

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA

Raphael de Souza Rodrigues



PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DA UTILIZAÇÃO DE
CONSERVANTES NATURAIS A PARTIR DE MICROALGAS E SUA
APLICAÇÃO EM BEBIDAS NÃO ALCOÓLICAS

RIO DE JANEIRO

2023

Raphael de Souza Rodrigues

PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DA UTILIZAÇÃO DE CONSERVANTES NATURAIS
A PARTIR DE MICROALGAS E SUA APLICAÇÃO EM BEBIDAS NÃO ALCOÓLICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Orientador: Elcio Ribeiro Borges

Rio de Janeiro

2023

CIP - Catalogação na Publicação

R696p Rodrigues, Raphael de Souza
Prospecção tecnológica da utilização de conservantes naturais a partir de microalgas e sua aplicação em bebidas não alcoólicas / Raphael de Souza Rodrigues. -- Rio de Janeiro, 2023.
141 f.

Orientador: Elcio Ribeiro Borges.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Bacharel em Engenharia Química, 2023.

1. Microalgas. 2. Prospecção tecnológica. 3. Conservante natural. 4. Bebidas não alcoólicas. I. Borges, Elcio Ribeiro, orient. II. Título.

Raphael de Souza Rodrigues

PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DA UTILIZAÇÃO DE CONSERVANTES NATURAIS
A PARTIR DE MICROALGAS E SUA APLICAÇÃO EM BEBIDAS NÃO ALCOÓLICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Química da Universidade Federal do
Rio de Janeiro, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do grau de Engenheiro
Químico.

Aprovado em de de .

Elcio Ribeiro Borges, *D.Sc.*, UFRJ

Anita Ferreira do Valle, *D.Sc.*, UFRJ

Isabelli Dias Bassin, *D.Sc.*, UFRJ

Daniel Tinôco Campos Neto, *D.Sc.*, UFRJ

Rio de Janeiro
2023

AGRADECIMENTOS

A monografia marca o encerramento de um ciclo. Ao finalizar a graduação, o sentimento de sonho realizado, que traz consigo a abertura de tantas possibilidades para a vida, vem acompanhado pela gratidão a todos que participaram nesse processo.

Agradeço à minha irmã, Luíza, por todos laços afetivos intensificados desde meu retorno a Campos.

Aos meus pais, Désio e Patrícia, por toda compreensão, amor, suporte emocional e também financeiro.

À Berenice, psicóloga incrível e, por que não, amiga.

Ao meu orientador, Élcio, pela disponibilidade, paciência, direcionamento, profissionalismo e confiança. Sou grato, também, pela forma que fui orientado, que ajudou a criar em mim um sentimento de maior auto-confiança.

À Raquel Massad pelo acolhimento e orientação em momentos de desespero durante a graduação.

À Vivi e ao João Victor por toda ajuda e amizade.

Ao Paulo Chacon, chefe do meu estágio no INT, excelente amigo e profissional que me ensinou sobre prospecção tecnológica e é alguém que vejo como exemplo a ser seguido.

À minha madrinha, Deise, e Meri, pelo apoio quando necessitei de amparo.

Obrigado por permanecerem comigo nos momentos mais difíceis que enfrentei, me ajudarem a superar tantos obstáculos pessoais e compartilharem comigo a alegria de cada avanço. Nossas relações encontram-se em lugar especial dentro de mim.

Agradeço, também, aos integrantes da banca, pela disponibilidade de participação na defesa e a atenção dada ao presente trabalho.

*É preciso estar atento e forte
Não temos tempo de temer a morte
(Caetano Veloso e Gilberto Gil, 1969)*

RESUMO

RODRIGUES, Raphael de Souza. **Prospecção tecnológica da utilização de conservantes naturais a partir de microalgas e sua aplicação em bebidas não alcoólicas**. Rio de Janeiro, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

As microalgas têm a capacidade de produzir substâncias antioxidantes e antimicrobianas, relevantes para conservar bebidas não alcoólicas. Incorporar tais substâncias em produtos atende a um perfil de consumidor que demanda por opções mais saudáveis. Nesse sentido, a prospecção tecnológica realizada pelo presente estudo analisou artigos científicos que abordam assuntos relacionados à potencialidade da aplicação de microalgas na produção de conservantes naturais em bebidas não alcoólicas. O objetivo desta prospecção foi concebido com o intuito de compreender o estado da arte do tema em questão, bem como direcionar e nortear áreas de pesquisa e tecnologias promissoras. A metodologia utilizada consistiu, inicialmente, no uso da base de dados *Scopus* para busca e análise dos artigos científicos referentes ao tema publicados entre 2016 e 2023. Nas etapas seguintes, informações contidas nas publicações foram tratadas e utilizadas como base para delinear as tendências relevantes que conectam a realidade atual a futuros possíveis e desejados. A partir dos resultados obtidos, observou-se que a Índia é líder em número de publicações referentes ao tema. A Universidade Federal do Rio Grande (FURG) foi a que mais publicou artigos no âmbito mundial e a escalabilidade sinalizou para pesquisas em ordem laboratorial com baixo nível de maturidade tecnológica. Além disso, vale ressaltar que as empresas foram o tipo de instituição menos participativo nas publicações e os testes *in vitro* conduzidos focaram principalmente em provar o potencial de compostos de microalgas para aplicação como antimicrobianos e antioxidantes, porém poucos conduziram os testes em bebidas. Concluiu-se, de forma sucinta que, tais respostas foram pautadas pela inovação tecnológica, vislumbrando a necessidade tanto de melhoramento, aprimoramento e avanços para subsidiar e consolidar a construção de conhecimento novo nos âmbitos teórico, experimental e aplicado. Logo, o presente trabalho pode contribuir consideravelmente para a execução de projetos futuros promissores no ramo de bebidas.

Palavras-chave: microalgas; conservante natural; antioxidante; antimicrobiano; tempo de prateleira; bebidas não alcoólicas.

ABSTRACT

RODRIGUES, Raphael de Souza. **Prospecção tecnológica da utilização de conservantes naturais a partir de microalgas e sua aplicação em bebidas não alcoólicas**. Rio de Janeiro, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

Microalgae have the ability to produce antioxidant and antimicrobial substances, relevant activities to better preserve non-alcoholic beverages. Incorporating such substances into products demonstrates the potential to meet a consumer profile which demands healthier options. In this sense, the technological prospection carried out by the present study analyzed scientific articles that address issues related to the potential of the application of microalgae in the production of natural preservatives for non-alcoholic beverages. The objective of this prospection was conceived with the intention of understanding the state of the art of the subject in question, as well as directing and guiding areas of research and promising technologies. The methodology used initially consisted of using the *Scopus* database to search, understand, select and analyze scientific articles on the subject published between 2016 and 2023. In the following steps, information contained in the publications was treated and used as a basis for outlining the relevant trends that connect current reality to possible and desired futures. From the results obtained, through the analysis of articles, it was observed that India is the leader in number of publications on the subject. The Federal University of Rio Grande (FURG) was the one that most published articles worldwide and scalability signaled research in laboratory order with a low level of technological maturity. In addition, it is noteworthy that companies were the least participatory type of institution in publications and the *in vitro* tests conducted focused mainly on proving the potential of microalgae compounds for application as antimicrobials and antioxidants, but few conducted tests on beverages. It was concluded, succinctly, that such responses were guided by technological innovation, envisioning the need for improvement, enhancement and advances to subsidize and consolidate the construction of new knowledge in the theoretical, experimental and applied fields. Therefore, the present work can contribute considerably to the execution of promising future projects in the beverage industry.

Keywords: microalgae; natural preservative; antioxidant; antimicrobial; shelf life; non-alcoholic beverages.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Reator do tipo “ <i>raceway</i> ” (sistema aberto para cultivo de microalgas).	28
Figura 2 – Biorreator tubular.	28
Figura 3 – Produção integrada de alimentos e combustíveis a partir de microalgas. ...	30
Figura 4 – Resumo de compostos de valor elevado e outros compostos bioativos de interesse comercial derivados de microalgas.....	31
Figura 5 – Distribuição global das sedes de empresas privadas produtoras de alimentos e rações derivados de microalgas.	42
Figura 6 – Classificação das bebidas não alcoólicas.	44
Figura 7 – Objetivos gerais e específicos da prospecção tecnológica.....	50
Figura 8 – Sequência de fases a serem adotadas para a execução, organização e conclusão da prospecção tecnológica.	54
Figura 9 – Artigos pré-selecionados e descartados.....	63
Figura 10 – Artigos relevantes e descartados conforme análise criteriosa.	64
Figura 11 – Evolução histórica das publicações.....	65
Figura 12 – Distribuição das publicações por países e parcerias entre países.....	66
Figura 13 – Publicações de caráter colaborativo internacional com participação da Espanha.....	69
Figura 14 – Publicações de caráter colaborativo internacional com participação do Brasil.....	69
Figura 15 – Publicações a partir de instituições nacionais e de colaborações entre instituições de diferentes nações.....	70
Figura 16 – Percentual de participação de instituições por tipo de instituição.....	71
Figura 17 – Percentual de participação de instituições por total de contribuições de cada instituição das categorias “Universidades”, “Centros de pesquisa” ou “Empresas”.....	72
Figura 18 – Universidades em quatro ou mais artigos publicados e o número de publicações de cada uma dessas instituições.....	73
Figura 19 – Quantidade de artigos alocados em cada taxonomia da classe de nível Meso.	78
Figura 20 – Participação percentual das taxonomias da classe de nível Meso.....	78
Figura 21 – Número de artigos em que a taxonomia “Conservante” esteve presente comparado ao total de publicações anuais (2016-2023).....	79

Figura 22 – Quantidade de artigos das taxonomias da classe de nível Micro provenientes da taxonomia da classe de nível Meso “Microalgas” que representam as espécies de microalgas presentes em mais que três publicações, a categoria de espécies não explicitadas e a de artigos cuja classificação das microalgas não ocorre por gênero/espécie.	81
Figura 23 - Percentual de participação de cada taxonomia da classe de nível Micro proveniente da taxonomia da classe de nível Meso “Microalgas”.	82
Figura 24 – Quantidade de artigos presentes nas taxonomias da classe de nível Micro provenientes da taxonomia da classe de nível Meso “Agente”.	85
Figura 25 - Percentual de participação de cada taxonomia da classe de nível Micro proveniente da taxonomia da classe de nível Meso “Agente”.....	85
Figura 26 – Substâncias antioxidantes e suas frequências de citação nas publicações analisadas.....	86
Figura 27 – Percentual de participação das taxonomias da classe de nível subMicro originadas da taxonomia da classe de nível Micro “Antioxidante”.....	87
Figura 28 – Compostos antimicrobianos obtidos com uso de microalgas discutidos em quatro ou mais publicações e sua frequência.....	89
Figura 29 - Percentual de participação das taxonomias da classe de nível subMicro originadas da taxonomia da classe de nível Micro “Antimicrobiano”.	90
Figura 30 – Microrganismos que sofreram ação antimicrobiana de compostos produzidos com uso de microalgas presentes em seis ou mais publicações.	93
Figura 31 - Quantidade de artigos presentes nas taxonomias da classe de nível Micro provenientes da taxonomia da classe de nível Meso “Teste”.....	95
Figura 32 – Percentual de participação de cada taxonomia da classe de nível Micro proveniente da taxonomia da classe de nível Meso “Teste”.	96
Figura 33 – Percentual de participação de cada taxonomia da classe de nível Micro proveniente da taxonomia da classe de nível Meso “Método de obtenção do agente”.	98
Figura 34 – Quantidade de artigos presentes nas taxonomias da classe de nível Micro provenientes da taxonomia da classe de nível Meso “Método de obtenção do agente”.	99
Figura 35 – Outras tecnologias responsáveis pela geração de compostos com atividade antimicrobiana e/ou antioxidante utilizando microalgas e sua frequência nas publicações analisadas.....	102
Figura 36 – Quantidade de artigos presentes nas taxonomias da classe de nível Micro provenientes da taxonomia da classe de nível Meso “Campo de aplicação”.	104

Figura 37 – Percentual de participação de cada taxonomia Micro proveniente da taxonomia da classe de nível Meso “Campo de aplicação”.....	104
Figura 38 – Incidência das intenções de aplicação das tecnologias desenvolvidas focadas na indústria de alimentos e bebidas.....	105
Figura 39 – Incidência das intenções de aplicação das tecnologias desenvolvidas focadas em <i>Shelf life</i> /Validade de produtos.....	106
Figura 40 – Percentual de participação de cada taxonomia da classe de nível subMicro proveniente da taxonomia da classe de nível Micro “ <i>Shelf life</i> /Validade de produtos”.....	106
Figura 41 – Quantidade de artigos presentes nas taxonomias da classe de nível Micro provenientes da taxonomia da classe de nível Meso “Escalabilidade”.....	109
Figura 42 – Percentual de participação de cada taxonomia da classe de nível Micro proveniente da taxonomia da classe de nível Meso “Escalabilidade”.....	109
Figura 43 – Quantidade de artigos presentes nas taxonomias da classe de nível Micro provenientes da taxonomia da classe de nível Meso “Tecnologia de produção/Inovação”... ..	110
Figura 44 – Percentual de participação de cada taxonomia da classe de nível Micro proveniente da taxonomia da classe de nível Meso “Tecnologia de produção/Inovação”.....	111
Figura 45 – Quantidade de artigos envolvidos nas ramificações da taxonomia da classe de nível subMicro “Alimentos e bebidas” presente na taxonomia da classe de nível Micro “Tecnologia de produção/Inovação”.....	112
Figura 46 – Participação percentual das ramificações da taxonomia da classe de nível subMicro “Alimentos e bebidas” presente na taxonomia da classe de nível Micro “Tecnologia de produção/Inovação”.....	113
Figura 47 – Quantidade de artigos presentes nas taxonomias da classe de nível Micro provenientes da taxonomia da classe de nível Meso “Conservante”.....	117
Figura 48 – Percentual de participação de cada taxonomia da classe de nível Micro proveniente da taxonomia da classe de nível Meso “Conservante”.....	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados gerais da busca de artigos.....	61
Tabela 2 – Resultados detalhados da busca de artigos.	62
Tabela 3 – Países com menos de 5 publicações.	67
Tabela 4 – Artigos em parceria. (continua)	67
Tabela 5 - Produção científica brasileira.	74
Tabela 6 - Centros de pesquisa com número de publicações superior a um.	75
Tabela 7 - Empresas participantes nas publicações.	76
Tabela 8 - Espécies de microalgas em 2 ou 3 publicações.	83
Tabela 9 - Espécies de microalgas em apenas 1 publicação. (continua)	83
Tabela 10 - Classes e espécies químicas antioxidantes. (continua).....	87
Tabela 11 - Detalhamento de ácidos graxos e compostos fenólicos com atividade antimicrobiana. (continua).....	91
Tabela 12 - Resumo dos resultados. (continua).....	119

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Composição bioquímica de diferentes espécies de microalgas.	26
Quadro 2 – Alguns extratos antimicrobianos de algas eficazes contra bactérias patogênicas que causam doenças transmitidas por alimentos. (continua).....	35
Quadro 3 - Principais produtos e produtores de microalgas para nutrição humana.	38
Quadro 4 – Números de mercado de produtos à base de microalgas.	39
Quadro 5 – Valor de mercado de produtos selecionados de alto valor isolados de microalgas em comparação com biomassa inteira.	40
Quadro 6 – Preços de mercado e volume de mercado global de produtos de microalgas selecionados.....	40
Quadro 7 - Aspecto de segurança de microalgas relevantes para aplicação em alimentos.	43
Quadro 8 - Produtos alimentícios contendo diferentes tipos de conservantes.....	45
Quadro 9 - Perigos para a saúde de alguns conservantes comumente usados.....	46
Quadro 10 – Padrões microbiológicos para bebidas não alcoólicas e leite.	48
Quadro 11 - Principais métodos de prospecção, objetivos, vantagens e (ou) limitações. (continua).....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIR Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas não Alcoólicas

ABTS 2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)

Ag⁺ Íon de prata

AgNP Nanopartícula de prata

ALA Ácido alfa-linolênico

Anvisa Agência Nacional de Vigilância Sanitária

ARA Ácido Araquidônico

BBD *Box-Behnken Design*

BBM Bold's Basal Medium

BHA Hidroxianisol butilado

BHT Hidroxitolueno butilado

BIOTRANS Biomedicina Translacional

CBBC *Biotechnology Center of Borj Cedria*

CCMAR Centro de Ciências do Mar

CESAM Centro de Estudos do Ambiente e do Mar

CFU Unidade formadora de colônias

CIIMAR Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental

CNRS *Centre national de la recherche scientifique*

CO₂ Dióxido de carbono

CSIC *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*

CUPRAC *Copper reducing antioxidant capacity*

DES *Deep eutectic solvent*

DHA Ácido docosahexaenoico

DMSO Dimetilsulfóxido

DPPH 1,1-difenil-2-picrilhidrazil

DTA Doenças transmitidas por alimentos

EDS *Energy dispersive X-ray spectroscopy*

EDTA Ácido etilenodiamino tetra-acético

EFSA European Food Safety

Embrapa Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPA Ácido eicosapentaenoico

EPS Exopolissacarídeo

EUA Estados Unidos da América
FAME Éster metílico de ácido graxo (do inglês, fatty acid methyl ester)
FAO Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
FDA Food Drug Administration
FRAP *Ferric Reducing Antioxidant Power*
FTIR *Fourier transformed infrared*
FURB Universidade Regional de Blumenau
FURG Universidade Federal do Rio Grande
GC Cromatografia gasosa
GC-MS Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas
GR Glutathiona redutase
GRAS Geralmente reconhecido como seguro (do inglês, Generally Recognized As Safe)
HCS *Bacterial cell viability analysis using high-content screening*
H-NMR Ressonância magnética nuclear de prótons
HPH Homogeneização de alta pressão
HPLC Cromatografia líquida de alta eficiência
HPLC-DAD *High performance liquid chromatography - photodiodearray detector*
HTA Ácido hexadecatrienoico
HTL Liquefação hidrotérmica
IFFAR Instituto Federal Farroupilha
INBEB Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Biologia Estrutural e Bioimagem
Inmetro Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INSTM *Institut National des Sciences et Technologies de la mer*
INTEMA *Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales*
IPNA *Instituto de Productos Naturales y Agrobiología*
IRIB *The Institute for Biomedical Research and Innovation*
IRTA *Institute of Agrifood Research and Technology*
ISGlobal *Instituto de Salud Global de Barcelona*
ISPA *Instituto de Investigación Sanitaria del Principado de Asturias*
IUOPA *Instituto Universitario de Oncología del Principado de Asturias–Obra Social Cajastur*
kg Quilograma
l Litro
LA Ácido linoleico
LAB Bactérias ácido-láticas

LAQV Laboratório Associado para a Química Verde
LC-MS Cromatografia Líquida Acoplada à Espectrometria de Massas
LPO Lactoperoxidase
MALDI-TOF *Mass spectrophotometry analysis*
MAPA Ministério da Agricultura e Pecuária
mg Miligrama
MHLW Ministério da Saúde, Trabalho e Bem-Estar
MIC Concentração inibitória mínima
ml Mililitro
MMG Microalgas modificadas geneticamente
MRL *Manufacturing Readiness Levels*
NT Sem toxinas conhecidas (do inglês, no toxins known)
OHC capacidade de absorção de óleo (do inglês, Oil Holding Capacity)
OPAS Organização Pan-Americana da Saúde
ORAC *Oxygen Radical Absorbance Capacity*
P&D Pesquisa e desenvolvimento
PA Ácido palmitoleico
PAH Poli(hidroclorato de alilamina)
PD&I Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PDSC calorimetria exploratória diferencial com pressão
PEF Campo elétrico pulsado
PFE Extração com fluido pressurizado
pH Potencial hidrogeniônico
PHB Polihidroxibutirato
PLE Extração por líquido pressurizado
POA Ácido palmitoleico
PUFA Ácido graxo poli-insaturado (do inglês, *Polyunsaturated fatty acid*)
REQUIMTE Rede de Química e Tecnologia
RP-HPLC Cromatografia Líquida de Alta Eficiência de Fase Reversa
RSM *Response surface methodology*
SNP Nanopartícula de prata
SOD Superóxido dismutase
TAP Tris Fosfato Acetato
TBARS Espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico

TBHQ Terc-butil-hidroquinona
TEAC *Trolox Equivalent Antioxidant Capacity*
TEM *Transmission electron microscopy*
TLC Cromatografia em camada delgada (do inglês, *thin layer chromatography*)
TRL *Technology Readiness Levels*
TVB-N *Measurement of total volatile basic nitrogen index*
UAL Universidad de Almería
UDESC Universidade do Estado de Santa Catarina
UEM Universidade Estadual de Maringá
UEZO Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste
UFBA Universidade Federal da Bahia
UFMG Universidade Federal de Campina Grande
UFERSA Universidade Federal Rural do Semi-Árido
UFGD Universidade Federal da Grande Dourados
UFOP Universidade Federal de Ouro Preto
UFPB Universidade Federal da Paraíba
UFPE Universidade Federal de Pernambuco
UFPel Universidade Federal de Pelotas
UFPR Universidade Federal do Paraná
UFRGS Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRPE Universidade Federal Rural de Pernambuco
UFSC Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCar Universidade Federal de São Carlos
UFSM Universidade Federal de Santa Maria
UFV Universidade Federal de Viçosa
Unicamp Universidade Estadual de Campinas
Uniprote-MS *Unit of Protein Chemistry and Mass Spectrometry*
UPF Universidade de Passo Fundo
US\$ Dólar americano
WHO Organização Mundial da Saúde (OMS)
XRD *X-ray diffraction*
 ω -3 Ômega-3

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 JUSTIFICATIVA	20
1.2 OBJETIVOS	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 MICROALGAS	23
2.1.1 Breve histórico	24
2.1.2 Biodiversidade	25
2.1.3 Estrutura e composição	25
2.1.4 Cultivo e Produção	26
2.1.5 Produtos de microalgas	30
2.1.6 Microalgas: potenciais conservantes naturais	33
2.2 MERCADO E INDÚSTRIA	36
2.3 CONSERVANTES E BEBIDAS NÃO ALCOÓLICAS	43
2.4 CONTROLE MICROBIOLÓGICO: PADRÕES DEFINIDOS PELA ANVISA	47
2.5 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA	49
2.6 CONSIDERAÇÕES GERAIS	52
3 METODOLOGIA DE PESQUISA	54
3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA	54
3.1.1 Fase 1: Preparatória	55
3.1.2 Fase 2: Pré-prospectiva	55
3.1.2.1 Fase 2: levantamento da fonte de dados e detalhamento da metodologia.....	56
3.1.2.2 Estratégias de Busca de Artigos Científicos.....	56
3.1.3 Fases 3 e 4: Prospectiva e Pós-prospectiva	57
3.1.4 Definição das taxonomias – Fase 3	57
3.1.4.1 Nível Macro	57
3.1.4.2 Nível Meso	58
3.1.4.3 Nível Micro	59
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
4.1 BUSCA PRÉVIA DE ARTIGOS CIENTÍFICOS	61
4.2 ANÁLISE MACRO DOS ARTIGOS	63
4.2.1 Artigos relevantes e descartados	63
4.2.2 Evolução histórica	64

4.2.3 Países participantes na publicação de artigos.....	65
4.2.4 Instituições.....	71
4.3 ANÁLISE DE CLASSIFICAÇÃO NÍVEL MESO DOS ARTIGOS.....	77
4.4 ANÁLISE DE CLASSIFICAÇÃO NÍVEL MICRO DOS ARTIGOS.....	80
4.4.1 Microalgas.....	80
4.4.2 Agente.....	84
4.4.2.1 Agentes Antioxidantes.....	86
4.4.2.2 Agentes Antimicrobianos.....	89
4.4.3 Teste.....	95
4.4.4 Método de obtenção do Agente.....	98
4.4.5 Campo de aplicação.....	103
4.4.6 Escalabilidade.....	108
4.4.7 Tecnologia de produção/Inovação.....	110
4.4.8 Conservante.....	116
4.5 RESUMO DOS RESULTADOS.....	119
5 CONCLUSÕES.....	122
6 REFERÊNCIAS.....	125

1 INTRODUÇÃO

A ingestão de líquidos está intrinsecamente ligada às necessidades humanas. Com uma enorme e crescente variedade de produtos no mercado, a indústria de bebidas prospera a cada ano e, para tal, é de extrema importância atender às demandas (mutáveis) dos consumidores. No cenário atual, podem-se destacar as exigências por produtos mais saudáveis, seguros e funcionais, sendo uma tendência o mercado oferecer opções cada vez menos processadas e mais frescas, naturais. Dessa forma, a inovação é uma palavra-chave, tanto direcionada a produtos já tradicionais, quanto a futuros lançamentos (KALPANA; RAJESWARI, 2019).

Nesse sentido, há uma busca por compostos com origem em recursos naturais que possam ser utilizados como aditivos em bebidas (NUNES *et al.*, 2016). Um exemplo é a substituição de um conservante químico, utilizado, entre outros fins, para aumentar o tempo de prateleira de um produto, por um natural. Esse movimento se justifica devido a evidências de potenciais efeitos negativos causados pela ingestão de conservantes artificiais. Vale destacar que, embora estes sejam considerados seguros, seu uso deve ser limitado para proteger a saúde humana. Ainda, é importante ressaltar que, com a pressão por segurança alimentar, o uso e restrição de tais substâncias tendem a obedecer a regulamentos mais criteriosos (VARA; KARNENA; DWARAPUREDDI, 2019).

A partir do contexto apresentado, surge a percepção do espaço existente para pesquisas voltadas às indústrias de alimentos e bebidas. Dadas as exigências em questão, uma área de estudo que se mostra atrativa é a de microalgas e seus produtos. Apesar dos milhares de espécies existentes, não são muitas as cultivadas em escala industrial (OLAIZOLA, 2003). Na indústria farmacêutica, a capacidade de algumas espécies produzirem compostos bioativos como antioxidantes e antibióticos é aproveitada. As microalgas, por serem capazes de apresentar elevados teores de proteínas, polissacarídeos e vitaminas, também podem ser utilizadas como alimentos, suplementos nutricionais e no campo da cosmética. Outro exemplo é a possibilidade da extração de lipídios para conversão em biocombustíveis (biodiesel e biogás) (SIMÕES *et al.*, 2016).

As microalgas apresentam a qualidade de produzir variados compostos em determinadas condições de cultivo, dentre eles antioxidantes e antifúngicos, sugerindo a possibilidade de extração de compostos bioativos que podem atuar como conservante natural, substituindo os artificiais/químicos. A literatura já aponta para a presença, em biomassa de microalga, de substâncias com potencial antioxidante, antimicrobiano, antifúngico, anti-inflamatório, antitumoral, sendo os compostos fenólicos um representante majoritário de biomoléculas com

atividade funcional contra processos de degradação (SCAGLIONI; BADIALE-FURLONG, 2017).

Ao se considerarem fatores como a necessidade de aditivos alimentares mais saudáveis que os químicos/artificiais; a característica marcante de microalgas servirem como produtora de substâncias associadas à indústria alimentícia e de bebidas e, uma vez que conservantes artificiais/químicos têm sido associados a efeitos negativos na saúde humana (KALPANA; RAJESWARI, 2019), é possível apontar como relevante o estudo de microalgas objetivando produzir substâncias que possam ser adicionadas a bebidas não alcoólicas como conservantes naturais.

1.1 JUSTIFICATIVA

Os conservantes químicos sintéticos são utilizados de forma limitada, pois apresentam aspectos indesejáveis relacionados à toxicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e, ainda, podem demorar para se degradar, piorando a poluição do meio ambiente (BARBERIS *et al.*, 2018). Como exemplo de antioxidantes sintéticos com potenciais efeitos negativos, podem ser citados o hidroxianisol butilado (BHA), o hidroxitolueno butilado (BHT) e o Terc-butil-hidroquinona (TBHQ) (AGREGÁN *et al.*, 2017a, 2017b).

Produtos da indústria alimentícia, incluindo a de bebidas, podem ser contaminados por leveduras, bactérias e fungos, muitas vezes tendo características organolépticas deterioradas, e até mesmo tornando-se impróprios para consumo. Uma vez que há um movimento atual do mercado consumidor em reprovar conservantes químicos sintéticos, a indústria é estimulada a buscar alternativas, incluindo o uso de compostos naturais com atividade antioxidante e antimicrobiana que aumente o tempo de prateleira de seus produtos tornando-os mais seguros (BARBERIS *et al.*, 2018).

Neste cenário, as microalgas, microrganismos fundamentais nas cadeias tróficas (DERNER *et al.*, 2006), apresentam-se como fontes promissoras para obtenção destes e outros compostos de alto valor comercial. São capazes de produzir ampla gama de substâncias interessantes para a indústria, como carotenoides, clorofilas, vitaminas, ficobiliproteínas, polifenóis, ácidos graxos e compostos poli-insaturados (MOBIN; CHOWDHURY; ALAM, 2019). Além disso, dada a crescente resistência de bactérias a antibióticos, e por produzirem toxinas, algicidas, entre outros compostos bioativos, seu uso como conservante alimentar por potencial efeito antimicrobiano tem sido analisado (ALSENANI *et al.*, 2020; BARBA, 2017). Há microalgas cujos extratos exibem atividade contra patógenos de origem alimentar comum,

inibindo bactérias Gram-positiva (*Staphylococcus aureus*) e Gram-negativa (*Salmonella* spp., *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*) (BARBERIS *et al.*, 2018).

Spirulina maxima, *Chlorella vulgaris*, *Haematococcus pluvialis*, *Diatronema vlkianum* e *Isochrysis galbana* estão entre as mais interessantes algas com potenciais propriedades bioativas (PINA-PÉREZ *et al.*, 2017). Aproximadamente 90% do cultivo de algas é localizado na Ásia, sendo os produtores comerciais concentrados na China, Taiwan e Índia (SATHASIVAM *et al.*, 2019).

Há grande expectativa de que os praticamente infindáveis produtos gerados por microalgas possam ser aplicados nas indústrias farmacêutica e cosmética; na alimentícia, como aditivo alimentar e ingrediente, entre outras. Tal expectativa se justifica pelas propriedades antioxidantes, antivirais, antibacterianas, antifúngicas, anti-inflamatórias, antitumorais e antimaláricas que esses compostos naturais possuem (FU *et al.*, 2017). Outros fatores que tornam o cultivo comercial de microalgas atrativo são o curto tempo para gerar seus compostos, área necessária para o cultivo é baixa, adaptação do microrganismo a diversos meios, redução do impacto do efeito-estufa ao sequestrar dióxido de carbono (CO₂), passível de ser objeto de estudo da engenharia genética, otimizando a produção (KHADIM *et al.*, 2021).

Em 2018, produtos livres de conservantes sintéticos, de fontes naturais, enriquecidos com vitaminas ou mineirais se destacaram como uma tendência para bebidas e concentrados, conforme Lafarga (2019).

Embora o potencial das microalgas seja extremamente atrativo, a literatura com enfoque na aplicação dos compostos gerados como conservantes para bebidas ainda é escassa, indicando que há muito a ser explorado. Sendo assim, o uso de conservantes naturais obtidos a partir de microalgas na indústria de alimentos e bebidas não tende a estar num futuro distante, incrementando a importância do investimento e desenvolvimento nessa área de pesquisa (PINA-PÉREZ *et al.*, 2017).

O presente trabalho faz, portanto, uma prospecção tecnológica da utilização de conservantes naturais a partir de microalgas e seu uso em bebidas não alcoólicas com base em vasta pesquisa na literatura acadêmica através da base de dados *Scopus*, da editora Elsevier, no período entre 2016 e 2023. Essa base é um dos principais bancos de dados da literatura científica com revisão por pares, o que possibilita análise abrangente de determinado assunto. A prospecção tecnológica, ao analisar os fatores e atores envolvidos no processo de inovação e suas inter-relações, visa identificar demandas tecnológicas atuais, potenciais e futuras de uma determinada cadeia produtiva (CASTRO, 2001). É uma forma de compreender o cenário atual do estado da arte de uma tecnologia e os futuros e alternativas para onde ele aponta,

considerando, na análise, possíveis impactos sociais, econômicos, ambientais e institucionais da implantação de determinada inovação tecnológica, o que possibilita se antecipar a oportunidades e ameaças (TEIXEIRA, 2013).

Ao apontar promissoras tecnologias emergentes e áreas de pesquisa estratégica (TEIXEIRA, 2013), é permitido a um centro de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) se antecipar e inovar, não só fornecendo à indústria e ao mercado o que é requisitado, mas também promovendo o sucesso do centro de P&D, sua inovação, e daqueles que dependem de seus serviços.

1.2 OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivo geral investigar a potencial aplicação de microalgas para produção de conservantes naturais para uso em bebidas não alcólicas e, a partir da investigação, estabelecer o nível de maturidade de tecnologias emergentes e portadoras de futuro, objetivos específicos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MICROALGAS

As microalgas podem ser consideradas pioneiras em relação à capacidade de realizar fotossíntese (SIMÕES *et al.*, 2016) e estão presentes nos mais variados ambientes e habitats da Terra. Seja em água doce ou salgada, flutuando livremente na água ou crescendo junto a plantas, macroalgas, pedras, areia etc., é possível encontrar seres vivos que se encaixam nessa classificação. Sendo responsáveis por aproximadamente metade da atividade fotossintética e produção de oxigênio em todo planeta, desempenham papel fundamental nos ecossistemas (SIERRA *et al.*, 2021). Essa relevância é explicitada, não só pela produção de oxigênio, mas também pela fixação de carbono, que ocorre durante o processo da fotossíntese. Por usarem energia luminosa para produção de matéria orgânica, são base para a alimentação dos seres vivos que delas dependem (BOROWITZKA, 2018).

Além da participação de forma natural em ecossistemas, há espécies utilizadas na agricultura, na indústria de alimentos, medicina e cosméticos, para biorremediação, fixação de CO₂ e em pesquisas para produção de biocombustível, entre outras aplicações (SIERRA *et al.*, 2021). As diversas potenciais aplicações de microalgas e seus produtos se dão pela capacidade de gerar ampla variedade de compostos com possíveis usos em processos produtivos somada à alta possibilidade de descoberta de novos compostos (uma vez que o número de espécies conhecidas, estudadas e empregadas em indústria é ínfimo se comparada à estimativa da quantidade de espécies que habitam o planeta e permanecem sem estudos profundos ou ainda são desconhecidas), além de outras características, o que desperta interesse nos cientistas e na indústria (SIMÕES *et al.*, 2016).

Entre as características que destacam microalgas como promissoras para a indústria e mercado estão a alta taxa de crescimento da biomassa, a habilidade de produzir diversas substâncias biologicamente ativas e a capacidade de se adaptar a diferentes condições de cultivo, modificando sua composição bioquímica (DOLGANYUK *et al.*, 2020). Também são capazes de produzir compostos de interesse comercial em altas concentrações dependendo das condições do meio (VONSHAK, 1990). Ao comparar com plantas terrestres, não há competição com plantios pois não são necessárias terras aráveis para seu cultivo (MARKOU; NERANTZIS, 2013).

2.1.1 Breve histórico

O uso de microalgas por humanos remonta há séculos, segundo Olaizola (2003). Povos nativos consumiam, como forma de alimento, espécies do gênero *Nostoc*, na Ásia, e *Spirulina* (*Arthrospira*), tanto na África, quanto na América (BERTOLDI; SANT'ANNA; OLIVEIRA, 2008). A utilização da *Spirulina* como alimento ocorre há pelo menos 700 anos (BATISTA *et al.*, 2011) e, na China, espécies de *Nostoc* eram empregadas na alimentação há 2000 anos (PRIYADARSHANI; RATH, 2012).

Ainda que presente há tanto tempo como alimento entre humanos, a biotecnologia de microalgas só começou a dar maiores passos a partir de meados do século passado (PRIYADARSHANI; RATH, 2012). Impulsionada pela segunda guerra mundial e a crise de fome que a seguiu, além dos avanços em pesquisas sobre microalgas e crescimento populacional (ONCEL *et al.*, 2015), tornou-se interessante a possibilidade de usar microalgas como fonte alternativa de proteínas (BOROWITZKA, 2013), uma vez que carne animal era escassa (SIMÕES *et al.*, 2016).

Com o interesse e progresso do conhecimento acerca das microalgas, seus cultivos, produtos e aplicações, foram estimulados estudos ao redor do Globo, sendo os principais países os Estados Unidos, Alemanha, Israel, República Tcheca, Japão, Tailândia, França e Itália (ONCEL *et al.*, 2015).

A produção comercial em larga escala teve início no começo da década de 1960, no Japão, com cultivo de *Chlorella* pela Nihon Chlorella (Taipei, Taiwan) (SPOLAORE *et al.*, 2006). Focando em alimentação saudável e suplementos nutricionais, a produção comercial se espalhou para a China e outros países asiáticos durante a década de 1970. Nesse período era comum a utilização de sistemas de cultivo do tipo lagoa aberta (do inglês, *open pond*) (BOROWITZKA, 2013).

No início da década de 1970, era possível localizar a primeira instalação para produzir *Arthrospira* (também conhecida como *Spirulina*) no lago de Texcoco, México (SPOLAORE *et al.*, 2006). Dois exemplos de empresas que, nos anos 1980, instalaram plantas de produção de *Spirulina* nos EUA usando reatores tipo “*raceway*” são Earthrise Nutritional LLC, na Califórnia, e Cyanotech Corp, no Havaí (BOROWITZKA, 2013).

Já na década de 1980, 46 fábricas de grande porte produziam mais de 1 tonelada de microalgas (principalmente *Chlorella*) por mês na Ásia. E, por volta de meados dessa década, começou em escala industrial para comércio o uso de *Dunaliella salina* para produção de β -caroteno em Israel, Austrália e Estados Unidos (SPOLAORE *et al.*, 2006).

Ao fim da década de 1990, teve início a produção comercial de *Haematococcus pluvialis* para produção de astaxantina, um carotenoide de alto valor agregado, nos Estados Unidos, onde também se viu a produção heterotrófica de *Cryptocodinium cohnii* como fonte de ácido eicosapentaenoico (EPA) (BOROWITZKA, 2013). Nas últimas décadas, as microalgas continuam a estimular atividades de pesquisa e desenvolvimento, incluindo a área de microalgas modificadas geneticamente (MMG) (BUCHBERGER *et al.*, 2020).

Além do que já se faz presente num mercado muitas vezes nichado, e que busca inovações e avanços na biotecnologia de microalgas, essas que são vistas como pequenas fábricas também encontram potencial aplicabilidade nas indústrias farmacêutica, de alimentos com foco em produtos de alta qualidade e nutracêuticos, de cosméticos; como *commodity* para elaboração de alimentos humano e animal; também é promissora na área de produção de compostos químicos, bioestimulantes, biopesticidas, biofertilizantes, biodiesel e biogás; e também para tratamento de águas de reuso, biomitigação da emissão de CO₂ e remoção de CO₂ de gases de combustão (VIEIRA *et al.*, 2022).

2.1.2 Biodiversidade

O termo “microalga” engloba extensa variedade de organismos que, geralmente, contêm clorofila e realizam fotossíntese oxigênica. As estimativas acerca do número de espécies que habitam o Globo variam entre 200.000 e vários milhões (SIERRA *et al.*, 2021). Segundo Borowitzka (2018), as microalgas podem ser algas microscópicas, eucariontes, unicelulares, coloniais ou filamentosas. Também são consideradas microalgas as cianobactérias, bactérias procarióticas que realizam fotossíntese oxigênica (BOROWITZKA, 2018). No entanto, nem toda microalga faz fotossíntese, como as diatomáceas de seis espécies de *Nitzsca* e uma de *Hantzscia*, que não contêm clorofila e se desenvolvem heterotroficamente (BOROWITZKA, 2018). Há ainda espécies que apresentam comportamento mixotrófico, isto é, possuem cloroplastos e fazem fotossíntese, mas podem engolfar bactérias e outras partículas que serão digeridas em vacúolos alimentares (ANDERSEN, 2013).

2.1.3 Estrutura e composição

A morfologia das microalgas apresenta grande diversidade, diferindo não só entre espécies, mas entre fases do ciclo de vida de uma mesma espécie. As formas mais comuns são chamadas ameboide, palmeloide (= capsoide), cocoide, filamentosos, flagelado e sarcinoide (ANDERSEN, 2013).

As microalgas podem se reproduzir de forma sexuada ou assexuada, que é o caso dos gêneros *Chlorella*, *Euglena*, *Nannochloropsis* e *Porphyridium*, que não apresentam reprodução sexuada relatada na literatura. As células eucarióticas contêm núcleo, geralmente um ou mais cloroplastos, mitocôndria, retículo endoplasmático, entre outras organelas típicas desse tipo de célula (ANDERSEN, 2013).

As células das microalgas apresentam uma matriz extracelular que as contem e é relevante para a adesão entre células, controle da expansão celular, detecção de fatores ambientais de estresse, reprodução e morfogênese (BOROWITZKA, 2018).

Os pigmentos mais abundantes produzidos pelas microalgas pertencem a três grupos: carotenoides, ficobiliproteínas (complexo entre proteínas e ficobilinas, e são exemplos ficoeritrina, ficocianina e aloficocianina) e clorofilas (JACOB-LOPES *et al.*, 2019).

A produção de substâncias bioquímicas das microalgas inclui carboidratos, lipídios, proteínas, ácidos nucleicos, vitaminas e minerais. A composição bioquímica referente a carboidratos, proteínas e lipídios de diferentes espécies de microalgas pode ser observada, em base de massa por massa seca (p/p), no Quadro 1:

Quadro 1 – Composição bioquímica de diferentes espécies de microalgas.

Espécies	% P (p/p)	% C (p/p)	% G (p/p)
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	34,8	16,8	16,1
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	48	17	21
<i>Dunaliella salina</i>	57	32	6
<i>Spirulina maxima</i>	60-71	13-16	6-7
<i>Porphyridium cruentum</i>	28-39	40-57	9-14
<i>Isochrysis galbana</i>	27	34	11
<i>Botryococcus braunii</i>	39-40	19-31	25-34
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	12-17	14-22

P, C e G representam, respectivamente, proteína, carboidrato e gordura.

Fonte: Adaptado de Barkia, Saari e Manning (2019). Tabela traduzida pelo presente autor.

2.1.4 Cultivo e Produção

Quando o uso de microalgas é direcionado a aplicações industriais, devem ser elaboradas condições de cultivo objetivando extrair o potencial máximo da espécie em questão, tornando viável a produção em escala industrial para o mercado (MORAIS JUNIOR *et al.*, 2020). As características do meio de cultivo influenciam em seu crescimento, desenvolvimento, metabolismo, e conseqüentemente, em compostos produzidos e suas concentrações. Como exemplos de fatores relevantes podem-se citar pH, temperatura, intensidade luminosa,

composição do espectro, fotoperíodo, nutrientes presentes e sua concentração, presença ou não de outros microrganismos, salinidade, concentração de substâncias presentes no meio e agitação ou não do meio (DOLGANYUK *et al.*, 2020; MORAIS JUNIOR *et al.*, 2020).

Entre as técnicas de cultivo de microalgas, podem ser citadas três principais: fotoautotrófica, heterotrófica e mixotrófica (DOLGANYUK *et al.*, 2020). Há também a fotoheterotrófica (SIMÕES *et al.*, 2016). A mais utilizada é a de condição fotoautotrófica em que, com uma fonte de luz (geralmente solar) como energia e carbono inorgânico (e.g. dióxido de carbono, bicarbonato), há geração de energia química através da fotossíntese. Em cultivos heterotróficos, as microalgas, em ausência de luz, podem utilizar carbono orgânico como fonte de carbono e energia (BARCLAY; APT; DONG, 2013). Já os cultivos mixotróficos misturam os dois tipos anteriores. Embora nem toda microalga seja mixotrófica, grande parte das espécies conhecidas conseguem alternar entre processos fotoautotróficos e heterotróficos, de acordo com condições ambientais (BARCLAY; APT; DONG, 2013; DOLGANYUK *et al.*, 2020; PIRES, 2015).

Cultivos em regime fotoautotrófico, geralmente, apresentam densidade de células baixa, pois o crescimento da biomassa leva à formação de sombra entre as próprias microalgas do cultivo, o que, por sua vez, indica a necessidade de alta razão entre área e volume de cultivo e agitação otimizada para melhor produtividade de biomassa. E enfim, o uso de grandes volumes com baixa densidade celular leva a maiores custos para colheita e fornecimento de energia para agitação (DOLGANYUK *et al.*, 2020; PEREZ-GARCIA *et al.*, 2011; PIRES, 2015).

