

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ


Programa de Pós-Graduação Ambientes Litorâneos e Insulares

Mestrado em Ciências Ambientais

THADEU DOS SANTOS VIANA

PAI

Aminoácidos Micosporinas-like: Uma revisão integrativa macroecológica e geopolítica desta classe de compostos bioativos, em macroalgas, frente às mudanças ambientais vigentes.



Programa de Pós-Graduação
em Ambientes Litorâneos
e Insulares - UNESPAR

Paranaguá

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AMBIENTES LITORÂNEOS E INSULARES

THADEU DOS SANTOS VIANA

Aminoácidos Micosporinas-like: Uma revisão integrativa macroecológica e geopolítica desta classe de compostos bioativos, em macroalgas, frente às mudanças ambientais vigentes.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambientes Litorâneos e Insulares – PALI – da Universidade Estadual do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador(a): Profa. Dra. Franciane Pellizzari

Paranaguá

2024



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ
Campus de Paranaguá

Credenciada pelo Decreto nº 9538, de 05/12/2013 - D.O.E. 05/12/2013
Recredenciada pelo Decreto nº 2374, de 14/08/2019 - D.O.E. 14/08/2019
Rua Comendador Correa Junior, nº 117 - Centro - CEP: 83203-560 - Fone: (41) 3423-3644
PARANAGUÁ - PARANÁ
<http://paranagua.unespar.edu.br>



ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AMBIENTES LITORÂNEOS E INSULARES – PALI

No dia 06 de março de 2024, às 13:30h, reuniu-se a banca examinadora da dissertação de mestrado, do discente Thadeu dos Santos Viana, orientado pela professora Dra. Franciane M. Pellizzari,

Dissertação intitulada **“Aminoácidos do tipo Micosporinas: revisão integrativa, macroecológica e geopolítica desta classe de compostos bioativos, em macroalgas, frente às mudanças ambientais vigentes.”**.

A apresentação e defesa pública do trabalho ocorreu em modo remoto. Após a apresentação pública e arguição pelos membros da banca a dissertação foi considerada: **Aprovada**.

Observações e sugestões da banca: Aprovado, com a ressalva de corrigir e entregar a dissertação em 60 dias, considerando as seguintes recomendações da banca:

- 1- Redigir novamente o texto seguindo o formato de dissertação (ABNT 2023), Incluindo abstract, keywords e refenciando citações ao longo do texto;
- 2- Atualizar a nomenclatura das espécies algais e incluir dados de zonação na tabela, e refazer a pesquisa de dados abióticos (SST⁰, irradiância, pH e salinidade) em bases de dados globais;
- 3- reestruturar as análises, e aprofundar a discussão sistemática do cluster contendo artigos compilados, assim como do enfoque geopolítico e macroecológico considerando as concentrações de MAAs em distintas espécies do globo.

A sessão foi encerrada às 17:31H h.

ESTE DOCUMENTO NÃO CONFERE O TÍTULO DE MESTRE, que depende de outros requisitos, dentre os quais a entrega da dissertação definitiva.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ
Campus de Paranaguá

Credenciada pelo Decreto nº 9538, de 05/12/2013 - D.O.E. 05/12/2013
Recredenciada pelo Decreto nº 2374, de 14/08/2019 - D.O.E. 14/08/2019
Rua Comendador Correa Junior, nº 117 - Centro - CEP: 83203-560 - Fone: (41) 3423-3644
PARANAGUÁ - PARANÁ
<http://paranagua.unespar.edu.br>



A banca foi composta pelos professores doutores abaixo, que assinam a presente ata:

Dr. Franciane M. Pellizzari (PALI – UNESPAR, campus Paranaguá) - orientadora e presidente da banca

Assinatura:  Documento assinado digitalmente
FRANCIANE MARIA PELLIZZARI
Data: 07/03/2024 21:24:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Nair Sumie Yokoya (Instituto de Pesquisas Ambientais de São Paulo) – Examinadora membro titular

Assinatura: 

Dr. José Bonomi Barufi (Universidade Federal de Santa Catarina) – Examinador membro titular

Assinatura:  Documento assinado digitalmente
Jose Bonomi Barufi
Data: 07/03/2024 13:23:30-0300
CPF: ***.777.208-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Dr. Sandro Dereti (PALI - UNESPAR, campus Paranaguá) – Examinador membro titular

Assinatura:  Documento assinado digitalmente
SANDRO VALDECIR DERETTI LEMES
Data: 07/03/2024 17:02:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

PALI



Programa de Pós-Graduação em Ambientes Litorâneos e Insulares - UNESPAR

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNESPAR e Núcleo de Tecnologia de Informação da UNESPAR, com Créditos para o ICMC/USP e dados fornecidos pelo(a) autor(a).

dos Santos Viana, Thadeu
Aminoácidos Micosporinas-like: Uma revisão integrativa macroecológica e geopolítica desta classe de compostos bioativos, em macroalgas, frente às mudanças ambientais vigentes. / Thadeu dos Santos Viana. -- Paranaguá-PR, 2024.
123 f.: il.

Orientador: Franciane Pellizzari.
Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação Mestrado Acadêmico em Ambientes Litorâneos e Insulares) -- Universidade Estadual do Paraná, 2024.

1. Aminoácidos do tipo Micosporina. 2. Espécies Macroalgais. 3. Mudanças Meteorológicas e Oceanográficas. 4. Panorama Latitudinal e Geopolítico. 5. Revisão de Literatura Integrativa. I - Pellizzari, Franciane (orient). II - Título.

SUMÁRIO

1. LISTA DE FIGURAS.....	8
2. LISTA DE TABELAS.....	10
3. RESUMO.....	11
4. ABSTRACT.....	12
5. INTRODUÇÃO GERAL	
5.1.A influência da radiação ultravioleta nos organismos aquáticos e suas consequências.....	13
5.2.Micosporinas e os Aminoácidos do tipo Micosporina (MAA).....	16
5.3.Espécies Macroalgais frente às pressões ambientais.....	21
5.4.A relevância econômica de espécies macroalgais.....	23
5.5.Biossíntese e função dos Aminoácidos do Tipo Micosporina em Macroalgas.....	26
5.6.Os Aminoácidos do tipo Micosporina sintetizados por espécies macroalgais e seu potencial uso industrial.....	27
6. JUSTIFICATIVA.....	31
7. OBJETIVOS	
7.1.Geral.....	33
7.2.Específico.....	33
8. METODOLOGIA.....	34
9. DESENVOLVIMENTO	
9.1.IramuteQ Data.....	39
9.2.Contexto geopolítico e o crescente interesse mundial nos aminoácidos do tipo micosporina sintetizado por espécies macroalgais.....	48
9.3.Comparativo de estudos sobre caracterização dos grupos macroalgais reportados	54

9.4. Panorama comparativo sobre a detecção dos aminoácidos do tipo micosporina em macroalgas.....	61
9.5. Comparação sobre a caracterização de MAA por espécies e grupos macroalgais.....	67
9.6. Caracterização qualitativa de fatores abióticos que modulam a síntese de MAA em espécies macroalgais.....	75
9.7. Concentração de MAA por espécie macroalgal em zonas temperadas e polares.....	87
10. CONCLUSÕES.....	92
11. REFERÊNCIAS.....	98
12. REFERÊNCIAS BASE DE DADOS ARTIGOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA – ENUMERADOS.....	112

PAALI

Programa de Pós-Graduação
em Ambientes Litorâneos
e Insulares - UNESPAR

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de espectro eletromagnético de comprimento de onda, energia, luz visível, UVR e seus respectivos espectros de absorção. Adaptado de Andregueti, 2010.

Figura 2 - Esquema de ocorrência reportada de MAA em diversos organismos aquáticos em um panorama de duas décadas com os estudos mais robustos sobre o composto alvo.

Figura 3 - Quadro comparativo de representação genérica de aminoácido comum, micospolina fúngica e aminoácido do tipo micospolina.

Figura 4 - Principais vias metabólicas responsáveis pela biossíntese de compostos químicos resultantes do metabolismo primário e secundário (Cardozo et al., 2010; Oliveira, 2015.).

Figura 5 - Modelo de Classificação Hierárquica Descendente expressa em classes e porcentagem obtida pelo software IramuteQ.

Figura 6 - Modelo de Classificação Hierárquica Descendente expressa em classes lexicográficas mais relevantes para a análise obtida pelo software IramuteQ.

Figura 7 - Modelo multifatorial representativo da análise alceste indicando a relevância expressiva do banco de dados utilizado pelo software IramuteQ.

Figura 8 - Modelo multifatorial representativo da análise fatorial por correspondência indicando a relevância expressiva dos segmentos de textos aproveitados do banco de dados utilizado pelo software IramuteQ.

Figura 9 - Contagem de publicações relacionadas ao tema ao longo de um período de duas décadas.

Figura 10 - Zonas latitudinais de maior interesse reportados nos estudos.

Figura 11 - Países líderes no estudo dos aminoácidos do tipo micospolina em macroalgas.

Figura 12 - Relação de interesse no estudo de MAA sintetizado por macroalgas nos dois hemisférios.

Figura 13 - Locais de coleta reportados nos estudos analisados da base de dados utilizada.

Figura 14 - Principais grupos macroalgais estudados.

Figura 15 - Principais ordens de Rhodophyta estudadas reportadas nos estudos.

Figura 16 - Principais ordens de Chlorophyta estudadas reportadas nos estudos.

Figura 17 - Principais ordens de Phaeophyceae estudadas reportadas nos estudos.

Figura 18 - Contagem e caracterização dos métodos analíticos utilizados para a detecção de MAA em espécies macroalgais.

Figura 19 - Tipo de corrida analítica da fase móvel do HPLC mais utilizada para a detecção de MAA em espécies macroalgais reportadas nos estudos.

Figura 20 - Mapa qualitativo da média da temperatura da superfície dos oceanos ao longo de duas décadas obtido pela plataforma NEO da NASA

Figura 21 - Mapa qualitativo da média de anomalia da temperatura global ao longo de duas décadas obtidos pela plataforma NEO da NASA.

Figura 22 - Mapa qualitativo da média de incidência de raios solares ao longo de duas décadas obtidos pela plataforma NEO da NASA.

Figura 23 - Mapa qualitativo da média de índice UV ao longo de duas décadas obtidos pela plataforma TEMIS.

Figura 24 - Mapa qualitativo da média da salinidade dos oceanos ao longo dos últimos 7 anos obtidos pela plataforma SMAPda NASA.

Figura 25 – Taxas de concentração de MAA por espécie distintas em diferentes zonas litorâneas.

LISTA DE TABELAS

Tabela I - Compostos bioativos sintetizados por grupos macroalgais que possuem uso industrial. Adaptado de Embrapa, 2016.

Tabela II - Palavras-chave utilizadas para compor as strings de busca nas bases indexadoras.

Tabela III - Critérios de inclusão e exclusão utilizados para refinar os artigos obtidos nas pesquisas.

Tabela IV - Espécies macroalgais estudadas, principal grupo taxonômico e as classes de aminoácidos do tipo micosporina encontradas através das análises reportadas nos estudos.

Tabela V - Comparação da concentração total de MAA (em mg/DW) em espécies de Rhodophyta, Phaeophyceae e Chlorophyta de acordo com sua distribuição latitudinal em zonas temperadas, polares e subtropicais localizadas no Hemisfério Norte e Sul.

Programa de Pós-Graduação
em Ambientes Litorâneos
e Insulares - UNESPAR

RESUMO

As macroalgas marinhas têm despertado crescente interesse científico e industrial devido à síntese de Aminoácidos do Tipo Micosporina (MAA). Mais de 70 moléculas foram identificadas em diferentes filos primitivos filogeneticamente (eg. Cnidaria, Echinodermata, Mollusca, Fungi, Lichen, Cyanobacteria, Microalgas - Bacillariophyta, Charophyta, Chlorophyta, Dinoflagellata), incluso em Macroalgas. Descritos como filtros solares e antioxidantes, protegem as células da mutação causada pelo excesso de radiação UV e estabilizam os radicais livres, combatendo EROs (Espécies Reativas do Oxigênio). Em espécies macroalgais, a função dos MAAs também inclui o aumento da tolerância celular à dessecação, e ao estresse termo-halino, relevante frente às mudanças meteorológicas e oceanográficas vigentes. Embora existam revisões sobre estes compostos fotoprotetores e antioxidantes, a informação está dispersa, não existindo a conciliação de características macroecológicas, associando fatores bióticos e abióticos, de algas de zonas latitudinais distintas. Apresentamos uma base atualizada de dados sobre os MAAs encontrados em espécies de macroalgas marinhas dos três diferentes grupos (Rhodophyta, Phaeophyceae e Chlorophyta) em uma comparação latitudinal global inédita. A abordagem metodológica foi baseada em pesquisa de revisão sistematizada integrativa centrada em análises quali-quantitativas de cunho lexicográfico, geopolítico e macroecológico dessa classe de compostos bioativos sintetizados por macroalgas. A importância desse estudo reside na compreensão das implicações geopolíticas, industriais e ecológicas associadas às espécies de macroalgas, onde foi observada uma maior concentração de MAAs, independente da zona latitudinal, em algas vermelhas e verdes distribuídas em zonas de supralitoral, como é o caso do Complexo Porphyra/ Pyropia, e Prasiola spp. Em um contexto oceânico global, macroalgas desempenham papel crucial em serviços ecossistêmicos, contribuindo para a biodiversidade e a sustentabilidade marinha, e sendo altamente sensíveis às condições abióticas, são bioindicadores e fontes de recursos de uso biotecnológicos principalmente frente as mudanças globais vigentes. Estas mudanças ambientais modulam o ciclo de vida das espécies, assim como a síntese de compostos bioativos. Compreender as variações moduladoras destes compostos bioativos é essencial para uma gestão sustentável de bancos de espécies algais alvo-industriais.

Palavras-chaves: aminoácidos; micosporina; macroalgas marinhas; produtos naturais.

ABSTRACT

Seaweeds have aroused increasing scientific and industrial interest due to the synthesis of Mycosporine Amino Acids (MAAs). More than 70 molecules have been identified and described in different phylogenetically primitive Phyla (eg. Cnidaria, Echinodermata, Mollusca, Fungi, Lichen, Cyanobacteria, Microalgae -Bacillariophyta, Charophyta, Chlorophyta, Dinoflagellata), including Macroalgae. Described as sunscreen and antioxidants, MAAs protect cells from mutation caused by excess UV radiation, and stabilize free radicals, combating ROS (Reactive Oxygen Species). In macroalgal species, the function of MAAs also includes increasing cellular tolerance to desiccation and thermo-haline stress, which is relevant given the current meteorological and oceanographic changes. Although there are published some reviews on these photoprotective and antioxidant compounds, the information is scattered, and there is no database that include macroecological characteristics, i.e., associating biotic and abiotic factors, of seaweeds from different latitudinal zones. Therefore, here we present an updated database of MAAs found in species of seaweeds from the three different groups (Rhodophyta, Phaeophyceae and Chlorophyta) in an unprecedented global latitudinal comparison. The methodological approach was based on integrative and systematized review, and the research focused on qualitative and quantitative analyzes of lexicographic, geopolitical and macroecological approach of this class of bioactive compounds synthesized by macroalgae. The importance of this study lies in understanding the geopolitical, industrial and ecological implications associated with macroalgae species, where a higher concentration of MAAs was observed, regardless of the latitudinal zone, in red and green seaweeds distributed in supralittoral zones, such as some species of Porphyra/Pyropia Complex, and Prasiola spp. In a global oceanic context, macroalgae play a crucial role in ecosystem services, contributing to biodiversity and marine sustainability, and being highly sensitive to abiotic conditions, they are bioindicators and sources of resources for biotechnological uses, especially facing global changes. These environmental changes modulate the life cycle of species, as well as the synthesis of bioactive compounds. Therefore, understanding environmental variations as a modulator of these compounds applied to pharmaceuticals and cosmetics is essential for sustainable management of industrial target algal species beds.

Keywords: amino acids; mycosporine; seaweeds; natural products.

5. INTRODUÇÃO GERAL

5.1. A influência da radiação ultravioleta nos organismos aquáticos e suas consequências

A radiação solar é a energia emitida pelo Sol sob a forma de ondas eletromagnéticas, incluindo luz visível, ultravioleta e infravermelha (Figura 1). Esse fenômeno resulta das reações nucleares no núcleo solar, onde átomos de hidrogênio sofrem fusão nuclear, liberando grandes quantidades de energia (Silva *et al.*, 2010).

Ao se propagar pelo espaço, a radiação solar atinge a Terra durante sua órbita elíptica ao redor do Sol. Contudo, ao entrar na atmosfera terrestre, parte dessa radiação é absorvida por gases, nuvens e partículas atmosféricas, enquanto outra parcela é refletida de volta ao espaço. A quantidade absorvida depende das características atmosféricas e da superfície terrestre (Silva *et al.*, 2010; Xavier *et al.*, 2007).

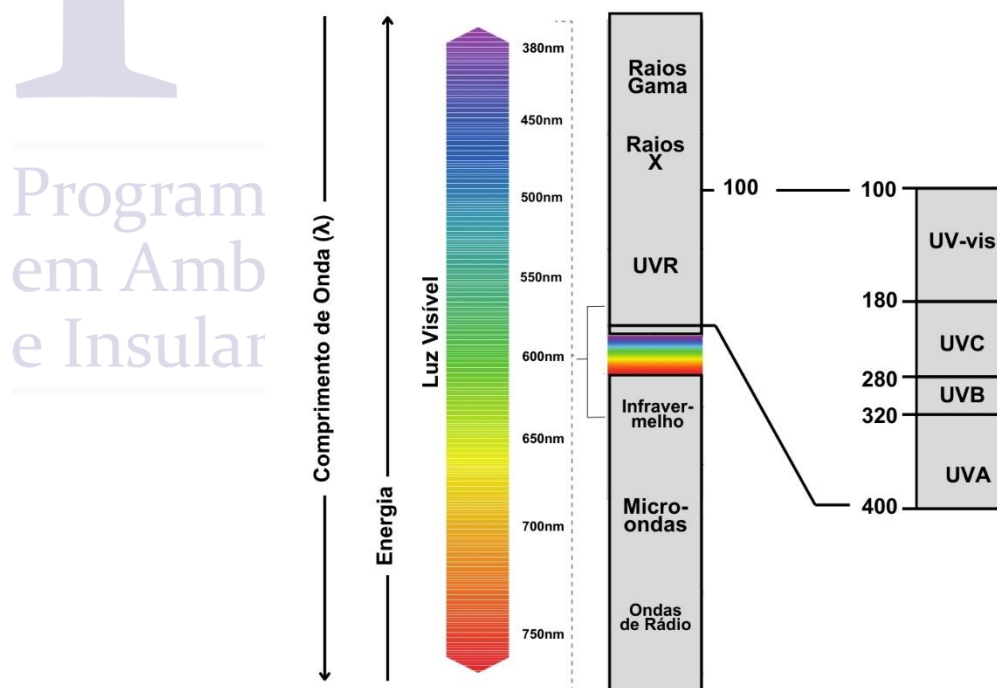


Figura 1 - Esquema de espectro eletromagnético de comprimento de onda, energia, luz visível, UVR e seus respectivos espectros de absorção. Adaptado de Andreguetti, 2010.

A radiação solar que alcança a superfície da Terra é vital para o aquecimento da atmosfera e da própria superfície, desempenhando um papel fundamental nos processos biológicos e em fenômenos naturais, como o ciclo da água. Estudar a sua influência em organismos marinhos é crucial para compreender o seu papel na regulação dos processos biológicos, na dinâmica macroecológica e pode oferecer um panorama sobre a influência dos impactos antrópicos nos ecossistemas marinhos (Vidotti *et al.*, 2004; Magalhães & Ferrão-Filho, 2008).

Os organismos marinhos, desde comunidades fitoplanctônicas até organismos mais complexos, dependem da luz solar para a realização do seu ciclo vital. O fitoplâncton, por exemplo, é uma parte fundamental da cadeia alimentar marinha e é altamente sensível à disponibilidade e qualidade da luz solar. A quantidade de radiação que atinge as camadas mais profundas do oceano também influencia a distribuição vertical dos organismos, afetando suas taxas de crescimento e reprodução (Winder & Sommer, 2012; Pellizzari, 2023).

A interação entre a radiação solar e os organismos aquáticos também desempenha um papel significativo em processos ecossistêmicos, não só na regulação do fitoplâncton, mas também atuando como indutor da fotodegradação de matéria orgânica, na formação de gradientes térmicos na coluna d'água e, também, na síntese de compostos bioativos para a sobrevivência da espécie (Winter *et al.*, 2007).

Além disso, a radiação ultravioleta (UV) causam impactos diretos e indiretos sobre estes organismos. A exposição prolongada à radiação UV pode levar à excitação de moléculas nos tecidos dos organismos, desencadeando reações que produzem Espécies Reativas ao Oxigênio (EROs), como o superóxido e o peróxido de hidrogênio. Essas espécies reativas têm a capacidade de danificar componentes celulares, como proteínas, lipídios e ácidos nucleicos (Fichman *et al.*, 2023; Szabó *et al.*, 2020; Hansel & Diaz, 2020).

Para enfrentar esse estresse oxidativo, espécies marinhas desenvolveram mecanismos de defesa antioxidantes e fotoprotetoras. Enzimas antioxidantes, como

superóxido dismutase e catalase, e moléculas antioxidantes, como a glutatona, trabalham em conjunto para neutralizar e eliminar essas EROs, preservando a integridade celular. Fungos, corais e espécies de micro e macroalgas sintetizam substâncias específicas conhecidas como filtros ou pigmentos fotoprotetores. Exemplos notáveis incluem os aminoácidos do tipo micosporina, que absorvem a radiação UV e transformam essa energia em formas menos prejudiciais, protegendo assim as células dos efeitos diretos da radiação (Embrapa, 2016; Cardozo *et al.*, 2007; Wittenburg *et al.*, 1960).

Estas moléculas são sintetizadas para neutralizar os EROs e minimizar os danos celulares e nucleares. No entanto, em situações de estresse ambiental intenso, como aumentos na intensidade da radiação solar devido a fatores climáticos ou mudanças na composição atmosférica oriundas do impacto antrópico, os mecanismos de defesas antioxidantes e fotoprotetores podem ser sobrecarregados. Isso pode resultar em danos celulares mais extensos, afetando a saúde e a sobrevivência dos organismos marinhos. Além disso, as mudanças meteorológicas e oceanográficas, incluindo o aumento da temperatura da água do mar e as variações na incidência de radiação solar, podem influenciar a dinâmica do estresse oxidativo em organismos marinhos, com potenciais impactos nestes ecossistemas (Hansel & Diaz, 2020; Yokoya *et al.*, 2021; Pellizzari *et al.*, 2014).

Vale ressaltar que estes mecanismos de defesa não são uniformes e variam entre diferentes espécies e grupos taxonômicos. Além disso, a capacidade de resposta dos organismos pode ser influenciada por fatores ambientais, como a profundidade da água, a disponibilidade de nutrientes e as condições climáticas. Em um contexto mais amplo, a compreensão desses mecanismos de defesa é crucial para avaliar como os organismos marinhos podem se adaptar às mudanças nas condições ambientais, incluindo aquelas relacionadas às variações na radiação UV intensificadas pelos câmbios globais vigentes (Biris-Dorhoi *et al.*, 2020; Andrade *et al.*, 2013).

5.2. Micosporinas e os Aminoácidos do tipo Micosporina (MAA)

Micosporinas são compostos fotoprotetores amplamente distribuídos na natureza, desempenhando um papel crucial na sobrevivência de diversos organismos (Figura 2) expostos a ambientes de alta intensidade luminosa, especialmente aqueles sujeitos a radiação UVA e UVB (Cardozo *et al.*, 2007).

Estas moléculas bioativas foram inicialmente indicadas como agentes de absorção de raios UV, através de pesquisas realizadas para avaliar a produção e composição de gases emitidos por organismos epipelágicos associados a um navio de guerra português (Wittenburg, 1960). Mais tarde, foram observados compostos semelhantes em espécies de algas vermelhas, em corais, cianobactérias, dinoflagelados, líquens e leveduras. Desde então muitos compostos similares foram registrados em diferentes organismos aquáticos e genericamente classificados como micosporinas (Vega *et al.*, 2021).

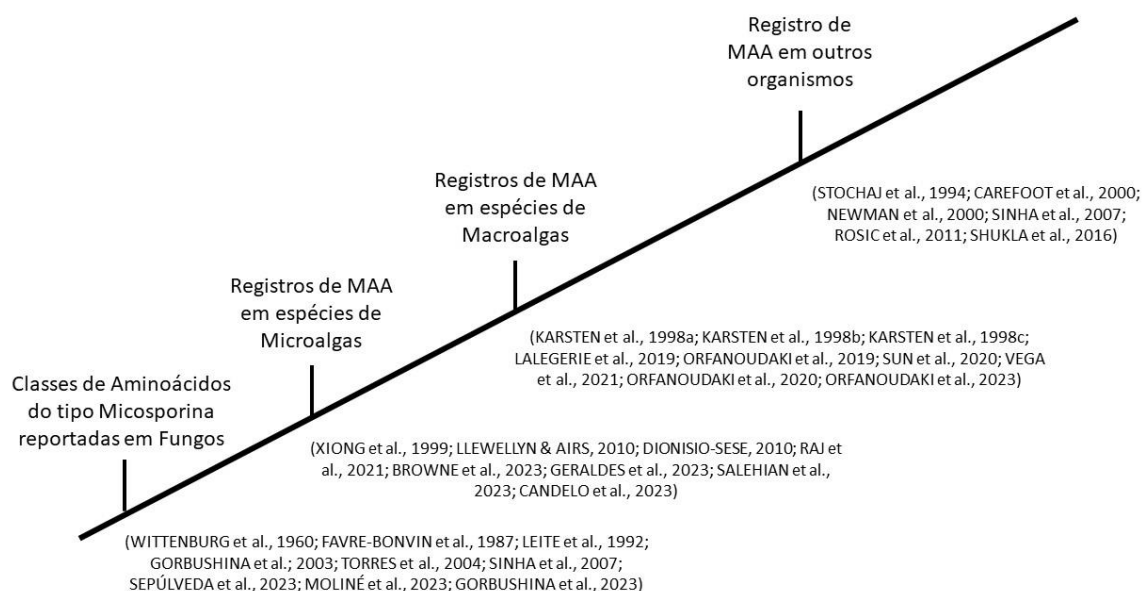


Figura 2 - Esquema de ocorrência reportada de MAA em diversos organismos aquáticos em um panorama de duas décadas com os estudos mais robustos sobre o composto alvo.

O termo micosporina é dado aos metabólitos fúngicos que possuem faixa de absorção em 310 ou 320 nm. Quimicamente, as micosporinas possuem baixo peso

molecular, altamente polares, compostas por um anel de aminociclohexenona ou aminocicloheximina, carregando substituintes de nitrogênio ou iminoálcool. Contudo, em muitos casos, a estrutura básica das micosporinas é derivada de aminoácidos comuns, como glutamina, serina ou piroglutamato. Esses aminoácidos são modificados por meio de reações bioquímicas, como oximação e formação de ligações peptídicas, para dar origem às micosporinas com propriedades fotoprotetoras. Quando ocorre esta substituição, são designados (MAA) Aminoácidos do Tipo Micosporina (Gorbushina *et al.*, 2023; Moliné *et al.*, 2023; Sinha *et al.*, 2007; Leite *et al.*, 1992).

A faixa de absorção das MAA compreende um espectro maior do que as micosporinas de fato, entre 310 a 387 nm. O peso molecular se mantém semelhante, mas a sua estrutura química se difere por apresentarem em seu anel aminocicloheximina ligações a um aminoácido, um aminoálcool ou grupo amino (Figura 3). Esta mudança na sua característica química se deve ao fato de serem sintetizadas como produto do metabolismo secundário em organismos que apresentam a via xiquímica, resultando, ainda, em diversas classes de Aminoácidos do Tipo Micosporina, com diferentes espectros de absorção - que irá depender dos diferentes grupos substituintes no átomo de nitrogênio. Este processo é resultante do metabolismo secundário dos organismos sintetizadores e é fortemente influenciado por enzimas sinalizadoras que constituem o metabolismo primário destes organismos (Candelo *et al.*, 2023; Vega *et al.*, 2021; Karsten *et al.*, 1995; Cardozo *et al.*, 2007).

Programa de Pós-Graduação
em Ambientes Litorâneos
e Insulares - UNESPAR

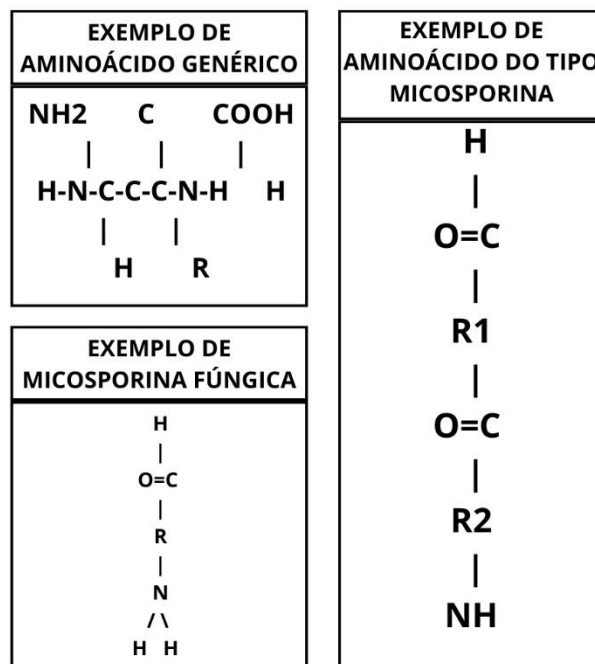


Figura 3 - Quadro comparativo de representação genérica de aminoácido comum, micosporina fúngica e aminoácido do tipo micosporina.

Embora não haja consenso sobre a via de síntese da micosporina ou dos aminoácidos do tipo micosporina, diversos estudos evidenciam uma possível rota para a sua biossíntese seria pela Via Chiquimato (ou via xiquímica).

A síntese de micosporinas em fungos envolve várias etapas bioquímicas. Inicialmente, o ácido aminolevulínico (ALA), um precursor essencial, é produzido a partir do aminoácido glutamato. Posteriormente, o ALA é convertido em prolina ou tirosina por meio de reações enzimáticas específicas. A partir da prolina ou tirosina, ocorrem reações específicas que levam à formação das micosporinas, sendo que as enzimas envolvidas nesse processo são geralmente específicas para cada tipo de micosporina (Wittenburg, 1960; Torres *et al.*, 2004).

Em outros organismos primários, as MAA são sintetizadas pela rota dos aminoácidos aromáticos, que atuam como precursores. Uma substância análoga às MAA é, então, transformada através da bioconversão, em um aminoácido do tipo micosporina. Este processo irá depender de quais aminoácidos estarão livres para

serem convertidos, dentre eles, sendo possível a conformação da MAA com a presença de uma subunidade de glicina, ou metilamina, algumas com ésteres sulfatados e outras podem apresentar ligações covalentes com oligossacarídeos. É através destas bioconversões e interconversões que resultarão em uma classe com diversos compostos e espectros de absorção variados, mas pertencentes ao mesmo grupo químico (Sun *et al.*, 2020; Orfanoudaki *et al.*, 2019; Oliveira, 2015).

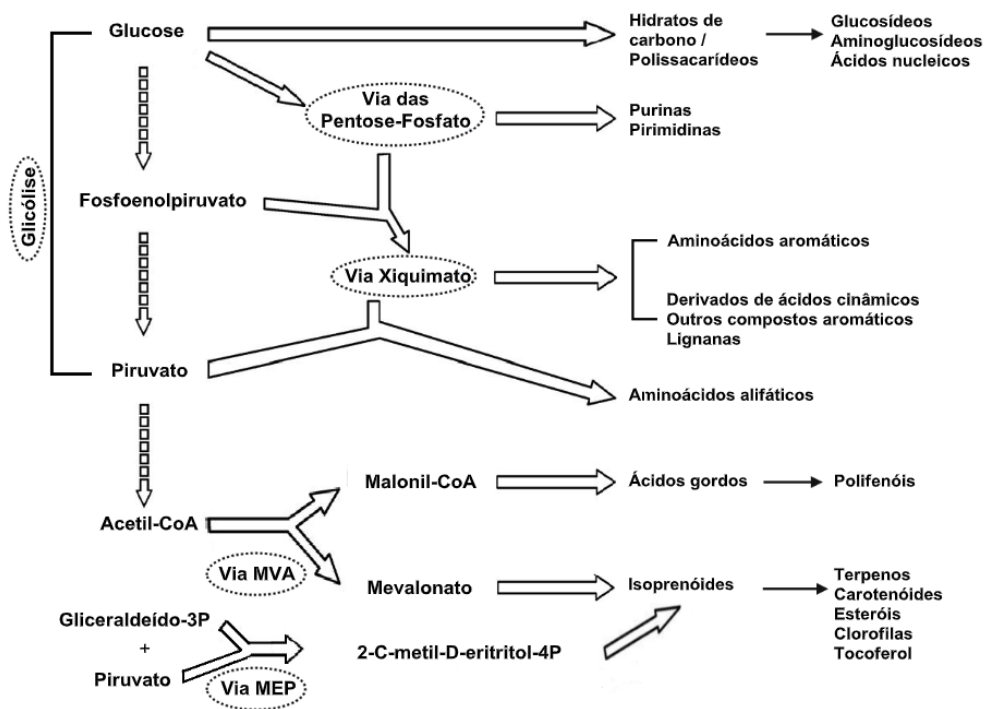


Figura 4 - Principais vias metabólicas responsáveis pela biossíntese de compostos químicos resultantes do metabolismo primário e secundário (Cardozo *et al.*, 2010; Oliveira, 2015.).

A biossíntese destes compostos irá depender de diversos fatores (Figura 4). Juntamente com a radiação solar, outras condições abióticas, como salinidade, temperatura e a disponibilidade de nutrientes, também podem influenciar na produção destes compostos. Adicionalmente, a profundidade é um fator crucial para a síntese, visto que, em águas rasas, observa-se a presença de espécies que apresentam concentrações mais elevadas em comparação com organismos da mesma espécie encontrados em águas mais profundas. Essa disparidade é atribuída à menor

incidência de radiação UV na profundidade, resultado do processo de atenuação da radiação na coluna d'água (Kerswell *et al.*, 2006; Briani *et al.*, 2018).

