

CAPÍTULO XVI

BIOTECNOLOGIA MARINHA¹

Sinopse

Este capítulo explana o conceito de Biotecnologia Marinha e o seu processo histórico, cujo início, no Brasil, foi marcado pela criação da Rede de Biotecnologia de Macroalgas Marinhas (RedeAlgas). Na sequência, traz informações sobre o Comitê Executivo para a Biotecnologia Marinha (Biomar), que tem representantes de ministérios e outros órgãos de alto nível, e relata o estado da arte na área, com dados sobre laboratórios e pesquisadores envolvidos, além de parcerias com o setor produtivo. Aborda, ainda, a questão das patentes, com destaque tanto para o aumento da quantidade de pedidos entre 2001 e 2018, quanto para os seus principais detentores – as indústrias farmacêutica, química, alimentícia e de combustíveis –, apresentando os fármacos obtidos a partir de métodos industriais e revelando o elevado montante de vendas relativas à Biotecnologia Marinha naquele período. A formação de recursos humanos nessa área no Brasil também é objeto de avaliação, tendo em vista a quantidade de trabalhos de pós-graduação disponíveis. Ademais, evidencia-se a contribuição das redes de pesquisa, como a Rede Nordeste de Biotecnologia (Renorbio) e a supracitada RedeAlgas, entre outras que, nos últimos anos, se formaram no Brasil. Por fim, após uma análise conclusiva, são feitas algumas sugestões pertinentes à matéria.

Abstract

This chapter explains the concept of Marine Biotechnology and its historical process in Brazil, which began with the creation of the Brazilian Network on Marine Macroalgae Biotechnology (RedeAlgas). It also provides information on the Executive Committee for Marine Biotechnology (Biomar), which has representatives from different ministries and other high-level agencies. In addition, it presents the state-of-the-art in the area, with data on the laboratories and researchers involved, as well as the partnerships with the productive sector. Moreover, it addresses the subject of patents, focusing on the increasing number of applications between 2001 and 2018 and also on the main holders – pharmaceutical, chemical, food and fuel industries –; besides, it mentions pharmaceuticals obtained from industrial methods, revealing the high amount of sales related to Marine Biotechnology in that period. Furthermore, this article shows an assessment on human resources training in the area of Marine Biotechnology in Brazil, taking into account the number of graduate works available. Lastly, it acknowledges the contribution of the research networks, such as the Northeastern Biotechnology Network (Renorbio) and the aforementioned Rede Algas, among

¹ A atualização deste capítulo contou com a participação da Prof. Dra. Yocie Yoneshigue Valentin, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, em sequência a webinar específico sobre o assunto promovido pelo Cembra.

others that have been created in Brazil in recent years. After a conclusive analysis, some suggestions regarding the topic are provided.

1. INTRODUÇÃO

A Terra possui mais de 70% da sua superfície coberta por água, sendo que a maior parte está nos mares e oceanos, os ecossistemas menos explorados deste planeta. É uma imensidão azul que encobre inúmeras espécies e compostos bioativos.

Os primeiros registros de produtos naturais como fontes de substâncias bioativas utilizadas pelo homem na procura por alívio e cura de doenças datam de épocas remotas, como o século XV, quando os antigos povos asiáticos empregaram macroalgas no tratamento de gota, fístulas e algumas formas de câncer.

Nos últimos séculos, foram descobertos os polissacarídeos (ou ficocoloides), substâncias provenientes das macroalgas marinhas que, além de terem revolucionado a indústria, apresentam diversas utilidades. Entre as substâncias obtidas a partir da alga vermelha, por exemplo, podem ser citados o kanten (ágar), descoberto no Japão em 1658, e a carragenana, descoberta na Irlanda em 1785. Já o ácido algínico, descoberto na Inglaterra em 1883, é oriundo da alga parda. A utilização do ágar como base do meio de cultura para o crescimento da bactéria da tuberculose, experimento realizado por Robert Koch em 1882, foi o grande salto na Ciência, uma vez que as macroalgas passaram a ser empregadas como elemento biotecnológico de grande relevância na medicina.

Na década de 1950, foram isolados os primeiros fármacos derivados de substâncias bioativas das esponjas marinhas *Tethya crypta*, de origem caribenha, que serviram de protótipos moleculares para o desenvolvimento de poderosos antivirais sintéticos, como o aciclovir (que possui atividade inibitória contra os vírus do herpes humano) e o AZT ou zidovudina (indicado para o tratamento da AIDS e de infecções por HIV).

Entre outros bioativos que serão citados neste capítulo mais adiante, estão os extratos de cartilagem de tubarão e de moluscos, que foram usados como potentes analgésicos contra o câncer, e o Yondelis, anticancerígeno produzido de modo sintético a partir da ascidia que impede a multiplicação celular.

Cumprе salientar que os organismos marinhos são responsáveis pela produção de substâncias, tanto simples como muito complexas, que ainda são, em grande parte, desconhecidas. Elas atuam: na comunicação entre espécimes; na defesa contra animais herbívoros ou predadores; entre competidores por espaço ou recursos; na reprodução sexuada por meio de feromônios sexuais; simplesmente como produto do metabolismo das espécies para reserva; ou em função ainda não estabelecida. Portanto, essas substâncias são produzidas para tornar esses organismos mais eficientes no meio marinho e garantir sua sobrevivência, mas também podem ser uma nova esperança para o tratamento ou a cura de muitas doenças humanas e animais.

A Biotecnologia Marinha pesquisa moléculas com potencial econômico, como as empregadas na indústria farmacêutica e na produção de tintas anti-incrustantes, buscando explorar os biorrecursos marinhos de maneira sustentável e ética de modo a consagrar uma contribuição significativa para os principais desafios da sociedade no contexto mundial nas áreas de alimentos

(humano e animal), agricultura, energia, medicamentos e processos industriais. Além disso, promove o desenvolvimento a partir de:

- tecnologia biológica para identificação de pontos de estresse ecológico no ambiente – por exemplo: sondas moleculares de floração de algas nocivas para a previsão de riscos potenciais à saúde;
- tecnologia molecular para identificação de populações e doenças emergentes com vistas à proteção da pesca e de outros recursos biológicos – por exemplo: o mapeamento de DNA de peixes;
- tecnologia molecular para ensaios de diagnóstico rápido que garantem a segurança dos recursos alimentícios provenientes da aquicultura e da maricultura como, por exemplo, a aplicação de reações em cadeia da polimerase (PCR) para identificar, simultaneamente e num só ensaio, vários micróbios patogênicos, incluindo *Vibrio parahaemolyticus* e *Salmonella spp.*, em tecidos de moluscos bivalves como ostras, mexilhões e vieiras, entre outros organismos.

Com os avanços da modelagem molecular, o desenvolvimento de novas estratégias em Biotecnologia (incluindo bancos de germoplasma, ensaios em larga escala, química combinatória e desenho racional de fármacos) pode produzir maior número de novas substâncias químicas com potencial tecnológico em menor tempo. No entanto, sabe-se ainda muito pouco sobre essa enorme fonte de diversidade molecular; assim, a descoberta de novos protótipos com atividade biológica *in vitro* e *in situ* permanece fundamental para a ciência. Vários produtos marinhos têm aplicação comercial hoje ou têm potencial industrial para os próximos cinco anos.

O potencial biotecnológico do mar tem despertado o interesse de vários profissionais, particularmente biólogos, químicos e bioquímicos. As dificuldades de coleta, no entanto, retardaram o início efetivo do estudo desse potencial. Contudo, os avanços nos métodos de mergulho autônomo e o desenvolvimento de equipamentos para coleta em maiores profundidades associados às novas técnicas cromatográficas, espectroscópicas e de cultivo, entre outras, resultaram no progresso dessa tecnologia desde os anos 1970, especialmente nos Estados Unidos, no Japão, na Austrália e na Itália.

Portanto, pode-se definir a Biotecnologia² como um conjunto de conhecimentos que possibilita a utilização de agentes biológicos (organismos, células, organelas, moléculas) para obter bens ou assegurar serviços. Trata-se da mais promissora estratégia para elevar a produção mundial de alimentos e melhorar a qualidade de vida do homem. Ou uma definição mais plausível: a Biotecnologia é a utilização de agentes biológicos para gerar novos produtos visando melhorar a vida humana.

2. A BIOTECNOLOGIA MARINHA

Segundo alguns autores, a Biotecnologia Marinha consiste na produção de drogas viáveis obtidas por meio da bioprospecção marinha e no desenvolvimento de organismos geneticamente

² Biotecnologia é o conjunto de procedimentos envolvendo a manipulação de organismos vivos para fabricar ou modificar produtos. A palavra tem origem grega: “bio” significa vida, “tecnos” remete a técnica e “logos” quer dizer “conhecimento”. Disponível em: <<https://croplifebrasil.org/conceitos/a-biotecnologia-e-o-desenvolvimento-da-humanidade/>>. Acesso em: 6 mar. 2022. (Nota do revisor).

modificados para propósitos ambientais ou para a aquicultura. De acordo com as principais sociedades internacionais de Biotecnologia Marinha, que utilizam um conceito mais amplo, existem as seguintes subáreas (BRASIL, 2010, p. 24):

- genômica em aquicultura – por exemplo: biotecnologia aplicada a doenças em aquicultura, transgênicos, abordagem molecular para melhoramento da performance e da sustentabilidade em aquicultura;
- microbiologia marinha – por exemplo: biorremediação (ou remediação biológica, técnica utilizada para minimizar os impactos ambientais causados pela poluição);
- biologia molecular e biotecnologia de organismos marinhos – exemplo: cultura de células algáceas e animais;
- genômica, proteômica e metabolômica – exemplos: produtos naturais marinhos bioativos e bioprodutos;
- biotecnologia das algas (ex.: ficocoloides, como ácido algínico, agarana e carragenana; e biodiesel);
- anti-incrustantes e anticorrosivos;
- toxinas marinhas; e
- biotecnologia marinha e meio ambiente.

O mar brasileiro, ou Amazônia Azul, contém uma alta diversidade de macroalgas que, juntamente com outros organismos – fauna, bactérias, vírus e fungos da flora –, constituem fontes inesgotáveis de numerosos recursos biotecnológicos. No entanto, há de se reconhecer e ressaltar que as macroalgas fornecem um importante arsenal diversificado de moléculas bioativas altamente potentes usadas nas indústrias farmacêutica, cosmética, alimentícia, naval, agrícola e de energia. Pesquisas que demonstram os mecanismos de ação das substâncias extraídas de macroalgas da costa brasileira são fundamentais não só para seu registro e aplicação, mas também para a geração de patentes. Nesse contexto, inclui-se a revisão de seis décadas de estudos sobre biotecnologia das macroalgas marinhas no Brasil e pesquisas sobre suas atividades biológicas.