Partindo das desvantagens acima, num sistema heterotrófico, não há problema de disponibilidade de luz, que não é necessária, o que permite maior densidade de células. Apesar disso, o custo envolvido é elevado, pela demanda de carbono orgânico, e há possibilidade de contaminação devido à composição do meio. Uma forma de reduzir o custo para implementar esse sistema é aproveitar biorreatores, como fermentadores, já utilizados na indústria farmacêutica e de alimentos para a produção, que não exige luz. Por fim, uma das vantagens de cultivos mixotróficos é a reutilização do oxigênio liberado no meio, o que evita dano fotooxidativo que inibiria o crescimento do cultivo. Contudo, permanece a questão do custo para fornecimento de material orgânico e outros compostos que otimizem o cultivo, sendo uma possível solução empregar águas de reuso na formulação do meio (MORALES-SÁNCHEZ; MARTINEZ-RODRIGUEZ; MARTINEZ, 2017; PEREZ-GARCIA *et al.*, 2011; PIRES, 2015).

Os cultivos fotoautotróficos podem ser conduzidos em sistema aberto ou fechado (DOLGANYUK *et al.*, 2020) e, atualmente, mais de 98% da produção comercial de biomassa

microalgal ocorre em lagoa aberta. O mais comum é o reator tipo “*raceway*” misturado/agitado com rodas de pás e de baixa profundidade (15-30cm) (BENEMANN; WOERTZ; LUNDQUIST, 2018), como visto na Figura 1. As vantagens desse tipo de reator são seu baixo custo, facilidade de *scale-up* e baixo consumo de energia. Desvantagens são o pouco controle das condições de cultivo, dependência do clima, flutuações de temperatura, risco de contaminação dos cultivos e baixa difusão da iluminação conforme o aumento de profundidade (DOLGANYUK *et al.*, 2020; FERNANDEZ; SEVILLA; GRIMA, 2017).

Figura 1 – Reator do tipo “*raceway*” (sistema aberto para cultivo de microalgas).



Fonte: Pires (2015).

O sistema fechado para cultivos fotoautotróficos é representado por fotobiorreatores de diferentes *designs*, sendo o tubular (Figura 2) o mais comumente utilizado para fins comerciais (FERNANDEZ; SEVILLA; GRIMA, 2017; PEREZ-GARCIA *et al.*, 2011) e para escala de laboratório é indicado o uso do *design* de painel plano com elevado aproveitamento da iluminação (DOLGANYUK *et al.*, 2020). Projetados de forma a contornar as desvantagens das lagoas abertas, separam o cultivo do ambiente externo, promovendo melhor controle dos parâmetros do cultivo e, assim, maior produtividade é alcançada (PIRES, 2015).

Figura 2 – Biorreator tubular.



Fonte: Pires (2015).

Ainda que apresente enormes vantagens, o cultivo em fotobiorreatores fechados demanda maiores gastos, é difícil de passar por *scale-up*, bioincrustação (do inglês, *biofouling*) prejudica produtividade e há o problema de acúmulo de oxigênio no sistema (FERNANDEZ;

SEVILLA; GRIMA, 2017; MORALES-SÁNCHEZ; MARTINEZ-RODRIGUEZ; MARTINEZ, 2017).

Ao formular o meio de cultivo é fundamental atender às necessidades das microalgas em termos nutricionais e de compostos utilizados para obtenção dos produtos de interesse. Além da fonte de carbono, orgânica e/ou inorgânica, dependendo se é fotoautotrófica, heterotrófica ou mixotrófica, geralmente necessitam de nitrogênio, fósforo, enxofre e vitaminas. Além dos macronutrientes, algas também necessitam de micronutrientes como ferro, silício, selênio, manganês, cobre, zinco, níquel, potássio, cobalto, vanádio etc. (BOROWITZKA, 2018).

Há diversas composições e condições de cultivo. Há os meios otimizados para determinada espécie ou gênero (e.g. *Jhonson* para *Dunaliella*, Tris Fosfato Acetato (TAP) para *Chlamidomonas* e Zarrouk para *Arthrospira*) e produto de interesse e os que funcionam de forma geral para várias espécies/gêneros, como o *Bold's Basal Medium* (BBM), um meio padrão de boa qualidade para muitas algas verdes de água doce (MORAIS JUNIOR *et al.*, 2020).

A colheita é um dos gargalos do processo produtivo de microalgas, podendo ser problemático devido ao pequeno tamanho das células, a baixa velocidade de sedimentação por gravidade e baixa concentração de biomassa no meio de cultivo (GRIMA; FERNÁNDEZ; MEDINA, 2013). Os métodos para a colheita de microalgas e/ou compostos contidos em seu meio ou biomassa podem ser mecânicos, químicos, biológicos ou elétricos. São exemplos: filtração, centrifugação, flotação, floculação, eletro-floculação, sedimentação, processos eletrolíticos, eletroforese, separação magnética e ultrassom (MORAIS JUNIOR *et al.*, 2020). A centrifugação é o método mais utilizado em produções comerciais, mas é direcionada a produtos de maior valor econômico devido seu elevado custo (GRIMA; FERNÁNDEZ; MEDINA, 2013).

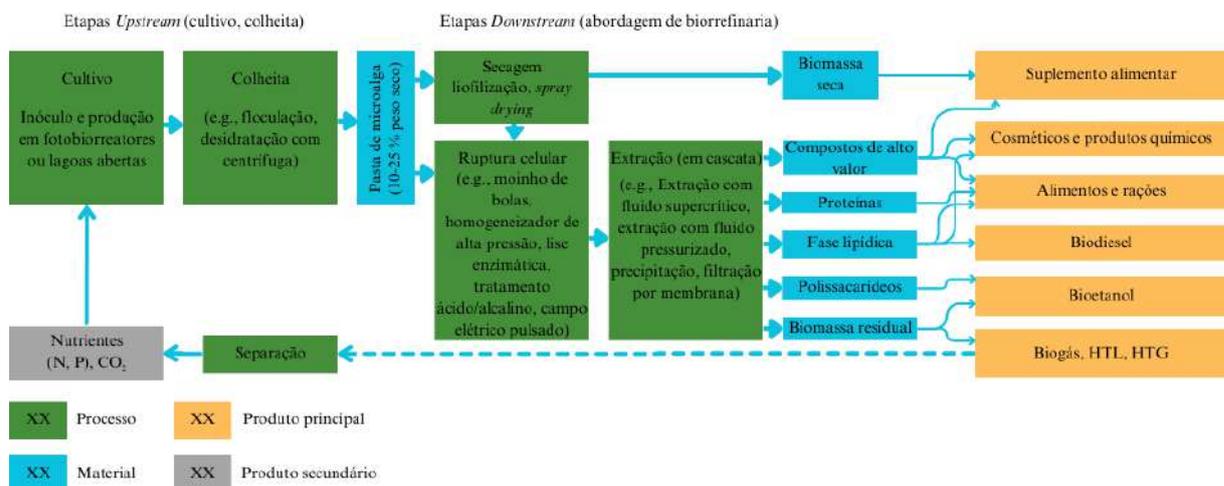
Para retirar umidade da biomassa colhida na etapa anterior, objetivando, por exemplo, posterior extração de compostos e produção de suplemento alimentar, é utilizada a secagem. É um processo que eleva substancialmente o custo da produção por consumo energético intenso, e os métodos mais comuns para realizar a secagem são liofilização (do inglês, *freeze-drying*), secagem em tambor (do inglês, *drum drying*), secagem ao sol e *spray drying*, sendo o último a escolha para produtos de valor elevado (>US\$1000 t⁻¹) (GRIMA; FERNÁNDEZ; MEDINA, 2013; MORAIS JUNIOR *et al.*, 2020).

Seguindo com os pré-tratamentos anteriores à extração, são observados métodos que têm como objetivo possibilitar a maior recuperação possível de componentes intracelulares de interesse presentes na biomassa do cultivo. Esses métodos podem ser físicos (e.g. moagem,

homogeneização de alta pressão (HPH), ultrassom, campo elétrico pulsado (PEF) (do inglês, *pulsed electric field*); químicos (e.g. hidrotérmico, ácido, básico, oxidativo); enzimáticos e combinações entre diferentes métodos, que podem ou não levar à ruptura celular (NITSOS *et al.*, 2020).

A extração dos componentes é a operação em que ocorre transferência de um ou mais compostos de uma fase líquida ou sólida para outra fase líquida por diferença de solubilidade. O mais comum é a extração utilizando solventes orgânicos e, como alternativas, há métodos que utilizam fluidos supercríticos, água ou líquidos iônicos. Há ainda etapas destinadas à purificação do produto (GRIMA; FERNÁNDEZ; MEDINA, 2013). O processo produtivo de microalgas descrito nesta seção apresentou etapas e métodos de forma geral, e algumas dessas etapas podem ser observadas na Figura 3 a seguir:

Figura 3 – Produção integrada de alimentos e combustíveis a partir de microalgas.



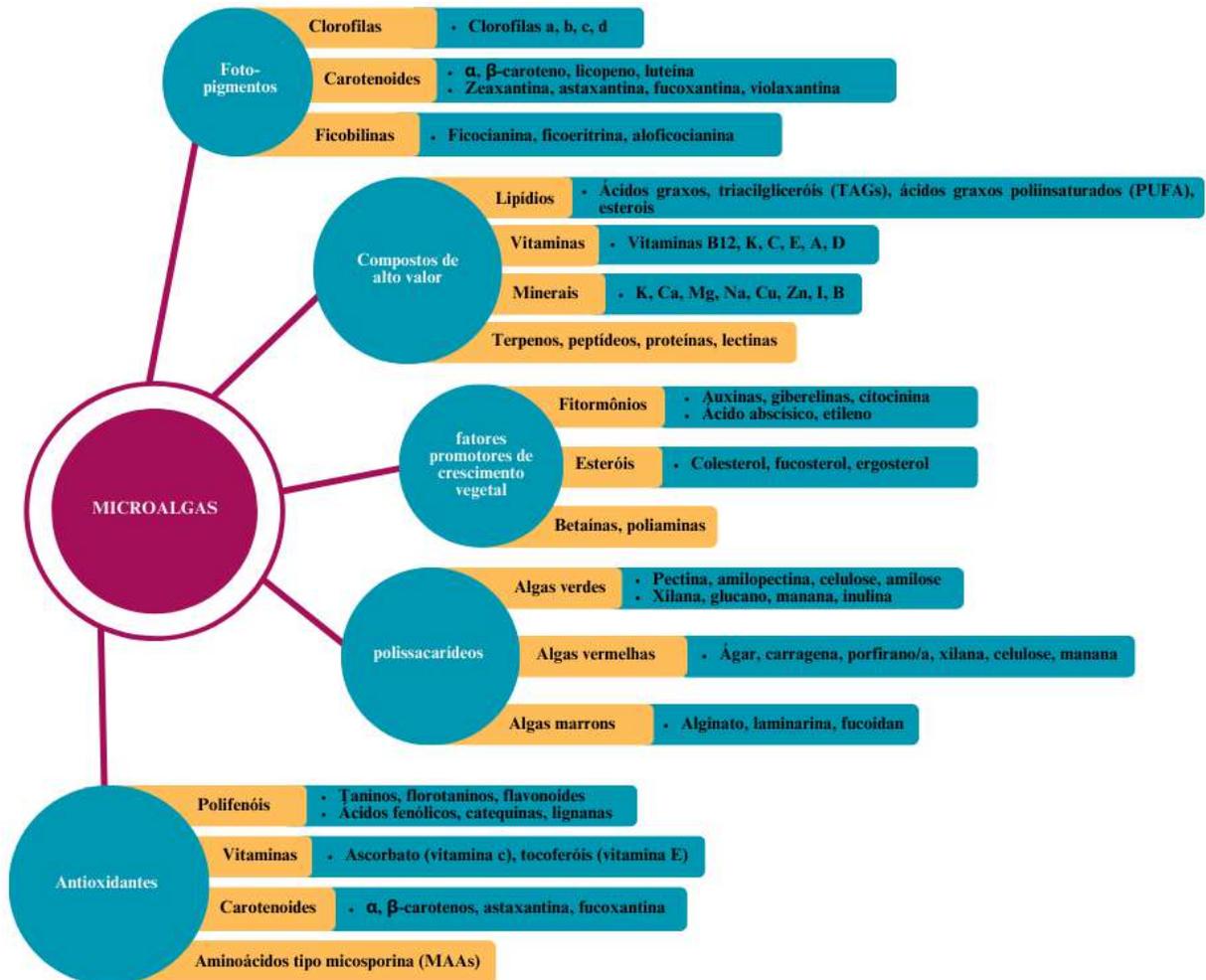
Fonte: Adaptado de Rösch, Roßmann e Weickert (2019) e traduzido pelo presente autor.

2.1.5 Produtos de microalgas

O potencial de aplicação de microalgas e seus produtos permeia diversos campos de atuação. Figuram na ciência como promissoras fontes de produção sustentável de compostos como pigmentos (e.g. clorofilas, ficobiliproteínas, carotenoides), lipídios (e.g. ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs), triacilglicerídeos, ácidos graxos, entre outros), proteínas e aminoácidos essenciais (não produzidos pelo corpo humano), carboidratos e vitaminas (e.g. A, B12, C, E, K) (Figura 4), muitos sendo de grande valor para a indústria e mercado, podendo ter utilidade como alimentos, aditivos alimentares ou ingredientes para a indústria

alimentícia, nutracêuticos, bem como fazendo parte da formulação de cosméticos e fármacos (KHADIM *et al.*, 2021).

Figura 4 – Resumo de compostos de valor elevado e outros compostos bioativos de interesse comercial derivados de microalgas.



Fonte: Adaptado de Khadim *et al.* (2021). Traduzido pelo presente autor.

As microalgas produzem pigmentos representados por carotenos (cor laranja), xantofilas (cor amarelada), ficobiliproteínas (cor vermelha ou azul) e clorofilas (cor verde) (DOLGANYUK *et al.*, 2020). A espécie *Arthrospira platensis* pode produzir em altas quantidades as vitaminas A, B1, B2 e B12, embora a última não seja bem absorvida pelo corpo na forma produzida pela *A. platensis* (AMORIM *et al.*, 2021). *Haematococcus* são conhecidas pela astaxantina, poderoso antioxidante, e fucoxantina é um pigmento antioxidante predominante em diatomáceas (FU *et al.*, 2017).

Entre os carotenoides, os principais são β -caroteno, licopeno, luteína, zeaxantina, violaxantina, cantaxantina, fucoxantina, bixina e astaxantina (COATES; TRENTACOSTE; GERWICK, 2013; PIGNOLET *et al.*, 2013). *Dunaliella* chega a produzir 14% de seu peso seco como β -caroteno (RAHMAN, 2020), substância com propriedades antioxidante, anti-inflamatória, imunomoduladora, entre outras (CEZARE-GOMES *et al.*, 2019).

A produção de ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs) é tradicionalmente feita a partir de óleos de peixe e não é sustentável. Dessa forma, há oportunidade para que microalgas atuem como produtoras. Uma vez que o corpo humano não é capaz de produzir os ácidos graxos essenciais (ω -3 e ω -6), estes devem ser obtidos pela dieta. Entre os principais PUFAs que podem ser obtidos de microalgas estão os ácidos eicosapentaenoico (EPA), docosahexaenoico (DHA) e o precursor de EPA e DHA, o ácido linolênico, todos pertencentes ao conjunto ω -3. O principal ácido graxo saturado é o palmítico. Entre os ω -6 estão os ácidos linoleico, gama-linolênico e araquidônico (DOLGANYUK *et al.*, 2020; FU *et al.*, 2017).

O perfil dos aminoácidos produzidos por diferentes espécies de microalgas é uma das ferramentas para avaliar a qualidade das suas proteínas, especialmente ao analisar os valores obtidos de aminoácidos essenciais, aqueles que o corpo humano não produz (RAHMAN, 2020). Mas além da análise do perfil de aminoácidos, também é importante avaliar a biodisponibilidade e digestibilidade das proteínas em questão. Ainda, ressalta-se que algumas microalgas produzem proteínas chamadas de “anti-congelamento” que podem ser empregadas em criopreservação e preservação de comida congelada (JACOB-LOPES *et al.*, 2019).

Conforme o conhecimento científico sobre biotecnologia de microalgas avança, novos compostos, propriedades e conhecimentos vão sendo desenvolvidos. Atualmente, a literatura demonstra que os compostos bioativos das microalgas podem agir como antioxidante, antiviral, antifúngico, antibacteriano, anti-inflamatório, antitumoral, antimalárico, entre outros (FU *et al.*, 2017; JACOB-LOPES *et al.*, 2019; KHADIM *et al.*, 2021; KOLLER; MUHR; BRAUNEGG, 2014).

No mercado de alimentos e rações é possível encontrar produtos à base de microalgas. As biomassas de *Spirulina platensis*, *Spirulina pacifica*, *Chlorella vulgaris*, *Schizochytrium limacinum* e *Aphanizomenon flos-aquae* são utilizadas como suplemento proteico, por exemplo. Entre os pigmentos de importância industrial, valem citar: β -caroteno, extraído de espécies como *Dunaliella salina* e *Dunaliella bardawil*, aplicados como corante e aditivo alimentares; astaxantina, utilizada como aditivo e suplemento alimentares, e que pode ser obtida da *Haematococcus pluvialis* e a ficocianina, um corante alimentar presente na *S. platensis*.

Também comercializados como suplementos alimentares estão os ácidos graxos eicosapentaenoico (EPA) e docosahexaenoico (DHA) (JACOB-LOPES *et al.*, 2019).

Ainda segundo Jacob-Lopes *et al.* (2019), produtos como ficoeritrina, óleos ômega-6, *cookies* e *noodles* contendo biomassa já têm autorização para produção, em ao menos, um país, mas ainda não entraram no mercado. Já os produtos fucoxantina, β -glucanos, polissacarídeos extracelulares, ácidos graxos e proteínas já estão em fase avançada de desenvolvimento. E entre os que têm apenas uma prova do conceito, mas a tecnologia ainda não está madura estão os antioxidantes, antimicrobianos, luteína, enzimas e carboidratos.

2.1.6 Microalgas: potenciais conservantes naturais

Uma das grandes vantagens da introdução de microalgas em processos produtivos da indústria de alimentos é a substituição de compostos químicos sintéticos, por vezes prejudiciais à saúde humana, por alternativas mais saudáveis e naturais. Entre os aditivos alimentares sintéticos que cada vez mais são rejeitados pelos consumidores estão os conservantes. Nesse sentido, é do interesse de negócios do setor de alimentos inserir produtos rotulados como livres de conservantes sintéticos no mercado. E, uma vez que as microalgas são capazes de produzir substâncias bioativas que atuam como antioxidantes, antifúngicos, antibacterianos e antivirais, há espaço para pesquisa e desenvolvimento de tais compostos que possam ser aplicados como conservantes naturais em alimentos e bebidas (CAPORGNO; MATHYS, 2018).

Alguns corantes alimentares de origem natural podem desempenhar papéis antioxidantes e conservantes, como é o caso do β -caroteno e da astaxantina (NWOBA *et al.*, 2020). Ainda que a maior parte da literatura consultada exiba esses e outros compostos classificados como pigmentos de significativo poder antioxidante, há alguns artigos que apontam para uma altíssima instabilidade dos carotenoides (incluindo a astaxantina), e apontam que clorofilas, por vezes, têm atribuída a elas função antioxidante, mas quando expostas à luz (radiação UV), as clorofilas absorvem energia luminosa e facilmente a transferem para o oxigênio tripleto que se torna singleto e, altamente reativo, leva a processos oxidativos como a oxidação lipídica. Esse processo é responsável pela rancificação do alimento ou bebida, conferindo a ele sabores e odores desagradáveis. No entanto, foi conferida atividade antioxidante da clorofila em óleos que foram incubados no escuro (BUTLER; GOLAN, 2020; LANFER-MARQUEZ, 2003; ROMANI; MARTINS; SOARES, 2017; STREIT *et al.*, 2005). Também é comentado que o α -tocoferol pode atuar tanto como antioxidante como pró-oxidante, a depender das condições do meio em que se encontra (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2009).

Por outro lado, segundo Coates, Trentacoste e Gerwick (2013), as ficobiliproteínas apresentam oligômeros estáveis e alta fotoestabilidade. Em Rodriguez-Amaya (2016), há o apontamento de melhorias na situação de instabilidade das moléculas de carotenoides utilizando técnicas de microencapsulação e nanoencapsulação, e em Rodriguez-Amaya (2019), há informação de que a própria estrutura dos carotenoides os torna propensos à isomerização e oxidação, e que a variação da composição dos carotenoides em alimentos também pode se dar por fatores como, por exemplo, cultivar/variedade, maturidade, clima ou estação, local de cultivo, práticas agronômicas, colheita e manuseio pós-colheita, processamento e armazenamento. Ainda sobre o assunto, é válido destacar que, embora muitos ensaios confirmem a eficácia da ação de antioxidantes de microalgas como forma de evitar oxidação lipídica, há poucos dados que analisem comparativamente essa eficácia em alimentos reais com a dos conservantes já empregados na indústria nesses mesmos alimentos.

Em pesquisa desenvolvida por Santiago-Díaz *et al.* (2022) foi medida a atividade antioxidante total de três extratos de espécies de microalgas (e.g. *Pseudopediastrum boryanum*, *Chloroidium saccharophilum* e *Chloromonas cf. reticulata*) pelo método DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) com algumas modificações a fim de comparar aos valores medidos por dois conhecidos antioxidantes utilizados na indústria de alimentos: 2,3-terc-butil-4-hidroxianisol (BHA) e 2,6-diterc-butil-p-creso (BHT). O resultado das três espécies superou o de BHT (17,37%), mas foram menores que o de BHA (48,69%), sendo o resultado da espécie *Pseudopediastrum boryanum* o maior entre as microalgas testadas (30,19%). As análises desses resultados junto do conteúdo fenólico, de aminoácidos e carboidratos medidos pelos autores do artigo em questão indicam que, talvez, essas espécies possam ser utilizadas na indústria.

Os carotenoides têm boa ação antioxidante contra oxigênio singlete, sendo efetivos como eliminadores dessa espécie, mas, por serem sensíveis à luz, esta deve ser evitada durante o processamento com propósito de evitar o foto-branqueamento. Entre compostos fenólicos com potencial atividade antioxidante estão marenina, da *Haslea ostrearia* (BALDUYCK *et al.*, 2015), que também age como antibacteriana, com concentração mínima de 0,03 mg.l⁻¹ para inibir crescimento de *Staphylococcus aureus* e de 0,06 mg.l⁻¹ para *Vibrio harveyi* (PERMATASARI *et al.*, 2019). A esse respeito, Godoi *et al.* (2017) ressalta que *S. aureus* é um contaminante comum de alimentos e líquidos, presente inclusive em sucos armazenados em refresqueiras elétricas para venda ao público.

Com a constatação de atividade antimicrobiana de compostos bioativos encontradas em microalgas, seus extratos e também seus produtos extracelulares (RIZWAN *et al.*, 2018), é aberta a possibilidade da atuação destes em alimentos e bebidas como conservantes naturais.

Por meio das pesquisas na área, foram encontrados pigmentos, terpenóides, florotaninos, bromofenóis, ácido acrílico, compostos fenólicos, esteroides, cetonas e alcanos halogenados, polissulfetos cíclicos e ácidos graxos que atuam como agentes bactericidas (BARBERIS *et al.*, 2018; PINA-PÉREZ *et al.*, 2017). Um exemplo de espécie que produz ácidos graxos com propriedades antibacterianas contra *S. aureus* é a *Phaeodactylum tricorutum*. Esses ácidos são os EPA, hexadecatrienoico (HTA), e palmitoleico (PA). Também há relatos de extratos dessa espécie sendo efetivos contra *Escherichia coli* (e.g. alimentos e leite contaminados) e *Listeria monocytogenes* (leite e derivados) (FU *et al.*, 2017), e a *Nostoc commune*, outra espécie, produz noscomina, promissor antibacteriano (COATES; TRENTACOSTE; GERWICK, 2013).

Em Alsenani *et al.* (2020), foi demonstrado que as espécies *Isochrysis galbana*, *Scenedesmus* sp. NT8c, e *Chlorella* sp. FN1 apresentam atividade contra uma série de bactérias gram-positiva (*Listeria monocytogenes* (ATCC 7644), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25925 e ATCC 9144), *Bacillus subtilis* (ATCC 6633 e ATCC 6051), *Staphylococcus epidermidis*, *Enterococcus faecalis* e *Clavibacter michiganensis*).

Em outro estudo, foram obtidos resultados de atividade antimicrobiana relativos à espécie *Haematococcus pluvialis* (SANTOYO *et al.*, 2009). Nele, os autores concluem que os principais compostos responsáveis pela atividade antimicrobiana contra os microrganismos testados (*E. coli*, *S. aureus*, *Candida albicans* e *Aspergillus niger*) foram ácido butanóico e lactato de metila extraídos com etanol por extração com líquido pressurizado (PLE). Os autores recomendaram essa técnica de extração para obter antimicrobianos para conservantes alimentares.

Assim, a partir de um olhar focado em antioxidantes e antimicrobianos, posteriormente será aplicada uma metodologia de prospecção tecnológica para avaliar o uso de microalgas como fonte de conservantes naturais para aplicação em bebidas não alcoólicas. No Quadro 2 estão alguns extratos de alga com ação antimicrobiana contra bactérias patogênicas transmitidas por alimentos.

Quadro 2 – Alguns extratos antimicrobianos de algas eficazes contra bactérias patogênicas que causam doenças transmitidas por alimentos. (continua)

Microrganismo	Extrato de solvente	Alga
Bactérias Gram-positivas		
<i>Staphylococcus aureus</i>		
	Etanólico	<i>Scenedesmus obliquus</i> ; <i>Chlorella vulgaris</i> ; <i>Nostoc</i> sp.
	Etanólico	<i>Pithophora oedogonium</i>

Quadro 2 – Alguns extratos antimicrobianos de algas eficazes contra bactérias patogênicas que causam doenças transmitidas por alimentos. (conclusão)

Microorganismo	Extrato de solvente	Alga
	Metanólico	<i>Nostoc</i> sp.; <i>Microcystis</i> sp.; <i>Scenedesmus</i> sp.; <i>Oscillatoria geminate</i> ; <i>Chlorella vulgaris</i>
	Metanólico e de acetato de etila	<i>Turbinaria conoides</i>
	Metanólico e etanólico	<i>Dunaliella salina</i>
Mais eficaz (38 mm de zona de inibição)	Éter etílico	<i>Enteromorpha linza</i>
<i>Bacillus cereus</i>		
	diclorometano:metanol	<i>Spirulina maxima</i>
Mais eficaz (27 mm de zona de inibição)	Metanólico	<i>Laurencia okamuraa</i> ; <i>Dictyopteris undulata</i> ; <i>Chaetomorpha linum</i>
<i>Listeria monocytogenes</i>		
	Metanólico	<i>Ecklonia cava</i>
	Etanólico	<i>Dunaliella salina</i>
	Etanólico	<i>Myagropsis myagroides</i>
Mais eficaz (10 mm de zona de inibição)	Éter etílico:n-hexano:clorofórmio	<i>Himanthalia elongata</i>
Bactérias Gram-negativas		
<i>Escherichia coli</i> O157:H7		
	Florotaninos	<i>Ascophyllum nodosum</i>
	Metanólico	<i>Chaetomorpha linum</i>
	Éter etílico	<i>Enteromorpha linza</i> ; <i>Ulva rigida</i>
	Etanólico	<i>Dunaliella salina</i>
Mais eficaz (22 mm de zona de inibição)	Éter etílico	<i>Padina gymnospora</i>
<i>Salmonella</i> spp.		
	Éter etílico	<i>Dictyota dichotoma</i>
	Éter etílico	<i>Turbinaria conoides</i>
	Metanólico e de clorofórmio	<i>Padina gymnospora</i>
	Etanólico	<i>Pithophora oedogonium</i>
Mais eficaz (17 mm de zona de inibição)	Metanólico e etanólico	<i>Dunaliella salina</i>

FONTE: Adaptado de Pina-Pérez *et al.* (2017). Traduzido pelo presente autor.

2.2 MERCADO E INDÚSTRIA

A ABIR (Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas não Alcoólicas) informou, em sua revista de 2022, que o volume de produção de bebidas não

alcoólicas foi de 33 bilhões de litros, 2,1% a mais que em 2020. Foram destaques o aumento comparativo no volume de produção de energéticos (+22,7%), isotônicos (+19,4%), chás prontos para beber (+10,5%), água mineral (+4,7%), sucos (+4,7%) e refrigerantes (+2,9%) (ABIR, 2022b).

Por meio de investigação na seção “Dados” do site da associação, foi observado que o consumo per-capita do mercado brasileiro de bebidas não alcoólicas foi de 151,95 L/habitante em 2020 para 154,05 L/habitante em 2021, um aumento aproximado de 1,4%. O consumo per-capita de refrigerante aumentou 2,1% entre esses anos, enquanto o de néctares e sucos prontos aumentou 3,9%. Já os sucos concentrados tiveram queda de 2,2% em seu consumo per-capita, e as bebidas à base de soja vêm amargando decréscimos consecutivos em seu consumo per-capita desde 2013 (ABIR, 2022a).

Ainda que o consumo de refrigerantes tenha aumentado, conforme passam os anos, é percebido um movimento cada vez maior de pessoas preocupadas com alimentação saudável, demandando do mercado alternativas aos produtos cada vez mais processados e recheados de ingredientes sintéticos que podem ser ou são danosos à saúde, como conservantes químicos sintéticos (VARA; KARNENA; DWARAPUREDDI, 2019). Nesse sentido, há grande expectativa de que a utilização da biomassa de microalgas e metabólitos que delas derivam possa originar inovadores produtos saudáveis (GARCÍA; VICENTE; GALÁN, 2017).

Todavia, ao pensar em negócios envolvendo cultivo de microalgas, além do potencial mercado para os produtos de microalgas, devem ser levados em conta fatores como existência de fontes alternativas já estabelecidas no mercado, o tempo e o custo para aprovação de novos produtos, e a aceitação do consumidor (MATOS, 2017). Entre os produtos, há aqueles considerados de baixo, médio e alto valor, que variam conforme a composição da microalga, a pureza do produto, das aplicações e da sua formulação (pasta seca ou úmida, granular, pequenas ou grandes partículas), aumentando de valor de acordo com seu nível de refinamento ou processamento. Por exemplo, quanto maior o teor de aminoácidos essenciais, PUFA, polissacarídeos, vitaminas essenciais etc., maior o valor (RAHMAN, 2020).

Antes de abordar valores numéricos, é importante ressaltar que, de acordo com Benemann, Woertz e Lundquist (2018), empresas comerciais não costumam divulgar volumes de produção, preços e tamanhos de mercado. Segundo os autores, os dados da literatura não são confiáveis nesse quesito, muitas vezes baseados em pesquisas de pequena escala ou projeções especulativas, o que não reflete a realidade de empresas de grande porte. Dito isso, podem ser observadas, no Quadro 3 a seguir, algumas das principais empresas do ramo de microalgas destinadas à alimentação humana.

Quadro 3 - Principais produtos e produtores de microalgas para nutrição humana.

Microalga (produto)	Maiores produtores	Origem	Produção anual (t/ano)	Produção mundial (t/ano)
<i>Arthrospira</i> (biomassa seca)	Earthrise Nutraceuticals	EUA	450	4100-6700
	Cyanotech Corporation	EUA	360	
	Hainan DIC Microalgae	China	350	
	Japan Algae Co., Ltd.	Japão	30-100	
	Parry Nutraceuticals	Índia	>175	
	FEMICO	Taiwan	50-150	
	Nan Pao International Biotechnology Co. Ltd.	Taiwan	70	
	Biorigin	Suíça	60	
<i>Chlorella</i> (biomassa seca)	TAAU Australia Pty Ltd.	Austrália	50-60	2000
	Taipei	Taiwan	400	
	Roquette Klötze Blue Biotech	Alemanha	-	
β -caroteno de <i>Dunaliella</i> (como óleo resina)	Earthrise Nutritionals	EUA	-	1200
	Cognis Nutrition & Health Co.	Austrália	-	
Astaxantina de <i>Haematococcus</i> (como óleo resina)	Nature Beta Technology Ltd.	Israel	-	300
	Cyanotech Corp.	EUA	-	
	Mera Pharmaceuticals Inc.	EUA	-	
	Fuji Chemical Industries	Japão	-	
	BioReal AB	Suécia	-	

FONTE: Adaptado de Spolaore *et al.* (2006) e D'Avout D'Auerstaedt (2014) *apud* Barkia, Saari e Manning (2019).

Traduzido pelo presente autor.

No Quadro 4, retirado e adaptado de Enzing *et al.* (2014), é possível observar valores relativos ao faturamento anual de diferentes produtos do mercado de microalgas. Esses valores são comparados, quando possível, ao mercado potencial, que levou em conta o tamanho de mercado dos produtos sintéticos (e.g. astaxantina) ou mais tradicionais (e.g. óleo de peixe). Também é notável o potencial de crescimento de PUFA's ômega-3 (ω -3) de microalgas no mercado, assim como de astaxantina. É interessante notar que, segundo Benemann, Woertz e Lundquist (2018), mais de 90% da biomassa da produção comercial mundial de microalgas em

sistemas fotoautotróficos é constituída por *Chlorella* e *Arthrospira*. Conforme estimativa do referido estudo (20000 t/ano de biomassa seca produzida em sistemas fotoautotróficos), mais de 18000 t/ano de biomassa proveniente de *Chlorella* e *Spirulina* nesse tipo de sistema de cultivo, o que ultrapassa em muito as estimativas do Quadro 4 para alimentos e rações contendo biomassa de microalgas inteiras e secas.

Quadro 4 – Números de mercado de produtos à base de microalgas.

Produto	Volume de produção (t (peso seco)/ano)	Número de produtores (Key players)	Valor do volume de produção (volume de negócios anual, milhões de US\$)	Mercado potencial (fontes sintéticas/tradicionais, milhões de US\$)
Alimentos e rações: biomassa de microalgas inteiras e secas				
<i>Spirulina</i>	5000 (2012) [d]	>15 [c]	40 (2005) [c]	-
<i>Chlorella</i>	2000 (2003) [d]	>70 [c]	38 (2006) [e]	-
Alimentos e rações: componentes de microalgas				
Astaxantina (Haematococcus)	300 (2004) [d]	>8	10 (2004) [e]	200 (2004) [c]
Ficobiliproteínas (inclui ficocianina)	[ND]	>2 [c]	[ND]	> 50 (2004) [c]
EPA/DHA (Chrythecodinium)	218 - Martek (2003) [c]	>4 [a]	> 300 - Martek (2004) [c]	±14390 (2009) [b]
β-Caroteno (Dunaliella Salina, Schizochrytium, Nannochloropsis)	1089 (2010) [e]	>10 [c]	[ND]	285 (2012) [c]

Nota: O ano entre parênteses é o da estimativa feita

[a] ECKELBERRY, [s.d.]

[b] ISMAIL, 2010

[c] MILLEDGE, 2012

[d] NORSKER, 2011

[e] SPOLAORE et al., 2006

[ND] Não disponível

- Sem fontes sintéticas

Fonte: Adaptado de Enzing *et al.* (2014). Traduzido pelo presente autor.

A grande parcela representada por *Chlorella* e *Arthrospira* é direcionada, principalmente, (aproximadamente 90%) a alimentos para consumo humano e nutrição (nutracêuticos). Além do modo fotoautotrófico, há também espécies cultivadas heterotroficamente. Outras duas espécies cultivadas em escala comercial utilizando CO₂ e luz

solar são *Dunaliella salina* e *Haematococcus pluvialis*. Estas são espécies produtoras de carotenoides de alto valor e somam, anualmente, cerca de 1000 toneladas de biomassa, e mercado por volta de cem milhões de dólares por ano ao nível do produtor (BENEMANN; WOERTZ; LUNDQUIST, 2018).

Uma das discussões envolvidas no aumento da participação de microalgas no mercado envolve o preço dos produtos (Quadros 5 e 6), geralmente elevados em relação à competição, já bem estabelecida no mercado. Os preços de mercado dos produtos de microalgas variam de forma proporcionalmente inversa ao volume de produção, e potenciais antioxidantes e antimicrobianos estão entre os produtos de alto valor.

Quadro 5 – Valor de mercado de produtos selecionados de alto valor isolados de microalgas em comparação com biomassa inteira.

Produto	Preço (USD kg⁻¹)
Astaxantina	2500-7000
β-caroteno	300-1500
Ácidos graxos ômega 3	80-160
<i>Chlorella</i> (biomassa)	44
<i>Arthrospira</i> (biomassa)	42*

* Valor em euro convertido para US\$ (\$1.17 USD/€) por Barkia, Saari e Manning (2019).

FONTE: Adaptado de Barkia; Saari e Manning (2019). Traduzido pelo presente autor.

Quadro 6 – Preços de mercado e volume de mercado global de produtos de microalgas selecionados.

Produto	Preço de mercado aproximado (US\$/kg)	Volume do mercado global (US\$)
Biomassa para nutrição	40-50	1,25x10 ⁹
Biomassa para ração	10	4x10 ⁹
Nutracêuticos de microalgas para nutrição humana	120	7x10 ⁷
β-Caroteno	300-3000	2x10 ⁸
Astaxantina	>2000	2x10 ⁸
Ficobiliproteínas	3000-25000	5x10 ⁷
β-1,3-glucana	5-20	1x10 ⁸ [a]
Ácido docosahexaenóico (DHA)	50	1x10 ⁸ [b]; 4x10 ⁸ [a]
Ácido eicosapentaenóico (EPA)	4600 [d]	1,25x10 ³ [c]

[a] estimativa para os EUA

[b] estimativa para a China

[c] estimativa para o Japão

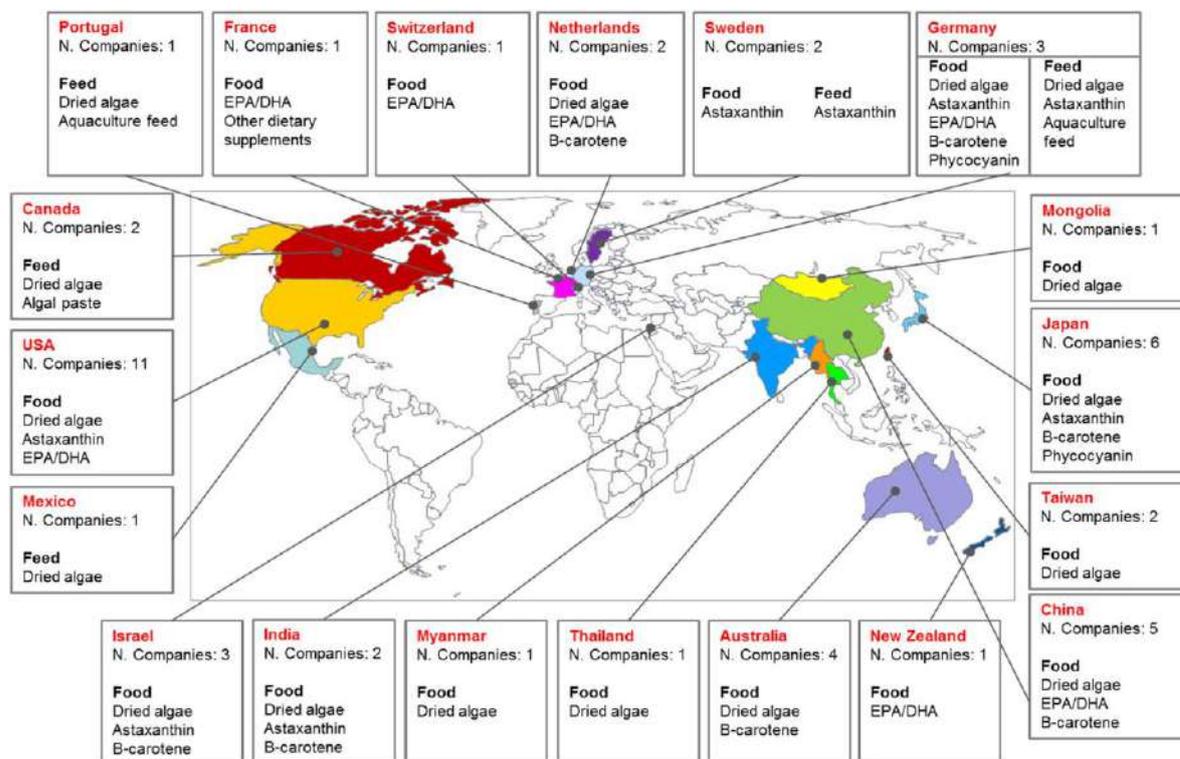
[d] cultivo monosséptico de *Phaeodactylum tricornutum*, produto altamente puro, comparado a 650 de óleo de peixe

Fonte: Adaptado de Koller, Muhr e Brauneegg (2014). Traduzido pelo presente autor.

Analisando os Quadros 5 e 6, é possível confirmar a lógica de preços que tendem a aumentar conforme o volume comercializado diminui. São exemplos a biomassa para nutrição com preço entre 40-50 US\$/kg e uma estimativa de volume de mercado global em 1,25 bilhões de dólares, enquanto β -caroteno tem volume estimado em uma ordem menor, de 200 milhões de dólares, mas custa entre 300 a 3000 US\$/kg, e o kg da astaxantina pode ultrapassar os 7000 US\$. Já as ficobiliproteínas (ficocianina e ficoeritrina) produzidas pela *Arthrospira*, com mercado estimado em 50 milhões de dólares em 1997, partem de 3000 US\$/kg podendo alcançar 25000 US\$/kg, segundo projeções (KOLLER; MUHR; BRAUNEGG, 2014).

Adaptando a busca feita por Vigani *et al.* (2015), utilizando a plataforma Comtrade, foi possível constatar que, entre 2017 e 2020, os maiores exportadores de algas foram Coréia do Sul, Indonésia e Chile, nesta ordem. Os maiores importadores foram China, Japão e USA, também nesta ordem. O resultado foi obtido pesquisando o código 29297, utilizando a classificação “Standard International Trade Classification (Revision 4)”. O código é usado para “seaweeds and other algae”. Embora interessante, não há uma definição detalhada da classificação, ficando a dúvida do que é englobado nessa categoria: seria apenas biomassa? Será que produtos de valor elevado estão nessa classificação? Talvez nem microalgas estejam inclusas. Ao buscar pelo Sistema Harmonizado (121220/21) também existe o termo “outras algas”, mas não há especificamente microalgas, explicitando ainda mais a necessidade de fortalecer ferramentas de pesquisa e regulamentações para melhor prospecção da área. Na Figura 5 estão as localizações das maiores empresas privadas dos setores de alimentos e rações derivados de microalgas e seus produtos.

Figura 5 – Distribuição global das sedes de empresas privadas produtoras de alimentos e rações derivados de microalgas.



Fonte: Vigani *et al.* (2015).

Vale ressaltar que o uso de microalgas como alimento, aditivo alimentar, nutracêutico etc., deve ser seguro para o consumidor e, portanto, são necessários regulamentos (ENZING *et al.*, 2014). Essas legislações variam, dependendo da região analisada. Nos Estados Unidos, Japão e Brasil, por exemplo, as regras são aplicadas para avaliar se o produto final é seguro. Já no regulamento europeu, o foco é na tecnologia utilizada para obtenção do produto (JACOB-LOPES *et al.*, 2019). Entre espécies de microalgas comerciais, algumas são classificadas como *Generally Recognized As Safe* (GRAS) (geralmente reconhecido como seguro) pela *Food Drug Administration* (FDA), e outras estão na categoria *no toxins known* (NT) (sem toxinas conhecidas), e podem ser vistas no Quadro 7:

Quadro 7 - Aspecto de segurança de microalgas relevantes para aplicação em alimentos.

Organismo	Espécies	Aspecto	Organismo	Espécies	Aspecto
Chlorophyta	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	NT	Haptophyta	<i>Isochrysis galbana</i>	NT
	<i>Chlorella vulgaris</i>	GRAS		<i>Pavlova</i> sp.	NT
	<i>Dunaliella salina</i>	NT	Heterokontophyta	<i>Nitzschia dissipata</i>	NT
	<i>Haematococcus pluvialis</i>	NT		<i>Nannochloropsis</i> sp.	NT
	<i>Scenedesmus</i> sp.	NT		<i>Phaedactylum tricornutum</i>	NT
	<i>Tetraselmis</i> sp.	NT		<i>Skeletonema</i> sp.	NT
Cyanobacteria	<i>Spirulina (Arthrospira)</i>	GRAS		<i>Schizochytrium</i>	GRAS
	<i>Synechococcus</i> sp.	NT		<i>Thalassiosira pseudonoma</i>	NT
Dinophyta	<i>Cryptocodinium cohnii</i>	GRAS	Rhodophyta	<i>Porphyridium cruentum</i>	GRAS

NT nenhuma toxina conhecida (do inglês *no toxins known*).