Vale ressaltar que embora recebam a nomenclatura de um aminoácido, as MAA não exercem a função de síntese de proteínas, mas atuam como compostos intermediários dos hormônios endógenos, exercendo efeito complexante dos nutrientes e promovendo maior resistência aos estresses abióticos, neste caso, principalmente contra a radiação UV. Contudo, poucos estudos ressaltam a diferença entre estes dois grupos de compostos químicos sendo muito comum a utilização do termo “micosporina” para abranger ambos os grupos, e se faz necessário maior aprofundamento e caracterização dos compostos para a definição de uma nomenclatura mais adequada.

Apesar de estudos reportarem a presença de micosporinas e MAA em diversas espécies aquáticas, apenas fungos, bactérias e algas são capazes de sintetizar estes compostos. Isso se deve ao fato de que, a via pela qual estas moléculas são sintetizadas não está presente em animais, e seu acúmulo nestes organismos se dá, principalmente, por associação simbiótica ou hábito alimentar (Briani *et al.*, 2018; Nakamura *et al.*, 1982). Entretanto, a sua característica e função ecológica permanecem: são moléculas antioxidantes de característica fotoprotetora, mas as suas funções não estão limitadas apenas a proteger o aparato fotossintético estabilizando os radicais livres. Atuam também no aumento da tolerância celular à dissecação, ao estresse salino e térmico, auxiliam na regulação do balanço osmótico e servem como reservatório alternativo de nitrogênio - composto este que modula o metabolismo primário em organismos autotróficos que desempenham papel crucial no ciclo biogeoquímico deste elemento em ambientes aquáticos (Garcia-Pichel *et al.*, 1993; Carreto & Carignan, 2011).

Até o presente estudo, tem-se conhecimento de cerca de 70 classes diferentes de MAA, mas este número vem expandindo devido ao aumento da variedade de espécies estudadas e ao desenvolvimento de técnicas analíticas mais precisas e eficientes.

5.3. Espécies Macroalgais frente às pressões ambientais

As macroalgas são organismos autotróficos de tamanho macroscópico que se apresentam em várias cores, formas e tamanhos. Podem ser classificadas em três grupos de acordo com a pigmentação do talo, as algas vermelhas (Filo Rhodophyta), pardas (Filo Ochrophyta – Classe Phaeophyceae) e verdes (Filo Chlorophyta) (Yoneshigue-Valentin et al., 2005).

São consideradas organismos cosmopolitas, por terem ampla distribuição, possuírem larga área de ocupação e estarem presentes em diversas regiões do globo. Relacionado a estes fatores, os índices que registram sua distribuição em diferentes latitudes estão superior a casa dos milhares, com a ocorrência de diversas espécies. (Pereira, 2009; Guiry & Guiry, 2024)

Estes organismos são sésseis e capazes de ocupar todos os meios que lhes ofereçam luz e umidade suficientes, temporárias ou permanentes, onde normalmente vivem imersas ou sujeitas a períodos curtos de emersão, e estão fixadas a um substrato estável expostas diretamente a fatores bióticos e abióticos do ambiente marinho (Vidotti, 2004; Murray & Littler, 1978).

Entretanto, as macroalgas são sensíveis às mudanças repentinas, e as interferências físico-químicas da água do mar podem influenciar no seu ciclo reprodutivo e crescimento. Logo, em águas mais transparentes e em zonas com substratos rochosos fornecem as condições mais favoráveis para a presença de espécies macroalgais (Oliveira *et al.*, 2020; Gómez & Houvinen, 2020).

Pellizzari (2019), afirma que são organismos fotossintetizantes, assimiladoras de nutrientes inorgânicos e possuem um papel fundamental, em conjunto aos fitoplânctons, para a regulação da homeostase dos oceanos. Atuam como produtoras primárias na base da cadeia alimentar, auxiliam na construção de um habitat natural para outras espécies e, além disso, estes organismos possuem caráter bioindicador de contaminação da água juntamente com outros seres marinhos (Marques & Américo-Pinheiro, 2017).

Existe uma diferença da composição química, morfológica e de distribuição das macroalgas oriundas de regiões polares quando comparadas com as espécies residentes em ambientes de clima temperado e tropical. O ambiente polar, de característica estressante, forçou a evolução de uma biota distinta e adaptada às condições impostas pela região: as baixas temperatura constantes, salinidade e pH, fotoperíodo, longas estações de sombreamento e altas taxas de radiação UV são alguns exemplos de fatores de impacto em espécies macroalgais (Barnes *et al.*, 2006; Pellizzari *et al.*, 2017). Sendo assim, os organismos de regiões polares estão mais adaptados às condições ambientais adversas, embora a plasticidade frente a mudanças seja menor, tornando o ambiente polar responsável por garantir o endemismo e baixa introdução de espécies exóticas (Peck, 2005; Barnes *et al.*, 2006).

Em ecossistemas temperados e tropicais, além dos fatores naturais já citados, associa-se a ação antropogênica nas regiões impactadas (Doney, 2012). Portanto, estes câmbios bióticos e abióticos estão induzindo mudanças na biota marinha e na funcionalidade dos ecossistemas (Rosenzweig *et al.*, 2008 apud Pellizzari *et al.*, 2019). Conseqüentemente, estes organismos são forçados a desenvolver uma resposta metabólica eficiente como mecanismo de autodefesa (Briani, 2017).

Para resistir às condições de estresse frente às mudanças meteorológicas e oceanográficas, as espécies algais desenvolvem diversos mecanismos de proteção para manterem seu ciclo vital. Estas condições adversas podem modular sua expressão gênica, influenciar na plasticidade fenotípica, distribuição e permanência no ambiente, além de determinar a especiação (Karsten *et al.*, 1998; Hoegh-Guldberg & Bruno, 2010).

Através do seu metabolismo primário e secundário, são capazes de sintetizar uma variedade de compostos químicos bioativos que vão auxiliar não só na regulação dos processos bioquímicos internos da espécie, mas também na permanência do organismo frente às condições inóspitas (Mineur *et al.*, 2015). Alguns exemplos são a síntese de proteínas, polifenóis, carotenóides, ácidos graxos, ficocolóides, esteróis, aminoácidos, polissacarídeos e carboidratos. Muitos destes compostos sintetizados

possuem características antioxidantes, fotoprotetoras, antifúngicas e anticongelantes (Ismail & Hong, 2002). A modulação da síntese destes compostos irá depender das condições abióticas do ecossistema em que estão inseridas (Raven, 2014). Contudo, quando se considera gradientes latitudinais, a busca é por um padrão que explique a diversidade, desde a escala molecular, dos indivíduos, populações e ecossistemas (Briani, 2018; Ricklefs, 2010).

Na última década, pesquisas sobre o impacto ecológico mediante às mudanças climáticas no globo terrestre foram intensificadas (Hoegh-Guldberg & Bruno, 2010; Doney *et al.*, 2012; Scherner, 2012; Koch *et al.*, 2013) e é notável que espécies controladoras de qualidade de ecossistemas estão sendo afetadas pelos câmbios ambientais vigentes (Pellizzari, 2019). Sugere-se que esses organismos impactados pelas mudanças climáticas desencadeadas, também, pela ação antropogênica (Doney, 2012), estejam desenvolvendo novas características físico-químicas para se adaptar ao meio (Briani, 2018), e tais atributos estão se modulando através de fatores biogeoquímicos presentes no ecossistema (Scherner, 2012).

Em espécies macroalgais, por exemplo, têm-se discutido sobre os efeitos dos câmbios termohalinos da água do mar, correlacionado frente às mudanças simultâneas na distribuição geográfica e composição química das comunidades algais em todo o globo (Müller, 2009 apud Pellizzari, 2019). No que diz respeito ao arranjo químico destes organismos, tem-se visto alterações na sintetização de alguns compostos antioxidantes - como é o exemplo dos aminoácidos do tipo micosporina (MAA), que podem ser considerados indicadores de estresse biológico (Celis-Plá *et al.*, 2014).

5.4. A relevância econômica de espécies macroalgais

Os compostos sintetizados por espécies macroalgais dos três grupos distintos conhecidos, são utilizados em larga escala na indústria. Atualmente, os produtos algais abastecem principalmente os mercados de cosméticos, higiene pessoal, nutrição humana e animal. Trata-se de produtos de valor agregado que são produzidos em pequena, média e grande escala, principalmente na China, Japão,

Coréia, Indonésia, Estados Unidos e Europa (Suganya *et al.*, 2016; Griffiths *et al.*, 2016).

As algas vermelhas são conhecidas por sua pigmentação característica e são amplamente utilizadas na indústria alimentícia, especialmente na produção de agar e carragenina. O agar é utilizado como agente gelificante em alimentos, microbiologia e biotecnologia. A carragenina, por sua vez, é um espessante e estabilizante amplamente empregado na indústria alimentícia para melhorar a textura de produtos como sorvetes, iogurtes e produtos cárneos processados (Lalegerie *et al.*, 2019; Horincar *et al.*, 2014).

As algas pardas são economicamente significativas devido à presença de alginatos, compostos utilizados na indústria alimentícia e farmacêutica. Os alginatos são extraídos principalmente das células da parede das algas pardas e têm propriedades gelificantes, espessantes e estabilizantes. Além disso, algumas espécies de algas pardas são exploradas como fontes de bioenergia, contribuindo para o desenvolvimento de fontes renováveis de energia (Berneira *et al.*, 2021; Afonso *et al.*, 2019).

As algas verdes, embora menos exploradas comercialmente em comparação com as algas vermelhas e pardas, também têm importância econômica. Algumas espécies de algas verdes são usadas na produção de suplementos nutricionais e alimentos funcionais devido ao seu conteúdo rico em nutrientes, como vitaminas, minerais e ácidos graxos ômega-3 (Surget *et al.*, 2017; Horincar *et al.*, 2014).

Nota-se que dos produtos explorados comercialmente oriundos de espécies macroalgais, quanto maior o valor agregado, menor o tamanho de mercado que ocupa. Isso se deve pelo fato da produção e industrialização de alguns desses produtos especializados exigir processos mais complexos e custosos, resultando em preços mais elevados. No entanto, mesmo que o mercado para esses produtos de alto valor agregado seja relativamente menor, sua importância econômica não pode ser subestimada (Embrapa, 2016).

Além dos usos específicos de cada grupo de macroalgas, a aquicultura destes organismos em si tem ganhado destaque. A produção em larga escala de macroalgas para diversos fins, como alimentação humana, ração animal, biocombustíveis e produtos farmaco-cosméticos, tem o potencial de impulsionar a economia local e global (Suutari *et al.*, 2015; Gao *et al.*, 2020; García-Vaquero & Hayes; 2016).

Algumas espécies são fontes ricas em compostos bioativos, como antioxidantes, peptídeos e polissacarídeos. Esses elementos são utilizados na indústria cosmética e farmacêutica para a produção de cremes antienvhecimento, protetores solares, medicamentos e produtos dermatológicos (Tabela I). Destaca-se o crescente interesse, nos últimos anos, nos aminoácidos do tipo micosporina (MAA) por suas características fotoprotetoras, promissor como uso de substância natural alternativa aos protetores solares feitos a partir de substâncias químicas sintéticas.

Tabela I - Compostos bioativos sintetizados por grupos macroalgais que possuem uso comercial e industrial. Adaptado de Embrapa, 2016.

Composto Químico	Grupo Algal	Aplicações Comerciais de Interesse
Ágar	Rhodophyta	Agente gelificante em alimentos, como sobremesas, geleias e produtos lácteos. Meio de cultura em microbiologia e biotecnologia.
Alginato	Phaeophyceae	Espessante em produtos farmacêuticos e cosméticos. Agente espessante e gelificante em alimentos, especialmente em produtos à base de leite. Estabilizante em sorvetes e produtos congelados.
Carragenana	Rhodophyta	Revestimento de cápsulas em medicamentos. Impressões dentárias e moldagem em odontologia. Estabilizante e emulsificante em produtos alimentícios, como iogurtes, leites vegetais e carnes processadas.
Fucoxantina	Phaeophyceae	Espessante em produtos farmacêuticos e produtos de cuidados pessoais. Antioxidante utilizado em suplementos alimentares e produtos de beleza. Pesquisas para possíveis aplicações em tratamentos contra a obesidade.

Ácido Algínico	Phaeophyceae	Utilizado na fabricação de produtos para cuidados com a pele e cabelo. Agente encapsulante em formulações farmacêuticas. Aplicações em produtos agrícolas para melhorar a retenção de água no solo.
Fucoidanos	Phaeophyceae	Atividade anticoagulante, anti-inflamatória e antiviral em pesquisa para aplicações medicinais.
Clorofila	Chlorophyta	Corante natural em alimentos e produtos farmacêuticos. Utilizada em pesquisa para a produção de suplementos nutricionais.
Betacaroteno	Rhodophyta, Chlorophyta, Phaeophyceae	Pigmento antioxidante utilizado em alimentos e suplementos nutricionais.
Esteróis	Rhodophyta, Phaeophyceae	Utilizados na produção de produtos para cuidados com a pele e cabelo.
Polissacarídeos sulfatados	Rhodophyta, Phaeophyceae	Pesquisas para aplicações antivirais e anti-inflamatórias em medicamentos.
Aminoácidos e Proteínas	Rhodophyta	Nutrição humana e animal, cosméticos e filtros solares.
Carboidratos	Chlorophyta	Etanol, bioplásticos, blocos construtores químicos.
Ácidos Graxos	Rhodophyta, Chlorophyta, Phaeophyceae	Biodiesel, bioquerosene, surfactantes, lubrificantes, polímeros.

Programa de Pós-Graduação em Ambientes Litorâneos e Insulares - UNESPAR

5.5. Biossíntese e função dos Aminoácidos do Tipo Micosporina em Macroalgas

A biossíntese e função ecológica das MAAs em espécies macroalgais são as mesmas sugeridas que ocorra em outros produtores primários já citados. O diferencial nestes organismos está na sensibilidade em iniciar ou interromper a síntese e no acúmulo destas moléculas na matriz celular - seja pela própria síntese ou por interações simbióticas, geralmente, ambas ocasionadas por pressões abióticas (Cardozo *et al.*, 2007; Briani *et al.*, 2018).

Nas regiões oceânicas tropicais e polares, que apresentam elevados níveis de radiação UV, também caracterizadas por águas oligotróficas com uma elevada

penetração de radiação solar e considerando zonas temperadas, com águas eutrofizadas oriundas da intensa atividade antrópica, além dos fenômenos de redução da espessura da camada de ozônio (Oliveira *et al.*, 2020; Jofre *et al.*, 2020). Estes cenários vão impactar diretamente na síntese de MAA em espécies macroalgais, como já reportado em estudos que ressaltam a discrepância no tempo de síntese. Em determinadas espécies de Rhodophyta, por exemplo, a síntese de MAA pode ocorrer rapidamente, em algumas horas, enquanto para outras espécies de macroalgas, ou até a mesma, mas de zona latitudinal/batimétrica diferentes, este processo pode se estender por um período de tempo mais extenso (Sinha *et al.*, 2007; Karsten *et al.*, 1998; Orfanoudaki *et al.*, 2020).

Independente dos mecanismos de indução, a resposta à produção de MAAs varia conforme a zona latitudinal, o organismo estudado, as condições de salinidade, pH, batimetria, aporte de nutrientes inorgânicos e, principalmente, de acordo com o aporte de radiação UVA e UVB. É por isso que a avaliação das correlações entre parâmetros ambientais e a indução da síntese de MAAs pode apresentar desafios devido à diversidade de fatores que influenciam o acúmulo desses compostos (Vega *et al.*, 2021; Figueroa, 2021; Stévant *et al.*, 2023).

5.6. Os Aminoácidos do tipo Micosporina sintetizados por espécies macroalgais e seu potencial uso industrial

O uso de protetor solar se mostrou como uma solução útil e viável da indústria fármaco-cosmética para a prevenção do câncer de pele, envelhecimento e outras doenças causadas pela exposição à radiação solar. Na década de 1970, foram introduzidos os protetores solares à prova d'água, e a indústria continuou a inovar, incorporando novos ingredientes e tecnologias para oferecer proteção mais eficaz contra os raios UV. Os protetores solares atuais possuem, em sua composição, filtros físicos e/ou químicos que atuam espalhando, absorvendo ou refletindo a radiação UV. Contudo, o uso contínuo destes produtos vem gerando atenção aos consumidores e órgãos ambientais devido aos componentes químicos em suas formulações (Santos *et al.*, 2018; Da Silva Cabral *et al.*, 2013; Lobosco *et al.*, 2020).

A problemática em questão pode ser analisada sob duas vertentes preponderantes: os prejuízos acarretados, a longo prazo, aos usuários de maneira direta e a questão da bioacumulação dos elementos químicos no ambiente, a qual vem exercendo impactos nos ecossistemas e na biodiversidade. Tal fenômeno, por sua vez, pode desencadear efeitos adversos no meio ambiente, promovendo um cenário de impacto negativo, com repercussões indiretas sobre a saúde humana (Lobosco *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2012).

Em primeira instância, a preocupação ambiental concentra-se na bioacumulação de substâncias químicas encontradas em protetores solares, especialmente em ambientes aquáticos. Os compostos, como oxibenzona e octinoxato, comumente presentes nesses produtos, têm sido associados à degradação dos recifes de coral e à interferência nos processos fisiológicos de organismos marinhos. A entrada dessas substâncias nos ecossistemas aquáticos tem desencadeado discussões sobre os impactos a longo prazo na biodiversidade marinha e na saúde dos ecossistemas costeiros (Schneider & Lim, 2019; Dinardo & Downs, 2018; Siller *et al.*, 2018).

Além disso, questões de saúde humana também têm sido levantadas em relação ao uso de protetores solares químicos. Alguns estudos sugerem que certos ingredientes, quando absorvidos pela pele, podem ter efeitos hormonais disruptivos e potencialmente contribuir para problemas de saúde, como distúrbios endócrinos. A preocupação com a segurança dos filtros solares químicos tem levado a um interesse crescente em alternativas mais naturais e orgânicas, visando minimizar possíveis riscos à saúde humana (Siller *et al.*, 2018; Adler & Deleo, 2020).

Diante dessa complexa problemática, a busca por soluções sustentáveis e inovadoras no desenvolvimento de protetores solares torna-se imperativa. A promoção de formulações menos agressivas, que minimizem o impacto ambiental e priorizem ingredientes seguros para a saúde, representa uma abordagem necessária para mitigar as preocupações associadas ao uso convencional de protetores solares químicos. O equilíbrio entre a proteção eficaz contra os raios UV e a redução dos

impactos ambientais e à saúde humana se mostra como um desafio crucial para a indústria cosmética e para os consumidores conscientes. Neste sentido, emerge um crescente interesse em espécies macroalgais que sintetizem, em abundância, compostos fotoprotetores à radiação UV (Vega *et al.*, 2021).

Os desafios atuais se estendem na diminuição do custo de produção e aumento na disponibilidade do composto alvo no mercado, estabilidade dos radicais e formulação segura para a pele humana, efetividade comparativa com outros produtos já existentes no mercado e aceitação do consumidor (Figuroa, 2021). Contudo, diversos estudos *in vivo* e *in vitro* já demonstraram alta fotoestabilidade das MAA. Investigações vêm sendo elaboradas com espécies de *Porphyra*, que já tem cultivo estabelecido em larga escala na China e Japão, por possuírem porphyra-334, shinorina outros tipos de MAA em sua composição bioquímica (Conde *et al.*, 2000).

Além disso, estudos com espécies macroalgais oriundas de áreas remotas, como as zonas polares, podem ser úteis para a identificação de concentrações elevadas de classes de MAA e sintetizadas em laboratório para uso industrial (Jofre *et al.*, 2020).

O estabelecimento do cultivo comercial de algas é um fenômeno consolidado em várias regiões ao redor do mundo. No entanto, no contexto brasileiro, essa prática ainda se encontra em seus estágios iniciais de desenvolvimento. Enquanto em outras partes do globo o cultivo de algas já alcançou uma presença notável, no Brasil, o setor está apenas começando a se firmar e a ganhar reconhecimento (Reis *et al.*, 2005; Rodrigues *et al.*, 2011; Pellizzari *et al.*, 2005).

Embora as algas tenham sido historicamente utilizadas em diferentes culturas alimentares e industriais, a transição para seu cultivo comercial em grande escala é um processo gradual e multifacetado. Em muitas regiões, especialmente na Ásia, o cultivo de algas é uma atividade consolidada, com sistemas eficientes e tecnologias avançadas.

No Brasil, por outro lado, fatores como a diversidade geográfica e climática, bem como a necessidade de pesquisa e desenvolvimento específicos para adaptação às condições locais, contribuem para a relativa novidade do cultivo comercial de algas. A exploração sustentável desse recurso biológico emergente oferece oportunidades não apenas para a produção alimentar, mas também para aplicações industriais, como a produção de biocombustíveis, fertilizantes e ingredientes para produtos farmacêuticos (Reis *et al.*, 2006; Rodrigues *et al.*, 2011).

É importante ressaltar que o desenvolvimento do cultivo comercial de algas no Brasil não apenas representa uma expansão econômica potencial, mas também uma via para a diversificação da matriz produtiva e a promoção da sustentabilidade ambiental. O estímulo a iniciativas de pesquisa, investimento em infraestrutura e o fomento de parcerias entre setores público e privado são elementos essenciais para impulsionar o crescimento e a consolidação dessa prática no país.

Programa de Pós-Graduação
em Ambientes Litorâneos
e Insulares - UNESPAR

6. JUSTIFICATIVA

Os ecossistemas marinhos, sujeitos a uma interação complexa de fatores ambientais, desempenham um papel crucial na regulação da biodiversidade e na manutenção do equilíbrio ecológico global. Entre os elementos que moldam esses ecossistemas, destacam-se a concentração de oxigênio, a transparência da água e a intensidade luminosa, os quais podem criar condições propícias para a geração de níveis significativos de substâncias reativas ao estresse oxidativo (ERO). Essas substâncias, por sua vez, desempenham um papel central nas respostas fisiológicas e adaptativas dos organismos marinhos às condições do meio ambiente (Koch *et al.*, 2013; Pellizzari, 2019; Doney, 2012).

Recentes investigações têm se debruçado sobre os efeitos desses fatores ambientais na síntese de MAA, especialmente em espécies macroalgais. A ciclagem de nutrientes, por exemplo, tem sido apontada como um dos principais influenciadores desse processo, sendo a exposição à radiação ultravioleta (UV) outro fator crítico a ser considerado (Briani *et al.*, 2018; Sun *et al.*, 2020). A compreensão desses mecanismos bioquímicos e fisiológicos é fundamental não apenas para elucidar os processos metabólicos das macroalgas, mas também para avaliar os impactos das mudanças ambientais em curso nos ecossistemas marinhos.

Nesse sentido, a análise comparativa entre diferentes zonas latitudinais revela-se como uma estratégia promissora para investigar os padrões de resposta das macroalgas a esses estímulos ambientais. Ao explorar as variações geográficas e climáticas, é possível identificar tendências e padrões que podem fornecer insights valiosos sobre as adaptações ecológicas desses organismos. Além disso, tais estudos são essenciais para avaliar a resiliência dos ecossistemas marinhos diante das mudanças globais em curso.

Entretanto, apesar da importância dessas questões, a disponibilidade de material científico publicado sobre o assunto ainda é relativamente limitada. Estabelecer um panorama macroecológico e geopolítico abrangente do composto alvo sintetizado por macroalgas requer uma abordagem integrativa e multidisciplinar, que

leve em consideração não apenas os aspectos biológicos, mas também os aspectos sociais, econômicos e políticos envolvidos.

Diante desse cenário, estudos que buscam elucidar a modulação da síntese de MAAs pelas macroalgas frente às pressões ambientais emergem como uma contribuição crucial para o avanço do conhecimento científico. Uma abordagem comparativa latitudinal desses resultados não apenas preenche lacunas de pesquisa existentes, mas também abre novas perspectivas para futuras investigações, fornecendo uma base sólida para a formulação de políticas de conservação e manejo sustentável dos ecossistemas marinhos.



PALI

Programa de Pós-Graduação
em Ambientes Litorâneos
e Insulares - UNESPAR

7. OBJETIVOS

7.1. Objetivo Geral

O propósito desta pesquisa consiste em realizar uma integração abrangente de conhecimentos referentes aos aminoácidos do tipo micosporina por meio da compilação e análise crítica de estudos científicos que abordem informações relacionadas à síntese desse composto em comunidades macroalgais de zonas polares, tropicais e temperadas. Estabelecendo conexões entre as informações bioquímicas obtidas e os fatores abióticos de cada zona latitudinal do globo, visando a construção de um panorama macroecológico e geopolítico do composto alvo.

7.2. Objetivos Específicos

- Avaliar com base em periódicos de alto fator de impacto, padrões de produção, composição e função das MAAs macroalgais de distintas latitudes do globo.
- Realizar panorama geopolítico e industrial de interesse em MAAs macroalgais visando seu interesse científico e econômico por países residentes de zonas polares, tropicais e temperadas.
- Relacionar o padrão de síntese de MAAs das diferentes divisões macroalgais com variações de dados físico-químicos (como T°C, salinidade, ciclagem de nutrientes e pH).
- Avaliar o estado da arte sobre a viabilidade econômica como produto natural em aplicações industriais destes compostos bioativos no Brasil.

8. METODOLOGIA

Para desenvolver a pesquisa de revisão, foi estabelecido que o presente estudo seguisse um protocolo sistematizado, se aproximando de um tipo de revisão sistemática conhecida como integrativa.

A Revisão Integrativa é um tipo de revisão sistemática da literatura que visa integrar e sintetizar evidências de estudos de pesquisa sobre um determinado tópico. Ao contrário de outros tipos de revisões sistemáticas, como revisões narrativas ou revisões sistemáticas tradicionais, a revisão integrativa busca incluir uma ampla gama de estudos, incluindo pesquisas não alcançadas pelo protocolo estabelecido (Souza *et al.*, 2010; Galvão & Ricarte, 2019).

Primeiramente foi definido o objetivo da pesquisa, optando-se pelo tema que estuda a síntese, produção e função dos aminoácidos do tipo micosporina em macroalgas ao redor do globo. As pesquisas foram realizadas durante os anos letivos de 2023 e 2024. Assim, estabeleceu-se a busca de publicações mais relevantes constantes nas bases de dados da DOAJ, SciELO, SCOPUS, Google Acadêmico, Web of Science e CAFE.

A pesquisa preliminar se iniciou com a escolha das bases de dados responsáveis por delimitar o número máximo de documentos a serem inicialmente considerados em cada uma das pesquisas. Em seguida, através das palavras chaves com seus respectivos operadores booleanos, compuseram as strings de busca e foram então submetidas à pesquisa nas bases escolhidas (Tabelas 2 e 3).

Tabela II - Palavras-chave utilizadas para compor as strings de busca nas bases indexadoras.

Palavras-Chaves	Classe de Strings	Operadores Booleanos
<i>Mycosporine</i>		
<i>Mycosporine-like</i>		
<i>Mycosporine Like Amino Acids</i>		
<i>MAA</i>		
<i>Antioxidant</i>	Classe 01	
<i>AOX</i>		
<i>Metabolites</i>		
<i>Biosynthesis</i>		
<i>Photoprotector</i>		
<i>Algae</i>		
<i>Macroalgae</i>		
<i>Seaweed</i>		
<i>Rhodophyta</i>	Classe 02	
<i>Chlorophyta</i>		
<i>Phaeophyceae</i>		OR; AND; NOT
<i>Ulvophyceae</i>		
<i>Tropical</i>		
<i>Polar</i>		
<i>Global</i>		
<i>Antarctic</i>	Classe 03	
<i>Arctic</i>		
<i>Europe</i>		
<i>Temperate Zone</i>		
<i>Ultraviolet</i>		
<i>UV</i>		
<i>Irradiation</i>		
<i>Changes</i>	Classe 04	
<i>Climate</i>		
<i>Warm</i>		
<i>Cold</i>		

As mesmas palavras-chaves foram utilizadas em todas as bases de dados consultadas, contudo, não abrangia a totalidade de artigos sobre o tema a depender

da combinação utilizada em cada base. Logo, os artigos obtidos pelas pesquisas em todas as bases consultadas foram submetidos aos mesmos critérios de inclusão e exclusão. Os critérios de seleção definidos foram aplicados durante a revisão dos títulos e resumos dos estudos, constituindo uma etapa essencial no processo de triagem e avaliação. Este procedimento visou assegurar a inclusão apenas daqueles estudos que atendiam rigorosamente aos requisitos estabelecidos, contribuindo assim para a robustez e relevância da seleção final.

Tabela III - Critérios de inclusão e exclusão utilizados para refinar os artigos obtidos nas pesquisas.

Critérios de Seleção	
Critérios de Inclusão (CI)	<p>CI1: Produções científicas sobre o composto fotoprotetor micosporina sintetizados por macroalgas ao redor do globo.</p> <p>CI2: Leitura, separação e utilização de artigos científicos revisados por pares.</p> <p>CI3: Artigos contendo estudos relacionados ao tema, publicados em revistas científicas com Fator de Impacto ≥ 1 (JCR e Index), alto número de citações e disponíveis nas plataformas de pesquisa.</p> <p>CI4: Padrões de produção, caracterização e função bioquímica das MAAs.</p> <p>CI5: Trabalhos que foquem no uso econômico do composto alvo.</p>
Critérios de Exclusão (CE)	<p>CE1: Trabalhos que não se refiram à estudos sobre a bioquímica ou aplicação tecnológica dos compostos estudados.</p> <p>CE2: Artigos que analisem a síntese destes compostos por outros organismos, que não espécies macroalgais.</p> <p>CE3: Trabalhos que não apresentem DOI e não possua resumo/abstract.</p> <p>CE4: Estudos em outros idiomas distintos da língua inglesa.</p> <p>CE5: Artigos duplicados.</p>

Após a quantidade final de artigos científicos sobre o tema estar definida, as análises foram realizadas através do software IRAMUTEQ - Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires, para investigação dos seus conteúdos léxicos. As análises propostas são de Classificação Hierárquica Descendente (CHD), Análise Fatorial por Correspondência (AFC) e Análise de Similitude, todas suportadas pelo software.

Em seguida, foram estabelecidos critérios em comum nos estudos (como espécies estudadas, local de coleta, país de publicação, frequência de coleta ao longo de duas décadas, método analítico, protocolo laboratorial, eficiência e caracterização do composto alvo) e realizadas as contagens e frequências de ocorrência destes fatores utilizando o software STATISTICA 11.0 para a plotagem dos gráficos em barra.

A diante, com auxílio do software Power BI da Microsoft foi possível plotar mapas de cunho geopolítico utilizando como referência os softwares Qgis e Ocean Data View para estabelecer os graus latitudinais, os dados inseridos neste software foram os registrados nos estudos que compõem a base de dados estabelecida e focaram-se na observação do país de publicação do estudo e, também o local de coleta dos exemplares macroalgais utilizados para análise de MAA.

Por fim, com auxílio da plataforma NEO (Nasa Earth Observation) da NASA foi obtido dados abióticos de temperatura da superfície dos oceanos (SST), anomalia da temperatura global e incidência de raios solares ao longo de um período de duas décadas.

Sobre a temperatura da superfície dos oceanos (SST) a própria plataforma NEO da NASA indica que este conjunto de dados usa tecnologia de micro-ondas para mapear as temperaturas da superfície do mar diariamente, penetrando nuvens e representando as temperaturas abaixo da camada superficial diurna, até uma profundidade de cerca de 1 metro da superfície dos oceanos. A escala destes dados são fornecidas em graus Celsius.

Sobre a anomalia da temperatura global, os profissionais indicam que a análise é feita pelo GISS (Goddard de Estudos Espaciais) que reúne dados publicamente disponíveis de 6.300 estações meteorológicas terrestres em todo o mundo; observações da temperatura da superfície do mar em navios e por satélite; e medições da estação de pesquisa da Antártica. Esses conjuntos de dados são carregados em um programa de análise de computador que calcula a mudança de temperatura em relação à temperatura média para o mesmo período (mês ou ano) utilizando as faixas

anuais de 1951-1980 como referência. A escala destes dados são fornecidas em graus Celsius.

Os mapas médios de incidência de raios solares são derivados de medições de energia radiante que escapa do topo da atmosfera da Terra, feitas todos os dias em escala global pelo instrumento Clouds and Earth's Radiant Energy System (CERES), voando a bordo dos satélites Terra e Aqua da NASA. A escala destes dados são fornecidas em W/m².

Outros dados abióticos como índice UV e salinidade foram obtidos pela plataforma TEMIS e SMAP Maps: NASA, respectivamente, devido a baixa robustez dos mesmos dados abióticos oferecidos pela plataforma NEO da NASA.

Os profissionais que gerem o acompanhamento do índice UV promovido pela plataforma TEMIS indicam que os dados são calculados a partir da camada de ozônio global assimilado ao meio-dia solar local, ou seja, no momento em que o Sol está mais alto no céu, sendo assim, o índice UV é combinado com a variação diária da posição do Sol. A escala destes dados são fornecidas em "UV Index".

Por fim, sobre os dados de salinidade obtidos pela plataforma SMAP Maps: NASA, os profissionais indicam que o SMAP é um satélite que opera em todo o globo com o auxílio de uma antena, captando a salinidade das águas dos oceanos em PSU, com menor poder de análise espacial, em comparação com seu outro satélite chamado Aquarius, porém mais preciso para estudar características de salinidade em uma resolução espacial mais alta. Contudo, a disponibilidade de dados é recente e não abrange o recorte de duas décadas realizado para este estudo. A padronização temporal foi feita em uma escala maior, trazendo um panorama dos últimos 7 anos.

Em todas as plataformas os dados abióticos foram obtidos pelo próprio sistema disponível para a consulta pública da base.

9. DESENVOLVIMENTO

Após os artigos obtidos serem submetidos aos critérios de seleção, totalizaram-se 71 estudos, os quais foram submetidos a análises conforme indicadas na metodologia. Estas análises abrangem as características do atual estado da arte no que diz respeito aos Aminoácidos do Tipo Micosporina (MAA) em macroalgas, utilizando uma abordagem lexicográfica, geopolítica, industrial e biológica. Tais abordagens revelam-se valiosas para fornecer insights aprofundados e identificar lacunas no estudo, na função e na aplicação do composto alvo.