Conforme mencionado anteriormente, tanto a flora quanto a fauna marinha são fontes de uma ampla gama de compostos de interesse biotecnológico. Compostos fenólicos, como os flavonoides extraídos de macroalgas, são os principais responsáveis pela atividade antioxidante. As macroalgas biossintetizam uma grande variedade de polissacarídeos sulfatados hidrossolúveis, com predomínio de rhamnose, galactose e ácidos pirúvicos. Esses polissacarídeos são conhecidos por apresentarem uma gama de atividades biológicas, incluindo antivirais (HSV-1 e 2) e anticoagulantes.

Esses vegetais marinhos também sintetizam potentes bloqueadores químicos da radiação UV para sua proteção – os aminoácidos tipo micosporina (MAA, do inglês *mycosporine-like amino acids*), que podem ser encontrados em organismos marinhos de áreas que abrangem desde os polos até regiões tropicais. Aplicações comerciais para MAA, como protetores solares e fotoestabilizadores de aditivos em plásticos, pinturas e vernizes, já estão sendo testadas. A indústria de cosméticos tem investido em novas formulações para protetores solares e a sua expansão se deve ao reconhecimento de que a exposição ao sol é a principal causa para o desenvolvimento de câncer de pele (melanoma), envelhecimento precoce e fotoenvelhecimento.

Além disso, as algas sintetizam carotenoides, que constituem uma ampla classe de tetraterpenos insaturados com muitas funções biológicas. Aproximadamente 600 carotenoides já foram isolados de fontes naturais. Os principais carotenos são licopeno e astaxantina (pigmento vermelho), betacaroteno (pigmento laranja) e zeaxantina (pigmento marrom). Os pigmentos carotenoides, que são utilizados como corantes em alimentos e suplementos nutricionais, detêm um mercado mundial de mais de três bilhões de dólares por ano.

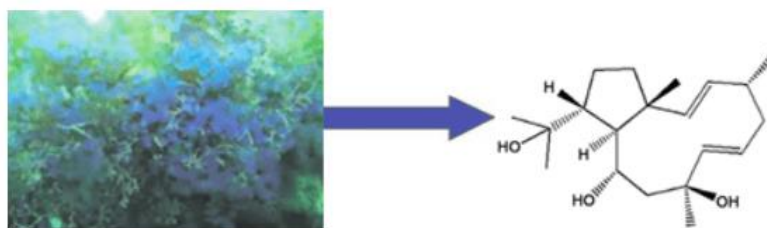
Outra categoria de substâncias sintetizadas pelas macroalgas que tem um alto valor de mercado é a de ácidos graxos das séries ômega-3 e ômega-6, que são fundamentais para o bem-estar humano, pois são precursores de hormônios esteroides. Juntos, eles têm um mercado mundial de aproximadamente dois bilhões de dólares.

Extratos e substâncias químicas isoladas visando à aplicação na indústria de cosméticos, nutracêuticos e sondas para avaliação de enzimas específicas em processos celulares são exemplos de utilização de produtos oriundos desses organismos marinhos. O enfoque de cientistas brasileiros tem sido a obtenção de vários extratos das macroalgas coletadas em águas nacionais para fins medicinais, como o combate ao câncer e às doenças negligenciadas, além de bactericidas, anti-inflamatórios e antioxidantes.

A enorme potencialidade dos oceanos para a Biotecnologia permanece, em grande parte, desconhecida. Mesmo para os organismos mais investigados, como algas e invertebrados marinhos, o conhecimento existente ainda é insuficiente para permitir que a gestão e a utilização dos recursos sejam realizadas de modo mais inteligente.

Uma pesquisa realizada na Universidade Federal Fluminense (UFF), coordenada pelas Professoras Doutoras Izabel Paixão e Valeria Laneuville Teixeira, investiga o potencial antiviral de produtos naturais provenientes de algas marinhas. A Figura 1 mostra a alga marinha *Dictyota pfaffii*, da qual foi isolada uma substância química com potencial antiviral contra o Herpes Humano (HSV) e a Síndrome da Imunodeficiência Adquirida (HIV). Nos últimos anos, vêm sendo realizados estudos *in vivo* em mamíferos utilizando essa substância.

FIGURA 1: Alga marinha *Dictyota pfaffii*, coletada no Arquipélago do Atol das Rocas (RN).



Fonte: Rumo ao Mar (2021).

Nos últimos anos, a quantidade de produtos isolados de fontes marinhas foi enorme. Segundo a base de dados do portal *Marine Literature Database* (MarinLit)³, o número já se aproxima de 24.000 metabólitos isolados de organismos marinhos, derivados de cerca de 6.000

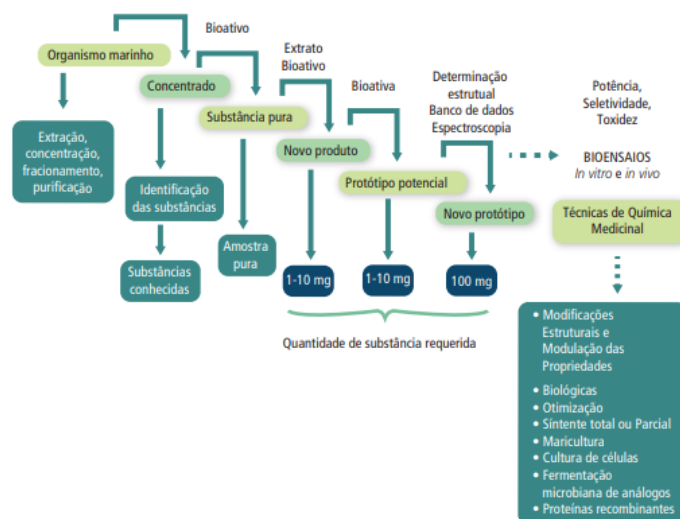
³ Disponível para consulta e assinatura em: <<https://marinlit.rsc.org/>>. Acesso em: 10 jun. 2022. (Nota do revisor)

espécies de aproximadamente 2.200 gêneros de 39 filas, com mais de 30 compostos em fases clínicas distintas. Em sua última revisão anual sobre os produtos naturais marinhos, Blunt et al. (2014) relacionaram mais de 1.240 moléculas isoladas apenas em 2012, conforme artigo publicado e com cerca de 1.035 citações no mundo inteiro. Isso significou um aumento de mais de 20% no número de moléculas conhecidas em 2010, o que revela o grande desenvolvimento da área⁴.

Os usos tradicionais dos recursos do mar estão relacionados às atividades de pesca, à exploração de petróleo e gás, à maricultura e às atividades envolvendo o turismo e o lazer, enquanto os recursos minerais e biológicos em águas profundas e o potencial biológico da biodiversidade marinha – a bioprospecção – permanecem pouco utilizados. O Brasil tem obtido, nas últimas décadas, resultados promissores. Os métodos ou formas de localizar, avaliar e explorar sistemática e legalmente a diversidade de vida existente, tendo como principal finalidade a busca de recursos genéticos, bioquímicos e químicos para fins industriais, começam a ser uma realidade em vários locais do mundo.

A Figura 2 apresenta os principais passos no processo de descoberta de novas drogas a partir dos organismos marinhos.

FIGURA 2: PROCESSO DE DESCOBERTA DE NOVAS DROGAS A PARTIR DE ORGANISMOS MARINHOS.



Fonte: Brasil (2010, p. 29).

No Brasil, a área de Biotecnologia Marinha, que abrange a bioprospecção, tem sido apoiada pelo Programa de Levantamento e Avaliação do Potencial Biotecnológico da Biodiversidade Marinha desde 2005, com debates na comunidade científica, criação de redes de conhecimento, estudos sobre o estado da arte e promoção de editais para o financiamento de projetos de

⁴ TEIXEIRA, V. L. Biodiversidade e Sustentabilidade – Biotecnologia Marinha no Brasil (Simpósio). *Anais da 62ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) – Ciências do Mar: herança para o futuro*. Natal, RN – julho/2010. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/62ra/simposios.htm>>. Acesso em: 11 jun. 2022.

desenvolvimento biotecnológico com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

A conceituação é premissa básica para todo estudo em Biotecnologia. A Convenção sobre Diversidade Biológica, assinada durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD) realizada no Rio de Janeiro em 1992 (ECO-92), em seu Artigo 2º definiu a Biotecnologia como “qualquer aplicação tecnológica que utilize sistemas biológicos, organismos vivos ou seus derivados, para fabricar ou modificar produtos ou processos para utilização específica” (BRASIL, 2000, p. 9).

Os conceitos de Biotecnologia variam muito na literatura; um simples, aceito por todos, qualifica-a como o uso dos organismos pelo homem. É um conjunto de técnicas de natureza variada que envolve uma base científica comum, de origem biológica, e que requer o crescente aporte de conhecimento científico e tecnológico oriundo de outros campos.

Retomando a questão da importância das macroalgas, espécie de alto valor econômico, vale ressaltar que a biomassa macroalgácea tem muita relevância no contexto da Bioeconomia Azul⁵ devido ao seu potencial para múltiplas aplicações e para o abastecimento do mercado global com alimentos, ingredientes de ração, produtos farmacêuticos e fertilizantes, além de produtos que podem substituir materiais à base de petróleo. Por outro lado, torna-se um desafio encontrar espécies que apresentem elevada taxa de crescimento e alta concentração de moléculas desejadas em quantidade suficiente no meio natural. A solução para resolver esse problema é o cultivo feito de modo a garantir a obtenção da matéria-prima para os diferentes segmentos das indústrias. Os sistemas de cultura podem ser classificados como: cultivo no mar e cultivo integrado.

A aquicultura (maricultura no mar) é uma das atividades da bioeconomia azul que mais cresce no mundo e poderá contribuir muito com a demanda crescente por alimentos, segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (*Food and Agriculture Organization* – FAO). Atualmente, as pesquisas procuram desenvolver linhagens termotolerantes (adaptadas a mudanças climáticas) e resistentes a doenças e epífitas, além de tecnologias de cultivo mais robustas e econômicas.

Entre as técnicas de cultivo utilizadas, pode ser citada a aquicultura multitrófica integrada, que consiste em reciclar os subprodutos (resíduos) de uma espécie para se tornarem insumos (fertilizantes, alimentos) para outra. Por exemplo: os resíduos dos camarões ou peixes servirão de fertilizantes para as macroalgas.