GRAS geralmente reconhecido como seguro (do inglês, *Generally Recognized As Safe by the Food Drug Administration (FDA)*).

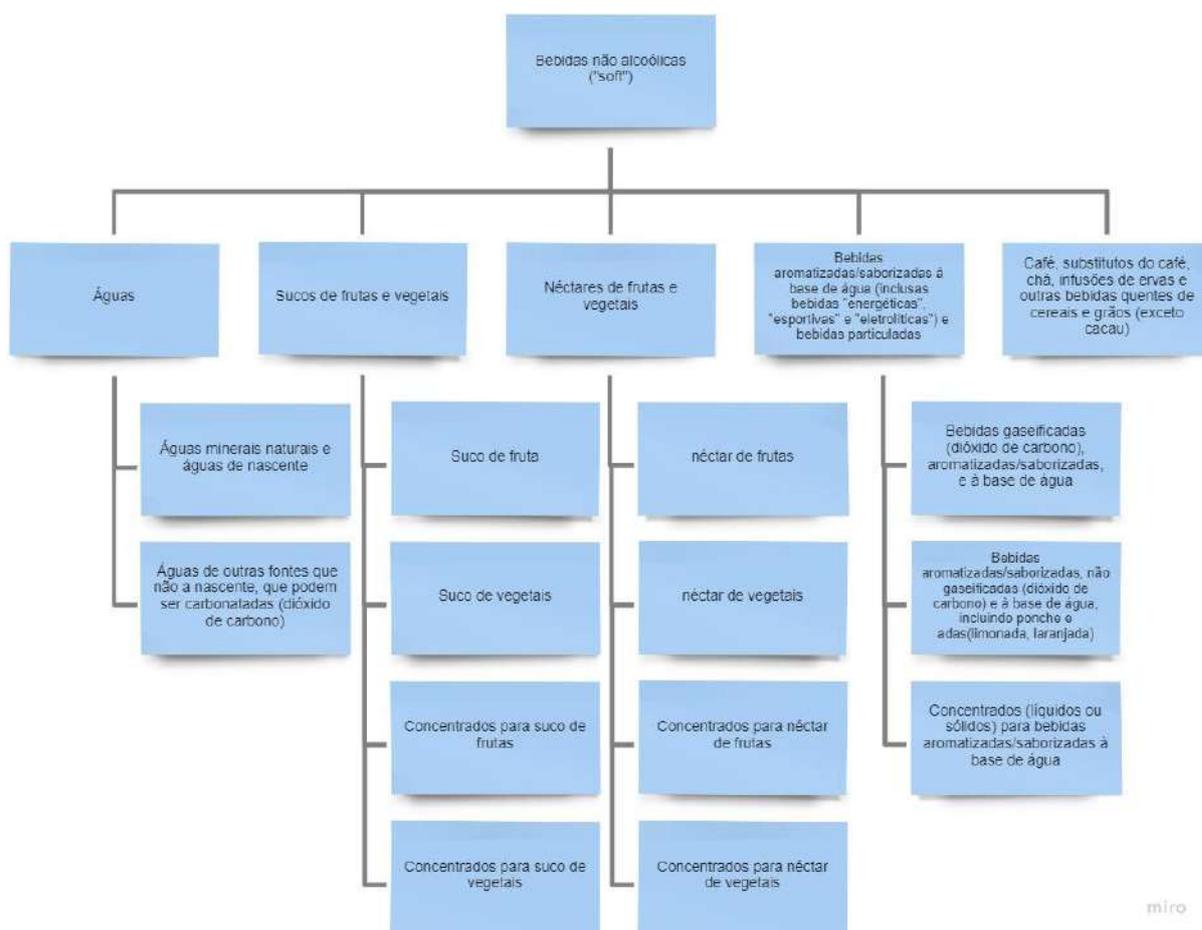
Fonte: Adaptado de Enzing *et al.* (2014) apud Matos (2017).

Entre os produtos de microalga que são aprovados como ingredientes para alimentos pela European Food Safety (EFSA), FDA, dos Estados Unidos, Ministério da Saúde, Trabalho e Bem-Estar (MHLW), do Japão e pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), do Brasil, estão: β -caroteno (*D. salina*), DHA (*Cryptocodinium cohnii*), óleos unicelulares de *Ulkenia* sp. e *Schizochytrium* sp., ésteres de astaxantina de *H. pluvialis* (JACOB-LOPES *et al.*, 2019).

2.3 CONSERVANTES E BEBIDAS NÃO ALCÓOLICAS

O arquivo “*GENERAL STANDARD FOR FOOD ADDITIVES*” adotado em 1995 com última revisão em 2019, do CODEX ALIMENTARIUS, apresenta bebidas - excluídos laticínios -, divididas entre alcoólicas e não alcoólicas. As classificações das bebidas não alcoólicas podem ser vistas na Figura 6, a seguir:

Figura 6 – Classificação das bebidas não alcoólicas.



Fonte: Fluxograma de elaboração própria (tradução pelo presente autor) a partir das classificações do texto contido em FAO e WHO (1995).

Além das bebidas não alcoólicas acima, também há bebidas à base de laticínios, soja, e as que usam cacau, e que estão em classificações diferentes da de bebidas não alcoólicas, mas há referência no texto consultado (FAO; WHO, 1995). Em geral, é necessário proteger a bebida não alcoólica contra oxidação, ação de microorganismos e outros agentes que a tornem imprópria para o consumo. Uma das opções para aumentar o tempo de validade de produtos é utilizando aditivos, sendo um deles o conservante. No Brasil, a Portaria MAPA nº123, de 13 de maio de 2021, “estabelece os padrões de identidade e qualidade para bebida composta, chá, refresco, refrigerante, soda e, quando couber, os respectivos preparados sólidos e líquidos” (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2021).

Segundo o documento “*CLASS NAMES AND THE INTERNATIONAL NUMBERING SYSTEM FOR FOOD ADDITIVES*” (FAO; WHO, 1989) do CODEX ALIMENTARIUS, conservantes são definidos como um aditivo alimentar que prolonga a validade do alimento, protegendo-o da deterioração causada por microorganismos, e seu propósito tecnológico é atuar

como conservante, conservante antimicrobiano, agente antimicótico, agente de controle de bacteriófagos, agente fungistático, agente antimofa e antimicrobiano sinérgico. Os antioxidantes são definidos como aditivos que prolongam a validade de alimentos ao protegê-los da deterioração por oxidação. No Quadro 8, a seguir, estão expostos alguns conservantes e seu uso na indústria de alimentos.

Quadro 8 - Produtos alimentícios contendo diferentes tipos de conservantes.

Conservantes	Alimentos contendo
Ácido ascórbico (vitamina C)	Produtos de frutas, alimentos ácidos
Ácido benzoico	Produtos de frutas, alimentos ácidos, margarina
BHA (hidroxianisol butilado)	Produtos de panificação, cereais, gorduras e óleos
BHT (hidroxitolueno butilado)	Produtos de panificação, cereais, gorduras e óleos
Lactato de cálcio	Laticínios, azeitonas, sobremesas congeladas, geleias, gelatinas
Propionato de cálcio	Pães e outros produtos de panificação
Sorbato de cálcio	Xaropes, laticínios, bolos, maionese, margarina
EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético)	Molhos, margarina, legumes enlatados
Metilparabeno	Bebidas, molhos, condimentos
Propionato de potássio	Pães e outros assados
Sorbato de potássio	Laticínios, xaropes, bolos, carnes processadas
Ácido propiônico	Pães e outros assados
Propilparabeno	Bebidas, bolos, doces, condimentos
Galato De Propila	Cereais, salgadinhos, doces
Benzoato de sódio	Produtos de frutas, margarina, alimentos ácidos
Nitrato e nitrito de sódio	Carnes curadas, peixes, aves
Propionato de sódio	Pães e outros produtos de panificação
Sorbato de sódio	Laticínios, maionese, carnes processadas, produtos fermentados
Ácido sórbico	Laticínios, produtos de frutas, xaropes, doces, bebidas, produtos fermentados
TBHQ (terc-butil-hidroquinona)	<i>Snacks</i> , gorduras e óleos
Tocoferol (Vitamina E)	Óleos e gorduras vegetais

FONTE: Adaptado de Kumari *et al.* (2019). Traduzido pelo presente autor.

Para que a escolha de um conservante seja feita de forma correta, ele precisa ser efetivo em sua ação e, para isso, são levados em conta aspectos como condições de armazenamento, presença ou ausência de oxigênio, embalagem, presença e disponibilidade de vitaminas e nutrientes, temperatura, estado físico e pH do alimento ou bebida. Atualmente, conservantes comuns de serem encontrados em refrigerantes são sais dos ácidos benzoico e sórbico, benzoato de sódio e sorbato de potássio, respectivamente, e dióxido de enxofre. Os sais são mais estáveis, mais solúveis em água, e apresentam ação antimicrobiana mais efetiva em pH menor que 4,5. Ainda que muitos conservantes sintéticos sejam considerados seguros, há discussão acerca da

toxicidade residual, carcinogenicidade e teratogenicidade desses aditivos (KALPANA; RAJESWARI, 2019; SILVA *et al.*, 2019; VARA; KARNENA; DWARAPUREDDI, 2019). No Quadro 9, a seguir, são relacionados conservantes comumente utilizados e respectivos danos à saúde.

Quadro 9 - Perigos para a saúde de alguns conservantes comumente usados.

Conservante	Hipersensibilidade (H)	Asma (A)	Câncer (C)
Sorbatos de potássio e cálcio, ácido sórbico	H	A	-
Ácido benzoico	H	A	-
Benzoato de sódio	H	A	C
Propilparabeno	-	A	-
Dióxido de enxofre	H	A	-
Metabissulfito de sódio	-	A	-
Bissulfato de potássio	H	A	-
hexametenotetramina	-	-	C
Nitrito de sódio	H	A	C
Nitrito de sódio ou potássio	H	-	C
Propionatos de cálcio ou potássio ou sódio, ácido propiônico	H	A	-
Galato De Propila	-	A	C
TBHQ (terc-butil-hidroquinona)	H	A	-
BHA (hidroxianisol butilado)	H	A	C
BHT (hidroxitolueno butilado)	H	A	C

Fonte: Adaptado de Kumari *et al.* (2019). Traduzido pelo presente autor.

Os conservantes são divididos entre naturais ou sintéticos (também chamados de conservantes químicos). Essas duas categorias podem ser classificadas como antioxidantes, antimicrobianas ou antienzimáticas (KALPANA; RAJESWARI, 2019). Os antioxidantes, por sua vez, podem ser classificados como primários, removedores de oxigênio, biológicos, sinergistas, agentes quelantes e antioxidantes mistos (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2017).

Os conservantes antimicrobianos agem impedindo ou atrasando o crescimento de microrganismos como bactérias e fungos. Também podem agir promovendo a morte do microrganismo (e.g. bactericida). Já os conservantes antienzimáticos são os que bloqueiam processos enzimáticos, como o amadurecimento de frutas mesmo após a colheita. São exemplos de conservantes antienzimáticos o ácido cítrico e o eritórbito, que inibem a ação da fenolase, enzima que leva ao escurecimento da superfície de frutas recém cortadas (maçã) (VARA; KARNENA; DWARAPUREDDI, 2019).

2.4 CONTROLE MICROBIOLÓGICO: PADRÕES DEFINIDOS PELA ANVISA

A instituição de padrões microbiológicos, que devem ser respeitados pela indústria de alimentos e sua cadeia produtiva, tem como objetivos a proteção da saúde dos consumidores e a garantia de que os alimentos disponíveis à venda sejam seguros. Também permitem avaliar se as práticas de higiene e controles de manuseio de empresas de alimentos são suficientes (ANVISA, 2020).

De acordo com a Anvisa (2020), o padrão microbiológico é definido como “um critério que define a aceitabilidade de um lote ou processo de alimento, baseado na ausência/presença ou na concentração de micro-organismos, suas toxinas e metabólitos por unidade de massa, volume, área ou lote.”. Nesse documento, também são informados os critérios para estabelecer um padrão microbiológico e, dentre os citados, estão a consideração da probabilidade de determinado microrganismo contaminar o alimento em questão e se há evidência epidemiológica de DTA (Doenças Transmitidas por Alimentos) nesse contexto.

Dessa forma, através da consulta à INSTRUÇÃO NORMATIVA N° 60, DE 23 DE DEZEMBRO DE 2019 (publicada pelo Ministério da Saúde/Anvisa no Diário Oficial da União nº 249, de 26 de dezembro de 2019), além de ter acesso aos padrões, também são observados os microrganismos que são conhecidas ameaças aos produtos das indústrias de bebidas não alcoólicas (ANVISA, 2019).

O Quadro 10 apresenta uma lista de padrões microbiológicos determinados para bebidas não alcoólicas e leite, onde:

- a) m: limite microbiológico que, no caso da presença das classes “Qualidade Aceitável”, “Qualidade Intermediária” e “Qualidade Inaceitável”, separa as amostras de “Qualidade Aceitável” das de “Qualidade Intermediária”; no caso, de apenas “Qualidade Aceitável” e “Qualidade Inaceitável”, é o limite que as divide. As unidades de m são UFC/ml ou UFC/g.
- b) M: limite microbiológico que, quando há três classes, separa as amostras de “Qualidade Intermediária” daquelas de “Qualidade Inaceitável”. As unidades de m são UFC/ml ou UFC/g.
- c) n: número de unidades amostrais aleatoriamente retiradas de um lote e analisadas independentemente.
- d) c: número máximo de amostras permitidas com qualidade intermediária.

Quadro 10 – Padrões microbiológicos para bebidas não alcoólicas e leite.

Produto	Microrganismo	n	c	m	M
Refrigerantes e outras bebidas carbonatadas	Bolores e Leveduras/ml, exceto bebidas fermentadas	5	2	10	10 ²
Refrescos, sucos, néctares e outras bebidas não carbonatadas, adicionadas de conservadores, não refrigeradas	Bolores e Leveduras/ml	5	2	10	10 ²
Sucos desidratados e pós para o preparo de bebidas	<i>Salmonella</i> /25g	5	0	Ausência	-
	<i>Enterobacteriaceae</i> /g	5	2	10	10 ²
Sucos concentrados adicionados de conservadores ou congelados	<i>Salmonella</i> /25mL	5	0	Ausência	-
	<i>Enterobacteriaceae</i> /ml	5	2	10	10 ²
	Bolores e Leveduras/ml	5	2	10 ²	10 ³
Sucos e outras bebidas submetidas a processos tecnológicos para redução microbiana, que necessitam de refrigeração	<i>Salmonella</i> /25mL	5	0	Ausência	-
	<i>B. cereus</i> presuntivo/ml, somente para bebidas à base de cereais, sementes e grãos	5	1	10 ²	5x10 ²
	<i>Enterobacteriaceae</i> /ml	5	2	10	10 ²
	Bolores e Leveduras/ml	5	2	10	10 ²
Sucos e outras bebidas “ <i>in natura</i> ” ou reconstituídas	<i>Salmonella</i> /25mL	5	0	Ausência	-
	<i>Escherichia coli</i> /ml	5	2	10	10 ²
Leite de coco e bebidas à base de cereais, sementes ou grãos estáveis à temperatura ambiente, adicionados de conservadores	<i>Salmonella</i> /25mL	10	0	Ausência	-
	<i>Enterobacteriaceae</i> /ml	5	1	10	10 ²
	Bolores e leveduras/ml	5	2	10	10 ²
Leites pasteurizados	<i>Enterobacteriaceae</i> /ml	5	0	10	-

Fonte: Adaptado de Anvisa (2019).

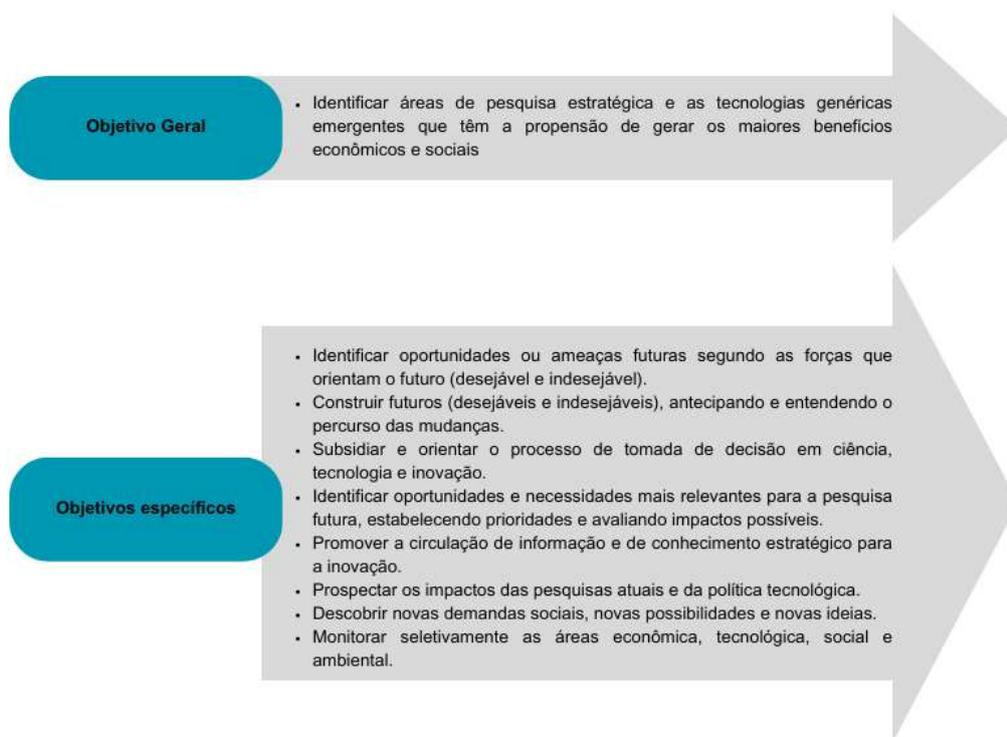
De acordo com os padrões estabelecidos para análise de *Salmonella* em sucos “*in natura*”, 5 unidades devem ser coletadas (n=5), e de cada amostra, uma alíquota de 25ml é analisada e nenhuma (c=0) pode ter resultado positivo para *Salmonella* (m=Ausência). Portanto, há apenas as qualidades aceitável ou inaceitável. Para esse mesmo produto, no caso de *Escherichia coli*, 5 unidades são coletadas (n=5) e delas retirada a alíquota de 1ml. Nesse caso, até duas amostras (c=2) podem apresentar qualidade intermediária com uma contagem entre 10 UFC/ml (m) e 10² UFC/ml (M), e nenhuma pode ultrapassar o limite de 10² UFC/ml (M). Há

nessa situação a ocorrência de três qualidades: aceitável (abaixo de m), intermediária (entre m e M) e inaceitável (maior que M). Já para o leite, das 5 amostras, nenhuma alíquota pode ultrapassar 10 UFC/ml de *Enterobacteriaceae*.

2.5 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

De acordo com Coelho (2003), o termo prospecção tecnológica é relacionado a estudos que se propõem a “antecipar e entender as potencialidades, evolução, características e efeitos das mudanças tecnológicas, particularmente a sua invenção, inovação, adoção e uso (adaptado de Coates et al., 2001)”. Em Kupfer & Tigre (2004), “a prospecção tecnológica pode ser definida como um meio sistemático de mapear desenvolvimentos científicos e tecnológicos futuros capazes de influenciar de forma significativa uma indústria, a economia ou a sociedade como um todo”. Como os avanços nas áreas tecnológicas e científicas ocorrem de acordo com a decisão e ação de atores/gestores no presente, a prospecção permite uma antecipação aos movimentos de avanço de forma a influenciar o futuro desenvolvimento, as trajetórias tecnológicas, garantindo assim a sobrevivência e competitividade de instituições de pesquisa e dos usuários de seus resultados (COELHO, 2003). Dessa forma, através da prospecção tecnológica é possível fundamentar, de forma estratégica, uma tomada de decisão que oriente, a partir de dados do presente, futuros possíveis e pretendidos ou desejáveis (TEIXEIRA, 2013). Nesse sentido, os principais objetivos da prospecção tecnológica são expostos na Figura 7 a seguir:

Figura 7 – Objetivos gerais e específicos da prospecção tecnológica



Fonte: Adaptado do Projeto da SECTES/CEDEPLAR (2009).

Fonte: Adaptado de Teixeira (2013).

Ao se fazer um estudo prospectivo, várias são as metodologias e técnicas que podem ser aplicadas, e todas possuem vantagens e desvantagens (ALCANTARA; BORSCHIVER; ALENCAR, 2021). O recomendado é o uso combinado de mais de uma técnica ou método, de forma a diminuir o impacto das desvantagens de cada método e ampliar o conhecimento na área ou assunto do estudo, o que resulta em uma prospecção tecnológica mais robusta (TEIXEIRA, 2013). Entre as desvantagens de métodos quantitativos estão a necessidade de séries históricas confiáveis ou existência de dados padronizados, já os métodos qualitativos podem ser limitados, devido ao conhecimento e subjetividade de especialistas (ALCANTARA; BORSCHIVER; ALENCAR, 2021).

De acordo com Kupfer & Tigre (2004), a abordagem metodológica da prospecção tecnológica pode ser baseada em inferência, geração sistemática de trajetórias alternativas e construção do futuro por consenso. Essas abordagens dão origem a diferentes metodologias de prospecção que podem ser classificadas como monitoramento, previsão e visão. O exercício de

previsão e monitoramento são quantitativos, enquanto a visão é geralmente qualitativa. Ainda segundo Kupfer & Tigre (2004):

O monitoramento (Assessment) consiste no acompanhamento da evolução dos fatos e na identificação dos fatores portadores de mudanças, realizados de forma sistemática e contínua. A Previsão (Forecasting) consiste na realização de projeções com base em informações históricas e modelagem de tendências. E a Visão (Foresight) consiste na antecipação de possibilidades futuras com base em interação não estruturada entre especialistas, cada um deles apoiado exclusivamente em seus conhecimentos e subjetividades (KUPFER; TIGRE, 2004).

Alguns métodos de prospecção, seus objetivos, vantagens e desvantagens podem ser vistos no Quadro 11 a seguir:

Quadro 11 - Principais métodos de prospecção, objetivos, vantagens e (ou) limitações.

(continua)

Métodos de prospecção	Objetivos	Vantagens e Limitações
Monitoramento e Sistemas de Inteligência - Inteligência Competitiva Tecnológica	- Identificar ameaças potenciais, oportunidades possíveis e direção de tendências relativas à tecnologia em foco - Manter a base de informação de interesse da organização para a organização e tomadores de decisão	- Ajuda a moldar o cenário no qual a tecnologia e a organização inserem-se - Método deve ser complementado com outras análises prospectivas
Análise de Tendências - Análise de regressão - Curvas S - Curva de aprendizado	- Construir um cenário possível baseado na hipótese de que os padrões do passado serão mantidos em momentos futuros, particularmente de curto prazo	- Quando há parâmetros bem quantificados, fornece previsões precisas no curto prazo - É uma análise mais vulnerável em previsões de longo prazo e quando ocorrem mudanças bruscas
Opinião de Especialistas - Método Delphi - Painel de Especialistas - Tecnologias Críticas - Surveys - Avaliação Individual - Seminários/Workshops/ Comitês	- Construir uma visão de futuro baseada em informações qualitativas, utilizando-se da lógica subjetiva e de julgamento de pessoas com grande conhecimento e familiaridade com o tema em pauta	- Deve ser usada quando não se pode obter informações quantitativas ou para complementar análises de tendências - Pode haver divergências entre especialistas da mesma área

**Quadro 11 - Principais métodos de prospecção, objetivos, vantagens e (ou) limitações.
(conclusão)**

Métodos de prospecção	Objetivos	Vantagens e Limitações
Construção de Cenários - Matriz SWOT - Matriz BCG (<i>Boston Consulting Group</i>) - GBN (<i>Global Business Network</i>)	- Ordenar sistematicamente percepções sobre ambientes futuros alternativos, com base em combinações de condicionamentos e variáveis	- Incorpora uma grande variedade de informações quantitativas e qualitativas que ajudam os gestores nas tomadas de decisão - Pode ser difícil obter as informações desejadas
Métodos Computacionais/Ferramentas Analíticas - Modelagem - Simulação - Análises de patentes/recursos gastos em P&D - Análises multicritério - Análises <i>Road Map</i> (Mapas Tecnológicos) - Análises de conteúdo - <i>Data mining/Text Mining/</i> Cientometria/Bibliometria	- Incorporar diversos eventos (sociais, políticos, tecnológicos e econômicos) em modelos de análise, permitindo tratamento analítico a uma grande quantidade de informações (quantitativas e qualitativas)	- Uma vantagem é a facilidade e rapidez na obtenção dos resultados pelo uso de modelos computacionais - O risco no uso destas ferramentas é utilizar pressupostos essenciais aos modelos de forma inadequada à realidade e de pouca aplicabilidade

Fonte: Adaptado de Coelho (2003) *apud* Teixeira (2013).

2.6 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os produtos obtidos de microalgas e suas aplicações continuam a ser descobertos. São compostos naturais, de fonte renovável fixadora de carbono, potenciais substitutos de aditivos alimentares sintéticos como corantes, antioxidantes e antimicrobianos, suplemento alimentar de boa qualidade em termos de aminoácidos essenciais (dependendo da espécie e condições de cultivo), além de ser empregado na área nutracêutica, cosmética e cosmeceutica, de rações animais e farmacêutica. Embora haja tanta potencialidade, há muitos gargalos que ainda dificultam a expansão desses produtos para o mercado mundial.

Além da necessária e constante expansão do conhecimento acerca da biotecnologia de microalgas e obtenção de produtos relacionados, é preciso criar métodos que tornem economicamente viáveis tais compostos no mercado. Os custos com a colheita e secagem da biomassa são elevados, vistos na literatura como possíveis gargalos econômicos que tornam o produto final mais caro que concorrentes. E ainda que não haja concorrentes tradicionais para

alguns dos produtos, continua interessante baratear o custo de fabricação de um produto para torná-lo mais atraente a investimentos. Também é importante destacar que, dependendo da espécie (composição bioquímica, estruturas celulares e da membrana/parede celular) e do tipo (lipídios, polissacarídeos, carotenoides etc.) e da localização do produto (intracelular ou extracelular, no meio), mudam as estratégias de extração, secagem, purificação. Há inclusive a abordagem de biorrefinarias como possível forma de extrair diversos produtos da microalga para viabilizar seu uso na indústria e mercado.

A relação entre melhores saúde e qualidade de vida, associadas à alimentação saudável e natural está em evidência, e as microalgas podem participar de uma substituição de sintéticos por naturais, através de corantes, antioxidantes, antimicrobianos, vitaminas, espessantes, entre outros. Ademais, carotenoides podem atuar como corantes e antioxidantes simultaneamente, ainda que, segundo a Anvisa, o β -caroteno, por exemplo, esteja como aditivo alimentar com apenas a função de corante autorizada, sendo que é reconhecido na literatura como potente antioxidante. A astaxantina nem aparece listada como aditivo alimentar na referida busca na Anvisa. Esse acúmulo de funções de uma substância é outra característica que destaca produtos dessa fonte natural.

Concernente com o contexto apresentado, os metabólitos com funções antioxidantes e antimicrobianas representam possibilidade de atuar como conservantes naturais em alimentos e bebidas, substituindo os sintéticos relacionados a problemas de saúde. Dessa forma, o presente trabalho se propõe a realizar uma prospecção tecnológica que possibilite compreender o que está sendo produzido academicamente acerca de compostos de microalgas que sejam potenciais conservantes alimentares e seu uso em bebidas não alcoólicas. A prospecção de um assunto tão pouco explorado ajuda a lançar base para futuros estudos que proponham a substituição de conservantes sintéticos em bebidas não alcoólicas por substâncias naturais mais saudáveis, substituição esta que é demanda crescente de consumidores e, logo, de interesse para o mercado.

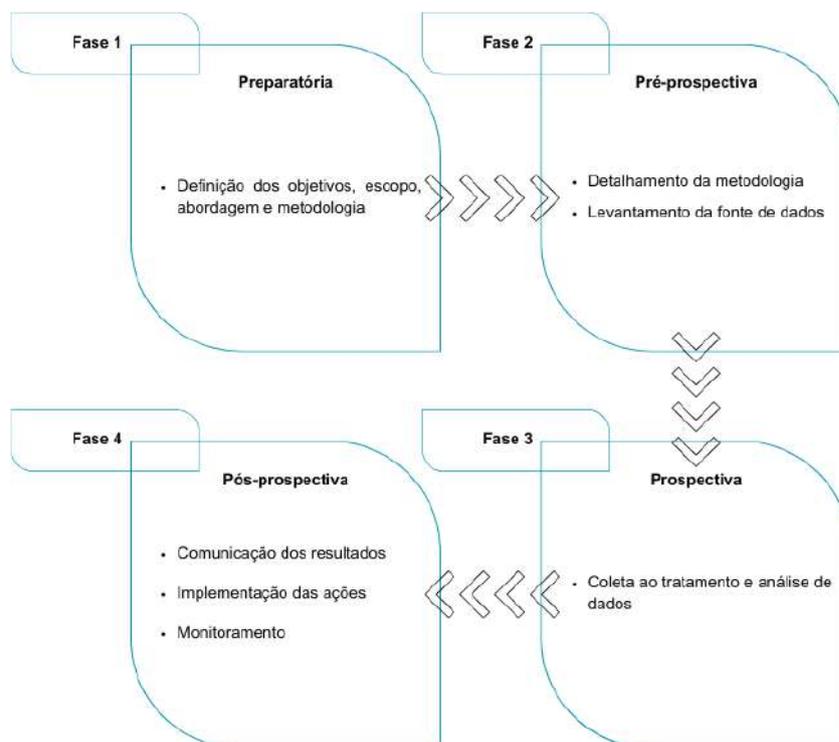
3 METODOLOGIA DE PESQUISA

3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA

O presente trabalho utiliza a prospecção tecnológica como forma de melhor compreender os possíveis futuros para a produção de conservantes naturais para bebidas não alcoólicas a partir de microalgas. É esperado que, por meio da análise dos resultados, seja possível indicar caminhos que levem ao desenvolvimento de substâncias promissoras para uso como conservantes.

Entre os diversos métodos de prospecção apresentados na literatura, o monitoramento e sistemas de inteligência foi considerado adequado e, portanto, escolhido para realizar o presente trabalho. Sendo assim, a metodologia escolhida teve base no método prospectivo realizado por Oliveira (2014) e descrito por Bahruth, Antunes e Bomtempo (2006). Nessa proposta, considerando execução, organização e conclusão dos estudos prospectivos (Figura 8), há quatro fases distintas no processo de prospecção tecnológica:

Figura 8 – Sequência de fases a serem adotadas para a execução, organização e conclusão da prospecção tecnológica.



3.1.1 Fase 1: Preparatória

Nessa fase foi definida a metodologia de prospecção tecnológica, monitoramento e sistemas de inteligência.

Como forma de aprofundar os conhecimentos acerca da utilização de conservantes naturais a partir de microalgas e sua aplicação em bebidas não alcoólicas houve início o estudo, através de artigos acessados por meio da plataforma *Scopus*, dos diversos assuntos envolvidos no tema. O objetivo foi compreender pontos gerais desses assuntos e como esses pontos se relacionam, podendo, assim, formar uma visão técnica sobre o tema e melhor definir as taxonomias em fase posterior. Através da revisão bibliográfica foi possível abranger diferentes processos e técnicas de produção de microalgas; compostos produzidos por microalgas e suas aplicações, atuais e potenciais, em diversas áreas (cosmética, alimentos e rações, médica e farmácia); a necessidade de substituição de conservantes sintéticos por naturais em alimentos (bebidas incluídas). No presente trabalho, os artigos científicos foram as principais fontes de informação.

3.1.2 Fase 2: Pré-prospectiva

A fase pré-prospectiva forma a base de todo o trabalho. Nessa etapa, foi montada a estrutura da metodologia de prospecção tecnológica, que também separou os artigos entre relevantes e irrelevantes.

A busca por artigos científicos foi feita por meio de termos (selecionados de acordo com o conhecimento obtido no levantamento bibliográfico) na base de dados *SCOPUS*® (Elsevier, Amsterdã). Esses termos poderiam ser encontrados no título do artigo, no resumo ou entre as palavras-chave dos artigos. *Scopus* foi a base de dados escolhida devido sua ampla cobertura, alta relevância e qualidade dos artigos científicos, disponibilidade de download de grande quantidade de artigos, possibilidade de analisar alguns dados na própria plataforma, facilitando análises Macro.

Nessa etapa foram determinados os seguintes critérios:

- Seleção da base de dados a ser adotada para a Prospecção da Inovação;
- Limitação do período de busca;
- Descrição da estratégia de busca a ser aplicada;
- Reconhecimento dos principais aspectos específicos que têm sido temas de artigos científicos relacionados ao tema do trabalho;
- Escolha dos artigos relevantes à atividade prospectiva;

Ao final dessa fase, os artigos levantados e selecionados dentro do escopo do trabalho, junto do detalhamento da metodologia, serviram como base para a fase 3 – prospectiva.

3.1.2.1 Fase 2: levantamento da fonte de dados e detalhamento da metodologia

Artigos Científicos

Base: *Scopus*

Campos de Busca: Article title, Abstract, Keywords

Palavras-chave: “Microalg*” AND “Preserv*”; “Microalg*” AND “Antibiot*”; “Microalg*” AND “Antibact*”; “Microalg*” AND “Antimicrob*”; “Microalg*” AND “Antioxid*” AND “Food” OR “Beverage”; “Microalg*” AND “Shelf” AND “Life”; “Microalg*” AND “Biocide”; “Microalg*” AND “Beverage” OR “Drink”; “Microalg*” AND “Foodborne”; “Microalg*” AND “Waterborne”

Tipo de documento: Article

Justificativa: A busca foi limitada a artigos devido grande volume de documentos e necessidade de seleção de documentos com foco no tema de pesquisa e que representem o estado da arte do mesmo.

Período de busca: 1 (um) de janeiro de 2016 a 13 (treze) de abril de 2023.

3.1.2.2 Estratégias de Busca de Artigos Científicos

A escolha das palavras-chave empregadas na busca por artigos foi orientada de forma a retornar resultados que expressem pesquisas envolvendo microalgas e seu uso, ou potencial para uso, como conservantes. Para tal, o primeiro termo em todas as pesquisas foi “Microalg*”, utilizando o asterisco para que termos como *Microalgae* e *Microalgal* sejam incluídos nos resultados. *Beverage* e *Drink* incluem documentos que relacionem microalgas a bebidas. Os demais termos foram pensados de acordo com a atividade exercida por produtos de microalgas e que são possibilidades esperadas de conservantes.

Assim, foram utilizados os termos: *Preserv**, relacionado à função conservante (*preservative, preserve, preservation*); *Antibiot**, *Antibact**, *Antimicrob**, *Foodborne* e *Waterborne* visando à potencial atividade antimicrobiana; *Antioxid**, à atividade antioxidante (os termos *food* e *beverage* foram considerados necessários pelo volume massivo de artigos encontrados pela busca *Microalg* AND Antioxid**); *Biocide*, ação biocida; *Shelf Life*, atuação na validade de alimentos e bebidas.

Essa estratégia levou em conta o ainda diminuto número de estudos publicados que testam substâncias provenientes de microalgas como aditivo alimentar com função conservante em bebidas e alimentos, e a necessidade de explorar o universo relacionado ao assunto em questão. Tal fato, comprovado via busca na base de dados *Scopus*, foi considerado um indicador da relevante inovação associada à temática envolvida.

Dessa forma, foi possível, não só explorar a realidade do reduzido número de artigos que tratam especificamente da utilização de microalgas e/ou seus produtos como conservantes naturais em bebidas, como também os assuntos que abordam caminhos tecnológicos relevantes ao tema.

3.1.3 Fases 3 e 4: Prospectiva e Pós-prospectiva

Através do estado da arte observável nos artigos científicos é possível identificar tecnologias relevantes, parceiros e concorrentes no mercado, rotas tecnológicas, inovações, investimentos, processos, produtos, pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I), fusões e aquisições, dentre outras. A fase 3 da prospecção tem como objetivo a coleta, tratamento e análise dos dados da fase 2. A análise é feita a partir dos dados tratados e reunidos em forma de gráficos, figuras ou tabela. Nessa etapa há um detalhamento em torno do tema do trabalho através da criação de taxonomias (*drivers*) para as classes de nível Macro, Meso e Micro de acordo com assuntos relevantes abordados no levantamento de dados e seus desdobramentos. Então, cada artigo foi associado às taxonomias de diferentes níveis as quais puderam ser identificados como representantes. A fase 4 é a pós-prospectiva e inclui a comunicação de resultados obtidos na fase 3, a implementação de ações e monitoramento baseado em tendências históricas apresentadas pelo produto de interesse. As fases 3 e 4 serão melhores abordadas e discutidas no capítulo 4.

3.1.4 Definição das taxonomias – Fase 3

Os artigos científicos, selecionados dentro da temática abordada, foram alocados nas taxonomias identificadas para o mapeamento tecnológico. As taxonomias foram divididas em três classes: nível Macro (objetiva), nível Meso (subjetiva) e nível Micro (subjetiva). Ainda, as taxonomias da classe de nível Micro, em alguns casos, podem ser detalhadas por taxonomias da classe de nível subMicro. A seguir, as definições de cada taxonomia são explicitadas.

3.1.4.1 Nível Macro

No nível Macro, os artigos são classificados, agrupados e analisados de acordo com dados como a distribuição histórica de suas publicações, os países e instituições participantes nas publicações, as colaborações internacionais e nacionais entre instituições e as parcerias entre países no desenvolvimento de tecnologias e saber científico. As instituições foram caracterizadas como universidade, centro de pesquisa ou empresa.

3.1.4.2 Nível Meso

Neste nível aparecem as taxonomias consideradas relevantes durante a investigação do conteúdo das pesquisas relacionadas à utilização de conservantes naturais a partir de microalgas e sua aplicação em bebidas não alcoólicas. As taxonomias usadas e suas definições encontram-se abaixo.

Microalgas: estão nessa taxonomia os artigos que envolveram microalgas em seu estudo e explicitaram ou não as espécies utilizadas.

Agente: as substâncias e produtos obtidos de ou com microalgas podem desempenhar atividades correlacionadas a conservantes. A taxonomia “Agente” busca expor a atividade de interesse que foi debatida na fonte de informações.

Teste: nessa taxonomia os estudos foram classificados de acordo com o método utilizado para conduzir a pesquisa.

Método de obtenção do agente: aqui, o foco é no método para obter um agente (composto, substância, extrato, cápsula, embalagem, filme etc.) com potencial atividade conservante a partir das microalgas.

Campo de aplicação: Essa taxonomia evidencia os estudos que demonstram perspectivas de aplicação das pesquisas em determinadas indústrias (farmacêutica, alimentos e bebidas) e se há indicação de uso dos estudos e tecnologias desenvolvidos com o intuito de aumentar o tempo de prateleira de produtos.

Escalabilidade: relacionada à escala em que os estudos ocorreram.

Tecnologia de produção/Inovação: refere-se à tecnologia, processo ou etapa de caráter inovador, determinante e/ou em destaque para o avanço científico discutido nos documentos. A inovação pode estar no método para criar produtos de interesse, em otimizações envolvendo condições de cultivo ou etapas de determinada produção, investigações analíticas, inclusão em alimentação de animais, e mais, desenvolvidos de forma mais detalhada na análise de classificação nível Micro dos artigos. Em suma, o que é considerado destaque em uma pesquisa inovadora, e é imprescindível para seu desenvolvimento, está exposto nessa taxonomia.

Conservante: A intenção desta taxonomia é promover a análise dos artigos selecionados que se aproximam de forma mais pronunciada da temática do mapeamento. Estão representados aqui os estudos que relacionam microalgas a sua potencialidade como conservante de forma clara e direta nos documentos.

Ainda, vale informar que pode ocorrer a presença do mesmo artigo em mais de uma categoria de tecnologia de produção, desde que a pesquisa evidencie tais categorias como diferenciais.

3.1.4.3 Nível Micro

O nível Micro é relacionado ao Meso, detalhando-o através da ramificação das taxonomias da classe de nível Meso em taxonomias da classe de nível Micro compatíveis. Esse detalhamento permite análise mais aprofundada do cenário revelado pelo nível Meso e suas peculiaridades. As taxonomias da classe de nível Micro (em suas respectivas classes de nível Meso) são especificadas a seguir:

Microalgas: 158 espécies de microalgas (*Arthrospira platensis*, *Chlorella vulgaris* etc.), “Classificação do artigo não ocorre por gênero/espécie” e “Não especificada”, ou seja, 160 taxonomias.

Agente: “Antioxidante”, taxonomia subdividida nas subMicros compostos fenólicos, carotenoides, ficobiliproteínas, clorofilas, ácidos graxos, pigmentos, concentrado de proteína, polissacarídeos, peptídeos, vitaminas, exopolissacarídeo (EPS), “Não especificado” e “Outras”; “Antimicrobiano”, subdividida em “Ácidos graxos”, “Compostos fenólicos”, “AgNP/SNP”, “Proteína(s)/peptídeo(s) e seus extratos”, “Ficocianina/C-ficocianina”, “Fitol”, “Carotenoides”, “EPS”, “Terpenos/terpenoides/isoprenoides”, “Outros” e “Não especificado”.

Teste: “In vivo”, “In vitro”, “In silico”.

Método de obtenção do agente: “Pré-tratamento”, “Cultivo/biomassa”, “Colheita”, “Secagem”, “Extração”, “Sobrenadante”, “Hidrólise”, “Purificação”, “Armazenamento”, “Outras técnicas” e “Métodos analíticos para quantificação/qualificação”.

Campo de aplicação: “Indústria de alimentos e bebidas”, “*Shelf life*/Validade de produtos”, “Indústria farmacêutica”, “Indústria de cosméticos”, “Gargalos na produção” e “Tratamento de água/efluentes”.

Escalabilidade: “Escala laboratorial”, “Escala piloto” e Escala industrial”.

Tecnologia de produção/Inovação: “Extração”, “Hidrólise de proteínas”, “Meio de cultivo”, “Alimentação de animais”, “Alimentos e bebidas”, “Mistura”, “FAME”, “Complexo”, “Spray drying”, “Processamento mecânico”, “Processamento térmico”, “Nanodots”, “Filmes”,

“Secagem”, “Purificação”, “Investigação analítica”, “Encapsulamento”, “Método computacional” e “Outras”.

Conservante: “Análise de shelf life”, “Análise da atividade antioxidante”, “Análise da atividade antimicrobiana”, “Análise de amônia, trimetilamina e aminas biogênicas”, “Capacidade de absorção de óleo” (OHC, do inglês *Oil Holding Capacity*), “Inibição de degradação enzimática” e “Estabilidade oxidativa”. O conteúdo das pesquisas costuma incluir análises de *shelf life* e sua relação com as atividades antioxidantes e antimicrobianas de substâncias e produtos de microalgas, exposição das duas últimas como promissor conservante natural na indústria de alimentos, testes que avaliam estabilidade oxidativa de produtos, além da tentativa de explicação de mecanismos envolvidos nas ações antimicrobiana e antioxidante encontradas nos objetos investigados.

É necessário um esclarecimento, pois as taxonomias da classe de nível Meso – “Método de obtenção do agente” e “Tecnologia de produção/Inovação” - compartilham algumas taxonomias da classe de nível Micro. Para exemplificar o porquê disso, pode-se citar que a partir dos métodos de obtenção do agente são vistas as taxonomias encapsulamento e preparo de filmes, pois estão envolvidos na obtenção de produtos contendo agentes com potencial conservante. Ao mesmo tempo, encapsulamento e preparo de filmes também estão como taxonomia da classe de nível Micro “Tecnologia de produção/Inovação”, pois foram fundamentais para os estudos em questão.

Já a inserção de biomassa em processo de produção de alimento ou bebida, sendo substâncias presentes na biomassa as responsáveis pela potencial atividade conservante, não é considerado método, mas tecnologia de produção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 BUSCA PRÉVIA DE ARTIGOS CIENTÍFICOS

A Tabela 1, a seguir, expõe a estratégia de busca e seus resultados gerais referentes à quantia total de documentos recuperados para cada conjunto de palavras-chave.