9.1. IramuteQ Data

Através da Classificação Hierárquica Descendente (CHD), obteve-se a conformação de 5 principais classes, divididas em dois grupos maiores. O dendograma indica a presença e abrangência de vocabulários no texto. Dos 481 segmentos definidos, 367 foram aproveitados, representando 76,30% do total.

As 5 categorias de palavras estão organizadas de forma que as classes 1 e 2 possuem maior relação entre si, enquanto as classes 5, 4 e 3 constituem outro grupo com maior proximidade entre os termos. Nota-se, também, que o grupo que compreende as classes 5, 4 e 3 possui maior expressividade com base nos artigos analisados, totalizando 55,80% da totalidade dos segmentos aproveitados pelo método estatístico. Contudo, 44,10% constituem o grupo que compreende as classes 1 e 2 (Figura 5).

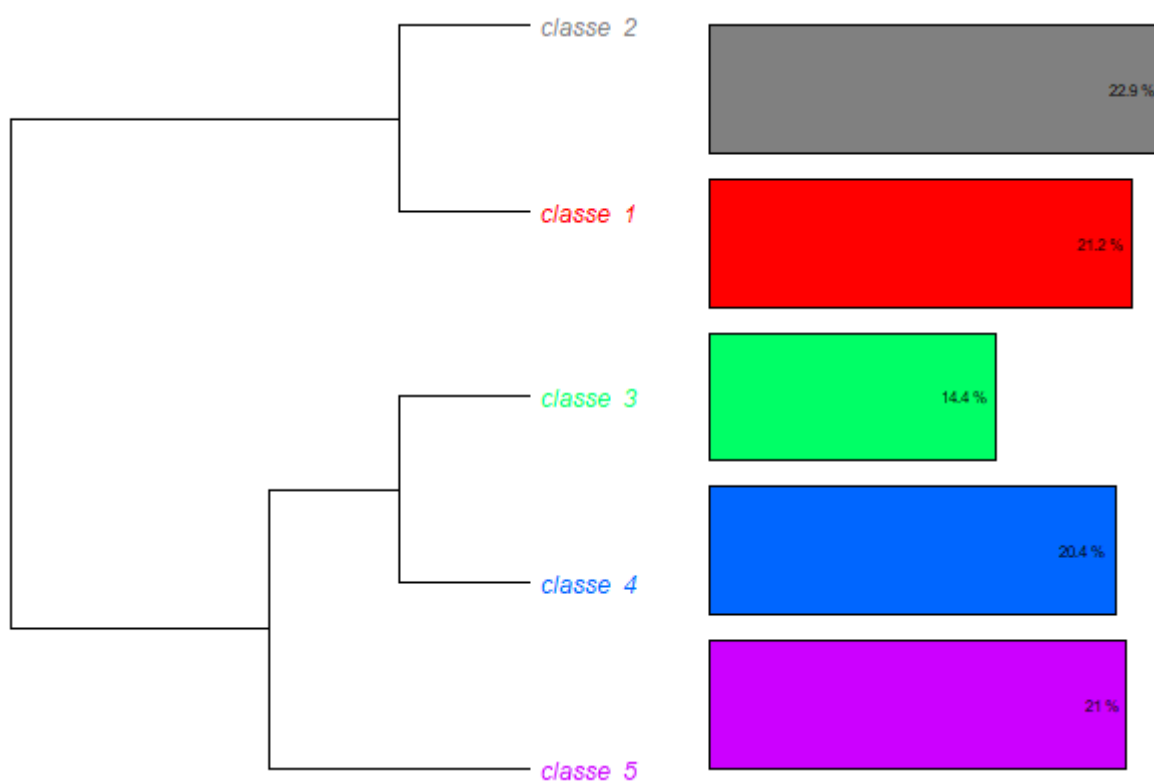


Figura 5 - Modelo de Classificação Hierárquica Descendente expressa em classes e porcentagem obtida pelo software IramuteQ.

Ao observar a qualidade dos dados, as classes podem ser categorizadas de acordo com a ocorrência e tamanho dos termos em evidência em cada classe. A classe 1 é formada por termos como “extraction”, “porphyra_334”, “hplc”, “chromatography”, “palythine” e “separation”. Estes termos estão relacionados aos estudos bioquímicos de MAA e os processos laboratoriais que envolvem a sua extração, identificação, quantificação e qualificação.

Por sua vez, a classe 2 apresenta termos como “marine”, “mycosporine_like”, “cosmetic”, “sunscreen” e “compound”. Termos estes intrinsecamente relacionados ao uso comercial das MAA como composto bioativo natural na formulação de produtos fármaco-cosméticos.

A classe 3 apresenta semelhança entre os dois principais grupos, devido à sua proximidade com as classes 4, 5 e 1, 2. Nela estão presentes termos como “solar”, “depth”, “expose”, “radiation” e “condition”. Sugere-se que é nesta classe onde se

torna possível evidenciar pontos de discussão ou abordagem em comum entre os estudos observados. Afinal, são termos generalistas que estão presentes nas abordagens dos artigos presentes em todos os outros grupos.

Seguindo para a classe 4, observa-se termos como “par”, “uv_a”, “yield”, “photosynthetically” e “exposure”. Esta classe remete aos estudos que discutem mais sobre as propriedades físico-químicas das espécies estudadas, as macroalgas. Mas diferente da classe 5, que aborda termos sobre a fisiologia do organismo, aqui se estabelecem fatores abióticos como agente de impacto às espécies analisadas.

Por fim, a classe 5 aborda sobre a fisiologia e especiação do organismo. Termos como “accumulation”, “protein”, “tamariscifolia”, “leucosticta” e “elongata” estão relacionados à espécie aliada ao gênero macroalgal estudado.

Ao categorizar as classes estabelecidas e grupos conformados, percebe-se que o grupo que compreende as classes 5, 4 e 3 estão contidos termos que se referem a fisiologia e especiação das macroalgas e ao impacto abiótico no organismo. Enquanto o grupo que compreende as classes 1 e 2 abordam, exclusivamente, sobre as MAA e o estudo do seu uso industrial (Figura 6).

Programa de Pós-Graduação
em Ambientes Litorâneos
e Insulares - UNESPAR

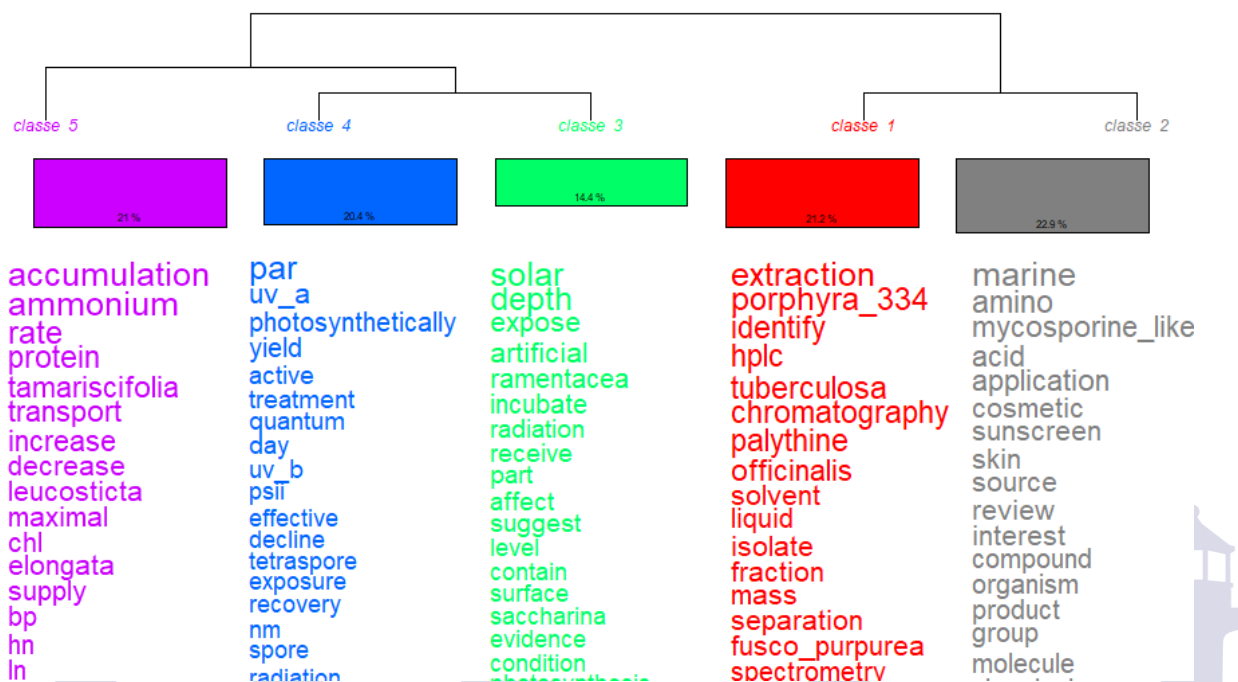


Figura 6 - Modelo de Classificação Hierárquica Descendente expressa em classes lexicográficas mais relevantes para a análise obtida pelo software IramuteQ.

As diferentes classes conformadas na CHD e o direcionamento das linhas de abordagem ficam mais evidentes ao determinar quais estudos tiveram mais relevância para a divisão do dendograma. Desta forma, através da Análise Fatorial Correspondente (AFC) foi possível identificar não só como os estudos se diferem (Figura 7), mas também como os próprios termos aproveitados do corpus textual se conformam em suas respectivas classes.

O tamanho dos termos indica maior ocorrência no corpus textual e maior relevância significativa nos segmentos de textos estabelecidos. As cores representadas em ambas as análises de AFC correspondem às classes determinadas no dendograma da CHD.

Através destes resultados, pode-se afirmar que os artigos que compõem a classe 1 (em vermelho), estão pouco relacionados com os outros grupos. Enquanto a classe 3 (em verde), menos expressiva e mais centralizada, apresenta uma proximidade maior com todas as outras categorias. Seguida pela classe 4 (cor azul) e

5 (cor roxa), mais expressiva, mas que constituem o grupo principal que agrupa as 3 classes.

Embora a classe 2 não seja tão expressiva como as outras, sua distinção se dá pelo fato dos estudos que a compõem desenvolverem a sua linha de abordagem voltada para o viés industrial/comercial e pouco discutir sobre a condição físico-química do composto alvo.

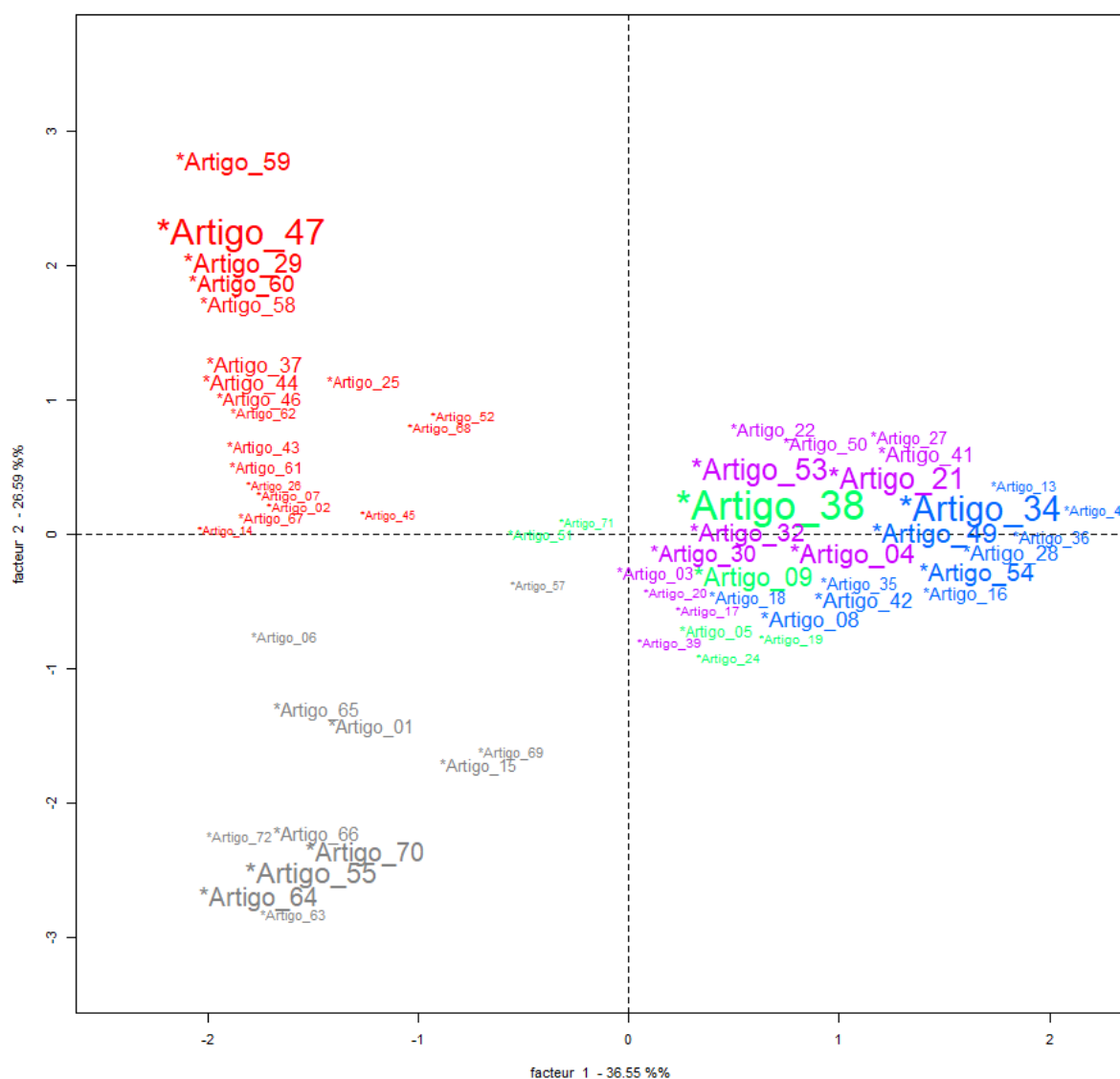


Figura 7 - Modelo multifatorial representativo da análise alceste indicando a relevância expressiva do banco de dados utilizado pelo software IramuteQ.

Uma alternativa de representação visual da Análise Fatorial de Correspondência (AFC) consiste na disposição dos termos nas classes predefinidas, conforme indicado pelas diferentes cores (Figura 8). Este gráfico proporciona uma visão elucidativa das interconexões entre as palavras presentes no corpus textual, destacando suas ocorrências e contextos. As cores e a disposição nos quadrantes evidenciam a correlação entre as palavras e suas respectivas classes, validando assim os resultados obtidos pela Classificação Hierárquica Descendente (CHD). A frequência de aparição exerce influência sobre as dimensões no gráfico, ao passo que a proximidade e centralidade espelham as correlações entre os textos e os temas de pesquisa.

Neste gráfico fica mais evidente a porção total dos segmentos de textos aproveitados pelas análises e a real expressão e relação entre as classes estabelecidas. A classe 3, mais centralizada, é constituída por termos que são constantes em praticamente todos os outros grupos. Enquanto as classes 5 e 4 são opostas às classes 1 e 2.

Programa de Pós-Graduação
em Ambientes Litorâneos
e Insulares - UNESPAR

estabelecidas, que muito são moduladas pelas pressões ambientais vigentes - outra abordagem presente nos estudos.

Mesmo com o crescente interesse mundial pelas MAA, observa-se que há uma tendência em identificar as espécies com maiores concentrações do composto e que possam ser úteis para exploração comercial. Embora a abordagem bioquímica e laboratorial seja muito expressiva nos estudos, há pouca relação entre os fatores bióticos e abióticos que exercem uma função moduladora na síntese de MAA em macroalgas. Esta é uma lacuna muito evidente ao obter a comparação dos conteúdos alinhados em cada estudo.

O objetivo principal dos pesquisadores, atualmente, está em refinar as técnicas de identificação e extração, bem como a indução da síntese de forma assistida. Contudo, é importante ressaltar que, *in natura*, há diversos fatores que podem contribuir para a estimulação ou inibição da síntese de MAA em macroalgas, e muitos destes fatores são intensificados pelo impacto antrópico (Candelo *et al.*, 2023; Karsten *et al.*, 1995).

Outra lacuna observada pelas análises se dá pela baixa expressão dos termos relacionados ao método de análise utilizado. Mesmo que haja ocorrência de termos como “hplc” ou “chromatography” ainda assim são strings generalistas que não especificam de fato a forma mais utilizada para a detecção das MAA nos extratos utilizados nos estudos. Estas palavras estão sim relacionadas com um tipo de análise específica e eficiente para a identificação das diferentes classes químicas, mas há, atualmente, uma diversidade tecnológica mais robusta e precisa para este fim e, de acordo com estes resultados, ou não estão em evidência nos artigos obtidos ou não estão sendo utilizadas pelos autores. Condição esta que abre um novo leque de discussões acerca das condições laboratoriais e aporte financeiro para o desenvolvimento de pesquisas bioquímicas.

Por seguinte, é possível afirmar que as pesquisas relacionadas ao uso comercial da MAA pouco estão ligadas com a rotina laboratorial de estudo. Embora possa ser um viés da presente pesquisa, os artigos deste teor que foram incluídos

pelos critérios de seleção não apresentam uma abordagem multidisciplinar e/ou multiprofissional. E o mesmo ocorre com os artigos que discutem sobre a taxonomia, bioquímica e laboratorial - nestes, não há aprofundamento sobre a exploração comercial do composto alvo. Contudo, fatores como aceite de publicação em determinada revista, a expertise profissional da equipe envolvida, viabilidade do estudo e relevância local do composto estudado podem impactar na forma de abordagem que será desenvolvida na pesquisa e resultar em estudos nichados por categorias de profissões.

Por fim, aliando todos os pontos anteriores, pouco se discute sobre o panorama geopolítico das MAA em macroalgas. Mesmo com o crescente interesse no composto e o aumento do número de estudos em organismos aquáticos, este panorama de interesse industrial e comercial é pouco explorado, mais ainda se atrelar o contexto de alterações meteorológicas e oceanográficas que vem se intensificando na última década em decorrência do impacto antrópico.

Um estudo que integre dados bióticos e abióticos, que são extremamente relevantes para a síntese de MAA em macroalgas, ainda é pouco ofertado na literatura científica e relacionar estes fatores com o panorama geopolítico e industrial poderá oferecer resultados que vão contribuir para a compreensão macroecológica de comunidades macroalgais do globo e, conseqüentemente, para maior entendimento dos aminoácidos do tipo micosporina sintetizados por estes organismos. Resultados, estes, que são válidos para corroborar diversos estudos futuros.

Logo, é importante que seja preenchida estas lacunas que envolve o estudo das MAA em macroalgas não só para oferecer suporte a estudos futuros de cunho conservacionistas, já que a presença ou ausência do composto alvo nestes organismos podem indicar uma série de condições, úteis como bioindicadores para análises e avaliações macroecológicas. Mas também para estabelecer e romper os desafios atuais para a consolidação do composto químico como alternativa natural às substâncias sintéticas utilizadas pelas indústrias farmacêuticas e cosméticas.

9.2. Contexto Geopolítico e Comparação Latitudinal das Pesquisas Globais sobre os Aminoácidos do tipo Micosporina sintetizados por Espécies Macroalgais

A continuidade na frequência de publicações examinadas sobre o tema sugere uma persistência notável de interesse, sugerindo que o foco nesse domínio permaneceu constante ao longo do tempo (Figura 9). Embora se evidenciem picos recentes, indicativos de um notável aumento no interesse global de diversos países pela pesquisa sobre os Aminoácidos do Tipo Micosporina (MAA), é crucial ressaltar que essa atenção se manteve de maneira constante, refletindo a importância sustentada atribuída a esse campo de estudo.

O entusiasmo que inicialmente pode ser observado na primeira década do século XXI em relação a esse composto específico, agora se desdobra de maneira mais robusta e sofisticada nos estudos mais recentes. Este fenômeno sugere não apenas uma atenção direcionada pela comunidade científica, mas também uma evolução na profundidade e complexidade com que as investigações em torno das MAA são conduzidas. Este aprimoramento na abordagem reflete a crescente relevância atribuída ao entendimento aprofundado das MAA, denotando uma resposta ao dinamismo e às complexidades emergentes no contexto ecológico e econômico global contemporâneo.

Programa de Pós-Graduação
em Ambientes Litorâneos
e Insulares - UNESPAR

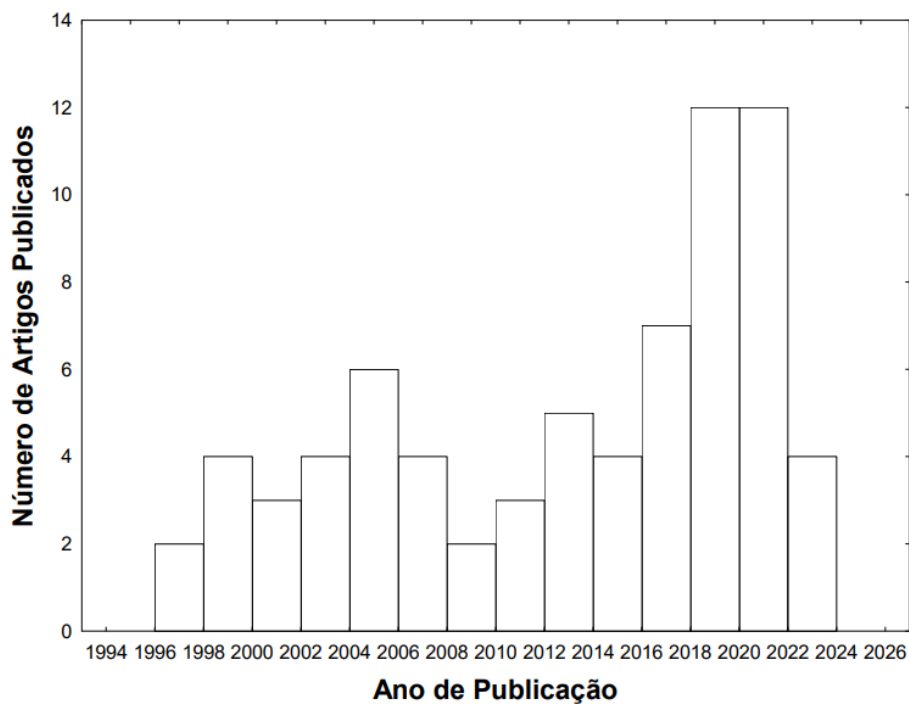


Figura 9 - Contagem de publicações relacionadas ao tema ao longo de um período de duas décadas.

Uma observação adicional que emerge sobre o estudo das MAA em macroalgas é a notável discrepância entre a frequência de coleta de exemplares de espécies macroalgais, especificamente direcionadas ao estudo das micosporinas, e o ritmo de publicações abordando tal temática. Ao realizar uma análise aprofundada dos artigos resultantes da triagem, mostra-se evidente que as coletas das amostras utilizadas foram realizadas com um intervalo médio de, pelo menos, dois anos em relação ao período de publicação referente ao composto alvo.

Este padrão temporal, intrinsecamente associado ao intervalo de coletas e publicações, promove reflexões acerca do status do estudo das MAA ao longo da última década. Denota-se que a análise especificamente sobre MAA emergiu como um componente de interesse secundário, talvez não central à pesquisa, na investigação dos exemplares macroalgais. Nesse contexto, a sugestão plausível é de que as coletas realizadas nos períodos indicados possuíam objetivos exploratórios mais abrangentes, transcendendo o escopo direto do estudo das MAA.

Essa constatação aponta para uma complexidade intrínseca nas motivações subjacentes às coletas e às pesquisas subsequentes, sugerindo a possibilidade de que as amostragens tenham sido conduzidas com propósitos multifacetados, além do escopo restrito do estudo dos aminoácidos do tipo micosporina. Dessa forma, a relação entre a frequência de coletas e a produção acadêmica revela nuances sobre o desenvolvimento e a direção do interesse científico ao longo do tempo, exigindo uma compreensão mais profunda da interconexão entre as práticas de campo e as análises laboratoriais.

A inclinação e a profundidade do interesse dedicado à investigação das MAA revelam uma ênfase consideravelmente mais marcante por parte dos países situados em regiões temperadas, estabelecendo, assim, um notável contraste com as regiões localizadas em áreas tropicais e polares. Esta discrepância ganha notoriedade ao se analisar a frequência de coleta em países distribuídos no Hemisfério Norte, com um total de N=38, em comparação com aqueles no Hemisfério Sul, contabilizando N=18 (Figura 10).

Embora não seja reportado em todos os artigos triados os locais de coleta, este fator se dá pelo fato de que há estudos que ou não indicaram ou não se tratavam de análises laboratoriais, no gráfico este registro se dá pelo símbolo “-”, e encontra-se nas respectivas figuras: Figura 10, Figura 12 e Figura 14.

Programa de Pós-Graduação
em Ambientes Litorâneos
e Insulares - UNESPAR

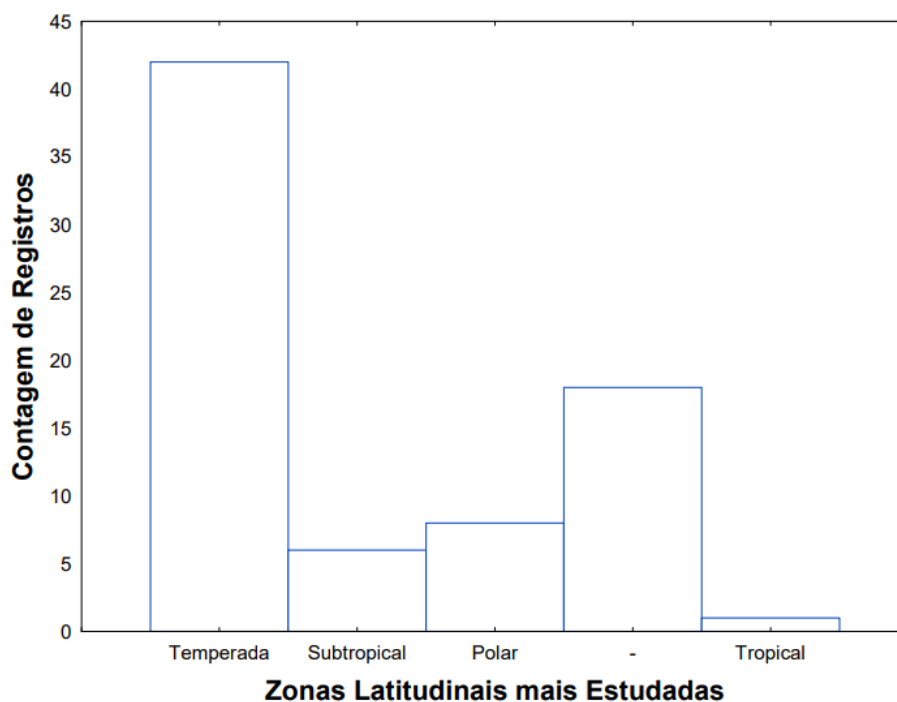


Figura 10 - Zonas latitudinais de maior interesse reportados nos estudos.

O interesse mais pronunciado por espécies situadas em países de zonas temperadas, como Espanha, Portugal, França e Alemanha pode ser interpretado como um reflexo das condições ambientais e de exploração comercial através do cultivo em larga escala de espécies algais que são mais bem estabelecidas nessas regiões, neste sentido, as MAA assumem um papel potencialmente mais crucial (Figura 11). Visto que pode ser utilizado como composto natural viável para a indústria fármaco-cosmética.

Essa dinâmica ressalta a relevância das variáveis climáticas e geográficas na determinação dos enfoques de pesquisa, uma vez que as pressões ambientais e antrópicas podem variar substancialmente entre diferentes climas e ecossistemas. Em regiões polares e tropicais, por exemplo, o interesse é menos expressivo, porém, não menos relevante.

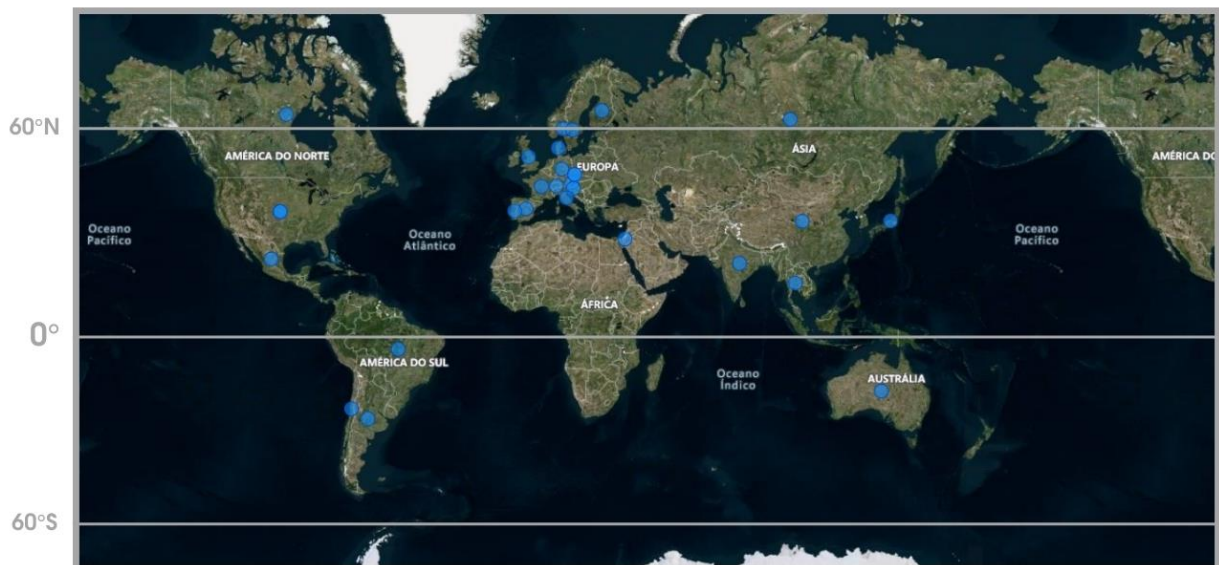


Figura 11 - Países líderes no estudo dos aminoácidos do tipo micosporina em macroalgas.

Em espécies oriundas de zonas polares situadas no hemisfério norte, há maior atividade antrópica que pode ser responsável por inibir ou estimular a síntese de MAA em espécies macroalgais. Em contrapartida, as zonas polares do hemisfério sul possuem isolamento biogeográfico, sendo então, capazes de proporcionar uma perspectiva refinada e comparativa entre as diferentes zonas latitudinais.

No hemisfério Sul, países como Brasil, Chile e Argentina atuam como pioneiros no estudo de MAA em espécies macroalgais conspícuas de zonas tropicais, subtropicais e polares. Mas o interesse é por espécies com maior biomassa, conspícuas à região, diferente do que é visto pelos registros atrelados ao Hemisfério Norte - onde percebe-se que o estudo de MAA foi e está direcionado para espécies já relevantes na economia.

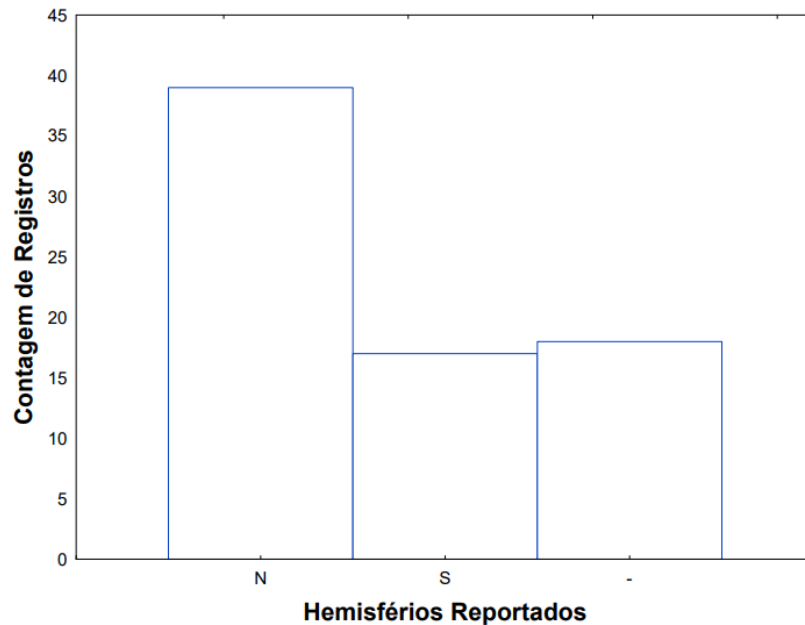


Figura 12 - Relação de interesse no estudo de MAA sintetizado por macroalgas nos dois hemisférios.

É importante a análise do composto alvo em diferentes espécies, de diferentes latitudes e avaliadas sob condições ambientais distintas por diversos fatores. Um deles é justamente contribuir para o estado da arte sobre a temática em questão que, por sua vez, carece de metodologias padronizadas e unificação dos dados através de estudos de base. Em seguida, mostra-se imprescindível a descoberta de espécies com maiores capacidades de síntese ou mesmo de técnicas que sejam capazes de modular a síntese de MAA nos organismos já explorados comercialmente para outros fins. Por fim, também compreender os aspectos ecológicos envolvidos que impactam na sobrevivência da espécie, visto que a síntese de MAA está relacionada com um mecanismo de defesa das macroalgas, principalmente contra radiação UV, mas também modulada pelo aporte de nutrientes inorgânicos.

Ademais, a distinção observada entre os hemisférios Norte e Sul pode também ser interpretada à luz de diferenças socioeconômicas e prioridades de pesquisa específicas de cada região (Figura 12 e 13). Assim, a complexidade desse panorama evidencia a necessidade de uma análise mais aprofundada para compreender as

nuances e implicações por trás das disparidades regionais no interesse pela pesquisa dos aminoácidos do tipo micosporina.



Figura 13 - Locais de coleta reportados nos estudos analisados da base de dados utilizada.

