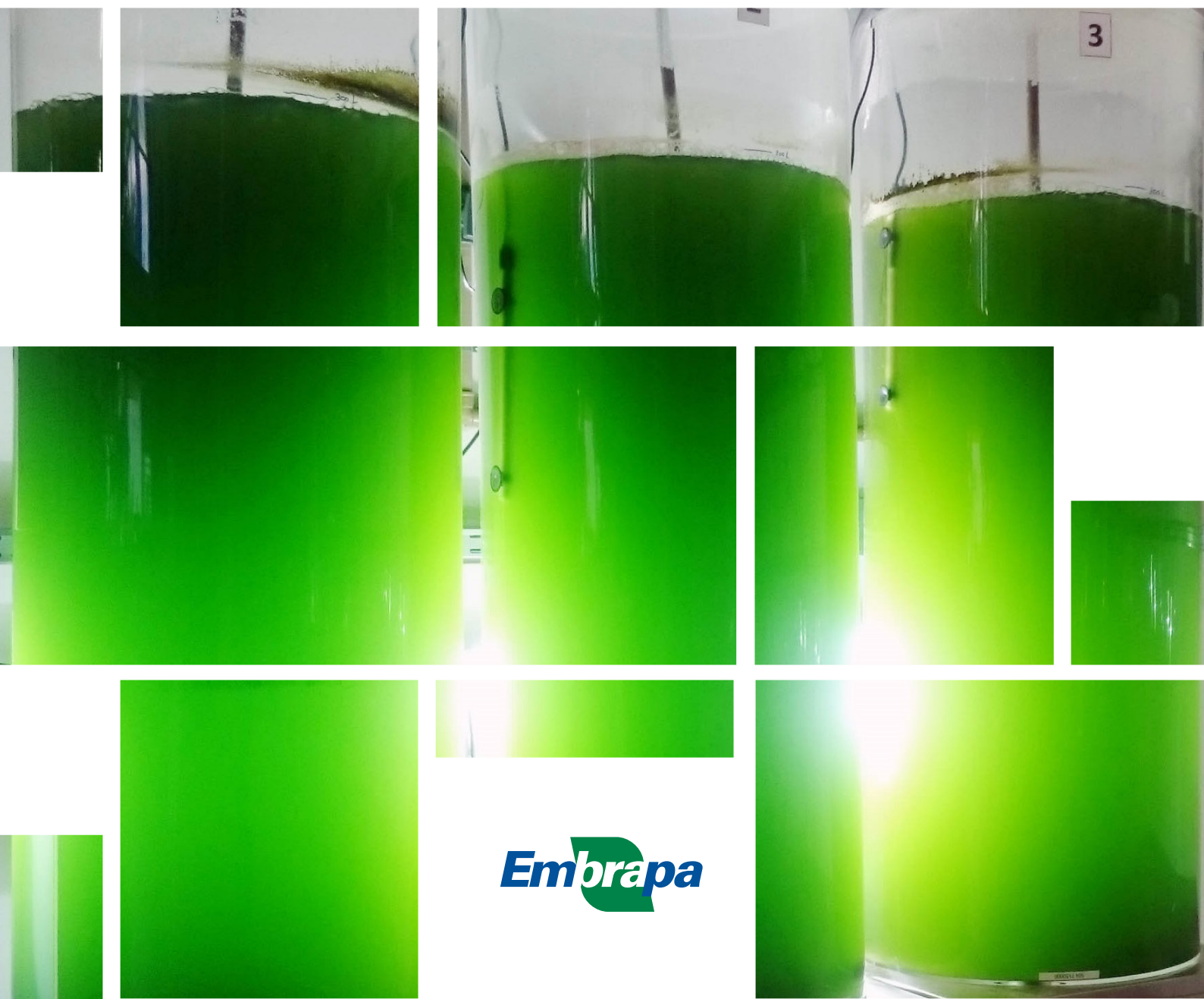


Estudo prospectivo de tecnologias baseadas na biomassa de microalgas e cianobactérias

Abordagens bibliométrica e patentométrica



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroenergia
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

DOCUMENTOS 39

Estudo prospectivo de tecnologias baseadas na biomassa de microalgas e cianobactérias

Abordagens bibliométrica e patentométrica

*Emerson Léo Schultz
Rabeshe Pereira Quintino
Sérgio Saraiva Nazareno dos Anjos*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Agroenergia
Parque Estação Biológica (PqEB), s/nº
Ed. Embrapa Agroenergia
Caixa Postal 40315
CEP 70770-901, Brasília, DF
Fone: +55 (61) 3448-1581
Fax: +55 (61) 3448-1589
www.embrapa.br/agroenergia
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Agroenergia

Presidente
Patrícia Verardi Abdelnour

Secretária-Executiva
Lorena Costa Garcia Calsing

Membros
Alexandre Nunes Cardoso
Betulia de Moraes Souto
João Ricardo Moreira de Almeida
Leonardo Fonseca Valadares
Melissa Braga
Patrícia Abrao de Oliveira Molinari
Priscila Seixas Sabaini

Supervisão editorial e revisão de texto
Luciane Chedid Melo Borges

Normalização bibliográfica
Iara Del Fiaco Rocha

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Maria Goreti Braga dos Santos

Foto da capa
Bruno dos Santos Alves Figueiredo Brasil

1ª edição
Publicação digital (2021)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa, Secretaria-Geral

Schultz, Emerson Léo.

Estudo prospectivo de tecnologias baseadas na biomassa de microalgas e cianobactérias : abordagens bibliométrica e patentométrica / Emerson Léo Schultz, Rabeshe Pereira Quintino, Sérgio Saraiva Nazareno dos Anjos. – Brasília, DF : Embrapa Agroenergia, 2021.

PDF (56 p.). – (Documentos / Embrapa Agroenergia, ISSN 2177-4439 ; 39)

1. Recurso energético. 2. Microalgas. 3. Cianobactérias. I. Quintino, Rabeshe Pereira. II. Anjos, Sérgio Saraiva Nazareno dos. III. Título. IV. Série.

CDD (21. ed.) 631

Autores

Emerson Léo Schultz

Engenheiro químico, doutor em Engenharia Química, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

Rabeshe Pereira Quintino

Graduanda em Ciências Econômicas na Universidade de Brasília, colaboradora da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

Sérgio Saraiva Nazareno dos Anjos

Farmacêutico e administrador, mestre em Administração, analista da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

Agradecimentos

Agradecemos à Melissa Braga, pelo apoio intelectual na execução do estudo, à Mônica Caraméz Triches Damaso, pela supervisão do trabalho no âmbito do Observatório de Tendências da Embrapa Agroenergia, e aos pesquisadores Cesar Heraclides Behling Miranda e Letícia Jungmann Cançado, pelo apoio na elaboração das estratégias de busca de publicações científicas e de documentos de patente de microalgas e cianobactérias.

Apresentação

A Embrapa Agroenergia possui seis Linhas de Atuação, as quais correspondem às seis plataformas industriais de biorrefinarias: (i) açúcares C5/C6, (ii) óleos vegetais, (iii) biogás, (iv) algas, v) lignina e vi) bio-óleo/syngas. Este trabalho está relacionado com a Plataforma Industrial de Algas e apresenta o resultado de um estudo prospectivo de tecnologias a partir de biomassa de microalgas e cianobactérias.

Sob coordenação do Observatório de Tendências em Biocombustíveis e Bioprodutos (OTBB) e dentro do escopo da Rede do Sistema de Inteligência Estratégica da Embrapa (Agropensa), esta ação de inteligência estratégica foi executada a partir da busca em base de dados e mineração de informações contidas em artigos científicos e documentos de patentes.

Os resultados obtidos geraram diversas informações de cunho estratégico, como os principais processos que utilizam microalgas e cianobactérias, bem como os produtos obtidos e os gêneros taxonômicos usados. Além disso, os principais campos tecnológicos encontrados em documentos de patente foram mostrados e analisados, incluindo o mapa de emergência e os sinais fracos. Assim, as informações obtidas são importantes para pesquisadores e empresas que atuam no desenvolvimento tecnológico de processos e produtos relacionados com biomassa algal e, consequentemente, para fortalecer o segmento no Brasil.

Alexandre Alonso Alves
Chefe-Geral da Embrapa Agroenergia

Sumário

Introdução.....	11
Objetivos	11
Escopo do estudo.....	12
Métodos de pesquisa	13
Estratégia de busca.....	13
Análise dos dados	13
Publicações científicas	13
Documentos de patentes	14
Resultados e discussão.....	15
Estudo bibliométrico sobre microalgas e cianobactérias	15
Países	16
Instituições	17
Áreas de pesquisa.....	21
Gêneros taxonômicos e espécies de microalgas e cianobactérias prevalentes nos estudos científicos.....	24
Processos tecnológicos que utilizam microalgas e cianobactérias.....	25
Produtos obtidos a partir de microalgas e cianobactérias.....	26
Relação entre processos e gêneros taxonômicos em trabalhos científicos com microalgas e cianobactérias.....	28
Relação entre produtos e gêneros taxonômicos em trabalhos científicos com microalgas e cianobactérias.....	29
Tipos de publicações de trabalhos com microalgas e cianobactérias	30
Estudo patentométrico sobre microalgas e cianobactérias.....	34
Países	34

Depositantes de pedidos de patente.....	36
Campos tecnológicos dos documentos de patente	37
Gêneros taxonômicos de microalgas ou cianobactérias	49
Documentos de patente de instituições nacionais	50
Considerações Finais	53
Referências	53

Introdução

O crescimento populacional, associado ao crescimento econômico, tem aumentado a demanda mundial por alimentos, combustíveis, produtos químicos e farmacêuticos, e fertilizantes (Cayuela, 2013; FAO, 2017; International Energy Agency, 2018; United States, 2019). Além disso, questões ambientais, como mudanças climáticas e eutrofização de corpos hídricos, são problemas graves que estão atingindo muitos países atualmente, incluindo o Brasil, e tendem a piorar caso ações de mitigação das causas desses efeitos não sejam adotadas. As mudanças climáticas e seus impactos no planeta são temas de grande discussão na atualidade (United Nations Development Programme, 2019). Todas essas questões são alguns dos eixos norteadores de atividades de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação para que o mundo consiga alcançar desenvolvimento econômico e social em conjunto com a preservação do meio ambiente.

As microalgas e cianobactérias são seres vivos fotossintetizantes com grande potencial de aplicação industrial, pois apresentam grande versatilidade metabólica, usam energia luminosa e dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera, não exigem o uso de água potável e terras aráveis no seu cultivo e apresentam crescimento rápido e colheita sem sazonalidade (Reis; Gouveia, 2013). Adicionalmente, a biomassa e os produtos de alto valor agregado advindos do metabolismo das microalgas e cianobactérias podem ser adotados por diversos segmentos industriais, como de produção de biocombustíveis, ração animal, nutracêuticos, cosméticos, produtos farmacêuticos e de química fina (Reis; Gouveia, 2013; Chew et al., 2017; Khan et al., 2018; Rizwan et al., 2018).

Dessa forma, devido ao elevado potencial das microalgas e cianobactérias para produção de biomassa, óleos e outros produtos, este estudo visa prospectar o tema de microalgas e cianobactérias para obtenção de informações de relevância científica, tecnológica e mercadológica.

Este estudo foi dividido em seis seções. A primeira sessão introduz a publicação e seus objetivos. A segunda apresenta o escopo da publicação. Em seguida, há a terceira seção, que apresenta a metodologia adotada. Os estudos bibliométrico e patentométrico estão na quarta seção, divididos em duas subseções. Por fim, seguem as considerações finais e as referências.

Objetivos

O objetivo geral deste estudo é identificar, por técnicas de patentometria e bibliometria, as tecnologias baseadas no uso da biomassa de microalgas e cianobactérias, no contexto mundial.

Os objetivos específicos com a elaboração deste estudo sobre microalgas e cianobactérias são:

- Identificar processos e produtos de destaque em trabalhos científicos e documentos de patentes.
- Identificar espécies de destaque em trabalhos científicos e documentos de patentes.
- Comparar dados de mercado com os dados bibliométricos e patentométricos.
- Inferir sobre espécies e produtos-alvo de ações de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação com microalgas e cianobactérias.
- Identificar países de destaque na publicação de trabalhos científicos e no depósito de patentes.
- Identificar instituições de destaque na publicação de trabalhos científicos e no depósito de patentes.

Escopo do estudo

Por demanda da Chefia-Geral e sob coordenação da Chefia-Adjunta de Transferência de Tecnologia da Embrapa Agroenergia, foi criado o grupo de trabalho Observatório de Tendências. Este grupo trabalha com base no Mapa Estratégico da Embrapa Agroenergia (Figura 1) e visa mapear e nortear ações de PD&I e delinear focos científicos e tecnológicos de alta competitividade para a atuação da Unidade. Em 2019, foi apresentada a demanda por um estudo prospectivo sobre microalgas e cianobactérias, que consiste em uma das plataformas tecnológicas do Mapa Estratégico.



Figura 1. Mapa Estratégico da Embrapa Agroenergia para o período de 2016 a 2022.

Fonte: Capdeville et al. (2017).

O estudo prospectivo foi baseado em técnicas de patentometria e bibliometria. Para sua elaboração, foram realizadas buscas de documentos de patentes e publicações científicas, visando à obtenção das informações descritas nos objetivos específicos.

Para as buscas de documentos de patentes e de publicações científicas, e por orientação da Chefia-Adjunta de Pesquisa e Desenvolvimento, microalgas e cianobactérias foram unificadas. Apesar de serem de reinos diferentes, esses seres vivos exercem funções similares na natureza e encontram-se frequentemente descritos conjuntamente em artigos e patentes selecionados ao acaso nas primeiras buscas. O termo “algas” não foi usado por incluir também as macroalgas, que são pluricelulares e não compõem o escopo deste estudo.

Métodos de pesquisa

Estratégia de busca

Para elaboração da estratégia de busca, foram selecionadas, com apoio dos pesquisadores do Laboratório de Biotecnologia de Algas (LBA), as seguintes palavras-chave: microalga, os sete principais filos de microalgas (*Chrysophyta*, *Dinophyta*, *Euglenophyta*, *Chlorophyta*, *Phaeophyta*, *Rhodophyta* e *Pyrrophyta*) e o filo *Cyanobacteria*. Caracteres curingas¹ foram usados para recuperar plurais e grafias variantes. Operador booleano “OR” foi usado para obter documentos que tenham pelo menos uma das palavras-chave.

A estratégia de busca elaborada foi a seguinte: microalga* OR c?anobacteri* OR Chrysophyt* OR Dinophyt* OR Euglenophyt* OR Chlorophyt* OR Phaeophyt* OR Rhodophyt* OR Pyrrophyt*.

Análise dos dados

O conjunto de dados e informações contido nos resumos dos documentos de patentes e de artigos científicos obtidos nas respectivas bases de dados foram salvos em arquivos *.txt. Estes arquivos foram importados, separadamente, para o software VantagePoint®, para tratamento e análise dos dados obtidos.

Publicações científicas

A base de dados *Web of Science* (WoS), da *Clarivate Analytics* (2019), foi utilizada para realizar a busca de publicações. A busca foi realizada no campo “tópico” usando as palavras-chave selecionadas e caracteres curingas, conforme Tabela 1. O escopo temporal foi de 5 anos, entre 2013 e 2017, para selecionar publicações científicas recentes que reflitam o estado da arte do tema.

Tabela 1. Estratégia de busca e quantidade de documentos recuperados

Dados	Bibliometria	Patentometria
Estratégia de busca	TÓPICO: (microalga* OR c?anobacteri* OR Chrysophyt* OR Dinophyt* OR Euglenophyt* OR Chlorophyt* OR Phaeophyt* OR Rhodophyt* OR Pyrrophyt*). Tempo estipulado: 2013-2017. Índices: SCI-EXPANDED, CPCI-S, ESCI.	TÓPICO: (microalga* OR c?anobacteri* OR Chrysophyt* OR Dinophyt* OR Euglenophyt* OR Chlorophyt* OR Phaeophyt* OR Rhodophyt* OR Pyrrophyt*). Tempo estipulado: 2013-2017. Índices: CDerwent, EDerwent, MDerwent.
Quantidade de documentos recuperados	27.642	4.274

Fontes: Derwent Innovation Index (2019) e Web of Science (2019).

A partir da análise dos dados obtidos nos artigos científicos, foram identificados os países e instituições publicadores, tipos de publicações, áreas de pesquisa, gêneros taxonômicos e espécies de microalgas e cianobactérias, processos tecnológicos e produtos obtidos, relacionados com microalgas e cianobactérias. A partir desses dados, foram avaliadas as correlações de gêneros taxonômicos e espécies com processos e produtos tecnológicos.

A representatividade da Embrapa nesse contexto foi avaliada comparativamente às instituições publicadoras nacionais e internacionais e entre suas Unidades Descentralizadas.

Documentos de patentes

A base de dados *Derwent Innovation Index* (DII), da *Clarivate Analytics* (2019), foi utilizada na busca de documentos de patente. Da mesma forma que para publicações científicas, a busca de documentos de patente foi realizada no campo “tópico” usando as palavras-chave selecionadas e caracteres curingas, conforme Tabela 1. O escopo temporal foi de 5 anos, entre 2013 e 2017.

Nos documentos de patente foram avaliados os países de prioridade, países de depósito, depositantes, códigos de classe do Derwent, classificação internacional de patentes (CIP)², gêneros taxonômicos de microalgas e cianobactérias. Quanto à CIP, a base de dados *Derwent Innovation Index* fornece os códigos ao nível de 4 dígitos e de 8 dígitos, sendo que os dois níveis (4 e 8 dígitos) foram avaliados para elaboração deste trabalho.

Os campos tecnológicos relacionados com microalgas e cianobactérias foram avaliados a partir dos dados dos códigos de classe do Derwent e dos códigos da CIP. Os códigos de classe do Derwent é um sistema de classificação adotado pela base *Derwent Innovation Index*, os quais serviram para uma avaliação dos principais campos tecnológicos encontrados nos documentos de patente. As classificações internacionais de patentes (CIP) foram utilizadas para verificar a evolução no período de 2013 a 2017, dos campos tecnológicos das tecnologias descritas nos documentos de patente. Em uma primeira análise, os principais códigos da CIP de 4 e 8 dígitos, obtidos dos registros da DII, foram apresentadas em um diagrama de bolhas.

Em um outro tratamento analítico, um procedimento de análise quantitativa dos códigos da CIP foi utilizado para identificação de sinais fracos. Esse procedimento está baseado no método adotado por Yoon (2012) de sinais fracos a partir de palavras-chave, no qual é utilizada a seguinte equação matemática:

$$DoV_{ij} = \left(\frac{FT_{ij}}{N_j} \right) \times \{1 - tw \times (n - j)\} \quad (1)$$

em que DoV_{ij} é o grau de visibilidade do código da CIP i no período j ; FT_{ij} é o número de registros do código da CIP i no período j ; N_j é o número registros de todos os códigos da CIP no período j , n é o número de períodos e tw é uma constante relacionada à velocidade de mudanças no ambiente de um determinado campo tecnológico. A constante tw possui um valor maior para ambientes com mudanças rápidas, enquanto valores próximos de zero estão relacionados com ambientes com mudanças insignificantes. Neste trabalho, foi adotado o valor de 0,05, o mesmo valor adotado por Yoon (2012) para tecnologias de células solares fotovoltaicas.

O mapa de emergência da CIP é obtido pela taxa de crescimento de DoV e a média de ocorrência no período de 2013-2017. Esse mapa é dividido em quadrantes. Dois quadrantes possuem valores positivos da taxa de crescimento, e os outros dois possuem valores negativos. O corte na ordenada é realizado no valor correspondente à média dos valores médios de ocorrência no período, dividindo as CIPs com baixas e altas contagens, identificadas como sinais fracos e fortes, respectivamente.

² A Classificação Internacional de Patentes (CIP) é um sistema de classificação do campo tecnológico relacionado com um documento de patente, servindo como uma ferramenta de busca eficaz para a recuperação desses documentos. A CIP foi instituída pelo Acordo de Estrasburgo (1971) e entrou em vigor em 1975. Os símbolos ou códigos possuem uma estrutura hierárquica para diferenciação de uma tecnologia em diversos níveis: seção, classe, subclasse, grupo e subgrupo, em ordem decrescente de hierarquia. A CIP possui 8 seções (de A até H), que correspondem a campos técnicos amplos. As seções são divididas em classes, as quais estão subdivididas em subclasses. Essas subclasses são separadas em grupos, que podem ser grupos principais ou subgrupos. O símbolo A01B 1/16 representa: seção A, classe 01, subclasse B e subgrupo 1/16.