Coletas de algas atiradas às praias (arribadas) também constituem uma importante fonte de biomassa natural disponível. Esse fenômeno está ocorrendo com mais frequência em muitas praias da costa brasileira devido às alterações nas condições oceanográficas, afetadas pelas mudanças climáticas. Nessas ocasiões, grande volume de macroalgas se acumula nas praias, ocasionando sérios problemas ambientais e afastando os turistas. Porém, a biomassa pode ser aproveitada de diversas formas, transformando problemas de gestão em oportunidades. Atualmente, há uma

⁵ Bioeconomia Azul: busca adequar a realização das atividades econômicas por meio de práticas de sustentabilidade a fim de garantir a inclusão social e a conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos. Para mais informações: <<http://ofoco.net.br/bioeconomia-azul-o-desafio-socioeconomico-de-produzir-sem-destruir-o-planeta-agua/>>. Acesso em: 11 jun. 2022. (Nota do revisor)

crecente demanda mundial por intermediários químicos renováveis. Os produtos extraídos de matérias-primas renováveis (como as macroalgas) são biologicamente mais efetivos e seguros na alimentação humana e animal do que os sintetizados a partir do petróleo.

Nos países que detêm *know-how* de tecnologias sustentáveis, protocolos de aproveitamento integral de biomassas (rejeito zero e mitigação de CO₂) foram desenvolvidos ou estão em desenvolvimento para obter os intermediários químicos de interesse comercial. Dessa forma, tanto o desenvolvimento de tecnologias e protocolos quanto a realização de pesquisas aplicadas à bioprospecção de novas moléculas naturais e/ou à descoberta de novas aplicações para moléculas já conhecidas são estratégias de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) alinhadas com a nova bioeconomia mundial.

A Comissão Europeia de Pesquisa e Inovação em Bioeconomia (*European Commission*) estima que a mudança de uso dos produtos derivados do petróleo para os biológicos possa reduzir o consumo de CO₂ em 2,5 bilhões de toneladas por ano a partir de 2030. Essa nova matriz econômica é um setor de rápido crescimento capaz de criar novos mercados e trabalhos.

3. HISTÓRICO DA BIOTECNOLOGIA MARINHA NO BRASIL

Um marco histórico para o estabelecimento e o avanço dos estudos biotecnológicos marinhos no Brasil foi o “*I Workshop* Potencial em Biotecnologia de Macroalgas Marinhas”, realizado em maio de 2005 em Angra dos Reis (RJ) com o objetivo de estruturar uma rede temática nacional em Biotecnologia de Macroalgas Marinhas. Promovido pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT)⁶ por meio da Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento (Seped/MCT) e do CNPq, o encontro contou com a participação de pesquisadores e integrantes da Sociedade Brasileira de Ficologia, além de gestores e empresários. Nessa reunião, foram enfatizados temas como novos bioativos, manejo e cultivo, conservação, biotecnologia e técnicas de bioatividade.

Esse *workshop* deu origem ao documento elaborado para a criação da Rede de Biotecnologia de Macroalgas Marinhas (RedeAlgas)⁷, um projeto multidisciplinar implantado pelo MCT que engloba diversas entidades de pesquisa e é dividido em vertentes temáticas e de aplicação biotecnológica das substâncias oriundas das algas marinhas. Implementada em junho de 2005 pelo então Ministro de Ciência e Tecnologia, Sr. Eduardo Campos, a RedeAlgas tem como objetivos (BRASIL, 2010):

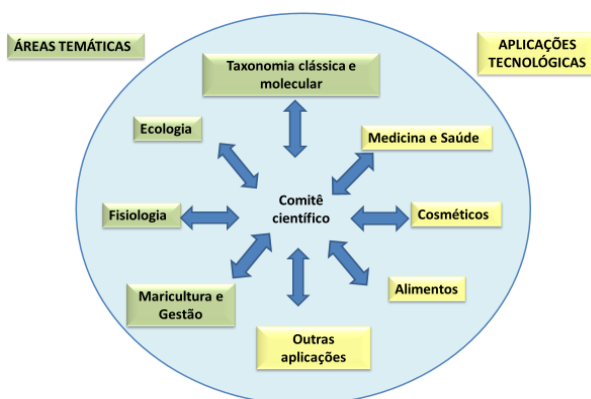
- o mapeamento da diversidade de macroalgas marinhas;
- o estudo da fisiologia, da maricultura e de seu uso sustentável;
- o estudo da ecologia e de seu manejo e conservação;

⁶ O Ministério da Ciência e Tecnologia teve sua denominação alterada para MCTI em 2015 (com a inclusão de Inovações) e para MCTIC em 2016 (com a incorporação do Ministério das Comunicações). Em 2020, voltou a ser MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações). (Nota do Revisor.)

⁷ A primeira coordenadora da RedeAlgas foi a Dra. Yocie Yoneshigue-Valentin (2005-2009), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

- o isolamento, a identificação e a caracterização de moléculas;
- a caracterização da atividade biológica;
- a modelagem, a síntese, as modificações químicas e a expressão de moléculas bioativas;
- o desenvolvimento de produtos, a proteção da propriedade intelectual e a produção de insumos de aplicação industrial.

FIGURA 3: ÁREAS DE ATUAÇÃO DA REDEALGAS (TEMÁTICAS E APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS) E PRINCIPAIS OBJETIVOS.



Fonte: MCT /CNPq – 2005⁸

Também em 2005, foi criado, por meio da Portaria nº 230/MB, o Comitê Executivo para o Levantamento e Avaliação do Potencial Biotecnológico da Biodiversidade Marinha (Biomar)⁹, subordinado à Subcomissão para o Plano Setorial para os Recursos do Mar (PSRM). O Comitê é coordenado pelo representante do Ministério da Ciência e Tecnologia e tem como membros os representantes:

- dos Ministérios: das Relações Exteriores (MRE); da Educação (MEC); do Meio Ambiente (MMA); e do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC);
- da Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca da Presidência da República (Seap/PR);
- da Marinha do Brasil (MB);
- do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama);
- do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq);
- da Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (Secirm); e
- da empresa Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras).

⁸ Nota: Relatório interno da implementação da Redealgas subvencionado pelo MCT/ CNPq em 2005. (Nota do revisor)

⁹ Atualmente, Comitê Executivo para a Biotecnologia Marinha – Biomar (cf. Resolução da Cirm nº 4, de 29 de agosto de 2012. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/secirm/sites/www.marinha.mil.br/secirm/files/resolucao-4-2012.pdf>>. Acesso em: 6 jun. 2022.

O Comitê Biomar recebeu as seguintes atribuições:

- elaborar uma Proposta Nacional de Trabalho (PNT) com a finalidade de avaliar o potencial biotecnológico dos organismos existentes nas áreas marítimas sob jurisdição do Brasil e de interesse nacional e, posteriormente, submetê-la à aprovação da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (Cirm) por intermédio da Subcomissão para o PSRM;
- acompanhar e viabilizar o cumprimento das metas da PNT, adotando as medidas necessárias à sua operacionalização e ao seu atendimento;
- assessorar a Subcomissão para o PSRM na supervisão dos trabalhos relativos à condução das atividades da PNT; e
- convocar membros e consultores *ad-hoc* da comunidade científica quando necessário.

Em 2006, foi lançado pelo CNPq, em parceria com o MCT e o Ministério da Saúde, o Edital nº 10/2006 visando à seleção pública de propostas para apoio às atividades de pesquisa em Biotecnologia Marinha direcionadas ao desenvolvimento de fármacos e insumos farmacêuticos a partir de algas marinhas. Foram aprovados quatro grandes projetos: da Universidade de São Paulo (USP) e das Universidades Federais da Paraíba (UFPB), de Minas Gerais (UFMG) e do Rio de Janeiro (UFRJ).

Em 2007, a PNT em Biotecnologia Marinha foi concretizada após a realização de várias reuniões com os membros da comunidade científica na Escola Naval (RJ). A implementação do Comitê Executivo ocorreu, efetivamente, em meados de 2007, possibilitando a elaboração do Programa de Levantamento e Avaliação do Potencial Biotecnológico da Biodiversidade Marinha, hoje denominado apenas de Biotecnologia de Organismos Marinhos. A PNT tem como objetivos estimular, apoiar e promover os meios para o desenvolvimento e o aproveitamento sustentável do potencial biotecnológico da biodiversidade marinha existente nos ecossistemas costeiros e nas áreas marítimas sob jurisdição brasileira e de interesse nacional, definindo os focos prioritários para a atuação governamental no incentivo à pesquisa, ao desenvolvimento tecnológico e à inovação no Brasil, tomando como base a capacidade existente, as prioridades de cada um dos atores governamentais e o incremento da articulação entre os setores público e privado.

Durante essas reuniões, ficou evidente a necessidade de realizar um diagnóstico da capacidade de pesquisa, desenvolvimento e inovação da Biotecnologia Marinha no País com a finalidade de orientar ações futuras para fortalecê-la, criando mecanismos de apoio à pesquisa científica biológica marinha e aperfeiçoando os procedimentos que têm impacto direto sobre a evolução da matéria à luz dos marcos regulatórios (ações estruturantes horizontais).

Embora possa ser considerada como área de aplicação diversa da Biotecnologia Marinha *stricto sensu*, a geração de pesquisa e tecnologias para a produção de biodiesel a partir de algas também teve um edital para apoio financeiro – o Edital MCT/CNPq/Seap-PR nº 26/2008, que disponibilizou um total de R\$ 25.271.518,71 para 11 grupos selecionados, todos com experiência científica na área, sendo dois da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), dois da Universidade Federal do Paraná (UFPR), dois da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e um de cada uma das seguintes instituições: Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Universidade

Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e Universidade Federal de Goiás (UFG),.

Entre as ações estruturantes verticais, a PNT teve como objetivos ampliar o conhecimento científico sobre a biodiversidade marinha com potencial biotecnológico e estimular a geração de processos e produtos. Assim, ainda em 2008, foi formalizado o Convênio entre o MCT, a Secretaria de Pesquisa e Desenvolvimento (Seped¹⁰) e o Departamento de Biologia Marinha da Universidade Federal Fluminense (UFF). Em decorrência desse convênio, teve início diagnóstico da capacidade de pesquisa, desenvolvimento e inovação em biodiversidade marinha no Brasil.

Em 2009, foi aberto o Edital MCT/CNPq/CT-Petro¹¹ n° 39/2009, que oferecia apoio a projetos que visassem ao uso sustentável do potencial biotecnológico da biodiversidade marinha existente nos ecossistemas costeiros e nas áreas marítimas sob jurisdição brasileira e de interesse nacional. Com esse objetivo, foram aprovados 17 projetos de grupos emergentes de outras áreas e consolidados em diferentes subáreas da Biotecnologia Marinha.

