



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**SARGAÇOS NA COSTA DO BRASIL, E DE OUTRAS
REGIÕES: PROBLEMÁTICAS SOCIOECONÔMICAS E
AMBIENTAIS E POTENCIAIS APLICAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

THAÍS REIS DE SOUSA

Orientadora: Profa. Dra. Silvia Keiko Kawakami (UFPA)

BELÉM – PARÁ

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**SARGAÇOS NA COSTA DO BRASIL, E DE OUTRAS
REGIÕES: PROBLEMÁTICAS SOCIOECONÔMICAS E
AMBIENTAIS E POTENCIAIS APLICAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

THAÍS REIS DE SOUSA

Orientadora: Profa. Dra. Silvia Keiko Kawakami (UFPA)

BELÉM – PARÁ

2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

S725s Sousa, Thaís Reis de.
Sargaços na Costa do Brasil, e de outras regiões: problemáticas socioeconômicas e ambientais e potenciais aplicações / Thaís Reis de Sousa. — 2022.

ix, 45 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^ª. Dra. Silvia Keiko Kawakami
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Oceanografia, Belém, 2022.

1. Macroalgas marinhas. 2. Sargassum fluitans. 3. Sargassum natans. 4. Nutrientes. 5. Floração. I. Título.

CDD 551.466



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Faculdade de Oceanografia

SARGAÇOS NA COSTA DO BRASIL, E DE OUTRAS REGIÕES: PROBLEMÁTICAS SOCIOECONÔMICAS E AMBIENTAIS E POTENCIAIS APLICAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada por:

THAÍS REIS DE SOUSA

Como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Oceanografia, Ciências Exatas e da Terra, Oceanografia Química.

Data da aprovação: 08 / 02 / 2022

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Silvia Keiko Kawakami
Orientadora – UFPA

Prof. Dr. Vinicius Tavares Kütter
Membro – UFPA

Sarita Nunes Loureiro
Prof. Dra. Sarita Nunes Loureiro
Membro – UFPA

Dedico minha formatura aos meus avôs (*in memoriam*), Dorotéia dos Reis Sousa e Zacarias dos Reis Sousa, pelos quais ainda nutro tanto amor e vivo intensa saudade trazida por tantas lembranças que guardo em meu coração. Queria muito que eles estivessem aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que, na sua infinita bondade, me protegeu e me guiou na trajetória acadêmica, para que o sonho de ser Oceanógrafa, hoje, pudesse se tornar real.

Agradeço, imensamente, à minha mãe, Neide Maria Reis de Sousa, por me amar tanto e fazer o possível para eu realizar meus sonhos e me deixar feliz. Eu a amo tanto!

Ao meu quarteto preferido, minhas irmãs Paola Sousa, Thaianne Sousa, Maria Rita e Maria Beatriz por cada sorriso, abraço, palavra de carinho e apoio. E a toda minha família, em especial minhas tias Dulce Reis e Elisiana Reis.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Silvia Keiko Kawakami, que dentro da academia é a pessoa em que me inspiro, respeito e admiro grandemente. Muito obrigada querida profa, por toda sua dedicação, por todo ensinamento, paciência e por ter me ajudado a chegar até aqui. Sem sua ajuda, eu não teria conseguido.

A todo o corpo docente da Faculdade de Oceanografia da UFPA, pelo comprometimento com a mais nobre missão de nos ensinar a ser bons alunos e bons profissionais. Especialmente às Prof.^{as} Sury Monteiro e Solana Boschilia que, em momentos adversos, fizeram-se presentes e muito me ajudaram nessa jornada acadêmica.

Às minhas amigas Bárbara Brito, Camila Russo, Cibelle Brandão e Rita Andrade que, durante a academia, estiveram ao meu lado, criando elos que foram essenciais para que chegássemos até aqui, como colegas, amigas e irmãs.

Aos meus amigos Carlos Veiga, Isabelle Soares e Harisson Mesquita, pela parceria, pelos grupos de estudos e pelo acolhimento sempre disposto.

RESUMO

O ano de 2011 marca o início da ocorrência de grandes invasões de sargaço pelágico na costa do Brasil, com registros em alto mar na costa Norte e Nordeste do país. O sargaço é uma alga marrom pertencente ao gênero *Sargassum* e é típica de regiões tropicais, notavelmente no Mar dos Sargaços. O sargaço flutuante nas águas do Oceano Atlântico é guiado pelas correntes superficiais oceânicas. Além do Brasil, outras regiões afetadas recentemente pelo encalhe massivo de sargaços, como África Ocidental e Caribe, também ficam sujeitas a efeitos negativos sobre a saúde, qualidade das praias, biota e comunidades locais. Por outro lado, a biomassa de sargaço pelágico tem papel ecológico importante e é matéria-prima valiosa, que pode ser usada na produção de fertilizantes, biocombustíveis e como insumo para construção civil, indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica. Este trabalho consistiu em uma revisão da literatura com abordagem das causas e problemáticas socioeconômicas e ambientais associadas aos encalhes de sargaços, bem como a constituição bioquímica e potenciais aplicações desta macroalga. Os dados pretéritos produzidos pelo grupo do Laboratório de Oceanografia Química da UFPA também foram considerados e incluíram concentrações de fósforo, proteínas totais, cinzas e umidade para amostras de algas coletadas em Salinópolis em 2015. Desta forma, procurou-se contribuir com um melhor entendimento para o manejo e aproveitamento do sargaço pelágico que atinge a costa brasileira.

Palavras-chave: macroalgas marinhas; *Sargassum fluitans*; *Sargassum natans*; nutrientes; floração

ABSTRACT

The year 2011 dates the beginning of the occurrence of large invasions of pelagic sargasso in the coast of Brazil, with records at sea and strandings on beaches along the North and Northeastern coast of the country. Sargasso is a brown alga belonging to the genus *Sargassum* and is typical of tropical regions, notably in the Sargasso Sea. Floating sargasso in Atlantic Ocean waters is guided by surface ocean currents. In addition to Brazil, other regions recently affected by the massive sargasso stranding, such as West Africa, the Caribbean and the Gulf of Mexico, are also subject to negative effects on the quality of beaches, biota and local communities. On the other hand, pelagic sargasso biomass has an important ecological role, and is a valuable raw material, which can be used in the production of fertilizers, biofuels and as an input for the civil construction, food, cosmetic and pharmaceutical industries. In this work, we provide a review of the causes and socioeconomic and environmental problems associated with sargasso strandings, as well as the biochemical constitution and potential applications of this macroalgae. Previous data produced by the group of the Oceanography Laboratory of UFPA was also considered and included concentrations of phosphorus, total proteins, ashes and moisture from samples collected in Salinópolis during 2015. In this way, we hope to contribute to a better understanding of the management and use of the pelagic seaweed that reaches the Brazilian coast.

Keywords: marine macroalgae; *Sargassum fluitans*; *Sargassum natans*; nutrients; blooms.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS.....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OCORRÊNCIA DE <i>SARGASSUM</i> SPP. NA COSTA BRASILEIRA.....	3
2.1 O QUE PODE CAUSAR A FLORAÇÃO DE SARGAÇO PELÁGICO?.....	4
2.2 QUAL A POSSÍVEL ORIGEM DO SARGAÇO NA COSTA BRASILEIRA?.....	5
3 CONSTITUIÇÃO BIOQUÍMICA DE <i>SARGASSUM</i> SPP.....	7
3.1 ESTRUTURA CELULAR E COMPONENTES BIOATIVOS.....	7
3.2 CONDICIONANTES AMBIENTAIS E SAZONAIS.....	10
4 BLOOMS: PRODUÇÃO RÁPIDA E EFICIENTE DE <i>SARGASSUM</i> FLUTUANTE.....	2
5 OS MORFOTIPOS DE <i>SARGASSUM</i> FLUTUANTES.....	13
6 ASPECTOS NEGATIVOS E POSITIVOS DA OCORRÊNCIA DA BIOMASSA ALGAL DO <i>SARGASSUM</i> SPP.....	15
6.1 ASPECTOS NEGATIVOS.....	15
6.1.1 Economia prejudicada.....	15
6.1.2 Turismo comprometido.....	15
6.1.3 Saúde: problemas respiratórios, irritações na mucosa e estragos nas residências.....	16
6.1.4 Pesca afetada.....	16
6.1.5 Biodiversidade comprometida.....	17
6.1.6 Contaminação do meio ambiente.....	18
6.2 ASPECTOS POSITIVOS.....	19
6.2.1 Biodiversidade: reprodução, proteção, alimento e dispersão para a vida marinha.....	19
6.2.2 Sequestro de carbono e formação de calcita.....	20
6.3 POTENCIAIS USOS COMERCIAIS DE <i>SARGASSUM</i> SPP.....	22
6.3.1 Bioativos para indústria alimentícia.....	22

6.3.2 Aplicações para indústria farmacêutica/cosmética.....	24
6.3.3 Produção de energia.....	26
6.3.4 Nutrição animal.....	27
6.3.5 Fertilizante.....	27
6.3.6 Construção civil.....	28
7 O QUE TEM SIDO FEITO NO BRASIL?.....	30
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
REFERÊNCIAS.....	34

1 INTRODUÇÃO

Comuns na natureza, as macroalgas marinhas são ecologicamente semelhantes às plantas e geralmente são bentônicas, por viverem fixas a substratos consolidados nas áreas costeiras. Entretanto, um número reduzido de espécies são pelágicas, ou seja, flutuam livremente na superfície do mar e passam o ciclo de vida sem dependência de substratos. As macroalgas distribuem-se em três táxons principais, diferenciados com base na pigmentação, caracteres celulares e moleculares: algas vermelhas (Rhodophyta), algas verdes (Chlorophyta) e algas marrons (Phaeophyceae) (Adl *et al.* 2019). Diferentes espécies de macroalgas marrons conhecidas como sargaço (Fucales: Sargassaceae) começaram a atrair a atenção da comunidade científica, de órgãos governamentais e de setores da economia relacionados ao turismo e à pesca devido à invasão massiva dessas macroalgas em praias e regiões costeiras (Rodríguez-Martínez *et al.* 2016).

O gênero *Sargassum* é de ocorrência comum em regiões temperadas e tropicais, sendo particularmente abundante no norte do Golfo do México, no chamado Mar de Sargaços, nas ilhas ao norte do Caribe (Hu *et al.* 2016) e inclusive na costa sudoeste da Coreia do Sul (Choi *et al.* 2020). As espécies de sargaço pelágico, *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon e *S. fluitans* (Børgesen) Børgesen, podem se agregar em longos tapetes flutuantes, serem carregados por correntes oceânicas (Thompson *et al.* 2020) e, durante essa movimentação, fornecem habitats para muitos organismos (Laffoley *et al.* 2011). Além disso, o sargaço tem demonstrado importante papel global no sequestro de Carbono, pois a incorporação de Carbono dissolvido e a posterior sedimentação da biomassa algal contribuem para o transporte de Carbono para os compartimentos profundos (Krause-Jensen & Duarte 2016, Wang *et al.* 2018).

A migração anual de sargaço em pequenas quantidades para a região costeira do Caribe é considerada um processo natural (Thompson *et al.* 2020). No entanto, na última década, houve uma grande proliferação das espécies flutuantes, como *S. fluitans* e *S. natans*, no Golfo do México (Wang *et al.* 2019), na costa atlântica dos Estados Unidos (Milledge & Harvey 2016) e na costa oeste da África, da Serra Leoa a Gana (Smetacek & Zingone 2013). No Brasil, os tapetes de sargaço têm sido observados na costa Norte e Nordeste, incluindo o Arquipélago de Fernando de Noronha, as praias e plataformas dos Estados do Pará e

Maranhão, o Atol das Rocas e o Rochedo São Pedro e São Paulo (Sissini *et al.* 2017), porém o primeiro registro foi publicado por Széchy e colaboradores (2012), que avistaram grandes quantidades de algas em 2011 na plataforma continental amazônica

O encalhe massivo da biomassa algal de sargaço tem gerado transtorno econômico para as populações locais e é considerado prejudicial à saúde humana (Resiere *et al.* 2018), à pesca (Solarin *et al.* 2014) e ao turismo (Rodríguez-Martínez *et al.* 2020). A presença de toneladas de macroalgas nas zonas costeiras também gera problemas para a biodiversidade (Maurer *et al.* 2015), qualidade das águas (Van Tussenbroek *et al.* 2017) e pode alterar a morfologia das praias (Innocenti *et al.* 2018). Deste modo, ainda são necessários estudos para o aproveitamento e manejo da biomassa de sargaço em praias drasticamente afetadas pelos encalhes, principalmente para a América do Sul.

Neste trabalho foram elencadas as principais hipóteses que levam à invasão de sargaços nas regiões costeiras, as formas de mitigação com o aproveitamento da biomassa e retorno socioeconômico às populações e ecossistemas marinhos afetados. Dados preliminares do grupo de pesquisa também foram considerados para a discussão.

2 OCORRÊNCIA DE *SARGASSUM* SPP. NA COSTA BRASILEIRA

O Brasil possui uma extensa faixa litorânea, que se estende por aproximadamente 9.200 km e apresenta um conjunto diverso de ambientes costeiros que evoluíram durante o quaternário em resposta às mudanças no clima e no nível do mar (Dominguez 2009). Na zona costeira do Brasil, os registros de encalhes de sargaço em praias são recentes (Martinelli Filho *et al.* 2016 Sissini *et al.* 2017, Rossignolo *et al.* 2022). Grandes volumes dessa biomassa foram detectadas pela primeira vez na costa Norte do país no ano de 2011 através de imagens de satélite (Széchy *et al.* 2012, Gower *et al.* 2013, Wang *et al.* 2019). Em anos posteriores, o grande volume de biomassa foi observado em regiões costeiras da África Ocidental, com conexão para o mar do Caribe e ao Golfo do México (Wang *et al.* 2019). A conexão da biomassa de *Sargassum* spp. entre os locais relatados e a ocorrência sem precedentes nessas regiões foi nomeada como o “Grande Cinturão de *Sargassum* do Atlântico”, cuja extensão nos anos de 2015 e 2018 foi de aproximadamente 9 mil km (Wang *et al.* 2019). O transporte da biomassa de *Sargassum* entre essas regiões deve-se às correntes marítimas, ondas e ventos, e depende das variações sazonais dessas forçantes físicas (Carrillo & Pardo, 2020, Vázquez-Delfin *et al.* 2021).