Tabela 1 – Resultados gerais da busca de artigos.

Palavras-chave	Nº de documentos	Palavras-chave	Nº de documentos
“Microalg*” AND “Preserv*”	266	“Microalg*” AND “Shelf” AND “Life”	46
“Microalg*” AND “Antibiot*”	424	“Microalg*” AND “Biocide”	58
“Microalg*” AND “Antibact*”	251	“Microalg*” AND “Beverage” OR “Drink”	121
“Microalg*” AND “Antimicrob*”	313	“Microalg*” AND “Foodborne”	12
“Microalg*” AND “Antioxid*” AND “Food” OR “Beverage”	429	“Microalg*” AND “Waterborne”	24
		Total	1944

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Como visto na Tabela 1, as buscas resultaram num montante de 1944 artigos científicos que satisfizeram a metodologia aplicada. Desse levantamento inicial foram descartadas as repetições e os documentos considerados, já inicialmente, irrelevantes. Essa exclusão resultou em 689 artigos pré-selecionados, que posteriormente foram analisados e reduzidos a 240 documentos de interesse.

A comparação entre o volume de artigos inicial, que inclui conteúdos irrelevantes e repetições, e o final, que contabiliza os artigos selecionados para análise, pode ser visualizada de forma mais detalhada na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados detalhados da busca de artigos.

Palavras-chave	Nº de documentos	Artigos relevantes*
"Microalg*" AND "Preserv*"	266	26
"Microalg*" AND "Antibiot*"	424	52
"Microalg*" AND "Antibact*"	251	85
"Microalg*" AND "Antimicrob"	313	11
"Microalg* AND "Antioxid*" AND "Food" OR "Beverage"	429	46
"Microalg*" AND "Shelf" AND "Life"	46	11
"Microalg*" AND "Biocide"	58	0
"Microalg*" AND "Beverage" OR "Drink"	121	6
"Microalg*" AND "Foodborne"	12	2
"Microalg*" AND "Waterborne"	24	1
Total	1944	240

*Excluídas as repetições.

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

A discrepância entre a quantidade de artigos encontrados e os relevantes, excluídas as repetições, se deu por dois motivos principais. Primeiramente, o próprio método de pesquisa visou abranger o máximo de resultados que pudessem apresentar informações referentes ao tema em questão. Logo, pela busca abrangente, muitos estudos não se encaixaram no objetivo pretendido com a seleção das palavras-chave (explanado na subseção anterior), sendo descartados. O outro motivo foi pelo significativo número de repetições de artigos.

Uma vez que os termos escolhidos podem se repetir, em um mesmo artigo, nos campos de busca definidos, as buscas envolvendo *Antibiot**, *Antibact** e *Antimicrob**, por exemplo, tem grandes chances de serem utilizadas em conjunto. Da mesma forma, podem aparecer no contexto das buscas utilizando *Preserv**, *Shelf AND Life* etc. Portanto, o uso dos termos

escolhidos proporciona inclusão do máximo de documentos disponíveis acerca do tema, o que também levou a repetições.

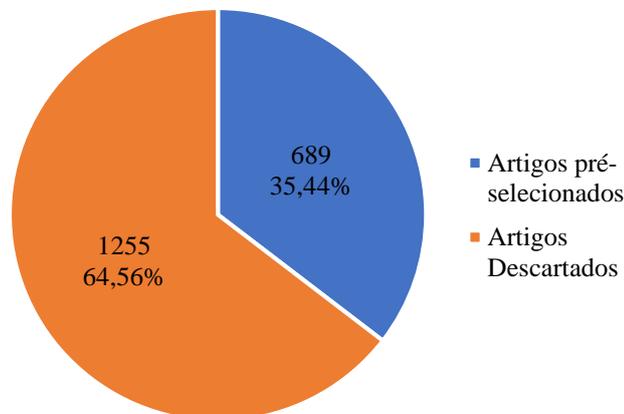
Nesse sentido, ao final da etapa de busca, 240 artigos científicos foram reunidos de maneira a embasar a prospecção tecnológica focada na utilização de conservantes naturais a partir de microalgas e sua aplicação em bebidas não alcoólicas.

4.2 ANÁLISE MACRO DOS ARTIGOS

4.2.1 Artigos relevantes e descartados

A busca por artigos científicos na base de dados *Scopus* possibilitou o acesso a 1944 artigos condizentes com o método de pesquisa. Desses, 64,56% (1255) foram descartados por representarem repetições ou por, já em uma investigação inicial, não se enquadrarem no escopo do presente trabalho. Assim, 35,44% (689) dos artigos científicos foram pré-selecionados. Na Figura 9, abaixo, essa relação é exposta.

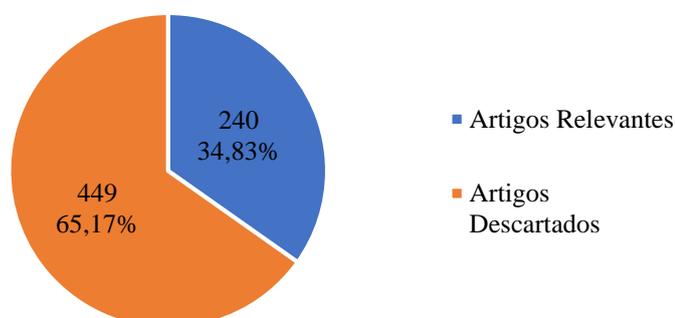
Figura 9 – Artigos pré-selecionados e descartados.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Em seguida, por meio de análise criteriosa dos 689 documentos pré-selecionados, 34,83% (240) foram considerados relevantes e 65,17% (449) foram descartados por não corresponderem aos critérios definidos pela estratégia apresentada na seção 3.2.2 para inclusão no tema “conservantes naturais a partir de microalgas e sua aplicação em bebidas não alcoólicas” (Figura 10).

Figura 10 – Artigos relevantes e descartados conforme análise criteriosa.



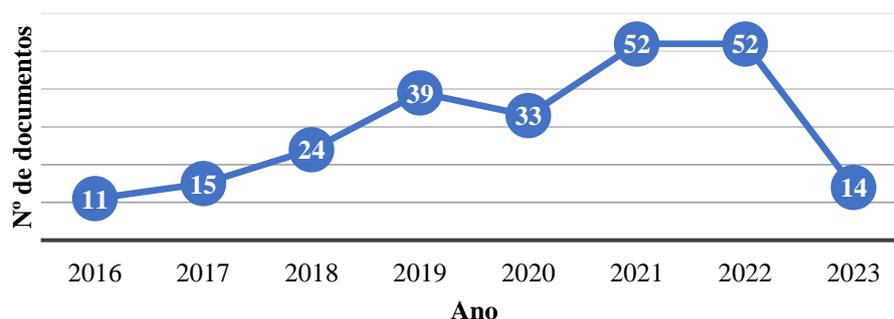
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Com o fim de exemplificar o descarte de artigos irrelevantes, pode ser citado o “*Harvesting Microalgae Biomass Using Sulfonated Polyethersulfone (SPES)/PES Porous Membranes in Forward Osmosis Processes*” (ZHOU *et al.*, 2020). Nesse caso, o objetivo foi desenvolver um método para colheita de microalgas que fosse promissor para aplicação em larga escala. No texto do resumo do referido artigo, há presença da palavra *microalgae* e *preserving*, a última relativa à preservação da integridade celular da microalga durante processo de osmose direta utilizando membranas porosas. Sendo assim, não há compatibilidade com o escopo definido para a presente prospecção.

Outro exemplo de assunto irrelevante é a utilização de microalgas para remoção de antibióticos de águas de reuso, como abordado em “*Removal of veterinary antibiotics in swine wastewater using microalgae-based process*” (MICHELON *et al.*, 2022). Também foram excluídos os artigos que investigaram a preservação e estabilidade de compostos instáveis como astaxantina, ficocianina, beta-caroteno, entre tantas outras. Isso porque um dos objetivos do presente trabalho é trazer à luz os compostos com provável atuação como conservantes, e não a promoção da estabilidade de compostos obtidos a partir de microalgas.

4.2.2 Evolução histórica

A partir da data de publicação dos 240 documentos selecionados como fonte de dados para a prospecção, foi elaborada a Figura 11 contendo o gráfico de dispersão que ilustra a evolução histórica das publicações.

Figura 11 – Evolução histórica das publicações.

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

No gráfico anterior, o número de artigos analisados apresenta uma tendência de publicação anual crescente. Ao comparar 2016 a 2022, houve um aumento de aproximadamente 373% na quantidade de artigos publicados no ano de 2022. A redução no número de publicações em 2020 é compreensível, uma vez que em março desse ano a COVID-19 foi caracterizada pela OMS (Organização Mundial da Saúde) como pandemia, e a nova realidade impactou a sociedade nas mais diversas esferas (OPAS/OMS, [s. d.]).

Ainda assim, em 2021 houve expressiva produção acadêmica, não só retomando o crescimento, como superando o alcançado em 2019. Já entre 2021 e 2022, os números se mantiveram estáveis com 52 publicações em cada um dos anos. Por fim, em 2023 há 14 documentos relevantes à prospecção, o que não carrega grande significado para a análise temporal, uma vez que a coleta de dados ocorreu em abril desse ano.

Diante do exposto, há perceptível intensificação da produção literária acadêmica que abarca o universo de assuntos conectados ao propósito do uso de microalgas como alternativa a conservantes sintéticos. Portanto, reitera-se a importância da atual prospecção como forma de melhor compreender este objetivo que, apesar de pouco explorado, é promissor para o mercado num futuro próximo.

4.2.3 Países participantes na publicação de artigos

Assim como a evolução da série histórica discutida na subseção anterior é relevante para a análise do cenário atual em pauta e possíveis futuros, também o é discutir a origem dos artigos e principais parcerias.

A partir de tais dados, é possível compreender quais países estão mais envolvidos na produção acadêmica; quais as principais parcerias que despontam; se os que mais publicam o

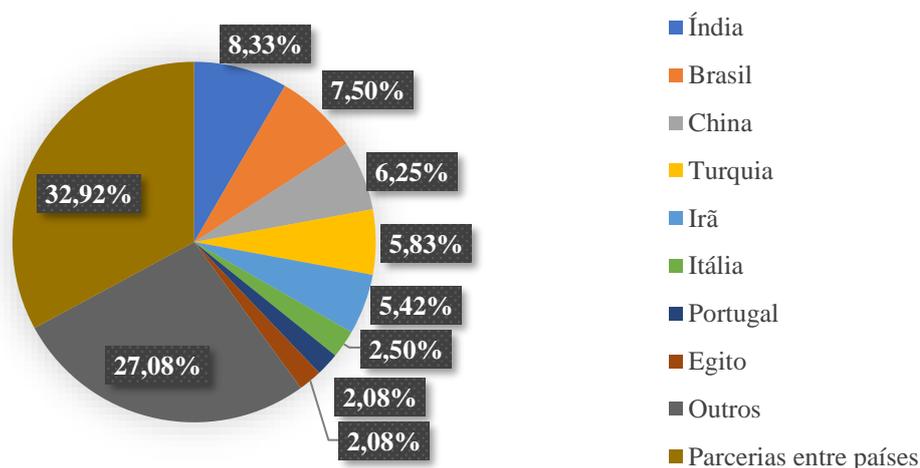
fazem em parceria ou por meio de instituições/empresas/centros de pesquisas nacionais. Ou seja, é descrita a forma como se tem organizado a produção intelectual, o que pode servir tanto de modelo a ser seguido, quanto apontar possíveis países parceiros (e, em subseções posteriores, instituições, empresas e centros de pesquisas) que acumulam conhecimento na área.

Nesse sentido, através da análise dos dados contidos nos 240 documentos criteriosamente selecionados, foram observados 56 países envolvidos nas publicações. Desses 56, Índia, Brasil, Espanha, China e Portugal despontaram como os 5 (cinco) países com maior número de participações. Estiveram presentes em 31 (12,92%), 25 (10,42%), 20 (8,33%), 19 (7,92%) e 18 (7,50%) artigos, respectivamente. Seguidos por Itália, com participação em 17 (7,08%) artigos, Turquia também em 17 (7,08%), Irã em 16 (6,67%), França em 15 (6,25%) e Egito em 11 (4,58%). Todos os outros países se envolveram em 9 ou menos documentos.

No contexto de participações relativas ao total de artigos (240), vale ressaltar que a soma de participações de todos os países ultrapassa a quantia de 240. Isso ocorre porque há parcerias entre os países, tópico abordado a seguir e que permite expandir a análise.

Ao organizar os artigos entre os publicados por uma ou mais instituições (universidades, centros de pesquisa e empresas) de um único país e aqueles resultantes de parcerias entre países, o gráfico da Figura 12 foi formulado.

Figura 12 – Distribuição das publicações por países e parcerias entre países.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

De acordo com os dados coletados para confecção do gráfico anterior, os países com maior contagem de documentos publicados individualmente foram: Índia, com 20 artigos; Brasil com 18; China, 15; Turquia, 14 e Irã com 13 artigos. Continuando, em ordem decrescente, a Itália apresentou 6 artigos, enquanto tanto Portugal quanto Egito, 5. Já as

parcerias entre países contribuíram com 79 artigos, e a categoria “Outros”, presente na legenda, corresponde aos países que participaram com entre 1 a 4 artigos para a prospecção. Ainda sobre a categoria “Outros”, a Tabela 3 a seguir explicita os países que publicaram entre 1 a 4 artigos relevantes ao escopo definido para a prospecção no período entre 2016 e o primeiro trimestre de 2023.

Tabela 3 – Países com menos de 5 publicações.

Outros	Nº de artigos	Outros	Nº de artigos	Outros	Nº de artigos
Espanha	4	Bélgica	3	França	1
Malásia	4	Tunísia	2	Alemanha	1
Indonésia	4	Polônia	2	Irlanda	1
México	4	Coreia do Sul	2	Colômbia	1
EUA	4	Iraque	2	Inglaterra	1
Bulgária	4	Rússia	2	Paquistão	1
Canadá	3	Israel	2	Marrocos	1
Suíça	3	Filipinas	2	Noruega	1
Taiwan	3	Arábia Saudita	1	Croácia	1
Grécia	3	Vietnã	1	Romênia	1
				Total	65

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Quanto às parcerias entre países, que deram origem a 79 artigos científicos, foi elaborada a Tabela 4 com o intuito de detalhar as relações estabelecidas por tais parcerias.

Tabela 4 – Artigos em parceria. (continua)

Países parceiros	Nº de artigos	Países parceiros	Nº de artigos	Países parceiros	Nº de artigos
França/Tunísia	4	Arábia Saudita/Índia	1	Alemanha/Polônia	1
Arábia Saudita/Egito	4	Arábia Saudita/Egito/Japão	1	Irã/Turquia	1
Itália/Portugal	3	Coreia do Sul/Índia/Rússia	1	Rússia/Turquia	1
Irlanda/Itália	2	Espanha/Finlândia/Índia/Turquia	1	Canadá/França	1
Coreia do Sul/Índia	2	Brasil/Índia	1	Alemanha/Coreia do Sul	1
Argentina/Espanha	2	Índia/Japão	1	Japão/Malásia	1
Espanha/Portugal	2	Chile/Índia	1	Emirados Árabes Unidos/Malásia	1
Brasil/Portugal	2	África do Sul/Índia/Portugal	1	Iraque/Malásia	1

Tabela 4 – Artigos em parceria. (conclusão)

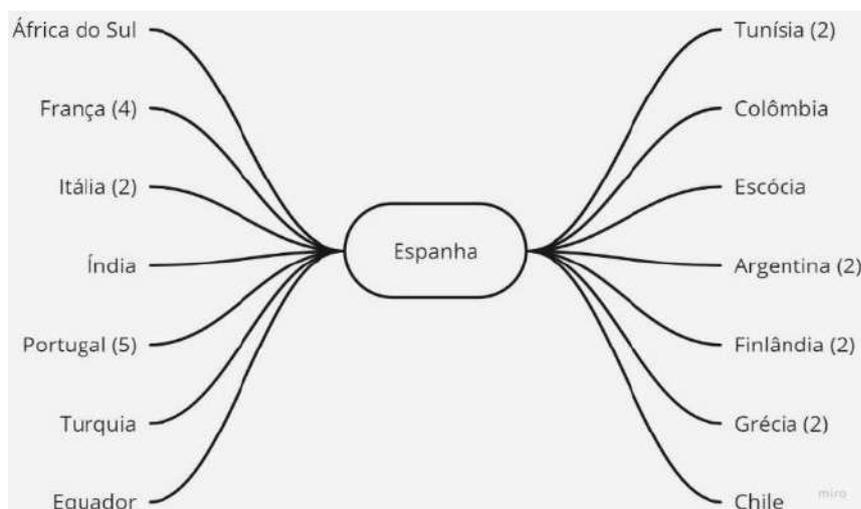
Países parceiros	Nº de artigos	Países parceiros	Nº de artigos	Países parceiros	Nº de artigos
França/ Indonésia	2	África do Sul/Chile/Espanha	1	Malásia/Tailândia	1
França/Rússia	2	Espanha/França/ Portugal	1	Bangladesh/Japão/ Malásia	1
Colômbia/ EUA	2	Espanha/Grécia/ Portugal	1	Canadá/EUA	1
Itália/Países Baixos	1	Espanha/França	1	China/Egito	1
Espanha/Itália	1	Espanha/Finlândia/ França	1	Bélgica/Coreia do Sul/Sérvia	1
Índia/Itália	1	Equador/Espanha/ Grécia	1	EUA/México	1
Grécia/Itália	1	Colômbia/Espanha	1	China/Singapura	1
Escócia/ Espanha/ Itália	1	Portugal/Sérvia	1	China/Irã	1
Itália/Noruega	1	Noruega/Portugal	1	China/Nova Zelândia	1
Arábia Saudita/ Tunísia	1	Brasil/Canadá	1	Austrália/Irã/ Kuwait	1
Espanha/ Portugal/ Tunísia	1	Brasil/EUA	1	Dinamarca/ Inglaterra/ Tailândia	1
Espanha/ França/ Tunísia	1	Brasil/Bulgária	1	África do Sul/Hungria	1
Arábia Saudita/ Emirados Árabes Unidos/Índia	1	Brasil/França	1	Austrália/Paquistão	1
				Total	79

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Uma das funções da Tabela 4 foi expor a quantidade de artigos que foi produzida por cada país por meio de colaboração com outras nações, e quais países se conectaram nessa atividade. Assim, os países que mais publicaram de forma colaborativa foram Espanha, com 16 artigos em parceria, França, com 14, Portugal, 13, e em sequência Itália e Índia, com 11 cada.

As relações estabelecidas pela Espanha e pelo Brasil podem ser observadas nas Figuras 13 e 14, confeccionadas por meio do *template mind map* do *website miro*:

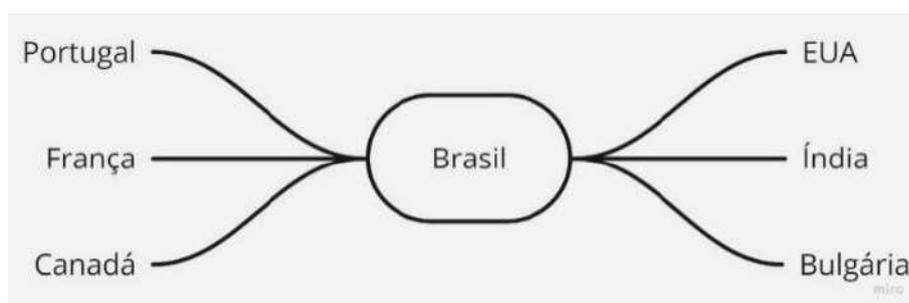
Figura 13 – Publicações de caráter colaborativo internacional com participação da Espanha.



Entre parênteses estão os números indicativos da quantia de publicações da referida colaboração no período analisado.

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Figura 14 – Publicações de caráter colaborativo internacional com participação do Brasil.

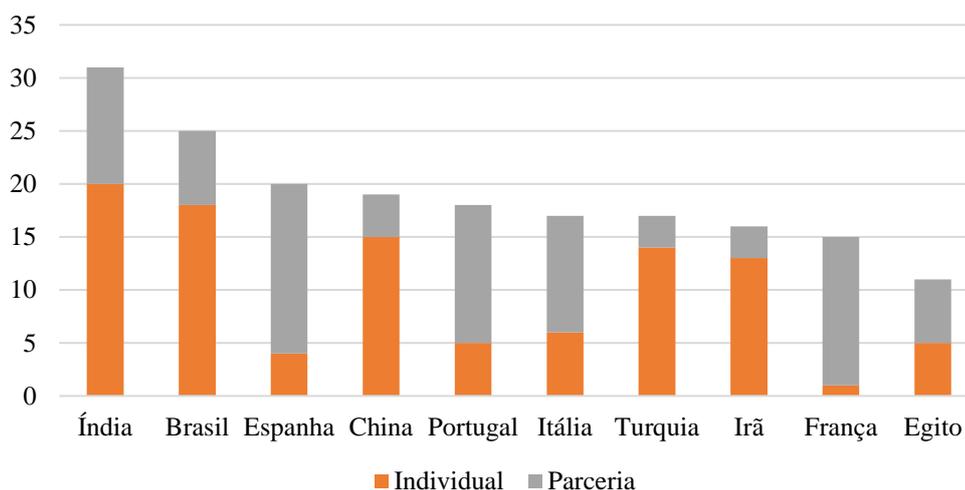


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Diante das informações obtidas a respeito da participação de países na publicação de artigos, observa-se que entre os que mais contribuíram em quantidade de documentos, o fizeram tanto em parceria com outros países, quanto individualmente, de forma variável. Nesse sentido,

a Figura 15 ilustra as produções individuais ou em parceria dos principais produtores de conhecimento científico acerca do tema em voga entre 2016 e 2023.

Figura 15 – Publicações a partir de instituições nacionais e de colaborações entre instituições de diferentes nações.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Enquanto Índia, Brasil, China, Turquia e Irã se caracterizam por uma maior proporção de publicações envolvendo apenas instituições nacionais, Espanha, Portugal, Itália e França demonstraram uma forma de se organizar em que as colaborações internacionais entre instituições se destacaram. Ainda, é válido apontar que o grupo anterior de países se encontra na Europa, revelando essa forma de se organizar como um aspecto da região, talvez relacionado à maneira de valorizar e buscar por trocas na construção do saber científico. Não obstante, embora tais trocas também ocorram através do acesso às bases de dados como *Scopus* e *USPTO*, a colaboração direta entre países pode ser um diferencial relevante, com vantagens e desvantagens que fogem ao escopo do presente trabalho discutir.

Outra observação é que a China, embora maior produtora de microalgas em 2019 (CAI *et al.*, 2021), encontra-se em quarto lugar entre os países mais envolvidos em publicações relevantes à temática conservantes naturais a partir de microalgas entre 2016 e 2023. Ainda assim, continua a figurar entre as nações que mais produzem pesquisas na área, como Índia, Brasil, Espanha e outros expostos na Figura 15.

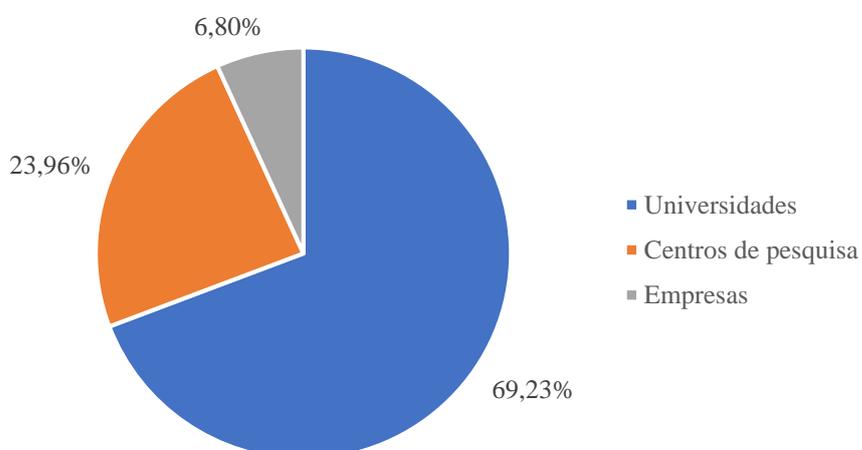
4.2.4 Instituições

As instituições reconhecidas como responsáveis pelas publicações que compuseram o mapeamento tecnológico foram classificadas como universidade, centro de pesquisa ou empresa. Do total de 240 artigos, em 234 (97,5%) houve a participação de universidades, em 81 (33,75%) apareceram centros de pesquisa, e empresas compareceram em apenas 23 (9,58%) artigos.

Em muitos artigos ocorreu colaboração entre instituições de diferentes classificações. Em “*Marine Microalgae: Promising Source for New Bioactive Compounds*”, de 2018, universidades espanhola, finlandesa e francesa colaboraram com a empresa finlandesa VTT Technical Research Centre of Finland Ltd e com os centros de pesquisa IPNA-CSIC da Espanha e o francês CNRS (VERA *et al.*, 2018). Já a Universidade de Lisboa, em Portugal, se uniu à de Florença e à empresa Fotosintetica & Microbiologica S.r.l., italianas, na publicação “*Microalgae as Functional Ingredients in Savory Food Products: Application to Wheat Crackers*” (BATISTA *et al.*, 2019).

Na Figura 16, o gráfico apresenta uma comparação entre a participação de universidades, centros de pesquisa e empresas na produção dos artigos selecionados. Pela investigação dos tipos de instituições envolvidos no total de participações, as universidades se destacaram, com 69,23% de participação. Os centros de pesquisa foram contabilizados em 23,96%, e as empresas apresentaram tímida participação de 6,80%.

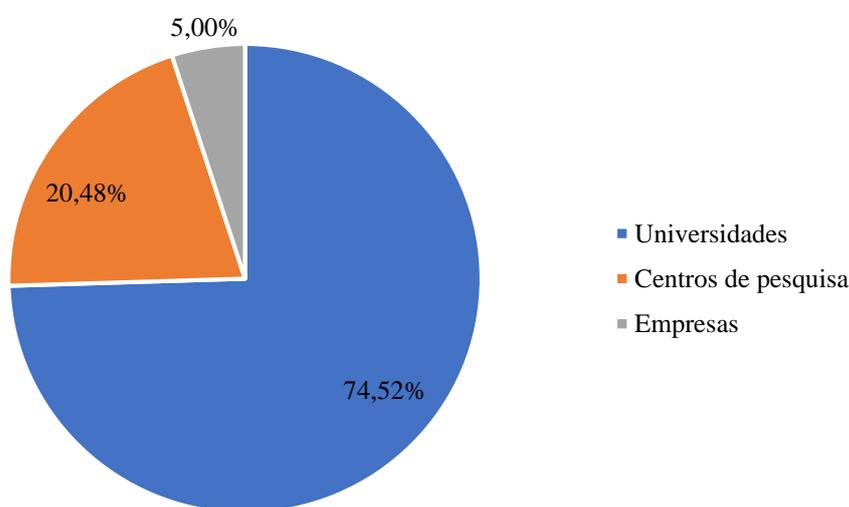
Figura 16 – Percentual de participação de instituições por tipo de instituição



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

A saber, essa análise de participação levou em conta apenas o tipo de instituição envolvida, e foi considerado válido apresentar, na Figura 17, uma relação que mostra o total de participação das instituições, considerando cada contribuição, de cada instituição. Isso porque, em um único artigo, podem estar envolvidos mais de uma universidade, centro de pesquisa e/ou empresa. As universidades apresentaram 462 (74,52%) ocorrências, enquanto centros de pesquisa apareceram 127 (20,48%) vezes e empresas apenas 31 (5,00%).

Figura 17 – Percentual de participação de instituições por total de contribuições de cada instituição das categorias “Universidades”, “Centros de pesquisa” ou “Empresas”.

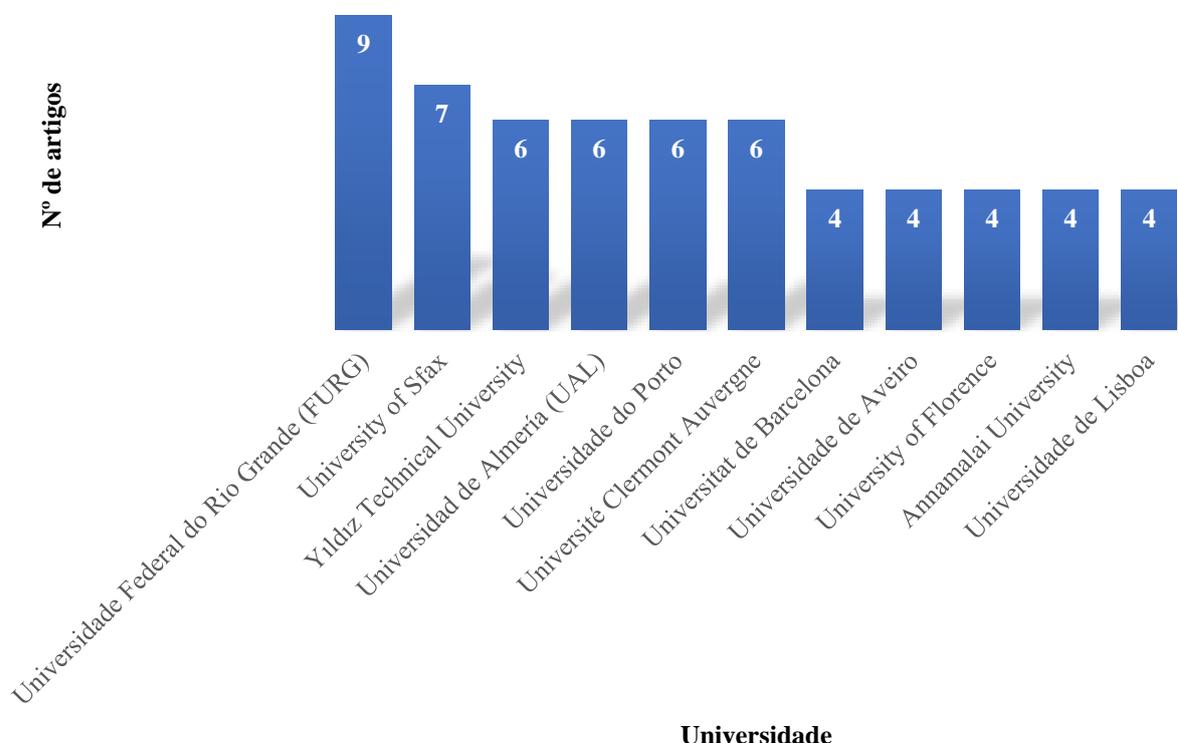


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Por meio dos dados coletados, foram computadas 310 universidades responsáveis pelo número de 462 ocorrências citado anteriormente. As que estiveram presentes em 4 ou mais publicações estão descritas na Figura 18.

Assim, considerando os assuntos relativos a conservantes naturais a partir de microalgas para uso em bebidas não alcoólicas, a universidade brasileira FURG, envolvida em 9 artigos, foi a que mais participou de publicações em âmbito mundial. O segundo lugar foi ocupado pela universidade de Sfax, que esteve em 7 documentos e se localiza na Tunísia. E encontram-se em 6 publicações a universidade turca Yıldız Technical University, a espanhola Universidad de Almería (UAL), a Universidade do Porto, de Portugal, e a francesa Université Clermont Auvergne.

Figura 18 – Universidades em quatro ou mais artigos publicados e o número de publicações de cada uma dessas instituições.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Detalhando a forma que a FURG participou nos 9 artigos, ressalta-se produção de 2 artigos individualmente, ambos em 2018, e 7 em parceria com outras universidades, sendo a maioria das colaborações, entre universidades brasileiras. Apenas a canadense University of Guelph figurou como parceria internacional feita pela FURG, também junto da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), no artigo intitulado “*Antioxidant ultrafine fibers developed with microalga compounds using a free surface electrospinning*” (MOREIRA *et al.*, 2019). Tal artigo, de alta relevância para a prospecção, tratou do uso da ficocianina no desenvolvimento de fibras ultrafinas e bioativas, discutindo a potencial aplicação em embalagens ativas que promovam a conservação de alimentos através de atividade antioxidante.

As outras universidades que se uniram a FURG, todas brasileiras, foram a Universidade Federal do Paraná (UFPR), em 2022, a Universidade Federal da Bahia (UFBA), em 2021, o Centro Universitário SENAI CIMATEC, em 2021, a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em 2021, a Universidade de Passo Fundo (UPF), duas vezes em 2021, a Universidade Regional de Blumenau (FURB), em 2019, a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), em

2018, o Instituto Federal Farroupilha (IFFAR), em 2021, e a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em 2021.

Ainda sobre os artigos da FURG, 3 foram publicados em 2018, 2 em 2019, 3 em 2021 e 1 em 2022. Além disso, todas as 7 parcerias se deram apenas entre universidades, ou seja, centros de pesquisa e empresas estiveram ausentes. A Tabela 5 expõe a participação das universidades brasileiras que entre 2016 e 2023 publicaram conteúdos pertinentes ao tema do mapeamento.

Tabela 5 - Produção científica brasileira.

Universidade	Nº de artigos	Universidade	Nº de artigos	Universidade	Nº de artigos
FURG	9	IFFAR	1	UDESC	1
UFMG	3	UFPEl	1	FURB	1
UFSC	3	UEM	1	UFRGS	1
UFPR	3	Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste	1	UFSCar	1
UPF	2	BIOTRANS (Programa da Unigranrio, Inmetro e UEZO em conjunto)	1	UFPB	1
UFSM	2	UTFPR	1	UFGD	1
UFRJ	2	Faculdades Pequeno Príncipe	1	UFOP	1
UFPE	2	UFBA	1	UFV	1
UFRPE	2	Centro Universitário SENAI CIMATEC	1		
Unicamp	2	UFERSA	1		

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Quanto às 2 (duas) publicações em que a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) aparece como colaboradora, um foi feito em parceria com as universidades indianas Tezpur University, Gauhati University e o Indian Institute of Technology Guwahati, em 2022. Intitulado “*Polarity-wise successive solvent extraction of Scenedesmus obliquus biomass and characterization of the crude extracts for broad-spectrum antibacterial activity*”, o artigo investiga a atividade antibacteriana de diferentes extratos da microalga *Scenedesmus obliquus* contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas (MUKHERJEE *et al.*, 2022).

A outra publicação, “*Green production of microalgae-based silver chloride nanoparticles with antimicrobial activity against pathogenic bacteria*” (FERREIRA *et al.*, 2017), resultou da colaboração entre as universidades UFRJ e BIOTRANS (Programa da

Unigranrio, Inmetro e UEZO em conjunto), e os centros de pesquisa Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Biologia Estrutural e Bioimagem (INBEB), constituído por 20 laboratórios associados, e o Inmetro - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, ambos brasileiros. Nesse estudo, o foco foi a síntese de nanopartículas de cloreto de prata utilizando a microalga *Chlorella vulgaris* no processo, e visou à potencial aplicação como antimicrobiano. Inclusive, foi citada na conclusão da pesquisa a possibilidade de futuro desenvolvimento da tecnologia para uso em, entre outros exemplos, embalagens de alimentos.

Além das universidades, os centros de pesquisa também foram responsáveis pelas pesquisas científicas construídas dentro da presente temática. Na Tabela 6 são vistos os centros que participaram em mais de uma publicação, seus respectivos países de origem e o número de artigos nos quais estiveram envolvidos no período analisado.

Tabela 6 - Centros de pesquisa com número de publicações superior a um.

País	Centro de Pesquisa	Nº de artigos
França	CNRS	10
Portugal	LAQV-REQUIMTE	6
Portugal	CIIMAR	5
Bulgária	Bulgarian Academy of Sciences	5
China	Chinese Academy of Sciences	4
Espanha	ISGlobal	3
Itália	Stazione Zoologica Anton Dohrn	3
Portugal	CESAM	3
Tunísia	Institut National des Sciences et Technologies de la mer (INSTM)	2
Itália	IRIB	2
Argentina	INTEMA	2
Espanha	Marine Research Institute	2
Egito	National Research Centre	2
Espanha	IUOPA	2
Espanha	ISPA	2
Brasil	Embrapa	2
Espanha	Fundación MEDINA	2
Portugal	CCMAR	2
Tunísia	Biotechnology Center of Borj Cedria (CBBC)	2
China	Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology	2
Espanha	Institute of Agrifood Research and Technology (IRTA)	2

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

De acordo com o *Nature index 2022*, em 2021 o *Centre national de la recherche scientifique* (CNRS) ficou em quarto lugar entre as instituições líderes por produção de pesquisa, enquanto a Chinese Academy of Sciences atingiu o primeiro lugar pelo décimo ano consecutivo (CONROY; PLACKETT, 2022). Essas instituições contribuíram com 10 e 4 artigos, respectivamente, para este mapeamento tecnológico. Entre os países que contribuíram com maior número de centros de pesquisa que participaram em duas ou mais publicações foram Portugal e Espanha. A nacional Embrapa também está presente na Tabela 6, com 2 participações.

As empresas que participaram nas publicações dos artigos selecionados como relevantes estão destacadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Empresas participantes nas publicações.

País	Empresa	Nº de artigos
Portugal	Allmicroalgae Natural Products S.A.	4
Itália	Fotosintetica & Microbiologica S.r.l	3
Finlândia	VTT Technical Research Centre of Finland Ltd	2
Portugal	ALGAplus—Production and Trading of Seaweed and Derived Products Ltd	2
Polônia	Bioorganic Technologies sp. z o.o.	1
França	Aqua Eco Culture	1
China	Polo Biology Science Park Co., Ltd.	1
Espanha	Fitoplanton Marino S.L. (Fitoplâncton Marino S.L. no google ta escrito assim)	1
Grécia	APIVITA S.A.	1
Espanha	Euroespes Biotechnology	1
Egito	EL-Zeny Laboratory	1
Espanha	Parque Industrial Base 2000	1
China	State Development and Investment Corporation (SDIC)	1
Itália	FoodMicroTeam S.r.l	1
Itália	Le Farine dei Nostri Sacchi S.M.E.	1
Itália	Nutrigea-Nutritherapy Research Center	1
Turquia	Tayas Food R&D Center	1
EUA	Lubrizol Corp.	1
EUA	Corbion BioTech Inc.	1
Noruega	Nøgne Ø Det Kompromissløse Bryggeri A/S	1
Rússia	Rusextract	1
Rússia	Sodrugestvo Group	1
Índia	Accubits Invent Pvt. Ltd.	1
Inglaterra	Amalga Technologies Ltd	1

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

A interação entre universidades e empresas é valorizada como forma de aproximar a academia do setor produtivo, trazendo benefícios para ambas as partes através dos recursos materiais, humanos e financeiros compartilhados (BARRICHELO, 2005). Entre os benefícios que tornam interessante a cooperação entre empresas e universidades, estão a inovação e seu avanço, verdadeiros pilares para o desenvolvimento tecnológico (SANTOS GOMES; CANZIANI PEREIRA, 2015) e fundamentais ao nortear este mapeamento.

De acordo com Diego Abreu (2022), na matéria “Por que a integração universidade-empresa é estratégica para a inovação?”, as universidades ainda não são as principais parceiras para a inovação no Brasil, enquanto em países como os Estados Unidos a cooperação universidade-empresa já é uma realidade concretizada (ABREU, 2022).

Assim, a baixa participação de empresas na presente prospecção evidencia a necessidade de maior integração entre as empresas e a academia, uma vez que entre os 240 artigos, apenas em 23 as 24 empresas participantes estiveram presentes. Em nenhuma das publicações brasileiras selecionadas houve colaboração com empresas, embora as empresas, de forma geral, tenham se aliado a universidades e/ou centros de pesquisa para publicação, exceto no artigo americano “*Bio-based Algae Oil: an oxidation and structural analysis*” (NEJAD *et al.*, 2020). As responsáveis por esse artigo foram somente a Lubrizol Corp. e a Corbion BioTech Inc.

4.3 ANÁLISE DE CLASSIFICAÇÃO NÍVEL MESO DOS ARTIGOS

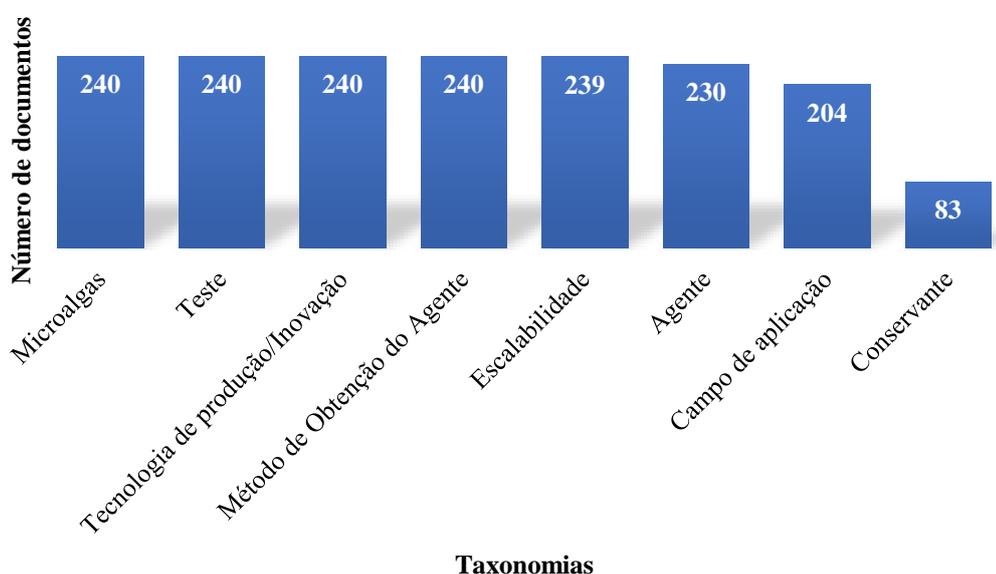
As taxonomias definidas para a classe de nível Meso da prospecção buscaram englobar os aspectos mais relevantes para o tema em discussão, conforme detalhado no capítulo anterior. Além de darem forma à fase da classe de nível Meso da análise, dão origem às taxonomias da classe de nível Micro.

Nesta fase, um mesmo artigo pode ser classificado em uma ou mais categorias da classe de nível Meso, uma vez que é plausível, e esperada, a abordagem de múltiplas taxonomias. Dessa forma, um único artigo pode estar presente até mesmo em todas as seguintes taxonomias definidas: “Microalgas”, “Agente”, “Teste”, “Método de obtenção do agente”, “Campo de aplicação”, “Escalabilidade”, “Tecnologia de produção/Inovação” e “Conservante”.

Após categorizar os artigos, relacionando-os às suas respectivas taxonomias, foi constatado que tanto “Microalgas” quanto “Teste”, “Tecnologia de produção/Inovação” e “Método de Obtenção do Agente” obtiveram 240 ocorrências cada (100%), ou seja, todos os artigos selecionados apresentaram informações relativas a essas taxonomias.

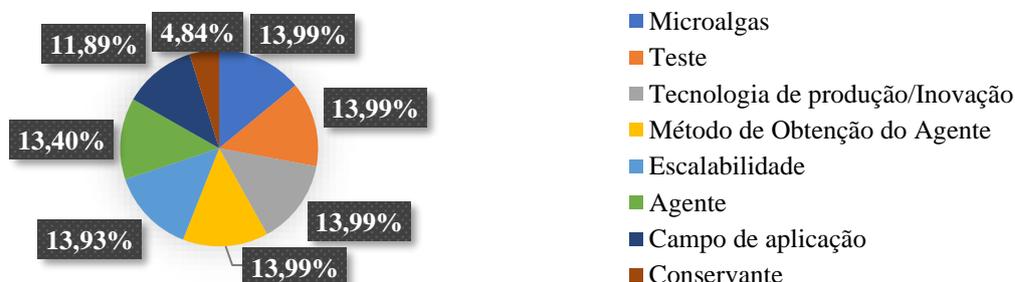
A taxonomia “Escalabilidade” esteve presente em 239 artigos (99,58%), não se aplicando ao único estudo exclusivamente *in silico* (PESTANA-NOBLES *et al.*, 2022). Em sequência, 230 (95,83%) artigos discutiram o conteúdo proposto pelo driver “Agente”; 204 (85%) apresentaram uma perspectiva de aplicação em “Campo de aplicação”; e apenas 83 (34,58%) puderam ser incluídos em “Conservante” (Figura 19). Complementando a Figura 19, a Figura 20 evidencia as participações percentuais das taxonomias da análise de classificação nível Meso dos artigos.

Figura 19 – Quantidade de artigos alocados em cada taxonomia da classe de nível Meso.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Figura 20 – Participação percentual das taxonomias da classe de nível Meso.