Em julho de 2009, foi realizado em Ilhabela (SP) o “II *Workshop* em Novos Bioativos de Macroalgas: Manejo e Cultivo, Conservação, Biotecnologia e Técnicas de Bioatividade”. Foram publicados 25 artigos de 150 autores participantes desse *workshop* em uma edição especial da Revista Brasileira de Farmacognosia com o título *Fronteiras dos Compostos Bioativos das Macroalgas*.

O ano de 2010 teve diversos eventos, entre os quais:

- a realização do *workshop* “Biodiversidade Marinha: Avanços Recentes em Bioprospecção, Biogeografia e Filogeografia” (*Marine Biodiversity: Current Advances on Bioprospecting, Biogeography and Phylogeography*), que reuniu pesquisadores brasileiros e estrangeiros em São Paulo nos dias 9 e 10 de setembro;

- a publicação, pelo Ministério da Saúde, do livro *Caracterização do Estado da Arte em Biotecnologia Marinha no Brasil*, de autoria da Professora Valéria Laneuville Teixeira, da UFF (BRASIL, 2010);

- o lançamento do Edital MCT/CNPq/FNDCT¹² n° 03/2010 com o objetivo de selecionar propostas para apoio financeiro a projetos que visassem contribuir para o desenvolvimento científico e tecnológico do País apoiando a cadeia de produção e uso de biodiesel. Entre as diretrizes do edital estava a produção e a obtenção de matérias graxas a partir de microalgas marinhas;

- a divulgação do Edital n° 71/2010 para implementação dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) em Ciências do Mar, que resultou na aprovação de quatro propostas de sedes para os institutos: no Estado do Rio de Janeiro, o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – IEAPM; no Estado de São Paulo, a USP; no Estado do Rio Grande do Sul, a FURG; e no Estado da Bahia, a UFBA. Embora o foco principal não seja a Biotecnologia Marinha,

¹⁰ Atualmente Secretaria de Políticas para Formação e Ações Estratégicas (SEFAE) (Nota do revisor).

¹¹ CT-Petro: Fundo Setorial de Petróleo e Gás Natural. (Nota do revisor)

¹² FNDCT: Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. (Nota do revisor)

em pelo menos dois INCTs há grupos que contemplam a área de prospecção da biodiversidade marinha.

No mês de julho de 2011, foi realizado no Hotel Arcozelo, em Paty de Alferes (RJ), o III *Workshop* da RedeAlgas¹³ intitulado “Novas Percepções sobre Produtos Algáceos e Bioprospecção no Brasil: aplicações em Saúde Pública, Cosmetologia e Farmacêutica”. Foram publicados 28 artigos de 145 autores em edição especial da Revista Brasileira de Farmacognosia em 2016.

Em 2012, a UFRJ e a USP receberam o aporte total de três milhões de reais para a realização de pesquisas biotecnológicas nas áreas médica, farmacêutica e de sustentabilidade socioambiental usando micro-organismos. Em junho de 2012, o Instituto de Microbiologia Paulo de Góes (IMPG), da UFRJ, ganhou um novo polo de laboratórios, pioneiro no estado: o Bioinnovar, cujo principal objetivo é o desenvolvimento da pesquisa básica como resposta às necessidades sociais, com destaque para os estudos com micro-organismos visando à prevenção e à remediação de acidentes naturais ou decorrentes da ação do ser humano, como o vazamento de óleo no oceano.

Três eventos importantes se destacaram no ano de 2013:

- a abertura, pelo MCTI, de consulta pública para encaminhamento de sugestões visando à elaboração do Plano Nacional de Trabalho 2013-2015 para a Ação Biotecnologia Marinha, instrumento de planejamento integrado e participativo que orienta as atividades a serem empreendidas pelos segmentos envolvidos no conhecimento e no uso sustentável do potencial biotecnológico da biodiversidade das áreas marítimas brasileiras. O documento foi encomendado a um grupo de especialistas pelo Comitê Executivo Biomar, que promoveu o encontro de pesquisadores que atuam em Biotecnologia Marinha com o objetivo de viabilizar a articulação e o desenvolvimento de projetos conjuntos. A Ação Biomar é uma das prioridades do VIII Plano Setorial para os Recursos do Mar, sob a tutela da Cirm (CAMPOS, 2013). Em decorrência de proposta estabelecida em reunião no CNPq, foi criado um edital para o financiamento de redes em Biotecnologia Marinha e para a atualização do livro *Caracterização do Estado da Arte em Biotecnologia Marinha no Brasil*, no qual a autora Valéria Laneuville Teixeira e seus colaboradores (BRASIL, 2010) apresentam gargalos, metas e ações governamentais para o desenvolvimento da área;

- a realização do IV Congresso Latino-Americano de Biotecnologia de Algas (Claba) em Florianópolis (SC), juntamente com o IV *Workshop* da Rede Algas – “Desafios à Conservação e ao Desenvolvimento Sustentável”. Como resultado, foram publicados 31 artigos de 143 autores no *Journal of Applied Phycology*;

- o lançamento da Ação Transversal MCTI/CNPq/FNDCT nº 63/2013 com o objetivo de apoiar projetos de pesquisa científica, tecnológica e de inovação visando estruturar uma Rede de Pesquisa em Biotecnologia Marinha para investigar os potenciais usos de bioativos obtidos a partir de organismos marinhos presentes na Zona Costeira e no Oceano Atlântico Sul e Tropical, bem como em águas internacionais de interesse nacional, contribuindo, portanto, para a formação de recursos humanos e a produção de conhecimentos científicos, tecnológicos e de inovação que

¹³ Mais informações em: <<http://www.workshopredealgas2011.uff.br/>>.

promovam o desenvolvimento social e econômico sustentável. Inicialmente, o edital aprovou 13 projetos, mas sua ampliação está sendo reconsiderada pelo CNPq.

Nos anos seguintes, foram realizadas várias reuniões não só para acompanhar o desenvolvimento da RedeAlgas nos *workshops* – V (2015), VI (2017), VII (2019) e VIII (2021) –, mas também para promover a ativação de novas redes, como: a Rede Nordeste de Biotecnologia (Renorbio); a Rede de Pesquisas Biotecnológicas de Substâncias Antioxidantes de Organismos Marinhos (Rede SAO-MAR); a Rede Marativo (micro-organismos marinhos como fonte biotecnológica na produção de moléculas bioativas); a Rede Avançada de Pesquisa em Biotecnologia Marinha; e a Rede Bioreef (bioprospecção de compostos bioativos de organismos recifais com potencial aplicação biotecnológica). Também merece menção a Rede Social de Biotecnologia, criada anteriormente (2011).

Todo esse desenvolvimento será descrito com mais detalhes no subitem 4.4, que trata das redes de pesquisa em Biotecnologia Marinha.

4. ESTADO DA ARTE NO BRASIL

4.1 Pesquisa nas Subáreas da Biotecnologia Marinha

De acordo com o banco de dados sobre grupos de pesquisa do CNPq¹⁴, o mais completo do Brasil, há muitos laboratórios cadastrados e cerca de 200 pesquisadores envolvidos na área de Biotecnologia Marinha em todas as regiões do País, em particular: 23 grupos cadastrados na Universidade Federal do Ceará (UFC); 20 grupos tanto na USP quanto na UFSC; 19 grupos na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); 16 grupos na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); 15 grupos na UFF; 14 grupos na FURG; 13 grupos na UFBA; e 11 grupos na UFPR. Verificou-se, ainda, que 49% dos autores mais produtivos na área estão no Sudeste, 25% estão no Nordeste e 23%, no Sul.

Uma característica dos grupos de pesquisas em Biotecnologia Marinha é a parceria com o setor produtivo. Cerca de 120 empresas, tanto públicas quanto privadas, são citadas como parceiras no banco de dados do CNPq. Apesar da possibilidade de algumas empresas terem sido omitidas no preenchimento do diretório dos grupos de pesquisa, a presença delas em cerca de ¼ dos grupos caracteriza o interesse do empresariado na área e o potencial tecnológico dos organismos marinhos. Por outro lado, vários grupos citam o apoio de instituições públicas de fomento ou estão ligados a secretarias estaduais ou municipais. Diversas empresas estão relacionadas à área e podem usufruir os resultados das pesquisas. Outras apenas apoiam financeiramente os grupos de pesquisa, sem correlação com os resultados.

A Petrobras, por exemplo, apoia grupos principalmente nas subáreas de combustíveis alternativos (como o biodiesel a partir de algas), biorremediação, ecotoxicologia e avaliação de impacto ambiental. Várias são as empresas ligadas à pesca que dão suporte a grupos de Biotecnologia Aplicada à Aquicultura. No entanto, poucas indústrias farmacêuticas têm apoiado

¹⁴ **Diretório** dos Grupos de Pesquisa no Brasil Lattes/CNPq. Para mais informações: <<https://lattes.cnpq.br/web/dgp/oque-e/>>. Acesso em: 14 jun. 2022.

grupos de bioprospecção, diferentemente do que ocorre em outras partes do mundo. As indústrias de alimentos também apoiam de modo tímido a pesquisa em Biotecnologia Marinha.

O IEAPM dispõe do Laboratório de Recursos Marinhos (Laremar), que realiza pesquisas na área de Biotecnologia Marinha em parceria com a UFF e a UFRJ há mais de 15 anos, especialmente com produtos naturais marinhos visando ao desenvolvimento de biocidas naturais para tintas anti-incrustantes eficientes e com baixa toxicidade. As melhores substâncias extraídas de organismos marinhos vêm sendo selecionadas; conseqüentemente, duas patentes já foram depositadas nacional e internacionalmente, respaldando a importância dos resultados obtidos até o momento.

Portanto, as pesquisas que a Marinha do Brasil vem desenvolvendo na área de Biotecnologia Marinha por meio do IEAPM estabelecem um forte marco nas políticas para o oceano e para o reconhecimento da soberania brasileira sobre a Amazônia Azul, assegurando a hegemonia do País em uma extensa região da margem continental que tem reconhecida diversidade de recursos vivos e minerais, mas um aproveitamento sustentável incipiente. Assim, o conhecimento dos ambientes marinhos bentônicos e pelágicos, incluindo sua biodiversidade em uma visão integrada, é primordial para possíveis utilizações biotecnológicas.

As atividades de levantamento e prospecção de espécies visando à extração de substâncias ou à seleção para cultivo estão sendo desenvolvidas no âmbito do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Ciências do Mar para Estudos dos Processos Oceanográficos Integrados da Plataforma ao Talude (INCT-PRO-Oceano), cuja instituição líder é o IEAPM. Também são abordadas, nessa linha de pesquisa, questões relacionadas com: as diferentes fases da produção; a gestão de negócios e o empreendedorismo; os aspectos legais da propriedade intelectual; a bioética e a biossegurança.