Uma representação da análise realizada com os dados dos códigos da CIP obtidos na busca realizada, tratados pelo procedimento descrito anteriormente, é mostrada na Figura 2.

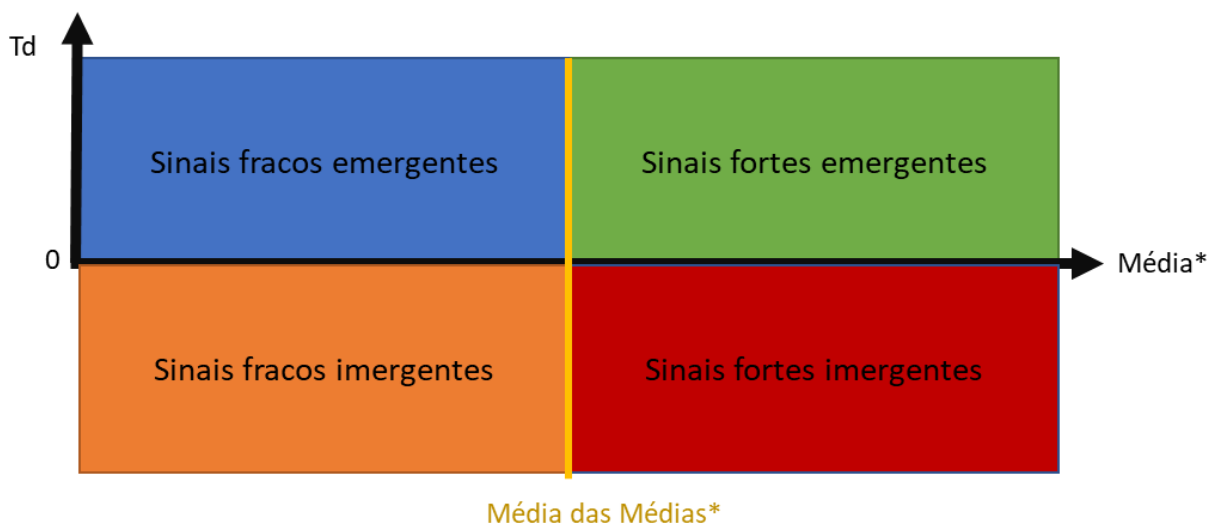


Figura 2. Representação da análise realizada com os dados dos códigos da CIP tratados matematicamente.

Fonte: Adaptado de Braga et al. (2021).

Resultados e discussão

As quantidades de documentos recuperados, considerando-se a estratégia de busca descrita na seção “Métodos de Pesquisa”, encontram-se detalhados na Tabela 1. Nas buscas foram recuperados 27.642 artigos científicos e, somente, 4.274 documentos de patente. Dessa forma, a relação patente/artigo é de 0,1546, o que suscita um baixo grau de maturidade das tecnologias desenvolvidas com microalgas e cianobactérias, conforme discutido por Quintella et al. (2011).

As próximas subseções apresentam os resultados do componente bibliométrico, patentométrico e de mercado deste estudo.

Estudo bibliométrico sobre microalgas e cianobactérias

Esta subseção apresenta os resultados do estudo bibliométrico dos documentos recuperados na busca feita na base de dados *Web of Science*. A seguir, estão apresentadas as análises dos países, das instituições publicadoras, dos gêneros taxonômicos mais citados e sua relação com áreas de pesquisa, produtos e processos. Comparou-se também a relação temporal das áreas de pesquisa e dos tipos de publicações, que permitem depreender o grau de relevância acadêmica dos documentos recuperados. Para atender à demanda do Grupo de Trabalho, realizou-se também análises comparativas entre Unidades Descentralizadas da Embrapa no escopo deste trabalho.

Países

A Figura 3 e a Figura 4 apresentam a totalidade dos países responsáveis pelas publicações científicas recuperadas. Percebe-se grande pulverização de atividades científicas com microalgas e cianobactérias em vários países.



Figura 3. Infográfico (nuvem de palavras) com totalidade dos países publicadores entre 2013 e 2017.

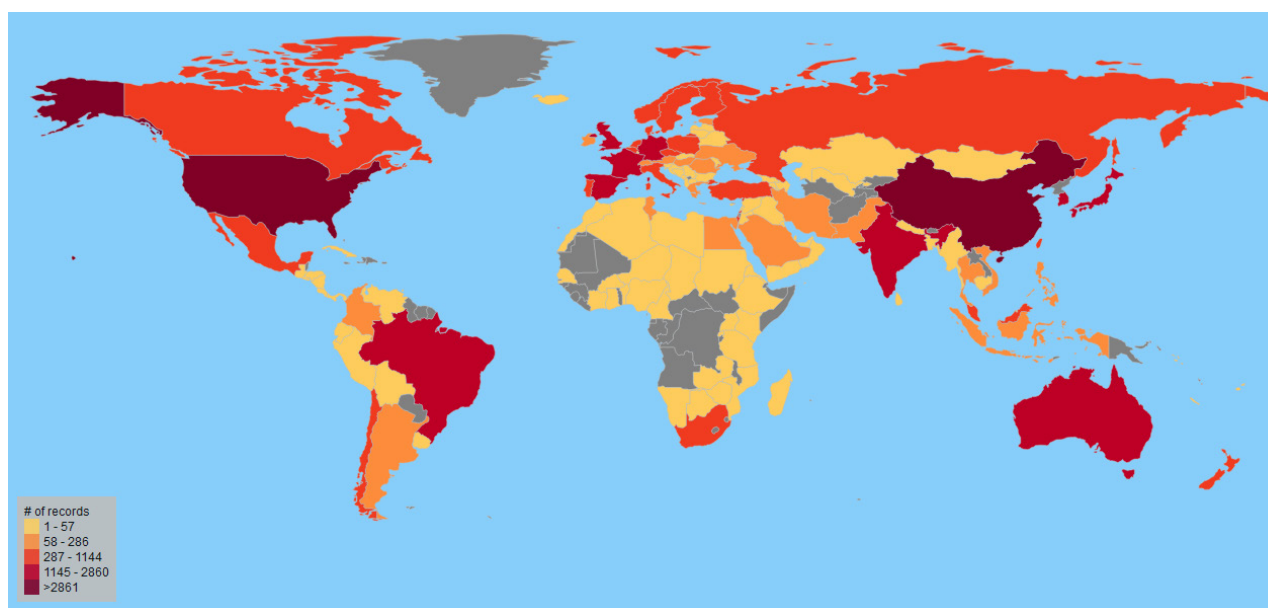


Figura 4. Mapa de distribuição de todos os países publicadores entre 2013 e 2017

A Tabela 2 apresenta, em ordem decrescente, os 20 países com maior quantidade de publicações, que concentram 78,15% do total, sendo que Estados Unidos da América e China detêm, respectivamente, 14,9% e 12,9% do quantitativo recuperado.

Tabela 2. Vinte países com maior quantidade de publicações científicas, em ordem decrescente, entre 2013 e 2017.

Classificação	# Registros	Países	%
1	5721	Estados Unidos da América	14,9
2	4964	China	12,9
3	1912	Alemanha	5,0
4	1665	Índia	4,3
5	1546	Japão	4,0
6	1513	Espanha	3,9
7	1480	França	3,9
8	1366	Reino Unido	3,6
9	1356	Austrália	3,5
10	1273	Brasil	3,3
11	1254	Coréia do Sul	3,3
12	1079	Canadá	2,8
13	1043	Itália	2,7
14	635	Rússia	1,7
15	606	Holanda	1,6
16	551	República Checa	1,4
17	528	México	1,4
18	514	Polônia	1,3
19	508	Portugal	1,3
20	491	Malásia	1,3

Instituições

Os trabalhos científicos recuperados foram publicados por 2.250 instituições diferentes, o que indica uma grande pulverização de atividades de pesquisa com microalgas e cianobactérias. Do total, 62 são instituições brasileiras, o que corresponde a 2,8%. A instituição chinesa *Chinese Academy of Sciences* é a instituição prevalente, que representa 2,9% do total.

A Tabela 3 apresenta as 30 instituições, em ordem decrescente, com maior quantidade de publicações. Estas representam 15,98% do total. Entre elas, há apenas duas instituições brasileiras: Universidade de São Paulo (6º lugar do ranking) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (30º lugar do ranking).

Tabela 3. Trinta instituições prevalentes em termos de número de publicações, em ordem decrescente, entre 2013 e 2017.

Ranking	# Registros	Instituições	País	%
1	1494	<i>Chinese Academy of Sciences</i>	China	2,9
2	779	<i>University of California</i>	EUA	1,5
3	387	<i>Russian Academy of Sciences</i>	Rússia	0,7
4	315	<i>Consejo Superior de Investigaciones Cientificas</i>	Espanha	0,6
5	292	<i>Sorbonne University</i>	França	0,6
6	279	Universidade de São Paulo	Brasil	0,5
7	255	<i>Centre National de la Recherche Scientifique</i>	França	0,5
8	250	<i>Indian Institute of Technology</i>	Índia	0,5
9	243	<i>University of Tokyo</i>	Japão	0,5
10	235	<i>Academy of Sciences of the Czech Republic</i>	República Checa	0,5
11	229	<i>Japan Science and Technology Agency</i>	Japão	0,4
12	225	<i>Wageningen University</i>	Holanda	0,4
13	214	<i>Council of Scientific and Industrial Research</i>	Índia	0,4
14	214	<i>Ocean University of China</i>	China	0,4
15	209	Universidade do Porto	Portugal	0,4
16	208	<i>Korea Advanced Institute of Science and Technology</i>	Coreia do Sul	0,4
17	206	<i>Max Planck Gesellschaft</i>	Alemanha	0,4
18	202	<i>Texas A&M University</i>	EUA	0,4
19	195	<i>University South Bohemia Ceske Budejovice</i>	República Checa	0,4
20	193	<i>Ghent University</i>	Bélgica	0,4
21	183	<i>National Cheng Kung University</i>	Taiwan	0,4
22	182	<i>Consiglio Nazionale dell Ricerche</i>	Itália	0,4
23	181	<i>Washington University</i>	EUA	0,4
24	178	<i>Leibniz Gemeinschaft</i>	Alemanha	0,3
25	170	<i>Arizona State University</i>	EUA	0,3
26	170	<i>Natural History Museum</i>	Reino Unido	0,3
27	170	<i>Tokyo Institute of Technology</i>	Japão	0,3
28	168	<i>Helmholtz Gemeinschaft</i>	Alemanha	0,3
29	168	<i>Universidad Nacional Autonoma de Mexico</i>	México	0,3
30	166	Universidade Federal do Rio de Janeiro	Brasil	0,3

A Tabela 4 apresenta as instituições brasileiras que publicaram trabalhos científicos com microalgas e cianobactérias, com representatividade mundial de até 0,1%. Nota-se ausência de empresas privadas e presença maciça de Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação (ICTs)³, nas quais incluem-se a Embrapa. Abaixo do valor de corte, há outras 42 instituições como o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), o Instituto Butantan, o Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e o Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), a Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, a Fundação Zoobotânica do Rio Grande Sul e a Companhia de Água e Esgoto do Ceará. Há

³ Conceito apresentado pela Lei nº 10.973/2004 (Brasil, 2004).

também duas universidades privadas: Universidade Luterana do Brasil (Ulbra) e Universidade do Sul de Santa Catarina (Unisul).

Tabela 4. Classificação das instituições brasileiras que mais publicaram no tema microalgas e cianobactérias entre 2013 e 2017, extraída da classificação mundial.

Mundo	Brasil	# Registros	Instituições Brasileiras	%
6	1	279	Universidade de São Paulo (USP)	0,5
30	2	166	Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)	0,3
42	3	135	Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)	0,3
69	4	107	Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG)	0,2
110	5	88	Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho (UNESP)	0,2
139	6	75	Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)	0,1
182	7	63	Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)	0,1
212	8	57	Universidade Federal do Paraná (UFPR)	0,1
219	9	56	Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR)	0,1
262	10	50	Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)	0,1
332	11	42	Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)	0,1
339	12	41	Universidade Federal da Bahia (UFBA)	0,1
349	13	39	Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro	0,1
391	14	35	Universidade Federal Fluminense (UFF)	0,1
401	15	34	Universidade Federal da Paraíba (UFPB)	0,1
423	16	33	Universidade Federal do Ceará (UFC)	0,1
425	17	32	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)	0,1
457	18	31	Universidade do Estado do Rio De Janeiro (UERJ)	0,1
465	19	30	Universidade Federal de Viçosa (UFV)	0,1
573	20	24	Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)	0,1
574	21	24	Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)	0,1

A Figura 5 apresenta o mapa de autocorrelação entre as instituições brasileiras, com destaque para a Embrapa, em vermelho. A instituição com maior quantidade de interações é a USP. Percebe-se também interações entre instituições da mesma Unidade da Federação ou mesma região ou bioma, como UFPB/UEPB, UFMA/UFPA e UFMG/UFOP/UFSJ/UFU/UFV. As interações com mais relevância são Unicamp/UFSM e UFPB/UEPB.



Figura 5. Mapa de autocorrelação entre instituições brasileiras entre 2013 e 2017, com destaque em vermelho à Embrapa.

De forma geral, nota-se baixa interação entre todas as instituições. Há também muitas instituições isoladas, o que denota baixa quantidade de parcerias nacionais no desenvolvimento científico com microalgas e cianobactérias. Entre as instituições brasileiras, 14 Unidades Descentralizadas (UDs) que publicaram 38 documentos científicos. Essas UD foram unificadas em um único perfil da Embrapa na Figura 5. A Figura 6 apresenta graficamente a porcentagem de cada UD.

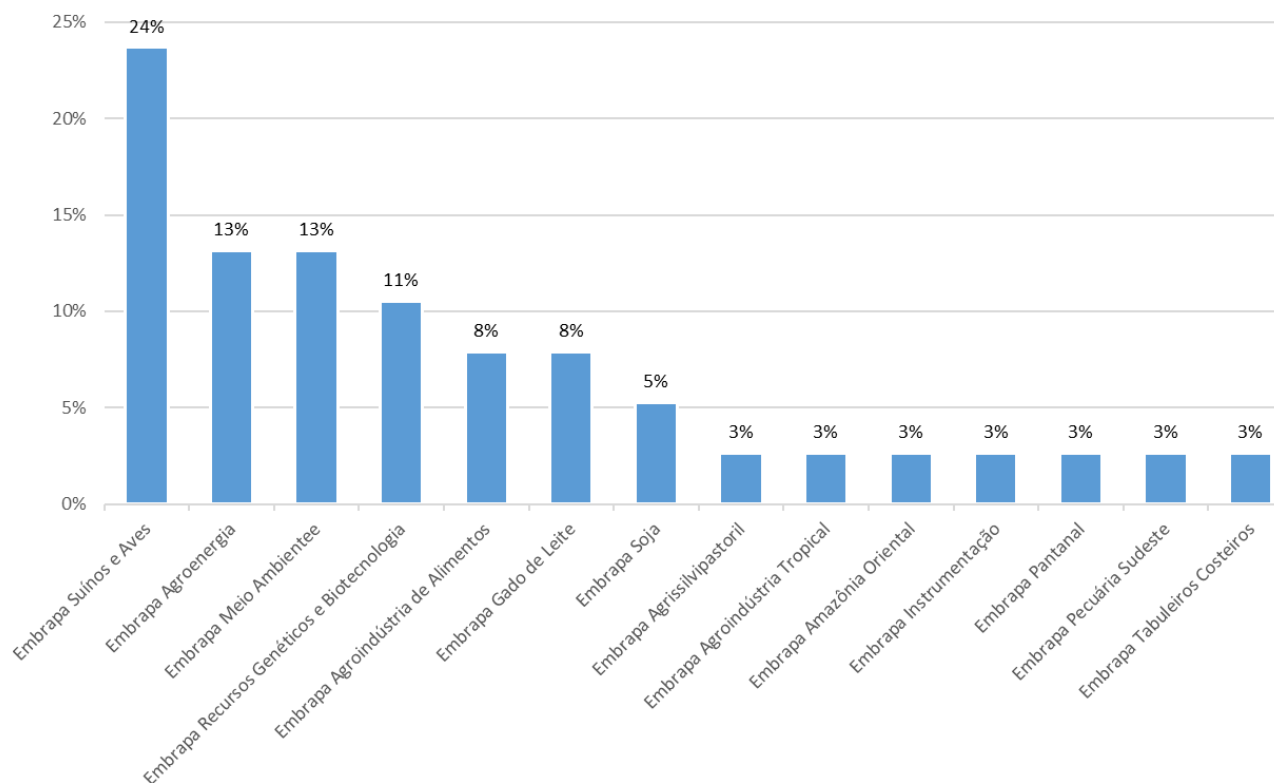


Figura 6. Proporcionalidade de cada Unidade Descentralizada entre os documentos recuperados.

Camargo et al. (2017) esclarecem que colaborações em atividades científicas melhoram a comunicação entre grupos científicos e tecnológicos ao permitirem o intercâmbio de competências e facilitarem a produção de novos conhecimentos. A coautoria em publicações científicas é uma forma de mensurar a existência e a dimensão de parcerias. Baseado nas palavras de Camargo et al. (2017), conclui-se, a partir dos documentos recuperados, que há baixa interação entre grupos de pesquisa e pulverização de atividades científicas nacionais, inclusive entre Unidades Descentralizadas da Embrapa.

Áreas de pesquisa

Segundo Clarivate Analytics (2019), responsável pelas bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovation Index*, as áreas de pesquisa são termos que possibilitam a indexação de documentos presentes em suas bases de dados e categorizados em cinco grandes áreas científicas: Artes e Humanidades; Ciências da Vida e Biomedicina; Ciências Físicas; Ciências Sociais e Tecnologia.

As áreas de pesquisa foram elencadas dos documentos recuperados, por serem informações transversais aos produtos, processos e gêneros taxonômicos descritos nos trabalhos. Com isso, permitiu melhor compreensão dos dados analisados e melhor contextualização dos dados recuperados.

A Figura 7 apresenta a nuvem de palavras das áreas de pesquisa das publicações recuperadas. Percebe-se pulverização de atividades em quase todas as categorias da Clarivate Analytics (2019), exceto Artes e Humanidades, para a qual não houve menção sobre pesquisa com microalgas e cianobactérias.



Figura 7. Infográfico (nuvem de palavras) de áreas de pesquisa com microalgas e cianobactérias entre 2013 e 2017.

A Tabela 5 apresenta, em ordem decrescente, as áreas de pesquisa mais prevalentes na busca realizada. Para melhor análise, restringiu-se a análise nas dez áreas mais prevalentes e que representam 80,1% do total. Percebe-se maior concentração em Biotecnologia e Microbiologia Aplicada (16,3%), Biologia Marinha e de Água Doce (12,6%) e Ciências Ambientais e Ecologia (10,9%).

Tabela 5. Áreas de Pesquisa das publicações científicas recuperadas no tema microalgas e cianobactérias, em ordem decrescente, entre 2013 e 2017.

Ranking	# Registros	Áreas de Pesquisa	%
1	7.314	Biotecnologia e Microbiologia Aplicada	16,3
2	5.644	Biologia Marinha e de Água Doce	12,6
3	4.897	Ciências Ambientais e Ecologia	10,9
4	3.139	Engenharia	7,0
5	3.035	Botânica	6,8
6	3.013	Energia e Combustíveis	6,7
7	2.342	Química	5,2
8	2.331	Ciência e Tecnologia – Outros Tópicos	5,2
9	2.140	Bioquímica e Biologia Molecular	4,8
10	2.042	Biologia	4,6

A Figura 8 apresenta o gráfico em bolhas de tendência de evolução de publicações científicas em cada ano do escopo temporal em análise (2013 a 2017) nas dez áreas mais prevalentes. O gráfico de bolhas é uma representação gráfica de coocorrência de duas variáveis, cujo tamanho de cada bolha representa a quantidade de documentos em cada cruzamento (Sánchez de la Guía et al., 2017; Castor et al., 2020). Por esse conceito, percebe-se na Figura 8 que nenhuma das áreas apresentou oscilações significativas no período analisado.



