sustainable approach.** *Environmental Science and Pollution Research*, p. 1-33, 2021.

GREEN, Dannielle Senga. **Biological and ecological impacts of plastic debris in aquatic ecosystems.** *Plastics in the Aquatic Environment-Part I.* Springer, Cham, 2020. p. 111-133.

Guia de normalização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Ceará / Universidade Federal do Ceará, Biblioteca Universitária, Comissão de Normalização. – Fortaleza, 2022. 88 p. : il. color.

GUO, Yahong *et al.* **Effects of microplastics on growth, phenanthrene stress, and lipid accumulation in a diatom, *Phaeodactylum tricornutum*.** Environmental Pollution, v. 257, p. 113628, 2020.

HAZIN, Fabio Hissa V. Biomassa Fitoplanctônica, Zooplanctônica, Macrozooplâncton, Avaliação Espacial e Temporal do Ictioplâncton, Estrutura da Comunidade de Larvas e de Peixes e Distribuição e Abundância do Ictioneuston./ Fabio Hissa V Hazin;- Fortaleza: Editora Martins & Cordeiro, 2009. (Programa Revizee - Score Nordeste) 236f.; il.Brasil.

HITCHCOCK, James N. **Microplastics can alter phytoplankton community composition.** Science of The Total Environment, v. 819, p. 153074, 2022.

HUANG, Wenqiu *et al.* **The effects and mechanisms of polystyrene and polymethyl methacrylate with different sizes and concentrations on *Gymnodinium aeruginosum*.** Environmental Pollution, v. 287, p. 117626, 2021.

HUANG, Yuxiong *et al.* **Effects of manufactured nanomaterials on algae: Implications and applications.** Frontiers of Environmental Science & Engineering, v. 16, n. 9, p. 1-16, 2022.

KÖGEL, Tanja *et al.* **Micro-and nanoplastic toxicity on aquatic life: Determining factors.** Science of the Total Environment, v. 709, p. 136050, 2020.

KÖSTER, Marion; PAFFENHÖFER, Gustav-Adolf. **The effects of microplastics on *Doliolletta gegenbauri* (Tunicata, Thaliacea).** Archives of environmental contamination and toxicology, v. 78, n. 1, p. 94-105, 2020.

KWAK, Jin Il *et al.* **Critical review of environmental impacts of microfibers in different environmental matrices.** Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, v. 251, p. 109196, 2021.

LALLI, Carol M. **Biological oceanography: an introduction.** – 2o ed. British Library Cataloguing in Publication Data 1997

LARUE, Camille *et al.* **A critical review on the impacts of nanoplastics and microplastics on aquatic and terrestrial photosynthetic organisms.** Small, v. 17, n. 20, p. 2005834, 2021.

LAZAREVA, A. M. *et al.* **Toxic Effects of Microplastics on Culture *Scenedesmus quadricauda*: Interactions between Microplastics and Algae.** Moscow University Biological Sciences Bulletin, v. 76, n. 4, p. 202-209, 2021.

LEONI, Barbara; NAVA, Veronica. **A critical review of interactions between microplastics, microalgae and aquatic ecosystem function.** Water research, v. 188, p. 116476, 2021.

LEVINTON, Jeffrey S. **Marine biology: function, biodiversity, ecology** / Jeffrey S. Levinton, Stony Brook University. Description: Fifth edition. | New York: Oxford

University Press, [2017]

LI, Shuangxi *et al.* **Influence of polystyrene microplastics on the growth, photosynthetic efficiency and aggregation of freshwater microalgae *Chlamydomonas reinhardtii*.** *Science of the Total Environment*, v. 714, p. 136767, 2020.

LI, Zhaochuan *et al.* **Combined effect of polystyrene microplastics and dibutyl phthalate on the microalgae *Chlorella pyrenoidosa*.** *Environmental Pollution*, v. 257, p. 113604, 2020.

LIN, Wei *et al.* **Effect of microplastics PAN polymer and/or Cu²⁺ pollution on the growth of *Chlorella pyrenoidosa*.** *Environmental Pollution*, v. 265, p. 114985, 2020.

LIU, Chao *et al.* **Effects of polystyrene microplastics on growth and toxin production of *Alexandrium pacificum*.** *Toxins*, v. 13, n. 4, p. 293, 2021.

LONG, Marc *et al.* **Interactions between microplastics and phytoplankton aggregates: impact on their respective fates.** *Marine Chemistry*, v. 175, p. 39-46, 2015.