O primeiro relato da ocorrência da macroalga flutuante no Brasil foi para o episódio de junho de 2011, quando tapetes de sargaços flutuantes foram observados em alto mar na costa Norte do país pela Marinha Brasileira. As amostras desse local foram identificadas como *Sargassum natans* (Széchy *et al.* 2012). *Sargassum* pelágico também foi avistado e coletado próximo a pluma do Rio Amazonas no ano de 2011, através de imagens de satélites (Gower *et al.* 2013, Lapointe *et al.* 2021).

Em 2014 e 2015, a presença de sargaço em grandes quantidades retornou e foi observada em alto mar, mas também encalhados em praias e tal ocorrência foi registrada em cinco locais na costa brasileira: Atol das Rocas, Arquipélago de Fernando de Noronha, Arquipélago de São Pedro e São Paulo, e nos estados do Pará e Maranhão (Sissini *et al.* 2017). No estado do Pará, o volume de sargaço pelágico que atingiu a praia do Atalaia foi tão grande que foi necessário o auxílio de caminhões para retirar as macroalgas depositadas na areia e transportá-las a outro lugar (Sissini *et al.* 2017). Estima-se que o valor médio de peso seco da biomassa tenha

alcançado aproximadamente 27 toneladas em 2014 e 150 toneladas em 2015 (Sissini *et al.* 2017). Para os anos posteriores ainda não há relato documentado de encalhes volumosos de sargaço, mas foram avistadas pequenas quantidades na areia das praias da região (Martinelli Filho *et al.* 2022 *submitted*).

Na plataforma costeira do estado do Maranhão, a presença do sargaço pelágico ocorreu em 2015 (Sissini *et al.* 2017) e também em anos posteriores. Em 2019, durante a realização de atividades acadêmica do curso de graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Pará (UFPA), discentes e docentes a bordo no navio Ciências do Mar II avistaram e coletaram amostras do sargaço pelágico em alto mar entre os dias 19 a 24 do mês de maio no período diurno (8 e 17 horas) ao longo de 6 km na Baía de São Marcos (Martinelli Filho *et al.* 2022 *submitted*). Recentemente, em maio de 2021, *Sargassum* pelágico novamente foi avistado por cerca de 4 km, sendo a biomassa estimada em aproximadamente 200 toneladas (Rossignolo, *et al.* 2022). Gouvêa *et al.* (2020) relataram a ocorrência de sargaço pelágico no estado de Pernambuco. Entretanto, ainda não foi avaliado se esse sargaço advém do Grande Cinturão de *Sargassum* do Atlântico.

2.1 O QUE PODE CAUSAR A FLORAÇÃO DE SARGAÇO PELÁGICO?

Por meio de dados de satélites, modelos numéricos e medições de campo, Wang *et al.* (2019) buscaram desvendar as causas da ocorrência sem precedentes de grandes quantidades de *Sargassum* para o Atlântico central. Os pesquisadores sugerem que as grandes florações das macroalgas no Atlântico central se desenvolveram localmente, sem relação com as populações do Mar de Sargaço. Essa informação é condizente com a pesquisa de Schell *et al.* (2015), que investigaram a composição e abundância de sargaço pelágico, sugerindo que os invasores não são originários do Mar de Sargaço. Wang *et al.* (2019), relatam que pequenas quantidades de *Sargassum* flutuante sem a formação de grandes aglomerados, existiam no Atlântico central antes das grandes florações de 2011. Desta forma, a hipótese é que o florescimento dos grandes volumes de sargaço pelágico no Atlântico central no ano de 2011 ocorreu em combinação da mudança da temperatura da água do mar e do maior aporte de nutrientes na região advindos por processos de ressurgência no Atlântico leste e da descarga de rios brasileiros (Wang *et al.* 2019) e rios africanos (Adet *et al.* 2017).

Hipóteses contrárias as pesquisas acima foram relatadas por Johns *et al.* (2020), que sugerem que a floração de *Sargassum* no Atlântico tropical é derivada de populações presentes do Mar do Sargaço que foram transportadas por anomalias de ventos entre os anos de 2009 e 2010. Além disso, ressaltam que o desenvolvimento dos extensos tapetes de sargaço em 2011 não pode ser sustentado somente pela hipótese de Wang *et al.* (2019) e Adet *et al.* (2017), que citam fontes de nutrientes distantes da área de ocorrência das florações de sargaço. Desta forma, Johns *et al.* (2020) indicam que as novas florações e acumulações de *Sargassum* spp. desde 2011 no Atlântico tropical teriam sido favorecidas em resposta à elevada intensidade da luz solar, e que a mistura vertical e ressurgência em oceano aberto são as principais vias de fornecimento de nutrientes que sustentam os novos tapetes de sargaço.

2.2 QUAL A POSSÍVEL ORIGEM DO SARGAÇO NA COSTA BRASILEIRA?

De modo similar, para explicar a origem da biomassa de *Sargassum* pelágico da região costeira do Brasil em 2014 e 2015, Sissini *et al.* (2017) utilizaram imagens de satélite em uma área específica, entre 10°N-10°S e 50°W-30°W, e avaliaram características oceanográficas como correntes de superfície e temperaturas da superfície do mar com auxílio do banco de dados da NOAA (Administração Nacional Oceânica e Atmosférica). Com esse conjunto de informações, constatou-se que não houve mobilidade de *Sargassum* para fora da área de prospecção. Já a temperatura da superfície do mar apresentou valores mais altos do que a média local, bem como a presença de uma corrente equatorial sul fraca de aproximadamente $0,2 \text{ m s}^{-1}$, para o período em que o sargaço foi visto na região.

Sissini *et al.* (2017) sugerem que o acúmulo da biomassa de sargaço pode ser resultado de uma combinação de condições físico-químicas da água do mar, assim como a interação biológica, pois a manutenção desta macroalga pode ser favorecida pela baixa pressão de herbivoria em águas abertas.

Com essas evidências, é possível que hoje no Atlântico central exista uma nova população de sargaço pelágico situado próximo a região influenciada pela Zona de Convergência Intertropical (ITCZ) sem conexão com a do Mar dos Sargaços (Johns *et al.* 2020). Essa nova

população parece florescer sazonalmente em um hábitat com maior disponibilidade de nutrientes e com maior intensidade de luz solar e temperaturas (Johns *et al.* 2020), comparado às condições da população do Atlântico Norte. No entanto, nenhuma das pesquisas relatadas acima afirma se essa nova ocorrência e distribuição de *Sargassum* spp. no Atlântico central é permanente.

A nova fonte de sargaço pelágico situado próximo à costa brasileira é apontada como uma área localizada na costa norte do estado do Amapá. Esta região é apresentada na Figura 1, assim como a região da área do Mar de Sargasso.

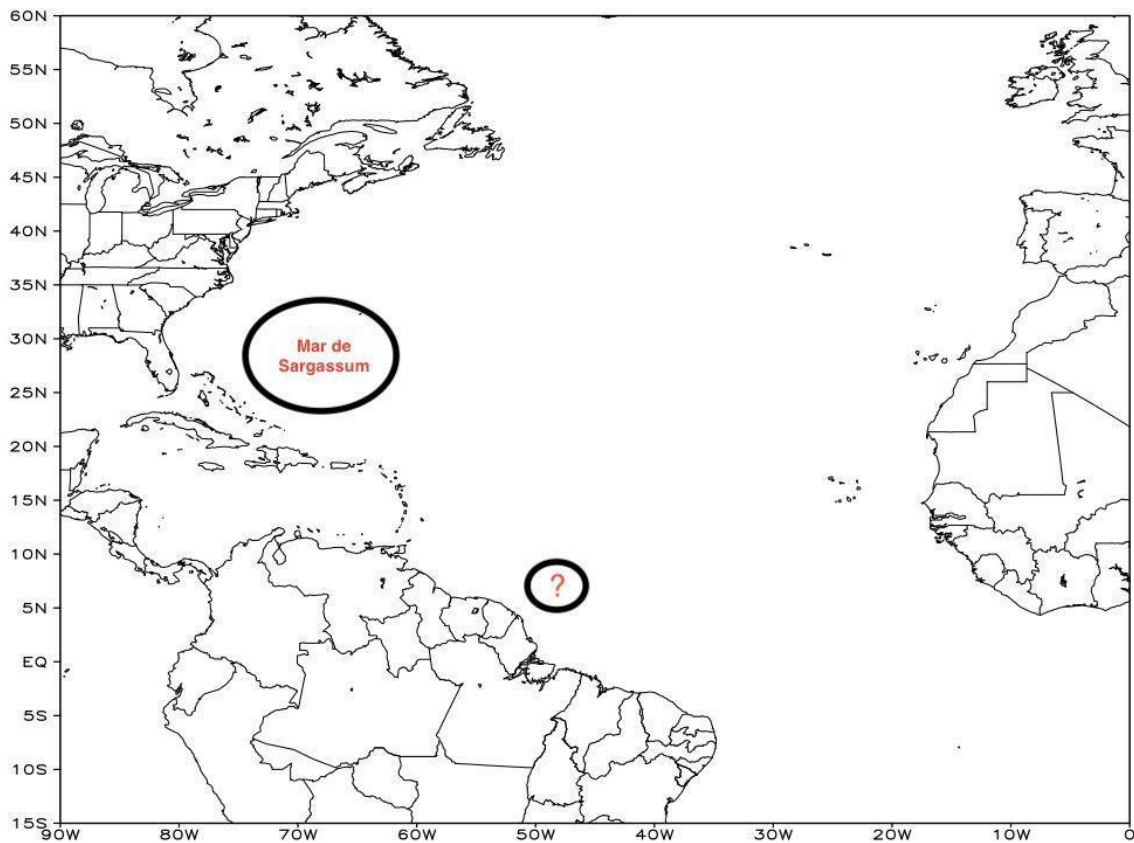


Figura 1- Mapa da localização aproximada da área do Mar dos Sargaços, Atlântico Norte, e de uma provável região fonte de *Sargassum* pelágico próximo a costa norte do Amapá, Brasil.

3 CONSTITUIÇÃO BIOQUÍMICA DE *SARGASSUM* SPP.

As algas marrons possuem essa cor em função de grandes quantidades de fucoxantina e pela presença de diversos taninos feofíceos (Davis *et al.* 2003). As características composicionais dependem das espécies, de fatores fisiológicos e condições ambientais, que podem ser sazonais.

3.1 ESTRUTURA CELULAR E COMPONENTES BIOATIVOS

As macroalgas marrons apresentam multicelularidade complexa, com origem a partir da classe Phaeophyceae (Kloareg *et al.* 2021). Kloareg *et al.* (2021) ressaltaram que na história evolutiva dos eucariotos, o desenvolvimento de uma matriz extracelular aderente (ECM), que são redes supramoleculares complexas, permitiu a aquisição da multicelularidade responsável pela mudança da autonomia celular para cooperação celular. Além disso, a ECM conecta as células, auxiliando na formação de tecidos e órgãos e conferindo aos tecidos de macroalgas marrom maior rigidez, flexibilidade e proteção de células contra estresses abióticos e bióticos. A estrutura da parede celular de uma macroalga marrom é apresentada na Figura 2 (adaptada de Kloareg *et al.* 2021).

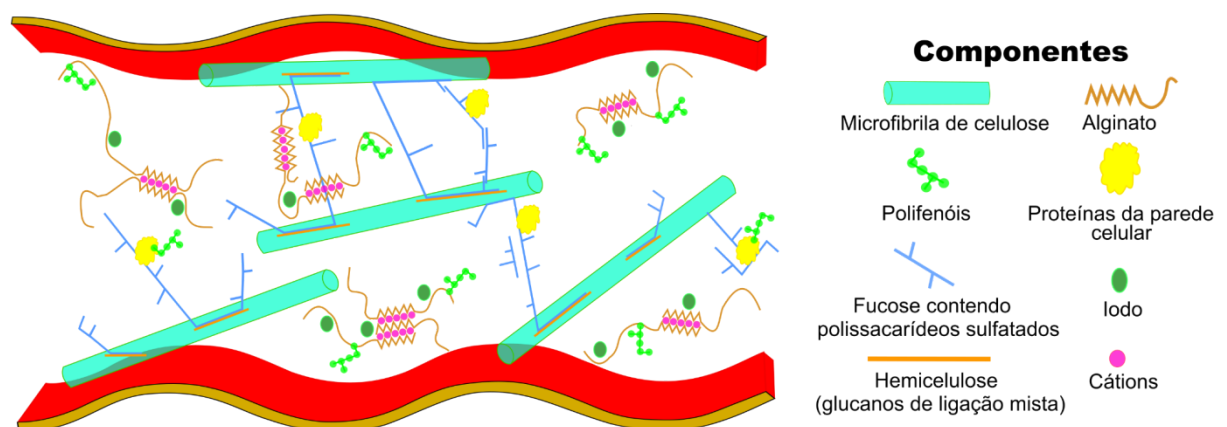


Figura 2 - Matriz extracelular de uma macroalga marrom. Adaptada de Kloareg *et al.* (2021). Os elementos indicados correspondem aos principais componentes estruturais como alginato, polissacarídeos sulfatados (Fucoidan), microfibrilas de celulose, hemicelulose e proteínas. Os demais componentes como polifenóis e cátions participam de processos de ligações com os componentes estruturais principais, exceto o iodo que não está claro como interage na parede celular de algas marrons.

Nos tecidos das espécies pelágicas de *Sargassum* foram identificados 28 elementos químicos: As, Ca, Cl, K, Mn, P, Rb, S, Si, Sr, Th, U, Mg, Al, V, Zn, Cu, Fe, Mo e Pb, Ba, Cd, Co, Cr, Ni, Ti, Y e Zr (Rodríguez-Martínez *et al.* 2020, Milledge *et al.* 2020), além de muitos constituintes bioquímicos conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1- Constituintes bioquímicos da mistura da biomassa de *S. natans* e *S. fluitans*.