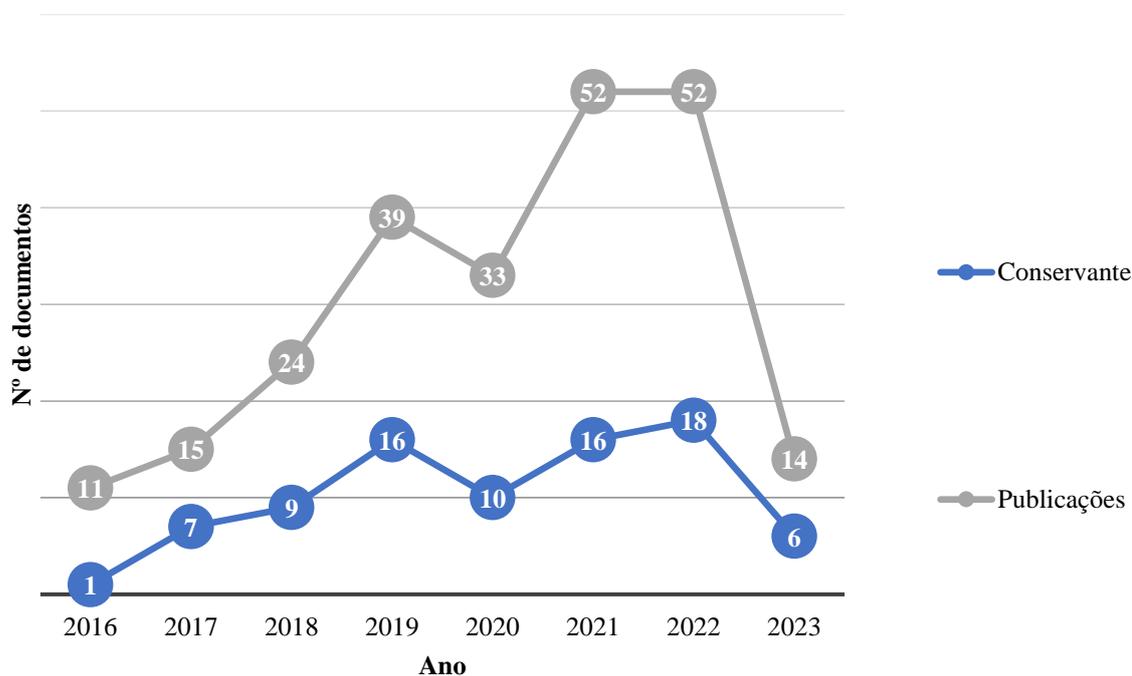
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

No cenário obtido, concluiu-se que, das oito taxonomias da classe de nível Meso, seis estão presentes em pelo menos 95% dos artigos científicos cujos dados foram extraídos. Por

outro lado, 36 artigos não apresentaram uma perspectiva de aplicação na indústria. Esses estudos são, principalmente, pesquisas básicas que objetivam a extensão do conhecimento científico. Apenas 83 artigos se encaixam no *driver* “Conservante” e são explicados pela novidade do tema, somado à própria forma pela qual os artigos foram selecionados, de maneira a abranger os assuntos que margeiam o tema da pesquisa, sendo possível visualizar melhor os caminhos tecnológicos entrelaçados à atual prospecção.

Uma forma de reforçar o argumento acima é através da observação da evolução histórica da publicação dos artigos contidos no *driver* “Conservante” (Figura 21). Em 2016, apenas 1 dos 11 artigos selecionados (9,09%) correspondeu à taxonomia; em 2017 houve um pico de 46,67% de participação nas publicações selecionadas daquele ano; em 2018, 37,5%; em 2019, 41,03% e em 2022 esteve em 18 das 52 publicações (34,62%). Embora flutuantes, os aumentos percentuais sinalizam eventuais crescimentos da relevância do *driver* dentro do universo de assuntos nos quais está contido.

Figura 21 – Número de artigos em que a taxonomia “Conservante” esteve presente comparado ao total de publicações anuais (2016-2023).



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

4.4 ANÁLISE DE CLASSIFICAÇÃO NÍVEL MICRO DOS ARTIGOS

4.4.1 Microalgas

A taxonomia “Microalgas”, inserida na classe de nível Meso, compreendeu os artigos que utilizaram microalgas em sua pesquisa. A classe de nível Micro dessa taxonomia da classe de nível Meso teve como objetivo elucidar as espécies responsáveis pelo potencial antioxidante e/ou antimicrobiano em produtos e tecnologias que envolvam microalgas em seu processo de produção (biomassa, extratos, embalagens inteligentes, nanopartículas, entre outros). Além das espécies, também foram analisadas as frequências destas nas publicações.

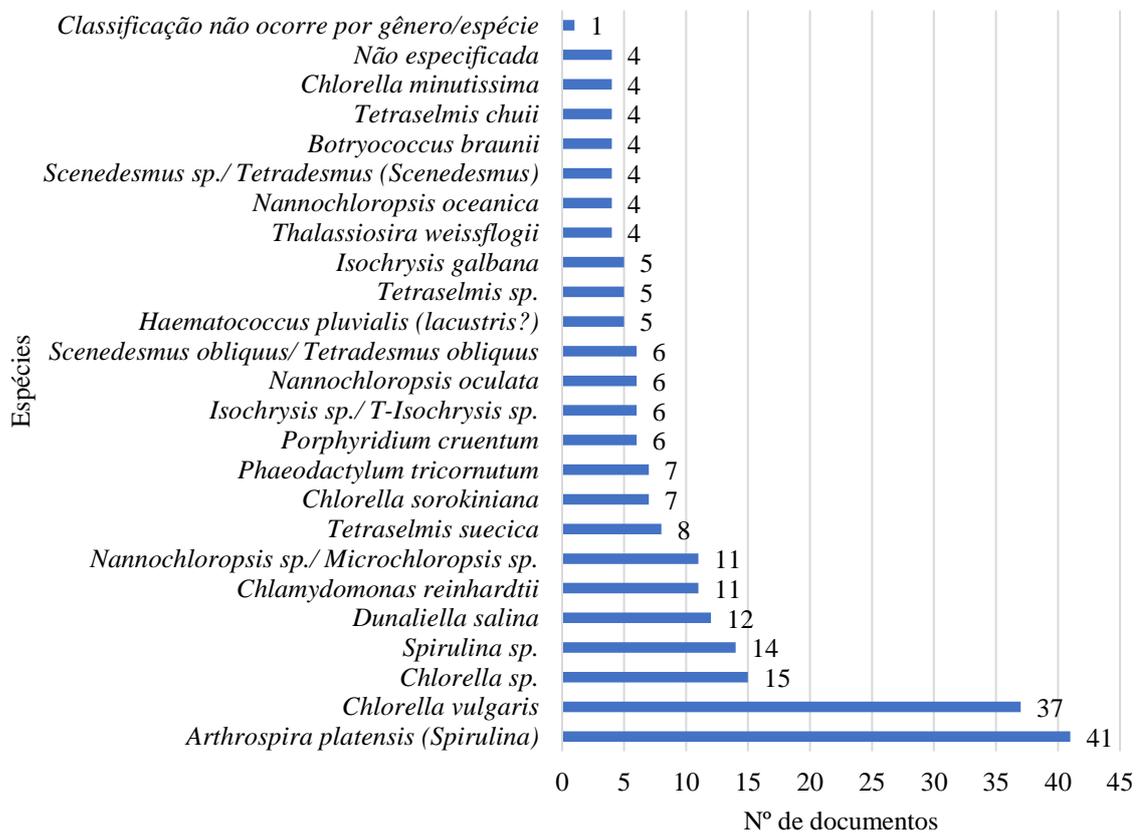
Nos documentos analisados, foram identificadas 158 espécies de microalgas. Como houve artigos que não determinaram as espécies utilizadas, estes foram contabilizados nas taxonomias “Classificação do artigo não ocorre por gênero/espécie” (um artigo) e “Não especificada” (quatro artigos). Além disso, nove estudos contendo microalgas também incluíram macroalgas.

As macroalgas foram utilizadas ou em conjunto com as microalgas no desenvolvimento de tecnologias, ou tiveram suas performances comparadas. Em “*Active exopolysaccharides based edible coatings enriched with red seaweed (Gracilaria gracilis) extract to improve shrimp preservation during refrigerated storage*”, exopolissacarídeos provenientes da microalga *Porphyridium cruentum* e extrato etanólico obtido da macroalga *Gracilaria gracilis* foram utilizados no desenvolvimento de revestimentos comestíveis ativos com a finalidade de melhorar a qualidade e tempo de prateleira de camarões refrigerados (BALTI *et al.*, 2020).

Já no artigo “*The incorporation of Chlorella vulgaris and Chondrus crispus algae in the production of functional ayran drinks: effects on physicochemical, microbiological, and sensory characteristics*”, a microalga *Chlorella vulgaris* e a macroalga *Chondrus crispus*, juntas ou separadas, foram adicionadas à bebida fermentada de leite chamada Ayran (PEHLIVAN *et al.*, 2023). Como essa adição levou a mudanças nas características físico-químicas, microbiológicas e sensoriais da bebida, tais características foram analisadas comparativamente entre si e o controle (Ayran sem alga). Foi observado que as amostras contendo algas foram benéficas para as bactérias ácido lácticas do iogurte, refletindo em um aumento na viabilidade dessas bactérias (PEHLIVAN *et al.*, 2023). Dessa forma, ocorre o aumento da validade desses produtos, que precisam conter as bactérias vivas e presentes em concentração significativa no produto no momento de seu consumo para promover benefícios em quem as ingere (CSATLOS *et al.*, 2023; ŚCIESZKA; GORZKIEWICZ; KLEWICKA, 2021).

Conforme os dados coletados, as espécies mais frequentes de microalgas foram *Arthrospira platensis* (*Spirulina*) e *Chlorella vulgaris*, presentes em 41 e 37 artigos, respectivamente. *Chlorella* sp., *Spirulina* sp. e *Dunaliella salina* estiveram em 15, 14 e 12 artigos, nessa ordem. As espécies que mais participaram nas publicações encontram-se na Figura 22.

Figura 22 – Quantidade de artigos das taxonomias da classe de nível Micro provenientes da taxonomia da classe de nível Meso “Microalgas” que representam as espécies de microalgas presentes em mais que três publicações, a categoria de espécies não explicitadas e a de artigos cuja classificação das microalgas não ocorre por gênero/espécie.



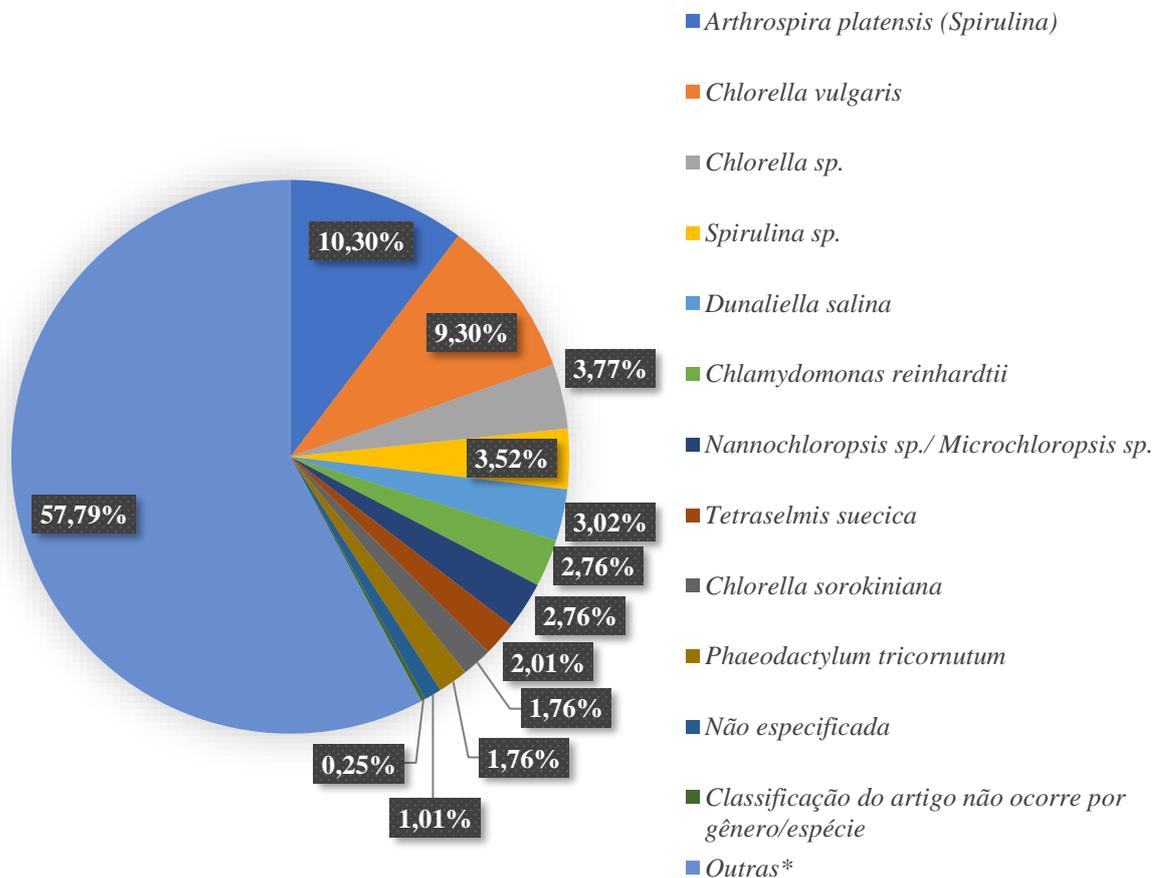
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

As taxonomias da classe de nível Micro da classe de nível Meso “Microalgas” foram compostas por 158 espécies de microalgas, “Classificação do artigo não ocorre por gênero/espécie” e “Não especificada”, ou seja, 160 taxonomias. Ao analisar o percentual de participação de cada taxonomia da classe de nível Micro proveniente da taxonomia da classe

de nível Meso “Microalgas”, destacam-se as participações da *Arthrospira platensis* (10,30%) e *Chlorella vulgaris* (9,30%) (Figura 23).

Vale informar que o percentual de participação refere-se à relação entre o total de ocorrências de determinada taxonomia e o total de ocorrências do grupo em análise. Exemplificando, são 160 taxonomias da classe de nível Micro referentes à taxonomia da classe de nível Meso “Microalgas”, que totalizam 398 ocorrências; logo, as 41 publicações contendo a taxonomia *A. platensis* ocupam 10,30% de “Microalgas”.

Figura 23 - Percentual de participação de cada taxonomia da classe de nível Micro proveniente da taxonomia da classe de nível Meso “Microalgas”.



*Outras representa o total de participações de espécies presentes em um número de publicações igual ou menor que seis.

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

As espécies que participaram em 2 ou 3 publicações estão detalhadas na Tabela 8:

Tabela 8 - Espécies de microalgas em 2 ou 3 publicações.

Espécie	Nº de artigos
<i>Chlorella protothecoides</i> ; <i>Chaetoceros calcitrans</i> ; <i>Nannochloropsis gaditana</i> ; <i>Chaetoceros gracilis</i> ; <i>Schizochytrium</i> sp.; <i>Phaeodactylum</i> sp.; <i>Chaetoceros muelleri</i> ; <i>Dunaliella</i> sp.; <i>Porphyridium</i> sp.	3
<i>Arthrospira maxima</i> ; <i>Neochloris oleoabundans</i> ; <i>Tetraselmis subcordiformis</i> ; <i>Scenedesmus armatus</i> / <i>Desmodesmus armatus</i> ; <i>Chlamydomonas</i> sp.; <i>Nitzschia</i> sp.; <i>Synechococcus</i> sp.; <i>Amphidinium carterae</i> ; <i>Microcystis aeruginosa</i> ; <i>Navicula</i> sp.; <i>Picochlorum</i> sp.; <i>Lemna minuta</i> ; <i>Porphyridium purpureum</i> ; <i>Scenedesmus quadricauda</i>	2

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Enfim, as 112 espécies de microalgas que participaram de apenas 1 publicação foram explicitadas na Tabela 9 a seguir:

Tabela 9 - Espécies de microalgas em apenas 1 publicação. (continua)

Espécie	Nº de artigos
<i>Dunaliella tertiolecta</i> ; <i>Spirulina pacifica</i> ; <i>Graesiella</i> sp.; <i>Enallax</i> sp.; <i>Synechococcus bigranulatus</i> ; <i>Heterochlorella luteoviridis</i> ; <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> ; <i>Fistulifera pelliculosa</i> ; <i>Exuviaella pusilla</i> ; <i>Cylindrotheca closterium</i> ; <i>Monoraphidium</i> sp.; <i>Galdieria sulfuraria</i> ; <i>Planktochlorella nurekis</i> ; <i>Pseudococcomyxa simplex</i> ; <i>Phormidium ambiquum</i> ; <i>Schizochlamydeella minutissima</i> ; <i>Cyanidioschyzon merolae</i> ; cf. <i>Stauroneis</i> sp.; cf. <i>Phaeothamnion</i> sp.; <i>Barranca yajiagensis</i> ; <i>Tribonema minus</i> ; <i>Amphora montana</i> ; <i>Nanochlorum eucaryotum</i> ; <i>Amphora coffeaformis</i> ; unicellular <i>ulvophyte</i> sp.; <i>Limnospira máxima</i> ; <i>Emiliana huxleyi</i> ; <i>Chrysotila pseudoroscoffensis</i> ; <i>Picochlorum oklahomensis</i> ; <i>Gyrodinium dorsum</i> ; <i>Ochromonas</i> sp.; <i>Monochrysis lutheri</i> ; <i>Cryptomonas</i> sp.; <i>Tetraselmis Rubens</i> ; <i>Hemiselmis Cyclopea</i> ; <i>Auxenochlorella pyrenoidosa</i> ; <i>Scenedesmus brasiliensis</i> ; <i>Enallax acutiformis</i> ; <i>Sphaerospermopsis</i> sp.; <i>Chlorella</i> spp.; <i>Haslea ostrearia</i> ; <i>Pseudochlorella pringsheimii</i> ; <i>Oscillatoria</i> sp.; <i>Phormidium autumnale</i> ; <i>Chlorella ellipsoidea</i> ; <i>Chlorella pyrenoidosa</i> ; <i>Poteroochromonas malhamensis</i> ; <i>Micractinium</i> sp.; <i>Tetradasmus</i> sp. Ou <i>Scenedesmus</i> sp.; <i>Desmodesmus</i> sp.; <i>Chrysophaeum taylorii</i> ; <i>Scenedesmus dimorphus</i> ; <i>Skeletonema costatum</i> ; <i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i> ; <i>Coccomyxa</i> sp.; <i>Nanofrustulum shiloi</i> ; <i>Rhodella maculata</i> ; <i>Boekelovia hooglandii</i> ; <i>Goniochloris sculpta</i> ; <i>Chloridella simplex</i> ; <i>Moorea produca</i> ; <i>Moorea</i> sp.; HPU code 071007-KAN-07 (cianobactéria de espécie não identificada); <i>Amphora</i> sp.; <i>Amphora</i> cf. <i>capitellata</i> ; <i>Nitzschia communis</i> ; <i>Coelastrella</i> sp.; <i>Scenedesmus intermedius</i> ; <i>Chroococcus</i> sp.; <i>Leptolyngbya</i> sp.1.; <i>Chlorococcum amblystomatis</i> ; <i>Eustigmatos</i> cf. <i>polyphem</i> ; <i>Chromulina</i> sp.; <i>Porphyridium marinum</i> ; <i>Euhalothece</i> sp.; <i>Anabaena oryzae</i> ; <i>Nostoc linckia</i> ; <i>Nostoc muscorum</i> ; <i>Dichtyochloropsis splendida</i> ; <i>Muriella</i> sp.; <i>Prorocentrum micans</i> ; <i>Nitzschia closterium</i> f. <i>minutissima</i> ; <i>Phormidium</i> sp.; <i>Viridiplantae</i> sp.;	1

Tabela 9 – Espécies de microalgas em apenas 1 publicação. (conclusão)

Espécie	Nº de artigos
<p><i>Cosmarium</i> sp.; <i>Myrmecia bisecta</i>; <i>Scenedesmus bijuga</i>; <i>Pseudotetradasmus quaternaries</i>; <i>Bracteacoccus minor</i>; <i>Tetrastrum komarekki</i>; <i>Oocystis lacustres</i>; <i>Kirchneriella lunares</i>; <i>Oscillatoria mínima</i>; <i>Chlorella variabilis</i>; cf. <i>Micractinium</i> sp.; <i>Chlorophyceae</i> strain DMGCW_53; <i>Kirchneriella aperta</i>; <i>Trichodesmium erythraeum</i>; <i>Pseudopediastrum boryanum</i>; <i>Synechococcus</i> cf. <i>nidulans</i>; <i>Tisochrysis lutea</i>; <i>Platymonas</i> sp.; <i>Scenedesmus subspicatus</i>; <i>Neochloris aquatica</i>; <i>Prorocentrum hoffmannianum</i>; <i>Pavlova lutheri</i>; <i>Chlorella emersonii</i>; <i>Dictyosphaerium</i> sp.; <i>Pectinodesmus</i> sp.; <i>Skeletonema marinoi</i>; <i>Leptocylindrus aporus</i>; <i>Leptocylindrus danicus</i></p>	1

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Um ponto a ser discutido é a grande disparidade entre a presença de *Chlorella vulgaris* e *Arthrospira platensis* e as demais. A escolha preferencial por desenvolver estudos envolvendo essas espécies se dá por diversos motivos, sendo um deles a extensa literatura científica que explora o saber a elas relacionado (cultivos e parâmetros, processos, tecnologias, biologia etc.). No entanto, isso não significa que artigos que decidem por espécies menos escolhidas sejam menos relevantes.

Um exemplo é o artigo brasileiro da UFRGS “*Effect of microalgae addition on active biodegradable starch film*” (CARISSIMI; FLÔRES; RECH, 2018), responsável pela aparição única tanto da *Dunaliella tertiolecta* quanto da *Heterochlorella luteoviridis* na presente prospecção. No artigo foram desenvolvidos filmes biodegradáveis com propriedades antioxidantes utilizando biomassa ou extrato de biomassa, sendo o extrato de *H. luteoviridis* mais efetivo para os objetivos almejados. Ao conservar salmão utilizando o filme como embalagem, o processo de oxidação lipídica foi retardado (CARISSIMI; FLÔRES; RECH, 2018).

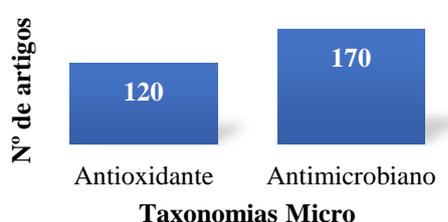
4.4.2 Agente

A taxonomia da classe de nível Meso “Agente” se subdivide nas taxonomias da classe de nível Micro “Antioxidante” e “Antimicrobiano”. Cada um desses *drivers* foi subdividido de forma a evidenciar as substâncias de interesse citadas pelos artigos como responsáveis por atividade antioxidante e/ou antimicrobiana.

Essas atividades são correlacionadas a conservantes ao evitarem ou reduzirem a velocidade em que ocorre oxidação em alimentos e bebidas, diminuindo os efeitos, por exemplo, da oxidação lipídica (antioxidantes), e também ao assumir função antimicrobiana, agindo, por exemplo, como bactericida ou bacteriostática, dificultando a contaminação que tornaria alimentos e bebidas impróprios para consumo.

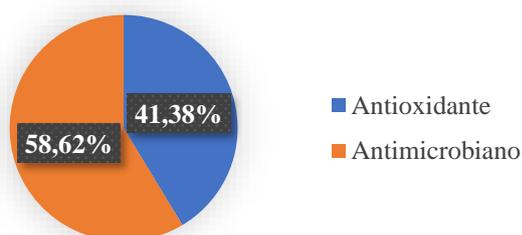
Como visto, o assunto envolvido pelo termo “Agente” está presente em 230 artigos. Desses, 120 citam atividade antioxidante e 170, antimicrobiana (Figuras 24 e 25).

Figura 24 – Quantidade de artigos presentes nas taxonomias da classe de nível Micro provenientes da taxonomia da classe de nível Meso “Agente”.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Figura 25 - Percentual de participação de cada taxonomia da classe de nível Micro proveniente da taxonomia da classe de nível Meso “Agente”.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

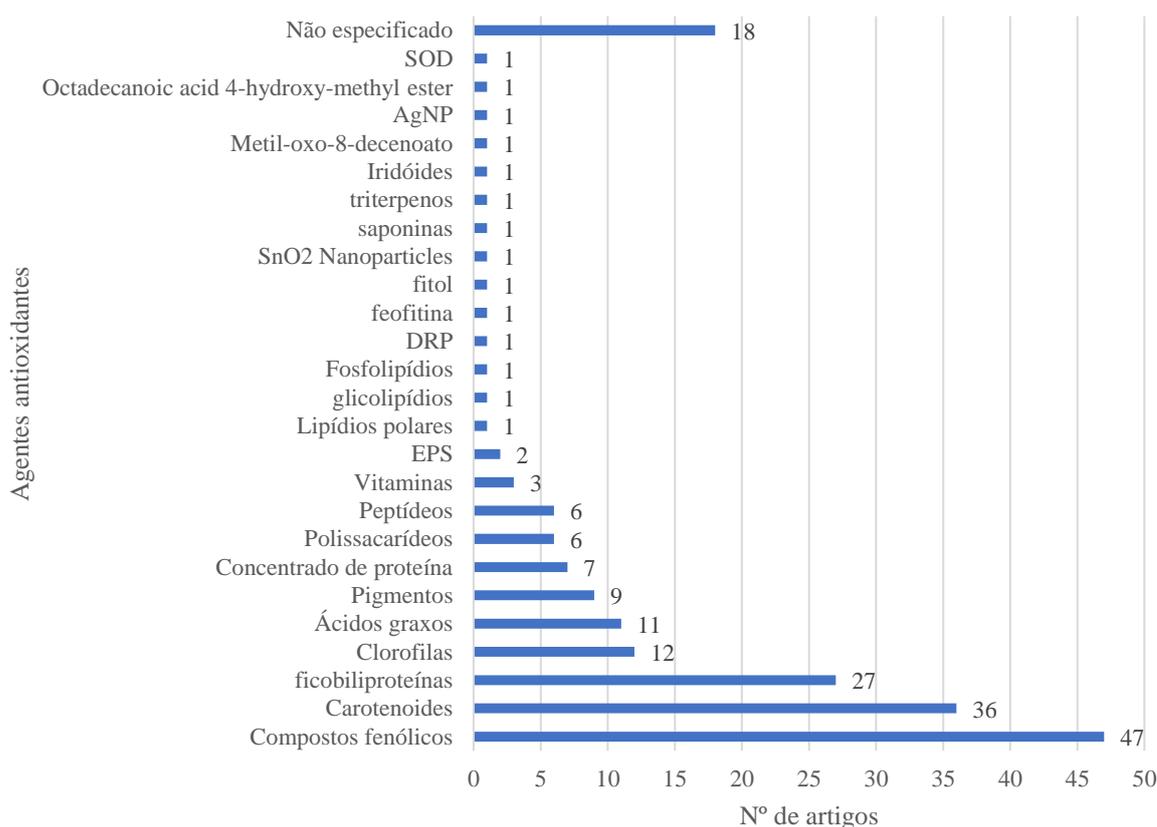
Nas subseções a seguir, a partir das publicações analisadas, foram discutidos os compostos caracterizados como antioxidantes e antimicrobianos. No entanto, nem todas as investigações qualificaram os responsáveis pela característica observada e conferida ao produto obtido, o que pode ocorrer ao validar um extrato como antimicrobiano e ao mesmo tempo não evidenciar os componentes em questão, como no artigo “*Bioactivity Screening of Microalgae*

for Antioxidant, Anti-Inflammatory, Anticancer, Anti-Diabetes, and Antibacterial Activities” (LAURITANO *et al.*, 2016).

4.4.2.1 Agentes Antioxidantes

A Figura 26 denomina as substâncias que, conforme as publicações investigadas, possuem atividade antioxidante. Entre as mais apontadas pelos documentos analisados dentro da taxonomia da classe de nível Micro “Antioxidante” estão os compostos fenólicos, citados em 47 artigos (23,74%), os carotenoides, em 36 (18,18%), e as ficobiliproteínas, em 27 (13,64%) (Figura 27).

Figura 26 – Substâncias antioxidantes e suas frequências de citação nas publicações analisadas.

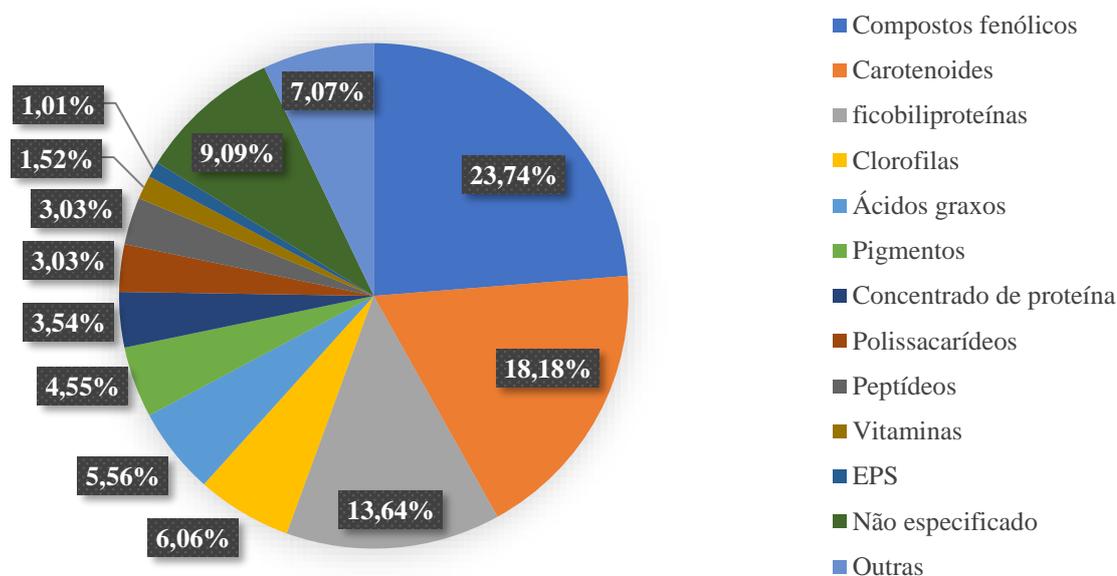


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Também é mostrado no gráfico anterior que, em 18 artigos, os compostos responsabilizados pela atividade antioxidante não foram determinados. Com isso, ocuparam

9,09% das participações percentuais entre as taxonomias da classe de nível subMicro originada da taxonomia da classe de nível Micro “Antioxidante” (Figura 27).

Figura 27 – Percentual de participação das taxonomias da classe de nível subMicro originadas da taxonomia da classe de nível Micro “Antioxidante”.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Ao discorrer sobre os compostos fenólicos, as publicações, por vezes, não especificaram os tais compostos, mas as que o fizeram deram margem a um detalhamento dessa ampla classe de substâncias que esteve presente na prospecção. Da mesma forma, quando possível, foram detalhados os carotenoides, ficobiliproteínas, clorofilas, ácidos graxos e polissacarídeos (Tabela 10).

Tabela 10 - Classes e espécies químicas antioxidantes. (continua)

Classe	Nº de documentos	Espécie química	Nº de documentos
ficobiliproteínas	27	Ficocianina ou C-ficocianina	25
		ficocianobilina	2
		ficoeritrina	4
		B-ficoeritrina	1
		aloficocianina	3

Tabela 10 – Classes e espécies químicas antioxidantes. (continuação)

Classe	Nº de documentos	Espécie química	Nº de documentos		
Carotenoides	36	Astaxantina	3		
		β -caroteno	14		
		Violaxantina	2		
		Cantaxantina	2		
		Neoxantina	2		
		Criptoxantina	1		
		Equinenona	1		
		zeaxantina	8		
		Luteína	8		
		Fucoxantina	7		
		Xantofilas	5		
		Diatoxantina	1		
		Clorofilas	12	Clorofila a	3
Clorofila b	3				
Clorofila c	1				
Polissacarídeos	6	β -1,3-Glucana	2		
Ácidos graxos	11	EPA	1		
		ARA	1		
		ALA	1		
		DHA	2		
		Ácido gama-linoleico	1		
		PUFAs	4		
		Ácido araquídico (C20:0)	1		
		trans-13-Octadecenoic acid	1		
		LA	2		
		Compostos fenólicos	47	polifenóis	7
				taninos	5
fenilpropanóides	2				
ligninas	3				
tocoferóis	6				
fenol/fenóis	5				
Ácidos fenólicos	3				
Ácido ferúlico	1				
Ácido 4-cumárico	1				
Vanillin	1				
Ácido siríngico	1				
Ácido 4-hidroxibenzoico	1				
Ácido clorogênico	1				
Ácido protocatecuico	1				

Tabela 10 – Classes e espécies químicas antioxidantes. (conclusão)

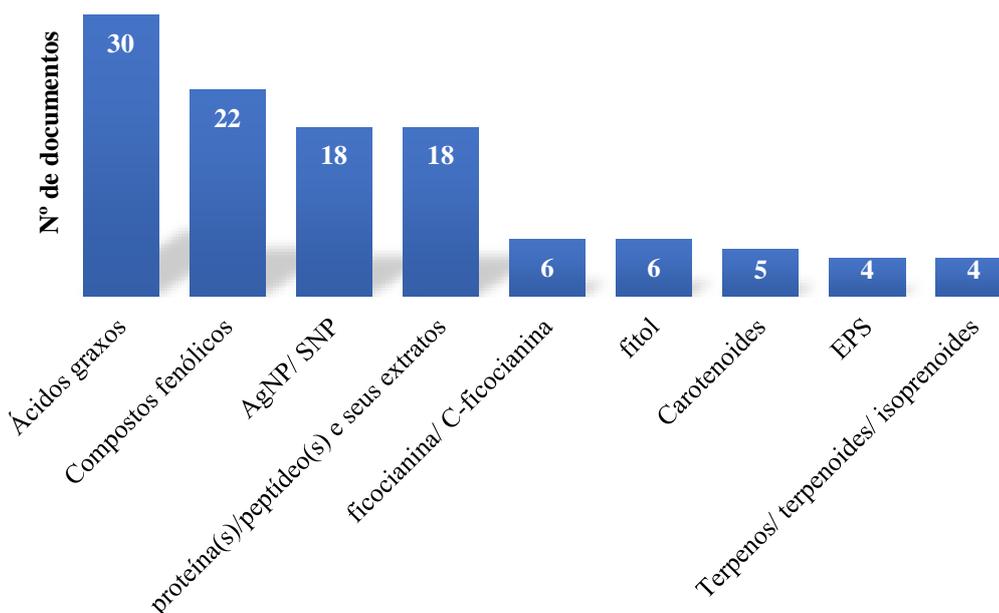
Classe	Nº de documentos	Espécie química	Nº de documentos
		Ácido gálico	1
		Ácido cafeico	3
		flavonoides	15

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

4.4.2.2 Agentes Antimicrobianos

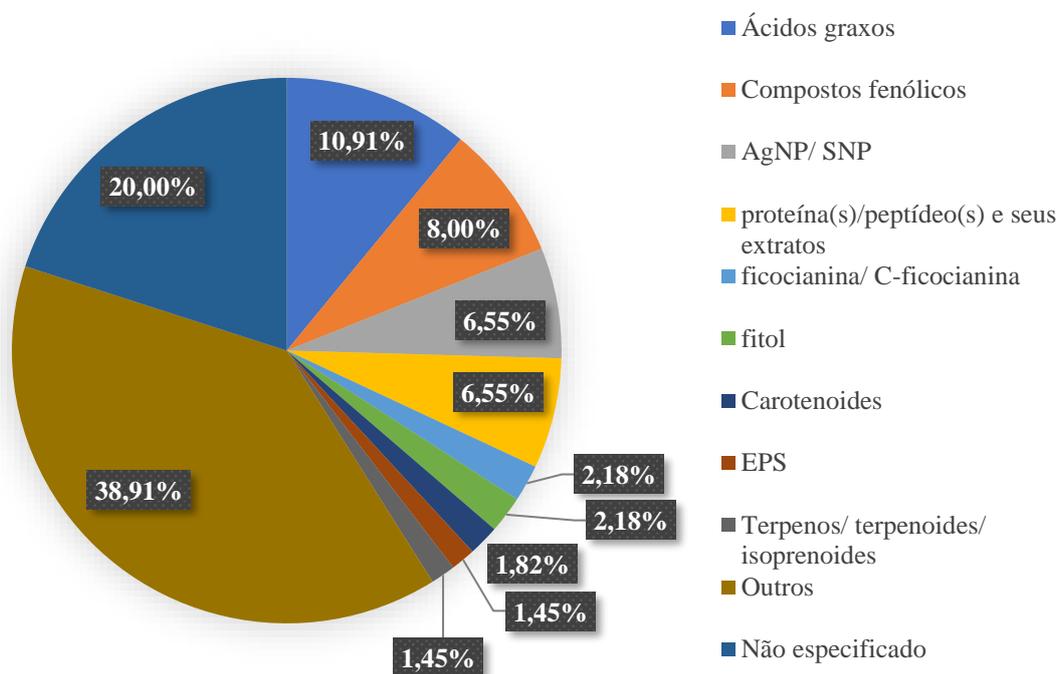
Na Figura 28 estão os antimicrobianos presentes em 4 ou mais artigos e em quantas publicações apareceram. Os ácidos graxos foram citados como capazes de exercer atividade antimicrobiana em 30 artigos, o que corresponde a 10,91% das incidências entre as taxonomias da classe de nível subMicro provenientes da classe de nível Micro “Antimicrobiano”, seguidos pelos compostos fenólicos, em 22 (8,00%). Já as nanopartículas de prata e proteína(s)/peptídeo(s) foram, cada uma, noticiadas em 18 (6,55%) documentos (Figuras 28 e 29).

Figura 28 – Compostos antimicrobianos obtidos com uso de microalgas discutidos em quatro ou mais publicações e sua frequência.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Figura 29 - Percentual de participação das taxonomias da classe de nível subMicro originadas da taxonomia da classe de nível Micro “Antimicrobiano”.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Dos 170 artigos concernentes à atividade antimicrobiana, 55 deles não especificaram os compostos responsáveis pela característica divulgada. Assim, ao comparar sua participação, de 20%, com a dos compostos evidenciados, observa-se grande diferença. Esse fato é um sinal da necessidade de maior investigação dos constituintes dos produtos antimicrobianos obtidos a partir de microalgas e as atividades por eles exercidas, tanto individualmente quanto em misturas (sinergia ou não), como os encontrados em extratos que não passam por purificação extremamente seletiva.

A categoria “Outros”, do gráfico anterior, é relativa aos compostos que apareceram em menos que quatro artigos. Nesse contexto, esteroides, policetídeos e éster metílico de ácido graxo (FAME) tiveram três participações cada. Com duas participações estão os extratos obtidos do conteúdo extracelular liberado pelas microalgas no meio, alcaloides, nanopartículas de ouro e também de óxido de zinco, β -caroteno, luteína, zeaxantina e álcoois de cadeia longa. Por fim, foram identificadas 82 substâncias citadas apenas por um artigo. Entre elas vale destacar a dioctilamina, nanopartículas de cloreto de prata, “nanodots”, *antillatoxin B*, *laxaphycin A*, *laxaphycin B*, *laxaphycin B3*, *Isomalyngamide A*, *malyngamide C*, *malyngamide I* e *malyngamide J* e vitaminas.

O artigo “*The effects of microalgae (Spirulina platensis and Chlorella vulgaris) extracts on the quality of vacuum packaged sardine during chilled storage*” (ÖZOGUL *et al.*, 2021) investigou os efeitos, nas qualidades sensoriais, químicas e microbiológicas, de imergir filés de peixe em em um litro de água destilada e esterilizada contendo 10g de extrato aquoso de *Chlorella vulgaris* ou de *Spirulina platensis* por dez minutos seguida por embalagem a vacuo. O controle foi amostra não tratada, e o experimento durou 15 dias com análises nos dias 0, 3, 6, 9, 11, 13 e 15. Os resultados mostraram que o tempo de prateleira dos produtos tratados foi estendido por três dias comparado ao controle, baseado na análise sensorial. A análise microbiológica demonstrou que bactérias psicrófilas, mesófilas e coliformes cresceram mais lentamente nas amostras tratadas, obtendo menores contagens até o fim do experimento. Nesse estudo a dioctilamina foi relacionada à atividade bacteriostática da *S. platensis*, enquanto para a *C. vulgaris* foram apontados os ácidos graxos, proteínas, vitaminas, carotenoides e compostos fenólicos como responsáveis pela ação antimicrobiana. Ademais, os extratos retardaram a oxidação lipídica da carne do peixe.

Da mesma forma que na subseção “Agentes antioxidantes”, foi possível detalhar espécies químicas pertencentes aos ácidos graxos, compostos fenólicos, entre outras classes de substâncias. Foi decidido, subjetivamente, devido à relevância de alguns estudos investigados e frequência em publicações, explicitar alguns dos ácidos graxos e compostos fenólicos na Tabela 11.

Tabela 11 - Detalhamento de ácidos graxos e compostos fenólicos com atividade antimicrobiana. (continua)

Classe	Nº de publicações	Espécie química	Nº de publicações
Ácidos graxos	30	Ácido láurico	10
		Ácido acético	8
		Ácido cáprico	6
		Ácido tridecanoico	6
		Ácido mirístico	6
		Ácido heptadecanoico	5
		Ácido heptadecenoico	5
		Ácido esteárico	4
		Ácido pentadecanoico	3
		Ácido araquídico	3
		ácido araquidônico	3
		Ácido palmítico	2
		Ácido palmitoleico (POA)	2
		Ácido linoleico	2
		Ácido linolênico	1
Ácido α -linolênico (ALA)	1		

Tabela 11 – Detalhamento de ácidos graxos e compostos fenólicos com atividade antimicrobiana. (conclusão)

Classe	Nº de publicações	Espécie química	Nº de publicações
Compostos fenólicos	22	Ácido eicosapentaenoico (EPA)	1
		Ácido oleico	1
		2-HoTrE	1
		ácido 18,18,18-trihidroxiocetadec-2-enóico	1
		ácidos graxos hidroxilados	1
		Outros	25
		ácido gentísico	1
		ácido 4-hidroxibenzóico	1
		Ácido cafeico	1
		catequina	1
		ácido vanílico	1
		ácido p-cumárico	1
		2,4-bis (1,1-dimetiletil) fenol	1
		2,4-diterc-butilfenol	1
		fenol	2
		Flavonoides	2
		polifenóis	1

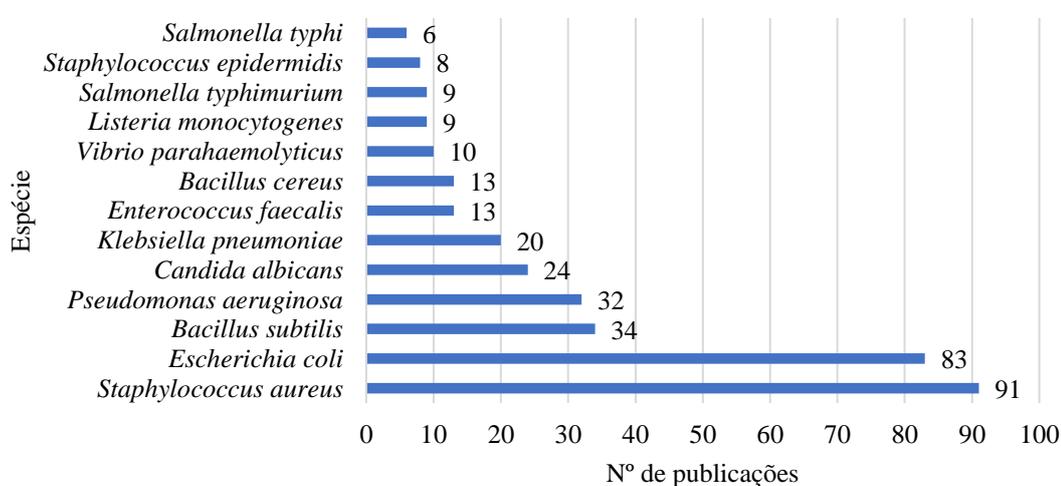
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

A capacidade de ácidos graxos agirem como bactericidas e bacteriostáticos é explorada em “*Study of the Physicochemical and Biological Properties of the Lipid Complex of Marine Microalgae Isolated from the Coastal Areas of the Eastern Water Area of the Baltic Sea*” (DOLGANYUK *et al.*, 2022) que, inclusive, indica possível aplicação futura de seus resultados para prevenir contaminação microbiana em rações e alimentos. De acordo com Dolganyuk *et al.* (2022), embora os ácidos graxos livres tenham seus mecanismos antibacterianos pouco entendidos, sabe-se que, com o aumento de duplas ligações em suas moléculas, há aumento de sua atividade e que os ácidos graxos livres provocam perturbações na cadeia transportadora de elétrons e na fosforilação oxidativa, interferindo na produção de energia das bactérias. Além disso, prejudicam a atividade enzimática, a absorção de nutrientes, e promovem a formação de produtos de peroxidação, auto oxidação, e até lise da célula bacteriana. Em seus resultados, a atividade antimicrobiana foi atribuída aos ácidos palmítico, α -linolênico (ALA) e oleico, e os extratos purificados tanto de *C. vulgaris* quanto de *A. platensis* inibiram o crescimento de bactérias Gram-positiva (*Bacillus pumilus*, *Leuconostoc mesenteroides* e *Pediococcus pentosaceus*) com concentração inibitória mínima (MIC) de 3.0 μ g/disco e da Gram-negativa *Escherichia coli* com MIC de 2.0 μ g/disco.