4.2 Patentes em Biotecnologia Marinha no Brasil e no Mundo

O desenvolvimento da ciência e da tecnologia em um país é uma das principais características que demonstram a sua evolução em relação aos demais. A propriedade intelectual é um bem comercial importante, tendo em vista os benefícios que pode gerar. Sem dúvida, pesquisadores e inventores brasileiros precisam desenvolver uma cultura de proteção à propriedade intelectual. Os principais entraves mencionados pelos cientistas em todos os congressos e reuniões científicas são a desinformação em relação aos procedimentos necessários para a requisição de patentes e o receio de adiar sua produção científica (BRASIL, 2010, p. 92).

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), organização que cuida da concessão de patentes no Brasil, está em 12º lugar entre as 20 que mais concedem patentes no mundo. Em 2010, o Brasil tinha cerca de 220 patentes depositadas no INPI na área de Biotecnologia Marinha, quantidade bem inferior à mundial. Entre os 39 pedidos efetuados até abril daquele ano, 33 estavam relacionados a micro e macroalgas marinhas (84%), incluindo seu cultivo e o uso de seus extratos como fonte de produtos ou energia (biocombustíveis). Contudo, o processo no Brasil é muito demorado, podendo levar em torno de dez anos entre o registro inicial a concessão definitiva de uma patente (BRASIL, 2010).

Nesta última década, a USP depositou duas patentes importantes para a química verde pois desenvolveu um processo que não usa catalisadores convencionais na preparação de nanopartículas,

que são extremamente poluidoras; além disso, o produto das nanopartículas tem atividade anticancerígena:

- Patente 1 – nanopartículas de prata, processo de obtenção de nanopartículas de prata e emprego das mesmas utilizando extratos de macroalgas como catalisadores;
- Patente 2 – nanopartículas de selênio, processo de obtenção de nanopartículas de selênio e emprego das mesmas utilizando extratos de macroalgas como catalisadores.

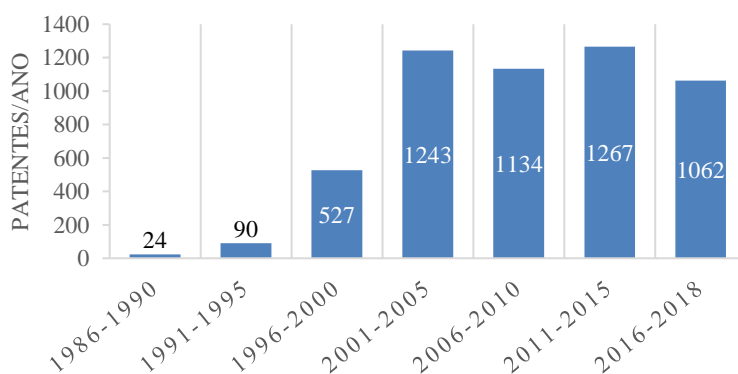
A UFPel também depositou duas patentes: uma com microalgas e outra com macroalgas:

- Patente 1 – aplicação de microalgas para biorremediação do glicerol oriundo da obtenção de biodiesel;
- Patente 2 – aplicação de extrato de macroalgas como antioxidante.

Já a RedeAlgas depositou cinco patentes nos últimos anos, sendo três com macroalgas da Antártica e duas do litoral brasileiro. Recentemente, foi concedida a patente “*Duarte-Noseda ME; Berté SD; Noseda MD; Nasatto PL; Pellizzari FM; JEF Cassolato. 2021. Patente de Invenção intitulada: polissacarídeos sulfatados obtidos de uma macroalga verde marinha com capacidade de modular a neovascularização. Carta Patente nº BR 102013010819-7 (Depósito 13/05/2013; Emissão 03/2021)*”.

Segundo dados da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (*World Intellectual Property Organization – WIPO*), em 2009 o Brasil apresentou ligeiro aumento, de 1,7% em relação a 2008, no registro de patentes internacionais. Apesar de ser considerada uma ampliação discreta, o número ficou bem acima da média mundial, que teve queda de 4,5%. A Figura 4 apresenta o número de patentes em Biotecnologia Marinha no mundo entre 1986 e 2018. Por aqui, foram 480 solicitações no total em 2009, o que coloca o Brasil entre os últimos colocados em relação às patentes obtidas. Mas cabe notar que, em cinco anos, o registro internacional de patentes feito por instituições brasileiras aumentou quase 75%. Entre os países emergentes, o Brasil ficou atrás da Coreia do Sul (8.066 pedidos), da China (7.946), da Índia(761) e de Cingapura (594). Os Estados Unidos ainda lideram o *ranking*, com quase um terço dos depósitos efetuados em 2009 (45.790), mas apresentou queda de 11,4%, em relação a 2008.

FIGURA 4: NÚMERO DE PATENTES EM BIOTECNOLOGIA MARINHA NO MUNDO (1986-2018).



Fonte: WIPO (2018).





Outro dado importante que diferencia o Brasil é que, ao contrário do que ocorre nos países desenvolvidos, 80% dos pesquisadores estão trabalhando nas universidades e apenas 20% encontram-se nas empresas. Observa-se um expressivo aumento no número de patentes em Biotecnologia Marinha no mundo desde 2001, mesmo levando-se em consideração que a expressão-chave *marine biotechnology* não seja empregada pela totalidade dos pesquisadores-inventores, pois ainda há alguma dificuldade no uso desse termo, motivo pelo qual, no levantamento de patentes internacionais, são utilizadas as palavras-chaves *marine alga*, *marine product*, *marine bacteria*, etc. Deve-se destacar o grande número de patentes que envolvem biologia molecular e química de produtos naturais (BRASIL, 2010).



Entre os grupos de organismos marinhos, destacam-se as bactérias (inclusive cianobactérias), os micro-organismos (inclusive microalgas) e as algas de um modo geral, que possuem o maior número de patentes.

Ao analisar os países de origem das patentes, pode-se observar, a partir de 1984, a supremacia norte-americana, com mais de 60% das patentes em Biotecnologia Marinha, seguida de Alemanha (8%), Grã-Bretanha (6%) e Japão (3%). O Brasil apresenta apenas três patentes reconhecidas nessa área (menos de 1%). Na busca realizada com a expressão-chave *marine product*, o número de patentes aumenta consideravelmente, mas a participação norte-americana permanece em 63% do total. O Brasil, com essa nova forma de busca, apresenta 21 patentes.

Na pesquisa por “produtos marinhos”, encontram-se indústrias farmacêuticas, químicas, de combustíveis e alimentícias entre as maiores instituições detentoras de patentes. Um exemplo importante é a *Pharma Mar*, do grupo espanhol *Zeltia*, que investiga os produtos naturais marinhos contra vários tipos de câncer. O Yondelis® (trabectedina; ET-743), produzido de modo sintético pela *Pharma Mar* a partir do tunicado marinho *Ecteinascidia turbinata*, é um medicamento anticancerígeno que impede o processo de multiplicação das células tumorais.

QUADRO 1: ALGUNS FÁRMACOS OBTIDOS A PARTIR DE MÉTODOS INDUSTRIAIS BASEADOS EM MOLÉCULAS ISOLADAS DE ORGANISMOS MARINHOS.

Apresentação	Nome	Atividade Biológica	Fonte Marinha Original	Modo de Produção Industrial
	Ara-A (Vidarabina®)	Droga antiviral (colírio) contra os vírus <i>Herpes simplex</i> e a <i>Varicella zoster</i> .	Esponja marinha <i>Tethya crypta</i> .	Fermentação microbiana de análogos.
	Ara-C (Citarabina®)	Droga anticancerígena.	Esponja marinha <i>Tethya crypta</i> .	Síntese de análogos.
	Neovastat® (E-941)	Comprovada eficácia em estabilizar a progressão tumoral e em aliviar a dor associada à metástase.	Extrato padronizado da fração < 500 kDa da cartilagem do tubarão <i>Squalus acanthias</i> .	A produção do extrato depende diretamente do sacrifício dos tubarões.
	Yondelis®	Anticancerígeno aprovado para uso clínico no tratamento de sarcoma de tecidos moles.	Ascídia caribenha <i>Ecteinascidia turbinata</i> .	Síntese a partir da cianosafracina B da cultura da bactéria <i>Pseudomonas fluorescens</i> .

	Prialt® (ziconotídeo, ω-conotoxina MVIIA)	Potente analgésico neuropático.	Molusco gastrópode <i>Conus magnus</i> .	O ziconotídeo é sintetizado a partir de aminoácidos naturais.
	NPI-2358	Agente anticancerígeno e antiangiogênico.	Halimida (NPI-2350), uma substância natural isolada de <i>Aspergillus</i> sp. de origem marinha	Dicetopiperazina sintética análoga da halimida desenvolvida pela Nereus Pharmaceuticals Inc.

Fonte: Costa-Lotufo et al. (2009).

Para obtenção do maior número possível de informações sobre as patentes e os pedidos de depósitos existentes na área de Biotecnologia, podem ser realizadas pesquisas no banco de dados do INPI, onde essas informações estão disponibilizadas de modo organizado e gratuito. O *site* do INPI também disponibiliza o “Guia Prático para Buscas de Patentes”, com orientações sobre a realização de buscas na Internet, tutoriais e *links* para várias bases de dados¹⁵. Diversas palavras-chaves podem ser utilizadas para a busca nos bancos de dados¹⁶: mar, marinho/marinha, algas, moluscos, equinodermos, esponjas, aquicultura, maricultura, pesca, produto marinho, Biotecnologia Marinha, cultivo de alga, bactéria marinha, micro-organismo marinho, microalga.

No ano 2000, as vendas mundiais de produtos relacionados à Biotecnologia Marinha apresentaram números impressionantes: cerca de 100 bilhões de dólares. Os lucros anuais com a comercialização de um produto derivado de uma esponja marinha para o tratamento do herpes foram estimados entre 50 e 100 milhões de dólares, enquanto as estimativas de vendas de agentes anticancerígenos derivados de organismos marinhos chegaram a um bilhão de dólares por ano. Essas estimativas incluem as principais indústrias farmacêuticas, como Merck, Lilly, Pfizer, Hoffman-La Roche e Bristol-Myers Squibb, por exemplo, que possuem departamentos de Biologia Marinha (UNU-IAS, 2005, p. 29).

O mercado de cosméticos movimentou mais de 200 bilhões de dólares em 2005 e a venda de enzimas obtidas de fontes hidrotermais chegou a 150 milhões de dólares por ano. Pelo menos 14 companhias biotecnológicas estabeleceram colaboração com institutos de pesquisa localizados na América do Norte e na Europa e têm registradas mais de 40 patentes com produtos isolados de organismos marinhos (BRASIL, 2010).