Constituintes bioquímicos	Porcentagem (%peso seco)	Referência
Cinzas	94,53	Grupo LOQ/UFPA (2015)
Umidade	85,08	
Fósforo	1,02	
Proteína total	15,6 ± 4,0	
Carboidrato	57,3 ± 0,21	Oyesiku & Egunyomi (2014)
Fenóis	7,9*	Vázquez-Delfín <i>et al.</i> (2021)
Lipídios	3,0	
Fucoidan	8,6	
Alginato	31,3	
C	27,41	Milledge <i>et al.</i> (2020)
N	1,71	
Razão C/N	16,08	

* O valor do teor de fenóis é expresso em ($\mu\text{g mL}^{-1}$)

Como destacado na Tabela 1, o principal constituinte bioquímico da mistura da biomassa de *S. natans* e *S. fluitans* é o carboidrato, que representa mais de 55% do seu peso seco. Entre eles, o alginato, fucoidano e laminarano são os grupos principais dos polímeros presentes (Liu *et al.* 2012, Davis *et al.* 2003, Bula-Meyer *et al.* 2004). Sendo o alginato um carboidrato linear, composto por dois ácidos: ácido α -L-gulurônico (bloco G) e ácido β -D-manurônico (bloco M) (Roohinejad *et al.* 2017), o fucoidano um polissacarídeo sulfatado, e sua estrutura contém pequenas quantidades de outros açúcares, que muda de acordo com a fonte e espécie de sargaço, como exemplo: galactose, xilose, manose, glicose, ácido urônico, grupos acetil

(Chale-Dzul *et al.* 2020, Hifney *et al.* 2016, Lim *et al.* 2016), e o laminarano é uma substância de reserva, presente somente em algas marrons (Wijesekara & Karunarathna 2017), encontrada em vacúolos nas células (Kadam *et al.* 2014).

S. natans e *S. fluitans* possuem estruturas lignificadas que auxilia na formação de paredes celulares secundárias, o que resulta a estas espécies uma elevada capacidade de adsorção de metais, em especial para *S. natans* que apresenta maior concentração de metais comparada a *S. fluitans* (Alzate-Gaveria *et al.* 2021). As aplicações industriais são discutidas adiante.

Na Tabela 1 foi informada a concentração de fósforo, proteínas totais, cinzas e umidade de amostra mista de *S. fluitans* e *S. natans* coletadas em de maio de 2015, em Salinópolis, Pará, Brasil. Os dados pretéritos foram produzidos pelo grupo de pesquisa do Laboratório de Oceanografia Química da UFPA. Com essas análises foi possível pela primeira vez comparar as concentrações desses quatro constituintes bioquímicos entre as regiões da África, Brasil e Caribe que foram afetadas pelos recentes encalhes de sargaço.

A porcentagem de proteína total, informado no presente trabalho (Grupo LOQ/UFPA, 2015), foi de $15,6 \pm 4,0$, valor semelhante ao encontrado na região da Nigéria, $15,4 \pm 0,0$ (Oyesiku & Egunyomi, 2014). Entretanto, o valor de proteína relatado para diferentes praias do Caribe mexicano apresentou o valor máximo de $10,3 \pm 0,8$ (Vázquez-Delfin *et al.* 2021) que é uma concentração mais baixa do que a relatada para a região do Brasil e África.

A porcentagem de umidade de 85,08 (Grupo LOQ/UFPA, 2015) é semelhante ao encontrado para ilhas do Caribe de $81,98 \pm 0,89$ (Milledge *et al.* 2020). Já a concentração de cinzas de 94,53 (Grupo LOQ/UFPA, 2015) foi muito mais alta do que a encontrada para regiões do Caribe de $46,94 \pm 1,31$ (Milledge *et al.* 2020) e da Nigéria $8,65 \pm 0,07$ (Oyesiku & Egunyomi, 2014). É importante considerar que os métodos para obtenção de tais parâmetros interferem nos resultados, porém, poucos detalhes são fornecidos nos artigos consultados.

A porcentagem de fósforo total de 1,02 obtida pelo Grupo LOQ/UFPA (2015) foi muito menor do que a relatada para regiões do Caribe (Milledge *et al.* 2020). Isso pode ser decorrente do estágio fisiológico das amostras estudadas.

Ao comparar os dados biogeoquímicos identificou-se que a porcentagem de proteínas, umidade e cinzas da cidade de Salinópolis-PA foi maior do que as relatadas para região da África e Caribe, exceto a concentração de fósforo total que foi menor do que os valores relatados para Caribe.

Estudos apontam que rios brasileiros, como o Rio Amazonas e o Rio Pará, contribuem com o aporte de nutrientes para o oceano Atlântico Norte Tropical (Hollister *et al.* 2021, Carvalho *et al.* 2021). Bem como, indicam que a concentração de níquel, cobalto (Carvalho *et al.* 2021), silicato, nitrato e carbono orgânico dissolvido (Hollister *et al.* 2021) são mais altas na região localizada próxima a costa da plataforma continental Noroeste do Brasil, uma área que abrange a descarga do Rio Amazonas e Rio Pará, que é sugerida como uma possível área fonte de sargaço no Brasil, conforme destacado na Figura 1. Este fato pode ser um indicativo de que a biomassa de sargaço pelágico que navegou e/ou encalhou próxima a essa região costeira, como é o caso de Salinópolis-PA, podem apresentar quantidades mais elevadas destes elementos ao ser comparado com amostras de outras regiões.

Entretanto, uma análise química mais detalhada e completa dos constituintes bioquímicos de amostras de sargaço encalhadas no Brasil é necessária para uma melhor comparação de dados com outras regiões.

3.2 CONDICIONANTES AMBIENTAIS E SAZONAIS

O biovolume de *Sargassum* pelágico varia no tempo e no espaço (Vázquez-Delfín *et al.* 2021), dificultando o conhecimento químico elementar preciso desta macroalga. Assim, existem diferenças de elementos e concentrações em distintas amostras de *Sargassum natans* e *S. fluitans*.

Essas diferenças podem ser explicadas pela natureza pelágica do sargaço, que durante seu percurso na superfície do oceano está sujeito a diferentes condições ambientais (Vázquez-Delfín *et al.* 2021), e por sua capacidade de absorção de metais quando expostos em áreas com abundância desses constituintes (Rodríguez-Martínez *et al.* 2020). Portanto, ao estudar a composição bioquímica e química do sargaço, é de suma importância considerar os

parâmetros ambientais e as formas de coleta (Kumar *et al.* 2015). Os autores Rodríguez-Martínez *et al.* (2020) observaram que a composição elementar de sargaço pelágico variou no tempo e no espaço e apresentou diferenças também entre as espécies e morfotipos. Além disso, é provável que valores mais altos de salinidade da água do mar causem diminuição da atividade de osmorregulação de *Sargassum* spp. e propiciem o acúmulo de Na, K, Ca e Mg (Murugaiyan & Sivakumar 2008). Já o valor mais baixo de salinidade, devido ao aumento da descarga de água doce, propicia uma menor concentração de matéria inorgânica em *Sargassum* spp. (Kumar *et al.* 2015).

Estudos revelam que a composição bioquímica e nutricional de *Sargassum* spp. apresenta diferenças significativas em função da sazonalidade (Lapointe *et al.* 2021, Murugaiyan & Sivakumar 2008, Davis *et al.* 2003) e das partes vegetativas (Kumar *et al.* 2015, Davis *et al.* 2003). Nos tecidos de *S. fluitans* e *S. natans*, as porcentagens de C e N são maiores no inverno e primavera, comparadas com as demais estações (Lapointe *et al.* 2021) para o Atlântico Norte. A maior porcentagem de carboidratos totais presentes em *Sargassum* spp. foi encontrada em março e a mais baixa em julho (Kumar *et al.* 2015).

Kumar *et al.* (2015) observaram que para *Sargassum wightii*, o teor de carboidrato total, proteína total, lipídios, celulose, hemicelulose, compostos fenólicos, matéria inorgânica, macronutrientes e micronutrientes foram variáveis para diferentes partes dos talos vegetativos, como lâminas novas, lâminas velhas e eixo principal, e também em função da sazonalidade. Os autores indicam que as partes vegetativas jovens apresentam melhor fontes de proteínas e os eixos principais são uma boa fonte de fibra.

S. fluitans e *S. natans* por flutuarem na superfície do oceano estão expostos a radiação ultravioleta, e por esse motivo a composição de seus conteúdos de carotenóides e clorofilas podem ser diferentes das espécies de *Sargassum* bentônicas (Vázquez-Delfín *et al.* 2021). São relatados valores médios para os pigmentos de clorofila-*a* em 0,18% e clorofila-*b* em 0,05% e carotenóides em 0,1% (Vázquez-Delfín *et al.* 2021). Entretanto, esses valores podem ser maiores, pois o *Sargassum* pelágico aumenta a produção de carotenóides para enfrentar condições extremas de luz (Vázquez-Delfín *et al.* 2021).

4 BLOOMS: PRODUÇÃO RÁPIDA E EFICIENTE DE *SARGASSUM* FLUTUANTE

As espécies, *Sargassum natans* e *S. fluitans* são as únicas da família *Sargassum* que são holopelágicas (Hu *et al.* 2016), pois possuem vesículas de ar (pnematocistos), que lhes permitem flutuar na superfície do oceano (Lapointe *et al.* 2014). Embora a reprodução sexuada seja comum no gênero *Sargassum*, a mesma ainda não foi documentada para *S. natans* e *S. fluitans*. Tais espécies se reproduzem vegetativamente (Bula-Meyer *et al.* 2004), o que permite um aumento substancial da biomassa, seja pelo aumento do tamanho dos fragmentos ou por geração de novos talos flutuantes (Smetacek & Zingone 2013). Assim, ao invadir um novo espaço não ocorre disputa por substrato duro e evitam a competição de herbívoros bentônicos (Smetacek & Zingone 2013). *Sargassum natans* e *S. fluitans* são consideradas as espécies mais representativas dos grandes tapetes flutuantes observados no oceano Atlântico (Vásquez *et al.* 2020, Széchy *et al.* 2012, Schell *et al.* 2015) e em águas neríticas podem dobrar sua biomassa em aproximadamente 11 dias (Lapointe *et al.* 2014). Tais espécies de flutuação livre são encontradas somente no Oceano Atlântico (Doyle & Franks 2015).

5 OS MORFOTIPOS DE *SARGASSUM* FLUTUANTES

Parr (1939) revisou a literatura pretérita e realizou diversas amostragens de sargaço pelágico ao longo do Atlântico Tropical Oriental. Foram descritos e validados seis morfotipos para as duas espécies *Sargassum*: *S. fluitans* III e *S. fluitans* X e *S. natans* I, II, VIII e IX. As características estruturais dos morfotipos estão detalhadas em Parr (1939) e Taylor (1960).

Schell *et al.* (2015), à bordo do veleiro SSV Corwith Cramer da Sea Education Association (SEA) durante expedição de 2014, foram cercados por sargaços de morfologia diferentes das espécies com as quais estavam familiarizados ao longo de 20 anos de navegação no Mar de Sargaço. Esses pesquisadores identificaram a espécie *S. natans* VIII Parr como sendo a predominante nos encalhes de 2014 e 2015 no Caribe e, para tal, usaram como característica a haste lisa consistente, lâminas largas e espinhos nas vesículas de rara frequência. Essas e outras diferenças na estrutura física de *Sargassum* spp. podem influenciar o papel ecológico de cada forma (Schell *et al.* 2015, Martin *et al.* 2021). Entretanto, em uma pesquisa conduzida no ano de 2018 em praias no Caribe Mexicano identificou-se que o morfotipo de *S. natans* VIII apresentou menor abundância entre as biomassas dos encalhes comparado com *S. natans* I e a espécie de *S. fluitans* (Vázquez-Delfín *et al.* 2021). Assim, percebe-se que a ocorrência de morfotipos e sua abundância podem ser variáveis no tempo e espaço.

Um exemplo de *S. natans* VIII Parr é mostrado na Figura 3. Essa espécie foi a predominante no encalhe ocorrido na praia do Atalaia, Nordeste Paraense, Brasil, em 2015, enquanto na plataforma do Maranhão em 2019 *S. natans* I foi a mais frequente (Martinelli Filho *et al.* 2022 submetido). A composição química elementar do tecido de *S. fluitans* e *S. natans* mudou ao longo dos anos (Lapointe *et al.* 2021). Segundo esses pesquisadores, da década de 1980 a 2010 houve um aumento das porcentagens de C e N, e uma redução da % de P.



Figura 3 - *Sargassum natans* VIII Par. A amostra foi coletada em um volumoso encalhe de *Sargassum* spp. que ocorreu em 2015 na Praia do Atalaia, Nordeste Paraense, Brasil.

6 ASPECTOS NEGATIVOS E POSITIVOS DA OCORRÊNCIA DA BIOMASSA ALGAL DO *SARGASSUM* SPP.

6.1 ASPECTOS NEGATIVOS

6.1.1 Economia prejudicada

No estado de Quintana Roo, México, mais de 90% da biomassa de *Sargassum* spp. não foi removida da praia nos anos de 2014, 2015 e 2016 e a decomposição desse material produziu odores desagradáveis, impedindo que turistas e moradores frequentassem as praias e restaurantes próximos (Rodríguez-Martínez *et al.* 2016). Estima-se que em 2018, quando se observou o máximo de biomassa em todo o Caribe, os custos para limpeza das praias em toda região alcançaram 120 milhões de dólares sem considerar o valor perdido com a receita pela redução da atividade turística (Louime & Gervais 2017).