LONG, Marc *et al.* **Interactions between polystyrene microplastics and marine phytoplankton lead to species-specific hetero-aggregation.** *Environmental Pollution*, v. 228, p. 454-463, 2017.

LÓPEZ, AD Forero *et al.* **Microplastics and suspended particles in a strongly impacted coastal environment: composition, abundance, surface texture, and interaction with metal ions.** *Science of The Total Environment*, v. 754, p. 142413, 2021.

M'RABET, Charaf *et al.* **Impact of two plastic-derived chemicals, the Bisphenol A and the di-2-ethylhexyl phthalate, exposure on the marine toxic dinoflagellate *Alexandrium pacificum*.** *Marine Pollution Bulletin*, v. 126, p. 241-249, 2018.

MAO, Yufeng *et al.* **Phytoplankton response to polystyrene microplastics: perspective from an entire growth period.** *Chemosphere*, v. 208, p. 59-68, 2018.

MARQUES, Luiz. **Collapse of Biodiversity in the Aquatic Environment.** *Capitalism and Environmental Collapse*. Springer, Cham, 2020. p. 275-301.

MURATA, Satomi Mizukami *et al.* **Freshwater alga *Raphidocelis subcapitata* undergoes metabolomic changes in response to electrostatic adhesion by micrometer-sized nylon 6 particles.** 2021.

MÖHLENKAMP, Paula; PURSER, Autun; THOMSEN, Laurenz. **Plastic microbeads from cosmetic products: an experimental study of their hydrodynamic behaviour, vertical transport and resuspension in phytoplankton and sediment aggregates.** *Elementa: Science of the Anthropocene*, v. 6, 2018.

NAIK, Ravidas Krishna *et al.* **Microplastics in ballast water as an emerging**

source and vector for harmful chemicals, antibiotics, metals, bacterial pathogens and HAB species: A potential risk to the marine environment and human health. *Marine Pollution Bulletin*, v. 149, p. 110525, 2019.

MONTAGNER, Cassiana C. et al. **Microplásticos: Ocorrência Ambiental e Desafios Analíticos.** *Química Nova*, v. 44, p. 1328-1352, 2021.

PAZOS, Rocío S.; BAUER, Delia E.; GÓMEZ, Nora. **Microplastics integrating the coastal planktonic community in the inner zone of the Río de la Plata estuary (South America).** *Environmental pollution*, v. 243, p. 134-142, 2018.

Plankton: a guide to their ecology and monitoring for water quality / editors, Iain M. Suthers, David Rissik. Collingwood, Vic.: CSIRO Publishing, Australia, 2008. 256f.; il. Australia

PRATA, Joana Correia et al. **Effects of microplastics on microalgae populations: a critical review.** *Science of The Total Environment*, v. 665, p. 400-405, 2019.

PRINZ, Natalie; KOREZ, Špela. **Understanding how microplastics affect marine biota on the cellular level is important for assessing ecosystem function: a review.** *YOUMARES 9-The Oceans: Our Research, Our Future*, p. 101-120, 2020.

RAJU, P. et al. **Impact of polystyrene microplastics on major marine primary (phytoplankton) and secondary producers (copepod).** *Archives of Microbiology*, v. 204, n. 1, p. 1-12, 2022.

RANI-BORGES, Bárbara; MOSCHINI-CARLOS, Viviane; POMPÊO, Marcelo. **Microplastics and freshwater microalgae: what do we know so far?.** *Aquatic Ecology*, v. 55, n. 2, p. 363-377, 2021.

RIBEIRO, Raquel da Graça Costa; SANCHES, Sarah de Almeida; MARTINS, Julia Brandão. **Bioacumulação por microplásticos e seu impacto na saúde pública.** 2022.

RODRIGUES, Sabrina M. et al. **Microplastics and plankton: Knowledge from laboratory and field studies to distinguish contamination from pollution.** *Journal of Hazardous Materials*, v. 417, p. 126057, 2021.

SAKHON, Evgeniy G.; MUKHANOV, Vladimir S.; KHANAYCHENKO, Antonina N. **Phytoplankton Exopolymers Enhance Adhesion of Microplastic Particles to Submersed Surfaces.** *Ecologica Montenegrina*, v. 23, p. 60-69, 2019.

SALMASO, Nico et al. **Responses to local and global stressors in the large southern perialpine lakes: present status and challenges for research and management.** *Journal of Great Lakes Research*, v. 46, n. 4, p. 752-766, 2020.