4.3 Formação de Recursos Humanos em Biotecnologia Marinha no Brasil

A publicação *Caracterização do Estado da Arte em Biotecnologia Marinha no Brasil* (BRASIL, 2010) realizou um levantamento das teses de doutorado e dissertações de mestrado em Biotecnologia Marinha no Brasil com a finalidade de verificar a formação de recursos humanos na

¹⁵ Mais informações disponíveis em: <<https://www.gov.br/inpi/pt-br/assuntos/informacao/guia-pratico-para-buscas-de-patentes>>. Acesso em: 16 jun. 2022. (Nota do revisor)

¹⁶ Mais informações disponíveis em: <<https://www.reportlinker.com/ci02232/Biotechnology.html>>. Acesso em 16 jun. 2022. Podem ser realizadas pesquisas sobre o mercado de biotecnologia marinha por subárea (p.ex.: Genômica) e por região geográfica (p.ex.: Europa, Canadá, Malásia, etc.).

área. Para o período de 2003 a 2008, foi consultado o banco de teses da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes). Para o ano de 2009, foram obtidas informações nos bancos de dados da Plataforma Lattes/CNPq¹⁷, do portal Domínio Público¹⁸ e do Google¹⁹.

A amostragem considerou 223 teses e dissertações concluídas em programas de pós-graduação de 26 universidades públicas brasileiras (federais e estaduais) em 13 estados, sendo mais representativos na formação de recursos humanos na área os cursos dos estados de São Paulo (22%), Rio de Janeiro (20%) e Ceará (19%). Na avaliação dos trabalhos por região, o Sudeste detém 45% do total e o Nordeste, 35%, perfazendo o total de 80% das teses e dissertações defendidas no Brasil na área de Biotecnologia Marinha.

A principal subárea é a de bioprospecção de substâncias de origem marinha com potencial tecnológico (Bioquímica, Farmácia, Farmacologia, Química Biológica, Química Orgânica, Química de Produtos Naturais, Toxicologia e Análises Toxicológicas, etc.), totalizando 83 teses e dissertações concluídas no período.

A instituição com mais teses e dissertações é a UFC (40), seguida da USP (36), da UFRJ (25), da UFRN (18), da UFSC (15), da UFF (15) e da FURG (12). As instituições UFC, USP, UFRJ, UFRN, UFSC, UFF, Univali e FURG totalizam mais de 70% das teses e dissertações na área, sendo as grandes formadoras de recursos humanos em bioprospecção de substâncias de origem marinha com potencial tecnológico.

Os programas de pós-graduação foram reunidos em grupos de áreas afins, segundo a metodologia discriminada a seguir (BRASIL, 2010):

- Química (inclui Química, Físico-Química, Química Analítica, Química Orgânica, Química de Produtos Naturais, Produtos Naturais e Sintéticos Bioativos);
- Genética e Biologia Molecular (inclui Biologia Celular e Molecular, Biologia Molecular, Genética, Genética e Biologia Molecular, e Genética e Evolução);
- Aquicultura (inclui Aquicultura e Recursos Pesqueiros e Aquicultura);
- Alimentos (inclui Engenharia e Ciência de Alimentos, Ciência dos Alimentos, Engenharia de Alimentos e Ciência e Tecnologia de Alimentos);
- Bioquímica (inclui Bioquímica, Bioquímica e Fisiologia, Farmácia, Farmacologia, Ciências Farmacêuticas, Química Biológica, Toxicologia e Análises Toxicológicas);
- Biotecnologia (inclui Biotecnologia e Biotecnologia Vegetal);
- Ciências do Mar (inclui Biologia Ambiental, Biologia Aquática, Biologia Marinha, Ciências Marinhas Tropicais, Oceanografia e Oceanografia Biológica);
- Engenharia da Pesca;
- Botânica (inclui Botânica e Fitopatologia);

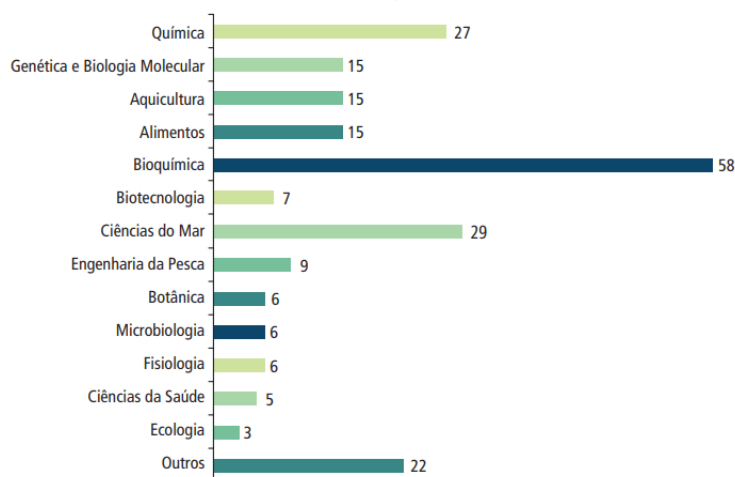
¹⁷ Disponível em: <<http://lattes.cnpq.br>>. Acesso em: 16 jun. 2022. (Nota do revisor)

¹⁸ Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br>>. Acesso em: 16 jun. 2022. (Nota do revisor)

¹⁹ Disponível em: <<http://www.google.com>>. Acesso em: 16 jun. 2022. (Nota do revisor)

- Microbiologia;
- Fisiologia (inclui Ciências Fisiológicas, Fisiologia e Fisiologia Geral);
- Ciências da Saúde (inclui Ciências da Saúde, Neuroimunobiologia, Fisiopatologia Clínica Experimental e Patologia Bucodental);
- Ecologia (inclui Ecologia e Desenvolvimento e Meio Ambiente);
- Outros (inclui Biociências Nucleares, Zootecnia e Ciências Morfológicas).

FIGURA 5: DISTRIBUIÇÃO DAS TESES E DISSERTAÇÕES POR ÁREA DE PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO, EVIDENCIANDO O NÚMERO TOTAL DE TRABALHOS FINAIS POR GRUPO DE ÁREAS AFINS.



Fonte: Brasil (2010).

No entanto, existem somente dois cursos específicos em Biotecnologia Marinha, os quais estão localizados no Estado do Rio de Janeiro:

- na UFF – a disciplina “Potencial Biotecnológico de Produtos Naturais” é ministrada anualmente, desde 2011, dentro do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Biotecnologia;
- no IEAPM – no final de 2015, foi implementado pela CAPES o Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha (UFF/IEAPM), que tem a participação de docentes de outras instituições, como UFRJ, USP e INPI.

Numerosos cursos de graduação e pós-graduação participam das redes de pesquisa, como a RedeAlgas. Em 10 anos, foram 20 teses de doutorado, 15 dissertações de mestrado, 15 trabalhos de iniciação científica e 21 pós-doutorados, que proporcionaram expressiva produção científica: 262 artigos em revistas internacionais de ampla circulação, sete capítulos de livros e um Atlas de Macroalgas da Antártica.

Em 2020, foi publicado pela FURG o livro *Biotecnologia Marinha*, organizado pelos pesquisadores Fabiano Thompson e Cristiane Thompson. A obra, com 36 capítulos, apresenta conceitos básicos, técnicas e aplicações em Biotecnologia Marinha visando melhorar a qualidade de vida e contribuir para o desenvolvimento sustentável (THOMPSON e THOMPSON, 2020).

. Vale ressaltar que muitos egressos desses cursos de pós-graduação elaboraram trabalhos relevantes na área de Biotecnologia Marinha e foram incorporados ao serviço público: atualmente, são funcionários concursados do MCTIC, do CNPq e de universidades públicas, por exemplo.

4.4 Redes de Pesquisa em Biotecnologia Marinha

As etapas de concepção, criação e desenvolvimento das redes de pesquisa em Biotecnologia Marinha se confundem com o próprio histórico da dessa área no País. Neste ponto, vale a pena retomar alguns tópicos relevantes sobre a formação e a importância dessas redes no Brasil.

4.4.1 Rede de Biotecnologia de Macroalgas Marinhas (RedeAlgas)

Conforme mencionado anteriormente neste capítulo (cf. item 3), a RedeAlgas é uma rede de pesquisas que constitui uma plataforma importante para a elaboração de políticas públicas, programas e outras ações de fomento em Ciência e Tecnologia. Foi criada como resultado do I *Workshop* “Potencial Biotecnológico das Macroalgas Marinhas”, realizado em 2005 na cidade de Angra dos Reis (RJ).

A RedeAlgas reúne um grande número de pesquisadores e colaboradores de várias instituições, como UFRN, UFPB, UFPE, UFBA, UFES, UFRJ, UFRRJ, UERJ, UFF, IEAPM, Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, USP, UNESP, UFSC e UFRGS, entre outras. As pesquisas se distribuem pelas seguintes áreas temáticas: mapeamento da diversidade de macroalgas; ecologia, manejo e conservação; fisiologia; maricultura e uso sustentável; isolamento e identificação de moléculas; caracterização de moléculas bioativas; desenvolvimento de produtos; proteção da propriedade intelectual; e produção de insumos de aplicação industrial.

Os colaboradores da RedeAlgas voltaram a se reunir em 2009 em Ilhabela (SP) no II *Workshop* “Novos Bioativos de Macroalgas: Manejo e Cultivo, Conservação, Biotecnologia e Técnicas de Bioatividade”.

Em 2011, foi realizado na cidade de Paty de Alferes (RJ) o III *Workshop* da RedeAlgas, intitulado “Novas Percepções sobre Produtos Algáceos e Bioprospecção no Brasil: aplicações em Saúde Pública, Cosmetologia e Farmacêutica”, abordando o tema “Biodiversidade, Aplicações Tecnológicas e Sustentabilidade”. Um dos resultados mais relevantes desse encontro foi a edição especial da Revista Brasileira de Farmacognosia, com 28 artigos completos dos principais estudos realizados no Brasil, apresentando um panorama dos esforços de investigação nas áreas de cultivo de maricultura e da propagação de macroalgas marinhas. O evento reuniu 150 participantes, entre pesquisadores, acadêmicos, jovens estudantes e profissionais da indústria. Também foram ministrados dois cursos rápidos sobre as sofisticadas técnicas utilizadas no setor.