6.1.2 Turismo comprometido

O turismo e a pesca são atividades de grande importância para o estado de Quintana Roo, México, e contribuem consideravelmente para o produto interno bruto do país (Rodríguez-Martínez *et al.* 2016). O grande encalhe da biomassa de *Sargassum* spp. na costa do Caribe Mexicano teve início em 2014 (Van Tussenbroek *et al.* 2017), e afetou de forma negativa a indústria do turismo regional ao gerar altos custos para a remoção das algas das praias (Rodríguez-Martínez *et al.* 2016). Em 2015 foram contratados mais de quatro mil trabalhadores para atuarem na limpeza das praias, cujos esforços maiores se concentraram em praias notificadas com “Bandeira Azul” que são as mais visitadas pelos turistas (Rodríguez-Martínez *et al.* 2016).

Hotéis e restaurantes da região também contribuíram para a remoção do *Sargassum* spp. da praia com seus próprios meios, através do aterro da biomassa para criar dunas artificiais nas praias, mas devido ao grande volume de algas, não houve espaço suficiente para cobrir toda a biomassa, sendo necessário realocá-las para manguezais e aterros sanitários (Rodríguez-Martínez *et al.* 2016). Assim, o sargaço encalhado é um grande problema para o

turismo, pois sobrecarrega a capacidade das comunidades afetadas para a remoção e limpeza e compromete a estética e paisagem (Schiro *et al.* 2017). O excesso de matéria orgânica em decomposição foi capaz de alterar a coloração e turbidez da água da praia, que geralmente era límpida, para um marrom escuro, fato que rendeu ao evento o nome de Maré Marrom de *Sargassum* (*Sargassum* Brown Tide, SBT) (Van Tussenbroek *et al.* 2017).

6.1.3 Saúde: problemas respiratórios, irritações na mucosa e estragos nas residências

Durante a decomposição de sargaço, ocorre liberação de gases amônia (NH₃) e sulfeto de hidrogênio (H₂S) (HCSP, 2018). O sulfeto de hidrogênio é tóxico e mesmo em baixas concentrações pode ocasionar irritação nos olhos e nas vias respiratórias (Louime *et al.* 2017, Oyesiku & Egunyomi 2014). Para evitar maiores problemas, é recomendável que a biomassa seja removida das praias antes que os processos de decomposição se intensifiquem e gerem maiores concentrações de gases.

Os trabalhadores que atuaram na limpeza das praias para remoção de sargaço e os moradores dos locais afetados relataram dores de cabeça, náuseas e problemas respiratórios (Rodríguez-Martínez *et al.* 2016, Resiere *et al.* 2018). Tais problemas podem estar associados à inalação de sulfeto de hidrogênio. Esse gás é corrosivo e ocasionou falhas em aparelhos eletrônicos e escurecimento de objetos metálicos em residências próximas às praias afetadas (Rodríguez-Martínez *et al.* 2016).

6.1.4 Pesca afetada

As marés de sargaço são conhecidas por causar efeitos negativos na pesca, em escalas locais. A impossibilidade de navegação de embarcações de pequeno porte, danos aos petrechos de pesca, perda de tempo e oportunidade e alterações na produtividade pesqueira foram documentadas para o Caribe (Ramlogan *et al.* 2017).

Os pescadores da região costeira da Nigéria, que foi afetada pelo encalhe de *Sargassum fluitans*, relataram que as redes para pescas artesanais e industriais foram obstruídas pela alga flutuante, o que retardou o tempo de desemaranhamento das redes e os preparativos para

novas viagens de pesca, o que conseqüentemente afetou a navegação e levou a uma baixa captura de peixe (Solarin *et al.* 2014, Oyesiku & Egunyomi 2014, Adet *et al.* 2017). Além disso, as embarcações são afetadas pelo sargaço, que pode obstruir as entradas por onde ocorre a passagem de água para o resfriamento do motor e ocasionar superaquecimento (Franks *et al.* 2011).

6.1.5 Biodiversidade comprometida

O encalhe de grandes quantidades de sargaço nas praias pode comprometer a sobrevivência de muitas espécies, tanto as que se locomovem associadas à sua biomassa, quanto às endêmicas da região atingida pelo encalhe. Esse é um caso observado nas cidades de Cancún e Xcalak, onde ocorreu um evento de mortalidade em massa de peixes, crustáceos, equinodermos, moluscos e poliquetas entre maio e setembro de 2018 (Rodríguez-Martínez *et al.* 2019). A mortalidade abrangeu um grupo de 78 espécies, sendo 59% de peixes, 28% crustáceos, 5% equinodermos e 4% moluscos e poliquetas, respectivamente (Rodríguez-Martínez *et al.* 2019). Os autores acreditam que esses valores podem ser ainda mais elevados frente à realidade das praias não turísticas, onde a limpeza das praias não é frequente. Das espécies de peixes registradas, 80% possuíam um habitat nerítico demersal, enquanto os organismos mortos dos demais grupos eram todos bentônicos.

Em grande parte dos casos, o encalhe dos organismos mortos ocorreu individualmente ou em quantidades abaixo de dez indivíduos. Todavia, em cinco ocasiões, a mortalidade de peixes ocorreu acima de 100 indivíduos, em distintas regiões (Rodríguez-Martínez *et al.* 2019). A causa de toda essa mortalidade está associada ao grande volume da biomassa de *Sargassum* spp. encalhada em 2018, no litoral do Caribe, que pode ter levado à hipóxia e a perda da qualidade da água. Alguns dias após os relatos de ocorrência de mortalidade da fauna, análises de amostras de água foram feitas nas cidades de Punta Caracol e Puerto Morelos. Os resultados indicaram uma baixa concentração de oxigênio dissolvido e altos valores de amônio e fósforo (Rodríguez-Martínez *et al.* 2019).

Outro impacto foi relatado para quatro comunidades de gramíneas marinhas, no litoral mexicano, em regiões próximas à costa, sendo dois locais ao sul e dois ao norte (Van

Tussenbroek *et al.* 2017). Nas comunidades de gramíneas marinhas, nos locais do estudo, havia a presença de algas rizofíticas, assembléias de corais escleractíneos e esponjas em áreas com substrato consolidado (Van Tussenbroek *et al.* 2017). Nesta região de estudo, a presença de biomassa de sargaço pelágico encalhada na praia e em decomposição na água do mar adjacente, acarretou em elevada carga de matéria orgânica nos sedimentos e na água, aumento da turbidez, diminuição da concentração de oxigênio dissolvido, redução do pH e do potencial de oxidação/redução (Van Tussenbroek *et al.* 2017).

Como consequência das marés marrons de *Sargassum* (Sbt), entre 2008 e 2016 na cidade Mirador Nizuc, Caribe mexicano, foi observado que aproximadamente 47% da pradaria marinha, antes dominado pela espécie *Thalassia testudinum* foi perdido e substituído por *Halimeda* spp. e por algas epífitas (Van Tussenbroek *et al.* 2017). Houve também, a redução da abundância de algas esponjosas, da erva marinha *Syringodium filiforme* e o desaparecimento de *Halodule wrightii*, que são espécies que comumente acompanham a *T. testudinum*. Além disso, em outra região de estudo, Puerto Morelos, ocorreu morte de aproximadamente 27% das colônias de corais (Van Tussenbroek *et al.* 2017). Desta forma, foi notável que na região de estudo, o encalhe massivo de *Sargassum* spp. ocasionou danos ao ambiente marinho com a perda de pradarias de gramíneas marinhas e da fauna associada e comprometeu a visibilidade da coluna de água.

6.1.6 Contaminação do meio ambiente

Outro impacto negativo está associado à remoção de sargaço pelágico com o uso de maquinários pesados, que altera a morfologia da praia e compacta a areia (Rodríguez-Martínez *et al.* 2016, Rodríguez-Martínez *et al.* 2021). Além do mais, essa forma de remoção pode ocasionar a erosão da praia (Louime *et al.* 2017) visto que a areia é removida junto com a biomassa de alga (Rodríguez-Martínez *et al.* 2016).

Macro e microelementos dispostos nos tecidos vegetais de sargaço pelágico (Rodríguez-Martínez *et al.* 2020, Milledge *et al.* 2020, Fernandez *et al.* 2017), podem ser agentes de poluição do meio ambiente quando estiverem presentes em altas concentrações. Estudos realizados no Caribe, República Dominicana e Caribe mexicano encontraram altas

taxas de concentração de As, Hg, Na, Ca e Mg apresentando risco de contaminação de solos (Milledge *et al.* 2020, Fernandez *et al.* 2017, Rodríguez-Martínez *et al.* 2020).

A lixiviação da biomassa de sargaço pelágico e o confinamento não adequado dos detritos liberam poluentes, como metais tóxicos, que se infiltram no solo e comprometem a qualidade das águas subterrâneas. Este é um exemplo vivenciado no caribe mexicano, onde a única fonte de água doce da região está localizada na Península de Yucatán, que possui um aquífero cárstico altamente poroso e os e os lixiviados de Sargassum contendo metais pesados com Ar podem se infiltrar e contaminar a água subterrânea, comprometendo sua qualidade e ocasionando um impacto na saúde pública e ambiental (Rodríguez-Martínez *et al.* 2020, Vázquez *et al.* 2020).

6.2 ASPECTOS POSITIVOS

6.2.1 Biodiversidade: reprodução, proteção, alimento e dispersão para a vida marinha

Os extensos tapetes da macroalga pelágica são moradia permanente e temporária para muitos organismos marinhos que os utilizam para reprodução, abrigo contra predação, alimentação e como rota de dispersão para novos locais (Laffoley *et al.* 2011, Martin *et al.* 2021, Casazza & Ross 2008). A alta riqueza de vida marinha associada a tais estruturas pelágicas compreende mais de 20 mil indivíduos, cuja densidade de organismos variou em média de 0,82 a 3,31 indivíduos g^{-1} neste estudo pertencentes a diferentes táxons e filos (Martin *et al.* 2021, Monroy-Velazquez *et al.* 2019). Além disso, a sedimentação de fragmentos de sargaço pelágico para o mar profundo contribui com aporte de Carbono para esse compartimento e pode influenciar os padrões de distribuição da fauna nesse ambiente (Baker *et al.* 2018). Ressalta-se, que a alta riqueza e diversidade de espécies associadas ao sargaço pelágico é variável com o mês de amostragem, a zona do oceano (Monroy-Velazquez *et al.* 2019), e o morfotipo da espécie de sargaço pelágico (Martin *et al.* 2021).

Muitos indivíduos dos filos Annelida; Bryozoa; Cnidaria; Mollusca e Plathelminthes (Baker *et al.* 2018); Arthropoda; Chordata; Nemathelminthes; Nemertea; Mollusca e Sipuncula (Monroy-Velazquez *et al.* 2019) foram encontrados associados ao sargaço pelágico. As

espécies popularmente conhecidas como caranguejo do sargaço; camarão sargaço; peixe-tubarão sargaço; anêmona sargaço; lesma do sargaço; caracóis; anfípodas das espécies *Sunampithoe pelagica* e *Biancolina brassicacephala* e o platelminto *Hoploplana grubei* são consideradas endêmicas de tapetes de *S. natans* e *S. fluitans* (Laffoley *et al.* 2011). Entretanto, os tapetes pelágicos de sargaço podem transportar espécies exóticas para novas regiões costeiras e causar danos a biota local (Vázquez *et al.* 2020), como exemplo, no Mar do Caribe Mexicano recentemente foram registradas seis espécies, que não haviam sido relatadas para o local antes associado aos novos tapetes de sargaço pelágico (Monroy-Velazquez *et al.* 2019). A alta riqueza e diversidade de peixes associadas e abaixo dos tapetes de sargaço pelágico é abundante e compreende aproximadamente 80 espécies e mais de 18 mil indivíduos que apresentam tamanhos e diversidade maiores que os indivíduos do habitat de água aberta (Casazza & Ross 2008). Além disso, os peixes associados ao sargaço pelágico, através de sua excreção, contribuem com fornecimento de nutrientes para essa macroalga ajudando-o a se propagar e aumentar sua biomassa (Lapointe *et al.* 2014).

Ainda, peixes de importante valor econômico como *Coryphaena hippurus*, *Rachycentron canadum*, *Seriola dumerili*, dentre outros, dependem do sargaço pelágico para forragear, como abrigo durante estágios juvenis e/ou como uma área de reprodução (e.g. Schmidt *et al.* 2019). Um exemplo bem conhecido é a agregação de juvenis de dourado (*Coryphaena hippurus*) nos tapetes de sargaço (Perez & Roman 2005).

Diversas aves marinhas (Moser & Lee 2012) e tartarugas marinhas (Mansfield *et al.* 2014) usam os tapetes flutuantes de sargaço para forrageamento. Entretanto, Maurer *et al.* (2015) relataram que as macroalgas encalhadas em praias dificultam o acesso das tartarugas aos seus locais de nidificação e podem alterar as condições térmicas e, conseqüentemente, interferir no gênero dos filhotes de tartarugas. Contrariamente, Rodríguez-Martínez *et al.* (2021) observaram que a nidificação de algumas espécies de tartarugas marinhas não foi afetada pelo encalhe de sargaços no Caribe mexicano. Os autores monitoraram 17 áreas de nidificação de tartarugas verdes e cabeçudas antes (2010–2014) e após (2015–2019) a ocorrência de encalhe de *Sargassum* na região e constataram que os principais destinos de nidificação destas tartarugas marinhas não foram modificados. Além disso, cinco anos após o início de encalhes de sargaços na região, houve um aumento de 37% no número médio geral de ninhos por

quilômetro de praia e conseqüentemente o número de filhotes aumentou em mais de 25% em ambas as espécies. Desta forma, é necessário que ocorra o monitoramento de locais de desovas de tartarugas marinhas em mais regiões afetadas pelos encalhes de sargaço, como Brasil e na África para ajudar a compreender se futuros encalhes de sargaços podem ser uma ameaça real a sobrevivências de espécies de tartarugas marinhas.