SÁNCHEZ-FORTÚN, A. et al. **Effects of polyethylene-type microplastics on the growth and primary production of the freshwater phytoplankton species *Scenedesmus armatus* and *Microcystis aeruginosa*.** *Environmental and Experimental Botany*, v. 188, p. 104510, 2021.

SAPOZHNIKOV, Philipp *et al.* **Plastic in the aquatic environment: interactions with microorganisms.** *Plastics in the Aquatic Environment-Part I.* Springer, Cham, 2021. p. 197-254.

SCHAMPERA, Charlotte *et al.* **Exposure to nanoplastics affects the outcome of infectious disease in phytoplankton.** *Environmental Pollution*, v. 277, p. 116781, 2021.

SEOANE, Marta *et al.* **Polystyrene microbeads modulate the energy metabolism of the marine diatom *Chaetoceros neogracile*.** *Environmental Pollution*, v. 251, p. 363-371, 2019.

SHEN, Maocai *et al.* **Can microplastics pose a threat to ocean carbon sequestration?** *Marine pollution bulletin*, v. 150, p. 110712, 2019.

SHIU, Ruei-Feng *et al.* **Nano-and microplastics trigger secretion of protein-rich extracellular polymeric substances from phytoplankton.** *Science of the Total Environment*, v. 748, p. 141469, 2020.

SUN, Qinghui *et al.* **Research progress on distribution, sources, identification, toxicity, and biodegradation of microplastics in the ocean, freshwater, and soil environment.** *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, v. 16, n. 1, p. 1-14, 2022.

The Story of Plastic. Deia Schlosberg. Youtube. 06/10/2019. 1h 35m. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=4m89BpEgcsU>>. Acesso em: 20/11/2022.

TROOST, Tineke A. *et al.* **Do microplastics affect marine ecosystem productivity?** *Marine pollution bulletin*, v. 135, p. 17-29, 2018.

UDDIN, Saif *et al.* **Micro-Nano Plastic in the Aquatic Environment: Methodological Problems and Challenges.** *Animals*, v. 12, n. 3, p. 297, 2022.

VAN CAUWENBERGHE, Lisbeth *et al.* **Microplastics in sediments: a review of techniques, occurrence and effects.** *Marine environmental research*, v. 111, p. 5-17, 2015.

VIGHI, Marco *et al.* **Micro and nano-plastics in the environment: Research priorities for the near future.** *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 257*, p. 163-218, 2021.

VO, Huu Cong; PHAM, Minh Hen. **Ecotoxicological effects of microplastics on aquatic organisms: a review.** *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, n. 33, p. 44716-44725, 2021.

WAN, Jun-Kit *et al.* **Influence of polystyrene microplastic and nanoplastic on copper toxicity in two freshwater microalgae.** *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, n. 25, p. 33649-33668, 2021.

WANG, L.; MA, Y.; JI, R. **Effects of PS and PVC microplastics on the growth of**

Chlorella sp. Acta Sci Circum, v. 41, n. 4, p. 1538-1544, 2021.

WANG, Shuai *et al.* **The interactions between microplastic polyvinyl chloride and marine diatoms: Physiological, morphological, and growth effects.** Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 203, p. 111000, 2020.

WANG, Ting *et al.* **Microplastic pollution in sophisticated urban river systems: Combined influence of land-use types and physicochemical characteristics.** Environmental Pollution, v. 287, p. 117604, 2021.

WANG, Wenfeng *et al.* **The ecotoxicological effects of microplastics on aquatic food web, from primary producer to human: A review.** Ecotoxicology and environmental safety, v. 173, p. 110-117, 2019.

WANG, Xiaohui *et al.* **Prevalence of microplastic fibers in the marginal sea water column off southeast China.** Science of The Total Environment, v. 804, p. 150138, 2022.

WEIS, Judith S. **Marine Pollution: whatever everyone needs to know.** Oxford: Oxford university press, 2015.

WILLIAMSON, Craig E. *et al.* **The interactive effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and climate change on aquatic ecosystems.** Photochemical & Photobiological Sciences, v. 18, n. 3, p. 717-746, 2019.

WU, Yanmei *et al.* **Effect of microplastics exposure on the photosynthesis system of freshwater algae.** Journal of hazardous materials, v. 374, p. 219-227, 2019.

YANG, Yamin *et al.* **Biological responses to climate change and nanoplastics are altered in concert: Full-factor screening reveals effects of multiple stressors on primary producers.** Environmental Science & Technology, v. 54, n. 4, p. 2401-2410, 2020.