Figura 8. Gráfico de bolhas de tendência de aumento de quantidade de publicações técnico-científicas por ano, entre 2013 e 2017.

A Figura 9 apresenta um gráfico de colunas da quantidade de publicações no período avaliado para cada área de pesquisa recuperada. Todas as áreas apresentaram aumento de publicações no escopo temporal de 2013 a 2017, com exceção de Botânica, que apresentou queda de 4,3%. “Bioquímica e Biologia Molecular” e “Biologia Marinha e de Água Doce” apresentam aumento discreto, de 3,1% e 5,4%, respectivamente. Em sentido contrário, “Ciência e Tecnologia – Outros Tópicos” teve aumento de 69,6%, o que pode remeter a um aumento da produção relacionada a contextos multidisciplinares.

A Tabela 6 apresenta, em ordem decrescente, os 20 gêneros taxonômicos com maior quantidade de publicações, que concentram 77,8% do total. Desses, os gêneros *Chlorella* spp. e *Microcystis* spp. detêm, respectivamente, 17,6% e 9,8% do quantitativo recuperado.

Tabela 6. Vinte gêneros taxonômicos com maior quantidade de publicações científicas, em ordem decrescente, entre 2013 e 2017.

Classificação	# Registros	Gêneros taxonômicos	%
1	1055	<i>Chlorella</i> spp.	17,6
2	588	<i>Microcystis</i> spp.	9,8
3	351	<i>Chlamydomonas</i> spp.	5,9
4	339	<i>Spirulina</i> spp.	5,7
5	326	<i>Scenedesmus</i> spp.	5,4
6	317	<i>Nannochloropsis</i> spp.	5,3
7	290	<i>Synechocystis</i> spp.	4,8
8	193	<i>Synechococcus</i> spp.	3,2
9	187	<i>Anabaena</i> spp.	3,1
10	179	<i>Dunaliella</i> spp.	3,0
11	171	<i>Nostoc</i> spp.	2,9
12	97	<i>Phaeodactylum</i> spp.	1,6
13	92	<i>Haematococcus</i> spp.	1,5
14	88	<i>Botryococcus</i> spp.	1,5
15	85	<i>Tetraselmis</i> spp.	1,4
16	79	<i>Cylindropermopsis</i> spp.	1,3
17	78	<i>Isochrysis</i> spp.	1,3
18	53	<i>Planktothrix</i> spp.	0,9
19	51	<i>Desmodesmus</i> spp.	0,9
20	48	<i>Alexandrium</i> spp.	0,8

Processos tecnológicos que utilizam microalgas e cianobactérias

Nesta subseção, avaliaram-se os processos industriais que utilizam microalgas e cianobactérias. A Tabela 7 apresenta, em ordem decrescente, os dez processos mais citados nas publicações científicas recuperadas, que representam 84,03% do total.

Weis (2018) conceitua fitorremediação como uso de microalgas e macroalgas no tratamento de efluentes industriais, com a remoção ou biotransformação de nutrientes em produtos de alto valor agregado como biomassa para uso como fertilizante, como nitrogênio e fósforo contidos no efluente. A autora esclarece que a fitorremediação envolve também sequestro de CO₂ e indicador de presença de compostos tóxicos em um ambiente aquático, proporcionando um caráter “ecologicamente amigável” a esse processo.

Tabela 7. Dez processos que utilizam microalgas e cianobactérias com maior quantidade de publicações científicas, em ordem decrescente, entre 2013 e 2017

Classificação	# Registros	Processos	%
1	2094	Ficorremediação	27,6
2	1923	Aquicultura	25,4
3	532	Biotecnologia	7,0
4	473	Mitigação de CO ₂	6,2
5	326	Salinidade	4,3
6	223	Processos hidrotermais	2,9
7	217	Pirólise	2,9
8	209	Transesterificação	2,8
9	198	Biossíntese	2,6
10	179	Processos nutricionais	2,4

Percebe-se grande prevalência dos processos de tratamento de efluentes, com uso de algas em ficorremediação e em aquicultura (produção de espécies aquáticas), ligados à área de pesquisa “Ciências Ambientais e Ecologia” citada anteriormente. Tal fato reforça o uso dos seres vivos em análise em processos ambientais, como tratamento de águas contaminadas ou efluentes industriais. Nesse sentido, os processos de biotecnologia e de mitigação de CO₂ da atmosfera também estão inseridos.

Albagli (1998) conceitua a biotecnologia como qualquer técnica que utilize organismos vivos, incluindo suas partes, no desenvolvimento de produtos e processos. Tais técnicas incluem alteração do genoma para fins comerciais diversos, como o desenvolvimento de biofábricas de substâncias de alto valor agregado, exemplificado por Chies (2014). Esta matéria jornalística apresenta uma pesquisa da Embrapa Agroenergia na transformação genética de microalgas para produção de enzimas betaglicosidasas, que podem ser usadas na produção de etanol lignocelulósico. A vantagem é a propriedade que as microalgas têm de fazer fotossíntese e de necessitar de gás carbônico. Este, por sua vez, pode vir de captação de queima de combustíveis e retroalimentar o sistema, promovendo a mitigação do seu efeito nocivo ao meio ambiente.

Produtos obtidos a partir de microalgas e cianobactérias

A Tabela 8 apresenta, em ordem decrescente, os 20 produtos obtidos a partir de microalgas e cianobactérias mais citados nas publicações científicas recuperadas, que representam 91,69% do total. Há grande diversidade de produtos a partir de microalgas e cianobactérias. Percebe-se foco importante em lipídeos (13,5%), bem como em biocombustíveis, principalmente, biodiesel (8,8%), que utiliza lipídeos como matéria-prima. Biocombustíveis a partir de microalgas têm o potencial de serem produzidos com menor pegada de carbono, sem competir com produtos para fins alimentícios por insumos de água, terra e nutrientes, com características ecológicas e renováveis (Mandal; Mallick, 2012; Archambault et al., 2014).

Tabela 8. Vinte produtos, em ordem decrescente, obtidos a partir de microalgas e cianobactérias mais citados nos documentos recuperados, entre 2013 e 2017

Classificação	# Registros	Produto	%
1	1689	Lipídeos	13,5
2	1315	Toxinas	10,5
3	1120	Bioenergia	8,9
4	1114	Biomassa	8,9
5	1096	Biodiesel	8,8
6	953	Ácidos Graxos	7,6
7	883	Nutrientes	7,0
8	459	Carotenoides	3,7
9	414	Enzimas	3,3
10	393	Carboidratos	3,1
11	303	Pigmentos	2,4
12	273	Biofilme	2,2
13	216	Bio-hidrogênio	1,7
14	214	Proteínas	1,7
15	206	Aminoácidos	1,6
16	205	Medicamentos	1,6
17	195	Nanopartículas magnéticas	1,6
18	165	Biogás	1,3
19	153	Bioetanol	1,2
20	137	Bio-óleo	1,1

Mandal e Mallick (2012) indicam como gargalo no uso das microalgas para produção de biocombustíveis, o aumento de escala de cultivo em tanques com mecanização para mistura de grandes volumes com diminuição do tempo de cultivo, que acarretaria aumento de biomassa em relação ao rendimento de lipídeos.

Muitas publicações científicas recuperadas remetem à produção de toxinas a partir de infestação de algumas espécies de microalgas e cianobactérias diante de alterações ambientais, como descarga de matéria orgânica em águas fluviais e oceânicas.

Segundo Fonseca (2016), as toxinas são mecanismos de defesa das microalgas frente a um predador ou condição ambiental desfavorável. Naves (2008) apresentou que as toxinas são metabólitos secundários de microalgas e cianobactérias, com atividade biológica altamente específica e alvo de pesquisas científicas há algumas décadas. Tais substâncias, também chamadas de ficotoxinas, representam um conjunto de moléculas bioativas de grande potencial biotecnológico e com atividades biológicas como antineoplásica (inibição do desenvolvimento de células cancerígenas), antimicrobiana, antifúngica e imunossupressora (Oilgae, 2018).

São atribuídas às cianobactérias a maior parte dos casos de intoxicações com ficotoxinas, seja pelo consumo direto de água contaminada, seja pelo consumo de peixes e moluscos produzidos em áreas afetadas. Microcistinas representam um tipo de ficotoxina e são de uma família de substân-

cias hepatotóxicas que são liberadas em condições ambientais desfavoráveis, como ecossistemas aquáticos eutrofizados (Leal; Soares, 2004) e apresentam um DL_{50} de 50µg/kg (Perez, 2008).

Microalgas dinoflageladas (divisão *Dinophyta*) também produzem ficotoxinas, com ações neurotóxicas, como a brevetoxina e o ácido domoico, e hepatotóxicas, como a ciguatoxina. Há outras como o ácido ocadaico, que provoca diarreia e com indícios de promover a formação de tumores intestinais, e a saxitoxina, que tem ação neurotóxica ao bloquear canais de sódio e impedir a contração muscular (Bobeda et al., 2016; Oliver; Ribeiro, 2020).

O acesso direto dessas toxinas à corrente sanguínea pode ser fatal, como ocorreu numa clínica de hemodiálise na cidade pernambucana de Caruaru em 1996. Por isso, deve-se evitar o crescimento das cianobactérias que produzem essas ficotoxinas em reservatórios de água para abastecimento público, ou usados para criação de peixes, além da remoção dessas ficotoxinas em estações de tratamento de água (Viana-Veronezi et al., 2009; Bobeda et al., 2016; Khan et al., 2018). O comunicado de Oliver e Ribeiro (2020) suscitou a presença de saxitoxinas, tipo de ficotoxina com ação neurotóxica, na água e o agravamento de quadros clínicos de microcefalia provocadas síndrome congênita do zika. Tal fato se deve à semelhança de condições climáticas que favorecem a proliferação e dispersão dos mosquitos *Aedes aegypti* e da ocorrência do crescimento desordenado de cianobactérias.

Há estudos que apresentam processos de remoção de ficotoxinas a exemplo de Viana-Veronezi et al. (2009), que relatam o uso de técnicas de adsorção com carvão ativado em pó (CAP) e de pós-oxidação com hipoclorito de cálcio para remoção de saxitoxinas, que são toxinas produzidas por cianobactérias dos gêneros taxonômicos *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Lyngbya* e *Cylindrospermopsis*.

Por sua vez, Naves (2008) descreveu estudos de aplicação de toxinas como o uso do ácido ocadaico como modelo para avaliação de efeitos terapêuticos de medicamentos antipsicóticos e em estudos para desenvolvimento de medicamentos antineoplásicos por ter ação inibidora da proteína fosfatase 2A. A autora citou também o uso de pectenotoxina como agente quimioterápico e a maitotoxina como estimulante de secreção de hormônio GH (hormônio do crescimento). Khan et al. (2018) mencionam a existência de estudos em andamento que usam a microcistina no tratamento de neoplasias.

Corbel et al. (2015) descreveram a eficiência de baixas concentrações de microcistinas, produzidas pela cianobactéria *Microcystis aeruginosa*, no desenvolvimento de raízes primárias das variedades comerciais MicroTom e Saint-Pierre de tomate (*Solanum lycopersicum*) e de alface (*Lactuca sativa*), em cultivo hidropônico. Em cultivo em solo, concentração de 0-0,1mcg de microcistinas promoveu aumento do peso seco da parte aérea da variedade MicroTom de tomate.

Relação entre processos e gêneros taxonômicos em trabalhos científicos com microalgas e cianobactérias

A Figura 11 mostra a correlação entre gêneros taxonômicos e espécies de microalgas e cianobactérias e os processos que as utilizam. Em virtude da grande quantidade de dados, usaram-se os 10 gêneros taxonômicos mais citados (Tabela 6). O gênero *Chlorella* spp. mostra-se numericamente relevante para todos os processos, com maior quantidade de documentos recuperados em fitorremediação e aquicultura. É possível perceber correlação entre esses dois processos, que podem ser desenvolvidos de forma concomitante. Os gêneros *Chlamydomonas* spp., *Spirulina* spp., *Scenedesmus* spp., *Nannochloropsis* spp. e *Dunaliella* spp. apresentam relevância em aquicultura, para uso em ração animal, por exemplo.

Associando os resultados apresentados na Tabela 8 com a Tabela 6, suscita-se que a quantidade de documentos científicos que apresentam toxinas de microalgas e cianobactérias está relacionada com cianobactérias do gênero *Microcystis* spp. e seu crescimento exacerbado em corpos d'água eutrofizados, como mecanismo de defesa a condições ambientais desfavoráveis como intensidade de luz, mudanças de temperatura e pH da água e presença de nutrientes como carbono, nitrogênio e fósforo (Khan et al., 2018).

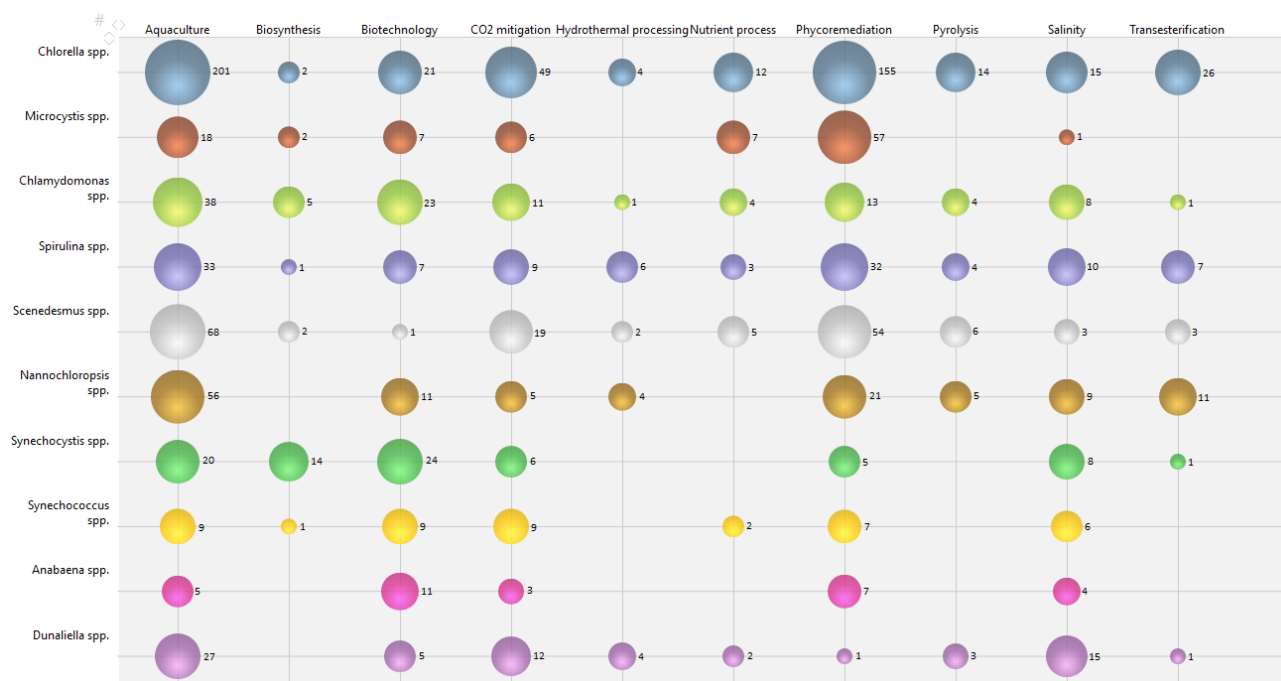


Figura 11. Matriz de correlação tridimensional entre processos e gêneros taxonômicos de microalgas e cianobactérias utilizados.

Relação entre produtos e gêneros taxonômicos em trabalhos científicos com microalgas e cianobactérias

Para fazer a correlação entre produtos e gêneros taxonômicos de microalgas e cianobactérias utilizados, e em virtude da grande quantidade de dados, usaram-se os 10 itens mais citados de ambos os critérios (gêneros taxonômicos: Tabela 6; produtos: Tabela 8) para construção da Figura 12. Pode ser observado que o gênero *Chlorella* spp. apresenta importante incidência no desenvolvimento de biocombustíveis, como biodiesel, biomassa e lipídeos, o que remete a atividades científicas na cadeia produtiva de biocombustíveis em toda sua extensão. Já *Microcystis* spp. mostra-se relevante por causa das toxinas produzidas, particularmente no desenvolvimento de métodos de remoção de microcistina de corpos d'água, já que métodos convencionais de tratamento de água como filtragem não são eficientes na remoção completa das cianobactérias e seus metabólitos tóxicos (Mondardo, 2009; Almeida et al., 2016; Noronha, 2020).

Os gêneros taxonômicos *Chlamydomonas* spp., *Scenedesmus* spp. e *Nannochloropsis* spp. apresentam relevância na obtenção de lipídeos, de aproveitamento industrial na cadeia de biodiesel.

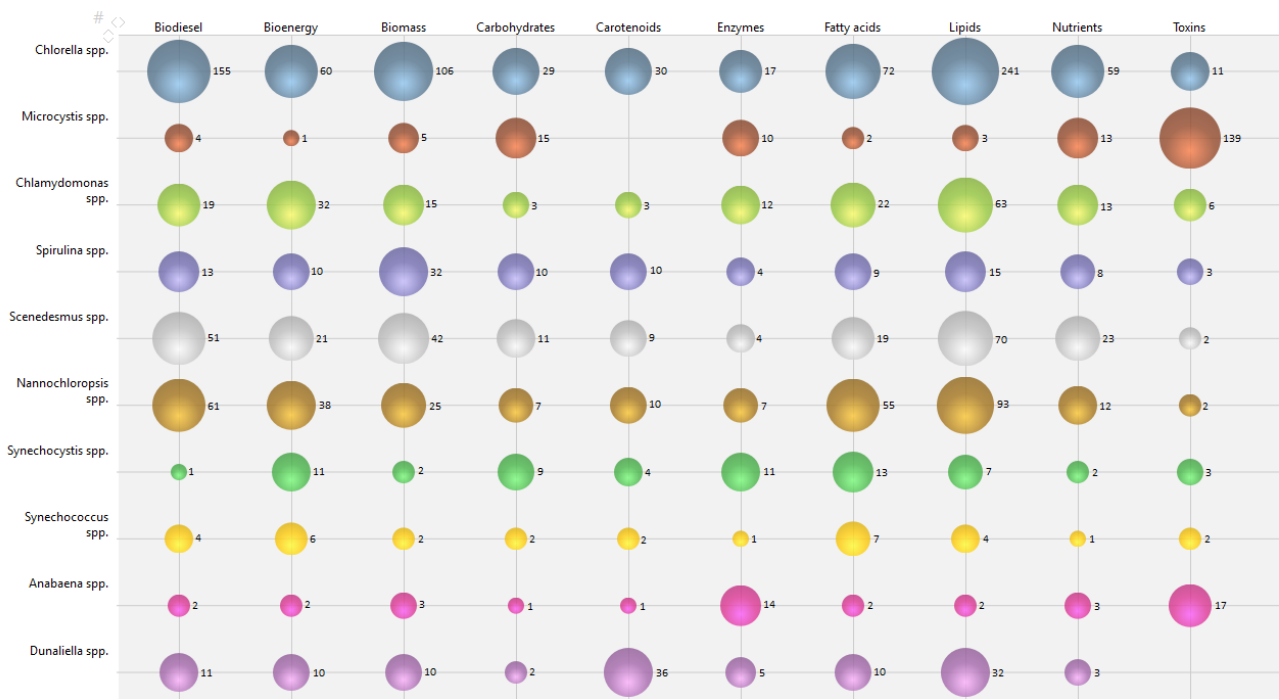


Figura 12. Matriz de correlação de produtos e gêneros taxonômicos de microalgas e cianobactérias.

Tipos de publicações de trabalhos com microalgas e cianobactérias

A Tabela 9 apresenta os tipos de publicações entre as que foram recuperadas. Há grande predominância de artigos publicados em periódicos indexados (85,7%), o que mostra alta relevância científica e densidade metodológica no desenvolvimento das pesquisas que resultaram nos documentos recuperados.

Tabela 9. Ranqueamento, em ordem decrescente, de tipos de publicações recuperadas sobre trabalhos com microalgas e cianobactérias, entre 2013 e 2017.