6.2.2 Sequestro de Carbono e formação de Calcita

Um processo crucial para o controle da temperatura da Terra é a remoção do gás carbônico (CO_2) atmosférico pelo oceano. Uma vez dissolvido no oceano, parte do CO_2 é incorporado pelo fitoplâncton ou macroalgas marinhas. Desta forma, o Carbono assimilado é sequestrado para áreas de deposição em sedimentos. Ao chegar no fundo do oceano, o Carbono permanece impossibilitado de retornar para a superfície e atmosfera (Krause-Jensen & Duarte 2016). O sequestro de Carbono pelas macroalgas em sedimentos marinhos pode se estender de águas rasas a profundas e de regiões tropicais à polares (Krause-Jensen & Duarte 2016). A macroalga flutuante *Sargassum* captura o CO_2 pela fotossíntese e através da produção interna de Carbonato de Cálcio na forma de Calcita (Paraguay-Delgado et al., 2020), se destaca como um potencial recurso adicional para mitigação de Dióxido de Carbono (CO_2) (Gouvêa et al. 2020) e contribui como uma fonte prevaiente de carbono em sedimentos profundos (Krause-Jensen & Duarte 2016, Baker et al. 2018).

Sabendo que a biomassa de sargaço pelágica e bentônica pode sequestrar CO_2 atmosférico e transportá-lo para o fundo do oceano (Gouvêa et al. 2020), Bach et al. (2021) analisaram o Grande Cinturão de *Sargassum* do Atlântico (GASB) como base de estudo de um análogo natural para investigar o potencial florestamento oceânico com o objetivo de avaliar métodos de remoção de dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera. Estima-se que a maior floração de sargaço que ocorreu em 2018, até o presente, tenha causado um acúmulo líquido de 0,81 milhões de toneladas de Carbono orgânico particulado (Bach et al. 2021), e que durante os anos de 2011-2019 o GASB reteu 19,3 milhões de toneladas de CO_2 na forma de calcita (CaCO_3) (Paraguay-Delgado et al. 2020). A calcita é produzida em toda a estrutura de *Sargassum* spp., como folhas, talos e vesículas que apresentam valores de cristalitos de calcita

na ordem 47, 29 e 28 nm, respectivamente (Paraguay-Delgado *et al.* 2020, López-Sosa *et al.* 2020).

Assim, as folhas contribuem com a maior produção de calcita 15,2 %, seguida pelo talo 13% e as vesículas em 9,6% (Paraguay-Delgado *et al.* 2020). Esta formação de COP originado pelo GASB é um exemplo real de sua capacidade de sequestrar CO₂ (Bach *et al.* 2021) e a calcita produzida pelo sargaço pelágico é uma ótima maneira de reter o CO₂, e, em longo prazo, resultará na formação de rochas sedimentares (Paraguay-Delgado *et al.* 2020).

A soma da biomassa das espécies de *Sargassum* pelágica e bentônica contribui globalmente com o estoque potencial de carbono em 13,10 Pg, e esse valor é superior às estimativas globais para os ambientes de pântanos salgados, manguezais e pradarias de gramíneas marinhas (Gouvêa *et al.* 2020).

6.3 POTENCIAIS USOS COMERCIAIS DE *SARGASSUM* SPP.

Um dos grandes desafios gerados pelo encalhe de sargaços nas regiões costeiras é a remoção em curto período de tempo, para que não haja prejuízo do tráfego de turistas às praias e impacto negativo ao meio ambiente e na economia local. Entretanto, as técnicas de remoção muitas vezes se concentram nos custos e no tempo da operação e não consideram os danos ecológicos causados à biota local. Além disso, na maioria dos casos, a biomassa removida é depositada em aterros sanitários (Rodríguez-Martínez *et al.* 2016, Rodríguez-Martínez & Van Tussenbroek, 2020) sem nenhum tratamento ou uso ecológico. Assim, investigar possíveis usos da macroalga pelágica sargaço é um caminho alternativo para melhor direcionar o manejo dessa biomassa nos locais afetados pelo encalhe.

6.3.1 Bioativos para indústria alimentícia

Espécies do gênero *Sargassum* são consumidas em dietas alimentares em países como Japão e Chile, mas essa prática não é comum em países ocidentais (Yokoi & Konomi 2012).

A propriedade que o alginato possui de estabilizar emulsões, de apresentar comportamento viscoso e gelificação o caracteriza como um dos principais bioativos comerciais, em especial na indústria de alimentos processados (Roohinejad *et al.* 2017, Bixler & Porse 2011). Além disso, esse carboidrato é termicamente estável, possibilitando o uso em carnes e vegetais reestruturados, pois ao cozinhar estes alimentos em altas temperaturas a propriedade do alginato não se altera, e desta forma pode fornecer alimentos com propriedades funcionais (Roohinejad *et al.* 2017).

Como mencionado no tópico 3.1, o alginato é uma das principais substâncias ativas presentes na estrutura das espécies de *Sargassum* e esse carboidrato é muito explorado na indústria alimentícia na criação de revestimentos comestíveis em frutas (Díaz-Mula *et al.* 2012) e legumes (Aziz & Salama 2021). A criação de filmes comestíveis tem o objetivo de proporcionar firmeza e resistência à perda de peso dos frutos e legumes durante o armazenamento de longo prazo e prevenir ataques microbianos (Aziz & Salama 2021, Díaz-Mula *et al.* 2012). Entretanto, os filmes comestíveis formado de alginato possuem baixa proteção Ultravioleta (UV) e não apresenta inibição microbiana nos legumes e verduras e para melhorar sua eficácia, recomenda-se sua aplicação com outros aditivos (Salama & Aziz 2021, Aziz & Salama 2021). As pesquisas dos autores mencionados acima indicaram que o revestimento comestível com adição de alginato e outros componentes não comprometeram a cor, cheiro e sabor de legumes como o tomate e pimentão verde e a utilização do filme ajudou a conservar verduras e frutas aumentando o tempo de prateleira destes alimentos o que sugere o potencial uso do alginato para esta aplicabilidade na indústria alimentícia. Entretanto, em algumas espécies de algas marinhas o alginato possui fraca propriedade de gelificação o que torna inviável seu uso para ingredientes alimentares (Bixler & Porse 2011).

Outro polissacarídeo importante na indústria alimentícia é laminarano. A pesquisa liderada por Hifney *et al.* (2016) revela a o fuicodano em *Sargassum* spp. tem a propriedade de formar e estabilizar emulsões, o que possibilita sua aplicação na indústria alimentícia no setor de bebidas, produtos a base de carne, alimentos assados e geleias. Entretanto, são recomendados métodos físico, químico e biológico para

melhorar a capacidade de emulsificação de polissacarídeos naturais (Tang & Huang 2022).

Como relatado, espécies de *Sargassum* possuem muitos efeitos benéficos em produtos alimentícios, mas a exploração de espécies flutuantes para essa área dispõe de poucas pesquisas. A espécie *S. natans* foi usada na criação de filmes de biopolímeros com inclusão de nanocristais de celulose, e sua aplicabilidade melhorou as propriedades físicas e mecânicas deste produto (Doh *et al.* 2020). Assim, esta espécie pelágica mostrou ser promissora no auxílio de filme de biopolímero para sistemas de embalagem de alimentos.

Além dos carboidratos, o sargaço é fonte de outros compostos bioativos (Tabela 1) e também de metais pesados, que é atribuído a sua característica de adsorver tais elementos (Alzate-Gaveria *et al.* 2021). Entretanto, elevadas concentrações de metais pesados na biomassa de sargaço podem representar um risco à saúde humana e comprometer seu uso para fins alimentares (Yokoi & Konomi 2012).

O consumo de algas de espécies *Sargassum* é motivo de preocupação para a saúde humana, devido à presença de altas concentrações de arsênio inorgânico presente na macroalga. Em uma pesquisa realizada com 25 ratos com uma dieta alimentar de 3% de *Sargassum fusiforme* durante 7 semanas resultou em acúmulo de arsênio no sangue e nos tecidos destes animais e apresentou característica de envenenamento por este elemento (Yokoi & Konomi 2012).

Está preocupação de contaminação por arsênio para as possíveis aplicabilidades de sargaço pelágico deve se estender, visto que estudos em amostras mistas de *Sargassum* pelágico no Caribe e Golfo do México relataram altas concentrações deste elemento, apresentando valores de 123 mg kg⁻¹ (peso seco) e valores máximos de 172 (ppm, peso seco) respectivamente (Milledge *et al.* 2020, Martínez *et al.* 2020), mas em amostras na República Dominicana (Fernandez *et al.* 2017) as concentrações deste elemento foi baixas, com valores médios de aproximadamente 29 mg kg⁻¹ (peso seco) e não apresentou risco a saúde.

Portanto, investigar elementos com potencial de ser tóxico e suas concentrações na macroalga pelágica sargaço é crucial para determinar seu potencial uso para fins alimentares. Além disso, estudos com a aplicação direta de *Sargassum natans* e *S. fluitans* no uso alimentar é necessário para explorar sua possível aplicabilidade e seus potenciais benefícios.

6.3.2 Aplicações para indústria farmacêutica/cosmética

Os compostos bioativos de *Sargassum* spp. são naturais e atuam como inibidores de várias enzimas apresentando propriedades benéficas em diversos tratamentos, que não apresentam diferença significativa quando comparada com fármacos padrão (Vijayan *et al.* 2018, Maneesh *et al.* 2016). A investigação por compostos naturais presentes em diferentes espécies de *Sargassum* bentônicas identificou valiosas propriedades de promoção à saúde com potencial anti-diabético (Renitta *et al.* 2020, Barbosa *et al.* 2021); anti-oxidante (Johnson *et al.* 2019, Vijayan *et al.* 2018); antirrugas, clareador de pele (Jesumani *et al.* 2019); anti-inflamatórias (Maneesh *et al.* 2016); antiproliferativas (Casas *et al.* 2018) e antitumorais (Vanavil *et al.* 2020).

Assim como os encalhes, as investigações de potenciais usos farmacológicos de sargaço pelágico são recentes, mas já apresentaram resultados satisfatórios e surgem como potencial matéria-prima para explorações industriais. Amostras de *Sargassum fluitans* encalhadas na região de Puerto Morelos, México, em 2016, foram utilizadas para investigar o seu possível efeito antifibrótico. O resultado da pesquisa revelou que estratos de fucoidan de *S. fluitans* reduziram os efeitos hepáticos de células inflamatórias, confirmando seu efeito benéfico como antifibrótico e anti-inflamatório (Chale-Dzul *et al.* 2020).

Composto bioativo de *Sargassum fluitans* também exibiu atividade antiviral contra três enterovírus humanos, onde se mostrou capaz de inibir os estágios iniciais e tardios do ciclo de replicação destes vírus (Rey *et al.* 2021). Bem como, o fucoidan extraído de *S. fluitans* possui propriedades antioxidantes, e não apresenta efeito citotóxico

(Chale-Dzul *et al.* 2017). Além disso, um estudo recente investigou a toxicidade aguda de extratos aquosos e etanólicos de *Sargassum fluitans* e *S. natans* aplicados em dose única em ratos em diferentes proporções, revelando ausência de toxicidade (Ouattara *et al.* 2021), o que sugere boa aplicabilidade de sargaço pelágico para produtos farmacológicos.

Para a espécie *Sargassum natans*, foi encontrada uma pesquisa que investigou suas propriedades terapêuticas contra danos à pele ocasionados por aerossóis urbanos. Os autores Fernando *et al.* (2020) relatam que compostos bioativos de *S. natans*, fucoidano, aumentou as enzimas de defesa antioxidante, e desta forma reduziu os níveis de estresse oxidativo intracelulares induzido por poeira fina em queratinócitos. Assim, compostos bioativos de *S. natans* apresentaram atividades antioxidantes, citoprotetoras e também reduziram a concentração de íons metálicos em queratinócitos expostos à poeira fina Chinesa (Fernando *et al.* 2020).

Apesar de poucas pesquisas, o uso de substâncias bioativas presentes em *S. natans* e *S. fluitans* para aplicações em produtos cosméticos e farmacológicos se mostrou proveitoso, eficiente e seguro. Entretanto, o uso da biomassa de sargaço pelágico como matéria-prima em muitos casos poderá ficar restrito às regiões costeiras onde ocorre o encalhe devido às limitações de transporte e custos (Bula-Meyer *et al.* 2004, Walsh 2019).

6.3.3 Produção de energia

A biomassa de algas marinhas é considerada como matéria-prima de terceira geração para produção de energia (Jang *et al.* 2012, Jelyne *et al.* 2014). O uso dessa biomassa é vantajoso para produção de bioetanol, pois diferente de outras matérias-primas não faz parte da cultura alimentar primária, é de rápido crescimento e não compete por espaço de terras cultiváveis (Goh & Lee 2010, Wan *et al.* 2018). No entanto, a conversão da biomassa de macroalgas marinhas para biocombustíveis carece de métodos de pré-tratamentos, hidrólise enzimática, fermentação e destilação (Borines *et al.* 2013). Essas quatro etapas modificam a estrutura de *Sargassum* spp., pois a sua superfície antes

contínua, torna-se mais maleável e possibilita que estruturas internas sejam expostas (Borines *et al.* 2013). Desta forma, estudos indicam que a quantidade de etanol produzida com o uso da biomassa de *Sargassum* spp. pré-tratada é maior em comparação com amostras não tratadas (Jelyne *et al.* 2014). Estima-se que em condições anaeróbicas, a levedura transforma a glicose em etanol, cuja reação geral líquida envolve 2 mol de etanol por 1 mol de glicose ou 510 gramas de etanol por kg de glicose, o que indica um rendimento teórico de 51% (Borines *et al.* (2013).