YI, Xianliang *et al.* **Combined effect of polystyrene plastics and triphenyltin chloride on the green algae *Chlorella pyrenoidosa*.** Environmental Science and Pollution Research, v. 26, n. 15, p. 15011-15018, 2019.

YOKOTA, Kiyoko; MEHLROSE, Marissa. **Lake phytoplankton assemblage altered by irregularly shaped PLA body wash microplastics but not by PS calibration beads.** Water, v. 12, n. 9, p. 2650, 2020.

ZHANG, Hui *et al.* Estuarine Ichthyoplankton Studies—A Review. **Biological and Ecological Studies on Marine Ichthyoplankton**, 2022.

ZHANG, Yafei *et al.* **How climate change and eutrophication interact with microplastic pollution and sediment resuspension in shallow lakes: A review.** Science of the Total Environment, v. 705, p. 135979, 2020.

ZHAO, Ting *et al.* **Microplastic-induced apoptosis and metabolism responses in**

marine Dinoflagellate, *Karenia mikimotoi*. *Science of The Total Environment*, v. 804, p. 150252, 2022.

ZHAO, Ting *et al.* **Size-dependent oxidative stress effect of nano/micro-scaled polystyrene on *Karenia mikimotoi*.** *Marine pollution bulletin*, v. 154, p. 111074, 2020.

ZHAO, Ting *et al.* **The interactions between micro polyvinyl chloride (mPVC) and marine dinoflagellate *Karenia mikimotoi*: The inhibition of growth, chlorophyll and photosynthetic efficiency.** *Environmental Pollution*, v. 247, p. 883-889, 2019.

ZHENG, Xiaowei *et al.* **Polystyrene nanoplastics affect growth and microcystin production of *Microcystis aeruginosa*.** *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, n. 11, p. 13394-13403, 2021.

ZHU, Zhi-lin *et al.* **Joint toxicity of microplastics with triclosan to marine microalgae *Skeletonema costatum*.** *Environmental pollution*, v. 246, p. 509-517, 2019

APÊNDICE A

Lista com os títulos e doi dos trabalhos lidos para esta revisão.

	TÍTULO	DOI
1	A critical review of interactions between microplastics, microalgae and aquatic ecosystem function	https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116476
2	A Critical Review on the Impacts of Nanoplastics and Microplastics on Aquatic and Terrestrial Photosynthetic Organisms	https://doi.org/10.1002/sml.202005834
3	Biological and Ecological Impacts of Plastic Debris in Aquatic Ecosystems	https://doi.org/10.1007/698_2020_509
4	Biological Responses to Climate Change and Nanoplastics Are Altered in Concert: Full-Factor Screening Reveals Effects of Multiple Stressors on Primary Producers	https://dx.doi.org/10.1021/acs.est.9b07040
5	Can microplastics pose a threat to ocean carbon sequestration?	https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110712
6	Collapse of Biodiversity in the Aquatic Environment	https://doi.org/10.1007/978-3-030-47527-7
7	Combined effect of polystyrene microplastics and dibutyl phthalate on the microalgae <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113604
8	Combined effect of polystyrene plastics and triphenyltin chloride on the green algae <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	https://doi.org/10.1007/s11356-019-04865-0
9	Critical review of environmental impacts of microfibers in different environmental matrices	https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2021.109196

- 10 Current perspective on wastewater treatment using photobioreactor for *Tetraselmis sp.*: an emerging and foreseeable sustainable approach <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16860-5>
- 11 Current understanding and challenges for aquatic primary producers in a world with rising micro- and nano-plastic levels <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124685>
- 12 Do microplastics affect marine ecosystem productivity? <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.067>
- 13 Ecotoxicity of polyethylene nanoplastics from the North Atlantic oceanic gyre on freshwater and marine organisms (microalgae and filter-feeding bivalves) <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04668-3>
- 14 Ecotoxicological effects of microplastics on aquatic organisms: a review <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14982-4>
- 15 Effect of microplastics exposure on the photosynthesis system of freshwater algae <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.04.039>
- 16 Effect of microplastics on the toxicity of chlorpyrifos to the microalgae *Isochrysis galbana*, clone t-ISO <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.020>
- 17 Effect of microplastics PAN polymer and/or Cu²⁺ pollution on the growth of *Chlorella pyrenoidosa* <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114985>
- 18 Effects of manufactured nanomaterials on algae: Implications and applications <https://doi.org/10.1007/s11783-022-1554-3>
- 19 Effects of microplastics on growth, phenanthrene stress, and lipid accumulation in a diatom, *Phaeodactylum tricornutum* <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113628>
- 20 Effects of microplastics on microalgae populations: A critical review <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.132>