Classificação	# Registros	Tipo de publicação	%
1	23689	Artigos em periódicos	85,7
2	1714	Artigos de revisão	6,2
3	1306	Artigos em anais de congressos	4,7
4	551	Resumos em anais de congressos	2,0
5	236	Capítulos de livro	0,9
6	89	Errata em publicações	0,3
7	25	Notícias	0,1
8	23	Cartas	0,1
9	6	Itens biográficos	0,02%

Entre os 85,7% dos documentos recuperados que foram publicados em periódicos, a Tabela 10 apresenta, em ordem decrescente, os 20 periódicos com maior quantidade de documentos recuperados, que representam 26,5% do total das 27.356 publicações. Segundo Medeiros e Vitoriano (2015), periódicos representam um canal formal de registro de produção intelectual que são fonte de avaliação por meio de indicadores de citação, de autoria e de acesso, que também contemplam indicadores como fatores de impacto e quantidade de citações (índice H).

Tabela 10. Periódicos mais incidentes, em ordem decrescente, entre 2013 e 2017.

Classificação	# Registros	Título	%
1	1394	Bioresource Technology	5,1
2	908	Journal of Applied Phycology	3,3
3	831	Algal Research	3,0
4	645	Plos One	2,4
5	334	Phycologia (Oxford)	1,2
6	315	Frontiers in Microbiology (Online)	1,2
7	314	Scientific Reports	1,2
8	271	Journal of Phycology	1,0
9	265	Environmental Science and Pollution Research International	1,0
10	221	Marine Drugs	0,8
11	208	Harmful Algae	0,8
12	203	European Journal of Phycology	0,7
13	196	Water Research	0,7
14	187	Photosynthesis Research	0,7
15	165	Hydrobiologia	0,6
16	161	Science of the Total Environment	0,6
17	159	Biotechnology for Biofuels	0,6
18	157	Environmental Science & Technology	0,6
19	155	Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America	0,6
20	152	Applied Microbiology and Biotechnology	0,6

A Figura 13 apresenta a correlação entre as áreas de pesquisa listadas na Tabela 5 e os documentos publicados pela Embrapa. Percebe-se concentração em Biotecnologia e Microbiologia Aplicada e, em menor quantidade, em Bioquímica e Biologia Molecular. Ambas são áreas nas quais há equipes sólidas nas Unidades Descentralizadas da Embrapa. A área “Biologia Marinha e de Água Doce” também se mostra relevante.

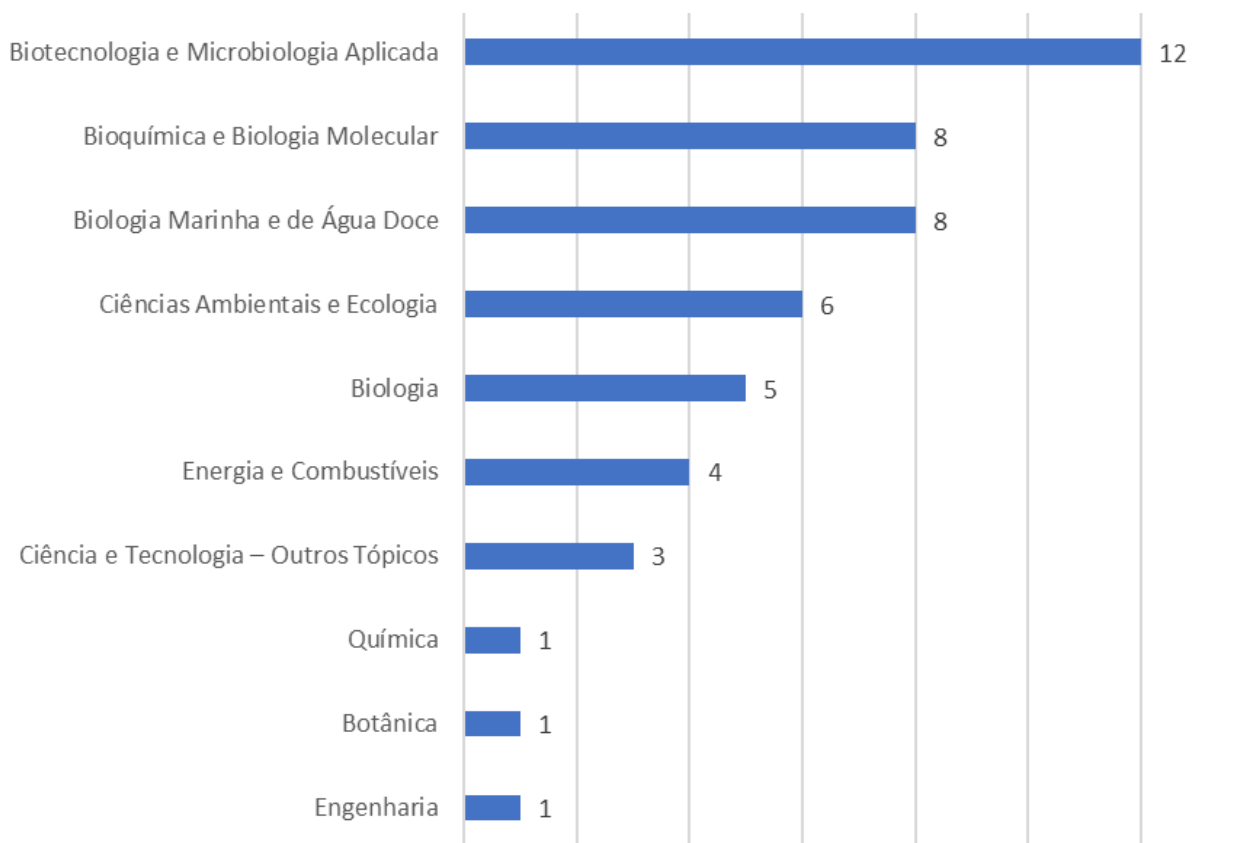


Figura 13. Áreas de pesquisa dos documentos recuperados que foram publicados pela Embrapa entre 2013 e 2017

A Figura 14 apresenta os gêneros taxonômicos relacionados nos documentos científicos publicados pela Embrapa, listados na Tabela 6. Nota-se grande foco em *Chlorella* spp. e ações pontuais com *Chlamydomonas* spp., *Microcystis* spp. e *Nannochloropsis* spp.

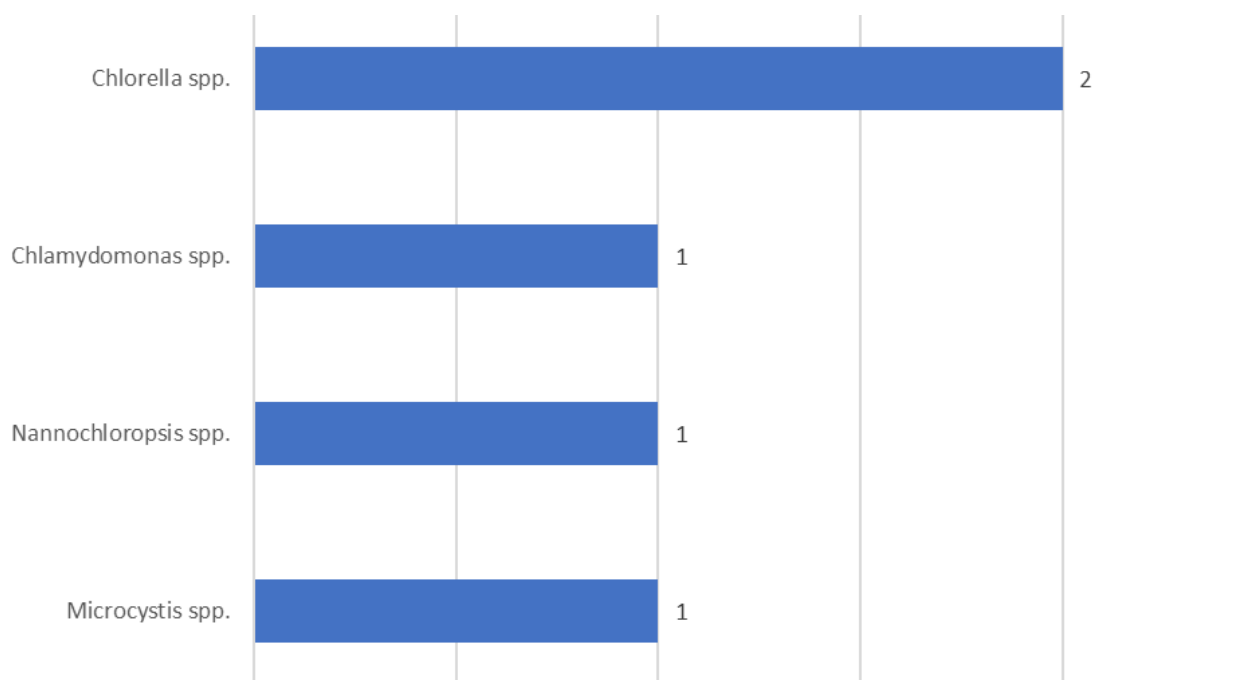


Figura 14. Gêneros taxonômicos citados nos documentos recuperados que foram publicados pela Embrapa entre 2013 e 2017.

A Figura 15 apresenta correlação entre publicações científicas da Embrapa e os processos listados na Tabela 7. Há grande concentração de documentos que apresentam resultados em fitorremediação e, em menor grau, em aquicultura. Há um documento relacionado a biotecnologia e mitigação de CO₂ que conflui com o cultivo de microalgas e cianobactérias para aproveitamento de águas residuais.

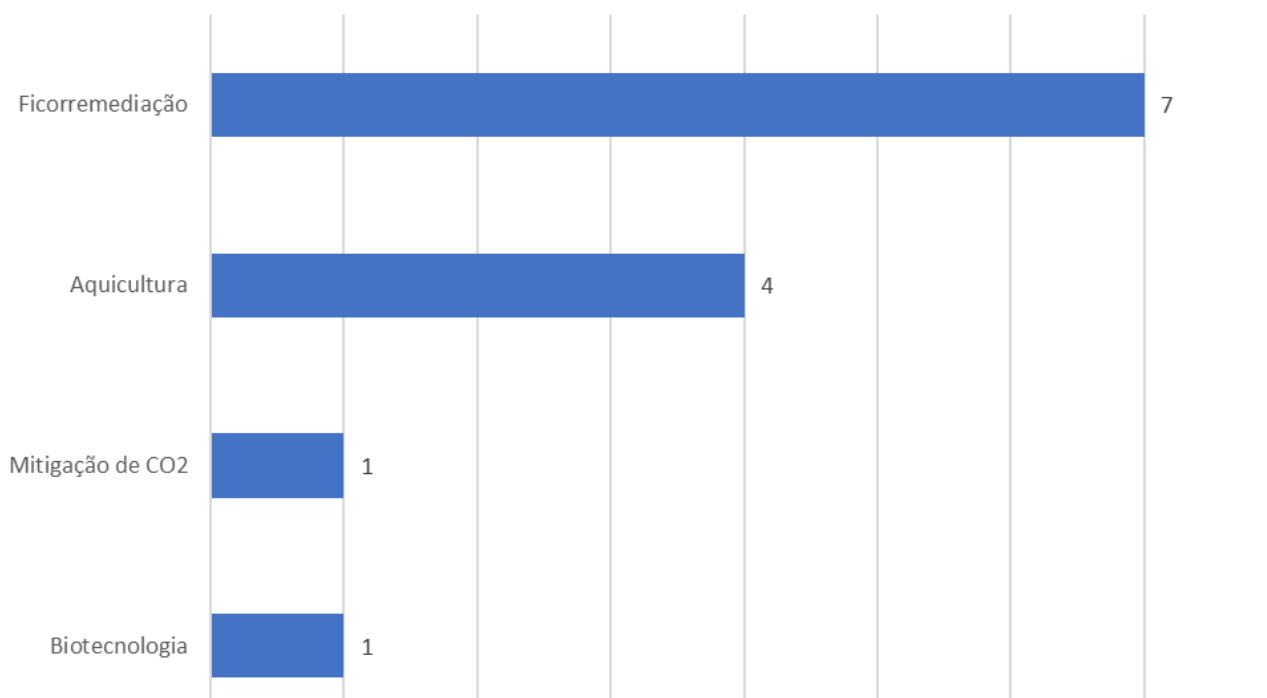


Figura 15. Processos que envolvem microalgas e cianobactérias citados nos documentos recuperados que foram publicados pela Embrapa entre 2013 e 2017

A Figura 16 apresenta correlação entre publicações científicas da Embrapa e os produtos listados na Tabela 8. A maior parte dos documentos recuperados descrevem atividades de PD&I com lipídeos e toxinas, com documentos pontuais com bioenergia, biomassa, ácidos graxos, carotenoides, enzimas e carboidratos.

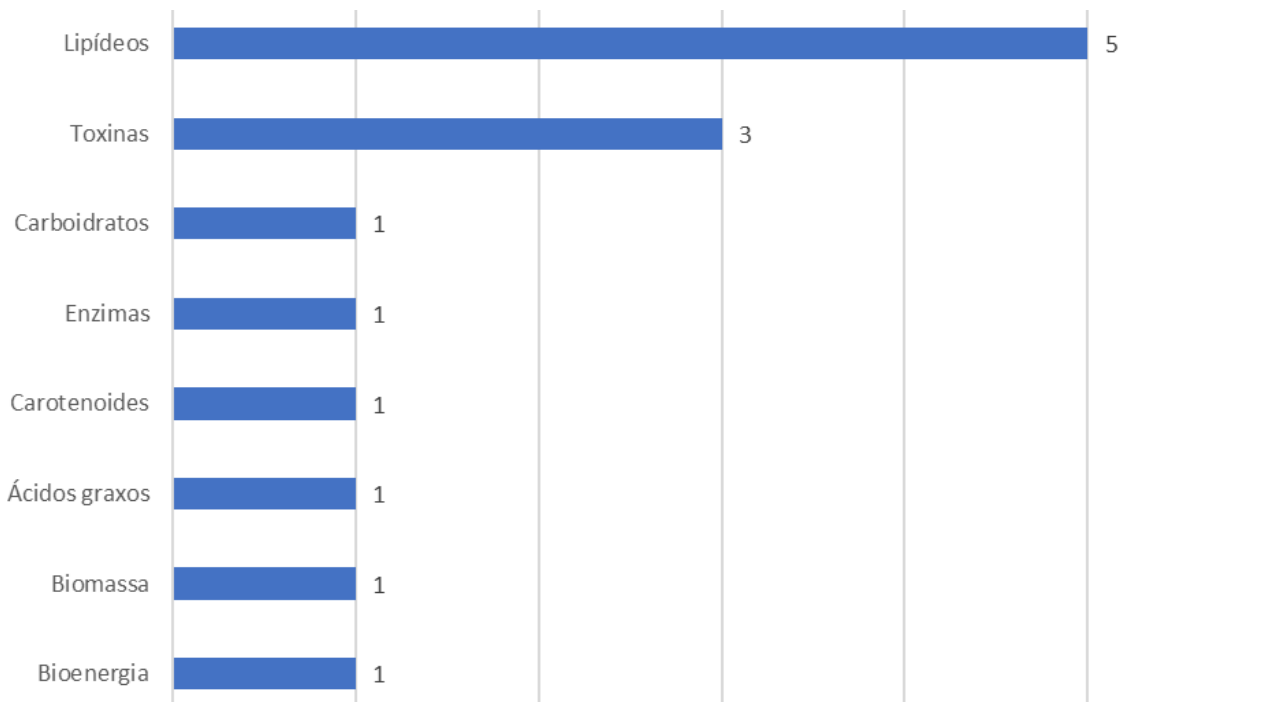


Figura 16. Produtos provenientes de microalgas e cianobactérias nos documentos recuperados que foram publicados pela Embrapa entre 2013 e 2017.

Estudo patentométrico sobre microalgas e cianobactérias

Esta subseção apresenta os resultados do estudo patentométrico sobre microalgas e cianobactérias. Neste estudo foi realizada uma busca de patentes relacionadas com o tema, na base de dados *Derwent Innovation Index*, para o período de 2013 a 2017. Os registros obtidos foram analisados conforme descrito no item 3, Método de Pesquisa. A partir da análise realizada, as seguintes informações foram obtidas: os principais países em que estão sendo depositados pedidos de patentes, as principais instituições depositantes de pedidos de patentes, os campos tecnológicos, os gêneros taxonômicos de microalgas e cianobactérias de maior ocorrência nos documentos de patentes e, por último, as patentes sobre microalgas e cianobactérias no Brasil.

Países

Os países de prioridade de depósito de pedidos de patentes relacionados com microalgas e cianobactérias são os países/regiões nos quais foi realizado o primeiro depósito do pedido de patente da tecnologia. Além dos pedidos de patentes depositados nos órgãos responsáveis dos países, os dados apresentados também incluem pedidos de patentes depositados no Instituto Europeu de Patentes (*European Patent Office – EPO*), que concede patentes para os estados membros da Organização Europeia de Patentes.

O país de prioridade possui relação com o país no qual a tecnologia foi desenvolvida. Os resultados obtidos no presente estudo, para o período 2013 a 2017, são apresentados na Figura 17. Os principais países são China (CN), empatados em segundo lugar estão Coreia do Sul (KR) e Estados Unidos (US), e em seguida, Japão (JP), Canadá (CA), França (FR), Europa (EP), Brasil (BR), Rússia (RU) e Índia (IN). Dessa forma, o desenvolvimento das tecnologias relacionadas com microalgas e cianobactérias está ocorrendo nesses países, que são países desenvolvidos e países-membros do BRICS.

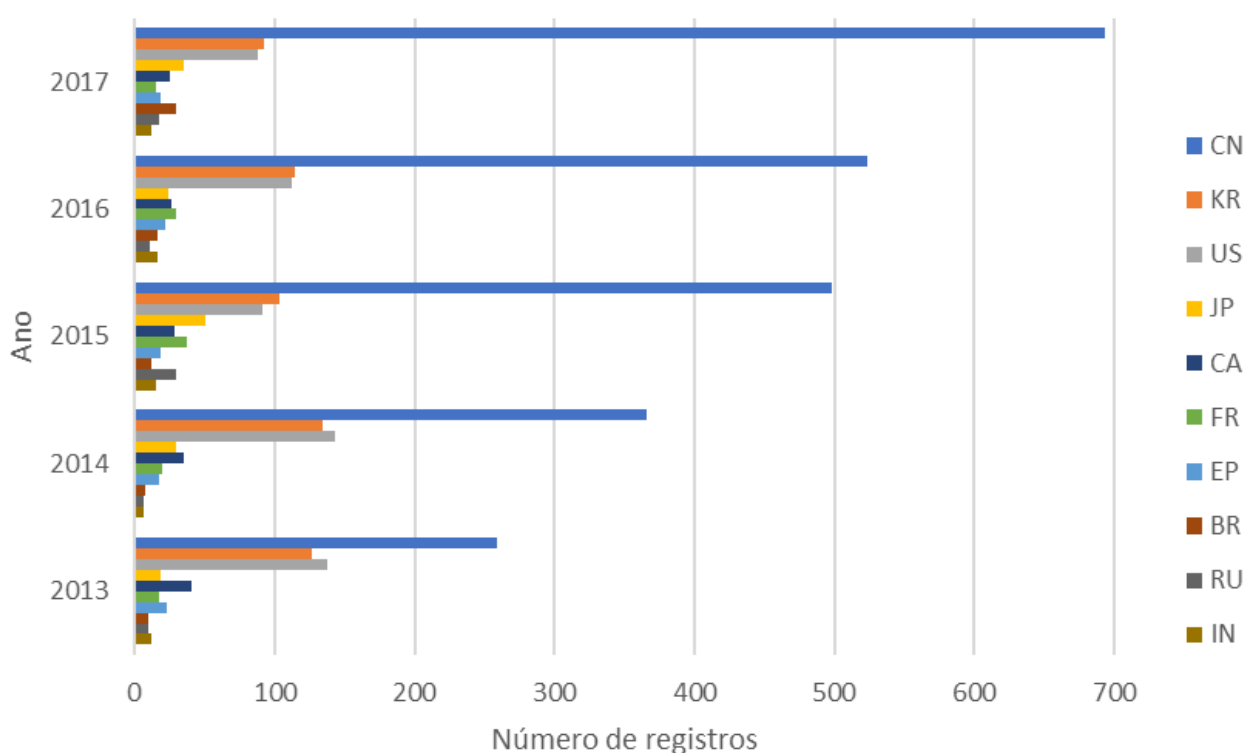


Figura 17. Países de prioridade dos documentos de patente nos anos de 2013-2017.