9.3. Comparativo de Estudos sobre a Caracterização dos Grupos Macroalgais reportados

Ao proceder à análise dos artigos examinados, foram reportados estudos em 293 espécies e destaca-se uma clara predominância do grupo Rhodophyta, que se sobressai como o grupo onde as MAA foram mais frequentemente exploradas. Essa superioridade se evidencia na abrangência de análises realizadas em um total significativo de 248 espécies pertencentes a esse grupo específico de algas. Seguindo esta perspectiva, o grupo Chlorophyta atua como objeto de análise em 24 espécies, enquanto o grupo Phaeophyceae, por sua vez, foi alvo de investigação em 21 espécies (Figura 14).

A discrepância quantitativa entre os grupos taxonômicos ressalta a notável preferência por parte da comunidade científica em direcionar suas pesquisas, de modo mais acentuado, para as espécies de Rhodophyta no que concerne à exploração das MAA. Tal inclinação sugere uma valorização especial desse grupo em termos de seu potencial como fonte de compostos bioativos, indicando uma concentração significativa de estudos nesse domínio específico de algas vermelhas.

Essas observações não apenas lançam luz sobre a predominância do grupo Rhodophyta, mas também apontam para nuances distintas nas propriedades bioquímicas e nos potenciais aplicativos das MAA, dependendo do contexto taxonômico ao qual as diferentes espécies de algas pertencem. Portanto, este comparativo taxonômico enriquece substancialmente a compreensão da diversidade funcional e das aplicações específicas das MAA em diferentes grupos biológicos, contribuindo para uma visão mais abrangente e informada sobre o tema.

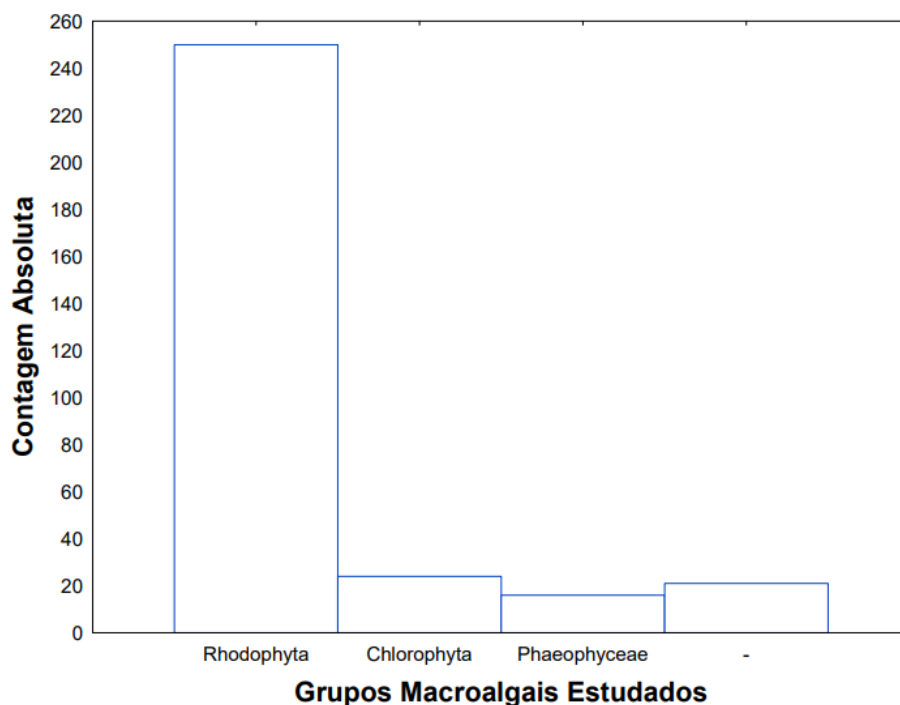


Figura 14 - Principais grupos macroalgais estudados.

Ao elencar as espécies destacadas nos estudos relacionados aos aminoácidos do tipo micosporina em macroalgas, categorizando-as conforme suas ordens taxonômicas, percebe-se uma tendência distintiva em relação às espécies macroalgais vermelhas. Observa-se que as espécies provenientes das ordens Ceramiales, Gigartinales, Gracilariales, Bangiales, Coralinales e Gelidiales são aquelas que predominantemente figuram nos estudos sobre MAA (Figura 15). Estas ordens, reconhecidas por abrigar algas com ampla exploração comercial nas indústrias alimentícia, nutracêutica e farmacêutica, desempenham um papel significativo na extração de substâncias valiosas como ágar, carragenina e são essenciais na produção de nori, uma alga fundamental na culinária japonesa, notadamente em pratos como sushis (Embrapa, 2016; Vega *et al.*, 2023).

Entretanto, o que se revela intrigante é a inclusão das espécies da ordem Ceramiales, caracterizadas por um impacto econômico menos expressivo, nos estudos sobre MAA. Este fenômeno sugere que o interesse nesse grupo específico transcende as considerações puramente econômicas e pode estar associado à rica biomassa disponível nos ambientes de coleta. Dessa forma, é plausível inferir que o foco na pesquisa dessas espécies, apesar de seu impacto econômico mais limitado, pode estar atrelado a motivações de cunho conservacionista.

Explorando mais profundamente essa dinâmica, observa-se uma convergência de interesses científicos, onde a exploração de espécies com baixo impacto econômico pode oferecer contribuições valiosas para estudos de conservação marinha. Essa abordagem transcende as limitações imediatas das aplicações comerciais, permitindo uma compreensão mais precisa dos ecossistemas marinhos. Assim, a dualidade entre o potencial comercial e o valor ambiental das algas vermelhas destaca a complexidade e a amplitude das investigações no campo das

MAA, proporcionando que se estende além das considerações econômicas imediatas.

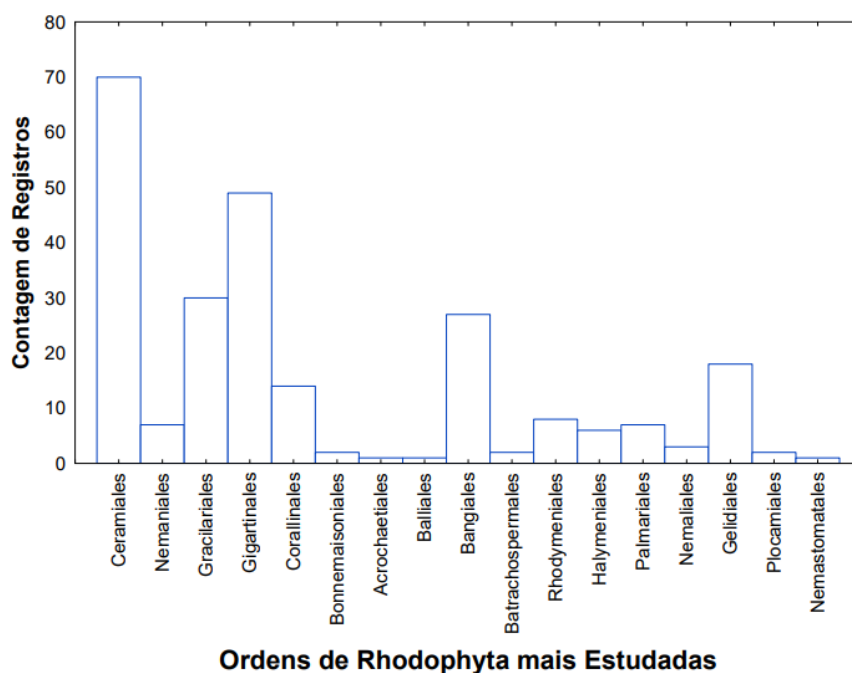


Figura 15 - Principais ordens de Rhodophyta estudadas reportadas nos estudos.

No que tange à Chlorophyta, percebe-se um notável direcionamento de atenção nas ordens Ulvales e Cladophorales no âmbito da pesquisa sobre MAA (Figura 16). Este foco específico destaca a importância atribuída a essas ordens como fontes potenciais dos aminoácidos do tipo micosporina.

Embora o interesse na investigação de MAA seja proporcionalmente menor em algas verdes, é imperativo ressaltar que diversas espécies de Ulvales e Cladophorales prosperam em ambientes ricos em compostos inorgânicos - muitas vezes encontrados em grandes quantidades como resultado do impacto antrópico no meio ambiente. Esta peculiaridade sugere que, apesar da menor ênfase geral no estudo das MAA em algas verdes, as espécies pertencentes às ordens mencionadas possuem características biológicas e ecológicas que as tornam especialmente relevantes para a investigação desses compostos.

Ao mesmo tempo, algumas espécies da ordem Prasiolales ocupam uma posição territorial intermediária, sendo encontradas em zonas de transição entre ambientes aquáticos e terrestres (Karsten *et al.*, 2005; Hoyer *et al.*, 2001). Essa adaptação peculiar sugere que as espécies dessa ordem possuem características únicas que as tornam particularmente interessantes para estudos que abordam a interface entre ambientes aquáticos e terrestres, ampliando assim o escopo de investigação.

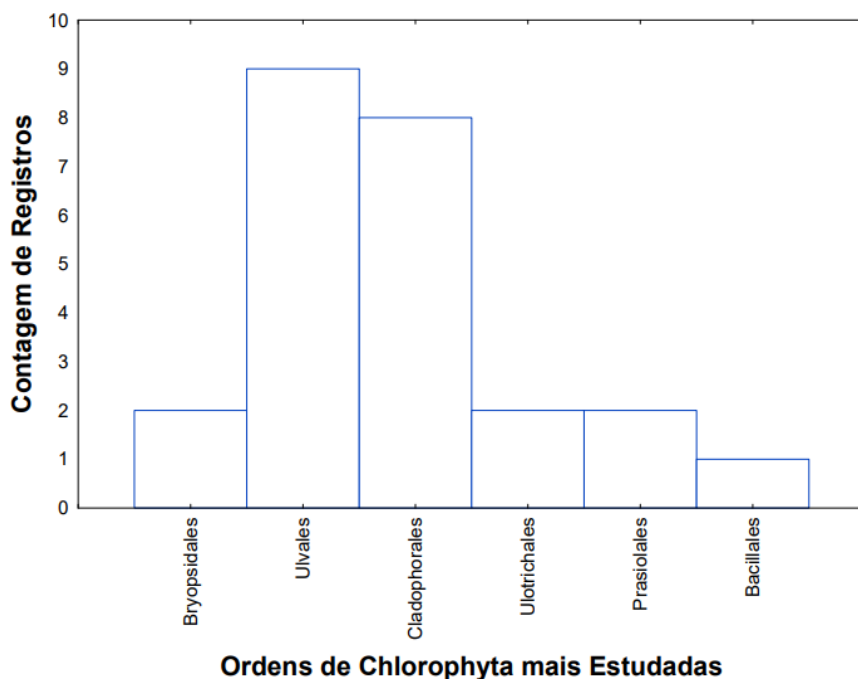


Figura 16 - Principais ordens de Chlorophyta estudadas reportadas nos estudos

Registros disponíveis indicam a presença de MAA em espécies pertencentes a essas ordens, com concentrações que, em alguns casos, são equivalentes ou superiores às encontradas em algumas espécies de Rhodophyta. Esta constatação desafia pré concepções anteriores sobre a distribuição e a predominância das MAA, sugerindo que as algas verdes, sendo algumas espécies representadas por essas ordens, desempenham um papel significativo na produção desses compostos fotoprotetores.

Dessa forma, a complexidade das interações biológicas e ecológicas entre as ordens de algas verdes ressalta a necessidade de uma abordagem mais abrangente ao explorar as potenciais fontes de MAA, expandindo assim o entendimento sobre a diversidade e a distribuição desses compostos.

No que diz respeito às espécies de Phaeophyceae, constata-se uma redução ainda mais acentuada no interesse científico, com as pesquisas direcionando-se, de maneira mais restrita, às ordens que apresentam maior biomassa nos ambientes marinhos (Figura 17). O foco específico recai sobre essas ordens em virtude da limitação das concentrações relativamente baixas de MAA encontradas em espécies de algas pardas. Diante desse cenário, diversos estudos propõem uma explicação para a presença de MAA nessas espécies, sugerindo que tal fenômeno pode ser resultado de uma associação simbiótica com fungos (Hoyer *et al.*, 2001; Karsten *et al.*, 1998; Apprill *et al.*, 2003).

Embora possa ser uma explicação com base científica robusta, alguns estudos adentram a esfera da fisiologia e adaptação dessas algas. Destaca-se que, segundo essa perspectiva, as espécies de Phaeophyceae possuiriam um mecanismo alternativo de defesa contra a radiação ultravioleta. Esse mecanismo é, predominantemente, atribuído à presença de florotaninos, compostos específicos que desempenham um papel crucial na resistência a condições ambientais adversas (Hoyer *et al.*, 2001; Karsten *et al.*, 1998; Apprill *et al.*, 2003).

Portanto, a abordagem científica avançada sugere que a aparente escassez de MAA em algas pardas pode ser compensada por esses florotaninos, indicando uma resposta evolutiva singular e adaptativa a desafios específicos do ambiente marinho. Este intrínseco equilíbrio entre diferentes estratégias de defesa contra a radiação ultravioleta expande a compreensão das adaptações fisiológicas das Phaeophyceae, oferecendo uma perspectiva mais rica sobre os mecanismos de proteção dessas algas em seu ambiente natural.

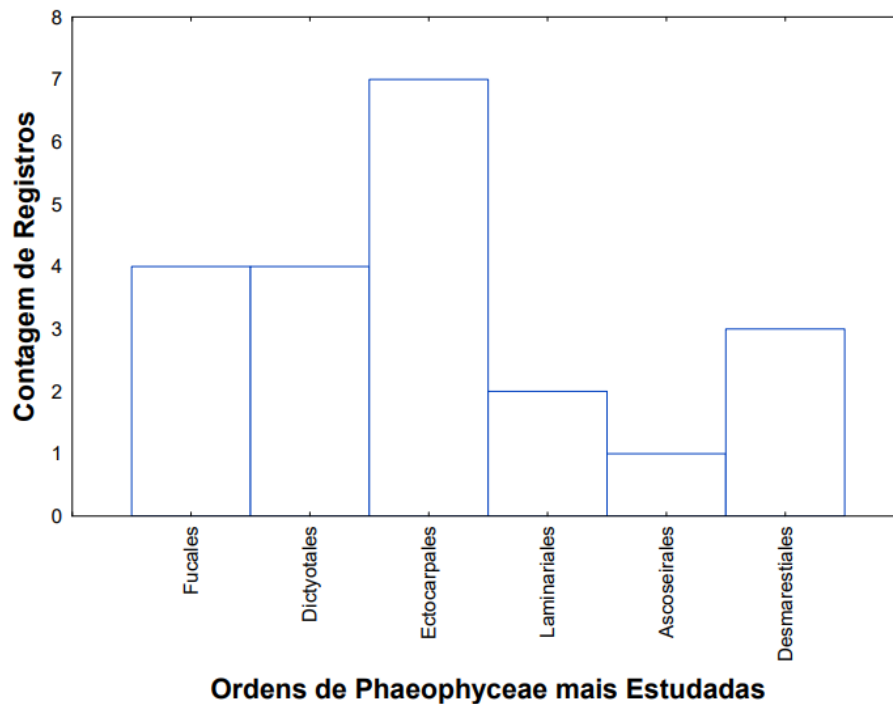


Figura 18 - Principais ordens de Phaeophyceae estudadas reportadas nos estudos.

É importante destacar que nenhuma das espécies de Chlorophyta ou Phaeophyceae avaliadas apresenta uma exploração significativa em escala comercial. As espécies pertencentes a esses grupos, conforme relatado nos estudos triados para esta revisão, estão mais estreitamente associadas à proporção de biomassa disponível nos ambientes de coleta. Além disso, sua presença nos estudos está diretamente relacionada à sua relevância ecológica, desempenhando um papel fundamental como organismos bioindicadores da qualidade do ambiente marinho.

Por fim, cabe discorrer que a importância da identificação e caracterização das MAA em espécies que não possuem grandes quantidades reportadas é fundamental devido a diversas razões de importância científica e aplicada. Em prioridade, essa abordagem permite a descoberta de novos tipos ou concentrações específicas dessas moléculas em organismos que anteriormente não eram considerados prioritários para estudo. Isto é crucial para ampliar o conhecimento sobre a diversidade química dessas

substâncias fotoprotetoras, contribuindo para uma compreensão mais abrangente de sua distribuição nos diferentes grupos de organismos marinhos.

A possibilidade de identificar novos tipos de MAA é particularmente relevante porque essas moléculas têm demonstrado uma eficácia notável na proteção contra a radiação ultravioleta (UV). A descoberta de novos tipos ou estruturas químicas semelhantes podem levar a avanços na compreensão de como essas moléculas funcionam e como podem ser otimizadas para aplicações práticas, como na proteção solar e em produtos fotoprotetores.

Além disso, identificar micosporinas em espécies com baixas quantidades reportadas podem fornecer insights valiosos sobre a viabilidade de uso laboratorial dessas substâncias. A estabilização dessas moléculas em condições de laboratório pode ser desafiadora, e a descoberta de espécies que naturalmente mantêm níveis mais estáveis ou produzem classes de MAA mais resistentes, ou seja, com maiores propriedades de absorção de radiação ultravioleta, pode ter implicações significativas em aplicações biomédicas e industriais.

9.4. Panorama Comparativo sobre a Detecção dos Aminoácidos do tipo Micosporina em Macroalgas

A principal abordagem para a análise de MAA em macroalgas tem sido a utilização da Cromatografia Líquida de Alta Performance (CLAE), conhecida como High Performance Liquid Chromatography (HPLC). Sugere-se que este método foi preferido devido à sua alta precisão na detecção de compostos químicos, oferecendo uma ferramenta eficaz para a quantificação e identificação dessas moléculas fotoprotetoras.

O HPLC, conforme delineado nos estudos examinados, é um equipamento laboratorial modular que compreende uma fase móvel e uma fase estacionária em sua corrente analítica. Esse sistema é fundamental na separação eficaz de compostos químicos, sendo notável pela sua versatilidade e aplicabilidade em estudos de

natureza analítica (Cardozo *et al.*, 2005). Durante uma corrida analítica, a fase móvel é impulsionada por uma bomba acoplada, e a eficácia do procedimento depende de fatores críticos, como os solventes empregados, a temperatura controlada, a intensidade do fluxo do solvente durante a fase móvel e a pureza dos reagentes utilizados (Rosic *et al.*, 2015)

Para a realização dessas análises, a maioria dos estudos empregou substâncias padrão contendo diferentes classes de micosporinas agrupadas. Essas substâncias foram essenciais para calibrar a curva padrão das análises, permitindo uma quantificação precisa das micosporinas presentes nas amostras. A inclusão dessas substâncias padrão confere uma base de referência crucial, garantindo a exatidão e a confiabilidade dos resultados obtidos por meio do HPLC.

Dessa forma, a utilização do HPLC na análise de micosporinas em macroalgas não apenas destaca a importância da escolha da técnica instrumental para esse fim, mas também sublinha a complexidade e a meticulosidade envolvidas no processo analítico. A precisão alcançada por meio dessa abordagem contribui substancialmente para a confiabilidade dos dados obtidos, permitindo uma compreensão mais profunda da presença e distribuição dessas moléculas em amostras de macroalgas.

Embora diversas metodologias tenham sido adotadas para as análises de MAA em macroalgas, observa-se que, predominantemente, o método de escolha é o HPLC devido à sua praticidade e viabilidade econômica (Figura 18). Essa tecnologia tem sido amplamente empregada em uma parcela significativa dos estudos, inclusive aqueles realizados no início do século XXI, evidenciando sua presença constante na pesquisa relacionada a MAA em macroalgas. Entretanto, é importante salientar que, atualmente, novas tecnologias e módulos aprimorados podem ser acoplados ao HPLC, proporcionando uma maior precisão nos resultados analíticos obtidos por meio desse sistema. Além disso, a utilização da Cromatografia Gasosa (GC) ou da Ultra Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (UHPLC) não se mostram mais eficazes para a detecção e caracterização das MAA, isso porque as classes identificadas do composto alvo, até o presente momento, possuem alta polaridade e baixa volatilidade

- tornando a utilização destes equipamentos dispensáveis (Leite *et al.*, 1992; Sinha *et al.*, 2007; Moliné *et al.*, 2023; Zweger *et al.*, 2022; Vega *et al.*, 2023)

O acoplamento da espectrometria de massas (MS) ao HPLC, bem como a combinação de diversas técnicas analíticas, tem sido explorados em estudos mais recentes. Apesar de representarem avanços significativos em termos de sensibilidade e resolução analítica, essas tecnologias são, muitas vezes, mais custosas financeiramente, o que se reflete na sua menor utilização pelos polos de pesquisa apresentados nesta revisão.

Assim, embora o HPLC seja a técnica dominante nas análises de MAA em macroalgas, é crucial reconhecer que a constante evolução tecnológica está proporcionando oportunidades para aprimoramentos mais refinados. A introdução de métodos avançados, como a espectrometria de massas, destaca a busca contínua por maior precisão e sensibilidade nas análises, embora seja necessário ponderar os custos associados a essas abordagens mais sofisticadas. Essa discussão ressalta a dinâmica em constante evolução na escolha de métodos analíticos, onde a eficácia da técnica é balanceada com a viabilidade econômica, promovendo avanços significativos no campo da pesquisa de MAA em macroalgas.

Programa de Pós-Graduação
em Ambientes Litorâneos
e Insulares - UNESPAR

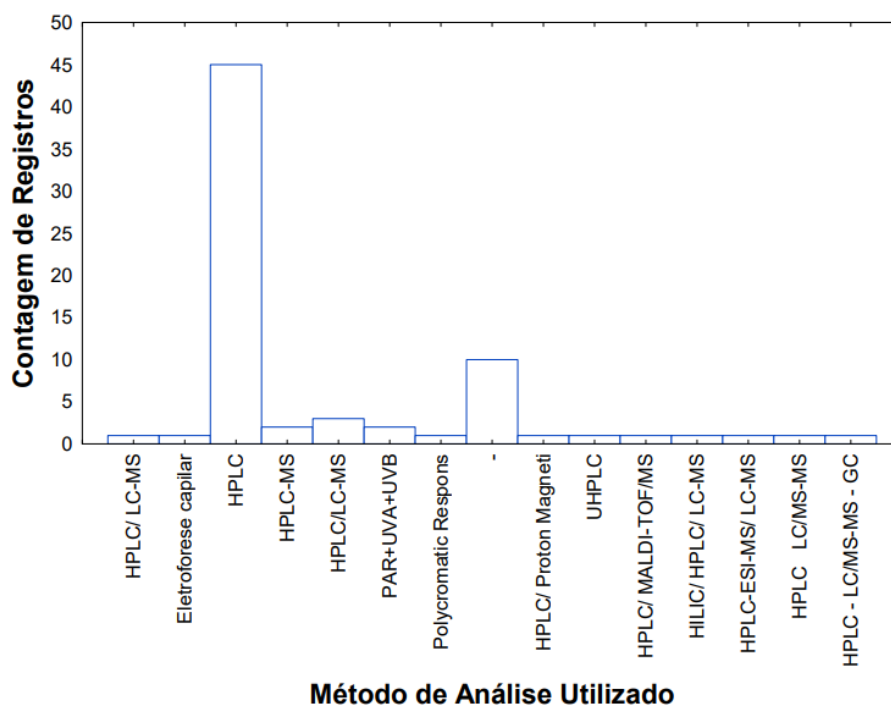


Figura 18 - Contagem e caracterização dos métodos analíticos utilizados para a detecção de MAA em espécies macroalgais.

No que permeia os diferentes tipos de corrida no HPLC, é possível identificar dois modos de análise distintos: a corrida isocrática e a corrida por gradiente de concentração (Figura 19). Na corrida isocrática, mantém-se constante o fluxo de solvente bombeado pelos módulos, assim como sua concentração, ao longo de toda a análise. Em contrapartida, na corrida por gradiente de concentração, introduzem-se modulações no fluxo do solvente ao longo da corrida, permitindo ajustes na concentração de cada agente químico utilizado (Karsten *et al.*, 1998; Briani *et al.*, 2018; Zweger *et al.*, 2022).

A corrida cromatográfica realizada com alterações no gradiente de concentração destaca-se como a abordagem mais prevalente e eficaz quando comparada à corrida isocrática. Essa diferença se fundamenta na capacidade dessa metodologia de modificar o fluxo e a concentração dos reagentes utilizados durante a análise, resultando em uma extração mais eficiente das MAA, dependendo da espécie em estudo.

A escolha entre a corrida isocrática e a corrida por gradiente de concentração na análise de MAA em macroalgas é pautada na busca por maximizar a eficiência e a sensibilidade do método. A modulação cuidadosa desses parâmetros durante a corrida cromatográfica permite uma separação mais precisa e uma identificação mais eficiente dos compostos de interesse. Portanto, a opção pela corrida por gradiente de concentração não apenas reflete a evolução técnica na área, mas também evidencia a necessidade de adaptação dos métodos analíticos para otimizar a extração e análise de MAA, contribuindo para o aprimoramento das pesquisas no campo das macroalgas e de suas potenciais aplicações. Contudo, o método mais utilizado reportado nos estudos foi a corrida isocrática.

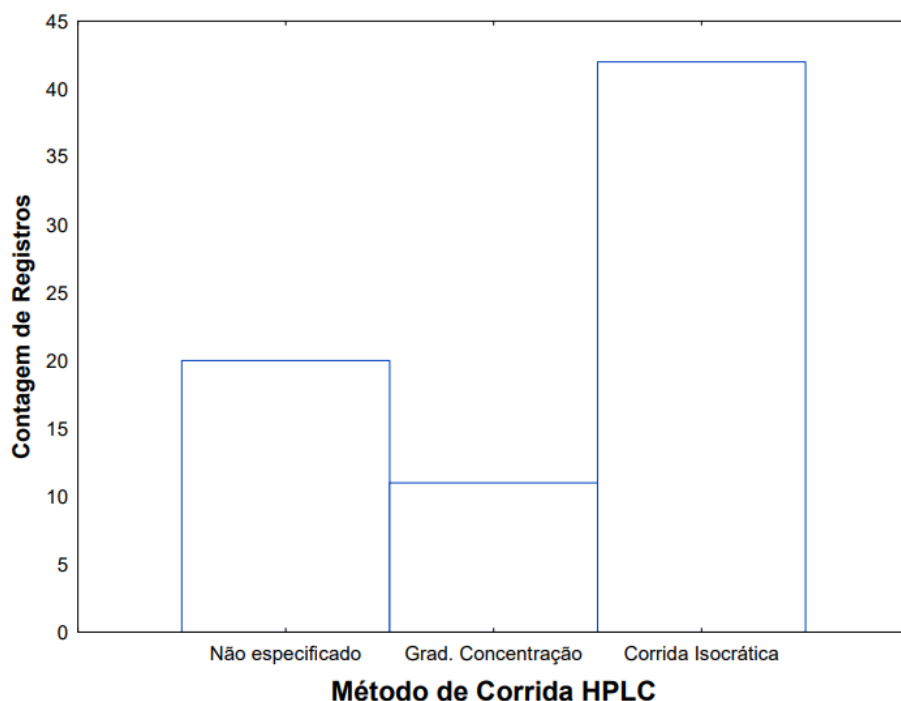


Figura 19 - Tipo de corrida analítica da fase móvel do HPLC mais utilizada para a detecção de MAA em espécies macroalgais reportadas nos estudos.

Por fim, vale ressaltar que nos estudos, de forma majoritária, optou-se por submeter os exemplares das espécies de macroalgas a um processo de liofilização (redução do percentual de água através da sublimação) antes das extrações químicas, visando atingir uma concentração mais elevada de MAA por amostra. Uma

alternativa a esse método foi a utilização de nitrogênio líquido para a secagem do material coletado.

Os protocolos de extração, conforme examinados nos artigos selecionados, apresentam uma notável diversidade, revelando uma carência de padronização nesse aspecto. Contudo, identificam-se pontos comuns, sendo que a maioria emprega solventes de menor polaridade em comparação à água, como etanol ou metanol. Adicionalmente, em concentrações substanciais, incorporam à solução uma substância de caráter ácido, como ácido acético ou acetonitrila, com o intuito de aprimorar a eficiência do processo de extração.

É importante destacar que todos os solventes utilizados nos protocolos analisados são diluídos em concentrações variando de 2% a 80% em água deionizada. Essa diluição específica é uma característica notável, destacando a importância do equilíbrio entre a polaridade dos solventes e a eficácia da extração, proporcionando um ambiente propício para a solubilização e concentração efetiva das MAA presentes nas amostras de macroalgas.

Dessa forma, a escolha de métodos de preparação de amostras e protocolos de extração destaca-se como uma etapa crucial na pesquisa de MAA em macroalgas, demandando considerações cuidadosas para assegurar a representatividade e a consistência dos resultados obtidos. A diversidade observada nos métodos reflete a complexidade inerente às características específicas de cada espécie de macroalga, reforçando a necessidade contínua de refinamento e adaptação dos procedimentos analíticos para melhor compreensão desses compostos valiosos.

9.5. Comparação sobre a Caracterização de MAA por Espécies e Grupos

Macroalgais

Tabela IV - Espécies macroalgais estudadas, principal grupo taxonômico e as classes de aminoácidos do tipo micoporina encontradas através das análises reportadas nos estudos.

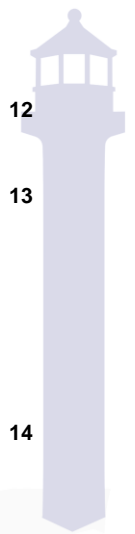
Nome Atual	Espécie	Grupo	Tipos de MAA encontrados	Referência
<i>Chondrus crispus</i> Stackhouse 1797		Rhodophyta	MAA15; Usurijene; Palythine; Palythene; Asterina-330; Shinorine; MAA20	
<i>Chondracanthus acicularis</i> (Roth) Fredericq 1993		Rhodophyta	MAA15; Usurijene; Palythine; Palythene; Asterina-330; Shinorine; MAA20	
	<i>Corallina sp.</i>	Rhodophyta	MAA9; Asterina-330; Palythine; Shinorine	
<i>Gigartina pistillata</i> (S.G.Gmelin) Stackhouse 1809		Rhodophyta	MAA18; MAA14; Asterina-330; Palythine; Shinorine	
<i>Gracilaria gracilis</i> (Stackhouse) Steentoft, L.M.Irvine & Farnham 1995		Rhodophyta	Porphyra-334; Shinorine	
<i>Gracilaria vermiculophylla</i> (Ohmi) Papenfuss 1967		Rhodophyta	Palythene; Usurijene; MAA10; Porphyra-334; Asterina-330; Palythine; Shinorine	
<i>Lomentaria articulata</i> (Hudson) Lyngbye 1819		Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Porphyra-334	
<i>Mastocarpus stellatus</i> (Stackhouse) Guiry 1984		Rhodophyta	Shinorine	
<i>Osmundea pinnatifida</i> (Hudson) Stackhouse 1809		Rhodophyta	Palythene; Usurijene; MAA11; MAA18; Asterina-330; Palythine; Shinorine; MAA20	
<i>Palmaria palmata</i> (Linnaeus) F.Weber & D.Mohr 1805		Rhodophyta	Palythene; Usurijene; MAA11; MAA18; Asterina-330; Palythine; Shinorine; MAA20	
<i>Porphyra dioica</i> J.Brodie & L.M.Irvine 1997		Rhodophyta	MAA18; Shinorine	
<i>Vertebrata lanosa</i> (Linnaeus) T.A.Christensen 1967		Rhodophyta	Palythene; Usurijene; MAA11; MAA18; Asterina-330; Palythine	1
<i>Callithamnion tetragonum</i> (Stackhouse) S.F.Gray 1821		Rhodophyta	MAA14; Shinorine	
<i>Gastroclonium ovatum</i> (Hudson) Papenfuss 1944		Rhodophyta	Usurijene; MAA11; MAA18; Asterina-330; Palythine; Shinorine	
<i>Gelidium corneum</i> (Hudson) J.V.Lamouroux 1813		Rhodophyta	Asterina-330; Palythine; Shinorine	
<i>Hypoglossum hypoglossoides</i> (Stackhouse) Collins & Hervey 1917		Rhodophyta	MAA22	
<i>Osmundea hybrida</i> (De Candolle) K.W.Nam 1994		Rhodophyta	Palythene; Usurijene; MAA11; MAA18; Asterina-330; Palythine	
<i>Plocamium cartilagineum</i> (Linnaeus) P.S.Dixon 1967		Rhodophyta	Shinorine; Palythine	
<i>Ahnfeltiopsis devoniensis</i> (Greville) P.C.Silva & DeCew 1992		Rhodophyta	Palythine; Asterina-330; MAA13	
<i>Bonnemaisonia hamifera</i> Hariot 1891		Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Porphyra-334; MAA7; MAA9	
<i>Ceramium echionotum</i> J.Agardh 1844		Rhodophyta	Shinorine	
<i>Ceramium secundatum</i> Lyngbye 1819		Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; MAA8; MAA15; MAA20	
<i>Palmaria palmata</i> (Linnaeus) F.Weber & D.Mohr 1805		Rhodophyta	Palythine. Asterina-330; Shinorine	2
	<i>Porphyra sp</i>	Rhodophyta	Palythine. Asterina-330; Shinorine	