- 21 Effects of polyethylene-type microplastics on the growth and primary production of the freshwater phytoplankton species *Scenedesmus armatus* and *Microcystis aeruginosa* <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104510>
- 22 Effects of Polystyrene Microplastics on Growth and Toxin Production of *Alexandrium pacificum* <https://doi.org/10.3390/toxins13040293>
- 23 Effects of PS and PVC microplastics on the growth of *Chlorella sp.* [PS和PVC微塑料对小球藻的生长抑制效应及其影响途径]
- 24 Exposure to nanoplastics affects the outcome of infectious disease in phytoplankton <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116781>
- 25 Freshwater alga *Raphidocelis subcapitata* undergoes metabolomic changes in response to electrostatic adhesion by micrometer-sized nylon 6 particles <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15300-8>
- 26 Heterotrophic Dinoflagellate Growth and Grazing Rates Reduced by Microplastic Ingestion <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.716349>
- 27 Hormesis-like growth and photosynthetic physiology of marine diatom *Phaeodactylum tricornutum* *Bohlin* exposed to polystyrene microplastics <https://doi.org/10.1007/s11783-021-1436-0>
- 28 How climate change and eutrophication interact with microplastic pollution and sediment resuspension in shallow lakes: A review <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135979>
- 29 Impact of polystyrene microplastics on major marine primary (phytoplankton) and secondary producers (copepod) <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02697-6>
- 30 Impact of two plastic-derived chemicals, the Bisphenol A and the di-2-ethylhexyl phthalate, exposure on the marine toxic dinoflagellate *Alexandrium pacificum* <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.090>
- 31 Influence of polystyrene microplastic and nanoplastic on copper toxicity in two freshwater microalgae <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12983-x>

- 32 Influence of polystyrene microplastics on the growth, photosynthetic efficiency and aggregation of freshwater microalgae *Chlamydomonas reinhardtii* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136767>
- 33 Infrared spectroscopy as a tool to monitor interactions between nanoplastics and microalgae <https://doi.org/10.1007/s00216-020-02683-9>
- 34 Interaction and combined toxicity of microplastics and per- and polyfluoroalkyl substances in aquatic environment <https://doi.org/10.1007/s11783-022-1571-2>
- 35 Interactions between microplastics and phytoplankton aggregates: Impact on their respective fates <http://dx.doi.org/10.1016/j.marchem.2015.04.003>
- 36 Interactions between polystyrene microplastics and marine phytoplankton lead to species-specific hetero-aggregation <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.05.047>
- 37 Is color a matter of concern during microplastic exposure to *Scenedesmus obliquus* and *Daphnia magna*? <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121224>
- 38 Joint toxicity of microplastics with triclosan to marine microalgae *Skeletonema costatum* <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.12.044>
- 39 Lake phytoplankton assemblage altered by irregularly shaped pla body wash microplastics but not by PS calibration beads <https://doi.org/10.3390/w12092650>
- 40 Low microalgae availability increases the ingestion rates and potential effects of microplastics on marine copepod *Pseudodiaptomus annandalei* <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110919>
- 41 Marine vs freshwater microalgae exopolymers as biosolutions to microplastics pollution <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.046>
- 42 Micro and Nano-Plastics in the Environment: Research Priorities for the Near Future https://doi.org/10.1007/398_2021_69

- 43 Micro- and nanoplastic toxicity on aquatic life: Determining factors <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136050>
- 44 Micro-Nano Plastic in the Aquatic Environment: Methodological Problems and Challenges <https://doi.org/10.3390/ani12030297>
- 45 Microplastic pollution in sophisticated urban river systems: Combined influence of land-use types and physicochemical characteristics <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117604>
- 46 Microplastic-induced apoptosis and metabolism responses in marine Dinoflagellate, *Karenia mikimotoi* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150252>
- 47 Microplastics and freshwater microalgae: what do we know so far? [https://doi.org/10.1007/s10452-021-09834-9\(0123456789](https://doi.org/10.1007/s10452-021-09834-9(0123456789)
- 48 Microplastics and plankton: Knowledge from laboratory and field studies to distinguish contamination from pollution <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126057>
- 49 Microplastics and suspended particles in a strongly impacted coastal environment: Composition, abundance, surface texture, and interaction with metal ions <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142413>
- 50 Microplastics can alter phytoplankton community composition <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153074>
- 51 Microplastics impacts in seven flagellate microalgae: Role of size and cell wall <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112598>
- 52 Microplastics in ballast water as an emerging source and vector for harmful chemicals, antibiotics, metals, bacterial pathogens and HAB species: A potential risk to the marine environment and human health <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110525>
- 53 Microplastics integrating the coastal planktonic community in the inner zone of the Río de la Plata estuary (South America) <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.064>