A informação dos países nos quais foram depositados pedidos de patente indica os países em que os depositantes de patente possuem interesse em explorar comercialmente a tecnologia, que pode ser processo ou produto. Nesses documentos de patente estão incluídos os documentos das famílias de patentes obtidas nas buscas realizadas. Os resultados dos países em que foram depositados pedidos de patente sobre microalgas e cianobactérias são mostrados na Figura 18.

O país que teve maior número de pedidos de patente depositados foi a China. Muitos pedidos de patente foram tramitados pelo PCT (*Patent Cooperation Treaty*), os quais originaram os documentos WO, segundo maior número de pedidos na Figura 18. Os outros países que estão na Figura 18 são Estados Unidos, Coreia do Sul, Europa (Organização Europeia de Patentes), Japão, Brasil, Austrália, Índia e Canadá. Dessa forma, as empresas/instituições estão com interesse no mercado desses países para comercializar suas tecnologias (processos/produtos) relacionados com microalgas e cianobactérias.



Figura 18. Principais Países e Organizações Mundiais e Regionais⁴ em que foram depositados pedidos de patente entre 2013 e 2017.

⁴ Organização Mundial da Propriedade Intelectual (Sistema PCT – documentos WO), Organização Europeia de Patentes (documentos EP).

Comparando-se os principais países de prioridade com os países de depósito de pedidos de patentes, verifica-se que a maioria dos principais países de prioridade estão contidos nos países de depósito. Entretanto, entre os dez países de prioridade que não constam entre os dez principais países de depósito estão a França e a Rússia, países que podem ter limitações no cultivo de microalgas em sistemas abertos, devido a condições climáticas. Por outro lado, nos dez principais países de depósito está a Austrália, que não está nos dez principais países de prioridade, provavelmente pelas condições climáticas favoráveis para o cultivo de microalgas em sistemas abertos.

Depositantes de pedidos de patente

Os 15 principais depositantes de pedidos de patentes são apresentados na Figura 19. As áreas de atuação das seis principais empresas, que justificam o número de documentos de patentes, são as seguintes:

- *China Petroleum & Chemical Corporation* ou Sinopec é a maior depositante de pedido de patente. É uma empresa chinesa do ramo petrolífero, mas que tem realizado pesquisas na área de microalgas desde 2009 (Yang; Rui, 2014). Entre os usos pretendidos com as microalgas está a produção de biodiesel (Sinopec..., 2013).
A empresa Corbion NV (Países Baixos) adquiriu a empresa *TerraVia Holdings Inc.* em 2017. Anteriormente, a *TerraVia Holdings Inc.* era a empresa Solazyme (Corbion, 2017). Dessa forma, a *Terravia Holdings Inc.* (Solazyme) tornou-se uma subsidiária da Corbion, chamada de Corbion Biotech Inc., localizada nos Estados Unidos. Por isso, nos resultados da Figura 19 não são encontradas informações relacionadas com a Solazyme e/ou TerraVia Holdings Inc., cujos resultados foram incorporados nos resultados da Corbion Biotech Inc.
- A empresa Xinao é uma das pioneiras na pesquisa com algas para combustíveis (New energy..., 2011).
- A empresa Enn Science and Technology Dev. Co. Ltd. é uma das maiores empresas privadas na China focada em energia limpa visando o crescimento sustentável. Entre os produtos da empresa estão astaxantina, betacaroteno e ácido araquidônico (CPhlonline, 2019).
- A Roquette é uma empresa com sede em Lestrem, na França. A empresa atua em vários ramos, incluindo nutrição animal. Entre os produtos da empresa está a microalga *Chlorella* spp., que está disponível no mercado com o nome comercial algility™ *Chlorella* (Roquette, 2019). A Roquette iniciou os investimentos na área de microalgas em 2006, quando foi criado um laboratório de pesquisa dedicado ao tema; posteriormente, conduziu o projeto de pesquisa Algohub em 2008. Adquiriu instalações de produção na Alemanha também em 2008, e na China em 2009. Iniciou a produção em pequena escala em Lestrem em 2012, seguido pela construção de uma unidade industrial, que está em operação desde 2014. Essa unidade industrial possui capacidade de produção de até 5.000 ton/ano. A unidade na Alemanha está localizada em Klötze (Nutraceutical Business Review, 2014; Roquette, 2014; Algomed, 2017).
- A Heliae é uma empresa americana, localizada em Gilbert, Arizona, que produz produtos de microalgas que melhoram o solo, plantas, animais e saúde humana. Entre os produtos está o PhycoTerra®, que, de acordo com informações da empresa, é um produto de microalga que restaura a qualidade natural do solo saudável e melhora o ecossistema do solo (Phycoterra, 2019; Heliae, 2021).

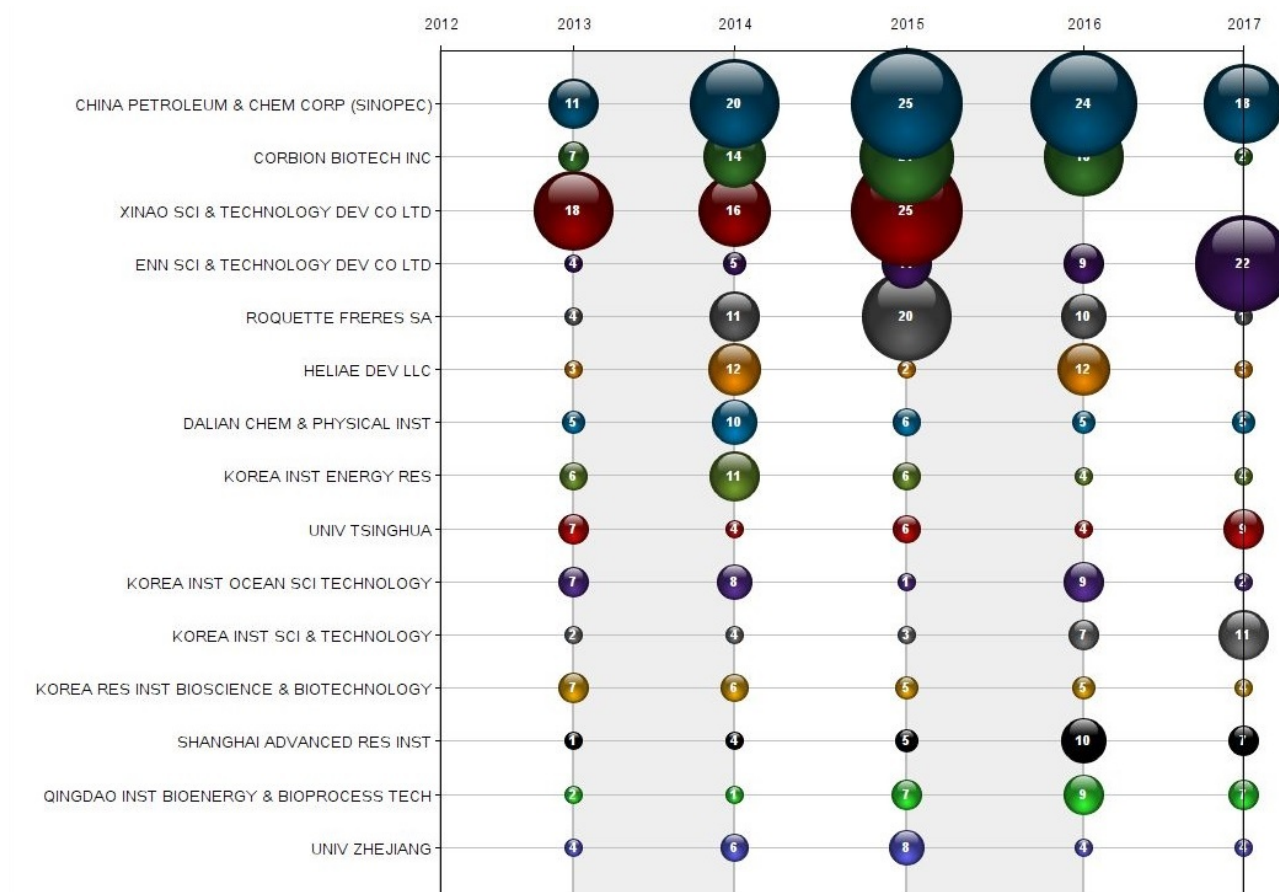


Figura 19. Principais depositantes de pedidos de patente.

Campos tecnológicos dos documentos de patente

Os campos tecnológicos dos documentos de patente foram avaliados a partir dos dados dos códigos de classe do *Derwent* e dos códigos da Classificação Internacional de Patentes (CIP), contidos nos registros dos documentos recuperados na busca realizada na base DII. Além disso, o mapa de emergência dos códigos de 4 e 8 dígitos da CIP foi elaborado para identificação de sinais fracos.

Os códigos de classe do *Derwent* dos documentos de patente encontrados são mostrados na Figura 20. Esses códigos de classe constituem o sistema de classificação adotado pela base de dados *Derwent Innovations Index*. A base *Derwent* categoriza documentos de patente usando um sistema de classificação simples para todas as tecnologias. Esse sistema está dividido em seções e subdivididas em classes. Por exemplo, a seção D está relacionada com “alimentos, detergentes, tratamento de água e biotecnologia”, sendo que a classe D16 está relacionada com a “indústria de fermentação – incluindo equipamentos de fermentação, produção de cerveja, produção de levedura, produção de farmacêuticos e outros produtos químicos de fermentação, microbiologia, produção de vacinas e antibióticos, cultura de células e tecidos e engenharia genética”. Um documento de patente pode ter mais de um código de classe no *Derwent*.

O principal campo tecnológico encontrado para os documentos de patente sobre microalgas e cianobactérias é a de fermentação, incluindo engenharia genética, com 2.822 registros, que corresponde a 25,8% de todos os registros. Assim, os documentos desse campo devem estar relacionados com modificações genéticas de microalgas/cianobactérias. Os campos tecnológicos relacionados com produtos/polímeros naturais (1.373 registros, 12,6% do total) e produtos alimentícios (659 registros, 6,0% do total) são o segundo e terceiro colocados, respectivamente. Esse panorama ocorre, principalmente, pela aplicação dos principais compostos obtidos atualmente de microalgas/cianobactérias nestes campos tecnológicos, como betacaroteno, astaxantina, ácidos graxos poli-insaturados, polissacarídeos, entre outros (Khan et al., 2018).

As microalgas também são muito utilizadas em tratamento de efluentes (572 registros, 5,2% do total), outro campo tecnológico encontrado na Figura 20. Os demais campos tecnológicos são polímeros e plásticos (430 registros, 3,9% do total); combustíveis líquidos e gasosos (323 registros, 3,0% do total); combustíveis não originários do petróleo (244 registros, 2,2% do total); óleos, gorduras e ceras (238 registros, 2,2% do total); compostos orgânicos alifáticos (226 registros, 2,1% do total) e fertilizantes (209 registros, 1,9% do total).

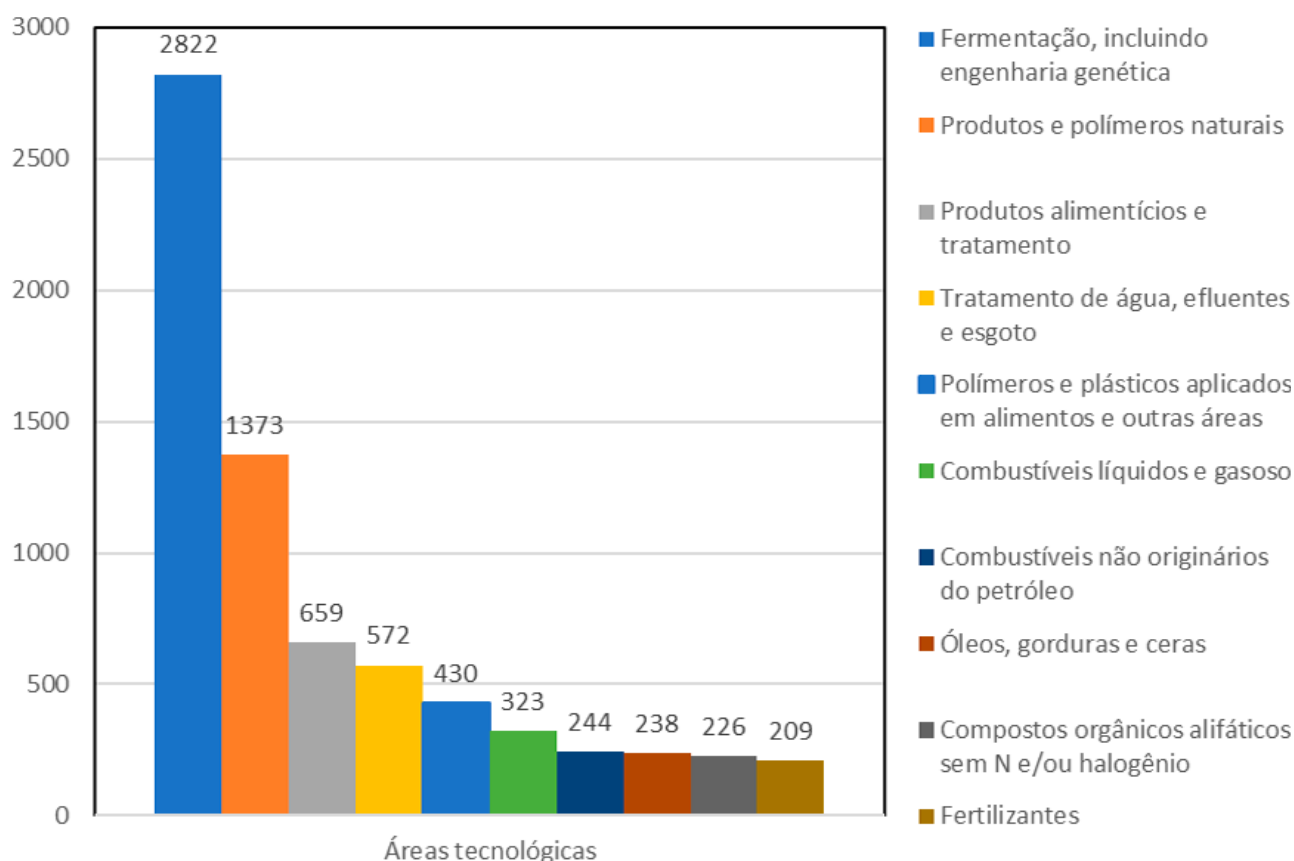


Figura 20. Campos tecnológicos dos documentos de patente relacionados com microalgas e cianobactérias, obtidos a partir dos códigos de classe do Derwent.

A Classificação Internacional de Patentes (CIP) foi avaliada em termos dos respectivos códigos contendo 4 dígitos e 8 dígitos, sendo que o código de 8 dígitos é o código completo da CIP. Esses códigos também estão relacionados com os campos tecnológicos dos documentos de patente encontrados na busca realizada.

Na Tabela 11 são mostrados os principais códigos de 4 dígitos da CIP obtidos da busca realizada. O código da CIP com maior número de registros é o C12N, que está relacionado com microrganismos ou enzimas, incluindo sua propagação, conservação, ou manutenção, além de engenharia genética ou mutações, e meios de cultura.

Tabela 11. Principais códigos da CIP (4 dígitos) encontrados nos documentos de patentes.

CIP (4 dígitos)	Descrição	Número de registros
C12N	Microrganismos ou enzimas; suas composições; propagação, conservação, ou manutenção de microrganismos; engenharia genética ou de mutações; meios de cultura	1565
C12M	Aparelhos para enzimologia ou microbiologia	894
C12P	Processos de fermentação ou processos que utilizem enzimas para sintetizar uma composição ou composto químico desejado ou para separar isômeros ópticos de uma mistura racêmica	809
C12R	Microrganismos (tipos: bactérias, fungos, algas, protozoários, linhagens celulares e vírus)	663
C02F	Tratamento de água, de águas residuais, de esgotos ou de lamas e lodos	506
A61K	Preparações para finalidades médicas, odontológicas ou higiênicas	399
A61P	Atividade terapêutica específica de compostos químicos ou preparações medicinais	229
B01D	Processos ou aparelhos para separação	228
A23K	Produtos alimentícios especialmente adaptados para animais; métodos especialmente adaptados para a produção dos mesmos	215
A23L	Alimentos, produtos alimentícios ou bebidas não alcoólicas, não abrangendo farinhas ou massas, enlatados, laticínios, óleos ou gorduras comestíveis, café, chá, cacau e seus produtos, e composições à base de proteínas	214

Alguns exemplos de documentos de patente encontrados que foram classificados nos códigos de 4 dígitos da CIP são mostrados na Tabela 12.

Na Figura 21 estão os principais códigos de 4 dígitos da CIP distribuídos no período de análise (2013-2017). Verifica-se que a classificação C12N foi a principal em todos os anos do período. A classificação C12M oscilou entre segundo e terceiro lugar no período analisado, com 160 e 198 registros em 2016 e 2017, respectivamente. A classificação C12P oscilou entre segundo e quarto lugar no período analisado, com 141 e 188 registros em 2017 e 2016, respectivamente. As classificações com códigos C12R e C02F apresentaram crescimento expressivo no período analisado. Por exemplo, a classificação C02F teve 60 registros em 2013, enquanto em 2017 teve 151 registros.

Tabela 12. Exemplos de documentos de patentes encontrados relacionados com os 10 principais códigos de 4 dígitos da CIP.