<i>Porphyra umbilicalis</i> Kützing 1843		Rhodophyta	Palythine. Asterina-330; Shinorine	
<i>Gracilaria cornea</i> J.Agardh 1852		Rhodophyta	Palythine. Asterina-330; Shinorine; Porphyra-334; Palythinol	3
<i>Gracilariopsis longissima</i> (S.G.Gmelin) Steentoft, L.M.Irvine & Farnham 1995		Rhodophyta		4
<i>Rhodymenia pseudopalmeta</i> (J.V.Lamouroux) P.C.Silva 1952		Rhodophyta	Porphyra-334; Shinorine; Palythine; Asterina-330; Palythinol; Usujirene; Palythene	5
<i>Bangia atropurpurea</i> (Mertens ex Roth) C.Agardh 1824		Rhodophyta	Asterina-330; Porphyra-334; Serinol; Palythinol; Shinorine	
<i>Ceramium virgatum</i> Roth 1797		Rhodophyta	Palythinol; Palythine	
<i>Chondracanthus acicularis</i> (Roth) Fredericq 1993		Rhodophyta	Palythine; Palythinol; Shinorine	
<i>Gracilaria cornea</i> J.Agardh 1852	<i>Crassiphycus corneus</i>	Rhodophyta	Palythinol; Palythine	
<i>Ellisolandia elongata</i> (J.Ellis & Solander) K.R.Hind & G.W.Saunders 2013		Rhodophyta	Palythinol; Palythine	
<i>Feldmannophycus rayssiae</i> (Feldmann & G.Feldmann) H.Augier & Boudouresque 1971		Rhodophyta	Palythine; Palythinol; Shinorine	
<i>Gelidium microdon</i> Kützing 1849		Rhodophyta	Palythinol; Palythine; Shinorine	
<i>Gelidium spinosum</i> (S.G.Gmelin) P.C.Silva 1996		Rhodophyta	Asterina-330; Palythine; Palythinol; Shinorine	
<i>Gracilaria multipartita</i> (Clemente) Harvey 1846		Rhodophyta	Asterina-330; Palythine; Palythinol; Shinorine; Porphyra-334	
<i>Osmundea pinnatifida</i> (Hudson) Stackhouse 1809		Rhodophyta	Asterina-330; Palythine; Palythinol; Shinorine; Porphyra-335	
<i>Porphyra umbilicalis</i> Kützing 1843		Rhodophyta	Asterina-330; Palythinol; Shinorine; Porphyra-334	6
<i>Pyropia elongata</i> (Kylin) Neefus & J.Brodie 2011		Rhodophyta	Asterina-330; Palythinol; Shinorine; Porphyra-334	
	<i>Sphaerococcus sp.</i>	Rhodophyta	Foi detectado mas não identificado	
<i>Codium adhaerens</i> C.Agardh 1822		Chlorophyta	Foi detectado mas não identificado os tipos	
<i>Ulva lactuca</i> Linnaeus 1753		Chlorophyta	Foi detectado mas não identificado os tipos	
<i>Ulva intestinalis</i> Linnaeus 1753		Chlorophyta	Foi detectado mas não identificado os tipos	
<i>Ulva linza</i> Linnaeus 1753		Chlorophyta	Foi detectado mas não identificado os tipos	
<i>Valonia utricularis</i> (Roth) C.Agardh 1823		Chlorophyta	Foi detectado mas não identificado os tipos	
<i>Ericaria selaginoides</i> (Linnaeus) Molinari & Guiry 2020	<i>Carpodesmia tamariscifolia</i>	Phaeophyceae	Foi detectado mas não identificado os tipos	
<i>Rugulopteryx okamurae</i> (E.Y.Dawson) I.K.Hwang, W.J.Lee & H.S.Kim 2009		Phaeophyceae	Foi detectado mas não identificado os tipos	
<i>Sargassum vulgare</i> C.Agardh, nom. illeg. 1820		Phaeophyceae	Foi detectado mas não identificado os tipos	
<i>Scytosiphon lomentaria</i> (Lyngbye) Link, nom. cons. 1833		Phaeophyceae	Foi detectado mas não identificado os tipos	
<i>Curdiea racovitzae</i> Hariot 1900		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorine; Palythine	7
<i>Iridaea cordata</i> (Turner) Bory 1826		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorine; Palythine	
<i>Gracilaria tenuistipitata</i> var. <i>liui</i> Zhang & Xia 1988		Rhodophyta	Shinorine, Porphyra-334; Asterina-330; Palythine; Palythinol	8

<i>Gracilaria chilensis</i> C.J.Bird, McLachlan & E.C.Oliveira 1986		Rhodophyta	Porphyra-334; Shinorine; Palythine; Asterina-330	9
<i>Chondrus crispus</i> Stackhouse 1797		Rhodophyta	Palythine; Asterina-330; Palythinol; Palythene	10
<i>Boodlea composita</i> (Harvey) F.Brand 1904		Chlorophyta	Mycosporine-glycine	
<i>Caulerpa racemosa</i> (Forsskål) J.Agardh 1873		Chlorophyta	Porphyra-334	
<i>Dictyosphaeria cavernosa</i> (Forsskål) Børgesen 1932		Chlorophyta	Shinorine; Porphyra-334	
<i>Valonia aegagropila</i> C.Agardh 1823		Chlorophyta	Shinorine	
<i>Dictyota bartayresiana</i> J.V.Lamouroux 1809	<i>Dictyota bartayresii</i>	Phaeophyceae	Porphyra-334	
<i>Hydroclathrus clathratus</i> (C.Agardh) M.Howe 1920		Phaeophyceae	Porphyra-335	
<i>Sargassum oligocystum</i> Montagne 1845		Phaeophyceae	Shinorine; Porphyra-334; Palythine	
<i>Acanthophora spicifera</i> (M.Vahl) Børgesen 1910		Rhodophyta	Mycosporine-glicine; Porphyra-334; Palythine; Asterina-330; Palythinol; Palythene	
<i>Actinotrichia fragilis</i> (Forsskål) Børgesen 1932		Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334	
<i>Asparagopsis taxiformis</i> (Delile) Trevisan 1845		Rhodophyta	Shinorine; Palythine	
<i>Chondria armata</i> (Kützting) Okamura 1907	<i>Chondria arinata</i>	Rhodophyta	Mycosporine-glicine; Shinorine; Porphyra-334; Palythine; Palythinol; MAA357	
<i>Gelidiella acerosa</i> (Forsskål) Feldmann & Hamel 1934		Rhodophyta	Shinorine, Porphyra-334; Palythine; Asterina-330	
<i>Tricleocarpa fragilis</i> (Linnaeus) Huisman & R.A.Townsend 1993	<i>Galaxaura oblongata</i>	Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334	
<i>Ganonema farinosum</i> (J.V.Lamouroux) K.-C.Fan & Y.-C.Wang 1974	<i>Ganonema farinosa</i>	Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334	11
<i>Gracilaria changii</i> (B.M.Xia & I.A.Abbott) I.A.Abbott, J.Zhang & B.M.Xia 1991		Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334; Palythine; Asterina-330; Palythinol; MAA357; Palythene	
<i>Gracilaria eucheumatoides</i> Harvey 1860	<i>Gracilaria eucheumoides</i>	Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334; Palythine; Asterina-330; Palythinol	
<i>Gracilaria salicornia</i> (C.Agardh) E.Y.Dawson 1954	<i>Gracilaria soliconia</i>	Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334; Palythine; Asterina-330; Palythinol	
<i>Hypnea spinella</i> (C.Agardh) Kützting 1847		Rhodophyta	Mycosporine-glicine; Shinorine; Porphyra-334; Palythine; Asterina-330	
	<i>Laurencia changii</i>	Rhodophyta	Porphyra-334; Palythine; Asterina-330; Palythinol	
<i>Chondrophycus cartilagineus</i> (Yamada) Garbary & J.T.Harper 1998	<i>Laurencia cartilaginea</i>	Rhodophyta	Porphyra-334; Palythine; Asterina-330; Palythinol	
<i>Scinaia boergesenii</i> C.K.Tseng 1941		Rhodophyta	Shinorine, Porphyra-334; Palythine	
<i>Spyridia filamentosa</i> (Wulfen) Harvey 1833		Rhodophyta	Porphyra-334	
<i>Bostrychia montagnei</i> Harvey 1853		Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334; Palythine; Asterina-330; Palythinol	
<i>Bostrychia moritziana</i> (Sonder ex Kützting) J.Agardh 1863		Rhodophyta	Mycosporine-glycine; Shinorine; Asterina-330; Palythinol	
<i>Bostrychia pinnata</i> J.Tanaka & Chihara 1984		Rhodophyta	Palythine	
<i>Bostrychia radicans</i> (Montagne) Montagne 1842		Rhodophyta	Mycosporine-glycine; Porphyra-334; Palythine; Palythinol	
<i>Bostrychia radicans</i> (Montagne) Montagne 1842		Rhodophyta	Porphyra-334; Palythine; Asterina-330; Palythinol	



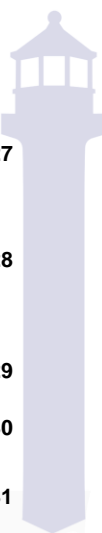
<i>Bostrychia simpliciuscula</i> Harvey ex J.Agardh 1863		Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334; Asterina-330; Palythinol	
<i>Bostrychia tenella</i> (J.V.Lamouroux) J.Agardh 1863		Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334; Palythine; Palythinol	
<i>Caloglossa apomeiotica</i> J.A.West & Zuccarello 1994		Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334; Asterina-330	
<i>Caloglossa lepriurii</i> (Montagne) G.Martens 1869		Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334; Asterina-330; Palythinol	
<i>Caloglossa ogasawaraensis</i> Okamura 1897		Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334; Palythine; Asterina-330	
<i>Caloglossa stipitata</i> E.Post 1936		Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334; Asterina-330	
<i>Bostrychia intricata</i> (Bory) Montagne 1852	<i>Stictosiphonia hookeri</i>	Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334; Asterina-330; Palythinol	
<i>Bostrychia tangatensis</i> Post 1939	<i>Stictosiphonia tangatensis</i>	Rhodophyta	Porphyra-334; Palythine; Asterina-330	
<i>Bostrychia calliptera</i> (Montagne) Montagne 1842		Rhodophyta	Porphyra-334; Palythine; Palythinol	
<i>Chondracanthus chamissoi</i> (C.Agardh) Kützing 1843		Rhodophyta	Shinorine. Palythine	12
<i>Gelidium lingulatum</i> Kützing 1868		Rhodophyta	Shinorine. Palythine	
<i>Chondrus crispus</i> Stackhouse 1797		Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330	13
<i>Gelidium pusillum</i> (Stackhouse) Le Jolis 1863		Rhodophyta	Palythine; Palythinol; Shinorine; Porphyra- 334; Asterina-330	
<i>Gelidium corneum</i> (Hudson) J.V.Lamouroux 1813		Rhodophyta	Palythine; Palythinol; Shinorine; Asterina- 330	
<i>Porphyra umbilicalis</i> Kützing 1843		Rhodophyta	Palythine; Palythinol; Shinorine; Porphyra- 334; Asterina-330	
<i>Halopithys incurva</i> (Hudson) Batters 1902		Rhodophyta	Palythine; Palythinol; Shinorine; Porphyra- 334	14
<i>Gracilariopsis longissima</i> (S.G.Gmelin) Steentoft, L.M.Irvine & Farnham 1995		Rhodophyta	Palythine; Palythinol; Shinorine	
<i>Gracilaria cornea</i> J.Agardh 1852	<i>Hydropuntia cornea</i>	Rhodophyta	Palythine; Palythinol; Shinorine; Porphyra- 334	
<i>Ulva lactuca</i> Linnaeus 1753	<i>Ulva rotundata</i>	Chlorophyta	Shinorine; Mycosporine-serinol	
<i>Chondrus crispus</i> Stackhouse 1797		Rhodophyta	Palythine; Shinorine; Panythinol; Palythene	16
<i>Sarcopeltis skottsbergii</i> (Setchell & N.L.Gardner) Hommersand, Hughey, Leister & P.W.Gabrielson 2020	<i>Gigartina skottsbergii</i>	Rhodophyta	Shinorine; Palythine	18
<i>Paludicola turfosa</i> (Bory) M.L.Vis & Necchi 2020	<i>Batrachospermum turfosum</i>	Rhodophyta	Foi detectado mas não identificado os tipos	19
<i>Ellisolandia elongata</i> (J.Ellis & Solander) K.R.Hind & G.W.Saunders 2013		Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Palythinol	20
<i>Ellisolandia elongata</i> (J.Ellis & Solander) K.R.Hind & G.W.Saunders 2013		Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Palythinol	21
<i>Ellisolandia elongata</i> (J.Ellis & Solander) K.R.Hind & G.W.Saunders 2013		Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330	22
<i>Gracilaria tenuistipitata</i> var. <i>liui</i> Zhang & Xia 1988		Rhodophyta	Mycosprine-glycine; Porphyra-334; Palythine; Shinorine; Asterina-330	23
<i>Kumanoa ambigua</i> (Montagne) Entwisle, M.L.Vis, W.B.Chiasson, Necchi & A.R.Sherwood 2009		Rhodophyta	Foi detectado mas não identificado os tipos	24
<i>Bangia atropurpurea</i> (Mertens ex Roth) C.Agardh 1824		Rhodophyta	Shinorina; Porphyra-334; Palythine; Asterina-330	25



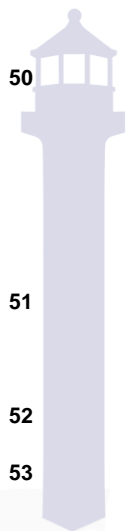
<i>Acanthophora muscoides</i> (Linnaeus) Bory 1828		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Acanthophora spicifera</i> (M.Vahl) Børgesen 1910		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Amansia multifida</i> J.V.Lamouroux 1809		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Arthrocardia flabellata</i> (Kützinger) Manza 1940	<i>Arthrocardia gardneri</i>	Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Alsidium seaforthii</i> (Turner) J.Agardh 1841	<i>Bryothamnion seaforthii</i>	Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Alsidium triquetrum</i> (S.G.Gmelin) Trevisan 1845	<i>Bryothamnion triquetrum</i>	Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Centroceras clavulatum</i> (C.Agardh) Montagne 1846		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Chondracanthus acicularis</i> (Roth) Fredericq 1993		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Chondracanthus elegans</i> (Greville) Guiry 1993		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Chondracanthus teedei</i> (Mertens ex Roth) Kützinger 1843		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Cryptonemia crenulata</i> (J.Agardh) J.Agardh 1851		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Dichotomaria marginata</i> (J.Ellis & Solander) Lamarck 1816		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Digenea simplex</i> (Wulfen) C.Agardh 1822		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Gelidiella acerosa</i> (Forsskål) Feldmann & Hamel 1934		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
	<i>Gelidiopsis</i> sp.	Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Gelidium crinale</i> (Hare ex Turner) Gaillon 1828		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Gelidium floridanum</i> W.R.Taylor 1943		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Gracilaria caudata</i> J.Agardh 1852		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Gracilaria cornea</i> J.Agardh 1852		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Gracilaria domingensis</i> (Kützinger) Sonder ex Dickie 1874		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Gymnogongrus griffithsiae</i> (Turner) C.Martius 1833		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Hypnea musciformis</i> (Wulfen) J.V.Lamouroux 1813		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Jania pedunculata</i> var. <i>adhaerens</i> (J.V.Lamouroux) A.S.Harvey, Woelkerling & Reviere 2020	<i>Jania adhaerens</i>	Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Jania crassa</i> M'Coy, nom. illeg. 1844		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Jania cubensis</i> Montagne ex Kützinger 1849		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Jania rubens</i> (Linnaeus) J.V.Lamouroux 1816		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Jania subulata</i> (Ellis & Solander) Sonder 1848		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Laurencia dendroidea</i> J.Agardh 1852		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Laurencia gracilis</i> Hooker f. & Harvey 1849	<i>Laurencia filiformis</i>	Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine
<i>Laurencia obtusa</i> (Hudson) J.V.Lamouroux 1813		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine



	<i>Laurencia sp</i>	Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine	
<i>Osmundaria obtusiloba</i> (C.Agardh) R.E.Norris, 1991		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine	
<i>Palisada flagellifera</i> (J.Agardh) K.W.Nam 2007		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine	
<i>Palisada perforata</i> (Bory) K.W.Nam 2007		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine	
<i>Pterocladia capillacea</i> (S.G.Gmelin) Santelices & Hommersand 1997		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine	
<i>Pyropia acanthophora</i> (E.C.Oliveira & Coll) M.C.Oliveira, D.Milstein & E.C.Oliveira 2011		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine	
<i>Solieria filiformis</i> (Kützing) P.W.Gabrielson 1985		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine	
<i>Spyridia clavata</i> Kützing 1841		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine	
<i>Tricleocarpa cylindrica</i> (J.Ellis & Solander) Huisman & Borowitzka 1990		Rhodophyta	Asterina-330; Shinorina; Porphyra-334; Palythine	
	<i>Porphyra sp.</i>	Rhodophyta	Porphyra-334	27
<i>Pyropia acanthophora</i> (E.C.Oliveira & Coll) M.C.Oliveira, D.Milstein & E.C.Oliveira 2011		Rhodophyta	Foi detectado mas não identificado os tipos	28
<i>Grateloupia turuturu</i> Y.Yamada 1941		Rhodophyta	Foi detectado mas não identificado os tipos	
<i>Grateloupia lanceola</i> (J.Agardh) J.Agardh 1851		Rhodophyta	Shinorina; Palythine; Porphyra-334	29
<i>Asparagopsis armata</i> Harvey 1855		Rhodophyta	Shinorine; Palythine	30
<i>Gracilaria conferta</i> (Schousboe ex Montagne) Montagne 1846		Rhodophyta	Foi detectado mas não identificado os tipos	31
<i>Gracilaria cornea</i> J.Agardh 1852	<i>Hydropuntia cornea</i>	Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334; Palythine	32
<i>Bostrychia calliptera</i> (Montagne) Montagne 1842		Rhodophyta	Palythine; Asterina-330; Shinorine; Porphyra-334; MAA321; MAA330	33
<i>Bostrychia montagnei</i> Harvey 1853		Rhodophyta	Palythine; Asterina-330; Shinorine; Porphyra-334; MAA321; MAA331	34
<i>Chondrus crispus</i> Stackhouse 1797		Rhodophyta	Palythine; Asterina-330; Shinorine	35
<i>Chondrus crispus</i> Stackhouse 1797		Rhodophyta	Asterina-330; Palythene	36
<i>Grateloupia lanceola</i> (J.Agardh) J.Agardh 1851		Rhodophyta	Mycosporine/glycine; Porphyra-334; Palythine	37
<i>Nothogenia fastigiata</i> (Bory) P.G.Parkinson 1983		Rhodophyta	Palithynol; Porphyra-334; Shinorine; Asterina-330; Palythine	38
<i>Iridaea tuberculosa</i> (Hooker f. & Harvey) Leister 1993		Rhodophyta	Palithynol; Porphyra-334; Shinorine; Asterina-330; Palythine	39
<i>Corallina officinalis</i> Linnaeus 1758		Rhodophyta	Palithynol; Porphyra-334; Shinorine; Asterina-330; Palythine	40
<i>Devaleraea ramentacea</i> (Linnaeus) Guiry 1982		Rhodophyta	Mycosporine-glycine; Shinorine; Porphyra-334; Palythine; Palythinol	41
<i>Bangia atropurpurea</i> (Mertens ex Roth) C.Agardh 1824		Rhodophyta	Porphyra-334; Palythine; Asterina-330; Palythinol	42
	<i>Prasiola sp.</i>	Chlorophyta	Foi detectado mas não identificado os tipos	43
<i>Pyropia leucosticta</i> (Thuret) Neefus & J.Brodie 2011	<i>Porphyra leucosticta</i>	Rhodophyta	Foi detectado mas não identificado os tipos	44
<i>Saccharina latissima</i> (Linnaeus) C.E.Lane,	<i>Laminaria saccharina</i>	Phaeophyceae	Mycosporine-glycine	45



C.Mayes, Druehl & G.W.Saunders 2006					
<i>Gracilaria vermiculophylla</i> (Ohmi) Papenfuss 1967	<i>Agarophyton vermiculophyllum</i>	Rhodophyta	Porphyra-334; Shinorine; Palythine; Asterina-330		
<i>Gracilaria cornea</i> J.Agardh 1852	<i>Crassiphycus corneus</i>	Rhodophyta	Porphyra-334; Shinorine; Palythine; Asterina-331		
<i>Gracilariopsis longissima</i> (S.G.Gmelin) Steentoft, L.M.Irvine & Farnham 1995		Rhodophyta	Porphyra-334; Shinorine; Palythine; Asterina-332		46
<i>Pyropia leucosticta</i> (Thuret) Neefus & J.Brodie 2011		Rhodophyta	Porphyra-334; Shinorine; Palythine; Asterina-333		
<i>Palmaria palmata</i> (Linnaeus) F.Weber & D.Mohr 1805		Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Porphyra-334; Usujirene+Palythene		48
<i>Gelidium corneum</i> (Hudson) J.V.Lamouroux 1813	<i>Gelidium sesquipedale</i>	Rhodophyta	Asterina-330; Porphyra-334; Palythine; Shinorine		49
<i>Bangia fuscopurpurea</i> (Dillwyn) Lyngbye 1819	<i>Bangia fusco-purpurea</i>	Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Porphyra-334; Palythenic acid		
<i>Gelidium amansii</i> (J.V.Lamouroux) J.V.Lamouroux 1813		Rhodophyta	Gadusol; Shinorine; Palythine; Porphyra-334; MAA1; MAA2		50
<i>Gracilariopsis longissima</i> (S.G.Gmelin) Steentoft, L.M.Irvine & Farnham 1995	<i>Gracilaria confervoides</i>	Rhodophyta	Gadusol; Shinorine; Palythine; Porphyra-334; MAA1; MAA2		
	<i>Gracilaria sp</i>	Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Porphyra-334; Palythenic acid		
<i>Chondrus crispus</i> Stackhouse 1797		Rhodophyta	Palythine; Asterina-330; Shinorine; Plythanol; Porphyra-330		
<i>Mastocarpus stellatus</i> (Stackhouse) Guiry 1984		Rhodophyta	Palythine; Asterina-330; Shinorine; Plythanol; Porphyra-330; Usujirene		51
<i>Palmaria palmata</i> (Linnaeus) F.Weber & D.Mohr 1805		Rhodophyta	Palythine; Asterina-330; Shinorine; Plythanol; Porphyra-330; Usujirene		
<i>Mazzaella laminarioides</i> (Bory) Fredericq 1993		Rhodophyta	Mycosporine-glycine; Shinorine; Palythine; Asterina-330		52
<i>Pyropia columbina</i> (Montagne) W.A.Nelson 2011	<i>Porphyra columbina</i>	Rhodophyta	Mycosporine-glycine; Shinorine; Palythine; Asterina-330; Porphyra-334		53
<i>Bangia atropurpurea</i> (Mertens ex Roth) C.Agardh 1824		Rhodophyta	Porphyra-334		
<i>Curdiea racovitzae</i> Hariot 1900		Rhodophyta	Mycosporine-glycine; Shinorine; Porphyra-334; MAA1; Palythine; Asterina-330; MAA2		
<i>Georgiella confluens</i> (Reinsch) Kylin 1956		Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334; Palythine		
<i>Sarcopeltis skottsbergii</i> (Setchell & N.L.Gardner) Hommersand, Hughey, Leister & P.W.Gabrielson 2020	<i>Gigartina skottsbergii</i>	Rhodophyta	Shinorine; MAA1; Palythine; Asterina-330; MAA2		
<i>Gymnogongrus antarcticus</i> Skottsberg 1953		Rhodophyta	Shinorine; MAA1; Palythine; Asterina-330		
<i>Gymnogongrus turquetii</i> Hariot 1907		Rhodophyta	Shinorine		
<i>Iridaea cordata</i> (Turner) Bory 1826		Rhodophyta	Mycosporine-glycine; Shinorine; MAA1; Palythine; MAA2		
<i>Trematocarpus antarcticus</i> (Hariot) Fredericq & R.L.Moe 2009	<i>Kallymenia antarctica</i>	Rhodophyta	Mycosporine-glycine; Shinorine; Palythine; Asterina-330; Palythanol; MAA2		
<i>Myriogramme manginii</i> (Gain) Skottsberg 1953		Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334; Palythine; Asterina-330; MAA2		
<i>Neuroglossum delesseriae</i> (Reinsch) M.J.Wynne 1997	<i>Neuroglossum ligulatum</i>	Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334; MAA1; Palythine		
<i>Notophycus fimbriatus</i> R.L.Moe 1986		Rhodophyta	Mycosporine-glycine; Shinorine; Porphyra-334; Palythine; Asterina-330; MAA2		
<i>Pachymenia orbicularis</i> (Zanardini) Setchell & N.L.Gardner 1934		Rhodophyta	Mycosporine-glycine; Porphyra-334; Palythine		



<i>Palmaria decipiens</i> (Reinsch) R.W.Ricker 1987		Rhodophyta	Mycosporine-glycine; Shinorine; Porphyra-334; Palythine; Asterina-330; Palythanol; Palythene	
<i>Plocamium cartilagineum</i> (Linnaeus) P.S.Dixon 1967		Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334; Palythine; Asterina-330; Palythanol	
<i>Pyropia endiviifolia</i> (A.Gepp & E.Gepp) H.G.Choi & M.S.Hwang 2011	<i>Porphyra endiviifolium</i>	Rhodophyta	Mycosporine-glycine; Shinorine; Porphyra-334; MAA1; Palythine; Asterina-330; Palythanol	
<i>Rhodymenia coccocarpa</i> (Montagne) M.J.Wynne 2007	<i>Rhodymenia subantarctica</i>	Rhodophyta	Porphyra-334	
<i>Sarcothalia papillosa</i> (Bory) Leister 1993		Rhodophyta	Shinorine; Palythine; MAA2	
<i>Prasiola crispa</i> (Lightfoot) Kützing 1843	<i>Prasiola crispa sp. antarctica</i>	Chlorophyta	Mycosporine-glycine; MAA1	
<i>Porphyra umbilicalis</i> Kützing 1843		Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334; Palythine; Asterina-330	56
<i>Pyropia leucosticta</i> (Thuret) Neefus & J.Brodie 2011	<i>Porphyra leucosticta</i>	Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334; Palythine; Asterina-331	
<i>Iridaea cordata</i> (Turner) Bory 1826		Rhodophyta	Shinorine; Palythine	57
<i>Gelidium corneum</i> (Hudson) J.V.Lamouroux 1813		Rhodophyta	Porphyra-334; Asterina-330; Palythine; Shinorine	60
	<i>Porphyra sp.</i>	Rhodophyta	Porphyra-334; Shinorine	
<i>Gracilaria gracilis</i> (Stackhouse) Steentoft, L.M.Irvine & Farnham 1995		Rhodophyta	Porphyra-334; Shinorine	61
<i>Spongoclonium pastorale</i> Laing 1905		Rhodophyta	Porphyra-334; Shinorine	
<i>Palmaria palmata</i> (Linnaeus) F.Weber & D.Mohr 1805		Rhodophyta	Palythine; Porphyra-334	62
<i>Pyropia columbina</i> (Montagne) W.A.Nelson 2011		Rhodophyta	Shinorine; Porphyra-334	
<i>Gelidium corneum</i> (Hudson) J.V.Lamouroux 1813		Rhodophyta	Palythine; Asterina-330	63
<i>Pyropia columbina</i> (Montagne) W.A.Nelson 2011		Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Porphyra-334; Aplysiapalythine; Mycosporine-Alanine-Glycine; Aplysiapalythine; Mycosporine-Methylamine-Threonine	
<i>Porphyra umbilicalis</i> Kützing 1843		Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Porphyra-334; Aplysiapalythine; Mycosporine-Alanine-Glycine; Aplysiapalythine; Mycosporine-Methylamine-Threonine	
<i>Pyropia plicata</i> W.A.Nelson 2013		Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Porphyra-334; Aplysiapalythine; Mycosporine-Alanine-Glycine; Aplysiapalythine; Mycosporine-Methylamine-Threonine; Mycosporine-Glycine; Usujirene; Palythene	
<i>Euptilota formosissima</i> (Montagne) Kützing 1849		Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Porphyra-334; Aplysiapalythine	64
	<i>Ceramium sp.</i>	Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Porphyra-334; Aplysiapalythine; Mycosporine-Alanine-Glycine; Mycosporine-Methylamine-Threonine; Mycosporine-Glycine; Usujirene	
<i>Spongoclonium pastorale</i> Laing 1905		Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Porphyra-334; Aplysiapalythine; Mycosporine-Glycine; Mycosporine-Alanine-Glycine; Mycosporine-Methylamine-Threonine	
	<i>Pterocladia sp.</i>	Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Porphyra-334	
<i>Gracilaria chilensis</i> C.J.Bird, McLachlan & E.C.Oliveira 1986	<i>Agarophyton chilense</i>	Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Porphyra-334; Aplysiapalythine; Mycosporine-Glycine; Mycosporine-Alanine-	

		Glycine; Aplysiapalythine; Mycosporine-Methylamine-Threonine; Usujirene; Palythene	
<i>Schizymenia apoda</i> (J.Agardh) J.Agardh 1851	Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Porphyra-334; Mycosporine-Glycine;	
<i>Mastocarpus stellatus</i> (Stackhouse) Guiry 1984	Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Porphyra-334; Aplysiapalythine; Mycosporine-Alanine-Glycine	
<i>Sarcothalia atropurpurea</i> (J.Agardh) Hommersand 1993	Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Porphyra-334; Aplysiapalythine; Mycosporine-Glycine; Mycosporine-Alanine-Glycine; Aplysiapalythine; Mycosporine-Methylamine-Threonine; Usujirene; Palythene	
<i>Gigartina macrocarpa</i> J.Agardh 1876	Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Porphyra-334; Aplysiapalythine; Mycosporine-Alanine-Glycine; Aplysiapalythine; Usujirene; Palythene	
<i>Rhodophyllis membranacea</i> (Harvey) J.D.Hooker & Harvey, 1855	Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Porphyra-334; Aplysiapalythine; Mycosporine-Alanine-Glycine; Usujirene; Palythene	
<i>Champia novae-zelandiae</i> (Hooker f. & Harvey) Harvey 1853	Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Porphyra-334; Mycosporine-Glycine; Mycosporine-Alanine-Glycine; Aplysiapalythine	
<i>Craspedocarpus erosus</i> (Hooker f. & Harvey) F.Schmitz 1897	Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Porphyra-334	
<i>Blastophyllis calliblepharoides</i> (J.Agardh) D'Archino & W.A.Nelson, 2017	Rhodophyta	Palythine; Porphyra-334; Mycosporine-Glycine	
<i>Pachymenia laciniata</i> J.Agardh 1876	Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Porphyra-334	
<i>Pterocladia lucida</i> (R.Brown ex Turner) J.Agardh 1851	Rhodophyta	Shinorine	
<i>Corallina officinalis</i> Linnaeus 1758	Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Porphyra-334	
<i>Gracilariopsis longissima</i> (S.G.Gmelin) Steentoft, L.M.Irvine & Farnham 1995	Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330	
<i>Gracilaria cornea</i> J.Agardh 1852	Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330	
<i>Hymenena affinis</i> (Harvey) Kylin 1924	Rhodophyta	Palythine; Porphyra-334	
<i>Bostrychia arbuscula</i> W.H.Harvey 1855	Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Asterina-330; Porphyra-334; Aplysiapalythine	
<i>Porphyra umbilicalis</i> Kützting 1843	Rhodophyta	Foi detectado mas não identificado os tipos	66
<i>Porphyra sp.</i>	Rhodophyta	Shinorine; Palythine; Porphyra-334	71

9.6. Caracterização Qualitativa de Fatores Abióticos que Modulam a síntese de MAA em Espécies Macroalgais

Ao longo das últimas duas décadas, observou-se um aumento sutil, porém significativo, na média da temperatura da superfície dos oceanos (Figura 20). Essa

análise qualitativa, realizada em intervalos de quatro anos, revela uma tendência preocupante que está intrinsecamente ligada ao impacto antrópico no meio ambiente e ao avanço dos processos industriais, resultando na crescente poluição ambiental.

Embora atue de forma secundária, a temperatura da superfície dos oceanos (SST) desempenha um papel relevante na síntese de MAA em espécies macroalgais. Estudos indicam que, em algumas espécies macroalgais, um aumento na temperatura pode levar a uma maior síntese desses aminoácidos (Aigner *et al.*, 2017; Figueroa *et al.*, 2014). Esse fenômeno pode ser interpretado como uma resposta adaptativa, pois temperaturas mais altas muitas vezes coincidem com condições ambientais mais intensas de radiação UV.

Por outro lado, em algumas situações, temperaturas extremamente elevadas podem comprometer a saúde e o metabolismo das macroalgas, resultando em um declínio na produção de micosporinas. Nesses casos, a resposta adaptativa pode ser prejudicada, uma vez que as condições estressantes podem sobrecarregar os mecanismos de defesa da alga (Aigner *et al.*, 2017; Figueroa *et al.*, 2014).

É importante destacar que as interações entre temperatura, radiação UV e síntese de micosporinas podem variar entre diferentes espécies de macroalgas. Cada organismo marinho pode apresentar respostas específicas, influenciadas por sua biologia única e pelas características do ambiente em que se encontra (Oliveira *et al.*, 2020; Pellizzari, 2019; Gómez & Houvinen, 2020).

Ao empreender uma análise qualitativa acerca da média global da temperatura da superfície do mar, é perceptível que ocorreu um aumento da temperatura nos oceanos durante as estações tanto de inverno quanto de verão. Essa tendência foi evidenciada nos meses de julho e dezembro, correspondendo, respectivamente, ao verão e inverno no hemisfério sul, e ao inverno e verão no hemisfério norte. Principalmente quando se relaciona este aumento com os graus latitudinais do globo.

O rompimento do isolamento termohalino nas zonas polares e o aquecimento das regiões tropicais e temperadas estão desencadeando uma série de eventos que

afetam a biologia e a ecologia marinha (Barnes *et al.*, 2006; Pellizzari *et al.*, 2017). O aumento na temperatura da superfície dos oceanos emerge como um fator secundário de impacto, mas que, no entanto, exerce uma influência substancial na pressão abiótica enfrentada pelas macroalgas.

Observa-se que a faixa que compreende a linha do equador, conhecida por apresentar temperaturas mais elevadas justamente por suas características geográficas e atmosféricas como menor variação sazonal, incidência direta de radiação solar e também pelo impacto da circulação atmosférica, e também, apontada como foco de atenção no estudo de MAA em macroalgas oriundas de regiões próximas, em grande parte, zonas temperadas, apresenta picos maiores de temperatura ao longo do período recortado para observação.

Embora não haja uma diferença de temperatura muito expressiva ao decorrer deste período, os picos de temperaturas anormais podem embasar, aliados aos estudos de MAA em macroalgas, um panorama macroecológico sobre como a temperatura pode modular a síntese deste composto nestes organismos. Em espécies que são exploradas comercialmente em larga escala, fica mais objetiva a elucidação desta perspectiva.

Entretanto, vale ressaltar que a temperatura, se observada de forma isolada, não representa um fator ambiental que pressione a síntese de MAA em espécies macroalgais. Exemplos de espécies oriundas de regiões polares, com concentrações elevadas corroboram esta afirmação.