Dois eventos organizados em Florianópolis pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em parceria com o Comitê Gestor da RedeAlgas se destacaram no ano de 2013 – o IV Congresso Latino-Americano de Biotecnologia de Algas e o IV *Workshop* “Desafios à Conservação e ao Desenvolvimento Sustentável” –, criando forte integração entre estudantes e especialistas dos diversos segmentos da Biotecnologia ligada às algas marinhas e às águas continentais. Por conta de sua natureza interdisciplinar, o IV Claba e o IV *Workshop* da RedeAlgas ofereceram oportunidades

para profissionais das mais variadas áreas, como Engenharia de Aquicultura, Botânica, Engenharia Ambiental, Ecologia, Oceanografia, Biologia Marinha, Bioquímicos, Biologia Molecular e Química de Produtos Naturais, entre outras. Os eventos reuniram 373 participantes, sendo 87 alunos de graduação e 136 de pós-graduação, além de 150 profissionais atuantes no setor privado, em organizações não governamentais e em órgãos públicos, oriundos de municípios brasileiros e de diversas localidades da Argentina, do Chile, da Colômbia e do México. Também estavam presentes pesquisadores dos Estados Unidos, do Canadá, de Portugal, do Reino Unido e da Espanha.

O V *Workshop*, com o tema “Biotecnologia e Sustentabilidade”, foi realizado nas dependências do IEAPM em Arraial do Cabo (RJ) no período de 8 a 13 de novembro de 2015. A reunião contou com cerca de 140 participantes, constituídos por alunos de graduação e pós-graduação e pesquisadores. Como resultado desse evento, o *Journal of Applied Phycology* publicou uma edição especial em 2017 com 16 artigos apresentados.

Ainda com o tema “Biotecnologia e Sustentabilidade”, o VI Workshop da RedeAlgas foi realizado em novembro de 2017. O IEAPM sediou mais uma vez o evento, que contou com a presença de cerca de 130 participantes da comunidade acadêmica. Os trabalhos de maior destaque apresentados no evento também foram publicados pelo *Journal of Applied Phycology*.

Desde então, o Comitê Executivo da RedeAlgas estabeleceu o IEAPM como sede fixa para a realização dos eventos, tendo em vista a facilidade de deslocamento e de estadia dos participantes.

O VII *Workshop*, também com o tema “Biotecnologia e Sustentabilidade”, foi realizado no período de 17 a 20 de novembro de 2019 nas dependências do IEAPM. Estiveram presentes cerca de 130 participantes, entre pesquisadores e alunos de graduação e de pós-graduação.

O VIII *Workshop* da RedeAlgas “*Use of Biotechnology for the Health of Humans and Animals*” (em português: Uso da Biotecnologia para a Saúde Humana e Animal) foi realizado nos dias 7 e 8 de dezembro de 2021 por meio de reuniões virtuais devido à pandemia de Covid-19.

4.4.2 Rede Nordeste de Biotecnologia (Renorbio)

A ativação da Rede Nordeste de Biotecnologia (Renorbio) vinha sendo discutida desde 1998, mas somente em 2003 teve o protocolo de colaboração celebrado após a definição de uma proposta conceitual que deu margem ao recebimento de recursos do MCT para o financiamento dos projetos de pesquisa (Edital do Fundo de Desenvolvimento Econômico, Científico, Tecnológico e de Inovação do Banco do Nordeste do Brasil – BNB/Fundeci/Renorbio/2004). Nenhum projeto na área marinha, porém, recebeu aprovação nesse edital. Em 2004, a rede de colaboração foi formalmente criada, tendo sua estrutura e seus objetivos definidos.

A proposta científica da Renorbio, com foco nos grupos de pesquisa do Nordeste, é estabelecer e estimular a massa crítica de profissionais da região, com competência em Biotecnologia e áreas afins, para executar projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (P, D & I) de importância para o progresso da região. O Núcleo de Pós-Graduação (NPG) e a constituição de plataformas para a execução de projetos de P, D & I em rede são os seus principais pilares.

O NPG tem caráter multi-institucional e tem como objetivos: formar pessoal qualificado para o exercício da pesquisa e do magistério superior no campo da Biotecnologia; incentivar a

pesquisa na área da Biotecnologia com perspectiva multi e interdisciplinar; produzir, difundir e aplicar os conhecimentos de Biotecnologia na realidade econômica e cultural da Região Nordeste. Integram a iniciativa do NPG da Renorbio 33 instituições de ensino e pesquisa de todos os estados do Nordeste e também do Espírito Santo (UFES).

Em longo prazo, espera-se que o NPG, na medida em que possibilita a interação de instituições de ensino e pesquisa nacionais e internacionais e o aproveitamento da massa crítica existente na Região Nordeste, contribua para o processo de consolidação da Renorbio e para o efetivo e sistemático desenvolvimento da Biotecnologia no País.

4.4.3 Outras redes de pesquisas

A Rede Social de Biotecnologia foi criada em 2011 e reúne vários representantes da área marinha com a finalidade integrar e facilitar discussões, *networking* e o comércio de produtos e serviços da área.

Outras redes importantes que prestigiam setores da Biotecnologia Marinha são:

- a Rede Cooperativa de Pesquisa em Combustão e Emissões de Biodiesel e Combustíveis Alternativos (Recombio), que reúne UFBA, Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), UFPE, UFPB, Universidade Federal de Sergipe (UFS), UFRJ, Universidade Federal de Itajubá (Unifei), Uni-Salvador (Unifacs), Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia (Cefet-BA); e

- a Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel (BRASIL, 2021), na qual estão presentes grupos que pretendem atuar ou já estão atuando na área de biodiesel a partir de micro e macroalgas marinhas.

Com a abertura do edital do CNPq para Redes em Biotecnologia Marinha (chamada nº 63/2013 MCTI/CNPq/FNDCT), foram estabelecidas novas redes:

- a Rede SAO-MAR – Rede de Pesquisas Biotecnológicas de Substâncias Antioxidantes de Organismos Marinhos;

- a Rede Marativo – micro-organismos marinhos como fonte biotecnológica na produção de moléculas bioativas;

- a Rede Avançada de Pesquisa em Biotecnologia Marinha; e

- a Rede Bioreef – bioprospecção de compostos bioativos de organismos recifais com potencial aplicação biotecnológica.

A única rede de Biotecnologia Marinha não contemplada pelo edital do CNPq foi a RedeAlgas. Formada em 2005, a RedeAlgas tem projeção internacional e reúne os pesquisadores mais produtivos da área.

5. PERSPECTIVAS E CONCLUSÕES

As macroalgas marinhas têm grande potencial para contribuir com diferentes soluções para um mundo mais sustentável, além de possuir qualidades para emprego em alguns dos grandes desafios sociais do mundo, como na segurança alimentar, na mitigação das mudanças climáticas, no suporte ao ecossistema marinho, na criação de empregos e na contribuição para o crescimento econômico. Portanto, deve-se incentivar o desempenho dos cultivos e das coletas de arribadas para a obtenção de biomassa de forma a subvencionar o uso crescente de produtos marinhos em alimentos, medicamentos e cosméticos.

Como as indústrias e agricultura vêm criando uma demanda por profissionais qualificados no setor, não há dúvida de que é necessário o desenvolvimento de competências na formação de recursos humanos em Biotecnologia Marinha no Brasil. Sensíveis às necessidades de crescimento da indústria, universidades e empresas têm promovido um incentivo crescente à formação de jovens pesquisadores nessa importante área do conhecimento por meio de programas de pós-graduação.

Empresas farmacêuticas centradas no desenvolvimento de novos medicamentos a partir dos recursos marinhos agora requerem pessoal qualificado, com experiência em Biologia Marinha, Microbiologia, Química, Genômica e Bioinformática, entre outras áreas de conhecimento. Grandes centros de pesquisa em Biotecnologia Marinha no mundo investem nesse enfoque: a multidisciplinaridade. Portanto, a formação multidisciplinar é necessária para preencher essa lacuna no desenvolvimento da área no Brasil.

Em 2009, a Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (Cirm) recomendou ao Comitê Executivo para a Consolidação e Ampliação dos Grupos de Pesquisa e Pós-graduação em Ciências do Mar (PPG-Mar) apoio à criação de uma disciplina de Biotecnologia Marinha nos cursos de graduação. Essa recomendação pode, no futuro, contribuir para despertar e/ou ampliar o interesse de alunos nessa área. Os cursos de graduação em Biologia Marinha, Oceanografia e áreas afins ainda não implementaram essa recomendação, em muitos casos por falta de profissionais qualificados na área.

Outro aspecto importante é a necessidade de privilegiar as redes nacionais de pesquisa existentes e estimular a criação de novas redes nas subáreas de Biotecnologia Marinha. A formação de redes nacionais pode ser incentivada a partir da RedeAlgas, com a entrada de novos grupos.

As agências de fomento devem estimular o conhecimento da biodiversidade marinha como fonte de novos fármacos e outros produtos industriais de modo sustentável, além de incentivar a proteção da propriedade intelectual por meio de patentes, valorizar os grupos com histórico de atuação na área e encorajá-los a nela permanecerem, pois foram formados a partir da união de especialistas marinhos, biotecnólogos, químicos, bioquímicos, etc.

Também deve ser estimulada a entrada de grupos experientes em Biotecnologia para a área marinha, por meio da formação de um programa de pós-graduação em Biotecnologia Marinha ou da inserção do tema nas pós-graduações já existentes em Ciências do Mar ou Biotecnologia.

As universidades devem promover a criação de disciplinas em Biotecnologia Marinha nos cursos de graduação em Ciências Biológicas, Biologia Marinha, Oceanologia e Oceanografia, de

modo a preparar os futuros profissionais para a ciência do amanhã. Essa formação é de real valor para os profissionais da área de Ciências do Mar.

Uma vez confirmada e reconhecida a importância da Biotecnologia Marinha frente à crescente demanda por produtos marinhos, especialmente os de origem algácea, para o desenvolvimento da agricultura e das indústrias alimentícia e farmacêutica, por exemplo, conclui-se que:

- o mar é uma fonte indispensável de novas moléculas e de energia;
- as macroalgas marinhas são organismos fotossintetizantes, principais produtores primários que constituem um grupo taxonômico de alto potencial biotecnológico;
- a biotecnologia não teria sido possível sem a utilização dos polissacarídeos (ficocoloides) provenientes desses organismos.

Atualmente, com a pandemia de Covid-19 assolando o planeta, têm sido utilizados géis de agarose no exame de dosagem de proteína C-reativa (PCR) para detecção do coronavírus.