Seguindo no sentido de investigar antimicrobianos de microalgas, o artigo “*Antimicrobial effects of marine algal extracts and cyanobacterial pure compounds against five foodborne pathogens*” reitera a necessidade de avaliar a ação antimicrobiana contra os patógenos que mais afetam alimentos e causam doenças transmitidas por alimentos (DTA) (DUSSAULT *et al.*, 2016). Esse é mais um passo em direção à pesquisa aplicada de conservantes para a indústria de alimentos e bebidas. Em Dussault *et al.* (2016), além de extratos de macroalgas, foram isoladas substâncias das microalgas *Moorea producens*, *Moorea* sp. e de uma cianobactéria não identificada. Entre as substâncias das microalgas destacaram-se *isomalyngamide* A, *malyngamide* J, *antillatoxin* B e *malyngamide* C que apresentaram um MIC de 7,8 µg/mL, 63 µg/mL e as duas últimas 130 µg/mL contra *Bacillus cereus*. *Staphylococcus aureus* foi inibida pela *laxaphycin* A com MIC de 125 µg/mL, e promoveu moderada inibição da *Listeria monocytogenes*, assim como a *laxaphycin* B e a *antillatoxin* B, apresentando concentração inibitória mínima de 250 µg/mL.

A partir dos resultados de testes que verificaram a atividade antimicrobiana de microalgas e seus produtos nos artigos abrangidos na presente prospecção, foi possível salientar os principais microrganismos testados que sofreram ação antimicrobiana. As espécies incluídas em seis ou mais documentos encontram-se na Figura 30. É interessante observar que *S. aureus*, *E. coli*, *B. cereus*, *V. parahaemolyticus*, *L. monocytogenes*, *Salmonella typhimurium* e *Salmonella typhi* são microrganismos que podem causar doenças transmitidas por alimento.

Figura 30 – Microrganismos que sofreram ação antimicrobiana de compostos produzidos com uso de microalgas presentes em seis ou mais publicações.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Algumas espécies causadoras de doenças transmitidas por alimentos e bebidas não estiveram entre as mais frequentes no presente estudo. Entre elas, a *Shigella sonnei* sofreu ação antimicrobiana de extratos metanólicos de *Chlorella* sp. (UKM8) e *Scenedesmus* sp. (UKM9) (SHAIMA *et al.*, 2022); *Shigella* sp. de extratos metanólicos de *Chlorella vulgaris* e *Spirulina platensis* (ELSHOUNY *et al.*, 2017); *Shigella dysenteriae* de nanopartículas de prata produzidas com *Dictyosphaerium* sp. e *Pectinodesmus* sp. (KHALID *et al.*, 2017).

Além das causadoras de DTA, vale citar que foi encontrado um artigo em que extrato aquoso e pellets de proteína de *C. vulgaris* apresentaram atividade antimicrobiana contra *Lactobacillus plantarum* (ZIELINSKI *et al.*, 2020) e duas publicações com atividade antimicrobiana contra *Saccharomyces cerevisiae*. Em uma, a *S. cerevisiae* foi sensível a extrato metanólico e de acetato de etila da microalga *C. vulgaris* (SARKAR; AKHTAR; MANNAN, 2021); na outra, os responsáveis foram extrato aquoso e pellets de proteína de *C. vulgaris* (ZIELINSKI *et al.*, 2020). Esses dois microrganismos deterioram bebidas (PYNE *et al.*, 2022).

As substâncias descritas nessa subseção e na anterior, por meio de gráficos, texto e tabelas, caso seguras para consumo humano, podem ser consideradas como potenciais conservantes em alimentos e bebidas.

Nesse contexto, a busca por antioxidantes e antimicrobianos que não apresentem toxicidade relevante aos humanos é um tema que deve ser abordado pelas investigações futuras para o avanço de estudos focados na aplicação desses compostos como conservantes em alimentos e bebidas. Também é necessária a análise de compatibilidade destes potenciais conservantes com alimentos e bebidas, de forma que as propriedades físico-químicas e sensoriais de possíveis produtos sejam valorizadas pelo mercado consumidor (geral e/ou nichos de mercado). Além disso, a compatibilidade também pode ser alcançada pelo desenvolvimento de tecnologias que possibilitem aos agentes conservantes sua atuação no meio em que irão ser aplicados. No presente trabalho esse meio é complexo por envolver alimentos, bebidas e também suas embalagens, e leves modificações em suas características podem levar ao desprezo do consumidor.

Como será visto mais adiante, poucos são os estudos que realmente aplicam antioxidantes e antimicrobianos a partir de microalgas como conservantes e fazem uma análise comparativa do tempo de prateleira dos produtos criados. No entanto, a percepção do tema como promissora oportunidade de inovação vem ganhando relevância (BORTOLINI *et al.*, 2022; GARCIA-PEREZ *et al.*, 2023; SUN *et al.*, 2023).

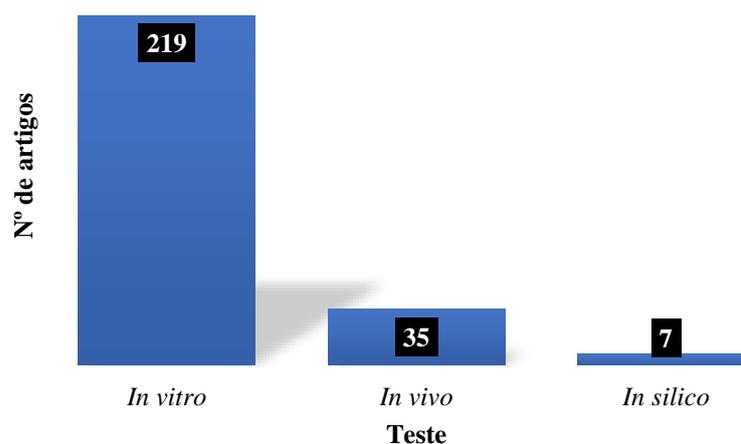
4.4.3 Teste

A fim de melhor compreender a forma como os estudos prospectados foram desenvolvidos, os artigos científicos foram classificados de acordo com a metodologia de pesquisa utilizada em suas investigações: *in vivo*, *in vitro* e *in silico*.

Vale ressaltar que muitos dos estudos *in vivo* analisados pelo presente trabalho tiveram uma posterior fase *in vitro* para definição de seus resultados em um produto. Um exemplo é o caso do estudo em que *Chlorella vulgaris* foi incluída na dieta de cabras em cujo leite foram realizados testes (TSIPLAKOU *et al.*, 2018). Um dos objetivos foi investigar os efeitos dessa adição na composição química, no perfil de ácidos graxos e no rendimento da produção do leite. Também foram analisados superóxido dismutase (SOD), glutathione redutase (GR) e lactoperoxidase (LPO) no leite das cabras, além de outras análises envolvendo o status antioxidante do leite e do animal.

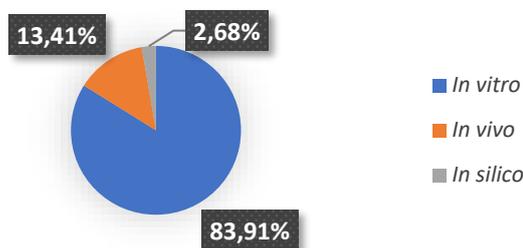
As metodologias *in vitro* foram dominantes entre as publicações. Essa forma de conduzir as investigações esteve em 219 dos 240 artigos que contêm a taxonomia da classe de nível Meso “Teste”. E enquanto em 35 publicações foram aplicados estudos *in vivo*, somente 7 conduziram pesquisas *in silico* (Figura 31).

Figura 31 - Quantidade de artigos presentes nas taxonomias da classe de nível Micro provenientes da taxonomia da classe de nível Meso “Teste”.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Figura 32 – Percentual de participação de cada taxonomia da classe de nível Micro proveniente da taxonomia da classe de nível Meso “Teste”.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Com 83,91% de incidência entre os métodos aplicados (Figura 32), os testes *in vitro* não se resumiram à investigação de atividades antioxidantes e antimicrobianas de extratos, encapsulados, filmes e nanopartículas (entre outros) isolados, que embora apontem a potencialidade de ação de compostos na área de conservantes alimentares, pouco revelam sobre seu comportamento nos alimentos e bebidas, meios bastante complexos. Isso não só pela elevada quantidade de ingredientes e substâncias envolvidas, como também pela decisiva avaliação sensorial.

Nesse sentido, publicações pertencentes à taxonomia da classe de nível Micro “*In vitro*” que performaram testes em alimentos (biscoitos, carnes de peixe, bovina e de frango, camarões, grãos, frutas, ovos, azeite, carne bovina, pães, pasta para espalhar em pães, purê de tomate, hambúrguer de peixe, sopa de brócolis em pó, molhos), em bebidas (*kefir*, *ayran*, bebidas fermentadas de soja, cerveja, leite de cabra e de vaca, iogurte, smoothies, suco de lichia) ou em revestimentos e embalagens em contato com alimentos (frutas, peixes, carne bovina) são de extrema relevância.

A percepção do reduzido conteúdo científico divulgado que aplica compostos promissores no âmbito do presente trabalho em produtos de interesse mostra que essa é uma inovação que ainda está em seu início. Tal argumento é reforçado tanto pelo elevado número de estudos *in vitro* que pavimentam o caminho para futuras aplicações, quanto pela baixa participação de estudos *in vivo* (13,62%) de expressivo caráter inovador.

Ao analisar o conteúdo das investigações conduzidas *in vivo*, percebe-se que abordam a adição de microalgas em dietas animais objetivando melhorias relativas à imunidade, composição bioquímica e crescimento do animal. Também buscam o aperfeiçoamento de características antioxidantes, antimicrobianas (no sangue, leite e ovos, por exemplo) e da qualidade dos produtos animais (carne de peixe, frango, bovina, camarões, ovo, leite e outros),

o que, inclusive, pode mantê-los mais estáveis durante o armazenamento, e até mesmo ampliar seus tempos de prateleira.

Em menor quantidade, houve estudos *in vivo* abordando o uso de microalgas como biofertilizantes e bioestimulantes para frutas, e testes de cosméticos e fármacos. Vale ainda ressaltar que na taxonomia “In vivo”, as análises sensoriais não foram consideradas na contagem, pois o intuito dessa taxonomia era contabilizar a metodologia utilizada no desenvolvimento de tecnologias. A análise sensorial será abordada pela taxonomia da classe de nível Micro “Análise de shelf life” da taxonomia da classe de nível Meso “Conservantes”.

As investigações *in silico*, que são trabalhadas em computadores e por meio de simulação computacional, foram características marcantes em somente sete publicações. Em “*Optimization of extraction process parameters of caffeic acid from microalgae by supercritical carbon dioxide green technology*”, foram utilizados o *Box-Behnken Design* (BBD) e *response surface methodology* (RSM) para otimizar as condições para extração de ácido cafeico utilizando dióxido de carbono supercrítico (PYNE; PARIA, 2022). O objetivo da otimização foi encontrar os parâmetros de pressão, temperatura e tempo para a extração de forma a obter a melhor combinação no conteúdo de ácido cafeico, conteúdo total de fenólicos, atividade antioxidante e poder redutor no extrato.

No referido estudo, a obtenção de um extrato rico em antioxidantes, em especial o ácido cafeico, visou à sua aplicação como conservante na indústria alimentícia. Nesse sentido, o extrato foi adicionado a suco de lichia como conservante, engarrafado em condições estéreis, e então formaram-se dois grupos: um de suco mantido em temperatura ambiente e outro refrigerado a 4°C.

Como forma de investigar a ação conservante do extrato, os sucos tratados e os controles (sem extrato) foram analisados nos dias 0, 7, 15, 30, 45 e 60 do armazenamento. Os resultados mostraram que as contagens microbianas nas amostras tratadas foram menores que nas não tratadas, principalmente nas refrigeradas, que até o dia 60 não apresentaram contagem de bactérias nem fungos.

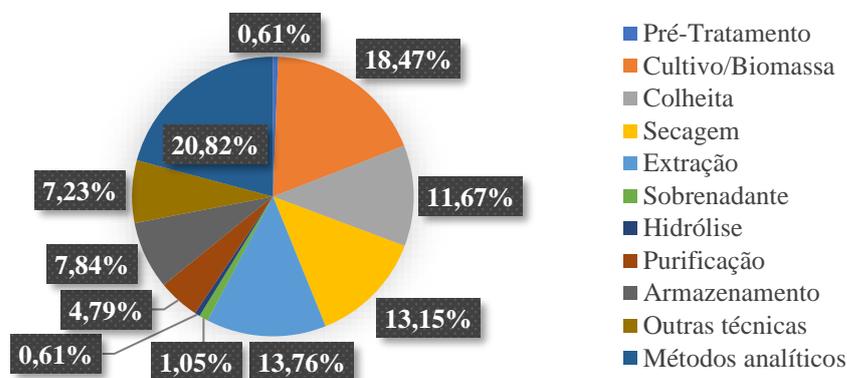
Além disso, através de análise sensorial que avaliou cor, aparência, sabor, odor e aceitabilidade geral da bebida, o tempo de prateleira foi estimado através do uso de escala hedônica de 9 pontos em que o score deveria ser 6 ou mais. Embora a avaliação tenha indicado o declínio nas qualidades das amostras ao longo do tempo, o suco tratado e refrigerado obteve melhor pontuação que o não tratado em 30 dias de armazenamento, e o suco tratado e em temperatura ambiente em 15.

Quanto aos outros artigos, vale comentar um que utilizou metodologia computacional baseada em *molecular docking* (docagem molecular) e simulações de dinâmica molecular em busca de metabólitos de microalgas que sejam inibidores de β -lactamase com interesse na indústria farmacêutica (PESTANA-NOBLES *et al.*, 2022). Outro artigo usou teste *in silico* para predição de bioatividade, permeabilidade, farmacocinética e perfil de toxicidade da C-ficocianina (VENUGOPAL *et al.*, 2020).

4.4.4 Método de obtenção do Agente

Como visto, o “Método de obtenção do agente” foi abordado em todos artigos analisados. Essa taxonomia da classe de nível Meso foi inicialmente dividida nas taxonomias da classe de nível Micro: “pré-tratamento”, “cultivo”, “colheita”, “secagem”, “extração”, “sobrenadante”, “hidrólise”, “purificação”, “armazenamento”, “outras técnicas” e “métodos analíticos para quantificação/qualificação”. Essas taxonomias ocuparam as parcelas de 0,61%; 18,47%; 11,67%; 13,15%; 13,76%; 1,05%; 0,61%; 4,79%; 7,84%; 7,23% e 20,82% da taxonomia da classe de nível Meso em pauta, respectivamente (Figura 33).

Figura 33 – Percentual de participação de cada taxonomia da classe de nível Micro proveniente da taxonomia da classe de nível Meso “Método de obtenção do agente”.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

A etapa de pré-tratamento, sinalizada em sete artigos (Figura 34), foi utilizada principalmente para a preparação de meios de cultivo formulados com águas de reuso, sendo exemplos a água proveniente de mercado de alimentos frescos (APANDI *et al.*, 2019), de esgoto (ELAKBAWY; SHANAB; SHALABY, 2021; KUMAR *et al.*, 2021) e de lixiviado pós-fermentação de usina que explora milho (ZIELINSKI *et al.*, 2020). Os processos observados

foram filtração para remover sólidos suspensos e carga microbiana; processamento do lixiviado seguido por destilação e condensação; e esterilização.

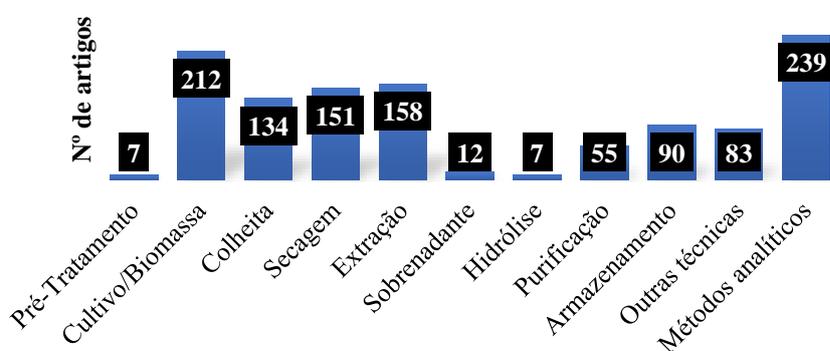
Uma vez que o custo envolvido no fornecimento de nutrientes às microalgas é um dos obstáculos que as distanciam da indústria, desenvolver meios a partir de águas de reuso é uma alternativa promissora, já discutida na literatura científica.

A taxonomia “Cultivo/Biomassa” incluiu as publicações que informaram ou o meio de cultivo empregado ou se a biomassa foi obtida pronta para uso por meio de compra ou doação recebida. Essa taxonomia da classe de nível Micro esteve ausente em 28 artigos que não disponibilizaram tais informações, expostas nos outros 212 (Figura 34). Desses 212, a biomassa foi obtida comercialmente ou por doação em 60.

A colheita, das microalgas ou do sobrenadante resultante do cultivo (quando utilizado), foi um processo evidenciado em 134 artigos. Majoritariamente, as microalgas foram colhidas por centrifugação, mas também por filtração e, em poucos casos, floculação. Reitera-se aqui que as publicações que não citaram a colheita podem, tanto não a ter realizado quanto, apesar da coleta, esta não ser comentada no documento, o que também pode ocorrer com as outras taxonomias presentes em “Método de obtenção do agente”.

Visto que esta é uma etapa de gargalo que atravanca a produção de microalga em maiores escalas, devido aos custos envolvidos, o foco em desenvolver novas tecnologias economicamente mais viáveis é um ponto urgente. Se resolvido, possibilitará um melhor avanço da pesquisa envolvendo microalgas em geral, visto que o interesse da indústria em se envolver tenderá a crescer.

Figura 34 – Quantidade de artigos presentes nas taxonomias da classe de nível Micro provenientes da taxonomia da classe de nível Meso “Método de obtenção do agente”.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Assim como a colheita, a secagem é um fator que eleva bastante o custo da produção de microalgas, dependendo do método aplicado, que deve ser condizente com os produtos que se desejam obter. Nesta taxonomia, foram consideradas as secagens da biomassa ou dos produtos gerados pelos estudos.

Entre os tipos mais citados de secagem, em suas 151 participações, estão: liofilização (de biomassa e extratos), secagem de biomassa à sombra e sob sol, uso de forno, *spray drying* (biomassa e nanopartículas, por exemplo), secador de bandeja, secadora e, em reduzida quantidade, câmaras de recirculação de ar, rotaevaporador para secagem durante extração e secagem sob fluxo de nitrogênio. Após secar, foi constatado que moagem ou trituração da biomassa previamente à extração é comum, facilitando-a.

Além da moagem da biomassa, a sonicação foi bastante utilizada durante etapas de extração. A obtenção de extratos de microalgas foi assunto em 158 artigos, e a escolha dos solventes e métodos de extração utilizados deu-se a partir da expectativa das características do composto desejado na fração extraída. Esses compostos, no contexto da presente prospecção, podem ser proteínas, lipídios, carboidratos, ácidos fenólicos, ácidos graxos, polissacarídeos, entre tantos outros conforme explorado pelas taxonomias da classe de nível subMicro provenientes da taxonomia da classe de nível Meso “Agente”.

Entre os solventes, os mais participativos foram metanol e água, seguidos por acetato de etila, hexano, dimetilsulfóxido (DMSO), clorofórmio, diclorometano e acetona. A saber, o DMSO além de ser usado para extrair compostos, também agiu bastante para a ressuspensão de extratos secos, assim como a água.

Contudo, não somente no interior das microalgas são encontradas espécies químicas de interesse. Um exemplo são substâncias poliméricas extracelulares, ou exopolissacarídeos (EPS), liberadas pelas microalgas no meio, como em “*Characterization of biodegradable films based on extracellular polymeric substances extracted from the thermophilic microalga Graesiella sp.*” (GONGI *et al.*, 2022). Esse artigo fabricou um filme biodegradável com base em EPS do sobrenadante da microalga *Graesiella sp.*

Dessa maneira, foi considerado plausível separar a taxonomia “Sobrenadante”, sendo observados 12 estudos que tratam da extração e uso do sobrenadante produzido em meios de microalgas. A hidrólise, por sua vez, foi conduzida em 7 publicações. O objetivo foi obter peptídeos a partir de proteínas, e investigar seu potencial antioxidante (SILVA *et al.*, 2021) e antimicrobiano (MONTALVO *et al.*, 2019; SADEGHI *et al.*, 2018; VERDUGO-GONZÁLEZ *et al.*, 2019).

A etapa de purificação, identificada em 55 artigos, é a que proporciona o refinamento dos produtos obtidos, excluindo impurezas e materiais indesejáveis do conteúdo final gerado e está associada à “Extração” e “Outras técnicas”. Entre os métodos encontrados na literatura selecionada estão os que utilizaram cromatografia em coluna (DARWESH *et al.*, 2022; DINH *et al.*, 2022; KUMAR *et al.*, 2020), cromatografia em camada delgada (TLC) (PYNE *et al.*, 2022; TOSHKOVA-YOTOVA *et al.*, 2022), precipitação e centrifugação (GALLÓN *et al.*, 2019; KUNTZLER *et al.*, 2018; VENUGOPAL *et al.*, 2020; VERDUGO-GONZÁLEZ *et al.*, 2019), diálise (GALLÓN *et al.*, 2019; VERDUGO-GONZÁLEZ *et al.*, 2019), cromatografia Líquida de Alta Eficiência de Fase Reversa (RP-HPLC) (DUSSAULT *et al.*, 2016), HPLC (DAVISON; BEWLEY, 2019; WALI *et al.*, 2020), cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS) (TOSHKOVA-YOTOVA *et al.*, 2022), cromatografia de troca iônica (JEON *et al.*, 2021; VENUGOPAL *et al.*, 2020), Cromatografia Líquida Acoplada à Espectrometria de Massas (LC-MS) (WALI *et al.*, 2020), HPLC-DAD de fase reversa (do inglês, *high performance liquid chromatography - photodiodearray detector*) (MARTÍNEZ *et al.*, 2019).

Para que a biomassa e outros produtos de microalgas possam ser utilizados em análises, testes, alimentos, bebidas, embalagens etc. eles precisam se manter estáveis ao longo do tempo. Um dos fatores que influenciam essa estabilidade é o tipo de armazenamento e suas condições. Nesse sentido, a taxonomia armazenamento foi criada, sendo abrangida por 90 publicações e observou-se a tendência de estocagem de materiais em ambientes refrigerados.

Os “Métodos analíticos para quantificação/qualificação” foram abordados em 239 artigos, ausente apenas em Pestana-Nobles *et al.* (2022) que, por não apresentar compostos em matéria para análise, foi desconsiderado, uma vez que foi um estudo completamente *in silico*. Com o propósito de identificar e/ou quantificar as espécies químicas resultantes de experimentos e pesquisas e suas características, inúmeros métodos foram utilizados. Devido à densidade de artigos dessa taxonomia, a seguir alguns exemplos são mostrados.

Entre métodos para analisar a atividade antioxidante estiveram presentes: DPPH, CUPRAC, FRAP, TBARS, ABTS, Fe²⁺ *chelating activity*, TEAC, ORAC, entre outros.

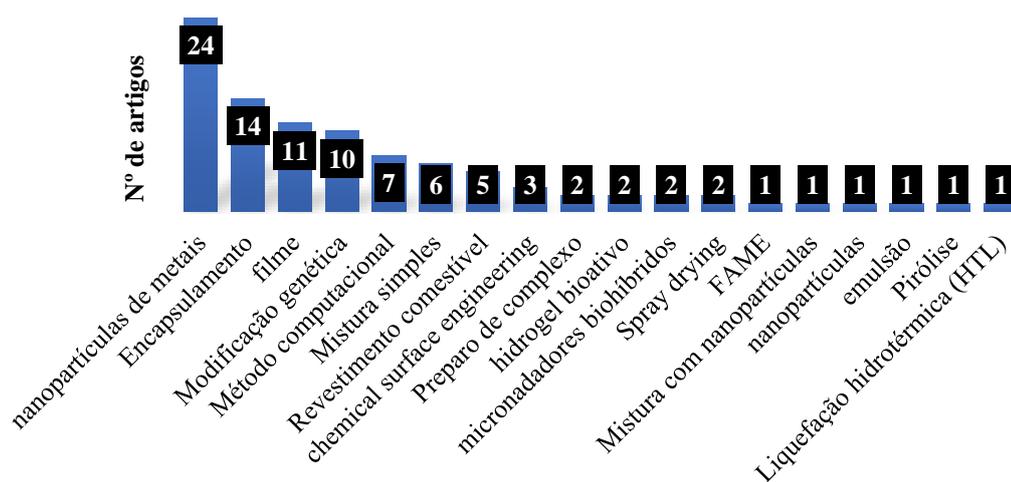
Para análise de atividade antimicrobiana: *microtiter plate dilution assay*, *micro-dilution antimicrobial assay*, técnica de diluição para análise de MIC, *disc diffusion assay*, *CFU assay*, *agar diffusion method*, *agar well diffusion assay*, *broth microdilution method*, *total plate count method*, *inhibition circle method*, *spread plate technique*.

Outros métodos envolveram: *Transmission electron microscopy* (TEM); *Energy dispersive X-ray spectroscopy* (EDS); *Fourier transformed infrared* (FTIR); *X-ray diffraction*

(XRD); *Bacterial cell viability analysis using high-content screening* (HCS); *Mass spectrophotometry analysis - MALDI-TOF in the Unit of Protein Chemistry and Mass Spectrometry* (Uniprote-MS); *Oxidation-index measurement; Measurement of total volatile basic nitrogen* (TVB-N) *index*; Rancimat; PDSC; H-NMR; GC;

A taxonomia “Outras técnicas” participou em 83 publicações e apresenta outras tecnologias, que incluem ou não a extração no processo, e têm como finalidade a obtenção de produtos com características relacionadas a conservantes, como atividade antimicrobiana e antioxidante.

Figura 35 – Outras tecnologias responsáveis pela geração de compostos com atividade antimicrobiana e/ou antioxidante utilizando microalgas e sua frequência nas publicações analisadas.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

A produção de nanopartículas de metais foi explorada por 24 artigos; os diferentes processos de encapsulamento, por 14 e a produção de filmes, por 11. Modificação genética e revestimento comestível participaram, respectivamente, em 10 e 5 publicações (Figura 35). Entre os estudos alocados em mistura simples, pode-se citar um em que biomassa de *Chlorella sp.* foi diluída em água destilada, em constante agitação, até completa homogeneização e aplicada com micro *spray* manual em mangas, formando um recobrimento que foi capaz de tornar o amadurecimento da fruta mais lento (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Um exemplo da produção de nanopartículas de metais encontra-se em “*Green production of microalgae-based silver chloride nanoparticles with antimicrobial activity against pathogenic bacteria*” (FERREIRA *et al.*, 2017). Nessa pesquisa, o sobrenadante do cultivo de *Chlorella vulgaris* foi incubado com nitrato de prata por 5 dias, protegido de luz, para redução dos íons de prata (Ag^+) e produção das nanopartículas de cloreto de prata. Uma vez geradas, as nanopartículas foram purificadas do meio por centrifugação, analisadas e como resultado apresentaram forte atividade antimicrobiana contra *S. aureus*. Os autores concluíram que essas nanopartículas poderiam ser aplicadas, entre outros apontamentos, como material componente de embalagens de alimentos, conferindo à embalagem qualidade antimicrobiana.

Outra técnica interessante foi o uso de ésteres metílicos de ácidos graxos (FAMEs) em marinada de frango para avaliar sua efetividade contra *L. monocytogenes* ao longo de 10 dias (BALAKRISHNAN *et al.*, 2021). A porção lipídica das microalgas *Chromulina* sp. e *Nannochloropsis* sp. foram extraídas e cada extrato passou por transesterificação mediada por ácido para gerar FAMEs. O produto derivado de *Nannochloropsis* sp. foi o mais efetivo, reduzindo drasticamente o crescimento da bactéria no frango inoculado. A contagem de *L. monocytogenes* inicial foi de $2,5 \times 10^5$ CFU/mL, e no último dia de experimento chegou a $0,2 \times 10^5$ CFU/mL na melhor amostra, enquanto no controle, não tratado, o valor foi de $3,3 \times 10^5$ CFU/mL. De acordo com os autores do artigo, o contato hidrofóbico de FAMEs na superfície da *L. monocytogenes* causa dano à membrana celular e vazamento de conteúdo intracelular.

4.4.5 Campo de aplicação

A presente prospecção tecnológica busca alternativas, apontamentos e possíveis caminhos que orientem e direcionem o desenvolvimento de conservantes naturais a partir de microalgas para o uso em bebidas não alcoólicas.

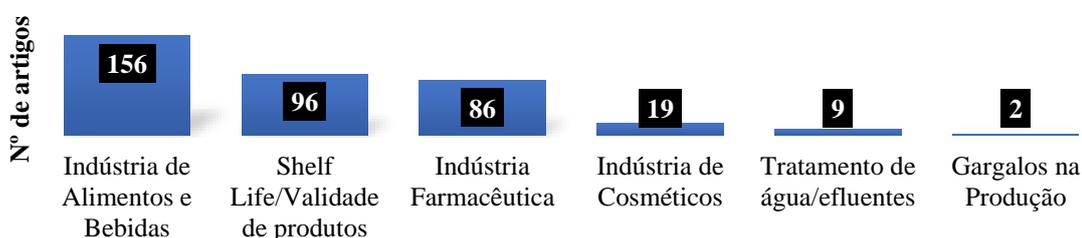
Nesse contexto, considerou-se avaliar se os estudos analisados apresentaram perspectivas para o uso dos conhecimentos neles desenvolvidos em áreas de interesse da indústria. Dessa forma, foram destacados quais seriam os possíveis campos de aplicação das tecnologias, o que foi feito de acordo com manifestações contidas nos artigos.

Assim, inicialmente a taxonomia da classe de nível Meso “Campo de aplicação” foi dividida nas taxonomias da classe de nível Micro “Indústria farmacêutica”, “Indústria de alimentos e bebidas”, “Indústria de cosméticos”, “Shelf life/validade de produtos”, “Gargalos na produção” e “Tratamento de água/efluentes”.

Como ilustradas nas Figuras 36 e 37, as taxonomias alvo do presente trabalho lideraram entre os campos com perspectivas de aplicação, resultado do critério de seleção dos

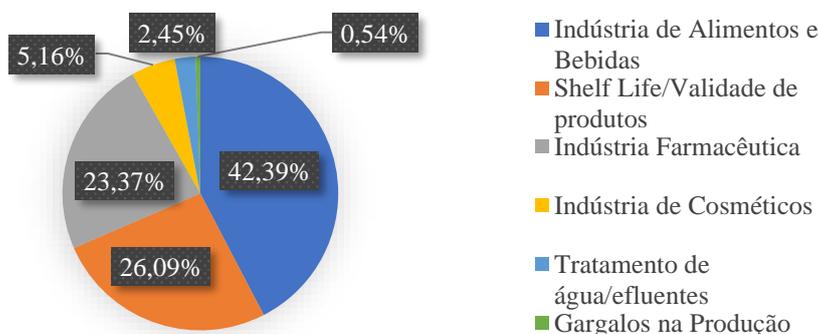
documentos. Em 156 artigos foi percebida a intenção de relação entre a pesquisa e a indústria de alimentos e bebidas, resultando numa participação de 42,39% entre as incidências da taxonomia da classe de nível Meso “Campo de aplicação”. E com participação em 96 (26,09%) artigos, a taxonomia “Shelf Life/Validade de produtos” incluiu os arquivos que, no mínimo, expuseram ou permitiram inferência de uma possibilidade do uso de microalgas como conservantes.

Figura 36 – Quantidade de artigos presentes nas taxonomias da classe de nível Micro provenientes da taxonomia da classe de nível Meso “Campo de aplicação”.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Figura 37 – Percentual de participação de cada taxonomia Micro proveniente da taxonomia da classe de nível Meso “Campo de aplicação”.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

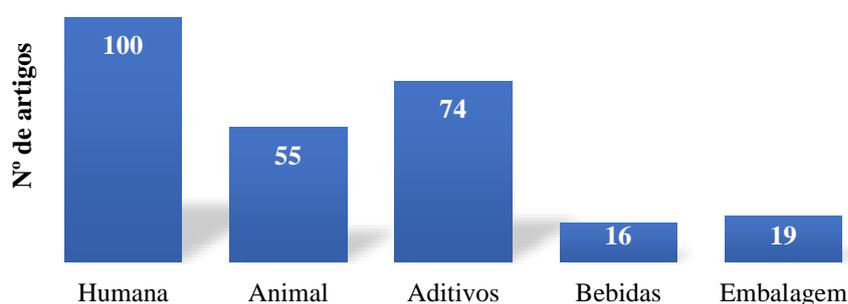
A intenção de uso na indústria farmacêutica foi identificada em 86 (23,37%) artigos e, aqui, destaca-se que a aplicação da indústria farmacêutica pode converter-se em benefícios para a de alimentos. Uma forma de enxergar essa relação é exposta através do uso de microalgas para obtenção de antimicrobianos (antibióticos, antifúngicos etc.) e compostos imunomodulatórios que otimizam a saúde de animais consumidos por humanos. Assim, a

atuação da indústria farmacêutica proporciona melhores condições durante a criação de animais que, por sua vez, tornam-se mais resistentes e capazes de atingir a qualidade exigida para consumo (GONZÁLEZ-MEZA *et al.*, 2022).

Quanto aos outros campos de aplicação, a indústria de cosméticos foi citada em 19 (5,16%) publicações, tratamento de água/efluentes em 9 (2,45%) e gargalos na produção apenas em 2 (0,54%). Em Dvoretzky *et al.* (2019) foi discutida a possibilidade de integrar o tratamento de águas de reuso ao cultivo de microalgas, tornando a produção de biomassa economicamente mais viável.

Ao analisar as intenções de aplicação indicadas em “Indústria de alimentos e bebidas” e seu público-alvo como humano, animal ou ambos, foi possível elaborar a Figura 38. Os números observados demonstram que nem todas publicações da taxonomia em pauta apresentaram informações que permitissem sua inclusão no detalhamento.

Figura 38 – Incidência das intenções de aplicação das tecnologias desenvolvidas focadas na indústria de alimentos e bebidas.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

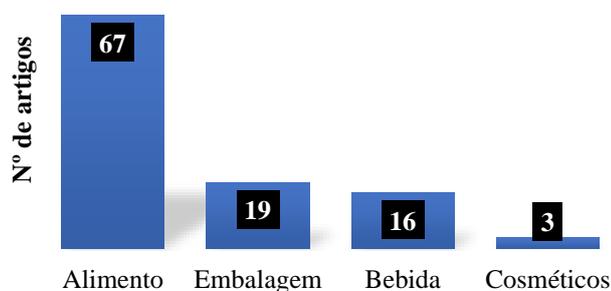
Ainda assim, foi possível extrair informações relevantes. Em 74 publicações houve direcionamento para uso como aditivo alimentar, em 19 para confecção de embalagens e somente 16 artigos dessa taxonomia envolveram bebidas. O público-alvo pretendido foi humano, na maioria das vezes, com 100 participações contra 55 de animais, sendo que 44 foram avaliadas como válidas em aplicações para ambos.

A partir dos dados apresentados é possível inferir que a ciência envolvendo microalgas em bebidas ainda está em seus primeiros passos, e a pesquisa por aditivos, que inclusive fornece base para o uso em bebidas, é mais intenso, fortalecendo o saber necessário para inovações futuras. Sobre as embalagens, observa-se, com otimismo, os caminhos tecnológicos rumo às alternativas verdes que vêm sendo desenvolvidas.

Por meio de procedimento similar, as perspectivas de aplicação em “*Shelf life/Validade de produtos*” foram examinadas. As publicações que trabalharam ou expuseram o potencial conservante de produtos obtidos com uso de microalgas foram direcionadas a alimentos em 67 documentos, o que representa 63,81% desse detalhamento (Figuras 39 e 40). Por outro lado, em cosméticos, essa questão esteve em três artigos.

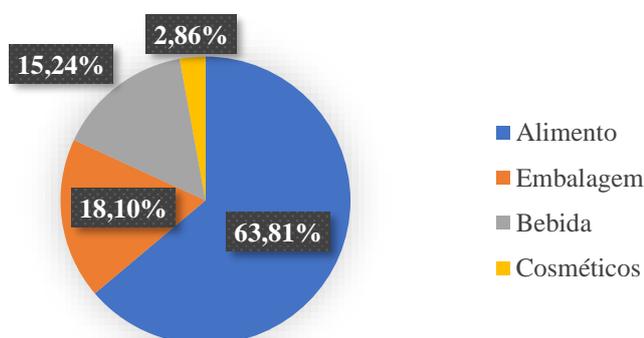
Assim como na “Indústria de alimentos e bebidas”, bebida e embalagem foram assunto em 16 e 19 arquivos (Figura 39). Isso significa que todos os artigos que trataram desses tópicos incluíram a discussão de alguma forma de ação conservante.

Figura 39 – Incidência das intenções de aplicação das tecnologias desenvolvidas focadas em *Shelf life/Validade de produtos*.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Figura 40 – Percentual de participação de cada taxonomia da classe de nível subMicro proveniente da taxonomia da classe de nível Micro “*Shelf life/Validade de produtos*”.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Sobre a perspectiva de aplicação como conservantes em bebidas, já foram citados uso de extrato de ácido cafeico de *S. platensis* como conservante em suco de lichia (PYNE; PARIA, 2022), a possibilidade de aumento do tempo de prateleira de leite de cabra cuja alimentação foi adida de microalga *C. vulgaris* (tal possibilidade é discutida por taxonomias da classe de nível Micro originadas da taxonomia da classe de nível Meso “Conservante”) (TSIPLAKOU *et al.*, 2018) e os efeitos benéficos das microalgas *C. crispus* e *C. vulgaris* à viabilidade de bactérias ácido-láticas em iogurte, proporcionando aumento do tempo de prateleira do produto (PEHLIVAN *et al.*, 2023).

Além desses, outros exemplos são:

- Adição de *A. platensis* à bebida kefir, aumentando sua atividade antioxidante (FRAP e DPPH) (ÜSTÜN-AYTEKIN; ÇOBAN; AKTAŞ, 2022);
- O desenvolvimento de bebida fermentada de soja utilizando *C. vulgaris* como substrato para desenvolvimento e fermentação de *Lactobacillus fermentum* e *Lactobacillus rhamnosus*. Os resultados demonstraram que o pó de microalga forneceu um meio favorável para o crescimento das bactérias ácido-láticas (LAB) (CSATLOS *et al.*, 2023);
- O desenvolvimento de bebida fermentada de soja utilizando *C. vulgaris* e *Levilactobacillus brevis* LOCK 0944. Ao final de 30 dias de armazenamento a 4°C, a taxa de sobrevivência de *Levilactobacillus brevis* LOCK 0944 foi maior na bebida com microalga que no controle, sem microalga (ŚCIESZKA; GORZKIEWICZ; KLEWICKA, 2021).
- A fabricação de cerveja que teve como ingrediente *Tetraselmis chui*. Devido à presença de antioxidantes no produto final, os autores indicam que seria interessante examinar possíveis benefícios para a validade da cerveja (CARNOVALE *et al.*, 2022).
- A inserção de *A. platensis* em alimentação de vacas. Nesse estudo foi levantada a hipótese de que antioxidantes, como compostos fenólicos, se encontrariam em maior quantidade no leite de vacas alimentadas com microalga, resultando numa maior capacidade antioxidante medida no leite. Os resultados da pesquisa refutaram a hipótese, o que não descarta a possibilidade com outras espécies de microalgas e/ou variações no experimento por meio de novos estudos (MANZOCCHI *et al.*, 2020).

- A análise de *shelf life* (tempo de prateleira) de *smoothie* de espinafre, maçã verde e pepino que receberam *C. vulgaris* ou *D. salina* (2,5% w/v) como ingredientes, e o controle foi a bebida sem microalga. As bebidas foram mantidas refrigeradas a 5°C por 28 dias, e o artigo apresenta resultados dos dias 0, 7, 14, 21 e 28 do experimento por meio de análises microbiológicas, físico-químicas (pH, acidez titulável e teor de sólidos solúveis), conteúdo fenólico total, atividade antioxidante (CUPRAC) e de análise sensorial, sendo a última realizada nos dias 0 e 28. Os resultados da análise microbiológica revelaram que, no início do experimento, as amostras testadas apresentaram menores quantidades de microrganismos (mesófilos, psicrófilos e leveduras e bolores) em relação ao controle; mas, durante o armazenamento, a taxa de crescimento dos contaminantes não variou de forma significativa entre amostras testadas e controle. Além disso, os smoothies com microalga se mantiveram dentro do nível microbiológico permitido para consumo. A análise sensorial avaliou cor, sabor, aroma, textura, separação de fase, mau odor, mau sabor e qualidade geral. Embora no dia 0 o controle tenha apresentado melhores avaliações sensoriais, no dia 28 a *D. salina* foi a melhor avaliada (SAHIN; ÖZTÜRK, 2021).

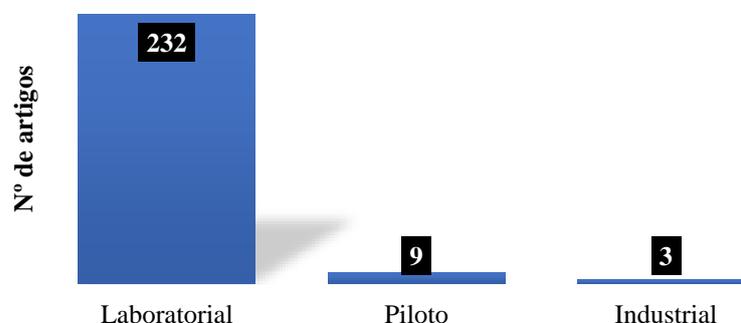
Vale destacar que, por meio da percepção da produção de artigos concentrar-se em alimentos sólidos, é provável que a aplicação de microalgas na produção de conservantes ocorrerá, primeiramente, em alimentos, depois em bebidas, tanto como aditivo no alimento, quanto em embalagens para alimentos.

4.4.6 Escalabilidade

As taxonomias da classe de nível Micro criadas a partir da taxonomia da classe de nível Meso “Escalabilidade” foram “Escala laboratorial”, “Escala piloto” e “Escala industrial”. Ao avaliar o nível de maturidade de uma tecnologia utilizando a TRL/MRL (do inglês, *Technology Readiness Levels e Manufacturing Readiness Levels*), este é um quesito fundamental.