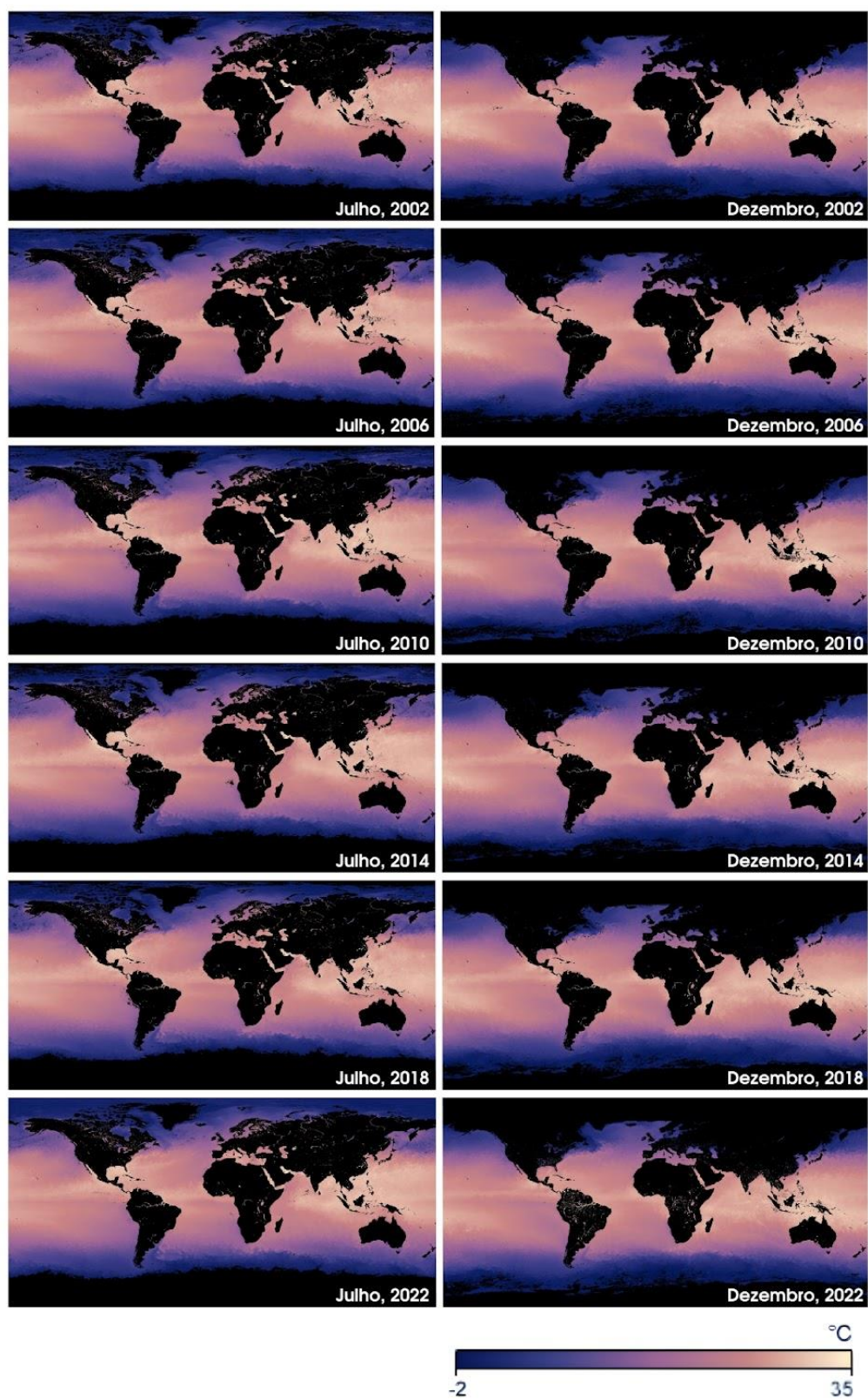


Figura 20 - Mapa qualitativo da média da temperatura da superfície dos oceanos ao longo de duas décadas obtido pela plataforma NEO da NASA. Disponível em: https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MWOI_SST_M. Acesso em 01/02/2024.

As alterações climáticas globais têm sido objeto de intensa investigação científica, especialmente no que diz respeito às anomalias de temperatura. Ao longo de um período de 20 anos, analisando dados a cada intervalo de 4 anos, torna-se evidente que os meses de julho e dezembro registram picos anormais de temperatura, independentemente do hemisfério estudado (Figura 21). Esses picos, notadamente os de temperaturas mais elevadas, contribuem para um cenário de clima mais quente, trazendo consigo implicações significativas para organismos aquáticos.

A observação sistemática desses fenômenos revela uma regularidade intrigante, destacando os meses mencionados como períodos críticos. Embora se reconheça a influência dos fenômenos climáticos *El Niño* e *La Niña* nesses eventos, é crucial ressaltar que as mudanças climáticas induzidas pela atividade humana desempenham um papel substancial na intensificação dessas variações.

Portanto, a pesquisa contínua sobre os padrões de temperatura global e sua influência específica sobre as macroalgas é essencial. A interseção complexa entre fatores climáticos naturais e impactos antropogênicos exige uma abordagem integrada para mitigar os efeitos negativos e promover a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos frente aos desafios do nosso tempo.

Programa de Pós-Graduação
em Ambientes Litorâneos
e Insulares - UNESPAR

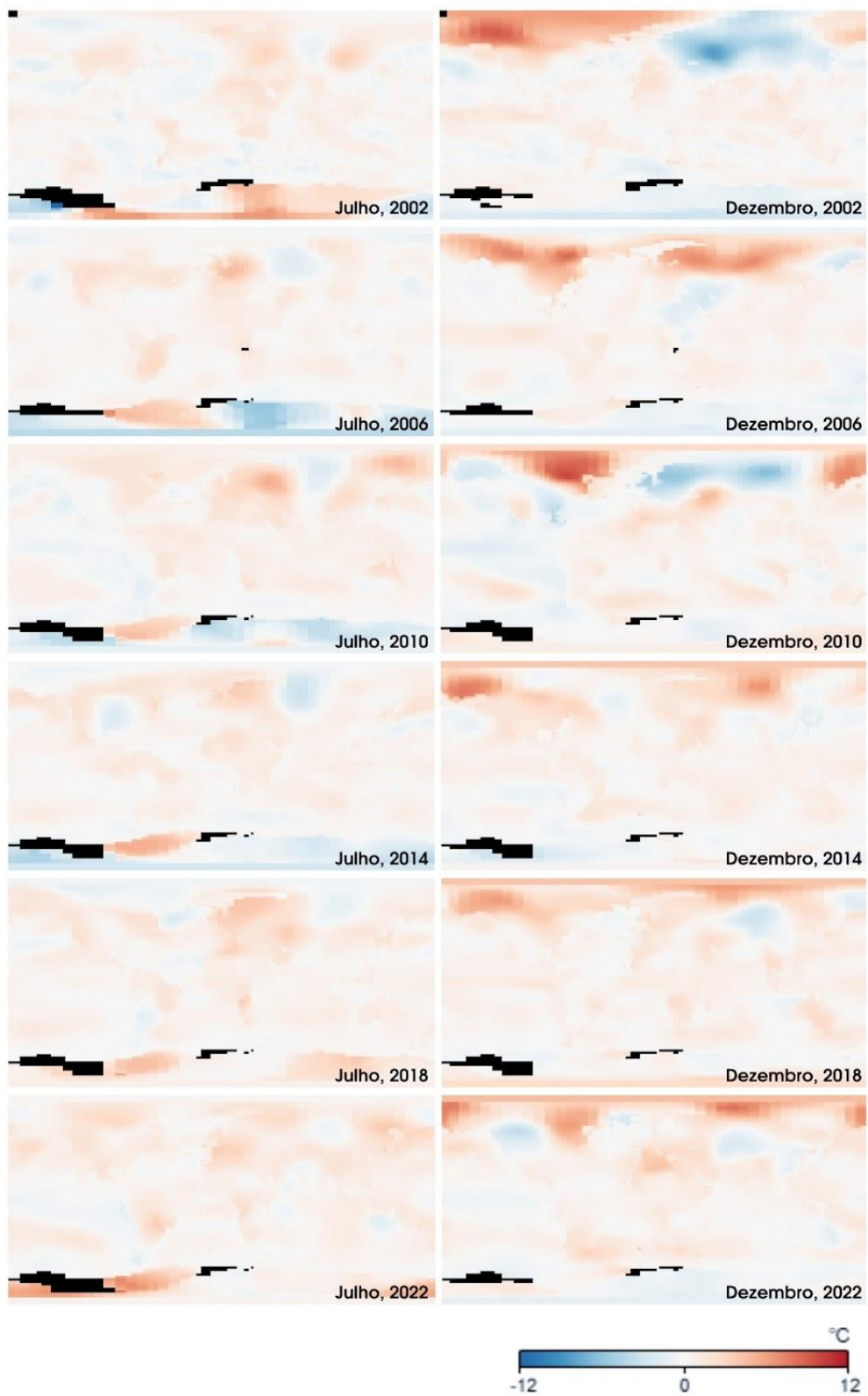


Figura 21 - Mapa qualitativo da média de anomalia da temperatura global ao longo de duas décadas obtidos pela plataforma NEO da NASA. Disponível em: https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=GISS_TA_M. Acesso em 01/02/2024.

Ao longo de uma análise qualitativa abrangendo duas décadas, divididas em períodos de quatro anos, foi possível identificar um aumento expressivo e significativo na incidência de raios solares no globo terrestre (Figura 22). Esta observação foi consistente nos meses de julho e dezembro, revelando um padrão consistente ao longo do tempo.

O aumento acentuado da incidência de raios solares assume um papel crucial quando se focaliza no estudo de MAA em macroalgas. A constatação de um aumento significativo na incidência de raios solares sugere uma correlação direta com o incremento na produção dessa classe de compostos químicos.

O resultado mais notável dessa análise, no entanto, reside na percepção de que o aumento expressivo na incidência solar ao longo do período estudado pode ter implicações significativas na síntese de MAA, e este sim atuando de forma direta na modulação. Este fenômeno ressalta a complexidade das interações entre os componentes bióticos e abióticos do ecossistema marinho.

Programa de Pós-Graduação
em Ambientes Litorâneos
e Insulares - UNESPAR

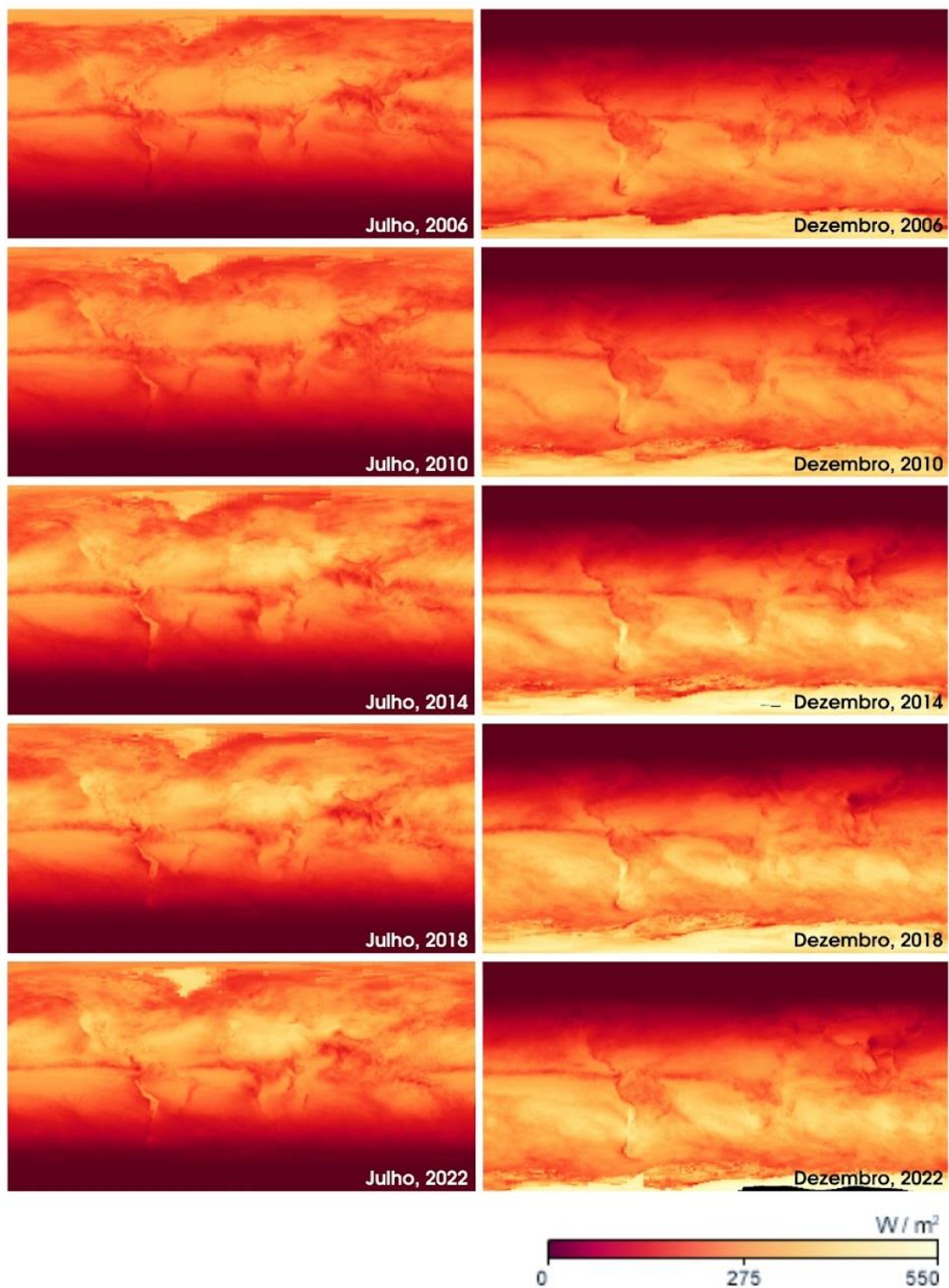


Figura 22 - Mapa qualitativo da média de incidência de raios solares ao longo de duas décadas obtidos pela plataforma NEO da NASA. Disponível em: https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=CERES_INSOL_M. Acesso em 01/02/2024.

Ao longo de duas décadas de análise qualitativa, observamos que, entre as variáveis abióticas investigadas, o índice de radiação ultravioleta (UV) emergiu como o fator mais significativo na modulação da síntese de MAA em macroalgas. Uma tendência acentuada foi identificada nas regiões próximas à linha do equador, onde se registrou, anualmente, um aumento consistente nas concentrações de radiação UV (Figura 23).

Essas áreas, caracterizadas pelo maior índice de radiação UV, coincidem notavelmente com as regiões onde se concentram estudos sobre micosporinas algais. Isso sugere uma relação entre o aumento na incidência de radiação UV e o registro de maiores taxas de concentrações de MAA nestes organismos.

Além das implicações biológicas, vale ressaltar o impacto econômico destas espécies nas diferentes zonas latitudinais. As regiões tropicais e temperadas, especialmente ao redor da linha do equador, abrigam atividades comerciais intensivas na exploração de espécies macroalgais. O aumento na exposição à radiação UV pode estar influenciando não apenas as características biológicas, mas também a viabilidade comercial dessas macroalgas.

É relevante destacar que o aumento nos índices de radiação UV não segue padrões sazonais ou hemisféricos específicos. Tanto em julho quanto em dezembro, foi observado um “alargamento” nas faixas de espectro UV em todas as regiões do globo, indicando uma tendência global.

Essas conclusões, derivadas de uma análise ao longo do tempo, reforçam a importância do índice de radiação UV na modulação da síntese de aminoácidos do tipo micosporina em macroalgas. O aumento persistente na radiação UV, particularmente em regiões tropicais e temperadas, não apenas influencia a biodiversidade marinha, mas também tem implicações econômicas significativas para as atividades relacionadas à exploração de macroalgas. Esses achados oferecem insights cruciais para orientar futuras pesquisas e políticas de conservação diante do contínuo aumento nos índices de radiação UV em escala global.

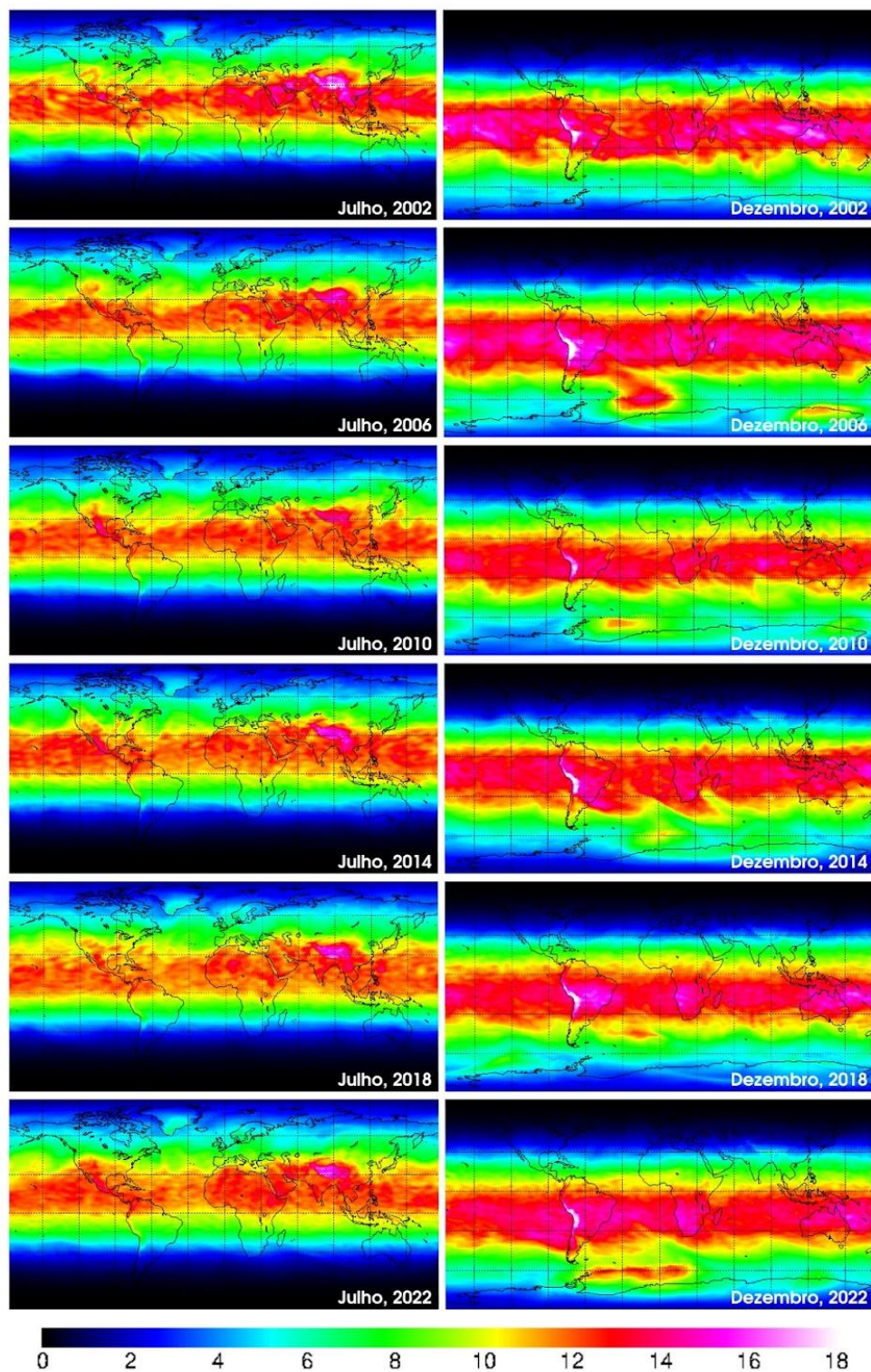


Figura 23 - Mapa qualitativo da média de índice UV ao longo de duas décadas obtidos pela plataforma TEMIS. Disponível em: <https://www.temis.nl/uvradiation/UVarchive/uvief.php?Year=2022&Month=07&Day=01>. Acesso em 01/02/2024.



A análise qualitativa da salinidade global emergiu como uma área crucial na compreensão dos ecossistemas aquáticos e, por extensão, na ecologia de organismos marinhos. No entanto, é importante destacar que essa análise careceu, ao longo dos últimos anos, de uma padronização adequada, o que implica em desafios na interpretação dos dados disponíveis.

Ao analisar a média sazonal ao longo de um período de 7 anos, notamos que as alterações não são expressivas, especialmente quando divididas nos meses de julho e dezembro. Embora possam ocorrer picos de salinidade mais pronunciados em regiões próximas à linha do equador, especialmente em zonas tropicais, a tendência geral parece não apresentar mudanças marcantes (Figura 24).

Curiosamente, a literatura existente tende a subestimar a associação entre salinidade (e até mesmo pH) e a síntese de aminoácidos do tipo micosporina em espécies macroalgais. No entanto, mesmo que não haja uma correlação direta, a salinidade analisada pode exercer uma influência acentuada no ciclo de vida e reprodutivo dessas espécies. Este fator pode impactar significativamente suas taxas de crescimento, bem como modular o seu arsenal bioquímico de maneiras complexas e interconectadas.

Portanto, é imperativo reconhecer que, embora a salinidade possa não ser o foco central dos estudos sobre aminoácidos do tipo micosporina, sua influência indireta não deve ser subestimada. A compreensão holística desses fatores abióticos e seu impacto nas espécies macroalgais é essencial para uma gestão ambiental eficaz e a preservação desses ecossistemas marinhos cruciais.

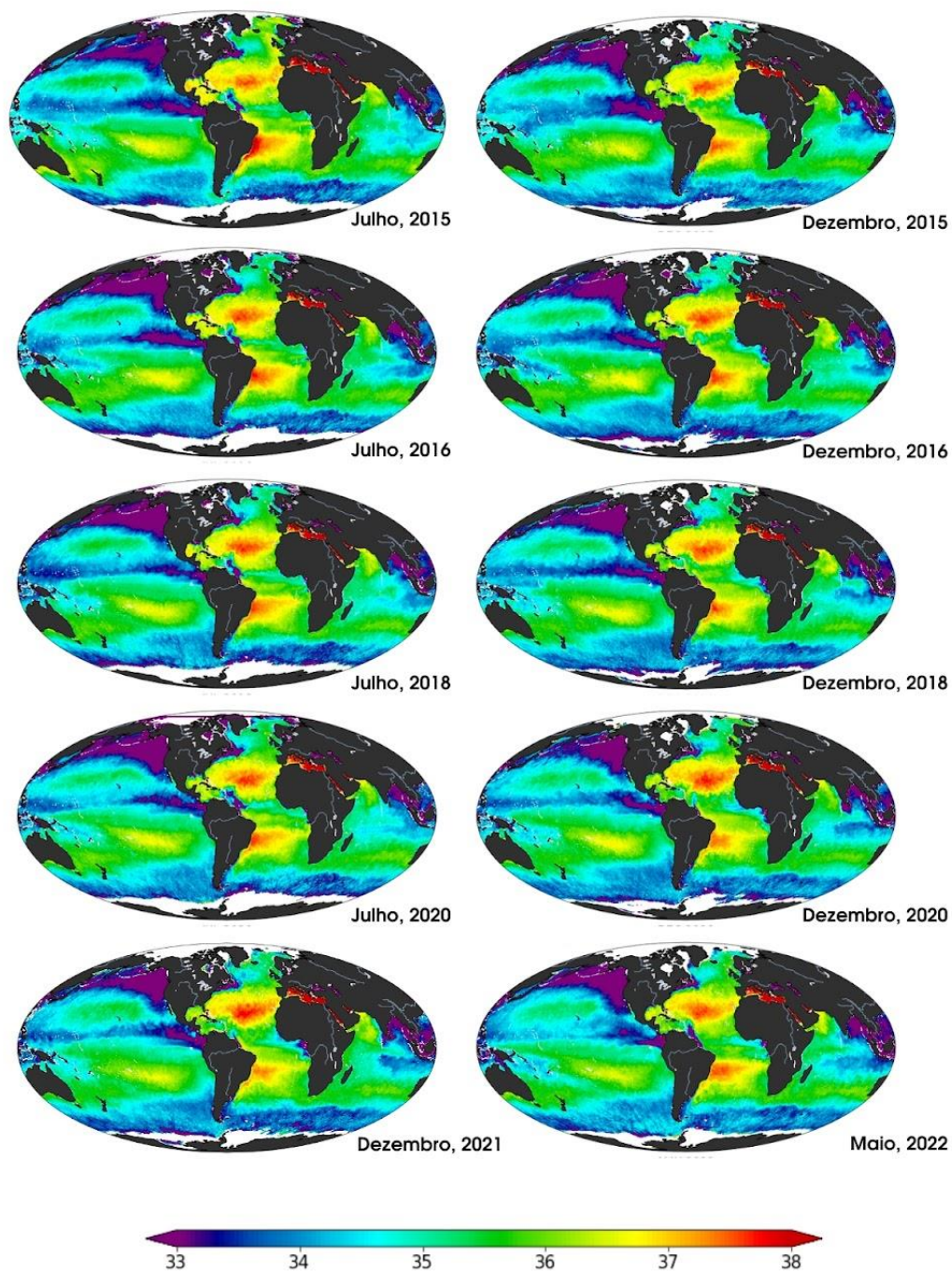


Figura 24 - Mapa qualitativo da média da salinidade dos oceanos ao longo dos últimos 7 anos obtidos pela plataforma SMAP da NASA. Disponível em: <<https://salinity.oceansciences.org/smap-salinity.htm#>>. Acesso em 01/02/2024.

9.7. Concentração de MAA por Espécie Macroalgal em Zonas Temperadas E Polares

De acordo com Sun et. al. (2020), a maioria dos estudos relativos às MAA em macroalgas marinhas concentraram-se no período de 1998–2009. Durante o presente estudo buscou-se agregar uma base de dados que compusesse os estudos mais robustos das últimas duas décadas (2000-2020). Nos estudos encontrados foram caracterizadas, quantificadas ou discutidas sobre MAAs em 293 espécies de macroalgas marinhas. Alguns dos principais exemplos de estudos que trouxeram resultados padronizados podem ser vistos na Tabela V.

Para a construção desta tabela, foram priorizados os resultados que estivessem na escala de mg/DW, de zonas temperadas e polares, e espécies que apresentassem concentração total de MAA maior que zero, resultando em 76 espécies macroalgais de interesse, destas espécies, as que eram as mesmas e coletadas em regiões iguais foram calculadas as médias de concentração. As espécies de zonas temperadas são importantes para este panorama devido ao grande interesse científico e comercial em espécies oriundas destas regiões, e espécies de zonas polares podem oferecer um contraste sobre a modulação da síntese do composto alvo em condições extremas.

Em Phaeophyceae, foi confirmado concentrações de MAA para 4 espécies, nomeadas de *Carpodesmia tamariscifolia*, *Rugulopteryx okamurae*, *Sargassum vulgare* e *Scytosiphon lomentaria*, todas oriundas de zonas temperadas do hemisfério norte. As concentrações totais do conteúdo de MAA se mostraram expressivamente baixas em comparação com espécies algais dos grupos Rhodophyta e Chlorophyta, atingindo médias de $\pm 0,05$ mg/DW.

Em Chlorophyta, há reportado concentrações totais de MAA 3 para espécies, nomeadas de *Prasiola crispa* (Hemisfério Sul - Polar), *Valonia utricularis* (Hemisfério Norte - Temperado) e *Codium adhaerens* (Hemisfério Norte - Temperado). As concentrações obtidas nestas espécies, em média, $\pm 3,7$ mg/DW para *Prasiola crispa*, $\pm 1,0$ mg/DW para *Valonia utricularis* e $\pm 0,05$ mg/DW para *Codium adhaerens*. As

concentrações totais do conteúdo de MAA em espécies de Chlorophyta se mostraram mais expressivas que as de espécies de Phaeophyceae, porém menos significativas que em espécies de Rhodophyta.

Rhodophyta segue, além do grupo mais explorado na ciência e no comércio, como as líderes na síntese de MAA ao redor do globo. Foram observadas nos estudos o registro de concentrações totais do composto alvo em 69 espécies. Sendo as mais expressivas situadas em zonas temperadas, polares e subtropicais, como é o exemplo de *Porphyra umbilicalis* (Hemisfério Norte - Temperado), *Bangia atropurpurea* (Hemisfério Norte - Temperado, Hemisfério Sul - Temperado/Polar), *Grateloupia turuturu* (Hemisfério Sul - Subtropical), *Pyropia acantophora* (Hemisfério Sul - Subtropical), *Curdiea racovitzae* (Hemisfério Sul - Polar), *Iridaea cordata* (Hemisfério Sul - Polar), *Chondrus crispus* (Hemisfério Norte - Temperado). As concentrações obtidas nestas espécies, em média, foram de $\pm 11\text{mg/DW}$ para *Porphyra umbilicalis* (Hemisfério Norte - Temperado); $\pm 12,25\text{mg/DW}$, $\pm 8,0\text{mg/DW}$ e $\pm 5,8\text{mg/DW}$ para *Bangia atropurpurea* situadas em zona temperada (Hemisfério Norte), zona temperada (Hemisfério Sul), zona polar (Hemisfério Sul), respectivamente. $\pm 10,0\text{mg/DW}$ para *Grateloupia turuturu* (Hemisfério Sul - Subtropical); $\pm 5,0\text{mg/DW}$ para *Pyropia acantophora* (Hemisfério Sul - Subtropical); $\pm 2,5\text{mg/DW}$ para *Curdiea racovitzae* (Hemisfério Sul - Polar); $\pm 1,58\text{mg/DW}$ para *Iridaea cordata* (Hemisfério Sul - Polar); $\pm 2,12\text{mg/DW}$ para *Chondrus crispus* (Hemisfério Norte - Temperado).

Embora haja uma grande faixa de concentração total distinta entre as diferentes espécies de Rhodophyta, ou mesmo entre as mesmas espécies, o teor total de MAA em algas vermelhas supera os das espécies de Chlorophyta e Phaeophyceae nas zonas latitudinais do globo observadas nos estudos.

Tabela V - Comparação da concentração total de MAA (em mg/DW) em espécies de Rhodophyta, Phaeophyceae e Chlorophyta de acordo com sua distribuição latitudinal em zonas temperadas, polares e subtropicais localizadas no Hemisfério Norte e Sul.