- 54 Modelling the influence from biota and organic matter on the transport dynamics of microplastics in the water column and bottom sediments in the oslo fjord <https://doi.org/10.3390/w13192690>
- 55 Nano- and microplastics trigger secretion of protein-rich extracellular polymeric substances from phytoplankton <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141469>
- 56 Odor-producing response pattern by four typical freshwater algae under stress: Acute microplastic exposure as an example <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153350>
- 57 Patterns of suspended and salp-ingested microplastic debris in the North Pacific investigated with epifluorescence microscopy <https://doi.org/10.1002/lol2.10127>
- 58 Phytoplankton exopolymers enhance adhesion of microplastic particles to submersed surfaces <https://doi.org/10.37828/em.2019.23.8>
- 59 Phytoplankton response to polystyrene microplastics: Perspective from an entire growth period <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.170>
- 60 Plastic in the Aquatic Environment: Interactions with Microorganisms https://doi.org/10.1007/698_2021_747
- 61 Plastic microbeads from cosmetic products: An experimental study of their hydrodynamic behaviour, vertical transport and resuspension in phytoplankton and sediment aggregates <https://doi.org/10.1525/elementa.317>
- 62 Polystyrene microbeads modulate the energy metabolism of the marine diatom *Chaetoceros neogracile* <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.142>
- 63 Polystyrene microplastic contamination versus microplankton abundances in two lagoons of the Florida Keys <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85388-y>
- 64 Polystyrene nanoplastics affect growth and microcystin production of *Microcystis aeruginosa* <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10388-w>

- 65 Prevalence of microplastic fibers in the marginal sea water column off southeast China <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150138>
- 66 Research progress on distribution, sources, identification, toxicity, and biodegradation of microplastics in the ocean, freshwater, and soil environment <https://doi.org/10.1007/s11783-021-1429-z>
- 67 Responses to local and global stressors in the large southern perialpine lakes: Present status and challenges for research and management <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.01.017>
- 68 Seawater copper content controls biofilm bioaccumulation and microbial community on microplastics <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152278>
- 69 Size-dependent cellular internalization and effects of polystyrene microplastics in microalgae *P. helgolandica* var. *tsingtaoensis* and *S. quadricauda* <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123092>
- 70 Size-dependent oxidative stress effect of nano/micro-scaled polystyrene on *Karenia mikimotoi* <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111074>
- 71 The ecotoxicological effects of microplastics on aquatic food web, from primary producer to human: A review <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.113>
- 72 The effects and mechanisms of polystyrene and polymethyl methacrylate with different sizes and concentrations on *Gymnodinium aeruginosum* <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117626>
- 73 The effects of bisphenol A, F and their mixture on algal and cyanobacterial growth: from additivity to antagonism <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10329-7>
- 74 The Effects of Microplastics on *Dolioletta gegenbauri* (Tunicata, Thaliacea) <https://doi.org/10.1007/s00244-019-00676-z>
- 75 The interactions between micro polyvinyl chloride (mPVC) and marine dinoflagellate *Karenia mikimotoi*: The inhibition of growth, chlorophyll and photosynthetic efficiency <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.114>

- 76 The interactions between microplastic polyvinyl chloride and marine diatoms: Physiological, morphological, and growth effects <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111000>
- 77 The interactive effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and climate change on aquatic ecosystems <https://doi.org/10.1039/c8pp90062k>
- 78 Toxic Effects of Microplastics on Culture *Scenedesmus quadricauda*: Interactions between Microplastics and Algae <https://doi.org/10.3103/S0096392521040076>
- 79 Understanding How Microplastics Affect Marine Biota on the Cellular Level Is Important for Assessing Ecosystem Function: A Review https://doi.org/10.1007/978-3-030-20389-4_6

Fonte: Elaborada pelo autor (2022).