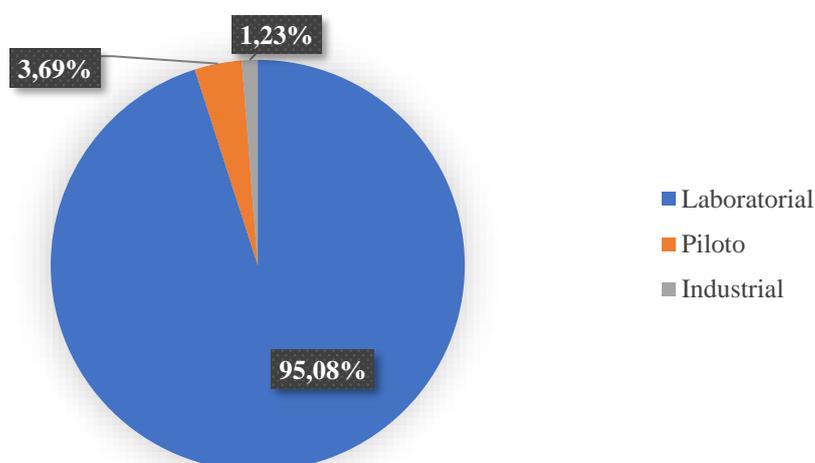
Os experimentos e processos efetuados pelos artigos que compõem a presente prospecção tecnológica foram conduzidos, quase que exclusivamente, em escala laboratorial. Essa taxonomia esteve presente em 232 artigos científicos, representando 95,08% das participações da taxonomia da classe de nível Meso “Escalabilidade”, seguida pela escala piloto, que foi utilizada em 9 (3,69%) pesquisas, enquanto somente em 3 (1,23%) alguma etapa foi desenvolvida em escala industrial (Figuras 41 e 42).

Figura 41 – Quantidade de artigos presentes nas taxonomias da classe de nível Micro provenientes da taxonomia da classe de nível Meso “Escalabilidade”.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Figura 42 – Percentual de participação de cada taxonomia da classe de nível Micro proveniente da taxonomia da classe de nível Meso “Escalabilidade”.



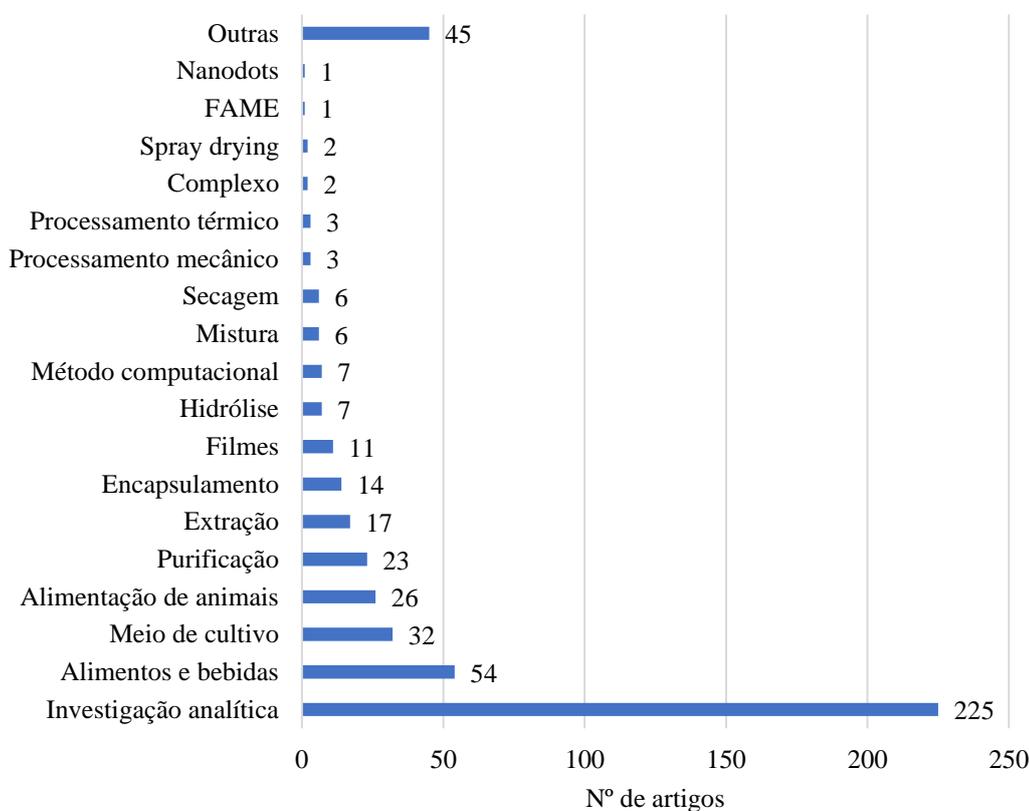
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

A forte predominância da escala laboratorial indica que, embora muitos estudos apontem um campo de aplicação para sua tecnologia e informação trabalhadas, poucos são os que passaram das fases iniciais de seus desenvolvimentos. Mediante o exposto, até este ponto da prospecção, torna-se claro que ainda estão sendo construídas as bases, técnicas e teóricas, que sustentarão as aplicações como conservantes no futuro.

4.4.7 Tecnologia de produção/Inovação

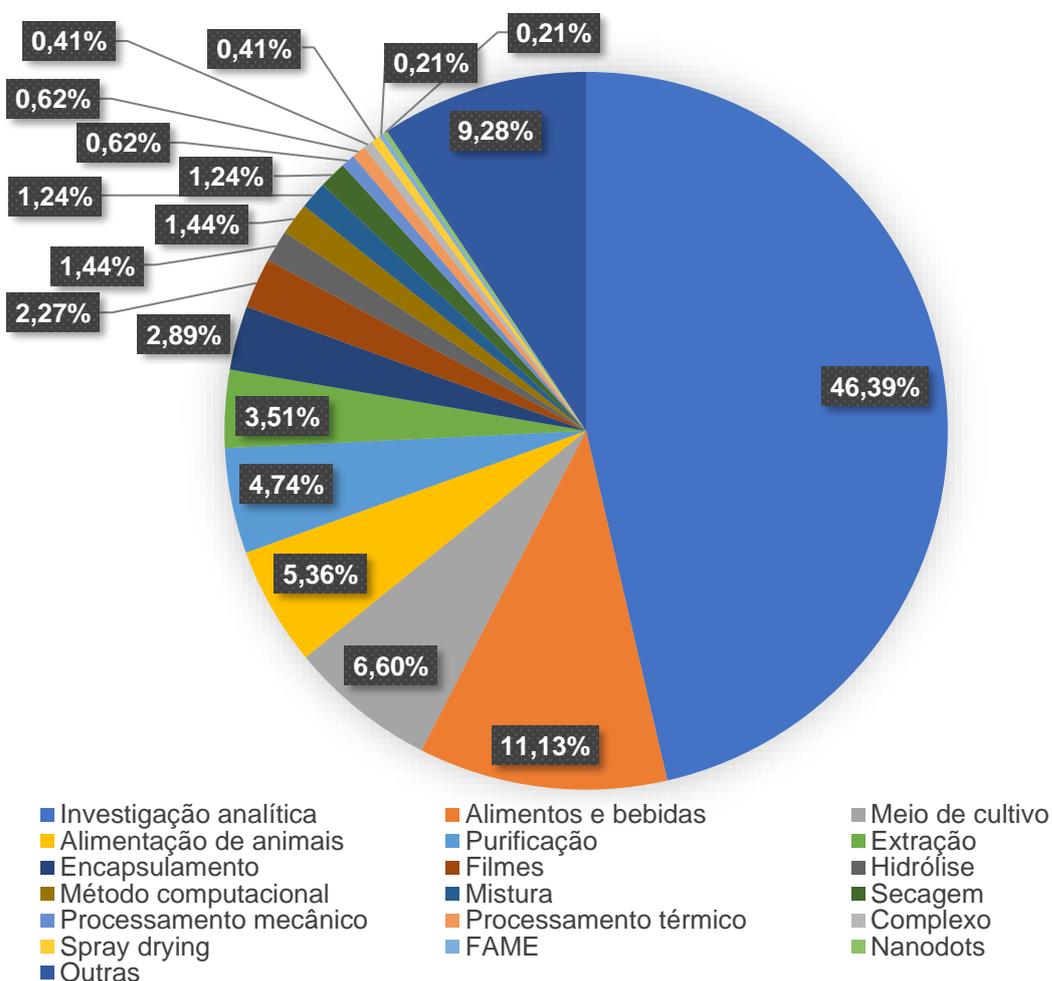
As tecnologias e inovações que se destacaram nos processos performados pelas pesquisas foram evidenciadas pelo aprofundamento da taxonomia da classe de nível Meso “Tecnologia de produção/Inovação”. As taxonomias provenientes de “Tecnologia de produção/Inovação”, seguidas de suas respectivas quantidades de artigos envolvidas e participações percentuais, entre parênteses, foram: “Extração” (17; 3,51%), “Hidrólise de proteínas” (7; 1,44%), “Meio de cultivo” (32; 6,60%), “Alimentação de animais” (26; 5,36%), “Alimentos e bebidas” (54; 11,13%), “Mistura” (6; 1,24%), “FAME” (1; 0,21%), “Complexo” (2; 0,41%), “Spray drying” (2; 0,41%), “Processamento mecânico” (3; 0,62%), “Processamento térmico” (3; 0,62%), “Nanodots” (1; 0,21%), “Filmes” (11; 2,27%), “Secagem” (6; 1,24%), “Purificação” (23; 4,74%), “Investigação analítica” (225; 46,39%), “Encapsulamento” (14; 2,89%), “Método computacional” (7; 1,44%) e “Outras” (45; 9,28%) (Figuras 43 e 44).

Figura 43 – Quantidade de artigos presentes nas taxonomias da classe de nível Micro provenientes da taxonomia da classe de nível Meso “Tecnologia de produção/Inovação”.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Figura 44 – Percentual de participação de cada taxonomia da classe de nível Micro proveniente da taxonomia da classe de nível Meso “Tecnologia de produção/Inovação”.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

A taxonomia “Investigação analítica” incluiu estudos que buscaram melhorias e adequações em seus produtos através da otimização e variação dos parâmetros de seus processos. Nesse caso, não são incluídas alterações envolvendo o cultivo de microalgas, mas sim dos outros processos de produção envolvidos nas pesquisas. Nos artigos em que há tais variações, testes e otimizações, a confirmação dos resultados é obtida por meio de métodos analíticos para quantificação/qualificação. Resumindo, nessa taxonomia estão os artigos que, por meio de investigação da variação de parâmetros em seu processo produtivo, buscaram condições ótimas e as confirmaram utilizando métodos analíticos e, por isso, o nome da taxonomia.

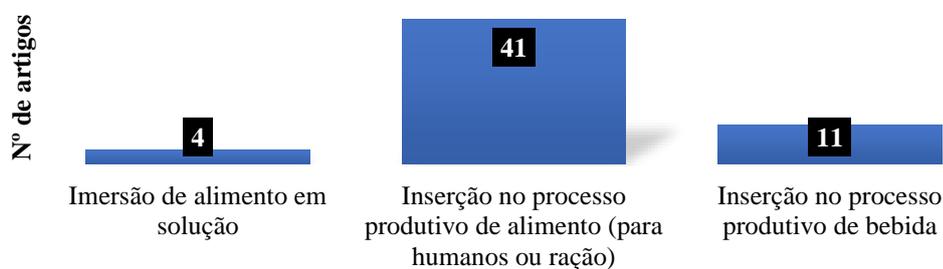
Entre as investigações mais observadas estão as buscas pelas melhores concentrações de microalgas incorporadas aos produtos. Com esse objetivo, em kefir foram testadas as adições

de 0,05%, 0,1%, 0,5%, 1% e 2% (w/v) de *A. platensis*, e as duas concentrações mais baixas foram as melhores avaliadas sensorialmente por painel (ÜSTÜN-AYTEKIN; ÇOBAN; AKTAŞ, 2022); com o objetivo de produzir embalagens para alimentos ativos e sustentáveis à base de amido de batata acrescidas de biomassa de microalga, foram examinadas as concentrações de biomassa tanto de *Emiliana huxleyi* quanto de *Chrysolita pseudoroscoffensis*, em relação ao amido, de 2,5; 5; 10 e 20 % w/w, o que promoveu alterações nas propriedades do filme além da exibição de atividade antioxidante (MOREIRA *et al.*, 2023); Teste de diferentes concentrações de microalga na composição de rações (EL-HAWY *et al.*, 2022; FERREIRA *et al.*, 2023) e biscoitos do tipo *cookie* e *crackers* de trigo (BATISTA *et al.*, 2017, 2019).

Ademais, houve objetivos como otimização no processo de produção de nanopartículas (HAMIDA *et al.*, 2022), investigar se a melhor forma de incrementar biomassa de *Spirulina* a iogurte liofilizado é antes da fermentação, com subsequente liofilização ou após a liofilização (YAMAGUCHI *et al.*, 2019), entre outros.

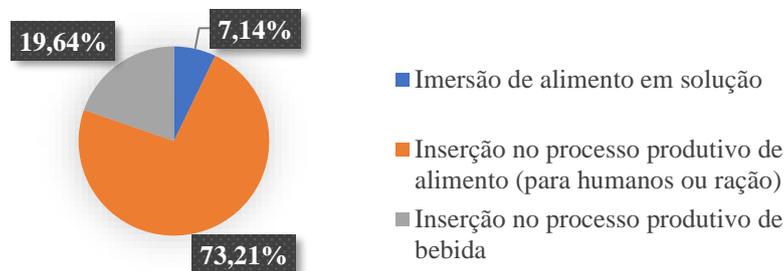
Em “Alimentos e bebidas” foram exploradas as publicações em que as microalgas contribuíram através de sua inserção no processo produtivo de alimentos, rações e bebidas. Em 4 (7,14%) investigações, houve a imersão do alimento em solução; em 41 (73,21%) as microalgas foram incluídas no processo produtivo de alimentos ou rações e em 11 (19,64%), no de bebidas (Figuras 45 e 46).

Figura 45 – Quantidade de artigos envolvidos nas ramificações da taxonomia da classe de nível subMicro “Alimentos e bebidas” presente na taxonomia da classe de nível Micro “Tecnologia de produção/Inovação”.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Figura 46 – Participação percentual das ramificações da taxonomia da classe de nível subMicro “Alimentos e bebidas” presente na taxonomia da classe de nível Micro “Tecnologia de produção/Inovação”.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

A grande maioria dos experimentos indicando qualidade conservante, promovida por microalgas e seus produtos em bebidas, foi abordada ao fim da discussão da taxonomia “Campo de aplicação”. Outro exemplo, que conecta a taxonomia “Alimentos e bebidas” a “Nanodots”, é o artigo “*Green microalgae derived organic nanodots used as food preservative*” (PYNE *et al.*, 2022). Esse estudo iniciou sua minuciosa pesquisa cultivando bactérias que causam intoxicação alimentar, realizando extração por fluido supercrítico (dióxido de carbono) da *S. platensis* var. *lonor*. O extrato foi submetido à cromatografia em camada delgada para fracionar e isolar os compostos com atividade antimicrobiana, que foram dissolvidos em acetato de etila no final da separação (essa etapa relevante e em evidência permite a inclusão dessa publicação na taxonomia da classe de nível Micro “Purificação”). Os compostos isolados foram caracterizados de acordo com seus grupos funcionais por Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), sua análise estrutural ocorreu por microscópio eletrônico de transmissão (TEM) e ressonância magnética nuclear (NMR), e também ocorreram testes para atividade antimicrobiana em placas de ágar contendo meio LB. Através da TEM, o tamanho médio dos *nanodots* orgânicos foi conferido entre 40 e 45 nm e os testes antimicrobianos revelaram concentração mínima inibitória (MIC) de 1 mg/ml para *E. coli* e *V. cholerae*, e 500 mg/l para *S. aureus* e *B. subtilis* (PYNE *et al.*, 2022).

Esse estudo também executou uma estimativa do tempo de prateleira de suco de lichia conservado com os compostos purificados. Ocorreu a divisão entre amostras mantidas em temperatura ambiente e refrigeradas a 4°C com avaliações nos dias 0, 7, 15, 30, 45 e 60 do experimento. A investigação no suco de lichia incluiu contagem total de bactérias, contagem total de fungos, teor de sólidos solúveis e sólidos suspensos, pH, acidez titulável e análise sensorial (PYNE *et al.*, 2022).

Os resultados de contagem de bactérias e de fungos demonstraram que sucos tratados e refrigerados não apresentaram contagem nos 60 dias de experimento, enquanto o controle refrigerado apresentou $0,5 \times 10^5$ CFU/ml no dia 15 para bactérias e $0,1 \times 10^5$ CFU/ml no dia 30 para fungos. À temperatura ambiente, o dia 0 não apresentou contaminação e no dia 7 já havia contagens para fungos e bactérias no controle, enquanto o suco tratado não apresentou contaminação por bactérias até o dia 15; no dia 30 foram identificados $0,6 \times 10^5$ CFU/ml, e até o dia 30 não foram contados fungos, que apareceram na contagem do dia 45 com $0,1 \times 10^5$ CFU/ml. Quanto à análise sensorial, o documento informa que, embora as qualidades analisadas do suco de lichia refrigerado diminuíssem de forma significativa durante armazenamento, as amostras tratadas obtiveram melhores avaliações. Por fim, os autores comentam que a tecnologia de *nanodots* orgânicos é de baixo custo, se comparada a conservantes comerciais, e pode se tornar atraente do ponto de vista econômico, ao se considerar o custo-benefício do produto (PYNE *et al.*, 2022).

Os artigos nos quais testes *in vivo* ocorreram com adição de microalgas (e/ou seus produtos) na dieta animal foram considerados na taxonomia “Alimentação de animais”. A ocorrência de otimizações de parâmetros (tipo, intensidade e período de iluminação, pH, temperatura, adição de dióxido de carbono, tempo de cultivo, diluição de fontes alternativas) e composições do meio de cultivo de microalgas qualificaram as publicações em “Meios de cultivo”.

No estudo desenvolvido por Montalvo *et al.* (2019), são testadas diferentes diluições (10, 30 e 50%) do meio utilizado (vinhoto de cana-de-açúcar) para otimizar a produção de biomassa de *Arthrospira máxima* OF15. A melhor diluição foi de 30% e obteve produtividade comparável a alcançada com meio Zarrouk. Uma vez otimizada, a produção de biomassa se deu em escala piloto em biorreator do tipo *raceway*, e posteriormente passou por extração de proteínas e processos de hidrólise enzimática do extrato envolvendo subtilisina A, pepsina ou ambas, dando origem a três frações contendo peptídeos.

A atividade quelante de Fe^{2+} pela fração de peptídeos hidrolisada com subtilisina A indicou possibilidade de uso como conservante de alimentos ricos em lipídios. A fração obtida por hidrólise com pepsina apresentou ação bactericida contra *B. subtilis*, *S. aureus*, *S. typhi* e *E. coli* com concentração bactericida mínima (MBC) de 0,63 mg/ml para as duas primeiras, e 1,25 mg/ml para as duas últimas. Nesse contexto, esse artigo também foi classificado na taxonomia “Hidrólise”.

A extração se mostrou como um processo inovador ao utilizar novos compostos, misturas ou fluido supercrítico para o procedimento. Também foi considerado um destaque o

método PFE (do inglês, *pressurized fluid extraction*, ou extração com fluido pressurizado). Em Ambrico *et al.* (2020), o extrato de *D. salina* com maior conteúdo de β -caroteno, obtido com hexano, foi aplicado em plantas jovens de tomate e no tomate fruta, demonstrando eficácia contra a ação de *Pseudomonas syringae* pv. tomato and *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* (AMBRICO *et al.*, 2020). Ainda que não seja um uso como conservante, foi considerada relevante a alternativa para proteção do tomate, dando margem à ideia de uso de procedimento similar para conferir melhor qualidade durante cultivo de frutas direcionadas à produção de sucos. Essa qualidade passaria para a fruta e, sendo um processo alternativo aos agrotóxicos, por ser mais “verde”, pode atrair nichos de mercado e consequentemente da indústria de bebidas.

As técnicas de encapsulamento são exploradas na literatura contida no presente mapeamento tecnológico, com perspectivas promissoras de aplicação na área de desenvolvimento de embalagens ativas e, também, como forma de tornar as partículas encapsuladas mais resistentes ao calor, luz e oxigênio durante processos produtivos da indústria de alimentos e armazenamento.

Na presente prospecção, a confecção de encapsulados foi realizada por diversos métodos. Um deles foi a eletrofiação (*electrospinning*) no preparo de nanofibras eletrofiadas (*electrospun nanofibers*) e fibras eletrofiadas ultrafinas (do inglês, *electrospun ultrafine fibers*). Em dois artigos ocorreu a técnica convencional, e em outros 2 foi performada a eletrofiação sem uso de agulha (do inglês, *free surface* ou *needleless electrospinning*).

Na publicação de Kuntzler *et al.* (2018), polihidroxibutirato (PHB) e compostos fenólicos são extraídos de *Spirulina sp.* LEB18 e compõem solução polimérica utilizada na eletrofiação para produção de nanofibras. Os compostos fenólicos continham ácidos gálico e cafeico em maiores proporções. As nanofibras apresentaram caráter hidrofóbico (importante para embalagem proteger produtos da umidade) e atividade contra *S. aureus* ATCC 25923, além de resistência à tração, alongamento e temperatura de degradação compatíveis com aplicação em embalagens de alimentos. Kuntzler *et al.* (2018) conclui com a possibilidade do uso das nanofibras na produção de embalagens ativas (atividade antimicrobiana) capazes de aumentar o tempo de prateleira dos produtos.

Outro estudo apresentou o encapsulamento de ficocianina em fibras ultrafinas por eletrofiação sem uso de agulha (MOREIRA *et al.*, 2019). Como resultado, a ficocianina fica melhor protegida contra agentes deteriorantes (luz, temperatura, oxigênio) e tende a ser liberada das fibras de forma controlada nos alimentos, sendo indicada a possibilidade de uso das fibras no desenvolvimento de embalagens ativas antioxidantes, segundo os autores do artigo.

Outras técnicas, participantes em um artigo, foram a extrusão vibracional, gelificação iônica, *spray drying* e microemulsão. Além dessas, em duas publicações foi executada a eletropulverização (*electrospraying*).

Os filmes fabricados pelos estudos contidos no presente mapeamento continham em sua composição: amido e biomassa ou extrato de microalgas; EPS; biomassa de microalga, amido termoplástico e PAH (do inglês, Polyallylamine hydrochloride ou poli (hidroclorato de alilamina) em português); e também há os feitos à base de gelatina e *Spirulina platensis*, além de outras composições. Em cinco artigos foram desenvolvidos filmes com o objetivo de servirem como revestimento comestível em, por exemplo, frutas como o umbu (TEODOSIO *et al.*, 2021), aumentando seu tempo de prateleira e retardando o amadurecimento, e filé de bezerro, promovendo melhor qualidade da carne durante estoque, inclusive com menor carga microbiana das amostras tratadas (SHAFIEI; MOSTAGHIM, 2022).

O principal objetivo observado nos artigos que desenvolveram filmes foi sua aplicação na conservação de alimentos através de embalagens ativas (atividades antimicrobianas e/ou antioxidantes). Nesse contexto, Moreira *et al.* (2023) discute as propriedades dos filmes produzidos, ressaltando a importância de aspectos como: temperatura em que o filme inicia sua degradação ser compatível com as alcançadas em processos envolvendo embalagens; o módulo de Young, que mede a rigidez do material; a resistência à tração que, quanto menor, menos resistente o filme; o alongamento relacionado à extensibilidade do filme; o ângulo de contato com a água como indicador de material hidrofílico ou hidrofóbico, sendo o último de interesse em embalagens para evitar absorção de umidade; a solubilidade em água, que pode levar à perda de peso do filme, que além de se desfazer, pode se misturar ao meio e ao produto; a permeabilidade ao vapor de água, de forma que filmes devem apresentar uma barreira que impede modificações no produto; e atividade antioxidante, que pode ser obtida pela presença de constituintes de microalgas que possuem tal característica.

A categoria “Outras” envolveu inserção no processo produtivo de cosméticos em uma publicação; preparo de peptídeos sintéticos em 1; emulsão, 1; nanopartículas de metais, 24; nanopartículas, 1; hidrogel bioativo, 2; *chemical surface engineering* em 3; pirólise, 1; liquefação hidrotérmica (HTL), 1; micronadadores biohíbridos, 2; e modificação genética, 10.

4.4.8 Conservante

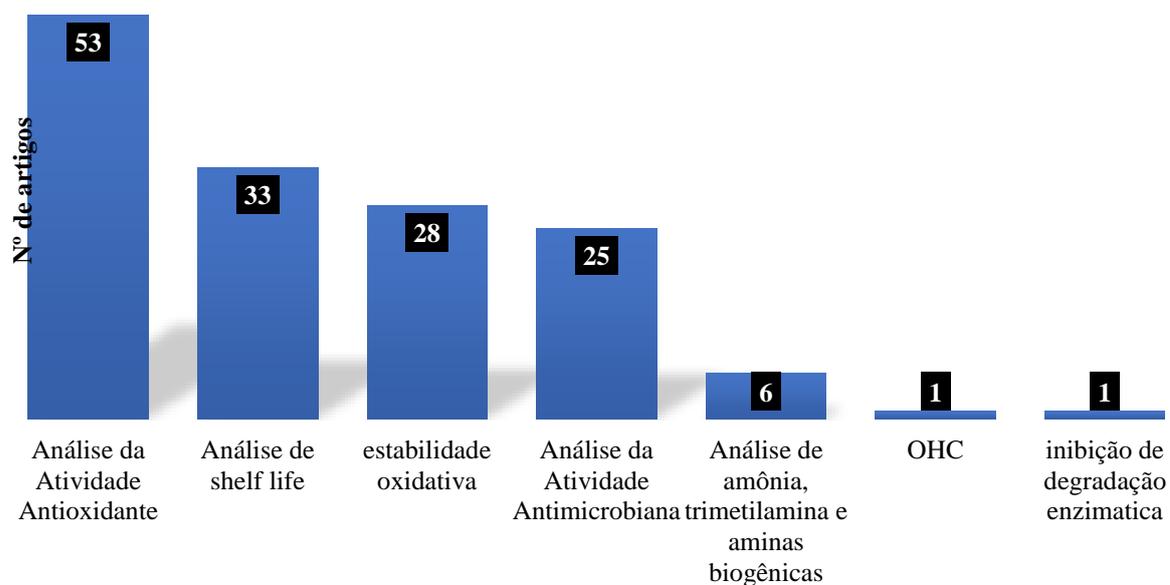
A taxonomia da classe de nível Meso “Conservante” abrigou as taxonomias “Análise de shelf life”, “Análise da atividade antioxidante”, “Análise da atividade antimicrobiana”, “Análise de amônia, trimetilamina e aminas biogênicas”, “Capacidade de absorção de óleo”

(OHC, do inglês *Oil Holding Capacity*), “Inibição de degradação enzimática” e “Estabilidade oxidativa”.

Por meio da divisão dos 83 documentos abarcados por essa taxonomia da classe de nível Meso, 53 (36,05%) artigos apresentaram a análise da atividade antioxidante observada, 33 (22,45%) analisaram o tempo de prateleira de seus produtos desenvolvidos e 28 (19,05%) investigaram ou citaram o potencial de compostos que mantenham a estabilidade oxidativa em alimentos e bebidas. Inclusive, foi discutida a possibilidade de embalagens ativas que, através de componentes antioxidantes de microalgas, incorporados no seu processo produtivo, colaborem com a manutenção de tal estabilidade durante armazenamento de produtos que, de outra forma, oxidariam mais facilmente (Figuras 47 e 48).

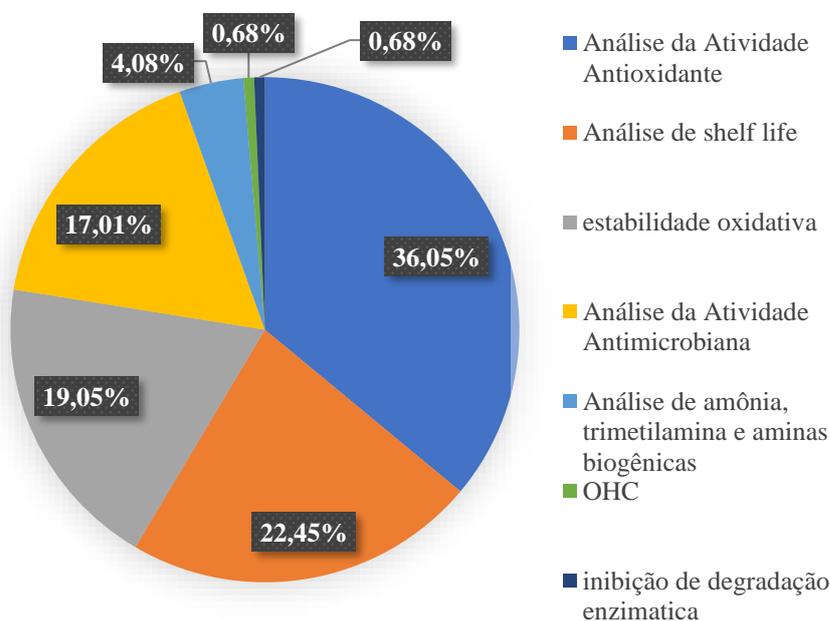
Prosseguindo, 25 (17,01%) publicações da taxonomia da classe de nível Meso “Conservante” trouxeram análise da atividade antimicrobiana, 6 (4,08%) analisaram amônia, trimetilamina e aminas biogênicas, em 1 (0,68%) artigo foi discutida a capacidade de absorção de óleo, e o produto desenvolvido nessa pesquisa foi hambúrguer de peixe. Por fim, apenas 1 (0,68%) artigo foi incluído na taxonomia “Inibição de degradação enzimática”.

Figura 47 – Quantidade de artigos presentes nas taxonomias da classe de nível Micro provenientes da taxonomia da classe de nível Meso “Conservante”.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Figura 48 – Percentual de participação de cada taxonomia da classe de nível Micro proveniente da taxonomia da classe de nível Meso “Conservante”.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados (coletados, tratados e analisados) da base *Scopus* pertencentes ao período definido nessa metodologia (2016-2023).

Em análises de *shelf life*, além da importância da contagem de bactérias e fungos e da variação das propriedades físico-químicas da bebida, a análise sensorial é um fator extremamente relevante para avaliar as propriedades organolépticas de um produto e melhor compreender sua aceitabilidade pelo mercado consumidor.

A produção de ayran contendo *C. vulgaris* e *C. crispus* realizada em Pehlivan *et al.* (2023), já discutida anteriormente, passou por análises físico-químicas nos dias 1, 7, 14 e 21 do experimento que avaliou o tempo de prateleira da bebida, e a análise sensorial ocorreu no dia 7. Nesse estudo foi discutida, entre outros parâmetros, a importância da viscosidade em bebidas lácteas fermentadas, tendo efeito no tempo de prateleira do ayran ao avaliar sua estabilidade. No caso dessa bebida, uma maior viscosidade é preferida pela textura sentida na boca ao consumir o produto e o elevado conteúdo proteico da *C. vulgaris* pode ter sido responsável por novas interações proteína-proteína que acarretam maior viscosidade (PEHLIVAN *et al.*, 2023).

Nessa publicação, também é alertada a influência negativa da separação de fases no ayran, com o soro do leite deslocado para o topo da bebida, o que piorou com a adição de microalgas e pode levar à rejeição pelo consumidor. Foi indicado, então, o uso de aditivos estabilizadores para evitar o problema.

A taxonomia “Inibição de degradação enzimática” foi criada para o artigo “*Inhibition of Enzymatic and Oxidative Processes by Phenolic Extracts from Spirulina sp. and Nannochloropsis sp.*”, de 2018. Essa pesquisa investigou a capacidade de extratos contendo compostos fenólicos de *Nannochloropsis sp.* e *Spirulina sp.* inibirem atividades enzimáticas e de radicais livres para retardar danos causados a alimentos. Uma das conclusões apresentadas é a possibilidade de uso de compostos fenólicos de microalgas que inibem atividade de amilase contra contaminação por fungos em beneficiamento de grãos (SCAGLIONI *et al.*, 2018).

Sobre a análise da atividade antioxidante, vale voltar a citar Tsiplakou et al. (2018), em que *C. vulgaris* foi adicionada à alimentação de cabras, provocando mudanças nas características do leite coletado. Os resultados demonstraram um crescimento de 68,84% na atividade de SOD (superóxido dismutase) no leite de cabras alimentadas com microalga em relação ao controle (dieta sem microalga), embora a capacidade antioxidante total, medida por FRAP e/ou ABTS, não tenha diferido significativamente. Além disso, foi observada redução no conteúdo de proteína carbonilada, um biomarcador que ajuda a avaliar o estresse oxidativo. Nesse sentido, os autores do artigo concluíram que o aumento da atividade da SOD e o menor conteúdo de proteína carbonilada no leite podem levar a uma maior estabilidade durante o tempo de prateleira e melhores propriedades organolépticas através da redução de reações oxidativas indesejáveis. Esse fato talvez permita o aumento do tempo de prateleira do leite.

4.5 RESUMO DOS RESULTADOS

A Tabela 12 a seguir apresenta um resumo de alguns dos principais resultados contidos na presente prospecção tecnológica.

Tabela 12 - Resumo dos resultados. (continua)

Análise de classificação nível Macro dos artigos (4.1)	
Artigos relevantes e descartados (4.1.1)	Relevantes: 240; descartados: 1704
Evolução histórica (4.1.2)	Nº de publicações anuais demonstraram tendência de crescimento no período analisado (373% maior em 2022 comparado a 2016)
Países participantes na publicação de artigos (4.1.3)	1º lugar - Índia (31 artigos)
	2º lugar - Brasil (25 artigos)
Instituições (4.1.4)	Universidades (234 artigos)
	Centros de pesquisa (81 artigos)
	Empresas (23 artigos)
	Universidade com maior participação nas publicações: FURG (9 artigos)

Tabela 12 – Resumo dos resultados. (continuação)

Análise de classificação nível Macro dos artigos (4.1)	
	Centro de pesquisa com maior participação nas publicações: CNRS (10 artigos)
	Empresa com maior participação nas publicações: Allmicroalgae Natural Products S.A. (4 artigos)
Análise de classificação nível Micro dos artigos (4.3)	
Microalgas (4.3.1)	Espécies mais exploradas: <i>Arthrospira platensis</i> (41 artigos) e <i>Chlorella vulgaris</i> (37 artigos)
Agentes Antioxidantes (4.3.2.1)	Maior participação: compostos fenólicos, carotenoides e ficobiliproteínas (47, 36 e 27 artigos, respectivamente)
Agentes Antimicrobianos (4.3.2.2)	Maior participação: ácidos graxos, compostos fenólicos, AgNP e proteínas/peptídeos (30, 22, 18 e 18 artigos, respectivamente)
	Microrganismos sensíveis mais presentes: <i>S. aureus</i> , <i>E. coli</i> , <i>B. subtilis</i> (91, 83 e 34 artigos, respectivamente)
Teste (4.3.3)	<i>In vitro</i> : 219 artigos; <i>in vivo</i> : 35 artigos; <i>in silico</i> : 7 artigos
Método de obtenção do agente (4.3.4)	Pré-tratamento para meios de cultivo formulados a partir de águas de reuso (7 artigos)
	Cultivo, colheita e secagem ainda são gargalos econômicos dos processos
	Métodos analíticos para quantificação e qualificação presentes em 239 artigos
	Extração ocorreu em 158 artigos; Solventes recorrentes: Metanol, água, acetato de etila, hexano e DMSO
	Purificação presente em 55 artigos
	Destaques da taxonomia "Outras técnicas": nanopartículas de metais (24 artigos), encapsulamento (14 artigos), filme (11 artigos) e FAME (1 artigo)
Campo de aplicação (4.3.5)	Perspectiva de aplicação na Indústria de alimentos e bebidas em 156 artigos, dos quais 100 indicaram aplicação em alimentação humana, 55 animal, 74 aditivos, 16 bebidas e 19 embalagem
	Intenções de aplicações relacionadas ao aumento de validade de produtos esteve em 96 artigos, dos quais 67 direcionaram o estudo para alimentos, 19 embalagem e 16 bebida
	Potencial conservante para suco de lichia em Pyne e Paria (2022) e Pyne <i>et al.</i> (2022)
	Possibilidade de aumento do tempo de prateleira de leite de cabra cuja alimentação foi adida de microalga <i>C. vulgaris</i> (TSIPLAKOU <i>et al.</i> , 2018)
	Aumento de validade de bebidas lácteas/à base de soja fermentadas (PEHLIVAN <i>et al.</i> , 2023; ÜSTÜN-AYTEKIN; ÇOBAN; AKTAŞ, 2022; CSATLOS <i>et al.</i> , 2023; ŚCIESZKA; GORZKIEWICZ; KLEWICKA, 2021)
Escalabilidade (4.3.6)	Laboratorial: 232 artigos; piloto: 9; industrial: 3

Tabela 12 – Resumo dos resultados. (conclusão)

Análise de classificação nível Micro dos artigos (4.3)	
Tecnologia de produção/Inovação (4.3.7)	A taxonomia mais presente nos artigos foi "Investigação analítica", em 225
	A taxonomia "Alimentos e bebidas" esteve em 54 documentos, dos quais 41 abordaram adição de produtos de microalga em alimentos, 11 em bebidas e em 4 ocorreu imersão de alimento em solução
Conservante (4.3.8)	53 artigos dessa taxonomia da classe de nível Meso conduziram análise da atividade antioxidante
	33 artigos conduziram análise de shelf life
	25 artigos conduziram análise da atividade antimicrobiana

Fonte: Elaboração própria.

5 CONCLUSÕES

A prospecção tecnológica da utilização de conservantes naturais a partir de microalgas e sua aplicação em bebidas não alcoólicas apontou alguns caminhos a serem seguidos por futuras pesquisas para desenvolvimento de tecnologias e produtos que aproximem a realidade ao objetivo desse estudo. Também foi possível explicitar quais os principais países, instituições e áreas de pesquisa (suas características e particularidades) envolvidos na publicação de artigos científicos que abordam assuntos relacionados à temática dessa investigação.

Por meio da análise de tais artigos, observou-se uma tendência crescente da quantidade de publicações anuais, considerando o período de busca (janeiro de 2016 – abril de 2023). No intervalo de tempo averiguado, a Índia lidera em número de publicações, seguida pelo Brasil, Espanha e China. Nesse cenário, evidenciou-se que as colaborações, entre instituições nacionais ou de diferentes nações, foram bastante presentes, realçando a relevância da troca de conhecimentos, vivências e linguagens no avanço inovador do estado da arte.

No entanto, as empresas estiveram pouco vinculadas aos estudos. Situando o Brasil como exemplo, nos documentos selecionados nos quais suas instituições estiveram presentes, não houve colaboração com empresas. Simultaneamente, a universidade que mais participou em publicações em âmbito mundial foi a brasileira FURG. Dessa forma, pontua-se que, embora muito envolvido nas publicações acadêmicas, o Brasil necessita de maior eficácia na integração universidade-indústria-governo que visem, para além das transferências de tecnologia, à criação de um ambiente de inovação mais fortalecido.

Como as investigações selecionadas ocorreram, majoritariamente, em escala laboratorial, percebeu-se que quase não há tecnologias com nível de maturidade elevadas o suficiente para iniciar produção em escala industrial ou testes em escala piloto. Os métodos de obtenção de agentes promissores ainda enfrentam obstáculos para atingir viabilidade econômica dos processos e as alternativas ainda não são maduras o suficiente para entrar na indústria. A discussão da taxonomia “Campo de aplicação”, unida à análise dos artigos, indicam que provavelmente a aplicação de microalgas na produção de conservantes ocorrerá, primeiramente, em alimentos, depois em bebidas, tanto como aditivo no alimento, quanto em embalagens para alimentos como peixes e frutos do mar.

Entre os estudos que se destacaram como possibilidades e norteadores da futura aplicação conservante de produtos obtidos a partir de microalgas, vale apontar as publicações sobre produção de *nanodots* orgânicos a partir de microalgas e a extração de ácido cafeico por dióxido de carbono supercrítico. Essas pesquisas apresentaram sucesso em seus testes como

conservante em suco de lichia. Tal resultado sinaliza que a atividade antimicrobiana relatada pode ser testada e otimizada para outras bebidas, direcionando novos trabalhos.

Também promissora, a pesquisa que envolveu a alimentação de cabras com microalgas e análise das consequências no leite produzido abre espaço para uma outra forma de ação conservante relacionada às microalgas: otimização de produtos de origem animal via alimentação.

Outras publicações que participaram em boa parte dos artigos que performaram análises em bebidas na presente prospecção, e apresentaram um viés aplicável e relevante para preservação de bebidas, foram as que utilizaram microalgas de forma a melhorar a viabilidade de bactérias ácido lácticas em bebidas. Essas bactérias necessitam continuar vivas em determinada concentração durante armazenamento, e alcançar esse objetivo é, também, uma aplicação que promove aumento do tempo de prateleira de bebidas lácteas fermentadas.

Além dos documentos envolvendo bebidas, os que apresentaram filmes e processos de encapsulamento foram considerados relevantes. O objetivo desses estudos abordou futura aplicação em embalagens ativas que aumentem ou melhorem o tempo de prateleira de produtos da indústria de alimentos. Ainda que os estudos considerem exemplificar ou testar apenas com alimentos sólidos, quando o fazem, essa tecnologia foi compreendida como possibilidade futura para embalagens de bebidas. Portanto, o desenvolvimento de embalagens ativas e sustentáveis contendo microalgas e/ou seus produtos - voltadas para produção de bebidas - é um desafio a ser compreendido e resolvido em estudos futuros.

A partir do presente estudo foi averiguado que, apesar do grande número de espécies de microalgas e seus produtos com potencial antioxidante e antimicrobiano, pouco é descrito, no estado da arte, exclusivamente, ou de forma clara, para aplicação em bebidas como conservantes. Os testes *in vitro* realizados pelas investigações analisadas, em sua maioria, debruçam-se sobre a prova de potencial para aplicação como antimicrobianos e/ou antioxidantes em uma área (alimentos, bebidas, cosméticos, farmacêutica). Assim, poucas foram as pesquisas aplicadas e testadas em produtos da área indicada pelo estudo em questão.

Entretanto, dado o quase infindável número de compostos explicitados com atividade antioxidante e antimicrobiana proveniente de diversas espécies de microalgas, é válida a manutenção de estudos de varredura que buscam por espécies e substâncias de interesse. Inclusive, examinar tais espécies e substâncias e suas atividades em bebidas reais é recomendado como tema para trabalhos futuros, uma vez que a grande maioria dos estudos *in vitro* que propõem aplicação em produtos da indústria de alimentos ocorrem isolados de algum

produto, e acabam por representar apenas um potencial uso. Esse é um fato compreendido pela novidade acerca do tema, que está no início de seu desenvolvimento.

Logo, além da necessidade de testes em produtos, também é necessário que uma maior base de conhecimento seja desenvolvida para efetiva aplicação de pesquisas voltadas ao mercado. Nesse sentido, em diversas pesquisas que compuseram o “*corpus*” deste trabalho, foi apontada a necessidade de mais estudos para esclarecer, de forma aprofundada, os mecanismos de ação antimicrobiana apresentados pelos agentes promissores. Dessa forma, para que a produção de conservantes a partir de microalgas evolua, essa é uma outra lacuna que deve ser trabalhada.

Por fim, a busca por antioxidantes e antimicrobianos que não sejam tóxicos é mais um tema que pode ser investigado futuramente, assim como a compatibilidade destes com alimentos e bebidas, de forma que as propriedades físico-químicas e sensoriais de possíveis produtos sejam estimadas pelo público-alvo almejado.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE REFRIGERANTES E DE BEBIDAS NÃO ALCÓOLICAS. **Dados**. ABIR, 2022a. Disponível em: <https://abir.org.br/o-setor/dados/>. Acesso em: 17 jun. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE REFRIGERANTES E DE BEBIDAS NÃO ALCÓOLICAS. **O setor de bebidas não alcoólicas comprometido com a agenda ESG**. ABIR, 2022b. Disponível em: https://abir.org.br/arquivos/Revista_Abir_2022.pdf. Acesso em: 19 mar. 2023.

ABREU, D. **Por que a integração universidade-empresa é estratégica para a inovação?**. Portal da Indústria, 2022. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/inovacao-e-tecnologia/por-que-a-integracao-universidade-empresa-e-estrategica-para-a-inovacao/#>. Acesso em: 18 jun. 2023.

AGREGÁN, R. *et al.* Assessment of the antioxidant activity of *Bifurcaria bifurcata* aqueous extract on canola oil. Effect of extract concentration on the oxidation stability and volatile compound generation during oil storage. **Food Research International**, Ottawa, v. 99, n. 3, p. 1095–1102, 2017a. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996916304549?via%3Dihub>. Acesso em: 18 ago. 2022.

AGREGÁN, R. *et al.* Proximate composition, phenolic content and in vitro antioxidant activity of aqueous extracts of the seaweeds *Ascophyllum nodosum*, *Bifurcaria bifurcata* and *Fucus vesiculosus*. Effect of addition of the extracts on the oxidative stability of canola oil under accelerated storage conditions. **Food Research International**, Ottawa, v. 99, n. 3, p. 986–994, 2017b. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096399691630549X?via%3Dihub>. Acesso em: 18 ago. 2022.