CIP 4 dígitos	Exemplos de documentos de patente		Título conforme a base de dados <i>Derwent Innovation Index</i>	CIP 8 dígitos
	Número	Titular		
C12N	KR1658040-B1	Univ. Sogang Res. Foundation	Culturing microalgae, involves culturing <i>Haematococcus</i> using nanobubble prepared by introducing hydrogen gas or oxygen gas into bubble in residual water.	C12N-001/12
C12M	KR2016102621-A; KR1657490-B1	Chloland Co. Ltd.	Operating microalgae culturing apparatus involves taking carbon dioxide injection nozzle, which fills up with culture fluid in which microalgae is present in first header pipe, and vertical tube and circulating pipe through which air flows.	C12M-001/00; C12M-001/12
	CN106701541-A; CN106701541-B	Jiangxi Electric Vocational & Technical College; State Grid Corp. China	Microalgae tubular photobioreactor comprises a carbon dioxide steel bottle, an air pump, a gas mixing chamber provided with two gas input pipes and a gas output pipe, a pipe array, and an agitating and circulating device.	C12M-001/02; C12M-001/04
C12P e C12R	CN106554976-A	China Petroleum & Chem. Corp.; Sinopec Res. Inst. Pet.	Preparation of fats and oil using monocropping algae comprises preparing microalgae seed liquid, inoculating seed liquid into nitrogen-rich microalgae medium to obtain algal cells, ligating algal cells to obtain starch-rich algal cells.	C12P-007/64; C12R-001/89
C02F e C12N	CN105858894-A	Univ. Nanchang	Treating high ammonia and nitrogen containing wastewater involves inoculating high-density microbial cells into nitrogen rich medium, medium, and then later transferring to nitrogen-limiting medium to induce microbial culture.	C02F-003/32; C12N-001/12; C12N-001/20;
A61K e A61Q	KR2017142632-A	Beauty Cosmetic Co. Ltd.	Composition used in external skin formulation and cosmetic product for treating and improving acne, comprises tranexamic acid, phytosphingosine phosphate and microalgae extract, where microalgae extract comprises fucan and galactan.	A61K-031/133; A61K-031/195; A61K-031/202; A61K-008/368; A61K-008/44; A61K-008/68; A61K-008/73; A61K-008/97; A61Q-019/00
A61K e A61P	FR 30 33500-A 1; FR3033500-B1	Soliance S.A.	Treating inflamed sensitive skin, comprises applying composition comprising <i>Rhodorus marinus</i> extract to the sensitive area of skin.	A61K-036/04; A61P-017/00; A61P-017/02
B01D, C12N, C12P e C12R	CN105713836-A	China Petroleum & Chem. Corp.; Sinopec Res. Inst. Pet.	New lipid-rich <i>Ankistrodesmus</i> sp. strain SS-B7 useful in carbon-dioxide fixation, production of microalgae oils and purifying exhaust gas-containing carbon-dioxide and nitric oxide or flue gas.	B01D-053/56; B01D-053/84; C12P-007/64; C12R-001/89
A23K	CN105661084-A	Univ. Northeast Agricultural	Preparing feed used for relieving manganese poisoning symptoms in chicken involves sonicating cyanobacteria and crushing, adding manganese chloride solution, performing fermentation, adding dipotassium hydrogen phosphate, magnesium sulfate.	A23K-010/12; A23K-010/37; A23K-020/20; A23K-050/75
A23L	CN105661466-A	Eng. Tech. Inst. Co. Ltd. of CNSIC	Preparation of natural microalgae seasoning salt involves taking algae concentrate, adding sodium carbonate aqueous solution to adjust pH, heating in water bath, cooling to room temperature, centrifuging to obtain algae mud and spray-drying.	A23L-027/40
A23L, C12N e C12R	CN105602858-A	Univ. Nanchang	Preparing edible/selenium-enriched microalgae complex, comprises adding sodium selenite into microalgae solution, adjusting the pH, crushing the edible fungi in microalgae solution, and stirring to form edible fungus/algae complex.	A23L-031/00; C12N-001/12; C12R-001/89

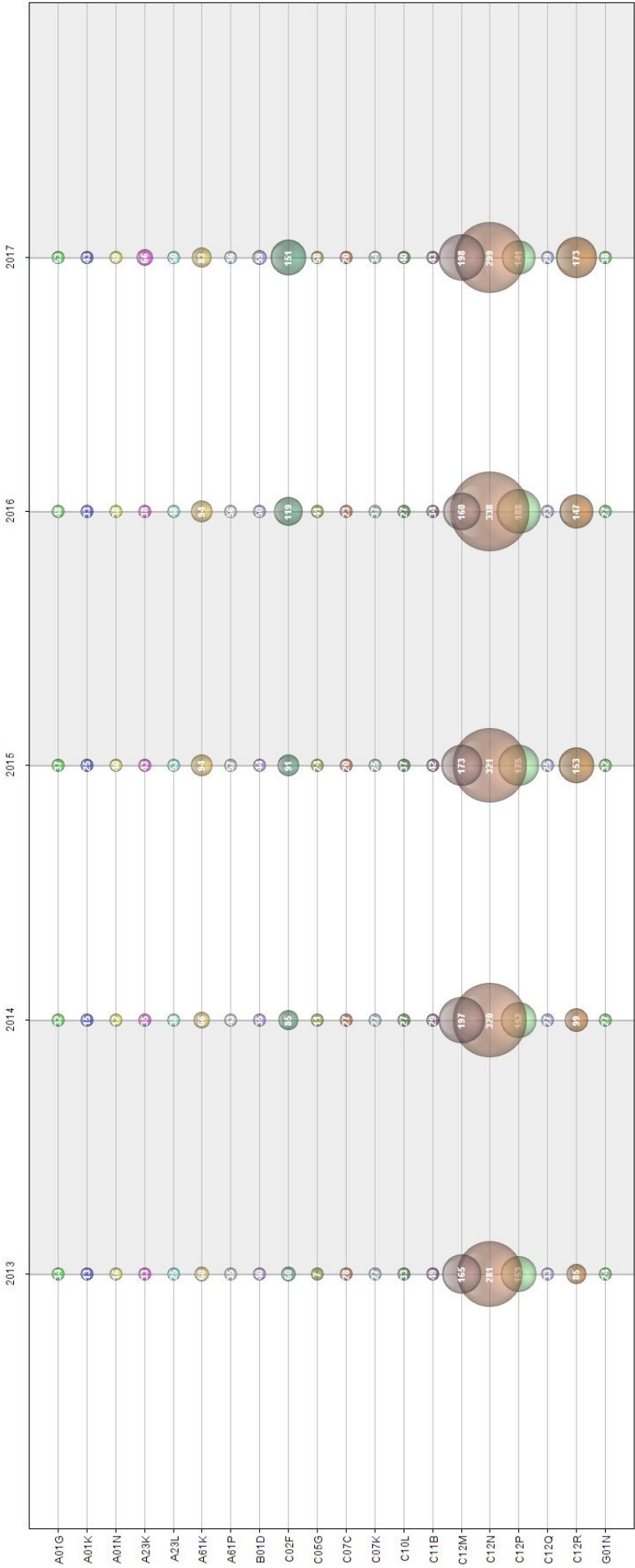


Figura 21. Número de registros anual dos 20 principais códigos da CIP (4 dígitos) para o período de 2013-2017.

A Figura 22 apresenta o mapa de autocorrelação entre os 20 principais códigos de 4 dígitos da CIP. A área de microrganismos relacionada com composições, propagação, conservação, manutenção, engenharia genética e meios de cultura (C12N) possui a maior interação com outras áreas, como processos de fermentação (C12P) e tipos de microrganismos (C12R). As áreas relacionadas com alimentos (A23K e A23L) apresentam interações entre si e com outras áreas, como preparações para finalidades médicas, odontológicas e higiênicas (A61K).

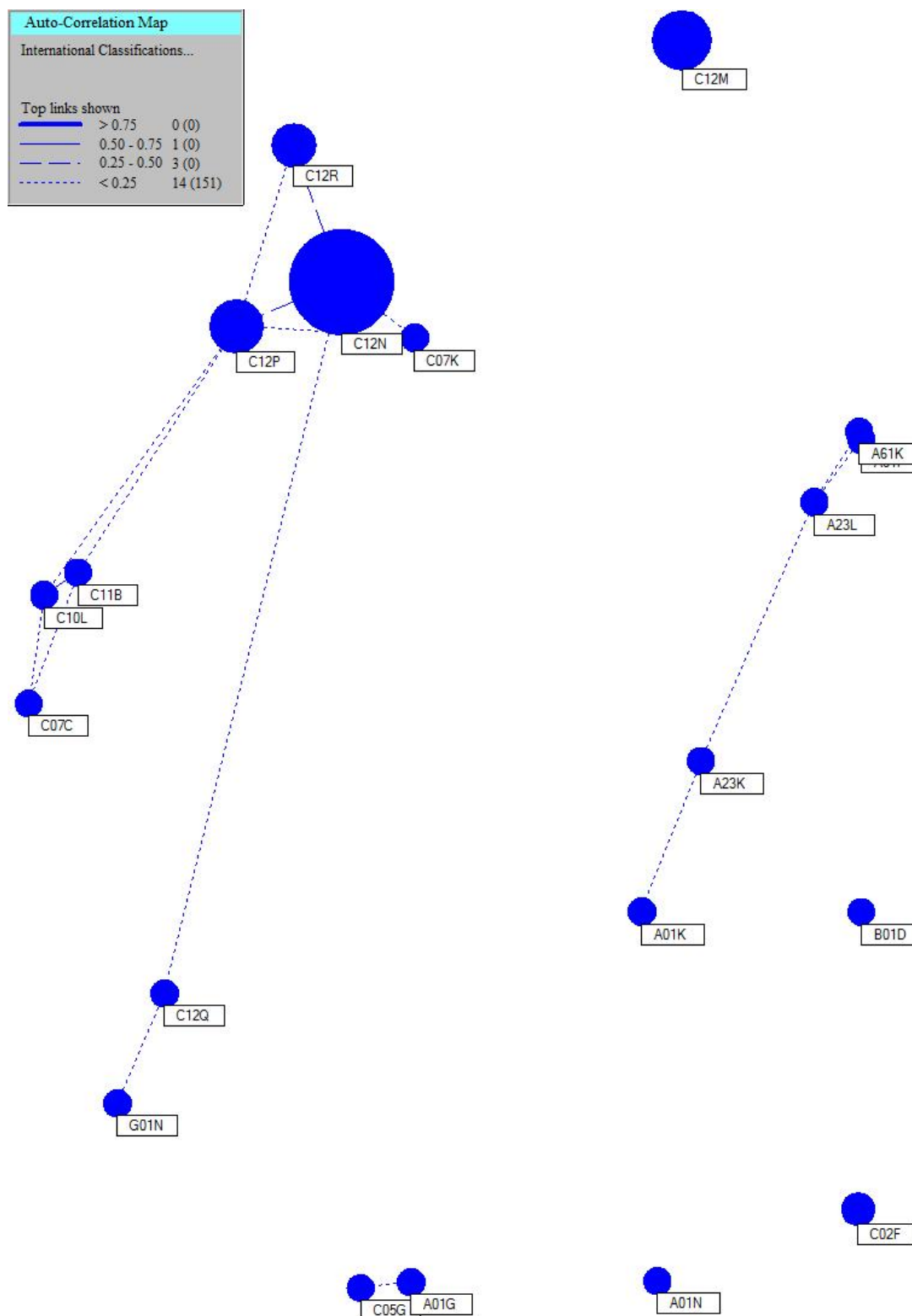


Figura 22. Mapa de autocorrelação entre os códigos de 4 dígitos da CIP.

Na Tabela 13 são mostrados os principais códigos de 8 dígitos da CIP obtidos dos documentos de patente. O código da CIP C12N-001/12 é o que possui o maior número de registros e está relacionado com algas unicelulares e seus meios de cultura. Na Figura 23 estão os principais códigos de 8 dígitos da CIP distribuídos no período de análise (2013-2017).

Tabela 13. Principais códigos da CIP (8 dígitos) encontrados nos documentos de patentes.

CIP (8 dígitos)	Descrição	Número de registros
C12N-001/12	Microrganismos: algas unicelulares; seus meios de cultura	999
C12M-001/00	Aparelhos para enzimologia ou microbiologia	592
C12R-001/89	Microrganismos: algas	563
C12P-007/64	Processos de fermentação ou processos que utilizem enzimas para sintetizar gorduras, óleos graxos, ceras tipo éster, ácidos graxos superiores	427
C12M-001/04	Aparelhos para enzimologia ou microbiologia; com meios para introdução do gás	274
C12N-001/20	Microrganismos: bactérias; seus meios de cultura	228
C02F-003/32	Tratamento biológico de água, águas residuais, ou esgotos; caracterizado pelos animais ou plantas usadas, p. ex. algas	173
C12M-001/34	Aparelhos para enzimologia ou microbiologia; medição ou ensaio com meios de medir ou de detectar as condições do meio, p. ex. contadores de colônias	169
C11B-001/10	Produção de gorduras ou óleos graxos a partir de matérias-primas; por extração	136
C12M-001/02	Aparelhos para enzimologia ou microbiologia; com meios de agitação, com meios de troca de calor	127

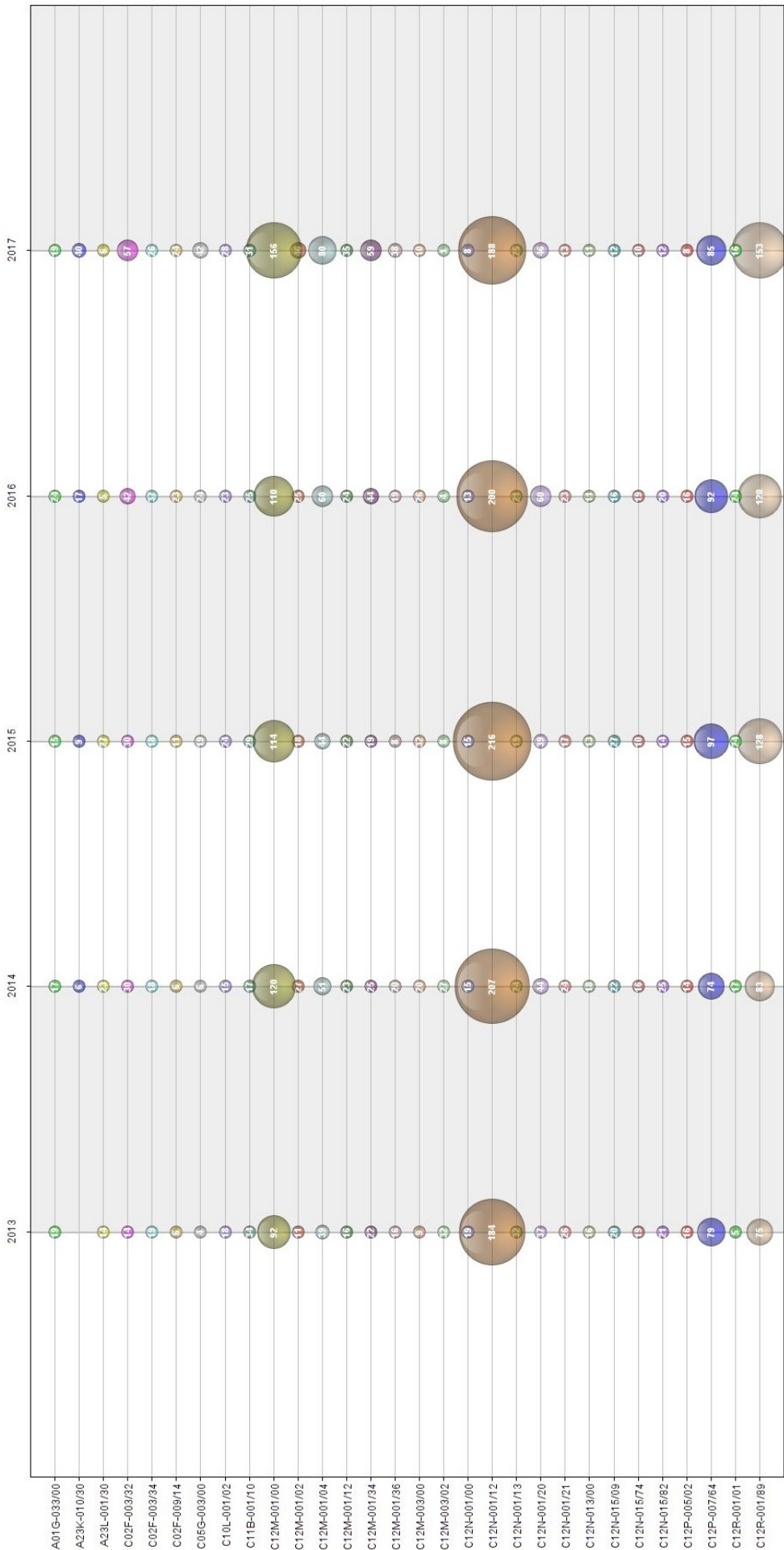


Figura 23. Número de registros anual dos 30 principais códigos da CIP (8 dígitos) para o período de 2013-2017.

A Figura 24 apresenta o mapa de autocorrelação entre os códigos de 8 dígitos da CIP. Os códigos estão agrupados em 2 conjuntos que se inter-relacionam, enquanto os demais códigos estão dispersos. O primeiro conjunto consiste na forte interação entre a área tecnológica de meios de cultura para algas unicelulares (C12N-001/12) com microalgas em geral (C12R-001/89) e com outras classificações relacionadas com microrganismos (como C12N-001/13). O outro conjunto engloba as áreas tecnológicas relacionadas com aparelhos para microbiologia, como C12M-001/00, C12M-001/02, C12M-001/34 e C12M-001/36 possuem interações entre si.

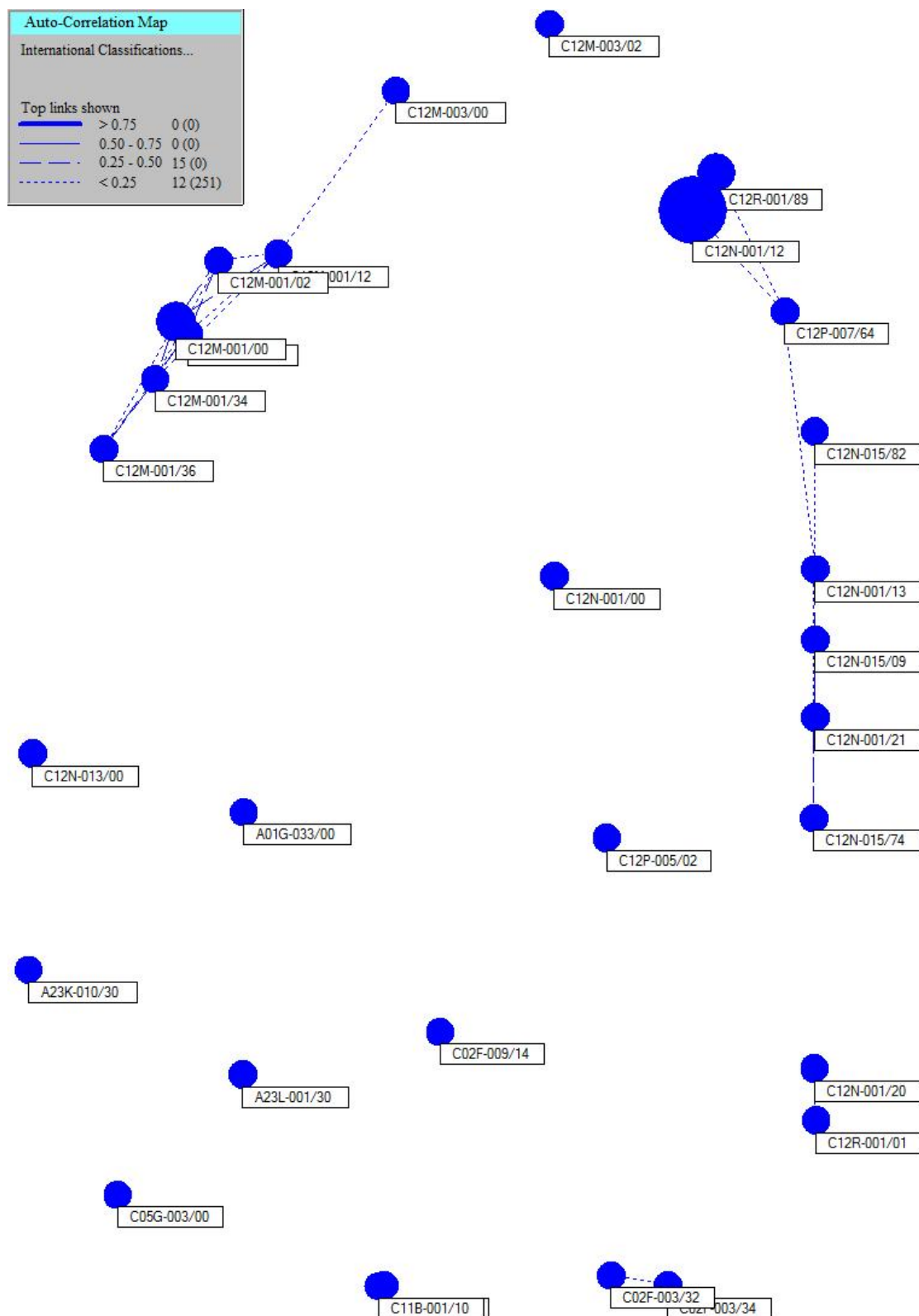


Figura 24. Mapa de autocorrelação entre os códigos de 8 dígitos da CIP.

O mapa de emergência dos códigos de 4 dígitos da CIP é apresentado na Figura 25, enquanto para os códigos de 8 dígitos da CIP, o mapa de emergência é mostrado na Figura 26. Nessas figuras, o quadrante superior à esquerda revela os códigos da CIP compreendidos como sinais fracos emergentes, enquanto no quadrante superior à direita compreende os códigos da CIP considerados como sinais fortes emergentes. Já para a parte inferior dessas figuras, o quadrante inferior à esquerda está relacionado com os códigos da CIP compreendidos como sinais fracos imergentes, enquanto no quadrante inferior à direita compreende os códigos da CIP considerados como sinais fortes imergentes.

Os códigos de 4 dígitos da CIP identificados no mapa de emergência estão descritas na Tabela 14, e os códigos de 8 dígitos da CIP são mostrados na Tabela 15.