Nome Atual	Espécie	Zona Batimétrica	Filo	Hemisfério	Zona Latitudinal	Médias Concentração de MAA
<i>Asparagopsis armata</i> Harvey 1855		2	Rhodophyta	N	Temperada	3
<i>Bangia atropurpurea</i> (Mertens ex Roth) C.Agardh 1824		1	Rhodophyta	N	Temperada	12,25
<i>Bangia atropurpurea</i> (Mertens ex Roth) C.Agardh 1824		1	Rhodophyta	S	Temperada	8
<i>Bangia atropurpurea</i> (Mertens ex Roth) C.Agardh 1824		1	Rhodophyta	S	Polar	5,8
<i>Ceramium virgatum</i> Roth 1797		2	Rhodophyta	N	Temperada	0,5
<i>Chondracanthus acicularis</i> (Roth) Fredericq 1993		2	Rhodophyta	N	Temperada	3
<i>Chondracanthus chamissoi</i> (C.Agardh) Kützing 1843		2	Rhodophyta	S	Temperada	0,9
<i>Chondrus crispus</i> Stackhouse 1797		2	Rhodophyta	N	Temperada	2,12
<i>Codium adhaerens</i> C.Agardh 1822		2	Chlorophyta	N	Temperada	0,05
<i>Corallina officinalis</i> Linnaeus 1758		2	Rhodophyta	S	Polar	0,5
<i>Curdiea racovitzae</i> Hariot 1900		3	Rhodophyta	S	Polar	2,5
<i>Devaleraea ramentacea</i> (Linnaeus) Guiry 1982		2	Rhodophyta	N	Polar	1,5
<i>Ellisolandia elongata</i> (J.Ellis & Solander) K.R.Hind & G.W.Saunders 2013		2	Rhodophyta	N	Temperada	0,6
<i>Ericaria selaginoides</i> (Linnaeus) Molinari & Guiry 2020	<i>Carpodesmia tamariscifolia</i>	2	Phaeophyceae	N	Temperada	0,05
<i>Feldmannophycus rayssiae</i> (Feldmann & G.Feldmann) H.Augier & Boudouresque 1971		2	Rhodophyta	N	Temperada	4
<i>Gelidium corneum</i> (Hudson) J.V.Lamouroux 1813		2	Rhodophyta	N	Temperada	3,3
<i>Gelidium lingulatum</i> Kützing 1868		2	Rhodophyta	S	Temperada	4,5
<i>Gelidium microdon</i> Kützing 1849		2	Rhodophyta	N	Temperada	2,5
<i>Gelidium pusillum</i> (Stackhouse) Le Jolis 1863		2	Rhodophyta	N	Temperada	7,2
<i>Gelidium spinosum</i> (S.G.Gmelin) P.C.Silva 1996		2	Rhodophyta	N	Temperada	1,5
<i>Gracilaria cornea</i> J.Agardh 1852	<i>Crassiphycus corneus</i>	2	Rhodophyta	N	Temperada	1,23
<i>Gracilaria multipartita</i> (Clemente) Harvey 1846		2	Rhodophyta	N	Temperada	1
<i>Gracilaria tenuistipitata</i> var. liui Zhang & Xia 1988		2	Rhodophyta	N	Temperada	4
<i>Gracilaria vermiculophylla</i> (Ohmi) Papenfuss 1967	<i>Agarophyton vermiculophyllum</i>	2	Rhodophyta	N	Temperada	0,5
<i>Gracilariopsis longissima</i> (S.G.Gmelin) Steentoft, L.M.Irvine & Farnham 1995		2	Rhodophyta	N	Temperada	0,6
<i>Grateloupia lanceola</i> (J.Agardh) J.Agardh 1851		2	Rhodophyta	N	Temperada	3,5

<i>Grateloupia turuturu</i> Y.Yamada 1941		2	Rhodophyta	S	Subtropical	10
<i>Gymnogongrus antarcticus</i> Skottsberg 1953		2	Rhodophyta	S	Polar	2,1
<i>Halopithys incurva</i> (Hudson) Batters 1902		3	Rhodophyta	N	Temperada	0,2
<i>Iridaea cordata</i> (Turner) Bory 1826		2	Rhodophyta	S	Polar	1,58
<i>Iridaea tuberculosa</i> (Hooker f. & Harvey) Leister 1993		2	Rhodophyta	S	Polar	2
<i>Mazzaella laminarioides</i> (Bory) Fredericq 1993		3	Rhodophyta	S	Temperada	4
<i>Myriogramme manginii</i> (Gain) Skottsberg 1953	<i>Myriogramme mangini</i>	3	Rhodophyta	S	Polar	2,9
<i>Neuroglossum delesseriae</i> (Reinsch) M.J.Wynne 1997	<i>Neuroglossum ligulatum</i>	3	Rhodophyta	S	Polar	2,6
<i>Nothogenia fastigiata</i> (Bory) P.G.Parkinson 1983		3	Rhodophyta	S	Polar	2
<i>Notophycus fimbriatus</i> R.L.Moe 1986		3	Rhodophyta	S	Polar	1,7
<i>Osmundea pinnatifida</i> (Hudson) Stackhouse 1809		3	Rhodophyta	N	Temperada	2
<i>Palmaria decipiens</i> (Reinsch) R.W.Ricker 1987		2	Rhodophyta	S	Polar	3,9
<i>Palmaria palmata</i> (Linnaeus) F.Weber & D.Mohr 1805		2	Rhodophyta	N	Temperada	5,5
<i>Plocamium cartilagineum</i> (Linnaeus) P.S.Dixon 1967		2	Rhodophyta	S	Polar	1
<i>Porphyra</i> sp		1	Rhodophyta	N	Temperada	15
<i>Porphyra umbilicalis</i> Kützing 1843		1	Rhodophyta	N	Temperada	11
<i>Prasiola crispera</i> (Lightfoot) Kützing 1843	<i>Prasiola crispera</i> sp. <i>antarctica</i>	1	Chlorophyta	S	Polar	3,7
<i>Pyropia acanthophora</i> (E.C.Oliveira & Coll) M.C.Oliveira, D.Milstein & E.C.Oliveira 2011		1	Rhodophyta	S	Subtropical	5
<i>Pyropia columbina</i> (Montagne) W.A.Nelson 2011	<i>Porphyra columbina</i>	1	Rhodophyta	S	Temperada	10
<i>Pyropia elongata</i> (Kyllin) Neefus & J.Brodie 2011		1	Rhodophyta	N	Temperada	4
<i>Pyropia endiviifolia</i> (A.Gepp & E.Gepp) H.G.Choi & M.S.Hwang 2011	<i>Porphyra endiviifolium</i>	1	Rhodophyta	S	Polar	9,7
<i>Pyropia leucosticta</i> (Thuret) Neefus & J.Brodie 2011	<i>Porphyra leucosticta</i>	1	Rhodophyta	N	Temperada	10,8
<i>Rhodomenia pseudopalmata</i> (J.V.Lamouroux) P.C.Silva 1952		2	Rhodophyta	N	Temperada	1,2
<i>Rugulopteryx okamurae</i> (E.Y.Dawson) I.K.Hwang, W.J.Lee & H.S.Kim 2009		2	Phaeophyceae	N	Temperada	0,05
<i>Sarcopeltis skottsbergii</i> (Setchell & N.L.Gardner) Hommersand, Hughey, Leister & P.W.Gabrielson 2020	<i>Gigartina skottsbergii</i>	2	Rhodophyta	S	Polar	2
<i>Sarcothalia papillosa</i> (Bory) Leister 1993		3	Rhodophyta	S	Polar	1,6
<i>Sargassum vulgare</i> C.Agardh, nom. illeg. 1820		2	Phaeophyceae	N	Temperada	0,05
<i>Scytosiphon lomentaria</i> (Lyngbye) Link, nom. cons. 1833		2	Phaeophyceae	N	Temperada	0,05

<i>Trematocarpus antarcticus</i> (Hariot) Fredericq & R.L.Moe 2009	<i>Kallymenia antarctica</i>	3	Rhodophyta	S	Polar	2,5
<i>Valonia utricularis</i> (Roth) C.Agardh 1823		2	Chlorophyta	N	Temperada	1

*A primeira coluna contém a taxonomia atualizada das espécies encontradas nos estudos. A segunda coluna contém a taxonomia anterior. A terceira coluna os números 1 corresponde às zonas litorâneas supra e médio superior, 2 indica às zonas litorâneas médio e infra raso, o número 3 indica espécies de infralitoral. Na quinta coluna, N é utilizado para indicar espécies do Hemisfério Norte, S indica as espécies encontradas no Hemisfério Sul.

A análise ANOVA (Figura 25) corrobora as informações contidas na Tabela V quando procura-se identificar em quais zonas litorâneas estão contidas as espécies que apresentam as maiores taxas médias de concentração de MAA. Foi possível observar uma diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre as zonas do costão. Em seguida, aplicado o teste pós-hoc de Tukey, indicou que a zona "supra e mediolitoral superior" difere das demais, apresentando as maiores concentrações.

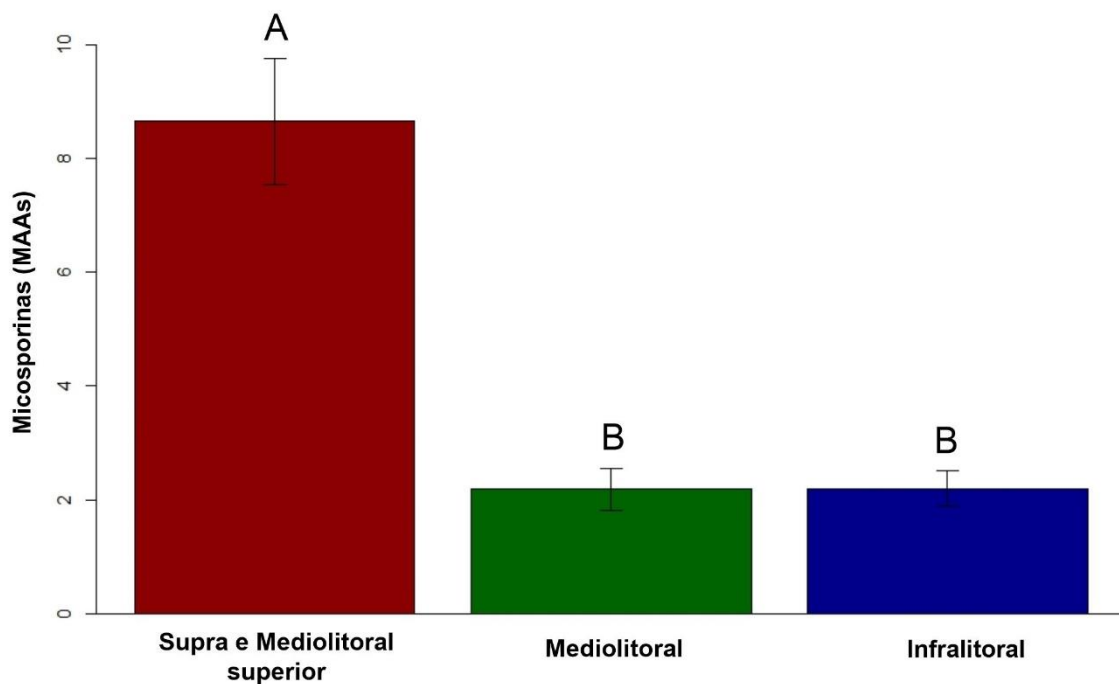


Figura 25 – Taxas de concentrações médias de MAA por espécies dispostas em diferentes zonas litorâneas.

10. CONCLUSÕES

Ao concluir este estudo de revisão integrativa, pode ser observado que existem lacunas entre as linhas de abordagens nos estudos que discutem sobre as MAA em espécies macroalgais. Embora os nichos de discussão sejam acentuados com temas transversais (como fatores abióticos ou sobre suas aplicações tecnológicas na indústria fármaco-cosmética), ainda há baixa disponibilidade de estudos que abordem sobre as condições bioquímicas e macroecológicas que podem pressionar a síntese destes compostos em espécies macroalgais. Pouco se sabe sobre o impacto da influência antrópica aliada aos fatores abióticos relacionados com a produção de MAA. Fatores estes que apresentam, atualmente, novos câmbios globais visto que o cenário de mudanças meteorológicas e oceanográficas estão se intensificando.

Neste cenário, pode-se sugerir que uma maior taxa de aumento na média de concentração de MAA, independente da espécie estudada, estão relacionados com estas pressões ambientais vigentes. Contudo, seria especulativo se não considerarmos que o aumento da tolerância à radiação ultravioleta parece ser um padrão encontrado em organismos primitivos. O arsenal bioquímico robusto sintetizado pelo metabolismo primário e secundário de espécies macroalgais vêm se mantendo e aprimorando, através da seleção natural, desde tempos remotos e, no que concerne ao estudo de MAA, pela nossa análise, a síntese parece ser espécie dependente, não estando intimamente relacionada com a latitude ou mesmo com o hemisfério em que o organismo-alvo se encontra.

Os estudos selecionados nos indicam que além da radiação UV, um maior aporte de nutrientes inorgânicos (principalmente nitrogênio) pode servir como combustível para a síntese de MAA nestes organismos, visto que uma das funcionalidades desta classe de compostos químicos é atuar como reserva alternativa de moléculas de nitrogênio. Contudo, esta sugestão apareceu em baixa frequência nos trabalhos laboratoriais analisados e sugere-se estudos assistidos mais aprofundados sobre o impacto de elementos traços como agentes pressionantes para a síntese de MAA.

Cabe ressaltar que no âmbito de estudo de MAA em macroalgas, nota-se que há preferência em avaliar as concentrações em espécies que já são exploradas comercialmente ou que apresentam maior biomassa disponível no ambiente. Desta forma, sugerimos que o interesse por MAA parece ser secundário à outras prioridades de estudo para as espécies abordadas. A maior parcela dos trabalhos obtidos se concentra em espécies macroalgais, principalmente Rhodophyta, já exploradas comercialmente no Hemisfério Norte em regiões de Zona Temperada. Já em Zonas Polares no mesmo Hemisfério o interesse é menor, se concentrando em espécies com maior biomassa no ambiente.

Em comparação ao Hemisfério Sul, em zonas mais quentes, percebe-se que a motivação dos estudos se concentra em utilizar as MAA como moléculas bioindicadoras da qualidade do ambiente marinho. Em zonas polares, tanto no Hemisfério Norte quanto no Hemisfério Sul, as análises tendem a obter dados controle prístino e extremo.

É importante ressaltar que, embora as espécies algais sejam altamente sensíveis às pressões ambientais, não há consenso sobre os fatores que modulam a síntese destes compostos nestes organismos. No início da década, os estudos indicavam que maiores taxas de radiação UV poderiam pressionar a síntese de MAA em macroalgas, contudo, estudos mais recentes de cultivo assistido indicam que há um limite de sobrecarga UV que o organismo pode suportar até inibir completamente a síntese de MAA. Neste sentido, é importante indicar que a maioria das espécies avaliadas nos estudos obtidos estão situadas em regiões de supralitoral e mediolitoral superior, ou seja, são espécies que recebem altas taxas UVR em comparação às que residem em outras zonas litorâneas e que, através da nossa análise, apresentam maiores taxas de concentração média de MAA por espécie. Entretanto, faz-se necessário a correlação de dados físico-químicos como pH, salinidade, tolerância à dessecação, batimetria e aporte de nutrientes inorgânicos para salientar quais condições podem influenciar significativamente na síntese, e ainda quais as concentrações encontradas que possam indicar, com precisão, a qualidade do ecossistema local. Ainda, estes resultados indicam que o aporte de radiação UV segue sendo como fator primordial para a indução da síntese desta classe de

compostos, além de apontar que as espécies conspícuas destas zonas possam apresentar níveis promissores de MAA para a exploração como princípio ativo na indústria quando comparado com espécies de outras zonas do costão. Sugere-se que estudos futuros com espécies de supralitoral sejam realizados, preferencialmente em gradiente latitudinal. Até o momento em que este estudo foi escrito, utilizar as MAA como moléculas bioindicadoras da qualidade do ambiente marinho não parece viável se compararmos as concentrações específicas de elementos traços que podem ser encontrados e extraídos com mais eficiência das espécies algais. A relação de custo-benefício parece ser maior quando comparado às MAA.

Esperava-se encontrar registros de taxas de concentrações de MAA maiores em espécies de zonas polares remotas e extremas, entretanto, ao analisar as médias foi possível notar que as maiores concentrações foram registradas em espécies de Rhodophyta de Zonas Temperadas. Esta condição sugere que temperaturas mais altas pressionam a síntese nestes organismos, contudo, os exemplares de zonas temperadas analisados não foram coletados em regiões que possuíam isolamento biogeográfico, dificultando a comparação entre os grupos. Há uma exceção que foge do padrão estabelecido onde foi reportado um pico expressivo de MAA em *Prasiola* sp., Chlorophyta, espécie de zona polar, no hemisfério sul. Contudo, esta espécie é oriunda de zonas de transição e possui características evolutivas como alta tolerância à baixas temperaturas, alta salinidade e UV que a diferencia das outras espécies abordadas nos estudos obtidos.

Em suma, as diferenças nas concentrações de MAA entre as macroalgas de zonas temperadas e polares refletem não apenas a exposição à radiação UV, mas também a influência crucial do suprimento de nutrientes inorgânicos no ambiente aquático. Essas descobertas destacam a complexidade das interações entre fatores ambientais e processos bioquímicos nas comunidades de macroalgas e ressaltam a importância de estudos adicionais para compreender completamente esses padrões.

Ao avaliar sobre o conteúdo de MAA reportado para as espécies, a falta de substância padrão disponível no mercado impacta nos resultados obtidos nas análises laboratoriais. Em duas décadas de estudos, foram registrados 35 tipos diferentes de

MAA em 293 espécies. Destes registros, 16 foram caracterizados sem o uso de substância padrão. Este fator dificulta a identificação das moléculas obtidas e, conseqüentemente, a aferição dos dados para compor base estatística.

Foram apontados muitos fatores que podem influenciar na concentração final de MAA através da análise laboratorial: a conservação e assepsia do exemplar utilizado, os reagentes disponíveis, a técnica de extração e análise, e a precisão do equipamento de leitura utilizado. Ao comparar as médias de concentrações nas mesmas espécies, mas em estudos que utilizaram protocolos diferentes e que coletaram as espécies em locais diferentes, mas em zona climática e latitude iguais, nota-se diferença na concentração final obtida. Condições como data de coleta e estação sazonal também devem ser considerados. Contudo, a padronização de um protocolo de análise e a disponibilidade de substâncias padrão para MAA tem se mostrado promissor e de alto interesse pelos pesquisadores atuais.

Neste trabalho apresentamos dados qualitativos da temperatura da superfície dos oceanos (SST), picos de anomalia da temperatura global, níveis de irradiação solar, UV Index e salinidade, buscando realizar um panorama ilustrativo das alterações visíveis nos mapas obtidos das últimas duas décadas. É possível observar uma tendência ao aumento das médias registradas em todas as condições ambientais analisadas. Não há registros destes dados abióticos relacionados à síntese de MAA em macroalgas. Entretanto, nota-se que as taxas de concentrações médias destas moléculas são maiores atualmente quando comparadas às taxas reportadas em estudos do início dos anos 2000. Sugerimos que, aliado ao avanço tecnológico, as médias das taxas de concentração de MAA em espécies macroalgais aumentaram nos últimos 25 anos, mas estudos protocolados devem ser realizados para direcionar as discussões e elucidar se a condição responsável por este aumento está mais relacionada com as mudanças ambientais vigentes ou com as técnicas laboratoriais mais aprimoradas. Há poucos registros de estudos que avaliem as variáveis ambientais, citadas nesta revisão, de forma isolada e assistida.

Os estudos que especulam sua relevância comercial se debruçam nos benefícios e funcionalidades que as MAA podem oferecer como alternativa natural

aos compostos químicos utilizados atualmente, principalmente, em protetores e filtros solares. Contudo, pouco se discute sobre a dificuldade de estabilização destas moléculas orgânicas ou mesmo sobre a possibilidade de replicar sua síntese em laboratório. Em um período de duas décadas, nota-se que o interesse por esta classe de compostos aumentou, mas os estudos ainda são incipientes sobre a viabilidade do seu uso comercial. Sugere-se análises de citotoxicidade e de fator de proteção do composto alvo visando a consolidação como princípio ativo na indústria farmacocósmética. Neste contexto, a discussão sobre MAA oriundas de espécies macroalgais carece de métricas que elucidem a relação de custo e benefício na utilização do composto alvo. Não há registros sobre quais quantidades ideais de material fresco seria necessário para extração de MAA suficiente para agregar na composição química de um produto, tampouco estabelecido uma metodologia para replicação das moléculas em laboratório. A seguir este contexto, mostra-se necessário um estudo de viabilidade na exploração de MAA em outras espécies marinhas comparados com espécies macroalgais.

A comercialização de MAA como princípio ativo natural parece ser mais viável em países que já cultivam e exploram economicamente as espécies algais. Atualmente há 3 patentes registradas para algumas classes de micosporinas, se concentrando em países do Hemisfério Norte, principalmente de Zona Temperada. No Brasil, o cultivo e comercialização de macroalgas ainda é incipiente e exploratória devido a diversos fatores que limitam o desenvolvimento desta atividade. Em um cenário futuro, os principais pontos de cultivo estão condicionados em zona tropical, que apresenta temperaturas elevadas, alta incidência de raios solares e índice UV, e considerando também o alto aporte de nutrientes nitrogenados em zonas litorâneas devido a alta atividade turística, a exploração de MAA nas espécies já cultivadas parece ser uma possibilidade. Sugerimos estudos aprofundados e conservacionistas relacionados ao cultivo assistido das espécies já exploradas atreladas a viabilidade de extração de MAA.

Por fim, o viés taxonômico abordado nos estudos indica a necessidade de reconhecer espécies mais viáveis para extração. Pareceu prioridade dos pesquisadores, durante a primeira década estudada, em indicar quais espécies

possuíam maiores concentrações de MAA. Atualmente, os esforços se intensificam para pressionar a síntese, nas espécies de interesse, em condições assistidas.



PALI

Programa de Pós-Graduação
em Ambientes Litorâneos
e Insulares - UNESPAR

11. REFERÊNCIAS

Adler, B.L.; Deleo, V.A. Sunscreen safety: A review of recent studies on humans and the environment. **Current Dermatology Reports**, v. 9, p. 1-9, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s13671-020-00284-4>

Afonso, N.C.; Catarino, M.D.; Silva, A.M.S.; Cardoso, S.M. Brown macroalgae as valuable food ingredients. **Antioxidants**, v. 8, n. 9, p. 365, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox8090365>

Agroenergia, Embrapa. Agroenergia em revista: microalgas. 2016.

ISSN: 2238-1023

Andrade, P.B.; Barbosa, M.; Matos, R.P.; Lopes, G.; Vinholes, J.; Mouga, T.; Valentão, P. Valuable compounds in macroalgae extracts. **Food Chemistry**, v. 138, n. 2-3, p. 1819-1828, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.081>

Andregretti, D.X. Análogos de micosporinas: síntese e avaliação de parâmetros farmacológicos e toxicológicos. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Barnes, D.K.A.; Hodgson, D.A.; Convey, P.; Allen, C.S.; Clarke, A. Incursion and excursion of Antarctic biota: past, present and future. **Global Ecology and Biogeography**, v. 15, n. 2, p. 121-142, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2006.00216.x>

Berneira, L.M.; Da Silva, C.C.; Passos, L.F.; Mansilla, A.O. Evaluation of volatile organic compounds in brown and red sub-Antarctic macroalgae. **Brazilian Journal of Botany**, v. 44, p. 79-84, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s40415-020-00684-7>

Biris-Dorhoi, E.-S.; Michiu, D.; Pop, C.R.; Rotar, A.M.; Tofana, M.; Pop, O.L.; Socaci, S.A.; Farcas, A.C. Macroalgae—A sustainable source of chemical compounds with

biological activities. **Nutrients**, v. 12, n. 10, p. 3085, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12103085>

Briani, B.; Sissini, M.N.; Lucena, L.A.; Batista, M.B.; Costa, I.O.; Nunes, J.M.C.; Schmitz, C.; Ramlov, F.; Maraschin, M.; Korbee, N.; Rörig, L.; Horta, P.A.; Figueroa, F.L.; Barufi, J.B. The influence of environmental features in the content of mycosporine-like amino acids in red marine algae along the Brazilian coast. **Journal of phycology**, v. 54, n. 3, p. 380-390, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1111/jpy.12640>

Candelo, V.; Llewellyn, C.A. Separating and Purifying Mycosporine-like Amino Acids from Cyanobacteria for Application in Commercial Sunscreen Formulations. **BioTech**, v. 12, n. 1, p. 16, 2023.
DOI: <https://doi.org/10.3390/biotech12>

Cardozo, K. H. M.; Guaratini, T.; Barros, M. P.; Falcão, V. R.; Tonon, A. P.; Lopes, N. P.; Campos, S.; Torres, M. A.; Souza, A. O.; Colepicolo, P.; Pinto, E. Metabolites from algae with economical impact. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 146, n. 1-2, p. 60-78, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2006.05.007>

Carefoot, T.H.; Karentz, D.; Pennings, S.C.; Young, C.L. Distribution of mycosporine-like amino acids in the sea hare *Aplysia dactylomela*: effect of diet on amounts and types sequestered over time in tissues and spawn. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology**, v. 126, n. 1, p. 91-104, 2000.
DOI: [10.1016/s0742-8413\(00\)00098-0](https://doi.org/10.1016/s0742-8413(00)00098-0)

Carreto, J.I.; Carignan, M.O. Mycosporine-like amino acids: relevant secondary metabolites. Chemical and ecological aspects. **Marine drugs**, v. 9, n. 3, p. 387-446, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.3390/md9030387>

Celis-Plá, P.S.M.; Martinez, B.; Quintano, E.; García-Sánchez, M.; Pedersen, A. Navarro, N.P.; Copertino, M.S.; Mangaiyarkarasi, N.; Mariath, R.; Figueroa, F.L.; Korbee, N. Short-term ecophysiological and biochemical responses of *Cystoseira tamariscifolia* and *Ellisolandia elongata* to environmental changes. **Aquatic Biology**, v. 22, p. 227-243, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.3354/ab00573>

Conde, F.R.; Churio, M.S.; Previtali, C.M. The photoprotector mechanism of mycosporine-like amino acids. Excited-state properties and photostability of porphyrin-334 in aqueous solution. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 56, n. 2-3, p. 139-144, 2000.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(00\)00066-X](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(00)00066-X)

Da Silva Cabral, L.D.; De Oliveira Pereira, S.; Partata, A.K. Filtros solares e fotoprotetores—uma revisão. **Infarma-Ciências Farmacêuticas**, v. 25, n. 2, p. 107-110, 2013.

Dinardo, J.C.; Downs, C.A. Dermatological and environmental toxicological impact of the sunscreen ingredient oxybenzone/benzophenone-3. **Journal of cosmetic dermatology**, v. 17, n. 1, p. 15-19, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1111/jocd.12449>

Doney, S.C.; Ruckelshaus, M.; Duffy, J.E.; Barry, J.P.; Chan, F.; English, C.A.; Galindo, H.M.; Grebmeier, J.M.; Hollowed, A.B.; Knowlton, N.; Polovina, J.; Rabalais, N.N.; Sydeman, W.J.; Talley, L.D. Climate change impacts on marine ecosystems. **Annual review of marine science**, v. 4, p. 11-37, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-041911-111611>

Fichman, Y.; Rowland, L.; Oliver, M. J.; Mittler, R. ROS are evolutionary conserved cell-to-cell stress signals. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 120, n. 31, p. e2305496120, 2023.
DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2305496120>

Figueroa, F.L. Mycosporine-like amino acids from marine resource. **Marine drugs**,

v. 19, n. 1, p. 18, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.3390/md19010018>

Galvão, M.C.B.; Ricarte, I.L.M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da informação**, v. 6, n. 1, p. 57-73, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73>

Gao, G.; Burgess, J.G.; Wu, M.; Wang, S.; Gao, K. Using macroalgae as biofuel: current opportunities and challenges. **Botanica Marina**, v. 63, n. 4, p. 355-370, 2020.

DOI: <https://doi.org/10.1515/bot-2019-0065>

Garcia-Pichel, F.; Castenholz, R.W. Occurrence of UV-absorbing, mycosporine-like compounds among cyanobacterial isolates and an estimate of their screening capacity. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 59, n. 1, p. 163-169, 1993.

DOI: <https://doi.org/10.1128/aem.59.1.163-169.1993>

García-Vaquero, M.; Hayes, M. Red and green macroalgae for fish and animal feed and human functional food development. **Food Reviews International**, v. 32, n. 1, p. 15-45, 2016.

DOI: <https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1041184>

Geraldes, V.; Medeiros, L.S.; Jacinavicius, F.R.; Long, P.F.; Pinto, E. Development and validation of a rapid LC-MS/MS method for the quantification of mycosporines and mycosporine-like amino acids (MAAs) from cyanobacteria. **Algal Research**, v. 46, p. 101796, 2020.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101796>

Gómez, I.; Houvinen, P. Brown algal phlorotannins: an overview of their functional roles. **Antarctic Seaweeds: diversity, adaptation and ecosystem services**, p. 365-388, 2020.

DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-39448-6_18

Griffths, M.; Harrison, T.; Smith, M.; Maharajh, D. Major commercial products from micro-and macroalgae. **Algae biotechnology: products and processes**, p. 269-300, 2016.

DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-12334-9_14

Gurgel Rodrigues, J.A.; Fernandes de Araújo, I.W.; Almeida de Paula, G.; de Brito Lima, T.; Façanha Bessa, É.; Barros Benevides, N.M. Carragenana da epífita *Hypnea musciformis* obtida do cultivo experimental de *Solieria filiformis* em Flecheiras, Estado do Ceará, Brasil. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 2, p. 137-144, 2011.

DOI: [10.4025/actascitechnol.v33i2.9096](https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v33i2.9096)

Hansel, C.M.; Diaz, J.M. Production of extracellular reactive oxygen species by marine biota. **Annual Review of Marine Science**, v. 13, p. 177-200, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-041320-102550>

Hoegh-Guldberg, O.; Bruno, J.F. The impact of climate change on the world's marine ecosystems. **Science**, v. 328, n. 5985, p. 1523-1528, 2010.

DOI: [10.1126/science.1189930](https://doi.org/10.1126/science.1189930)

Horincar, V.B.; Parfene, G.; Tyagi, A.K.; Gottardi, D.; Dinică, R.; Guerzoni, M.E.; Bahrim, G. Extraction and characterization of volatile compounds and fatty acids from red and green macroalgae from the Romanian Black Sea in order to obtain valuable bioadditives and biopreservatives. **Journal of applied phycology**, v. 26,

p. 551-559, 2014.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0053-0>

Ismail, A.; Hong, T.S. Antioxidant activity of selected commercial seaweeds.

Malaysian Journal of Nutrition, v. 8, n. 2, p. 167-177, 2002.

Jofre, J.; Celis-Plá, P.S.M.; Figueroa, F.L.; Navarro, N.P. Seasonal variation of mycosporine-like amino acids in three subantarctic red seaweeds. **Marine Drugs**, v. 18, n. 2, p. 75, 2020.

DOI: <https://doi.org/10.3390/md18020075>

Karsten, U.; Franklin, L. A.; Lüning, K.; Wiencke, C. Natural ultraviolet radiation and photosynthetically active radiation induce formation of mycosporine-like amino acids in the marine macroalga *Chondrus crispus* (Rhodophyta). **Planta**, v. 205, p. 257-262, 1998.

DOI: 10.1007/s004250050319

Kerswell, A.P. Global biodiversity patterns of benthic marine algae. **Ecology**, v. 87, n.10, p. 2479-2488, 2006.

DOI: [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[2479:GBPOBM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[2479:GBPOBM]2.0.CO;2)

Koch, M.; Bowes, G.; Ross, C.; Zhang, X. H. Climate change and ocean acidification effects on seagrasses and marine macroalgae. **Global change biology**, v. 19, n. 1, p. 103-132, 2013.

DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02791.x>

Lalegerie F.; Lajili S.; Bedoux G.; Taupin L.; Stiger-Pouvreau V.; Connan S. Photo-protective compounds in red macroalgae from Brittany: Considerable diversity in mycosporine-like amino acids (MAAs). **Marine environmental research**, v. 147, p. 37-48, 2019.

DOI: 10.1016/j.marenvres.2019.04.001

Lalegerie, F.; Lajili, S.; Bedoux, G.; Taupin, L.; Stiger-Pouvreau, V.; Connan, S. Photo-protective compounds in red macroalgae from Brittany: Considerable diversity in mycosporine-like amino acids (MAAs). **Marine environmental research**, v. 147, p. 37-48, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.04.001>

Lobosco, M.P.J.; Silva, R.M.C.R.A.; Pereira, E.R.; Carneiro, E.C. da S.P.; Andrade, A.C. dos S. A relação entre a educação ambiental e protetores solares naturais: Uma revisão integrativa. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 6, 2020.

DOI: 10.33448/rsd-v9i6.3535

Magalhães, D.P.; Ferrão-Filho, A.S. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **O ecol. Bras.**, v.12, n.3, p.355-381, 2008.

ISSN: 1980-6442

Marques, L.G. Aminoácidos tipo micospolina: novas metodologias e distribuição em macroalgas da costa brasileira. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Marques, S.M.; Américo-Pinheiro, J.H.P. Algas como bioindicadores da qualidade da água. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 10, n. 19, 2017. **DOI:** 10.17271/19843240101920171651

Mineur, F.; Arenas, F.; Assis, J.; Davies, A.J.; Engelen, A.H.; Fernandes, F.; Malta, E.; Thibaut, T.; Van Nguyen, T.; Vaz-Pinto, F.; Vranken, S.; Serrão, E.A.; De Clerck, O. European seaweeds under pressure: Consequences for communities and ecosystem functioning. **Journal of sea research**, v. 98, p. 91-108, 2015. **DOI:** <https://doi.org/10.1016/j.seares.2014.11.004>

Murray, S.N.; Littler, M.M. Patterns of algal succession in a perturbed marine intertidal community 1. **Journal of Phycology**, v. 14, n. 4, p. 506-512, 1978. **DOI:** <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1978.tb02477.x>

Nakamura, H.; Kobayashi, J.; Hirata, Y. Separation of mycosporine-like amino acids in marine organisms using reversed-phase high-performance liquid chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 250, p. 113-118, 1982. **DOI:** [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)95219-1](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)95219-1)

Newman, S. J.; Dunlap, W. C.; Nicol, S.; Ritz, D. Antarctic krill (*Euphausia superba*) acquire a UV-absorbing mycosporine-like amino acid from dietary algae. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 255, n. 1, p. 93-110, 2000. **DOI:** [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(00\)00293-8](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(00)00293-8)

OLIVEIRA, C.S.D. **Prospecção de compostos bioativos nas macroalgas *Himanthalia elongata*, *Laminaria ochroleuca* e *Undaria pinnatifida*.** 2015. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado. Universidade de Aveiro.

Oliveira, M.C.; Pellizzari, F.; Medeiros, A.; Yokoya, N.S. Diversity of Antarctic seaweeds. **Antarctic Seaweeds: Diversity, Adaptation and Ecosystem Services**, p. 23-42, 2020.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-39448-6_2

Orfanoudaki, M.; Alilou, M.; Hartmann, A.; Mayr, J.; Karsten, U.; Nguyen-Ngoc, H.; Ganzera, M. Isolation and Structure Elucidation of Novel Mycosporine-like Amino Acids from the Two Intertidal Red Macroalgae *Bostrychia scorpioides* and *Catenella caespitosa*. **Marine Drugs**, v. 21, n. 10, p. 543, 2023.
DOI: 10.3390/md21100543

Orfanoudaki, M.; Hartmann, A.; Kamiya, M.; West, J.; Ganzera, M. Chemotaxonomic study of *Bostrychia* spp. (Ceramiales, Rhodophyta) based on their mycosporine-like amino acid content. **Molecules**, v. 25, n. 14, p. 3273, 2020.
DOI: 10.3390/molecules25143273

Orfanoudaki, M.; Hartmann, A.; Miladinovic, H.; Nguyen Ngoc, H.; Karsten, U.; Ganzera, M. Bostrychines A–F, six novel mycosporine-like amino-acids and a novel betaine from the red alga *Bostrychia scorpioides*. **Marine drugs**, v. 17, n. 6, p. 356, 2019.
DOI: 10.3390/md17060356

Peck, L.S. Prospects for survival in the Southern ocean: extreme temperature sensitivity of benthic species. **Antarct Sci**, v. 17, n. 4, p. 497-507, 2005.

Pellizzari, F. Monitoramento da diversidade de macroalgas na Ilha da Trindade conservação e implicações ecológicas, frente às mudanças climáticas. *As Ciências do mar em todos os seus aspectos*. **Atena Editora**, p. 43-64, 2019.

Pellizzari, F. O UNIVERSO COLORIDO DAS ALGAS MARINHAS: IMPORTÂNCIA PARA A CONSERVAÇÃO DOS OCEANOS, E PARA A NOSSA SAÚDE. 1. ed.
Ponta Grossa: **Atena Editora**, 2023. v. 1., 2023.
DOI: 10.22533/at.ed.479232804

Pellizzari, F.; Oliveira, E.C.; Yokoya, N.S. Desenvolvimento das bases biológicas e de técnicas para o cultivo de algas verdes de talo monostromático (Chlorophyta) no litoral do Paraná, Sul do Brasil. 2005.

Pellizzari, F.; Silva, M.C.; Medeiros, A.; Oliveira, M.C.; Yokoya, N.S.; Pupo, D.; Rosa, L.H.; Colepicolo, P. Diversity and spatial distribution of seaweeds in the South Shetland Islands, Antarctica: an updated database for environmental monitoring under climate change scenarios. **Polar biology**, v. 40, p. 1671-1685, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00300-017-2092-5>

Pellizzari, F.M.; Bernardi, J.; Silva, E.M.; Silva, M.C.; Yokoya, N.S. Benthic marine algae from the insular areas of Paraná, Brazil: new database to support the conservation of marine ecosystems. **Biota Neotropica**, v. 14, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1590/1676-060320140615183049>

Pereira, L. **Guia ilustrado das macroalgas**. Imprensa da Universidade de Coimbra/Coimbra University Press, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0397-1>

Raven, P.H.; Eichhorn, S.E.; Evert, R.F. Biologia Vegetal. 8a Edição. **Guanabara Koogan**, 867p, 2014.
ISBN: 9788527723626

Reis, R.P.; Caldeira, A.Q.; Miranda, A.P.S.; Barros-Barreto, M.B. Cultivo de algas vermelha de interesse comercial na Ilha da Marambaia, Rio de Janeiro, Brasil. **Museu Nacional Série Livros**, v. 10, p. 287-300, 2005.