ALCANTARA, M. M.; BORSCHIVER, S.; ALENCAR, M. S. de M. Prospecção Tecnológica em Núcleos de Inovação Tecnológica do Estado do Rio de Janeiro. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 14, n. 4, p. 1112–1129, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/44320>. Acesso em: 17 jun. 2023.

ALSENANI, F. *et al.* Evaluation of microalgae and cyanobacteria as potential sources of antimicrobial compounds. **Saudi Pharmaceutical Journal**, Riyadh, v. 28, n. 12, p. 1834–1841, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319016420302711?via%3Dihub>. Acesso em: 19 ago. 2022.

AMBRICO, A. *et al.* Effectiveness of *Dunaliella salina* Extracts against *Bacillus subtilis* and Bacterial Plant Pathogens. **Pathogens**, Basel, v. 9, n. 8, p. 613, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-0817/9/8/613>. Acesso em: 18 jun. 2023.

AMORIM, M. L. *et al.* Microalgae proteins: production, separation, isolation, quantification, and application in food and feed. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Abingdon, v. 61, n. 12, p. 1976–2002, 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2020.1768046>. Acesso em: 9 set. 2022.

ANDERSEN, R. A. The Microalgal Cell. *Em*: RICHMOND, A.; HU, Q. (org.). **Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology**. 2. ed. Oxford, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2013. p. 1–20. *E-book*. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118567166.ch1>. Acesso em: 19 ago. 2022.

ANVISA. **Instrução normativa n° 60, de 23 de dezembro de 2019**. Governo Federal, 2019. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-60-de-23-de-dezembro-de-2019-235332356>. Acesso em: 17 jun. 2023.

ANVISA. **Perguntas & Respostas: Padrões Microbiológicos**. 2. ed. Brasília: ANVISA, 2020. *E-book*. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/arquivos-noticias-anvisa/863json-file-1>. Acesso em: 17 jun. 2023.

APANDI, N. *et al.* Scenedesmus Biomass Productivity and Nutrient Removal from Wet Market Wastewater, A Bio-kinetic Study. **Waste and Biomass Valorization**, Heidelberg, v. 10, n. 10, p. 2783–2800, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-018-0313-y>. Acesso em: 18 jun. 2023.

BAHRUTH, E. de B.; ANTUNES, A. M. de S.; BOMTEMPO, J. V. Prospecção Tecnológica na Priorização de Atividades de C&T: Caso QTROP-TB. *Em*: ANTUNES, A.; PEREIRA JR., N.; EBOLE, M. de F. (org.). **Gestão em biotecnologia**. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais Ltda., 2006. p. 299–324. *E-book*. Disponível em: https://www.e-papers.com.br/sumario.asp?codigo_produto=832. Acesso em: 17 jun. 2023.

BALAKRISHNAN, J. *et al.* Anti-listerial activity of microalgal fatty acid methyl esters and their possible applications as chicken marinade. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 339, p. 109027, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160520305213?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

BALDUYCK, L. *et al.* Stability of Valuable Components during Wet and Dry Storage. *Em*: KIM, S.-K. (org.). **Handbook of Marine Microalgae: Biotechnology Advances**. Amsterdam: Elsevier, 2015. p. 81–91. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128007761000078>. Acesso em: 14 set. 2022.

BALTI, R. *et al.* Active exopolysaccharides based edible coatings enriched with red seaweed (*Gracilaria gracilis*) extract to improve shrimp preservation during refrigerated storage. **Food Bioscience**, Amsterdam, v. 34, p. 100522, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212429218304267?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

BARBA, F. J. Microalgae and seaweeds for food applications: Challenges and perspectives. **Food Research International**, Ottawa, v. 99, n. 3, p. 969–970, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996916306263?via%3Dihub>. Acesso em: 19 ago. 2022.

BARBERIS, S. *et al.* Natural Food Preservatives Against Microorganisms. *Em*: GRUMEZESCU, A. M.; HOLBAN, A. M. (org.). **Food Safety and Preservation**. Amsterdam: Elsevier, 2018. p. 621–658. *E-book*. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128149560000202?via%3Dihub>. Acesso em: 19 jul. 2022.

BARCLAY, W.; APT, K.; DONG, X. D. Commercial Production of Microalgae via Fermentation. *Em*: RICHMOND, A.; HU, Q. (org.). **Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology**. 2. ed. Oxford, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2013. p. 134–145. *E-book*. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118567166.ch9>. Acesso em: 19 ago. 2022.

BARKIA, I.; SAARI, N.; MANNING, S. R. Microalgae for High-Value Products Towards Human Health and Nutrition. **Marine Drugs**, Basel, v. 17, n. 5, p. 304, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-3397/17/5/304>. Acesso em: 19 ago. 2022.

BARRICHELO, L. E. G. Universidade-empresa, integração beneficia o setor. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 2, n. 4, p. 101–102, 2005. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001484325>. Acesso em: 18 jun. 2023.

BATISTA, A. P. *et al.* Microalgae as Functional Ingredients in Savory Food Products: Application to Wheat Crackers. **Foods**, [s. l.], v. 8, n. 12, p. 611, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/8/12/611>. Acesso em: 18 jun. 2023.

BATISTA, A. P. *et al.* Microalgae biomass as an alternative ingredient in cookies: Sensory, physical and chemical properties, antioxidant activity and in vitro digestibility. **Algal Research**, Amsterdam, v. 26, p. 161–171, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211926417302953?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

BATISTA, A. P. *et al.* Microalgae biomass interaction in biopolymer gelled systems. **Food Hydrocolloids**, Amsterdam, v. 25, n. 4, p. 817–825, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X1000233X>. Acesso em: 19 ago. 2022.

BENEMANN, J. R.; WOERTZ, I.; LUNDQUIST, T. Autotrophic Microalgae Biomass Production: From Niche Markets to Commodities. **Industrial Biotechnology**, New Rochelle, v. 14, n. 1, p. 3–10, 2018. Disponível em: <https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/ind.2018.29118.jrb>. Acesso em: 19 ago. 2022.

BERTOLDI, F. C.; SANT'ANNA, E.; OLIVEIRA, J. L. B. REVISÃO: BIOTECNOLOGIA DE MICROALGAS. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 26, n. 1, p. 9–20, 2008. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/alimentos/article/view/11804/8320>. Acesso em: 19 ago. 2022.

BOROWITZKA, M. A. Biology of Microalgae. *Em*: LEVINE, I. A.; FLEURENCE, J. (org.). **Microalgae in Health and Disease Prevention**. Amsterdam: Elsevier, 2018. p. 23–72. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128114056000037?via%3Dihub>. Acesso em: 19 ago. 2022.

BOROWITZKA, M. A. Energy from Microalgae: A Short History. *Em*: BOROWITZKA, M. A.; MOHEIMANI, N. R. (org.). **Algae for Biofuels and Energy**. 1. ed. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. p. 1–15. *E-book*. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-5479-9_1. Acesso em: 20 ago. 2022.

BORTOLINI, D. G. *et al.* Functional properties of bioactive compounds from *Spirulina* spp.: Current status and future trends. **Food Chemistry: Molecular Sciences**, Amsterdam, v. 5, p. 100134, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666566222000624?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

BUCHBERGER, F. *et al.* Transgenic and cell wall-deficient *Chlamydomonas reinhardtii* food affects life history of *Daphnia magna*. **Journal of Applied Phycology**, Heidelberg, v. 32, n. 1, p. 319–328, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-019-01983-7>. Acesso em: 19 ago. 2022.

BUTLER, T.; GOLAN, Y. Astaxanthin Production from Microalgae. *Em*: ALAM, Md. A.; XU, J.-L.; WANG, Z. (org.). **Microalgae Biotechnology for Food, Health and High Value Products**. 1. ed. Singapore: Springer Singapore, 2020. p. 175–242. *E-book*. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-0169-2_6. Acesso em: 14 set. 2022.

CAI, J. *et al.* **Seaweeds and microalgae: an overview for unlocking their potential in global aquaculture development**. Roma: FAO, 2021. *E-book*. Disponível em: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb5670en>. Acesso em: 18 jun. 2023.

CAPORGNO, M. P.; MATHYS, A. Trends in Microalgae Incorporation Into Innovative Food Products With Potential Health Benefits. **Frontiers in Nutrition**, Lausanne, v. 5, p. 58, 2018. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2018.00058/full>. Acesso em: 24 ago. 2022.

CARISSIMI, M.; FLÔRES, S. H.; RECH, R. Effect of microalgae addition on active biodegradable starch film. **Algal Research**, Amsterdam, v. 32, p. 201–209, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211926418300110?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

CARNOVALE, G. *et al.* Starch-Rich Microalgae as an Active Ingredient in Beer Brewing. **Foods**, [s. l.], v. 11, n. 10, p. 1449, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/10/1449>. Acesso em: 18 jun. 2023.

CASTRO, A. M. G. de. PROSPECÇÃO DE CADEIAS PRODUTIVAS E GESTÃO DA INFORMAÇÃO. **Transinformação**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 55–72, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/tinf/a/cQVTmN9DYzm7kPfhqvMpGzS/?lang=pt>. Acesso em: 19 ago. 2022.

CEZARE-GOMES, E. A. *et al.* Potential of Microalgae Carotenoids for Industrial Application. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Oxford, v. 188, n. 3, p. 602–634, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12010-018-02945-4>. Acesso em: 14 set. 2022.

COATES, R. C.; TRENTACOSTE, E.; GERWICK, W. H. Bioactive and Novel Chemicals from Microalgae. *Em*: RICHMOND, A.; HU, Q. (org.). **Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology**. 2. ed. Oxford, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2013. p. 504–531. *E-book*. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118567166.ch26>. Acesso em: 14 set. 2022.

COELHO, G. M. **Prospecção tecnológica: metodologias e experiências nacionais e internacionais: nota técnica 14**. São Paulo: USP, 2003. *E-book*. Disponível em:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2192974/mod_resource/content/1/Metodologias%20Prospec%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em: 17 jun. 2023.

CONROY, G.; PLACKETT, B. Nature Index Annual Tables 2022: China's research spending pays off. **Nature**, London, 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-022-01669-0>. Acesso em: 18 jun. 2023.

CSATLOS, N.-I. *et al.* Development of a Fermented Beverage with *Chlorella vulgaris* Powder on Soybean-Based Fermented Beverage. **Biomolecules**, Basel, v. 13, n. 2, p. 245, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2218-273X/13/2/245>. Acesso em: 18 jun. 2023.

DARWESH, O. M. *et al.* Isolation of *Haematococcus lacustris* as source of novel anti-multi-antibiotic resistant microbes agents; fractionation and identification of bioactive compounds. **Biotechnology Reports**, Amsterdam, v. 35, p. e00753, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215017X22000510?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

DAVISON, J. R.; BEWLEY, C. A. Antimicrobial Chrysopaentin Analogs Identified from Laboratory Cultures of the Marine Microalga *Chrysothrix taylorii*. **Journal of Natural Products**, Washington, v. 82, n. 1, p. 148–153, 2019. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jnatprod.8b00858>. Acesso em: 18 jun. 2023.

DERNER, R. B. *et al.* Microalgas, produtos e aplicações. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1959–1967, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/PYnJkJQqkcTfNqmrCTthMdS/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 19 ago. 2022.

DINH, C. T. *et al.* Isolation, purification and cytotoxic evaluation of lutein from mixotrophically grown *Chlorella sorokiniana* TH01. **Algal Research**, Amsterdam, v. 62, p. 102632, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211926422000030?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

DOLGANYUK, V. *et al.* Microalgae: A Promising Source of Valuable Bioproducts. **Biomolecules**, Basel, v. 10, n. 8, p. 1153, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2218-273X/10/8/1153>. Acesso em: 20 ago. 2022.

DOLGANYUK, V. *et al.* Study of the Physicochemical and Biological Properties of the Lipid Complex of Marine Microalgae Isolated from the Coastal Areas of the Eastern Water Area of the Baltic Sea. **Molecules**, Basel, v. 27, n. 18, p. 5871, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/18/5871>. Acesso em: 18 jun. 2023.

DUSSAULT, D. *et al.* Antimicrobial effects of marine algal extracts and cyanobacterial pure compounds against five foodborne pathogens. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 199, p. 114–118, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814615302648?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

DVORETSKY, D. *et al.* Experimental Research into the Antibiotic Properties of *Chlorella Vulgaris* Algal Exometabolites. **Chemical Engineering Transactions**, Milão, v. 74, p. 1429–1434, 2019. Disponível em: <https://www.aidic.it/cet/19/74/239.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ELAKBAWY, W. M.; SHANAB, S. M. M.; SHALABY, E. A. Biological activities and plant growth regulators producing from some microalgae biomass cultivated in different wastewater concentrations. **Biomass Conversion and Biorefinery**, Berlin, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-021-01610-x>. Acesso em: 18 jun. 2023.

EL-HAWY, A. S. *et al.* Immunostimulatory effects of *Nannochloropsis oculata* supplementation on Barki rams growth performance, antioxidant assay, and immunological status. **BMC Veterinary Research**, London, v. 18, n. 1, p. 314, 2022. Disponível em: <https://bmcvetres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12917-022-03417-y>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ELSHOUNY, W. A. E.-F. *et al.* ANTIMICROBIAL ACTIVITY of SPIRULINA PLATENSIS AGAINST AQUATIC BACTERIAL ISOLATES. **Journal of microbiology, biotechnology and food sciences**, Seoul, v. 6, n. 5, p. 1203–1208, 2017. Disponível em: <https://office2.jmbfs.org/index.php/JMBFS/article/view/8601>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ENZING, C. *et al.* **Microalgae-based products for the food and feed sector: an outlook for Europe**. European Comission, 2014. Disponível em: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC85709>. Acesso em: 14 set. 2022.

FAO; WHO. **Class names and the international numbering system for food additives**. Quebec: FAO; WHO, 1989. Disponível em: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXG%2B36-1989%252FCXG_036e.pdf. Acesso em: 14 out. 2022.

FAO; WHO. **General standard for food additives**. Quebec: FAO; WHO, 1995. Disponível em: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B192-1995%252FCXS_192e.pdf. Acesso em: 14 out. 2022.

FERNANDEZ, F. G. A.; SEVILLA, J. M. F.; GRIMA, E. M. Microalgae: The Basis of Mankind Sustainability. *Em*: LLAMAS, B.; MAZADIEGO, F. L.; GRACIA, M. D. S. de (org.). **Case Study of Innovative Projects - Successful Real Cases**. Londres: InTech, 2017. p. 123–140. *E-book*. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/54819>. Acesso em: 19 ago. 2022.

FERREIRA, V. da S. *et al.* Green production of microalgae-based silver chloride nanoparticles with antimicrobial activity against pathogenic bacteria. **Enzyme and Microbial Technology**, Amsterdam, v. 97, p. 114–121, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014102291630223X?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

FERREIRA, M. *et al.* Micro- and macroalgae blend modulates the mucosal and systemic immune responses of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) upon infection with *Tenacibaculum maritimum*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 566, p. 739222, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848622013400?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. Conservantes. **Food Ingredients Brasil**, Palmas, v. 19, n. 42, p. 30–33, 2017. Disponível em: https://revista-fi.com/upload_arquivos/201711/2017110730727001512043728.pdf. Acesso em: 19 set. 2022.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. OS ANTIOXIDANTES. **Food Ingredients Brasil**, Palmas, v. 6, p. 16–23, 2009. Disponível em: <http://www.unirio.br/ib/dmp/nutricao-integral/arquivos/fontes-de-consulta-complementar/Antioxidantes%20-%20FOOD%20INGREDIENTS%20BRASIL%20No6%20-%202009.pdf>. Acesso em: 14 set. 2022.

FU, W. *et al.* Bioactive Compounds From Microalgae: Current Development and Prospects. *Em: ATTA-UR-RAHMAN (org.). Studies in Natural Products Chemistry*. Amsterdam: Elsevier, 2017. v. 54, p. 199–225. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780444639295000061?via%3Dihub>. Acesso em: 19 ago. 2022.

GALLÓN, S. M. N. *et al.* Characterization and study of the antibacterial mechanisms of silver nanoparticles prepared with microalgal exopolysaccharides. **Materials Science and Engineering: C**, Amsterdam, v. 99, p. 685–695, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928493118308130?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

GARCIA-PEREZ, P. *et al.* Algal nutraceuticals: A perspective on metabolic diversity, current food applications, and prospects in the field of metabolomics. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 409, p. 135295, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814622032575?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

GARCÍA, J. L.; VICENTE, M. de; GALÁN, B. Microalgae, old sustainable food and fashion nutraceuticals. **Microbial Biotechnology**, New Jersey, v. 10, n. 5, p. 1017–1024, 2017. Disponível em: <https://ami-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1751-7915.12800>. Acesso em: 14 set. 2022.

GODOI, J. C. S. L. *et al.* Análise microbiológica de suco de laranja in natura armazenados em refresqueira elétrica. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, Araraquara, v. 20, n. 2, p. 109–116, 2017. Disponível em: <https://revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/460>. Acesso em: 15 set. 2022.

GONGI, W. *et al.* Characterization of biodegradable films based on extracellular polymeric substances extracted from the thermophilic microalga *Graesiella* sp. **Algal Research**, Amsterdam, v. 61, p. 102565, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211926421003842?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

GONZÁLEZ-MEZA, G. M. *et al.* Dietary supplementation effect of three microalgae on *Penaeus vannamei* growth, biochemical composition, and resistance to *Vibrio parahaemolyticus* (AHPND). **Latin American Journal of Aquatic Research**, Valparaíso, v. 50, n. 1, p. 88–98, 2022. Disponível em: <http://lajar.ucv.cl/index.php/rlajar/article/view/vol50-issue1-fulltext-2773>. Acesso em: 18 jun. 2023.

GRIMA, E. M.; FERNÁNDEZ, F. G. A.; MEDINA, A. R. Downstream Processing of Cell Mass and Products. *Em*: RICHMOND, A.; HU, Q. (org.). **Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology**. 2. ed. Oxford, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2013. p. 267–309. *E-book*. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118567166.ch14>. Acesso em: 24 ago. 2022.

HAMIDA, R. S. *et al.* Algal-Derived Synthesis of Silver Nanoparticles Using the Unicellular ulvophyte sp. MBIC10591: Optimisation, Characterisation, and Biological Activities. **Molecules**, Basel, v. 28, n. 1, p. 279, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/28/1/279>. Acesso em: 18 jun. 2023.

JACOB-LOPES, E. *et al.* Bioactive food compounds from microalgae: an innovative framework on industrial biorefineries. **Current Opinion in Food Science**, Amsterdam, v. 25, p. 1–7, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214799318301048?via%3Dihub>. Acesso em: 24 ago. 2022.

JEON, M. S. *et al.* Rapid green synthesis of silver nanoparticles using sulfated polysaccharides originating from *Porphyridium cruentum* UTEX 161: evaluation of antibacterial and catalytic activities. **Journal of Applied Phycology**, Heidelberg, v. 33, n. 5, p. 3091–3101, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-021-02540-x>. Acesso em: 18 jun. 2023.

KALPANA, V. N.; RAJESWARI, V. D. Preservatives in Beverages: Perception and Needs. *Em*: MIHAI GRUMEZESCU, A.; MARIA HOLBAN, A. (org.). **Preservatives and Preservation Approaches in Beverages**. Amsterdam: Elsevier, 2019. v. 15, p. 1–30. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978012816685700001X?via%3Dihub>. Acesso em: 14 jul. 2022.

KHADIM, S. R. *et al.* Strategies for increased production of lipids and fine chemicals from commercially important microalgae. *Em*: SINHA, R. P.; HÄDER, D.-P. (org.). **Natural Bioactive Compounds: technological advancements**. Amsterdam: Elsevier, 2021. p. 165–186. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128206553000082?via%3Dihub>. Acesso em: 19 ago. 2022.

KHALID, M. *et al.* Comparative studies of three novel freshwater microalgae strains for synthesis of silver nanoparticles: insights of characterization, antibacterial, cytotoxicity and antiviral activities. **Journal of Applied Phycology**, Heidelberg, v. 29, n. 4, p. 1851–1863, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-017-1071-0>. Acesso em: 18 jun. 2023.

KOLLER, M.; MUHR, A.; BRAUNEGG, G. Microalgae as versatile cellular factories for valued products. **Algal Research**, Amsterdam, v. 6, n. Part A, p. 52–63, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211926414000782?via%3Dihub>. Acesso em: 24 ago. 2022.

KUMAR, V. *et al.* Algae-based sustainable approach for simultaneous removal of micropollutants, and bacteria from urban wastewater and its real-time reuse for aquaculture.

Science of The Total Environment, Amsterdam, v. 774, p. 145556, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721006239?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

KUMAR, T. S. *et al.* Fatty acids-carotenoid complex: An effective anti-TB agent from the chlorella growth factor-extracted spent biomass of *Chlorella vulgaris*. **Journal of Ethnopharmacology**, Amsterdam, v. 249, p. 112392, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378874118346555?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

KUMARI, P. K. *et al.* Alternative to Artificial Preservatives. **Systematic Reviews in Pharmacy**, Mumbai, v. 10, n. 1, p. 99–102, 2019. Disponível em: <https://www.sysrevpharm.org/articles/alternative-to-artificial-preservatives.pdf>. Acesso em: 14 out. 2022.

KUNTZLER, S. G. *et al.* Polyhydroxybutyrate and phenolic compounds microalgae electrospun nanofibers: A novel nanomaterial with antibacterial activity. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 113, p. 1008–1014, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813018302733?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

KUPFER, D.; TIGRE, P. B. Prospecção Tecnológica. *Em*: CARUSO, L. A. C.; TIGRE, P. B. (org.). **Modelo SENAI de Prospecção: documento metodológico**. 1. ed. Montevideu: CINTERFOR/OIT, 2004. p. 17–35. *E-book*. Disponível em: https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file_publicacion/papeles_14.pdf. Acesso em: 17 jun. 2023.

LAFARGA, T. Effect of microalgal biomass incorporation into foods: Nutritional and sensorial attributes of the end products. **Algal Research**, Amsterdam, v. 41, p. 101566, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211926419303315?via%3Dihub>. Acesso em: 19 ago. 2022.

LANFER-MARQUEZ, U. M. O papel da clorofila na alimentação humana: uma revisão. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v. 39, n. 3, p. 227–242, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcf/a/nZnG9yMfvLLR3jTqgWg7M8R/?lang=pt#:~:text=Eldjarn%20e%20cols.%2C%20em%201966,do%20quadro%20cl%C3%ADnico%20da%20doen%C3%A7a>. Acesso em: 14 set. 2022.

LAURITANO, C. *et al.* Bioactivity Screening of Microalgae for Antioxidant, Anti-Inflammatory, Anticancer, Anti-Diabetes, and Antibacterial Activities. **Frontiers in Marine Science**, Lausanne, v. 3, 2016. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2016.00068/full>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MANZOCCHI, E. *et al.* Effects of the substitution of soybean meal by spirulina in a hay-based diet for dairy cows on milk composition and sensory perception. **Journal of Dairy Science**, Telluride, v. 103, n. 12, p. 11349–11362, 2020. Disponível em: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(20\)30795-5/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(20)30795-5/fulltext). Acesso em: 18 jun. 2023.

MARKOU, G.; NERANTZIS, E. Microalgae for high-value compounds and biofuels production: A review with focus on cultivation under stress conditions. **Biotechnology Advances**, Amsterdam, v. 31, n. 8, p. 1532–1542, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975013001250?via%3Dihub>. Acesso em: 14 ago. 2022.

MARTÍNEZ, K. A. *et al.* Amphidinol 22, a New Cytotoxic and Antifungal Amphidinol from the Dinoflagellate *Amphidinium carterae*. **Marine Drugs**, Basel, v. 17, n. 7, p. 385, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-3397/17/7/385>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MATOS, Â. P. The Impact of Microalgae in Food Science and Technology. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Urbana, v. 94, n. 11, p. 1333–1350, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11746-017-3050-7>. Acesso em: 14 set. 2022.

MICHELON, W. *et al.* Removal of veterinary antibiotics in swine wastewater using microalgae-based process. **Environmental Research**, Amsterdam, v. 207, p. 112192, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935121014936>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Gabinete da Ministra. **Portaria MAPA n. 123, de 13 de maio de 2021**. Estabelece os padrões de identidade e qualidade para bebida composta, chá, refresco, refrigerante, soda e, quando couber, os respectivos preparados sólidos e líquidos. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mapa-n-123-de-13-de-maio-de-2021-319830736>. Acesso em: 17 jun. 2023.

MOBIN, S. M. A.; CHOWDHURY, H.; ALAM, F. Commercially important bioproducts from microalgae and their current applications – A review. **Energy Procedia**, Amsterdam, v. 160, p. 752–760, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610219312731>. Acesso em: 19 ago. 2022.

MONTALVO, G. E. B. *et al.* *Arthrospira maxima* OF15 biomass cultivation at laboratory and pilot scale from sugarcane vinasse for potential biological new peptides production. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 273, p. 103–113, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085241831513X?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MORAIS JUNIOR, W. G. *et al.* Microalgae for biotechnological applications: Cultivation, harvesting and biomass processing. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 528, p. 735562, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848620302246?via%3Dihub>. Acesso em: 24 ago. 2022.

MORALES-SÁNCHEZ, D.; MARTINEZ-RODRIGUEZ, O. A.; MARTINEZ, A. Heterotrophic cultivation of microalgae: production of metabolites of commercial interest. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, New Jersey, v. 92, n. 5, p. 925–936, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jctb.5115>. Acesso em: 24 ago. 2022.

MOREIRA, J. B. *et al.* Antioxidant ultrafine fibers developed with microalga compounds using a free surface electrospinning. **Food Hydrocolloids**, Amsterdam, v. 93, p. 131–136, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X18312657?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MOREIRA, A. S. P. *et al.* Potential of Coccolithophore Microalgae as Fillers in Starch-Based Films for Active and Sustainable Food Packaging. **Foods**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 513, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/3/513>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MUKHERJEE, C. *et al.* Polarity-wise successive solvent extraction of *Scenedesmus obliquus* biomass and characterization of the crude extracts for broad-spectrum antibacterial activity. **Biomass Conversion and Biorefinery**, Berlin, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-022-02432-1>. Acesso em: 18 jun. 2023.

NEJAD, H. B. *et al.* Bio-based Algae Oil: an oxidation and structural analysis. **International Journal of Cosmetic Science**, Malden, v. 42, n. 3, p. 237–247, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ics.12606>. Acesso em: 18 jun. 2023.

NITSOS, C. *et al.* Current and novel approaches to downstream processing of microalgae: A review. **Biotechnology Advances**, Amsterdam, v. 45, p. 107650, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S073497502030152X?via%3Dihub>. Acesso em: 24 ago. 2022.

NUNES, C. *et al.* Chitosan–genipin film, a sustainable methodology for wine preservation. **Green Chemistry**, York, v. 18, n. 19, p. 5331–5341, 2016. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2016/gc/c6gc01621a>. Acesso em: 14 jul. 2022.

NWOBA, E. G. *et al.* Microalgal Pigments: A Source of Natural Food Colors. *Em: ALAM, Md. A.; XU, J.-L.; WANG, Z. (org.). Microalgae Biotechnology for Food, Health and High Value Products*. 1. ed. Singapore: Springer Singapore, 2020. p. 81–123. *E-book*. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-0169-2_3. Acesso em: 14 set. 2022.

OLAIZOLA, M. Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace. **Biomolecular Engineering**, Amsterdam, v. 20, n. 4–6, p. 459–466, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389034403000765>. Acesso em: 1 ago. 2022.

OLIVEIRA, S. D. **Prospecção Tecnológica da Produção do Ácido Succínico a partir de fontes renováveis perspectivas e desafios**. 2014. - UFRJ, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: https://minerva.ufrj.br/F/?func=direct&doc_number=000823422&local_base=UFR01. Acesso em: 17 jun. 2023.

OLIVEIRA, A. M. F. de *et al.* Use of *Chlorella* sp. for coating ‘tommy atkins’ mango fruits stored under refrigeration. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 2, p. 565, 2018. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Use-of-Chlorella-sp.-for-coating-%E2%80%98tommy-atkins%E2%80%99-Oliveira-Rocha/76bd06206b32ef80cd69e11fa80c8ffc9dca80b2>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ONCEL, S. S. *et al.* From the Ancient Tribes to Modern Societies, Microalgae Evolution from a Simple Food to an Alternative Fuel Source. *Em: KIM, S. (org.). Handbook of Marine Microalgae*. 1. ed. Amsterdam: Elsevier, 2015. p. 127–144. *E-book*. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128007761000091?via%3Dihub>. Acesso em: 19 ago. 2022.

OPAS/OMS. **Histórico da pandemia de COVID-19**. Paho, 2020. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/covid19/historico-da-pandemia-covid-19#:~:text=Em%2011%20de%20mar%C3%A7o%20de,e%20n%C3%A3o%20%C3%A0%20sua%20gravidade>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ÖZOGUL, İ. *et al.* The effects of microalgae (*Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris*) extracts on the quality of vacuum packaged sardine during chilled storage. **Journal of Food Measurement and Characterization**, Dordrecht, v. 15, n. 2, p. 1327–1340, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11694-020-00729-1>. Acesso em: 18 jun. 2023.

PEHLIVAN, A. D. *et al.* The incorporation of *Chlorella vulgaris* and *Chondrus crispus* algae in the production of functional ayran drinks: effects on physicochemical, microbiological, and sensory characteristics. **Journal of Food Measurement and Characterization**, Dordrecht, v. 17, n. 3, p. 3019–3032, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11694-023-01840-9>. Acesso em: 18 jun. 2023.

PEREZ-GARCIA, O. *et al.* Heterotrophic cultures of microalgae: Metabolism and potential products. **Water Research**, Amsterdam, v. 45, n. 1, p. 11–36, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135410006019?via%3Dihub>. Acesso em: 24 ago. 2022.

PERMATASARI, I. *et al.* Antibacterial Activity of <i>Haslea ostrearia</i> Supernatant Adapted in Indonesia against Pathogenic Bacteria Relevant to Mariculture (In-Vitro Study). **Omni-Akuatika**, Jawa Timur, v. 15, n. 1, p. 30–38, 2019. Disponível em: <http://ojs.omniakuatika.net/index.php/joa/article/view/626>. Acesso em: 14 set. 2022.

PESTANA-NOBLES, R. *et al.* Docking and Molecular Dynamic of Microalgae Compounds as Potential Inhibitors of Beta-Lactamase. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 23, n. 3, p. 1630, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/23/3/1630>. Acesso em: 18 jun. 2023.

PIGNOLET, O. *et al.* Highly valuable microalgae: biochemical and topological aspects. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, Oxford, v. 40, n. 8, p. 781–796, 2013. Disponível em: <https://academic.oup.com/jimb/article/40/8/781/5994688>. Acesso em: 14 set. 2022.

PINA-PÉREZ, M. C. *et al.* Antimicrobial potential of macro and microalgae against pathogenic and spoilage microorganisms in food. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 235, p. 34–44, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814617308117?via%3Dihub>. Acesso em: 19 ago. 2022.

PIRES, J. C. M. Mass Production of Microalgae. *Em*: KIM, S.-K. (org.). **Handbook of Marine Microalgae: Biotechnology Advances**. Amsterdam: Elsevier, 2015. p. 55–68. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128007761000054?via%3Dihub>. Acesso em: 24 ago. 2022.

PRIYADARSHANI, I.; RATH, B. Commercial and industrial applications of micro algae-A review. **Journal of Algal Biomass Utilization**, Chennai, v. 3, n. 4, p. 89–100, 2012. Disponível em:

<https://storage.unitedwebnetwork.com/files/521/0213bc4222e0f127a5b84f709383cf88.pdf>.

Acesso em: 20 ago. 2022.

PYNE, S. *et al.* Green microalgae derived organic nanodots used as food preservative. **Current Research in Green and Sustainable Chemistry**, Amsterdam, v. 5, p. 100276, 2022. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666086522000182?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

PYNE, S.; PARIA, K. Optimization of extraction process parameters of caffeic acid from microalgae by supercritical carbon dioxide green technology. **BMC Chemistry**, London, v. 16, n. 1, p. 31, 2022. Disponível em: <https://bmcchem.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13065-022-00824-y>. Acesso em: 18 jun. 2023.

RAHMAN, K. M. Food and High Value Products from Microalgae: Market Opportunities and Challenges. *Em*: ALAM, Md. A.; XU, J.-L.; WANG, Z. (org.). **Microalgae Biotechnology for Food, Health and High Value Products**. 1. ed. Singapore: Springer Singapore, 2020. p. 3–27. *E-book*. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-0169-2_1. Acesso em: 24 ago. 2022.

RIZWAN, M. *et al.* Exploring the potential of microalgae for new biotechnology applications and beyond: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 92, p. 394–404, 2018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118302557?via%3Dihub>. Acesso em: 16 set. 2022.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Natural food pigments and colorants. **Current Opinion in Food Science**, Amsterdam, v. 7, p. 20–26, 2016. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214799315001046?via%3Dihub>.

Acesso em: 14 set. 2022.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Update on natural food pigments - A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains. **Food Research International**, Ottawa, v. 124, p. 200–205, 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996918303843?via%3Dihub>.

Acesso em: 14 set. 2022.

ROMANI, V. P.; MARTINS, V. G.; SOARES, L. A. D. S. Oxidação lipídica e compostos fenólicos como antioxidantes em embalagens ativas para alimentos. **VETOR - Revista De Ciências Exatas E Engenharias**, Rio Grande, v. 27, n. 1, p. 38–56, 2017. Disponível em:

<https://periodicos.furg.br/vetor/article/view/7052>. Acesso em: 14 set. 2022.

RÖSCH, C.; ROßMANN, M.; WEICKERT, S. Microalgae for integrated food and fuel production. **GCB Bioenergy**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 326–334, 2019. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12579>. Acesso em: 17 jun. 2023.

SADEGHI, S. *et al.* Anticancer and Antibacterial Properties in Peptide Fractions from Hydrolyzed Spirulina Protein. **Journal of Agricultural Science and Technology**, Wilmington,

v. 20, n. 4, p. 673–683, 2018. Disponível em: <https://jast.modares.ac.ir/article-23-19830-en.html>. Acesso em: 18 jun. 2023.

SAHIN, O. I.; ÖZTÜRK, B. Microalgal biomass — a bio-based additive: evaluation of green smoothies during storage. **International Food Research Journal**, Selangor, v. 28, n. 2, p. 309–316, 2021. Disponível em: [http://www.ifrj.upm.edu.my/28%20\(02\)%202021/11%20-%20IFRJ20219.R1.pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/28%20(02)%202021/11%20-%20IFRJ20219.R1.pdf). Acesso em: 18 jun. 2023.

SANTIAGO-DÍAZ, P. *et al.* Characterization of Novel Selected Microalgae for Antioxidant Activity and Polyphenols, Amino Acids, and Carbohydrates. **Marine Drugs**, Basel, v. 20, n. 1, p. 40, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-3397/20/1/40>. Acesso em: 9 out. 2022.

SANTOS GOMES, M. A.; CANZIANI PEREIRA, F. E. HÉLICE TRÍPLICE: UM ENSAIO TEÓRICO SOBRE A RELAÇÃO UNIVERSIDADE-EMPRESA-GOVERNO EM BUSCA DA INOVAÇÃO. **International Journal of Knowledge Engineering and Management**, Florianópolis, v. 4, n. 8, p. 136–155, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/ijkem/article/view/81554>. Acesso em: 18 jun. 2023.

SANTOYO, S. *et al.* Green processes based on the extraction with pressurized fluids to obtain potent antimicrobials from *Haematococcus pluvialis* microalgae. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 42, n. 7, p. 1213–1218, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643809000279>. Acesso em: 14 set. 2022.

SARKAR, A.; AKHTAR, N.; MANNAN, M. A. Antimicrobial property of cell wall lysed *Chlorella*, an edible alga. **Research Journal of Pharmacy and Technology**, Raipur, v. 14, n. 7, p. 3695–3699, 2021. Disponível em: <https://rjptonline.org/AbstractView.aspx?PID=2021-14-7-36>. Acesso em: 18 jun. 2023.

SATHASIVAM, R. *et al.* Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine. **Saudi Journal of Biological Sciences**, Riyadh, v. 26, n. 4, p. 709–722, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X17302784?via%3Dihub>. Acesso em: 19 ago. 2022.

SCAGLIONI, P. T. *et al.* Inhibition of Enzymatic and Oxidative Process by Phenolic Extracts from *Spirulina* sp. and *Nannochloropsis* sp. **Food Technology and Biotechnology**, Zagreb, v. 56, n. 3, 2018. Disponível em: <http://www.ftb.com.hr/images/pdfarticles/2018/July-September/FTB-56-344.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2023.

SCAGLIONI, P. T.; BADIALE-FURLONG, E. Can Microalgae Act as Source of Preservatives in Food Chain?. **Journal of Food Science and Engineering**, Wilmington, v. 7, n. 6, p. 283–296, 2017. Disponível em: <https://www.davidpublisher.com/Public/uploads/Contribute/5959fc9f3567e.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2022.

ŚCIESZKA, S.; GORZKIEWICZ, M.; KLEWICKA, E. Innovative fermented soya drink with the microalgae *Chlorella vulgaris* and the probiotic strain *Levilactobacillus brevis* LOCK 0944. **LWT**, Amsterdam, v. 151, p. 112131, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821012846>. Acesso em: 17 jun. 2023.

SHAFIEI, R.; MOSTAGHIM, T. Improving shelf life of calf fillet in refrigerated storage using edible coating based on chitosan/natamycin containing *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris* microalgae. **Journal of Food Measurement and Characterization**, Dordrecht, v. 16, n. 1, p. 145–161, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11694-021-01153-9>. Acesso em: 18 jun. 2023.

SHAIMA, A. F. *et al.* Unveiling antimicrobial activity of microalgae *Chlorella sorokiniana* (UKM2), *Chlorella* sp. (UKM8) and *Scenedesmus* sp. (UKM9). **Saudi Journal of Biological Sciences**, Riyadh v. 29, n. 2, p. 1043–1052, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X21008706>. Acesso em: 18 jun. 2023.

SIERRA, E. M. *et al.* Microalgae: Potential for Bioeconomy in Food Systems. **Applied Sciences**, Basel, v. 11, n. 23, p. 11316, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/23/11316>. Acesso em: 19 ago. 2022.

SILVA, P. C. da *et al.* Development of extruded snacks enriched by bioactive peptides from microalga *Spirulina* sp. LEB 18. **Food Bioscience**, Amsterdam, v. 42, p. 101031, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212429221001565>. Acesso em: 18 jun. 2023.

SILVA, M. M. N. *et al.* Food additives used in non-alcoholic water-based beverages— a review. **Journal of Nutritional Health & Food Engineering**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 109–121, 2019. Disponível em: <https://medcraveonline.com/JNHFE/JNHFE-09-00335.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2022.

SIMÕES, M. A. *et al.* **Algas cultiváveis e sua aplicação biotecnológica**. 1. ed. Aracaju: Editora IFS, 2016. *E-book*. Disponível em: <https://repositorio.ifs.edu.br/biblioteca/handle/123456789/952>. Acesso em: 24 jul. 2022.

SPOLAORE, P. *et al.* Commercial applications of microalgae. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, Amsterdam, v. 101, n. 2, p. 87–96, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389172306705497?via%3Dihub>. Acesso em: 11 ago. 2022.

STREIT, N. M. *et al.* As clorofilas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 748–755, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/dWwJymDzZRFwHhchRTpvtbqK/?lang=pt>. Acesso em: 14 set. 2022.

SUN, H. *et al.* Microalgae-Derived Pigments for the Food Industry. **Marine Drugs**, Basel, v. 21, n. 2, p. 82, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-3397/21/2/82>. Acesso em: 18 jun. 2023.

TEIXEIRA, L. P. **Prospecção tecnológica: importância, métodos e experiências da Embrapa Cerrados**. 1. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2013. *E-book*. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/100348/1/doc-317.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2022.

TEODOSIO, A. E. M. M. *et al.* Effects of edible coatings of *Chlorella* sp. containing pomegranate seed oil on quality of *Spondias tuberosa* fruit during cold storage. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 338, p. 127916, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814620317787?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

TOSHKOVA-YOTOVA, T. *et al.* Antitumor and antimicrobial activity of fatty acids from green microalga *Coelastrella* sp. BGV. **South African Journal of Botany**, Amsterdam, v. 151, p. 394–402, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254629922001636?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.

TSIPLAKOU, E. *et al.* The effect of dietary *Chlorella vulgaris* inclusion on goat's milk chemical composition, fatty acids profile and enzymes activities related to oxidation. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, New Jersey, v. 102, n. 1, p. 142–151, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jpn.12671>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ÜSTÜN-AYTEKIN, Ö.; ÇOBAN, I.; AKTAŞ, B. Nutritional value, sensory properties, and antioxidant activity of a traditional kefir produced with *Arthrospira platensis*. **Journal of Food Processing and Preservation**, New Jersey, v. 46, n. 3, 2022. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpp.16380>. Acesso em: 18 jun. 2023.

VARA, S.; KARNENA, M. K.; DWARAPUREDDI, B. K. Natural Preservatives for Nonalcoholic Beverages. *Em*: MIHAI GRUMEZESCU, A.; MARIA HOLBAN, A. (org.). **Preservatives and Preservation Approaches in Beverages**. Amsterdam: Elsevier, 2019. v. 15, p. 179–201. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816685-7.00006-9>. Acesso em: 14 jul. 2022.

VENUGOPAL, V. C. *et al.* Phycocyanin Extracted from *Oscillatoria minima* Shows Antimicrobial, Algicidal, and Antiradical Activities: In silico and In vitro Analysis. **Anti-Inflammatory & Anti-Allergy Agents in Medicinal Chemistry**, Potomac, v. 19, n. 3, p. 240–253, 2020. Disponível em: <https://www.eurekaselect.com/article/97815>. Acesso em: 18 jun. 2023.

VERA, C. R. de *et al.* Marine Microalgae: Promising Source for New Bioactive Compounds. **Marine Drugs**, Basel, v. 16, n. 9, p. 317, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-3397/16/9/317>. Acesso em: 18 jun. 2023.

VERDUGO-GONZÁLEZ, L. *et al.* Antimicrobial potential of a hydrolyzed protein extract of the microalgae *Nannochloropsis* sp. **DYNA**, Bogotá, v. 86, n. 211, p. 192–198, 2019. Disponível em: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/78865>. Acesso em: 18 jun. 2023.

VIEIRA, V. V. *et al.* Clarification of Most Relevant Concepts Related to the Microalgae Production Sector. **Processes**, Basel, v. 10, n. 1, p. 175, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9717/10/1/175>. Acesso em: 20 ago. 2022.

VIGANI, M. *et al.* Food and feed products from micro-algae: Market opportunities and challenges for the EU. **Trends in Food Science & Technology**, Amsterdam, v. 42, n. 1, p. 81–92, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224414002787>. Acesso em: 17 out. 2022.

VONSHAK, A. Recent advances in microalgal biotechnology. **Biotechnology Advances**, Amsterdam, v. 8, n. 4, p. 709–727, 1990. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/073497509091993Q>. Acesso em: 20 ago. 2022.

WALI, A. F. *et al.* LC-MS Phytochemical Screening, In Vitro Antioxidant, Antimicrobial and Anticancer Activity of Microalgae *Nannochloropsis oculata* Extract. **Separations**, Basel, v. 7, n. 4, p. 54, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2297-8739/7/4/54>. Acesso em: 18 jun. 2023.

YAMAGUCHI, S. K. F. *et al.* Evaluation of Adding *Spirulina* to Freeze-Dried Yogurts Before Fermentation and After Freeze-Drying. **Industrial Biotechnology**, New Rochelle, v. 15, n. 2, p. 89–94, 2019. Disponível em: <https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/ind.2018.0030>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ZHOU, Q. *et al.* Harvesting Microalgae Biomass Using Sulfonated Polyethersulfone (SPES)/PES Porous Membranes in Forward Osmosis Processes. **Journal of Ocean University of China**, Pequim, v. 19, n. 6, p. 1345–1352, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11802-020-4382-8>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ZIELINSKI, D. *et al.* Biological Activity of Hydrophilic Extract of *Chlorella vulgaris* Grown on Post-Fermentation Leachate from a Biogas Plant Supplied with Stillage and Maize Silage. **Molecules**, Basel, v. 25, n. 8, p. 1790, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/25/8/1790>. Acesso em: 18 jun. 2023.