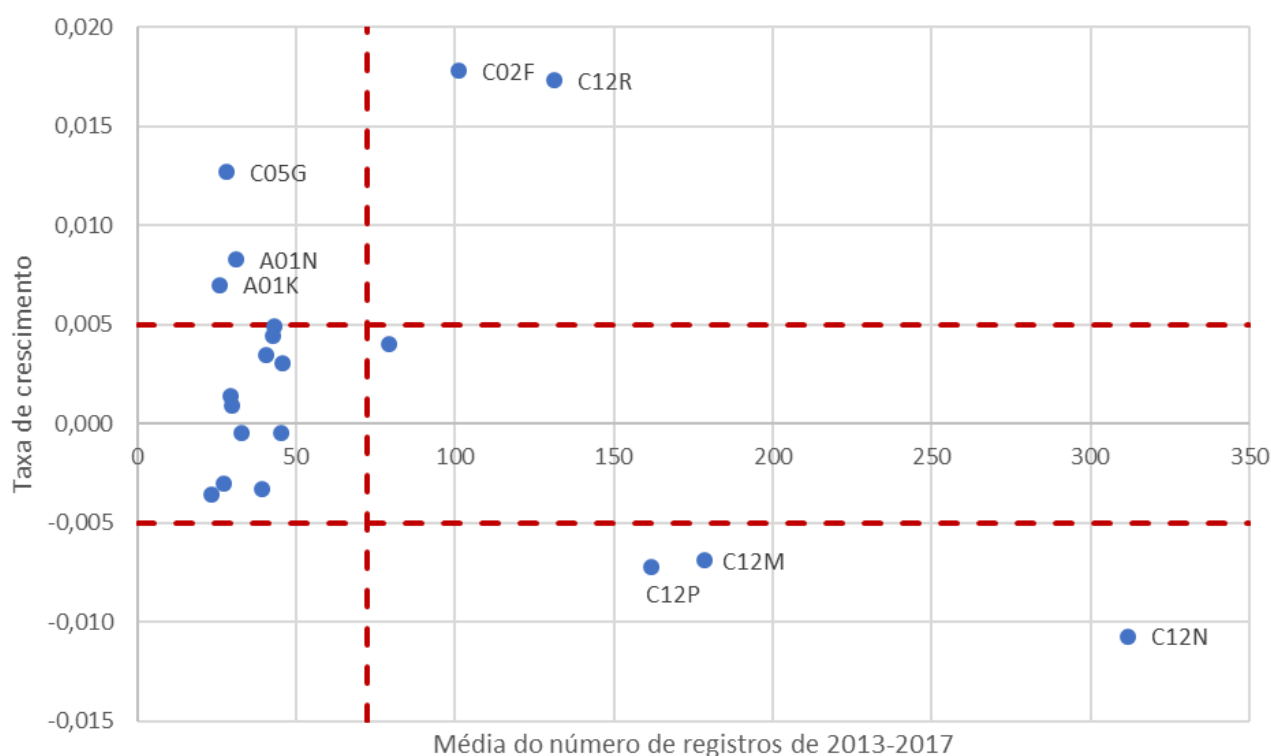


Figura 25. Mapa de emergência dos códigos de 4 dígitos da CIP. A reta tracejada vertical é a média do número de registros dos códigos da CIP avaliados.

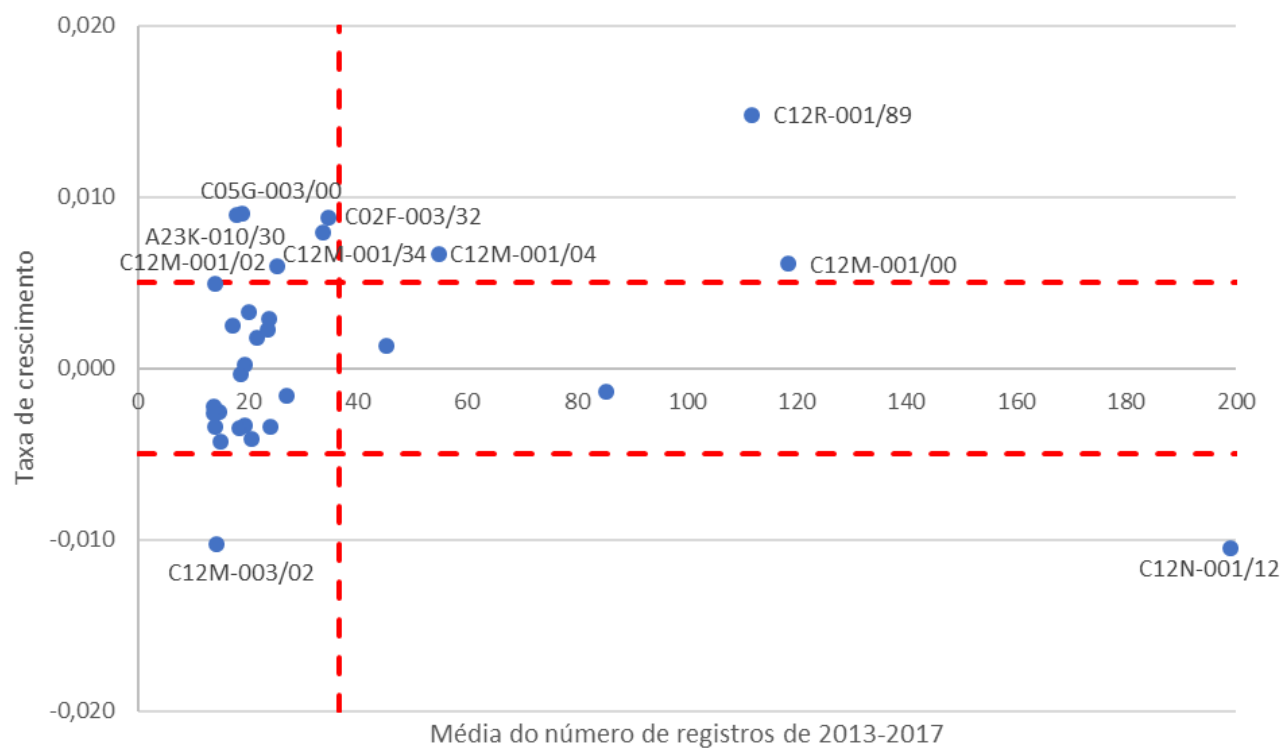


Figura 26. Mapa de emergência dos códigos de 8 dígitos da CIP. A reta tracejada vertical é a média do número de registros dos códigos da CIP avaliados.

Tabela 14. Áreas emergentes/imergentes identificadas no mapa de emergência (códigos de 4 dígitos da CIP).

	Sinal Fraco	Sinal Forte
Emergente	C05G – Misturas de fertilizantes descritos individualmente por diferentes subclasses da classe C05. A01N – Preservação de corpos humanos ou animais ou plantas ou partes dos mesmos; biocidas, e. g. como desinfetante, pesticidas ou herbicidas, repelentes ou atrativos de pestes; reguladores de crescimento de plantas. A01K – Criação animal; cuidados de pássaros, peixes, insetos; pesca, criação de animais reprodutores; novas raças de animais.	C02F – Tratamento de água, efluente, esgoto ou lodo. C12R – Indexação de microrganismos associados com as subclasses C12C-C12Q.
Imergente	Não há.	C12N – Microrganismos ou enzimas; Composições associadas; Propagação, preservação ou manutenção de microrganismos; Engenharia genética ou mutação; Meio de cultura. C12P – Processos fermentativos ou usando enzimas para sintetizar um composto químico desejado ou composição ou para separa isômeros ópticos de uma mistura racêmica. C12M – Aparelhos para enzimologia ou microbiologia.

Tabela 15. Áreas emergentes/imergentes identificadas no mapa de emergência (códigos de 8 dígitos da CIP).

	Sinal Fraco	Sinal Forte
Emergente	C05G-003/00 – Misturas de um ou mais fertilizantes com materiais que não possuem uma atividade fertilizante específica. A23K-010/30 – Produtos alimentícios para animais; a partir de material de origem vegetal. C02F-003/32 – Tratamento biológico de água, águas residuais, ou esgotos; caracterizado pelos animais ou plantas usadas, p. ex. algas. C12M-001/34 – Aparelhos para enzimologia ou microbiologia; Medição ou ensaio com meios de medir ou detectar as condições do meio, p. ex. contadores de colônias. C12M-001/02 – Aparelhos para enzimologia ou microbiologia; com meios de agitação; com meios de troca de calor.	C12R-001/89 - Algas C12M-001/04 – Aparelhos para enzimologia ou microbiologia; com meios para introdução do gás. C12M-001/00 – Aparelhos para enzimologia ou microbiologia.
Imergente	C12M-003/02 – Aparelhos para cultura de tecidos, células de animais ou plantas, ou de vírus; com meios que proporcionem suspensões.	C12N-001/12 – Microrganismos; Algas unicelulares; Seus meios de cultura.

Sinais fracos estão relacionados com pequeno número de registros, enquanto sinais fortes possuem grande número de registros. Um sinal fraco ou forte pode ser imergente ou emergente, o que está relacionado com a taxa de crescimento de um determinado código da CIP. De acordo com a equação (1), de Yoon (2012), para obtenção da taxa de crescimento é realizada a divisão do número de registros de um código da CIP pelo número de registros de todos os códigos da CIP, ou seja, é uma taxa de crescimento comparativa à taxa de crescimento de todos os códigos da CIP. Assim, se um código da CIP tiver um crescimento menor que o crescimento do somatório de todos os códigos da CIP, será obtida uma taxa de crescimento negativa pela equação (1).

Os códigos de 4 dígitos da CIP C05G (fertilizantes), A01N (pesticidas/herbicidas), A01K (criação de animais) são sinais fracos emergentes (Figura 25 e Tabela 14), ou seja, são tendências para o futuro em relação às microalgas, pois possuem um pequeno número de registros, mas com taxa de crescimento acima da taxa de todos os códigos da CIP. Enquanto os códigos C02F, C12R, C12N, C12P e C12M são sinais fortes, pois possuem elevado número de registros, e representam áreas já consolidadas no tema de microalgas. Entretanto, C02F e C12R são áreas tecnológicas emergentes, que, além de terem grande número de registros (506 e 663, respectivamente, conforme Tabela 12), apresentam alta taxa de crescimento. Por outro lado, C12N, C12M e C12P possuem grande número de registros (1565, 894 e 809, respectivamente, conforme Tabela 12), mas têm baixa taxa de crescimento. As taxas de crescimento calculadas pela eq. (1), que faz um comparativo com a taxa de crescimento de todos os códigos da CIP, para os códigos da CIP emergentes foram: 0,018 para C02F, 0,017 para C12R, 0,013 para C05G, 0,008 para A01N e 0,007 para A01K. Enquanto as taxas de crescimento para todos os códigos da CIP imergentes foram: -0,011 para C12N, -0,007 para C12M e -0,007 para C12P.

Em relação aos códigos da CIP de 8 dígitos (Figura 26 e Tabela 15), os sinais fracos emergentes e tendências para o futuro no presente estudo prospectivo foram C05G 003/00 (aditivos, sem atividade especificamente fertilizante, em misturas de fertilizantes), A23K 010/30 (produtos alimentícios de origem vegetal), C02F 003/32 (Tratamento biológico de água, águas residuais, ou esgotos usando algas), C12M 001/34 (aparelhos de microbiologia com meios de medir ou detectar as condições do meio) e C12M 001/02 (aparelhos de microbiologia com meios de agitação ou meios de troca de ca-

lor). O código da CIP C12M 003/02 (aparelhos para cultura de células com meios que proporcionem suspensões) é o sinal fraco imergente encontrado no presente estudo. Enquanto os códigos da CIP C12R 001/89 (algas), C12M 001/04 (aparelhos de microbiologia com meios para introdução do gás) e C12M 001/00 (aparelhos de microbiologia) são sinais fortes emergentes. O código de 4 dígitos C12M é um sinal forte imergente conforme a Tabela 15. Entretanto, o código de 4 dígitos C12M possui 33 códigos de 8 dígitos da CIP ou 33 subgrupos (WIPO, INPI, 2021). Desse modo, dentro desses 33 códigos de 8 dígitos da CIP que iniciam com C12M existem alguns que são sinais fortes emergentes (C12M 001/004 e C12M 001/00), outros que são sinais fracos emergentes (C12M-001/34 e C12M-001/02) e outro como sinal fraco imergente (C12M-003/02).

Gêneros taxonômicos de microalgas ou cianobactérias

Os principais gêneros taxonômicos de microalgas ou cianobactérias encontrados nos documentos de patente são mostrados na Tabela 16. Esses gêneros taxonômicos foram obtidos pela análise no *software* VantagePoint® do campo novidade dos registros obtidos no Derwent. O principal gênero presente nos documentos de patente é a *Chlorella* spp., seguido por *Spirulina* spp., *Scenedesmus* spp., *Haematococcus* spp. e *Phaeodactylum* spp.

Tabela 16. Principais gêneros taxonômicos de microalgas ou cianobactérias encontrados nos documentos de patente entre 2013 e 2017.

Gênero taxonômico	Número de registros
<i>Chlorella</i> spp.	100
<i>Spirulina</i> spp.	50
<i>Scenedesmus</i> spp.	28
<i>Haematococcus</i> spp.	22
<i>Phaeodactylum</i> spp.	16
<i>Isochrysis</i> spp.	15
<i>Dunaliella</i> spp.	14
<i>Chlamydomonas</i> spp.	13
<i>Microcystis</i> spp.	11
<i>Nannochloropsis</i> spp.	10
<i>Synechococcus</i> spp.	10
<i>Anabaena</i> spp.	8
<i>Botryococcus</i> spp.	8
<i>Chaetoceros</i> spp.	8
<i>Tetraselmis</i> spp.	8
<i>Desmodesmus</i> spp.	7
<i>Schizochytrium</i> spp.	7
<i>Ankistrodesmus</i> spp.	5
<i>Nannochloris</i> spp.	5

A relação entre gêneros taxonômicos de microalgas e cianobactérias e os quatro principais códigos de 8 dígitos da CIP é apresentada na Figura 27. Para todos os códigos da CIP analisados na Figura

27, o gênero *Chlorella* possui o maior número de ocorrência. Os principais gêneros taxonômicos relacionados com meios de cultura de algas unicelulares (C12N-001/12) foram *Chlorella* (57), *Spirulina* (17), *Scenedesmus* (15) e *Nannochloropsis* (9). Aparelhos para microbiologia (C12M-001), embora seja uma das áreas tecnológicas com maior número de registros na Tabela 13, não está relacionada com todos os gêneros taxonômicos, sendo encontrados registros para os gêneros *Chlorella* (8), *Spirulina* (2), *Haematococcus* (1), *Isochrysis* (1), *Botryococcus* (1), *Chaetoceros* (1) e *Nannochloris* (1). Para área tecnológica que envolve algas de um modo geral (C12R-001/89), os principais gêneros taxonômicos foram: *Chlorella* (28), *Scenedesmus* (14), *Spirulina* (12) e *Haematococcus* (9). E, por último, para processos para sintetizar gorduras e óleos (C12P-007/64), os gêneros taxonômicos principais são *Chlorella* (21), *Scenedesmus* (10), *Nannochloropsis* (7) e *Chlamydomonas* (6).

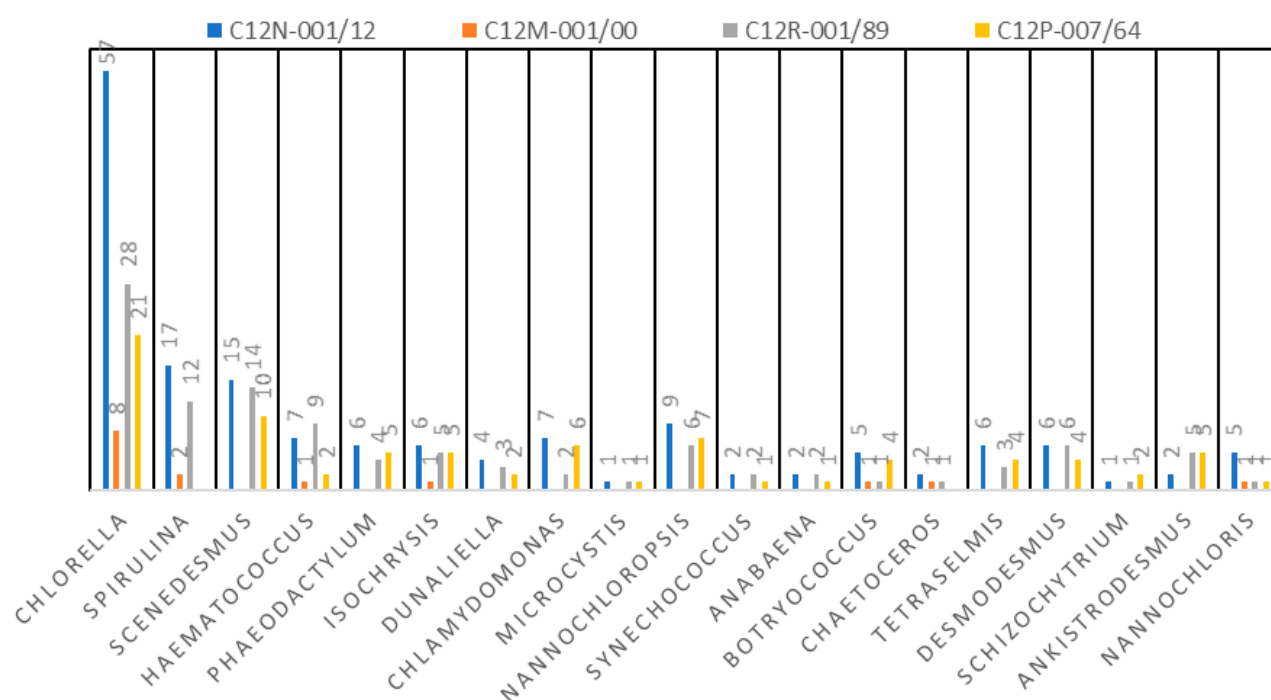


Figura 27. Relação entre gêneros taxonômicos de microalgas e cianobactérias e os quatro principais códigos de 8 dígitos da CIP.

Documentos de patente de instituições nacionais

O Brasil possui boas condições climáticas para o cultivo de microalgas, como alta taxa de incidência solar e temperaturas médias acima de 20 °C (Azeredo, 2012). Por isso, as instituições nacionais têm investido em pesquisa e desenvolvimento na área de microalgas e cianobactérias. Dessa forma, no presente estudo foram encontradas instituições nacionais que depositaram pedidos de patente no Brasil relacionados com microalgas e cianobactérias, para o período de 2013-2017. Essas instituições são mostradas na Figura 28.



Figura 28. Instituições e empresas nacionais que depositaram pedidos de patente sobre microalgas e cianobactérias no Brasil, no período de 2013-2017.

Para o período de análise (2013-2017), os cinco maiores depositantes brasileiros são universidades: Universidade Federal do Paraná – UFPR (9 registros), Universidade Federal do Rio Grande – FURG (6 registros), Universidade de São Paulo – USP (4 registros), Universidade Federal da Bahia – UFBA e Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE (3 registros cada).

Existem algumas empresas privadas atuando na área de microalgas, como Ouro Fino Participações & Empreendimento (2 registros), Biocomposto – Pesquisas e Compostos Ltda., Biogene Ind. & Comércio Ltda. ME, BRF S. A., e Kropy Ind. Ltda. (1 registro cada).

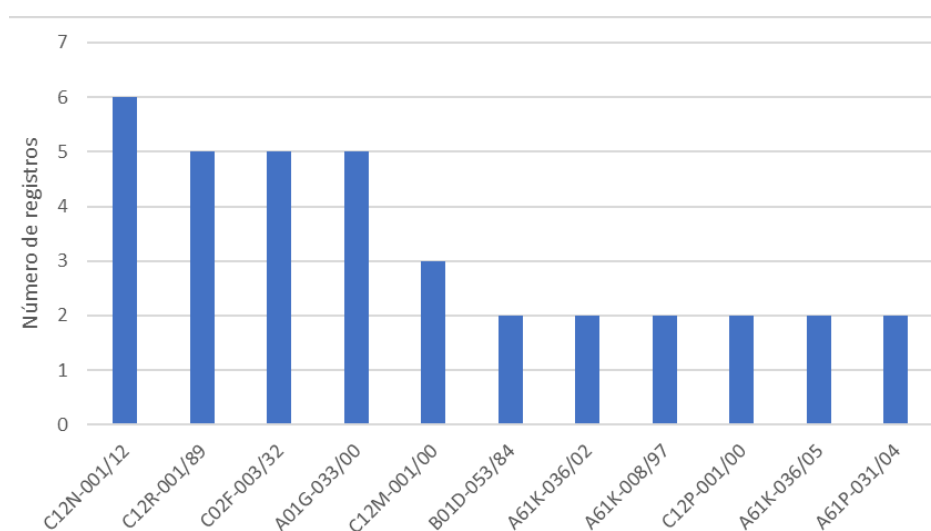
Pedidos de patente da empresa Ouro Fino Participações e Empreendimentos, disponíveis na base de dados do INPI até 01/07/2010, foram encontrados em uma análise de patenteamento em biotecnologia no Brasil. Entre os documentos encontrados, existem pedidos de patente relacionados com microalgas (Ladeira, 2012). Isso mostra que a empresa estava desenvolvendo tecnologias na área de microalgas antes de 2013.