Reis, R.P.; Caldeira, A.Q.; Miranda, A.P.S.; Barros-Barreto, M.B. Potencial para maricultura da carragenófita *Hypnea musciformis* (Wulfen) J.V. Lamour. (Gigartinales-Rhodophyta) na Ilha da Marambaia, Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 763-769, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062006000400002>

Ricklefs, R.E. A Economia da Natureza. 6a. ed. Ed. **Editora Guanabara Koogan**, Rio de Janeiro. 546p. 2010.

ISBN: 978-8527716772

Rosic, N.N.; Dove, S. Mycosporine-like amino acids from coral dinoflagellates. **Applied and environmental microbiology**, v. 77, n. 24, p. 8478-8486, 2011.

DOI: 10.1128/AEM.05870-11

Salehian, S.; Saadatbakht, M.; Tabarzad, M.; Hosseinabadi, T. Culture optimization to produce high yields of mycosporine-like amino acids by *Fischerella* sp. F5.

Molecular Biotechnology, p. 1-11, 2023.

DOI: 10.1007/s12033-023-00854-4

Santos, A.J.M.; Miranda, M.S.; Da Silva, J.E. Os produtos de degradação de filtros UV em soluções aquosas e aquosas cloradas. **Pesquisa hídrica**, v. 46, n. 10, pág. 3167-3176, 2012.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.waters.2012.03.057>

Santos, S.O.; Sobrinho, R.R.; De Oliveira, T.A. Importância do uso de protetor solar na prevenção do câncer de pele e análise das informações desses produtos destinados a seus usuários. **Journal of Health & Biological Sciences**, v. 6, n. 3, p. 279-285, 2018.

DOI: <https://doi.org/10.12662/2317-3076jhbs.v6i3.1913.p279-285.2018>

Sato, L.; Guiry, M.D.; Guiry, G.M. **AlgaeBase**. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponível em: <https://www.algaebase.org>. Acesso em 20 de janeiro de 2024.

Scherner, F.; Horta, P.A.J. Impacto da urbanização sobre a performance fotossintética de macroalgas marinhas. 2012.

Schneider, S.L.; Lim, H.W. Review of environmental effects of oxybenzone and other sunscreen active ingredients. **Journal of the American Academy of Dermatology**,

v. 80, n. 1, p. 266-271, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2018.06.033>

Shukla, V.; Kumari, R.; Patel, D.K.; Upreti, D.K. Characterization of the diversity of mycosporine-like amino acids in lichens from high altitude region of Himalaya. **Amino Acids**, v. 48, p. 129-136, 2016.
DOI: [10.1007/s00726-015-2069-z](https://doi.org/10.1007/s00726-015-2069-z)

Siller, A.; Blaszkak, S.C.; Lazar, M.; Olasz-Harken, E. Update about the effects of the sunscreen ingredients oxybenzone and octinoxate on humans and the environment. **Plastic and Aesthetic Nursing**, v. 38, n. 4, p. 158-161, 2018.
DOI: [10.1097/PSN.0000000000000244](https://doi.org/10.1097/PSN.0000000000000244)

Silva, R.A.; Silva R.V.P.; Cavalcanti E.P.; Dos Santos, D.N. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 501-509, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000500007>

Sinha R.P.; Singh S.P.; Häder D.P. Database on mycosporines and mycosporine-like amino acids (MAAs) in fungi, cyanobacteria, macroalgae, phytoplankton and animals. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 89, n. 1, p. 29-35, 2007.
DOI: [10.1016/j.jphotobiol.2007.07.006](https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2007.07.006)

Souza, M.T.; Silva, M.D.; Carvalho, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein (São Paulo)**, v. 8, p. 102-106, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S1679-45082010RW1134>

Stévant, P.; Schmedes, P.S.; Le Gall, L.; Wegeberg, S.; Dumay, J.; Rebours, C. Concise review of the red macroalga dulse, *Palmaria palmata* (L.) Weber & Mohr. **Journal of Applied Phycology**, v. 35, n. 2, p. 523-550, 2023.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-022-02899-5>

Stochaj, W. R.; Dunlap, W. C.; Shick, J. M. Two new UV-absorbing mycosporine-like amino acids from the sea anemone *Anthopleura elegantissima* and the effects of zooxanthellae and spectral irradiance on chemical composition and content. **Marine Biology**, v. 118, p. 149-156, 1994.
DOI: 10.1007/BF00699229

Suganya, T.; Varman, M.; Masjuki, H.H.; Renganathan, S. Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: A biorefinery approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 909-941, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.026>

Sun, Y.; Zhang, N.; Zhou, J.; Dong, S.; Zhang, X.; Guo, L.; Guo, G. Distribution, contents, and types of mycosporine-like amino acids (MAAs) in marine macroalgae and a database for MAAs based on these characteristics. **Marine Drugs**, v. 18, n. 1, p. 43, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.3390/md18010043>

Surget, G.; Roberto, V.P.; Le Lann, K.; Mira, S.; Guérard, F.; Laizé, V.; Poupart, N.; M. Cancela, L.; Stiger-Pouvreau, V. Marine green macroalgae: A source of natural compounds with mineralogenic and antioxidant activities. **Journal of applied phycology**, v. 29, p. 575-584, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0968-3>

Suutari, M.; Leskinen, E.; Fagerstedt, K.; Kuparinen, J.; Kuuppo, P.; Blomster, J. Macroalgae in biofuel production. **Phycological Research**, v. 63, n. 1, p. 1-18, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1111/pre.12078>

Szabó, M.; Larkum, A.W.D.; Vass, I. A review: the role of reactive oxygen species in mass coral bleaching. **Photosynthesis in algae: biochemical and physiological mechanisms**, p. 459-488, 2020.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33397-3_17

Vega, J.; Schneider, G.; Moreira, B.R.; Herrera, C.; Bonomi-Barufi, J.; Figueroa, F.L. Mycosporine-like amino acids from red macroalgae: UV-photoprotectors with potential cosmeceutical applications. **Applied Sciences**, v. 11, n. 11, p. 5112, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.3390/app11115112>

Vidotti, E.C.; Rollemberg, M.C.E. Algas: da economia nos ambientes aquáticos à biorremediação e à química analítica. **Química nova**, v. 27, p. 139-145, 2004.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422004000100024>

Winder, M.; Sommer, U. Phytoplankton response to a changing climate. **Hydrobiologia**, v. 698, p. 5-16, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1149-2>

Winter, A.R.; Fish, T.A.; Playle, R.C.; Smith, D.S.; Curtis, P.J. Photodegradation of natural organic matter from diverse freshwater sources. **Aquatic Toxicology**, v. 84, n. 2, p. 215-222, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2007.04.014>

Wittenburg, J.B. The source of carbon monoxide in the float of the Portuguese man-of-war *Physalia physalis* L. **J. Exp. Biol**, v. 37, p. 698-705, 1960.

Xavier, A.M.; Lima, A.G.; Vigna, C.R.M.; Verbi, F.M.; Bortoleto, G.G.; Goraieb, K.; Collins, C.H.; Silveira-Bueno, M.I.M. Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. **Química Nova**, v. 30, p. 83-91, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000100019>

Yokoya, N.S.; Pellizzari, F.M.; Felício, R.; Armstrong, L.; Debonsi, H.M.; Guimarães, S. M. P. B.; Fujii, M.T. Mangrove Macroalgal Communities in Brazilian Mangroves and Salt Marshes, eds. Schaeffer-Novelli, Cintrón-Molero & Abuchahla. **SPRINGER SCIENCE REVIEWS**, v. 01, p. 113-126, 2021.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-13486-9_8

Yoneshigue-Valentin, Y.; Fernandes, D.; Pereira, C.B.; Ribeiro, S.M. Macroalgas da plataforma continental da Ilha de Trindade e do arquipélago Martim Vaz (Espírito

Santo–Brasil). **Anais da 10a Reunião Brasileira de Ficologia, Museu Nacional,**
Série Livros, p. 361-372, 2005.
DOI: 10.13140/2.1.1755.4889



12.REFERÊNCIAS BASE DE ARTIGOS REVISÃO SISTEMÁTICA - ENUMERADOS

1. Lalegerie, F.; Lajili, S.; Bedoux, G.; Taupin, L.; Stiger-Pouvreau, V.; Connan, S. Photo-protective compounds in red macroalgae from Brittany: Considerable diversity in mycosporine-like amino acids (MAAs). **Marine environmental research**, v. 147, p. 37-48, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.04.001>

2. Hartmann, A.; Murauer, A.; Ganzera, M. Quantitative analysis of mycosporine-like amino acids in marine algae by capillary electrophoresis with diode-array detection. **Journal of pharmaceutical and biomedical analysis**, v. 138, p. 153-157, 2017.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2017.01.053>

3. Figueroa, F.L.; Álvarez-Gómez, F.; Bonomi-Barufi, J.; Vega, J.; Massocato, T.F.; Gómez-Pinchetti, J.L.; Korbee, N. Interactive effects of solar radiation and inorganic nutrients on biofiltration, biomass production, photosynthetic activity and the accumulation of bioactive compounds in *Gracilaria cornea* (Rhodophyta). **Algal Research**, v. 68, p. 102890, 2022.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102890>

4. Álvarez-Gómez, F.; Bouzon, Z.L.; Korbee, N.; Celis-Plá, P.; Schmidt, E.C.; Figueroa, F.L. Combined effects of UVR and nutrients on cell ultrastructure, photosynthesis and biochemistry in *Gracilariopsis longissima* (Gracilariales, Rhodophyta). **Algal research**, v. 26, p. 190-202, 2017.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.07.022>

5. Pliego-Cortés, H.; Bedoux, G.; Boulho, R.; Taupin, L.; Freile-Pelegrín, Y.; Bourgougnon, N.; Robledo, D. Stress tolerance and photoadaptation to solar radiation in *Rhodomyenia pseudopalmata* (Rhodophyta) through mycosporine-like amino acids, phenolic compounds, and pigments in an Integrated Multi-Trophic Aquaculture system. **Algal Research**, v. 41, p. 101542, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101542>

6. Schneider, G.; Figueroa, F.L.; Vega, J.; Chaves, P.; Álvarez-Gómez, F.; Korbee, N.; Bonomi-Barufi, J. Photoprotection properties of marine photosynthetic organisms grown in high ultraviolet exposure areas: Cosmeceutical applications. **Algal Research**, v. 49, p. 101956, 2020.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101956>

7. Rangel, K.C.; Villela, L.Z.; de Castro Pereira, K.; Colepicolo, P.; Debonsi, H.M.; Gaspar, L.R. Assessment of the photoprotective potential and toxicity of Antarctic red macroalgae extracts from *Curdiea racovitzae* and *Iridaea cordata* for cosmetic use. **Algal Research**, v. 50, p. 101984, 2020.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101984>

8. Barufi, J. B.; Figueroa, F.L.; Korbee, N.; Momoli, M.M.; Martins, A.P.; Colepicolo, P.; Van Sluys, M.; Oliveira, M.C. How macroalgae can deal with radiation variability and photoacclimation capacity: The example of *Gracilaria tenuistipitata* (Rhodophyta) in laboratory. **Algal Research**, v. 50, p. 102007, 2020.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102007>

9. Gómez, I.; Figueroa, F.L.; Huovinen, P.; Ulloa, N.; Morales, V. Photosynthesis of the red alga *Gracilaria chilensis* under natural solar radiation in an estuary in southern Chile. **Aquaculture**, v. 244, n. 1-4, p. 369-382, 2005.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.11.037>

10. Kräbs, G.; Bischof, K.; Hanelt, D.; Karsten, U.; Wiencke, C. Wavelength-dependent induction of UV-absorbing mycosporine-like amino acids in the red alga *Chondrus crispus* under natural solar radiation. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 268, n. 1, p. 69-82, 2002.

DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(01\)00380-X](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(01)00380-X)

11. Karsten, U.; Sawall, T.; Wiencke, C. A survey of the distribution of UV-absorbing substances in tropical macroalgae. **Phycological Research**, v. 46, n. 4, p. 271-279, 1998.

DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1440-1835.1998.00144.x>

12. Veliz, K.; Chandia, N.; Bischof, K.; Thiel, M. Geographic variation of UV stress tolerance in red seaweeds does not scale with latitude along the SE Pacific coast. **Journal of phycology**, v. 56, n. 4, p. 1090-1102, 2020.

DOI: <https://doi.org/10.1111/jpy.13009>

13. Kräbs, G.; Wiencke, C. Photosynthesis, photosynthetic pigments and mycosporine-like amino acids after exposure of the marine red alga *Chondrus crispus* (Gigartinales, Rhodophyta) to different light qualities. **Phycologia**, v. 44, n. 1, p. 95-102, 2005.

DOI: [https://doi.org/10.2216/0031-8884\(2005\)44\[95:PPPAMA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2216/0031-8884(2005)44[95:PPPAMA]2.0.CO;2)

14. Álvarez-Gómez, F.; Korbee, N.; Figueroa, F.L. Analysis of antioxidant capacity and bioactive compounds in marine macroalgal and lichenic extracts using different solvents and evaluation methods. **Ciências marinhas**, v. 42, n. 4, p. 271-288, 2016.

DOI: <https://doi.org/10.7773/cm.v42i4.2677>

15. Oren, A.; Gunde-Cimerman, N. Mycosporines and mycosporine-like amino acids: UV protectants or multipurpose secondary metabolites?. **FEMS microbiology letters**, v. 269, n. 1, p. 1-10, 2007.

DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2007.00650.x>

16. Franklin, L.A.; Lüning, K. Natural UV enhances chloroplast protein damage in *Chondrus crispus*, despite the presence of UV screening pigments. In: *Photosynthesis: Mechanisms and Effects: Volume I–V: Proceedings of the XIth International Congress on Photosynthesis, Budapest, Hungary, August 17–22, 1998*. Springer Netherlands, 1998. p. 2357-2359.

DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-011-3953-3_553

17. Cruces, E.; Huovinen, P.; Gómez, I. Stress proteins and auxiliary anti-stress compounds in intertidal macroalgae. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 40, n. 4, p. 822-834, 2012.

DOI: <https://doi.org/10.3856/vol40-issue4-fulltext-1>

18. Roleda, M.Y.; Zacher, K.; Wulff, A.; Hanelt, D.; Wiencke, C. Susceptibility of spores of different ploidy levels from Antarctic *Gigartina skottsbergii* (Gigartinales, Rhodophyta) to ultraviolet radiation. **Phycologia**, v. 47, n. 4, p. 361-370, 2008.

DOI: <https://doi.org/10.2216/PH07-84.1>

19. Aigner, S.; Holzinger, A.; Karsten, U.; Kranner, I. The freshwater red alga *Batrachospermum turfosum* (Florideophyceae) can acclimate to a wide range of light and temperature conditions. **European Journal of Phycology**, v. 52, n. 2, p. 238-249, 2017.

DOI: <https://doi.org/10.1080/09670262.2016.1274430>

20. Figueroa, F.L.; Barufi, J.B.; Malta, E.J.; Conde-Álvarez, R.; Nitschke, U.; Arenas, F.; Stengel, D. B. Short-term effects of increasing CO₂, nitrate and temperature on three Mediterranean macroalgae: biochemical composition. **Aquatic Biology**, v. 22, p. 177-193, 2014.

DOI: 10.3354/ab00610

21. Celis-Plá, P.S.M.; Martínez, B.; Quintano, E.; García-Sánchez, M.; Pedersen, A.; Navarro, N.P.; Copertino, M.S.; Mangaiyarkarasi, N.; Mariath, R.; Figueroa, F.L.; Korbee, N. Short-term ecophysiological and biochemical responses of *Cystoseira tamariscifolia* and *Ellisolandia elongata* to environmental changes. **Aquatic Biology**, v. 22, p. 227-243, 2014.

DOI: 10.3354/ab00573

22. Korbee, N.; Navarro, N.P.; García-Sánchez, M.; Celis-Plá, P.S.M.; Quintano, E.; Copertino, M.D.S.; Andersen, A.; Mariath, R.; Mangaiyarkarasi, N.; Pérez-Ruzafa, A.; Figueroa, F.L.; Martínez, B. A novel in situ system to evaluate the effect of high CO₂

on photosynthesis and biochemistry of seaweeds. **Aquatic Biology**, v. 22, p. 245-259, 2014.

DOI: 10.3354/ab00594

23. Barufi, J.B.; Mata, M. T.; Oliveira, M.C.; Figueroa, F.L. Nitrate reduces the negative effect of UV radiation on photosynthesis and pigmentation in *Gracilaria tenuistipitata* (Rhodophyta): the photoprotection role of mycosporine-like amino acids.

Phycologia, v. 51, n. 6, p. 636-648, 2012.

DOI: 10.2216/10.77.1

24. Bautista-Saraiva, A.I.N.; Bonomi-Barufi, J.; Figueroa, F.L.; Necchi Jr, O. UV-radiation effects on photosynthesis and photoprotection in gametophytic and sporophytic stages of the freshwater red alga *Kumanoa ambigua* (Rhodophyta, Batrachospermales). **Phycological Research**, v. 66, n. 2, p. 108-116, 2018.

DOI: <https://doi.org/10.1111/pre.12209>

25. Boedeker, C.; Karsten, U. The occurrence of mycosporine-like amino acids in the gametophytic and sporophytic stages of *Bangia* (Bangiales, Rhodophyta).

Phycologia, v. 44, n. 4, p. 403-408, 2005.

DOI: [https://doi.org/10.2216/0031-8884\(2005\)44\[403:TOOMAA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2216/0031-8884(2005)44[403:TOOMAA]2.0.CO;2)

26. Briani, B.; Sissini, M.N.; Lucena, L.A.; Batista, M.B.; Costa, I.O.; Nunes, J.M.; Schmitz, C.; Ramlov, F.; Maraschin, M.; Korbee, N.; Rorig, L.; Horta, P.A.; Figueroa, F.L.; Barufi, J. B. The influence of environmental features in the content of mycosporine-like amino acids in red marine algae along the Brazilian coast. **Journal of phycology**, v. 54, n. 3, p. 380-390, 2018.

DOI: 10.1111/jpy.12640

27. Conde, F.R.; Churio, M.S.; Previtali, C.M. The photoprotector mechanism of mycosporine-like amino acids. Excited-state properties and photostability of porphyrin-334 in aqueous solution. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 56, n. 2-3, p. 139-144, 2000.

DOI: 10.1016/s1011-1344(00)00066-x

28. de Ramos, B.; da Costa, G.B.; Ramlov, F.; Maraschin, M.; Horta, P.A.; Figueroa, F.L.; Korbee, N.; Bonomi-Barufi, J. Ecophysiological implications of UV radiation in the interspecific interaction of *Pyropia acanthophora* and *Grateloupia turuturu* (Rhodophyta). **Marine environmental research**, v. 144, p. 36-45, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.11.014>

29. Figueroa, F.L.; Korbee, N.; Clerck, O.D.; Bárbara, I.; Gall, E.A. Characterization of *Grateloupia lanceola* (Halymeniales, Rhodophyta), an obscure foliose *Grateloupia* from the Iberian Peninsula, based on morphology, comparative sequence analysis and mycosporine-like amino acid composition. **European Journal of Phycology**, v. 42, n. 3, p. 231-242, 2007.

DOI: <https://doi.org/10.1080/09670260701327702>

30. Figueroa, F.L.; Bueno, A.; Korbee, N.; Santos, R.; Mata, L.; Schuenhoff, A. Accumulation of Mycosporine-like Amino Acids in *Asparagopsis armata* Grown in Tanks with Fishpond Effluents of Gilthead Sea Bream, *Sparus aurata*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 39, n. 5, p. 692-699, 2008.

DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2008.00199.x>

31. Figueroa, F.L.; Israel, A.; Neori, A.; Martínez, B.; Malta, E.J.; Put, A.; Inken, S.; Marquardt, R.; Abdala, R.; Korbee, N. Effect of nutrient supply on photosynthesis and pigmentation to short-term stress (UV radiation) in *Gracilaria conferta* (Rhodophyta). **Marine Pollution Bulletin**, v. 60, n. 10, p. 1768-1778, 2010.

DOI: 10.1016/j.marpolbul.2010.06.009

32. Figueroa, F.L.; Korbee, N.; Abdala, R.; Jerez, C.G.; López-de la Torre, M.; Güenaga, L.; Larrubia, M.A.; Gómez-Pinchetti, J.L. Biofiltration of fishpond effluents and accumulation of N-compounds (phycobiliproteins and mycosporine-like amino acids) versus C-compounds (polysaccharides) in *Hydropuntia cornea* (Rhodophyta). **Marine Pollution Bulletin**, v. 64, n. 2, p. 310-318, 2012.

DOI: 10.1016/j.marpolbul.2011.11.012

33. Borburema, H.D.; Graiff, A.; Marinho-Soriano, E.; Karsten, U. Photosynthetic performance, growth, pigment content, and photoprotective compounds of the mangrove macroalgae *Bostrychia calliptera* and *Bostrychia montagnei* (Rhodophyta) under light stress. **Frontiers in Marine Science**, v. 9, p. 989454, 2022.

DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.989454>

34. Franklin, L.A.; Yakovleva, I.; Karsten, U.; Lüning, K. Synthesis of mycosporine-like amino acids in *Chondrus crispus* (Florideophyceae) and the consequences for sensitivity to ultraviolet B radiation. **Journal of Phycology**, v. 35, n. 4, p. 682-693, 1999.

DOI: [10.1046/j.1529-8817.1999.3540682.x](https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.1999.3540682.x)

35. Franklin, L.A.; Kräbs, G.; Kuhlenkamp, R. Blue light and UV-A radiation control the synthesis of mycosporine-like amino acids in *Chondrus crispus* (Florideophyceae). **Journal of Phycology**, v. 37, n. 2, p. 257-270, 2001.

DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2001.037002257.x>

36. Huovinen, P.; Matos, J.; Pinto, I.S.; Figueroa, F.L. The role of ammonium in photoprotection against high irradiance in the red alga *Grateloupia lanceola*. **Aquatic Botany**, v. 84, n. 4, p. 308-316, 2006.

DOI: [10.1016/j.aquabot.2005.12.002](https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2005.12.002)

37. Jofre, J.; Celis-Plá, P.S.; Figueroa, F.L.; Navarro, N.P. Seasonal variation of mycosporine-like amino acids in three subantarctic red seaweeds. **Marine Drugs**, v. 18, n. 2, p. 75, 2020.

DOI: [10.3390/md18020075](https://doi.org/10.3390/md18020075)

38. Karsten, U.; Bischof, K.; Hanelt, D.; Tüg, H.; Wiencke, C. The effect of ultraviolet radiation on photosynthesis and ultraviolet-absorbing substances in the endemic Arctic macroalga *Devaleraea ramentacea* (Rhodophyta). **Physiologia Plantarum**, v. 105, n. 1, p. 58-66, 1999.

DOI: 10.1034/j.1399-3054.1999.105110.x

39. Karsten, U.; West, J.A. Living in the intertidal zone—seasonal effects on heterosides and sun-screen compounds in the red alga *Bangia atropurpurea* (Bangiales). **Journal of experimental marine biology and ecology**, v. 254, n. 2, p. 221-234, 2000.

DOI: 10.1016/s0022-0981(00)00280-x

40. Karsten, U.; Friedl, T.; Schumann, R.; Hoyer, K.; Lembcke, S. Mycosporine-like amino acids and phylogenies in green algae: prasiola and its relatives from the trebouxiophyceae (chlorophyta) 1. **Journal of Phycology**, v. 41, n. 3, p. 557-566, 2005.

DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2005.00081.x>

41. Korbee, N.; Figueroa, F.L.; Aguilera, J. Effect of light quality on the accumulation of photosynthetic pigments, proteins and mycosporine-like amino acids in the red alga *Porphyra leucosticta* (Bangiales, Rhodophyta). **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 80, n. 2, p. 71-78, 2005.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2005.03.002>

42. Korbee, N.; Figueroa, F.L.; Aguilera, J. Effects of ultraviolet radiation on *Laminaria saccharina* in relation to depth and tidal height in the Gulf of Maine. **Marine Ecology Progress Series**, v. 256, p. 75-85, 2003.

DOI: 10.3354/meps256075

43. Chaves-Peña, P.; de la Coba, F.; Figueroa, F.L.; Korbee, N. Quantitative and qualitative HPLC analysis of mycosporine-like amino acids extracted in distilled water for cosmetic uses in four Rhodophyta. **Marine drugs**, v. 18, n. 1, p. 27, 2019.

DOI: 10.3390/md18010027

44. Boedeker, C.; Karsten, U. The occurrence of mycosporine-like amino acids in the gametophytic and sporophytic stages of *Bangia* (Bangiales, Rhodophyta). **Phycologia**, v. 44, n. 4, p. 403-408, 2005.

DOI: [https://doi.org/10.2216/0031-8884\(2005\)44\[403:TOOMAA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2216/0031-8884(2005)44[403:TOOMAA]2.0.CO;2)

45. Nishida, Y.; Kumagai, Y.; Michiba, S.; Yasui, H.; Kishimura, H. Efficient extraction and antioxidant capacity of mycosporine-like amino acids from red alga dulse *Palmaria palmata* in Japan. **Marine drugs**, v. 18, n. 10, p. 502, 2020.

DOI: <https://doi.org/10.3390/md18100502>

46. Castejón, N.; Parailoux, M.; Izdebska, A.; Lobinski, R.; Fernandes, S.C. Valorization of the red algae *gelidium sesquipedale* by extracting a broad spectrum of minor compounds using green approaches. **Marine drugs**, v. 19, n. 10, p. 574, 2021.

DOI: [10.3390/md19100574](https://doi.org/10.3390/md19100574)

47. Sun, Y.; Han, X.; Hu, Z.; Cheng, T.; Tang, Q.; Wang, H.; Deng, X.; Han, X. Extraction, isolation and characterization of mycosporine-like amino acids from four species of red macroalgae. **Marine Drugs**, v. 19, n. 11, p. 615, 2021.

DOI: [10.3390/md19110615](https://doi.org/10.3390/md19110615)

48. Athukorala, Y.; Trang, S.; Kwok, C.; Yuan, Y.V. Antiproliferative and antioxidant activities and mycosporine-like amino acid profiles of wild-harvested and cultivated edible Canadian marine red macroalgae. **Molecules**, v. 21, n. 1, p. 119, 2016.

DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules21010119>

49. Navarro, N.P.; Figueroa, F.L.; Korbee, N. Mycosporine-like amino acids vs carrageenan yield in *Mazzaella laminarioides* (Gigartinales; Rhodophyta) under high and low UV solar irradiance. **Phycologia**, v. 56, n. 5, p. 570-578, 2017.

DOI: [10.2216/16-124.1](https://doi.org/10.2216/16-124.1)

50. Peinado, N.K.; Abdala Díaz, R.T.; Figueroa, F.L.; Helbling, E.W. Ammonium and UV radiation stimulate the accumulation of mycosporine-like amino acids in

Porphyra columbina (Rhodophyta) from Patagonia, Argentina 1. **Journal of Phycology**, v. 40, n. 2, p. 248-259, 2004.

DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2004.03013.x>

51. Hoyer, K.; Karsten, U.; Sawall, T.; Wiencke, C. Photoprotective substances in Antarctic macroalgae and their variation with respect to depth distribution, different tissues and developmental stages. **Marine Ecology Progress Series**, v. 211, p. 117-129, 2001.

DOI: 10.3354/meps211117

52. Rastogi, R.P.; Incharoensakdi, A. UV radiation-induced accumulation of photoprotective compounds in the green alga *Tetraspora* sp. CU2551. **Plant physiology and biochemistry**, v. 70, p. 7-13, 2013.

DOI: 10.1016/j.plaphy.2013.04.021

53. Korbee, N.; Huovinen, P.; Figueroa, F.L.; Aguilera, J.; Karsten, U. Availability of ammonium influences photosynthesis and the accumulation of mycosporine-like amino acids in two *Porphyra* species (Bangiales, Rhodophyta). **Marine Biology**, v. 146, p. 645-654, 2005.

DOI: 10.1007/s00227-004-1484-6

54. Zacher, K.; Roleda, M.Y.; Wulff, A.; Hanelt, D.; Wiencke, C. Responses of Antarctic *Iridaea cordata* (Rhodophyta) tetraspores exposed to ultraviolet radiation. **Phycological Research**, v. 57, n. 3, p. 186-193, 2009.

DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1440-1835.2009.00538.x>

55. Kalasariya, H.S.; Pereira, L. Dermo-cosmetic benefits of marine macroalgae-derived phenolic compounds. **Applied Sciences**, v. 12, n. 23, p. 11954, 2022.

DOI: <https://doi.org/10.3390/app122311954>

56. McReynolds, C.; Adrien, A.; Silvestre de Ferron, A.; Boussetta, N.; Grimi, N.; Pecastaing, L.; Fernandes, S.C. Extraction of Mycosporine-like Amino Acids and

Proteins from the Agarophyte *Gelidium corneum* Using Pulsed Power Techniques. **Foods**, v. 12, n. 7, p. 1473, 2023.

DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12071473>

57. Zwerger, M.; Schwaiger, S.; Ganzera, M. Efficient isolation of mycosporine-like amino acids from marine red algae by fast centrifugal partition chromatography. **Marine Drugs**, v. 20, n. 2, p. 106, 2022.

DOI: <https://doi.org/10.3390/md20020106>

58. Nishida, Y.; Saburi, W.; Miyabe, Y.; Kishimura, H.; Kumagai, Y. Characterization of Antioxidant Activity of Heated Mycosporine-like Amino Acids from Red Alga *Dulse Palmaria palmata* in Japan. **Marine drugs**, v. 20, n. 3, p. 184, 2022.

DOI: <https://doi.org/10.3390/md20030184>

59. Vega, J.; Bárcenas-Pérez, D.; Fuentes-Ríos, D.; López-Romero, J.M.; Hrouzek, P.; Figueroa, F.L.; Cheel, J. Isolation of Mycosporine-like Amino Acids from Red Macroalgae and a Marine Lichen by High-Performance Countercurrent Chromatography: A Strategy to Obtain Biological UV-Filters. **Marine Drugs**, v. 21, n. 6, p. 357, 2023.

DOI: <https://doi.org/10.3390/md21060357>

60. Orfanoudaki, M.; Hartmann, A.; Karsten, U.; Ganzera, M. Chemical profiling of mycosporine-like amino acids in twenty-three red algal species. **Journal of phycology**, v. 55, n. 2, p. 393-403, 2019.

DOI: 10.1111/jpy.12827

61. Rosic, N.N.; Braun, C.; Kvaskoff, D. Extraction and analysis of mycosporine-like amino acids in marine algae. **Natural products from marine algae: methods and protocols**, p. 119-129, 2015.

DOI: 10.1007/978-1-4939-2684-8_6

62. Schmid, D.; Schürch, C.; Züllli, F.; Nissen, H.P.; Prieur, H. Mycosporine-like amino acids: Natural UV-screening compounds from red algae to protect the skin against photoaging. **SÖFW-journal**, v. 129, n. 7, p. 38-42, 2003.

63. Singh, A.; Čížková, M.; Bišová, K.; Vitova, M. Exploring mycosporine-like amino acids (MAAs) as safe and natural protective agents against UV-induced skin damage. **Antioxidants**, v. 10, n. 5, p. 683, 2021.

DOI: 10.3390/antiox10050683

64. Rosic, N.N. Recent advances in the discovery of novel marine natural products and mycosporine-like amino acid UV-absorbing compounds. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 105, p. 7053-7067, 2021.

DOI: 10.1007/s00253-021-11467-9

65. Figueroa, F.L. Mycosporine-like amino acids from marine resource. **Marine drugs**, v. 19, n. 1, p. 18, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.3390/md19010018>

66. Vega, J.; Schneider, G.; Moreira, B.R.; Herrera, C.; Bonomi-Barufi, J.; Figueroa, F.L. Mycosporine-like amino acids from red macroalgae: UV-photoprotectors with potential cosmeceutical applications. **Applied Sciences**, v. 11, n. 11, p. 5112, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.3390/app11115112>

67. Stévant, P.; Schmedes, P. S.; Le Gall, L.; Wegeberg, S.; Dumay, J.; Rebours, C. Concise review of the red macroalga dulse, *Palmaria palmata* (L.) Weber & Mohr. *Journal of Applied Phycology*, v. 35, n. 2, p. 523-550, 2023.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-022-02899-5>

68. Núñez-Pons, L.; Avila, C.; Romano, G.; Verde, C.; Giordano, D. UV-protective compounds in marine organisms from the Southern Ocean. **Marine drugs**, v. 16, n. 9, p. 336, 2018.

DOI: <https://doi.org/10.3390/md16090336>

69. Aguilera, J.; Gracia-Cazaña, T.; Gilaberte, Y. New developments in sunscreens. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 22, n. 10, p. 2473-2482, 2023.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s43630-023-00453-x>

70. Elliott, A.; Mundy, C.J.; Gosselin, M.; Poulin, M.; Campbell, K.; Wang, F. Spring production of mycosporine-like amino acids and other UV-absorbing compounds in sea ice-associated algae communities in the Canadian Arctic. **Marine Ecology Progress Series**, v. 541, p. 91-104, 2015.

DOI: 10.3354/meps11540

71. Andreguetti, D.; Stein, E.M.; Pereira, C.M.; Pinto, E.; Colepicolo, P. Antioxidant Properties and UV Absorbance Pattern of Mycosporine-Like Amino Acids Analogs Synthesized in an Environmentally Friendly Manner. **Journal of Biochemical and Molecular Toxicology**, v. 27, n. 6, p. 305-312, 2013.

DOI: 10.1002/jbt.21489

Programa de Pós-Graduação
em Ambientes Litorâneos
e Insulares - UNESPAR