O potencial energético da biomassa de sargaço pelágico foi explorado por López-Sosa *et al.* (2020), que converteram amostras frescas encalhadas nas praias do Caribe mexicano em biocombustíveis sólidos. O valor calorífico que *Sargassum* spp. apresentou é de 13,5 - 13,8 MJ/kg. Esse valor, está dentro da faixa dos relatados para a serragem (8,3 MJ kg⁻¹ – 16,7 MJ kg⁻¹) e próximo dos encontrados para material digerido (16.41- 16.99 MJ kg⁻¹), que foram utilizados como substrato para produção de biocombustíveis sólidos na polônia (Czekala *et al.* 2018). Além disso, López-Sosa *et al.* (2020) citam exemplos de estimativas do valor energético de sargaço com base em informações do volume de biomassa encalhado em praias relatado por outros autores. Desta forma, estimaram que o potencial de bioenergia para o volume de sargaço na região do Caribe mexicano para o cenário do ano de 2015 foi de 480,82 GJ / km e em 2018 foi de 1791 GJ /km. Já para o setor norte da costa caribenha mexicana, o material coletado em aproximadamente 8 km de praias em 2018 e 2019 poderia gerar mais de 40 TJ de energia na forma de biocombustível sólido. O processo de produção de combustíveis sólidos com o uso de serragem e digerido obteve lucros maiores que os custos de produção, se mostrando rentável (Czekala *et al.* 2018).

Alternativamente, os autores Thompson *et al.* (2020) investigaram a produção de energia através de digestão anaeróbica (DA) de sargaço pelágico encalhado. Foi estimado, através da digestão monofásica, que o volume da biomassa de sargaço relatado para Ilhas de Barbados em 2015, produziria potencialmente 20 GWh/ano, o que corresponderia a 2,11% dos 944 GWh de energia elétrica exigida para o local em 2016. No entanto, a digestão da biomassa de sargaço pelágico com outras matérias-primas é mais recomendável (Thompson *et al.* 2020). Desta forma, ao contabilizar o volume dos

resíduos sólidos urbanos orgânicos produzidos na região para o ano de 2015, e assumindo que fossem 100% composto de resíduos alimentares, os autores relatam que a co-digestão dessas matérias-primas produziria bioenergia de 111,35 GWh, compreendendo 11,8% da demanda de energia do país em 2016. Entretanto, essa estimativa é apenas teórica. Assim, estudos práticos para estimar o volume real da produção de gás produzido pela digestão anaeróbica são necessários.

6.3.4 Nutrição animal

Carrillo *et al.* (2012) buscaram através da biomassa de *Sargassum* spp. uma possível solução para diminuição do conteúdo de colesterol do ovo de galinhas, a fim de tornar este alimento acessível para as pessoas que temem que o seu consumo possa afetar os níveis de colesterol no sangue. A adição de 6% de biomassa de *Sargassum* spp. na dieta de galinhas Leghorn indicou uma redução de 26% na concentração de colesterol no ovo.

Pesquisas *in vivo* e *in vitro* indicam que a alta concentração de minerais, proteínas e metabólitos funcionais, presentes em *Sargassum* spp. possibilita que esta macroalga seja um aditivo alimentar altamente nutritivo e muito promissor para os ruminantes (Marín *et al.* 2009, Choi *et al.* 2020). Na pesquisa realizada por Marín *et al.* (2009) a adição de 10, 20 e 30% de farinha de *Sargassum* spp. em dietas para ruminantes indicou boa digestibilidade. Desta forma, *Sargassum* spp. representa uma alternativa importante como alimento suplementar para ovinos (Marín *et al.* 2009).

6.3.5 Fertilizantes e a razão N:P:K

O uso da biomassa de *Sargassum natans* e *S. fluitans* em pequenas e grandes proporções como matéria-prima para compostagem foi explorada por Sembera *et al.* (2018) e Walsh (2019). Sembera *et al.* (2018) usaram amostras lavadas e não lavadas de biomassa fresca de sargaço encalhado em praia no processo de compostagem. O resultado indicou, que independentemente da lavagem da alga, o composto produzido apresentou boa qualidade. Os parâmetros investigados no estudo estavam dentro da faixa ideal ao comparar com compostos que são vendidos para a indústria de horticultura. Como o

teor de sal não interferiu na qualidade do composto, os autores informam que a lavagem das algas talvez não fosse necessária. Entretanto, é importante ressaltar que o estresse salino reduz a germinação e o crescimento de sementes de espécies de tomates e feijão (Aymen *et al.* 2014, Salma *et al.* 2014). Portanto, mais estudos são necessários para investigar o efeito da salinidade de sargaço não lavado.

A biomassa de sargaço pelágico funciona naturalmente como fertilizante para plantas da restinga (Williams & Feagin 2010, Bula-Meyer *et al.* 2004). A proporção entre os nutrientes nitrogênio: fósforo: potássio (N:P:K) para *S. natans* e *S. fluitans* de 1:10:3, indica que a biomassa de sargaço beneficia o crescimento de gramados terrestres (Oyesiku & Egunyomi 2014). O extrato de *Sargassum* spp. pode aumentar a germinação de sementes e melhorar e corrigir o solo (Aymen *et al.* 2014, Salma *et al.* 2014) que revelam que o extrato líquido aumenta a germinação de sementes e pode ser usado como um corretivo biológico para melhorar o solo e aumentar a produção de alimentos em terras cultivadas e com acúmulos de sal.

As pesquisas referenciadas acima apresentaram resultados positivos para o uso da biomassa de sargaço para promoção à saúde, correção de solo, e uso promissor para produção de energia limpa. Desta forma, há alternativas possíveis para direcionar a biomassa de sargaço encalhada em praias a um uso ecológico com valor agregado podendo gerar benefícios positivos para a comunidade local.

6.3.6 Construção civil: reforço de compósitos, cerâmicas e cimento

Compostos diversos presentes na macroalga sargaço como: alginato, calcita, dolomita, fibras brutas, celulose, hemicelulose, lignina, cinzas, podem auxiliar na consistência e força de produtos para a construção civil (Rossignolo *et al.* 2022, López-Sosa *et al.* 2020). Na pesquisa, dos autores Rossignolo *et al.* (2022) é relatado que diversas espécies de algas marrons, verdes, vermelhas e gramíneas marinhas já foram testadas em aplicações de compósitos poliméricos e de cimento Portland, painéis, adobe, pavimentos, telhado e fachada. O uso na maioria dos casos apresentou boa aplicabilidade, o que resultou em produtos com boa qualidade indicando a possibilidade

de exploração de sargaço pelágico para estes fins, visto que possuem os componentes bioativos explorados e em concentrações semelhantes às das algas utilizadas nas pesquisas.

Trabalhos recentes começaram a explorar o uso de *Sargassum* pelágico encalhado em praia para apoio na estrutura de componentes usados em construção civil. Como exemplo, os autores Salazar-Cruz *et al.* (2021) usaram amostras de *Sargassum* encalhado em praias no México para investigar seu uso como modificador de ligantes asfálticos. O asfalto, além da pavimentação de estradas, é usado para revestimentos hidráulicos e impermeabilização de edifícios. A incorporação de partículas de sargaço pelágico (0,5 e 4% em massa) no asfalto alterou a propriedade física e reológica deste ligante. A investigação do grau de desempenho desta mistura indicou que a presença de sargaço melhorou a resistência às deformações permanentes até um limite de 2,5%, principalmente para altas temperaturas. O resultado indica uso das algas como um modificador de sargaço com potencial aplicação na construção de pavimentos rodoviários expostos a ambientes de alta temperatura (Salazar-Cruz *et al.* 2021).

A exploração de sargaço pelágico em componentes de setores de construção civil é nova e limitada. Portanto, carece de mais estudos práticos para identificar se há possibilidade de exploração em larga escala e se terá benefícios econômicos ao ser comparado com outros materiais.

7 O QUE TEM SIDO FEITO NO BRASIL E NAS OUTRAS REGIÕES AFETADAS?

Os encalhes de sargaço pelágico no Brasil, foram pouco relatados em artigos científicos e em mídias locais, apesar da ocorrência atípica e do grande volume de biomassa encalhada em algumas praias do litoral brasileiro. O primeiro registro oficial ocorreu em jornais locais no estado do Pará em 2014 e em resumo para um congresso nacional (Martinelli Filho 2015). Em parte, acredita-se que o baixo investimento financeiro pelo poder público destinado para pesquisas científicas nas Universidades Federais e Estaduais, que são as principais instituições de ensino e pesquisa do país, pode ter atuado como uma barreira para a investigação e compreensão da ocorrência anômala de sargaço. Em escala regional, também se destaca a ausência de ficólogos, especialistas em algas marinhas, nos estados da região Norte do Brasil, resultando no limitado número de publicações sobre o grupo (Fernandes *et al.* 2005, Fernandes & Alves, 2011, Pedrini *et al.* 2021). Além disso, não se tem informações sobre a aplicabilidade dessas macroalgas pelágicas em uso ecológico no país.

Quanto à fauna associada, uma lista preliminar de invertebrados associados às espécies de sargaço pelágico na costa amazônica e a possível contribuição da alga como vetor de espécies exóticas está disponível em Martinelli Filho *et al.* (2016). Nenhuma espécie potencialmente invasora foi detectada na ocasião. Um artigo com resultados mais amplos quanto à fauna associada às diferentes espécies e morfotipos de *Sargassum* está em processo de submissão (Martinelli Filho *et al.* 2022, submetido).

Em escala regional, é necessário um conhecimento detalhado da geomorfologia e hidrodinâmica das praias de cidades que já receberam o encalhe de sargaço para traçar planos de gerenciamentos mais assertivos, visto que são regiões turísticas que contribuem como fonte de renda para a comunidade local. Se essas informações estiverem disponíveis, o processo de gerenciamento costeiro será mais atuante, o que poderá diminuir problemas socioambientais e contribuir com projetos para uso da macroalga como matéria-prima.

Docentes da Faculdade de Oceanografia da UFPA, firmaram uma parceria com a Universidade de York para investigar a composição bioquímica de amostras de *Sargassum natans* e *S. fluitans* coletadas em alto mar, em maio de 2019, na plataforma costeira do estado do Maranhão, bem como, iniciaram um grupo de pesquisa em 2015 para investigar a composição bioquímica da mistura das espécies pelágicas de sargaço coletadas na praia do Atalaia, Salinópolis-PA, e alguns valores da análise estão apresentados na Tabela 1, referenciado como: Grupo LOQ/UFPA 2015.

Com a divulgação de dados da composição bioquímica de amostras encalhadas em algumas regiões do Brasil, esperamos colaborar com os demais pesquisadores de outros locais afetados pelos encalhes na compreensão dos principais constituintes destas macroalgas e os possíveis fatores que contribuem para essa ocorrência.

Antes do conhecimento do Grande Cinturão de *Sargassum* do Atlântico (Wang *et al.* 2019), o Mar de Sargaço localizado no Atlântico Norte era a única área conhecida por conter extensos volumes de sargaço pelágico (Laffoley *et al.* 2011). As espécies pelágicas eram avistadas em pequenas quantidades e com pouca frequência fora desta área. Em 2009 foi criada a iniciativa do ‘Mar de Sargaço’, que hoje é titulada como ‘Aliança do Mar de Sargaço’, que busca de forma geral a proteção do Mar de Sargaço e o seu reconhecimento ecológico (Laffoley *et al.* 2011). No entanto, esta iniciativa de proteção está voltada para a população de sargaço pelágico flutuante do Atlântico Norte e não compreende a nova comunidade pelágica do Atlântico Tropical Ocidental.

No ano de 2015 e em 2016, a Convenção de Abidjan sobre Biodiversidade organizou dois workshops, um em Freetown, Serra Leoa, e outro em Monróvia, Libéria, e contou com a participação de oito países para discutir iniciativas de mitigar danos socioambientais por meio da valorização e aplicabilidade de sargaço pelágico que afetou negativamente a região da Costa do Marfim e no Golfo da Guiné (Ouattara *et al.* 2021).

Dentre as pesquisas concluídas e em andamento, as principais aplicabilidades de *S. fluitans* e *S. natans* estão sendo na produção de biocombustíveis (López-Sosa *et al.*

2020, Thompson *et al.* 2020), adubos (Sembera *et al.* 2018, Walsh, 2019, Williams & Feagin 2010), construção civil (Salazar-Cruz *et al.* 2021, Rossignolo *et al.* 2022), indústria farmacêutica (Chale-Dzul *et al.* 2020, Rey *et al.* 2021, Chale-Dzul *et al.* 2017), cosmética (Fernando *et al.* 2020), e alimentícia (Doh *et al.* 2020).

Novas pesquisas estão sendo implantadas, uma delas é pela Universidade das Índias Ocidentais (UWI) que está desenvolvendo projetos para produzir biocombustíveis naturais. O uso de macroalga sargaço faz parte do processo, com o objetivo de mover um quarto dos carros de Barbados (Hinkson 2021). Outro projeto está sendo liderado pela Seafields (<https://seafields.eco/>) e visa remover CO₂ da atmosfera por meio da produção de tapetes pelágicos de sargaço em alto mar. Para isso, desenvolveram tubos subaquáticos exclusivos para sequestrar águas profundas ricas em nutrientes para irrigar os sargaços que estão flutuando em águas de superfície com pouco recurso de elementos nutritivos. Desta forma, a macroalga sargaço será beneficiada com nutrientes e um amplo espaço para aumentar seu volume de massa, e assim, será usada como meio de captura e armazenamento de CO₂ em grande escala (Cermes 2021, https://seafields.eco). Esses projetos em desenvolvimento se alcançarem resultados proveitosos com seus experimentos, os futuros encalhes de sargaço pelágico podem ser vistos como uma oportunidade de exploração em larga escala e não como um problema ambiental para as regiões costeiras que o recebem.

Portanto, pesquisas em andamento são necessárias para identificar os morfotipos de sargaço pertencentes às novas áreas de ocorrência de sargaço flutuante do Atlântico Tropical Ocidental e sua fauna associada para mensurar a importância ecológica deste ambiente para a biodiversidade marinha. Desta forma, planos de gerenciamentos costeiros podem ser traçados para proteção ambiental deste ecossistema e para sua exploração como matéria-prima.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Destacamos que para explorar a biomassa das macroalgas pelágicas, *Sargassum natans* e *S. fluitans*, constituintes dos novos tapetes flutuantes de sargaço do Atlântico Tropical Ocidental de forma efetiva e proveitosa para fins comerciais e usos ecológicos, um conjunto de pesquisas para identificar o conteúdo e porcentagem de seus compostos bioativos, morfotipos, fauna associada e futuros encalhes é crucial para direcionar os potenciais usos e o melhor método para incluir o custo e benefício para cada comunidade afetada pelos encalhes.