A Embrapa e a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro são cotitulares de um pedido de patente depositado no período e encontrado nas buscas realizadas, cujos dados encontram-se na Tabela 17. Os inventores da Embrapa são pesquisadores lotados na Embrapa Agrobiologia.

Tabela 17. Pedido de patente da Embrapa e da UFRRJ relacionado com microalgas e depositado no período de 2013-2017.

Número do pedido	BR 10 2015 025497 0 A2	
Data	Depósito	06/10/2015
	Publicação	24/10/2017
Título	Composição inoculante, uso da composição inoculante, sementes ou partes de plantas tratadas com a composição inoculante	
Titulares	Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro	
Resumo	A presente invenção apresenta uma composição inoculante que compreende células microbianas, polímero e biomassa de microalgas, e sua utilização na formulação de inoculantes biológicos para aplicação agrícola. A composição além de garantir a viabilidade celular foi capaz de aumentar cerca de 100 vezes o número de células, o que pode levar a uma redução substancial dos custos de produção. Apontam-se ainda como vantagens o fato da composição ser biodegradável, utilizar materiais facilmente disponíveis e conter quantidade de água reduzida o que facilita o transporte.	
Código CIP	C05F 11/00; C05F 11/08; C05F 11/02	
Inventores	Norma Gouvêa Rumjanek, Gustavo Ribeiro Xavier, Paulo Jansen de Oliveira, Carla de Sant'anna Freitas, Anelise Dias	
Situação em 09/09/2021	Despacho 6.6.1, Exigência Formal: Suspensão do andamento do pedido de patente para que seja informado se houve acesso ao patrimônio genético nacional, conforme o art. 38 (I) da Lei 13.123/2015. Para Declaração Positiva de Acesso, gerar uma Guia de Recolhimento da União (GRU) de código 264. Caso a exigência não seja cumprida em até 60 (sessenta) dias, será considerado pelo INPI que não houve acesso ao patrimônio genético nacional. Data: 27/02/2018.	

Na Figura 29 estão os códigos de 8 dígitos da CIP dos pedidos depositados no Brasil por instituições nacionais. Comparando os dados nacionais (Figura 29) com os dados mundiais (Tabela 13), verifica-se que a área de meios de cultura para microalgas (C12N-001/12) é a principal tanto nos documentos nacionais como os documentos totais da busca, ou seja, em termos mundiais. Outras áreas também estão presentes nas duas situações, como microalgas (C12R-001/89), tratamento biológico de água e efluentes (C02F-003/32), aparelhos para microbiologias (C12P-001/00), embora que em posições diferentes. Existem outras áreas nos documentos de instituições/empresas nacionais depositados no Brasil, como cultivo de algas (A01G-033/00), processos biológicos para purificação de gases residuais (B01D-053/84), preparações medicinais com derivados de algas (A61K-036/02) e de algas verdes (A61K-036/05), cosméticos ou produtos para higiene pessoal contendo compostos derivados de algas, líquens, fungos ou plantas (A61K-008/97), processos de fermentação em geral (C12P-001/00) e compostos com atividade antibacteriana (A61P-031/04).

**Figura 29.** Códigos de 8 dígitos da CIP dos pedidos depositados no Brasil por instituições nacionais.

Considerações Finais

As informações obtidas a partir dos artigos científicos e documentos de patentes relacionados com microalgas e cianobactérias, apresentadas nesta publicação, mostram pulverização de instituições e países que atuam no tema, bem como o alto custo de produção e consequente baixa viabilidade econômica da obtenção de produtos de baixo ou médio valor agregado a partir desses organismos, como biocombustíveis. A possibilidade de cultivo a baixo custo, usando CO₂ captado da atmosfera e usando recursos baratos como luz solar podem reverter esse cenário. O estudo apresentou a aplicação de microalgas e cianobactérias, e seus produtos com potencial econômico importante, como biofertilizantes e toxinas, com grande concentração de estudos envolvendo *Chlorella* spp., incluindo pesquisas em andamento na Embrapa Agroenergia.

O estudo bibliométrico mostrou o domínio chinês e norte-americano na produção científica com microalgas e cianobactérias, que juntos concentram 27,8% do total de documentos recuperados. As instituições que mais publicaram dados foram *Chinese Academy of Sciences* (2,9%) e *University of California* (1,5%). Nesse cenário, o Brasil e particularmente a Embrapa têm baixa representatividade. As áreas tecnológicas com maior quantidade de documentos recuperados foram Biotecnologia e Microbiologia Aplicada, Biologia Marinha e de Água Doce e Ciências Ambientais e Ecologia, que apresentam tendência de estabilidade na produção científica no período avaliado. O gênero *Chlorella* spp. mostra-se numericamente relevante para todos os processos industriais levantados, com maior quantidade de documentos recuperados em biorremediação e aquicultura. Esse gênero também apresenta importante incidência no desenvolvimento de biocombustíveis.

Com base no estudo patentométrico, verificou-se que a China é o país que mais tem desenvolvido tecnologias relacionadas com microalgas e cianobactérias, seguido pela Coreia do Sul e Estados Unidos. Em relação às empresas, a China Petroleum & Chemical Corporation (Sinopec) é a que apresenta o maior número de tecnologias descritas em documentos de patente. Os principais campos tecnológicos encontrados foram fermentação e engenharia genética, produtos e polímeros naturais, produtos alimentícios, tratamento de água e efluentes, polímeros e plásticos aplicados em alimentos, combustíveis, óleos e gorduras e fertilizantes. Campos tecnológicos relacionados com fertilizantes, biocidas (pesticidas ou herbicidas) repelentes ou atrativos de pragas, reguladores de crescimento de plantas e ração para animais são sinais fracos emergentes, ou seja, que são tendências para o futuro na área de microalgas e cianobactérias. O gênero *Chlorella* spp. é o mais aplicado nas tecnologias encontradas em patentes.

Referências

- ALBAGLI, S. Da biodiversidade à biotecnologia: a nova fronteira da informação. **Ciência da Informação**, v. 27, n. 1, p. 7-10, 1998. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ci/v27n1/02.pdf>. Acesso em: 21 out. 2019.
- ALGOMED. **History**. Klötze: Roquette Klötze GmbH & Co. KG., 2017. Disponível em: <https://www.algomed.de/en/history/>. Acesso em: 24 set. 2019.
- ALMEIDA, C. R.; SPIANDORELLO, F. B.; GIROLDO, D.; YUNES, J. S. The effectiveness of conventional water treatment in removing *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans, *Microcystis* sp. and microcystins. **Water SA**, v. 42, n. 4, p. 606-6011, 2016. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/wsa/article/view/146990>. Acesso em: 19 out. 2020.
- ARCHAMBAULT, S.; DOWNES, C. M. G.; VAN VOORHIES, W.; ERICKSON, C. A.; LAMMERS, P. Nannochloropsis sp. algae for use as biofuel: Analyzing a translog production function using data from multiple sites in the southwestern United States. **Algal Research**, v. 6, p. 124-131, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211926414001052#>. Acesso em: 23 set. 2019.
- AZEREDO, V. B. S. **Produção de Biodiesel a partir de cultivo de microalgas**: estimativa de custos e perspectivas para o Brasil. 2012. 171 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) -- Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, UFRJ, Rio de Janeiro.

BOBEDA, C. R. R.; TORQUILHO, H. S.; PACHECO, S.; GODOY, R. L. O. Ficotoxinas: revisão sobre um perigoso grupo de contaminantes para o pescado brasileiro. **Revista Semioses**, v. 10, n. 3, p. 1-12, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Sidney_Pacheco/publication/311918771_FICOTOXINAS_REVISAO_SOBRE_UM_PERIGOSO_GRUPO_DE_CONTAMINANTES_PARA_O_PESCADO_BRASILEIRO/links/58b81e8492851c471d4a17cd/FICOTOXINAS-REVISAO-SOBRE-UM-PERIGOSO-GRUPO-DE-CONTAMINANTES-PARA-O-PESCADO-BRASILEIRO.pdf. Acesso em: 19 out. 2020.

BRAGA, M.; LOPES, C. L.; FERREIRA, T. M. M.; SOUZA JUNIOR, M. T. **Estudo patentométrico, bibliométrico e detecção de tecnologias emergentes de PD&I em tolerância à salinidade em plantas**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2021. 61 p. (Embrapa Agroenergia. Documentos, 34).

BRASIL. **Lei n. 10.973, de 2 de dezembro de 2004**. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. Brasília, DF, 2004. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/10.973.htm. Acesso em: 3 set. 2021.

CAMARGO, S. da S.; FISS, R. E.; CAMARGO, F. N. P.; VOLK, L. B. da S. TRINDADE, J. P. P. Um panorama da colaboração científica na pesquisa agropecuária brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 11., 2017, Campinas. **Anais...** Campinas: SBIAgro, 2017. p. 527-536. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170434/1/Panorama-anais-sbiagro2017.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2019.

CAPDEVILLE, G. de; ALVES, A. A.; BRASIL, B. dos S. A. F. **Modelo de inovação e negócios da Embrapa Agroenergia: gestão estratégica integrada de P&D e TT**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2017. (Embrapa Agroenergia. Documentos, 24). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/173992/1/DOC-24-CNPAE.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2019.

CAYUELA, R. Market outlook: speedy growth for chemicals by 2050. **Independent Commodity Intelligence Services**, 11 out. 2013. Disponível em: <http://bit.ly/2oW79lg>. Acesso em: 6 nov. 2019.

CHEW, W.; YAP, J. Y.; SHOW, P. L.; SUAN, N. H.; JUAN, J. C.; LING, T. C.; LEE, D-J; CHANG, J-S. Microalgae biorefinery: high value products perspectives. **Bioresource Technology**, v. 229, p. 53-62, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.006>. Acesso em: 26 abr. 2021.

CHIES, V. **Pesquisa quer transformar microalgas em biofábricas de enzimas para etanol**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2063538/pesquisa-quer-transformar-microalgas-em-biofabricas-de-enzimas-para-etanol>. Acesso em: 21 out. 2019.

CLARIVATE ANALYTICS. **Web of science core collection help**. Disponível em: https://images.webofknowledge.com/images/help/WOS/hp_research_areas_easca.html. Acesso em: 19 set. 2019.

CORBEL, S.; MOUGIN, C.; MARTIN-LAURENT, F.; CROUZET, O.; BRU, D.; NELIEU, S.; BOUAIECHA, N. Evaluation of phytotoxicity and ecotoxicity potentials of a cyanobacterial extract containing microcystins under realistic environmental concentrations and in a soil-plant system. **Chemosphere**, v. 128, p. 332-340, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653515001101?via%3Dihub>. Acesso em: 19 set. 2019.

CORBION. **Innovative microalgae specialist TerraVia acquired by Corbion**. 29 set. 2017. Disponível em: <https://www.corbion.com/about-corbion/press-releases?newsId=1292090>. Acesso em: 15 ago. 2019.

CPHIONLINE. **ENN Science and Technology Development Co., Ltd**. Disponível em: <https://ubm.io/2mIsAuE>. Acesso em: 23 set. 2019.

SÁNCHEZ DE LA GUÍA, L.; PUYELO CAZORLA, M.; DE-MIGUEL-MOLINA, B. Terms and meanings of “participation” in product design: from “user involvement” to “co-design”. **The Design Journal**, v. 20, sup. 1, p. S4539-S4551, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14606925.2017.1352951>. Acesso em: 29 abr. 2021.

DERWENT INNOVATION INDEX. Disponível em: http://apps-webofknowledge.ez103.periodicos.capes.gov.br/DIIDW_GeneralSearch_input.do?product=DIIDW&SID=8Col2Ph51YXXN8NbcR8&search_mode=GeneralSearch. Acesso em: 25 jun. 2019.

UNITED STATES. Energy Information Administration. **International energy outlook 2019: with projections to 2050**. Washington, DC, 2019. 169 p. Disponível em: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/ieo2019.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2019.

FAO. **The future of food and agriculture: trends and challenges**. Rome, 2017. 163 p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2019.

FONSECA, J. A. **Aplicação de algas na indústria alimentar e farmacêutica**. 2016. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Fernando Pessoa, Porto. Disponível em: https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/5827/1/PPG_29141.pdf. Acesso em: 19 set. 2020.

GHESTI, G. F. (ed.). **Tutorial de busca nos principais bancos de patentes**. Brasília, DF: Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília, 2016. 94 p. Disponível em: <http://nupitec.cdt.unb.br/pdf/programaseprojetos/nupitec/LIVRO-BANCO%20DE%20PATENTES.compressed.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2021.

HELIAE. Disponível em: <https://heliae.com/about/>. Acesso em: 26 abr. 2021.

KHAN, M. I.; SHIN, J. H.; KIM, J. D. The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. **Microbial Cell Factories**, v. 17, n. 1, p. 36, 2018. DOI: 10.1186/s12934-018-0879-x.

CASTOR, K.; MOTA, F. B.; SILVA, R. M. da; CABRAL, B. P.; MACIEL, E. L.; ALMEIDA, I. N. de; SANCHEZ, D. A.; ANDRADE, K. B.; TESTOV, V.; VASILYEVA, I.; ZHAO, Y.; ZHANG, H.; SINGH, M.; RAO, R.; TRIPATHY, S.; GRAY, G.; PADAYATCHI, N.; BHAGWANDIN, N.; SWAMINATHAN, S.; KASAEVA, T.; KRITSKI, A. Mapping the tuberculosis scientific landscape among BRICS countries: a bibliometric and network analysis. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 115, e190342, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/mioc/v115/1678-8060-mioc-115-e190342.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2021.

LADEIRA, F. D. **A análise da atividade de patenteamento em biotecnologia no Brasil**. 2012. 263 f. Tese (Doutorado em Genética) -- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

LEAL, A. C.; SOARES, M. C. P. Hepatotoxicidade da cianotoxina microcistina. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 37, suppl. 2, p. 84-89, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rsbmt/v37s2/v37s2a13.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2020.

MANDAL, S.; MALLICK, N. Biodiesel production by the green microalga *Scenedesmus obliquus* in a recirculatory aquaculture system. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 78, n. 16, p. 5929-5934, 2012. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3406171/>. Acesso em: 23 set. 2019.

MEDEIROS, J. M. G. de; VITORIANO, M. A. V. A evolução da bibliometria e sua interdisciplinaridade da produção científica brasileira. **Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, v. 13, n. 3, p. 491-503, 2015. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rdbci/article/view/8635791/8382>. Acesso em: 23 set. 2019.

MONDARDO, R. I. **Avaliação da filtração em margem como pré-tratamento à filtração direta descendente na remoção de células de cianobactérias e saxitoxinas**. 2009. 290 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) -- Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/92497/276045.pdf?sequence=1>. Acesso em: 19 out. 2020.

NAVES, J. L. **Estudos sobre dinoflagelados isolados da costa norte do estado de São Paulo: monitoramento, aspectos moleculares, biológicos e químicos**. 2008. 122 f. Tese (Doutorado em Ciências) -- Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41135/tde-28012009-135320/pt-br.php>. Acesso em: 19 set. 2019.

NUTRACEUTICAL BUSINESS REVIEW. **Roquette opens microalgae unit at Lestrem, France**. 16 jun. 2014. Disponível em: <http://bit.ly/2lI2UhH>. Acesso em: 24 set. 2019.

NORONHA, J. P. **Remoção de *Microcystis aeruginosa* e microcistinas por fotocatalise heterogênea: uma abordagem alternativa**. 2020. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -- Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/53684>. Acesso em: 19 out. 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **The future of petrochemicals: towards more sustainable plastics and fertilisers**. Paris: IEA, 2018. DOI: 10.1787/9789264307414-en.

OILGAE. **All about algae: a comprehensive guide for entrepreneurs, scientists & researchers**. Chennai: Energy Alternatives India, 2018.

OLIVER, S. L.; RIBEIRO, H. Síndrome do zika vírus, carência de políticas ambientais e riscos de agravamento por proliferação de cianobactérias em um cenário de mudanças climáticas. **Revista de Saúde Pública**, v. 54, n. 83, p. 1-4, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2020054002159>. Acesso em: 28 abr. 2021.

NEW ENERGY sector eyeing development due to aviation carbon tax. **People's Daily Online**, 4 abr. 2011. Disponível em: <http://en.people.cn/90001/90778/90860/7339459.html>. Acesso em: 23 set. 2019.

PEREZ, M. F. **Remoção de fitoplâncton e microcistina de águas de abastecimento, pela associação das técnicas de flotação por ar dissolvido e oxidação química com cloro e permanganato de potássio**. 2008. 259 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) -- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-27072008-114529/publico/TeseDoutoradoMauricio.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2020.

PHYCOTERRA. Disponível em: <https://phycoterra.com/products/phycoterra/>. Acesso em: 24 set. 2019.

QUINTELLA, C. M.; CERQUEIRA, G. S.; MIYAZAKI, S. F.; HATIMONDI, S. A.; MUSSE, A. P. S. **Captura de CO₂: mapeamento tecnológico da captura de CO₂ baseada em patentes e artigos**. Salvador: EDUFBA, 2011.

REIS, A.; GOUVEIA, L. **Biorefinarias de microalgas**. Lisboa: Laboratório Nacional de Energia e Geologia, 2013. p. 28-29. (Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Boletim de Biotecnologia). Disponível em: https://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/2292/1/Reis%20Gouveia_Biorefinarias%20Microalgas_2013.pdf. Acesso em: 26 abr. 2021.

RIZWAN, M.; MUJTABA, G.; MEMON, S. A.; LEE, K.; RASHID, N. Exploring the potential of microalgae for new biotechnology applications and beyond: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 92, p. 394-404, 2018.

ROQUETTE. **Enter the world of microalgae**. jun. 2014. Disponível em: <http://bit.ly/2naWvMp>. Acesso em: 24 set. 2019.

ROQUETTE. **MicroAlgae: animal nutrition** | Roquette. Disponível em: <https://www.roquette.com/animal-nutrition-microalgae>. Acesso em: 24 set. 2019.

RUSSO, S. L.; SANTOS, A. V. dos; ZAN, F. R.; PRIESNITZ, M. C. (org.). **Propriedade intelectual, tecnologias e inovação**. Aracaju: Associação Acadêmica de Propriedade Intelectual, 2018. 399 p. Disponível em: <http://api.org.br/wp-content/uploads/2018/01/Propriedade-Intelectual-Tecnologias-e-Inova%C3%A7%C3%A3o-1.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2021.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **The heat is on: taking stock of global climate ambition**. Bonn: United Nations Climate Change, 2019. (NDC Global Outlook Report 2019).

VIANA-VERONEZI, M.; GIANI, A.; MELO, C. S.; GOMES, L. L.; LIBÂNIO, M. Avaliação da remoção de saxitoxinas por meio de técnicas de tratamento das águas de abastecimento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 193-204, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/esa/v14n2/a07v14n2.pdf>. Acesso em: 19 out. 2020.

WEIS, L. **Emprego de microalgas para remoção dos inseticidas bifentrina e imidacloprido em águas**. 2018. 101 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul. 2018. Disponível em <https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/2247/1/Leticia%20Weis.pdf>. Acesso em 20 set. 2019.

WEB OF SCIENCE. Disponível em: http://apps-webofknowledge.ez103.periodicos.capes.gov.br/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=8Col2Ph51YXXN8NbcR8&preferencesSaved=. Acesso em: 25 jun. 2019.

WIPO, INPI. Publicação IPC, IPCPUB v8.5. 15/03/2021. Disponível em <http://ipc.inpi.gov.br/classifications/ipc/ipcpub/>. Acesso em 16/09/2021.

SINOPEC and CAS will industrialize biodiesel from microalgae by 2015. **Window-to-China**, 18 jul. 2013. Disponível em: <https://window-to-china.eu/2013/07/18/sinopec-and-cas-will-industrialize-biodiesel-from-microalgae-by-2015/>. Acesso em: 23 set. 2019.

YANG, L.; RUI, W. **Status of SINOPEC CCUS Technology**. [S.l.]: Global CCS Institute, 2014. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/globalccs/dr-wang-rui-status-of-sinopec-ccus-technology>. Acesso em: 23 set. 2019.

YOON, J. Detecting weak signals for long-term business opportunities using text mining of Web news. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 16, p. 12543-12550, 2012. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.04.059.