6. SUGESTÕES

- **FORMAR** recursos humanos competentes na área de Biotecnologia Marinha e sintonizados com as necessidades de crescimento da indústria, uma vez que a formação multidisciplinar é necessária para preencher essa lacuna no desenvolvimento da área no Brasil.
- **CRIAR** uma disciplina de Biotecnologia Marinha nos cursos de graduação em Biotecnologia visando despertar e/ou ampliar o interesse de alunos pela área.
- **PRIVILEGIAR** as redes nacionais de pesquisa existentes e estimular a criação de novas redes efetivas e atuantes (no modelo da RedeAlgas).
- **ESTIMULAR** o conhecimento da biodiversidade marinha como fonte de novos fármacos e outros produtos industriais de modo sustentável.
- **INCENTIVAR** a proteção da propriedade intelectual por patentes relacionadas à Biotecnologia Marinha.
- **VALORIZAR** os grupos com histórico de atuação nas diversas áreas de competência e que devem ser estimulados a nelas permanecer.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BLUNT, J. H.; COPP, B. R.; KEYZERS, R. A.; MUNRO, M. H. G.; PRINSEP, M. R. Marine natural products. **Natural Products Reports**, v. 31, n. 2, p. 160-258, 2014.
2. BRASIL. Ministério da Saúde; Ministério da Ciência e Tecnologia; Organização Pan-Americana da Saúde (Representação no Brasil). **Caracterização do Estado da Arte em Biotecnologia Marinha no Brasil**. Autora: Valéria Laneuville Teixeira. Brasília: Ministério da Saúde, 2010. 134 p.: il. (Série B. Textos Básicos de Saúde). Disponível em: <https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/caracterizacao_estado_arte_biotecnologia_marinha.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2022.
3. _____. Ministério de Minas e Energia. **RBTB - A Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel**. Brasília-DF, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/biodiesel/rbtb>>. Acesso em: 18 jun. 2022.
4. _____. Ministério do Meio Ambiente. **A Convenção sobre Diversidade Biológica**. (Série Biodiversidade nº 1). Brasília-DF: MMA, 2000. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/textoconvenoportugus.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2022.
5. CAMPOS, J. MCTI abre consulta para plano de trabalho em biotecnologia marinha. **Fiotec-Fiocruz – Notícias**, Rio de Janeiro, 3 jul. 2013. Disponível em: <<https://www.fiotec.fiocruz.br/noticias/outros/1683-mcti-abre-consulta-para-plano-de-trabalho-em-biotecnologia-marinha>>. Acesso em: 14 jun. 2022.
6. CARDOZO, K. H. M.; VESSECCHI, R.; GALEMBECK S. E.; GUARATINI, T.; GATES, P.J.; PINTO, E.; LOPES, N. P.; COLEPICOLO, P. A Fragmentation Study of Di-Acidic Mycosporine-like Amino Acids in Electrospray and Nanospray Mass Spectrometry. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, p. 1625-1631, 2009.
7. CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO (CNPQ). **Edital MCT/CNPq/MS-SCTIE-DECIT/CT-Saúde nº 10/2006 – Algas Marinhas**. Apoiar projetos de pesquisa e desenvolvimento de fármacos e insumos farmacêuticos diversificados, a partir de algas marinhas, que apresentem potencial inovativo com vistas a sua aplicação em terapia. Disponível em: <<https://memoria2.cnpq.br/chamadas-publicas>>. Acesso em: 10 jun. 2022.
8. _____. **Edital MCT/CNPq/SEAP-PR nº 26/2008 – Produção de Biodiesel a partir de Microalgas**. Apoio a projetos de pesquisas que contemplem a aquicultura e o uso de microalgas como matéria-prima para a produção de biodiesel. Disponível em: <<https://memoria2.cnpq.br/chamadas-publicas>>. Acesso em: 10 jun. 2022.
9. _____. **Edital MCT/CNPq/CT-Petro nº 39/2009 – Apoio financeiro a projetos que visem contribuir significativamente para o desenvolvimento científico e tecnológico do País e que promovam a ampliação de pesquisas com vistas ao uso sustentável do potencial biotecnológico da biodiversidade marinha existente nos ecossistemas costeiros e nas áreas marítimas sob jurisdição brasileira e de interesse nacional**. Disponível em: <<https://memoria2.cnpq.br/chamadas-publicas>>. Acesso em: 10 jun. 2022.

10. COSTA-LOTUFO, L. V.; WILKE, D. V.; JIMENEZ, P. C.; EPIFANIO, R. A. Organismos marinhos como fonte de novos fármacos: histórico e perspectivas. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 703-716, 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/7Y9MYvgNMmH5xZmHZsjNJTc/?lang=pt>>. Acesso em: 16 jun. 2022.
11. FALKENBER, M.; NAKANO, E.; ZAMBOTTI-VILLELA, L.; ZATELLI, G. A.; PHULIPPUS, A. C.; IMAMURA, K. B.; VELASQUEZ, A. M. A.; FREITAS, R. P.; DE FREITAS TALLARICO, L.; COLEPICOLO, P.; GRAMINHA, M. A. S. Bioactive compounds against neglected diseases isolated from macroalgae: a review. **Journal of Applied Phycology**, p. 1-27, 2018.
12. HAEFNER, B. Drugs from the deep: marine natural products as drug candidates. **Drug Discovery Today**, v. 8, n. 12, p. 536-544, 2003.
13. INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. Banco de Patentes. Disponível em: <www.inpi.gov.br> Acesso em: 29 mar. 2010.
14. JORNAL O FOCO. **Bioeconomia Azul: o desafio socioeconômico de produzir sem destruir o planeta água**. Publicado em 14 de dezembro de 2021. Disponível em: <<http://ofoco.net.br/bioeconomia-azul-o-desafio-socioeconomico-de-produzir-sem-destruir-o-planeta-agua/>>. Acesso em: 11 jun. 2022.
15. MACHADO, L. P.; CARVALHO, L. R.; YOUNG, M. C. M.; ZAMBOTTI-VILLELA, L.; COLEPICOLO, P.; ANDREGUETTI, D. X.; YOKOYA, N. S. Comparative chemical analysis and antifungal activity of *Ochtodes secundiramea* (Rhodophyta) extracts obtained using different biomass processing methods. **Journal of Applied Phycology**, v. 26, p. 2029-2035, 2014.
16. MARTINS, R. M.; NEDEL, F.; GUIMARÃES, V. B. S.; DA SILVA, A.F.; COLEPICOLO, P.; DE PEREIRA, C. M. P.; LUND, R. G. Macroalgae extracts from Antarctica have antimicrobial and anticancer potential. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, p. 412, 2018.
17. MESKO, M. F.; PICOLOTO, R. S., FERREIRA, L. R.; COSTA, V. C.; PEREIRA, C. M. P.; COLEPICOLO, P.; MULLER, E. I.; FLORES, E. M. M. Ultraviolet radiation combined with microwave-assisted wet digestion of Antarctic seaweeds for further determination of toxic elements by ICP-MS. **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**, p. 30, p. 260-266, 2015.
18. PEREIRA, C. M. P.; NUNES, C. F. P.; ZAMBOTTI-VILLELA, L.; STREIT, N. M.; DIAS, D.; PINTO, E.; GOMES, C.B.; COLEPICOLO, P. Extraction of sterols in brown macroalgae from Antarctica and their identification by liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry. **Journal of Applied Phycology**, v. 29, p. 751-757, 2017.
19. POMPONI, S. A. The ocean and human health: the discovery and development of marine-derived drugs. **Oceanography**, v. 14, n. 1, p. 71-87, 2001.
20. RANGEL, K. C.; DEBONSI, H. M.; CLEMENTINO, L. C.; ZAMBOTTI-VILLELA, L.; GRAMINHA, M. A. S.; COLEPICOLO, P.; GASPAR, L. R. Antileishmanial activity of the Antarctic red algae *Iridaea cordata* (Gigartinales; Rhodophyta). **Journal of Applied Phycology**, v. 31, p. 825-834, 2018.

21. REIS, M. O.; NECCHI, O. J. R.; COLEPICOLO, P.; BARROS, M. P. Co-stressors chilling and high light increase photooxidative stress in diuron-treated red alga *Kappaphycus alvarezii* but with lower involvement of H₂O₂. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 99, n. 1, p. 7-15, 2011.
22. RUMO AO MAR. Tudo sobre o mar brasileiro. **Cembra realiza webinar sobre Biotecnologia Marinha em maio**. Publicado em 21 abr. 2021. Disponível em: <<http://rumoaomar.org.br/mentalidade-maritima/cembra-realiza-webinar-sobre-biotecnologia-marinha-em-maio.html>>. Acesso em: 11 jun. 2022.
23. STEIN, E. M.; MACHADO, L. P.; ROFFATO, H. K.; MIYASATO, P. A.; NAKANO, E.; COLEPICOLO, P.; ANDREGUETTI, D. X. Antischistosomal activity from Brazilian marine algae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 25, p. 663-667, 2015.
24. TEIXEIRA, V. L. A cura que vem do mar. **Scientific American Brasil**, v. 4, p. 77-82. São Paulo, 2009. (Série Oceanos).
25. TEIXEIRA, V. L. Biodiversidade e Sustentabilidade – Biotecnologia Marinha no Brasil (Simpósio). **Anais da 62ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) – Ciências do Mar: herança para o futuro**. Natal, RN – julho/2010. Disponível em: <<http://www.sbpnet.org.br/livro/62ra/simposios.htm>>. Acesso em: 11 jun. 2022.
26. THOMPSON, F.; THOMPSON, C. **Biotecnologia Marinha**. Rio Grande: Ed. FURG, 2020. 855 p.: il. Disponível em: <<https://cienciasdomarbrasil.furg.br/images/livros/LivroBiotecnologia.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2022.
27. TORRES, F. A. E.; PASSALACQUA, T. G.; VELASQUEZ, A. M. A.; SOUZA, R. A.; COLEPICOLO, P.; GRAMINHA, M. A. S. New drugs with antiprotozoal activity from marine algae: a review. **Revista Brasileira de Farmacognosia – Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 24, n. 3, p. 265- 276, 2014.
28. UNITED NATIONS UNIVERSITY; INSTITUTE OF ADVANCED STUDIES (UNU-IAS). **Bioprospecting of Genetic Resources in the Deep Seabed: Scientific, Legal and Policy Aspects**. (UNU-IAS Report). Yokohama-Japan, 2005. Disponível em: <<http://collections.unu.edu/eserv/UNU:3101/DeepSeabed1.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2022.
29. VIEIRA, A. P.; STEIN, E. M.; ANDREGUETTI, D. X.; COLEPICOLO, P.; FERREIRA, A. M. C. Preparation of silver nanoparticles using aqueous extracts of the red algae *Laurencia aldingensis* and *Laurenciella* sp. and their cytotoxic activities. **Journal of Applied Phycology**, v. 28, p. 2615-2622, 2016.
30. WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION (WIPO). Banco de Patentes. Disponível em: <www.wipo.int>. Acesso em: 29 mar. 2010.