Para isso, é necessário um trabalho em conjunto entre as lideranças das regiões afetadas pelos volumosos encalhes da biomassa, tais como órgãos governamentais, academia, representantes da comunidade e de projetos ambientais para que juntos seja estabelecido um acordo de redirecionamento da biomassa encalhada na zona costeira, para um uso ecológico e economicamente viável. A gestão da biomassa seria de grande valia para os órgãos governamentais locais, pois esta ação poderia ajudar o governo a colaborar no cumprimento das metas dos indicadores do décimo quarto Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) aplicados para o Brasil (IPEA 2021), além de auxiliar nas metas impostas pela Década da Ciência Oceânica para a Sustentabilidade (UNESCO) e para a promoção da economia azul.

REFERÊNCIAS

- Adl SM. *et al.* 2019. Revisions to the Classification, Nomenclature, and Diversity of Eukaryotes. *J Eukaryot Microbiol.* **66** (1): 4-119. DOI: 10.1111/jeu.12691.
- Aziz M. S. A. & Salama H. E. 2021. Developing multifunctional edible coatings based on alginate for active food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, **190**, 837–844. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2021.09.031
- Adet L., Nsofor G. N., Ogunjobi, K. O. Camara B. 2017. Knowledge of climate change and the perception of Nigeria's Coastal Communities on the Occurrence of *Sargassum natans* and *Sargassum fluitans*. *Open Access Library Journal*, **4**: e4198. DOI: 10.4236/oalib.1104198
- Aymen E. M., Salma L., Halima C., Cherifa H., Mimounb E. 2014. Effect of *Sargassum vulgare* seaweed extract on the germination behavior of two tomato cultivars (*Solanum Lycopersicum* L) under salt stress. *Octa Journal of Environmental Research*, **2** (3): 203-210. Disponível em: <http://www.sciencebeingjournal.com>. Acesso em: 09 fev. 2021.
- Bach L.T., Tamsitt V., Gower, J., Boyd P. W. 2021. Testing the climate intervention potential of ocean afforestation using the Great Atlantic *Sargassum* Belt. *Nature Communications*, **12**:2556. DOI: 10.1038/s41467-021-22837-2
- Baker P. *et al.* 2018. Potential contribution of surface-dwelling *Sargassum* algae to deep-sea ecosystems in the southern North Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, **148**, 21–34. DOI:10.1016/j.dsr2.2017.10.002
- Barbosa M., Fernandes F., Carlos M. J., Valentão P., Andrade P. B. 2021. Adding value to marine invaders by exploring the potential of *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt phlorotannin extract on targets underlying metabolic changes in diabetes. *Algal Research*, **59**, 102455. DOI:10.1016/j.algal.2021.102455
- Bixler H. J. & Porse H. 2011. A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *Journal of Applied Phycology*, **23**: (3), 321–335. DOI:10.1007/s10811-010-9529-3
- Borines M. G., Leon R. L., Cuello J. L. 2013. Bioethanol production from the macroalgae *Sargassum* spp. *Bioresource Technology*, **138**, 22 - 29. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.03.108
- Bula-Meyer G. 2004. Las macroalgas marinas en la agronomía y el uso potencial del *Sargassum* flotante en la producción de fertilizantes en el archipiélago de San Andrés y Providencia, Colombia. *Intropica*, **1**(1): 91–103. Disponível em: <https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/461>. Acesso em: 10 out. 2021.
- Carrillo L. & Pardo J.S. 2020. Sargazo en movimiento. *In: Revista de La Academia Mexicana de Ciencias: Mexico ante El Sargazo.* **71** (4): 20-27. (ISSN: 1405-6550),

- Yucatán, Ciudad de México. Disponível em:
<https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/vol-71-numero-4>. Acesso em: 02 jul. 2021.
- Carrillo S., Bahena A., Casas M., Carranco M. E., Calvo C. C., Ávila E., Pérez-Gil F. 2012. The alga *Sargassum* spp. as alternative to reduce egg cholesterol content. *Cuban Journal of Agricultural Science*, **46** (2): 181-186. Disponível em:
<http://cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/67>. Acesso em: 03 jul. 2021.
- Carvalho L.M., Hollister A.P., Trindade C., Gledhill M., Koschinsky, A. 2021. Distribution and size fractionation of nickel and cobalt species along the Amazon estuary and mixing plume. *Marine Chemistry*, **236**, 104019.
DOI:10.1016/j.marchem.2021.104019
- Casas M. P., Conde E., Domínguez H., Moure A. 2018. Ecofriendly extraction of bioactive fractions from *Sargassum muticum*. *Process Biochemistry*, **79**: 166-173.
DOI:10.1016/j.procbio.2018.12.021
- Casazza T. L. & Ross S. W. 2008. Fishes associated with pelagic *Sargassum* and open water lacking *Sargassum* in the Gulf Stream off North Carolina. *Fishery Bulletin*, **106** (4): 348–363.
- Centre for resource management and environmental studies - Cermes. *Sargassum Outlook Bulletin*. 2021. Summary report on the development of the sub-regional *Sargassum* outlook bulletin for the Eastern Caribbean, **1** (11): 1-3, University of the West Indies, Cave Hill, Bridgetown, Barbados. Disponível em:
<https://www.cavehill.uwi.edu/cermes/projects/sargassum/outlook-bulletin.aspx>
Acesso em: 25 jan. 2022
- Chale-Dzul J., Pérez-Cabeza de Vaca R., Quintal-Novelo C., Olivera-Castillo L., Moo-Puc R. 2020. Hepatoprotective effect of a fucoidan extract from *Sargassum fluitans* Borgesen against CCl₄-induced toxicity in rats. *International Journal of Biological Macromolecules*, **145**, 500–509. Doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.12.183
- Chale-Dzul J., Freile-Pelegrín Y., Robledo D., Moo-Puc R. 2017. Protective effect of fucoidans from tropical seaweeds against oxidative stress in HepG2 cells. *Journal of Applied Phycology*, **29** (5): 2229–2238. DOI:10.1007/s10811-017-1194-3
- Choi Y.Y. *et al.* 2020. New challenges for efficient usage of *Sargassum fusiforme* for ruminant production. *Scientific Reports*, **10**, 19655.
DOI: 10.1038/s41598-020-76700-3
- Czekała W. *et al.* 2018. The energy value and economic efficiency of solid biofuels produced from digestate and sawdust. *Energy*, **159**, 1118–1122. DOI:10.1016/j.energy.2018.06.090
- Davis T.A., Volesky B., Mucci A. 2003. A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Research*, **37** (18): 4311–4330.
DOI:10.1016/s0043-1354(03)00293-8

Díaz-Mula H. M., Serrano M., Valero D. 2011. Alginate Coatings Preserve Fruit Quality and Bioactive Compounds during Storage of Sweet Cherry Fruit. *Food and Bioprocess Technology*, **5** (8): 2990–2997. DOI:10.1007/s11947-011-0599-2

Doh H., Dunno K. D., Whiteside W. S. 2020. Preparation of novel seaweed nanocomposite film from brown seaweeds *Laminaria japonica* and *Sargassum natans*. *Food Hydrocolloids*, 105744. DOI:10.1016/j.foodhyd.2020.105744

Doyle E. & Franks J. 2015. *Sargassum* Fact Sheet. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. p.4. Marathon, FL, EUA. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1969.3/28843>. Acesso em: 12 set. 2021.

Dominguez J. M. L. 2009. The Coastal Zone of Brazil. In: Dillenburg, SR.; Hesp, PA. (Ed.). Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brasil. *Lecture Notes in Earth Sciences*, **107**:17-52. (ISSN: 0930-0317) Springer, Berlin, Heidelberg.

Fauziee N. A. M., Chang L. S., Mustapha W. A. W., Nor A. M., Lim S. J. 2020. Functional polysaccharides of fucoidan, laminaran and alginate from Malaysian brown seaweeds (*Sargassum polycystum*, *Turbinaria ornata* and *Padina boryana*). *International Journal of Biological Macromolecules*, **167**: 1135-1145. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2020.11.067

Fernandes M. E. B. & Alves E. F. S. 2011. Occurrence and distribution of macroalgae (Rhodophyta) associated with mangroves on the Ajuruteua peninsula, Bragança, Pará, Brazil. *Uakari*, **7** (2): 35-42.

Fernandes M. E. B. *et al.* 2005. Distribuição espacial das macroalgas associadas às florestas de mangue na península de Ajuruteua, Bragança-Pará. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, **18**: 11–18.

Fernández F., Boluda C. J., Olivera J., Alberto L. 2017. Análisis Elemental prospectivo de la biomasa algal acumulada en las costas de la república dominicana durante 2015. *Centro Azúcar*, **44** (1): 11-22. ISSN 2223-4861.

Fernando I. P. S. *et al.* 2020. Characterization and cytoprotective properties of *Sargassum natans* fucoidan against urban aerosol-induced keratinocyte damage. *International Journal of Biological Macromolecules*, **159**, 773–781. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2020.05.132

Flórez-Fernández N., Domínguez H., Torres M. D. 2019. Advances in the biorefinery of *Sargassum muticum*: Valorisation of the alginate fractions. *Industrial Crops and Products*, **138**, 111483. DOI:10.1016/j.indcrop.2019.111483

Franks J.S., Johnson D.R., Ko D.S., Sanchez-Rubio G., Hendon J.R., Lay M. 2011. Unprecedented influx of pelagic *Sargassum* along Caribbean island coastlines during summer 2011. In: Proceedings of the 64th Gulf and Caribbean Fishery Institute, Puerto Morelos, Mexico, November 2011, extended abstract, 4 pp.

- Ganesan A. R., Tiwari U., Rajauria G. 2019. Seaweed nutraceuticals and their therapeutic role in disease prevention. *Food Science and Human Wellness*, **8** (3): 252-263. DOI:10.1016/j.fshw.2019.08.001
- Goh C. S. & Lee K. T. 2010. A visionary and conceptual macroalgae-based third-generation bioethanol (TGB) biorefinery in Sabah, Malaysia as an underlay for renewable and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **14** (2): 842–848. DOI:10.1016/j.rser.2009.10.001
- Gouvêa L. P., Assis J., Gurgel C. F. D., Serrão, E. A., Silveira T. C. L., Santos R., Horta P. A. 2020. Golden carbon of *Sargassum* forests revealed as an opportunity for climate change mitigation. *Science of The Total Environment*, **729**: 138745. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.138745
- Gower J., Young E., King S. 2013. Satellite images suggest a new *Sargassum* source region in 2011. *Remote Sensing Letters*, **4** (8): 764–773. DOI:10.1080/2150704x.2013.796433
- Haut conseil de la santé publique (HCSP). 2018. Relatif à la définition de mesures de gestion concernant l'exposition des populations antillaises à l'ammoniac et du sulfure d'hydrogène (H₂S) issus de la décomposition d'algues Sargasses. Disponible en: <https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=671>. Acesso em: 15 set. 2021.
- Hernández-Bolio G. I., Fagundo-Mollineda A., Caamal-Fuentes E. E., Robledo D., Freile-Pelegrin Y., Hernández-Núñez E. 2021. NMR Metabolic Profiling of *Sargassum* Species Under Different Stabilization/Extraction Processes. *Journal of Phycology*, **57** (2): 655–663. DOI:10.1111/jpy.13117
- Hifney A. F., Fawzy M. A., Abdel-Gawad K. M., Gomaa M. 2016. Industrial optimization of fucoidan extraction from *Sargassum* sp. and its potential antioxidant and emulsifying activities. *Food Hydrocolloids*, **54**, 77 – 88. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2015.09.022
- Hinkson D. 2021. UWI project using *Sargassum* seaweed to power vehicles. p. 2. Disponible en: <https://barbadostoday.bb/2021/08/18/uwi-project-using-sargassum-seaweed-to-power-vehicles/>. Acesso em: 24 jan. 2022.
- Hu C., Murch B., Barnes B., Wang M., Maréchal J., Franks J., Johnson D. R., Lapointe B., Goodwin D., Schell J., Siuda A. 2016. *Sargassum* Watch Warns of Incoming Seaweed. *Earth & Space Science News*, **97** (22): 10-15. DOI: 10.1029 / 2016EO058355
- Ibrahim R. Y. M., Hammad H. B. I., Gaafar A. A., Saber A. A. 2020. The possible role of the seaweed *Sargassum vulgare* as a promising functional food ingredient minimizing aspartame-associated toxicity in rats. *International Journal of Environmental Health Research*, **32**: 1–20. DOI:10.1080/09603123.2020.1797642

Innocenti R. A., Feagin R. A., Huff T. P. 2018. The role of *Sargassum* macroalgal wrack in reducing coastal erosion. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **214**, 82-88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.09.021>

Instituto de Pesquisa e Economia Aplicada - IPEA. 2021. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://ipea.gov.br/ods/ods14> Acesso em: 09 nov. 2021.

Jang J-S., Cho Y., Jeong G. T., Kim S-K. 2012. Optimization of saccharification and ethanol production by simultaneous saccharification and fermentation (SSF) from seaweed, *Saccharina japonica*. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, **35** (1-2): 11–18. DOI:10.1007/s00449-011-0611-2

Jelynn P., Tamayo., Del Rosario E.J. 2014. Chemical Analysis and Utilization of *Sargassum* sp. as Substrate for Ethanol Production. *Iranica Journal of Energy & Environment*, **5** (2): 202-208. DOI: 10.5829/idosi.ijee.2014.05.02.12

Jesumani V., Du H., Pei P., Zheng C., Cheong K-L., Huang N. 2019. Unravelling property of polysaccharides from *Sargassum* sp. as an anti-wrinkle and skin whitening property. *International Journal of Biological Macromolecules*, **140**, 216-224. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2019.08.027

Johns E. M. *et al.* 2020. The establishment of a pelagic *Sargassum* population in the tropical Atlantic: Biological consequences of a basin-scale long distance dispersal event. *Progress in Oceanography*, **182**, 102269. DOI: 10.1016/j.pocean.2020.102269

Johnson M., Kanimozhi S. A., Malar T. R. J. J., Shibila T., Freitas P. R., Tintino S. R., Menezes I.R.A., da Costa J.G.M., Coutinho H.D.M. 2019. The antioxidative effects of bioactive products from *Sargassum polycystum* C. Agardh and *Sargassum duplicatum* J. Agardh against inflammation and other pathological issues. *Complementary Therapies in Medicine*, **46**, 19–23. DOI:10.1016/j.ctim.2019.06.014

Kadam S.U., Tiwari B. K., O'Donnell C. P. 2015. Extraction, structure and biofunctional activities of laminarin from brown algae. *International Journal of Food Science and Technology*, **50** (1): 24–31. DOI:10.1111/ijfs.12692

Kloareg B., Badis Y., Cock J. M., Michel G. 2021. Role and Evolution of the Extracellular Matrix in the Acquisition of Complex Multicellularity in Eukaryotes: A Macroalgal Perspective. *Genes*, **12**, 1059. DOI: 10.3390/genes12071059

Krause-Jensen D. & Duarte C. M. 2016. Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. *Nature Geoscience*, **9** (10): 737–742. DOI:10.1038/ngeo2790

Kumar S., Sahoo D., Levine I. 2015. Assessment of nutritional value in a brown seaweed *Sargassum wightii* and their seasonal variations. *Algal Research*, **9**:117-125. DOI:10.1016/j.algal.2015.02.024

Laffoley D. d'A. *et al.* 2011. The protection and management of the Sargasso Sea: The golden floating rainforest of the Atlantic Ocean. Summary Science and Supporting

Evidence Case. *Sargasso Sea Alliance*, 44p. ISBN: 978-0-9847520-0-3. Disponível em: <http://www.sargassoseacommission.org/storage/documents/Sargasso.Report.9.12.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2021.

Lapointe B. E. *et al.* 2021. Nutrient content and stoichiometry of pelagic *Sargassum* reflects increasing nitrogen availability in the Atlantic Basin. *Nature Communications*, **12**: 3060. DOI: 10.1038/s41467-021-23135-7

Lapointe B. E., West L. E., Sutton, T. T., Hu C. 2014. Ryther revisited: nutrient excretions by fishes enhance productivity of pelagic *Sargassum* in the western North Atlantic Ocean. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **458**: 46–56. DOI:10.1016/j.jembe.2014.05.002

Lim S. J., Mustapha W. A. W., Maskat M. Y., Latip J., Badri K. H., Hassan O. 2016. Chemical properties and toxicology studies of fucoidan extracted from Malaysian *Sargassum binderi*. *Food Science and Biotechnology*, **25** (S1): 23–29. DOI:10.1007/s10068-016-0094-7

Liu L., Heinrich M., Myers S., Dworjanyn S. A. 2012. Towards a better understanding of medicinal uses of the brown seaweed *Sargassum* in Traditional Chinese Medicine: A phytochemical and pharmacological review. *Journal of Ethnopharmacology*, **142** (3): 591–619. DOI:10.1016/j.jep.2012.05.046

López-Sosa L. B. *et al.* 2020. A Prospective Study of the Exploitation of Pelagic *Sargassum* spp. as a Solid Biofuel Energy Source. *Applied Sciences*, **10** (23): 8706. DOI:10.3390/app10238706

Louime C., Fortune J., Gervais G. 2017. *Sargassum* Invasion of Coastal Environments: A Growing Concern. *American Journal of Environmental Sciences*, **13** (1): 58-64. DOI: 10.3844/ajessp.2017.58.64

Mansfield K. L., Wyneken J., Porter W. P., Luo J. 2014. First satellite tracks of neonate sea turtles redefine the “lost years” oceanic niche. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **281** (1781): 20133039–20133039. DOI:10.1098/rspb.2013.3039

Maneesh A., Chakraborty K., Makkar F. 2016. Pharmacological activities of brown seaweed *Sargassum wightii* (Family Sargassaceae) using different in vitro models. *International Journal of Food Properties*, **20** (4): 931–945. DOI:10.1080/10942912.2016.1189434

Martin L. M., Schell J. M., Siuda A. N. S. 2017. Probopyrinella latreuticola parasite infestation frequencies in pelagic *Sargassum*-associated shrimp, *Latreutes fucorum*. *Journal of Plankton Research*, **41** (3): 219–222. Disponível em: <https://doi-org.ez3.periodicos.capes.gov.br/10.1093/plankt/fbz011>. Acesso em: 07 mai. 2021

Martin L. M., Taylor M., Huston G., Goodwin D. S., Schell J. M., Siuda, A. N. S. 2021. Pelagic *Sargassum* morphotypes support different rafting motile epifauna communities. *Marine Biology*, **168**, 115. DOI:10.1007/s00227-021-03910-2

- Martinelli Filho J. E. 2015. First record of golden seaweed tides at the Brazilian Amazon coast. *In: 5 Congresso Brasileiro de Biologia Marinha, 2015, Ipojuca - PE. 5 Congresso Brasileiro de Biologia Marinha.*
- Martinelli Filho J.E., Siqueira Moraes., Leonardo Mario., Evangelista Aviz, Daiane. 2016. Can the Invertebrate Fauna Associated to Pelagic *Sargassum* Landings in the Brazilian Amazon Coast Aid Us to Understand its Origin and Dispersion? Sixty Ninth Annual Gulf and Caribbean Fisheries Institute, pp. 203–204.
- Marín A., Casas-Valdez M., Carrillo S., Hernández H., Monroy A., Sanginés L., Pérez-Gil F. 2009. The marine algae *Sargassum* spp. (Sargassaceae) as feed for sheep in tropical and subtropical regions. *Revista de Biología Tropical*, **57** (4): 1271-1281
DOI: 10.15517/rbt.v57i4.5464
- Maurer A. S., de N. E., Stapleton S. 2015. *Sargassum* accumulation may spell trouble for nesting sea turtles. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **13** (7): 394–395.
DOI:10.1890/1540-9295-13.7.394
- Milledge J. J. & Harvey P. J. 2016. Golden Tides: Problem or Golden Opportunity? The Valorisation of *Sargassum* from Beach Inundations. *Journal of Marine Science and Engineering*, **4** (3): 60. DOI:10.3390/jmse4030060
- Milledge J. J., Maneein S., Arribas López E., Bartlett D. 2020. *Sargassum* Inundations in Turks and Caicos: Methane Potential and Proximate, Ultimate, Lipid, Amino Acid, Metal and Metalloid Analyses. *Energies*, **13** (6): 1523. DOI:10.3390/en13061523
- Monroy-Velázquez L. V., Rodríguez-Martínez R. E. Van Tussenbroek B. I., Aguiar T., Solís-Weiss V., Briones-Fourzán P. 2019. Motile macrofauna associated with pelagic *Sargassum* in a Mexican reef lagoon. *Journal of Environmental Management*, **252**, 109650. DOI:10.1016/j.jenvman.2019.109650
- Moser M. L. & Lee D.S. 2012. Foraging over *Sargassum* by Western North Atlantic seabirds. *The Wilson Journal of Ornithology*, **124** (1): 66-72. DOI:10.1676/11-067.1
- Murugaiyan K. & Sivakumar K. 2008. Seasonal variation in elemental composition of *Stoechospermum marginatum* (Ag.) Kütz and *Sargassum wightii* (Greville) Msc. J.G. Agardh in relation to chemical composition of seawater. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, **64** (1): 140–144. DOI:10.1016/j.colsurfb.2007.12.019
- Oyesiku O. O. & Egunyomi A. 2014. Identification and chemical studies of pelagic masses of *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon and *S. fluitans* (Borgesen) Borgesen (brown algae), found offshore in Ondo State, Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, **13** (10): 1188-1193. DOI:10.5897/ajb2013.12335
- Parr A. E. 1939. Quantitative observations on the pelagic *Sargassum* vegetation of the Western North Atlantic with preliminary discussion on morphology and relationships.

Joint contributions from Woods Hole Oceanographic Institution (n° 234) and Bingham Oceanographic Foundation.

Pedrini A. G., Guarino G. I. P., Diniz F. S. P., Martinelli Filho J. E. 2021. Checklist of benthic algae from beaches and rocky outcrops on the northeast coast of Pará state, Brazilian Amazonia. *Acta Amazonica*, **51**, 166-170.

Pérez-Salcedo K. Y., Alonso-Lemus I. L., Quintana P., Mena-Durán C. J., Barbosa R., Escobar B. 2018. Self-doped *Sargassum* spp. derived biocarbon as electrocatalysts for ORR in alkaline media. *International Journal of Hydrogen Energy*, **44** (24): 12399-12408. DOI:10.1016/j.ijhydene.2018.10.073

Perez R. & Roman A. 2005. Tournament fishing effort estimates and reproductive dynamics of the dolphinfish *Coryphaena hippurus*, L. in Puerto Rico. Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute **47**: 705-743.

Prasedya E. *et al.* 2021. Effect of particle size on phytochemical composition and antioxidant properties of *Sargassum cristaefolium* ethanol extract. *Scientific Reports*, **11** (1): 17876. DOI:10.1038/s41598-021-95769-y

Ramlogan N.R., McConney P., Oxenford H. A. 2017. Socio-economic impacts of *Sargassum* influx events on the fishery sector of Barbados. Centre for Resource Management and Environmental Studies, The University of the West Indies, Cave Hill Campus, Barbados. Cermes Technical Report, 81: 86 pp.

Renitta R. E., Narayanan R., Pj J. C., Samrot A. V. 2020. Antidiabetic potential of methanolic extracts of *Sargassum wightii* in streptozotocin induced diabetic mice. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, **28**, 101763. DOI:10.1016/j.bcab.2020.101763

Resiere D. *et al.* 2018. *Sargassum* seaweed on Caribbean islands: an international public health concern. *The Lancet*, **392**:2691. DOI:10.1016/s0140-6736(18)32777-6

Rey L. R. P., Salabarría I. S., Guerra I. R., Quintero A. R., Alonso G. D. C. D. B., Aguirre S. R. 2021. Antiviral activity of *Sargassum fluitans* seaweed against echovirus 9, coxsackievirus A16 and coxsackievirus A24. *Revista de Investigaciones Marinas*, **41** (1): 43-55. ISSN: 1991-6086

Rodríguez-Martínez R. E. *et al.* 2021. *Sargassum* landings have not compromised nesting of loggerhead and green sea turtles in the Mexican Caribbean. *Journal of Environmental Management*, **299**, 113614. DOI:10.1016/j.jenvman.2021.113614

Rodríguez-Martínez R. E., Van Tussenbroek B. I., Jordán-Dahlgren E. 2016. A fluencia masiva de sargazo pelágico a la costa del Caribe Mexicano (2014-2015). In: García-Mendoza E., Quijano-Scheggia S.I., Olivios-Ortiz A., Núñez-Vázquez E.J. (eds.). *FloreCIMIENTOS algales nocivos en México*. Ensenada, México, CICESE. p. 352–365. ISBN: 978-607-95688-5-6. Disponible em: https://www.researchgate.net/publication/314174912_FloreCIMIENTOS_Algales_Nocivos_en_Mexico. Acesso em: 07 nov. 2021.

- Rodríguez-Martínez R. E., Medina-Valmaseda A. E., Blanchon P., Monroy-Velázquez L.V., Almazán-Becerril A., Delgado-Pech B., Vásquez-Yeomans V., V. Francisco V., García-Rivas M.C. 2019. Faunal mortality associated with massive beaching and decomposition of pelagic *Sargassum*. *Marine Pollution Bulletin*, **146**: 201-205. DOI:10.1016/j.marpolbul.2019.06.015
- Rodríguez-Martínez R. E., Roy P. D., Torrescano-Valle N., Cabanillas-Terán N., Carrillo-Domínguez S., Collado-Vides L., García-Sánchez M., Van Tussenbroek B I. 2020. Element concentrations in pelagic *Sargassum* along the Mexican Caribbean coast in 2018-2019. *PeerJ8* : e8667. DOI: 10.7717/peerj.8667.
- Rodríguez-Martínez R. E. & Van Tussenbroek B. I. 2020. El sargazo en los pastos marinos y arrecifes. *In*: Revista de La Academia Mexicana de Ciencias: Mexico ante El Sargazo. **71** (4): 28-33. (ISSN: 1405-6550), Yucatán, Ciudad de México. Disponível em: <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/vol-71-numero-4>. Acesso em: 28 ago. 2021.
- Roohinejad S., Koubaa M., Barba F. J., Saljoughian S., Amid M., Greiner R. 2017. Application of seaweeds to develop new food products with enhanced shelf-life, quality and health-related beneficial properties. *Food Research International*, **99**, 1066–1083. DOI:10.1016/j.foodres.2016.08.016
- Saldarriaga-Hernandez S., Melchor-Martínez E. M., Carrillo-Nieves D., Parra-Saldívar R., Iqbal H. M. N. 2021. Seasonal characterization and quantification of biomolecules from *Sargassum* collected from Mexican Caribbean coast – A preliminary study as a step forward to blue economy. *Journal of Environmental Management*, **298**: 113507. DOI:10.1016/j.jenvman.2021.113507
- Salama H. E. & Aziz M. S. A. 2021. Development of active edible coating of alginate and aloe vera enriched with frankincense oil for retarding the senescence of green capsicums. *LWT*, **145**: 111341. DOI:10.1016/j.lwt.2021.111341
- Salazar-Cruz B. A., Zapien-Castillo S., Hernández-Zamora G., Rivera-Armenta J. L. 2021. Investigation of the performance of asphalt binder modified by *Sargassum*. *Construction and Building Materials*, **271**: 121876. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121876
- Salma L., Aymen E. M., Maher S., Hassen A., Chérif H., Halima C., Mounir M., Mimoun E. 2014. Effect of seaweed extract of *Sargassum vulgare* on germination behavior of two bean cultivars (*Phaseolus vulgaris L*) under salt stress. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, **7** (2): 116–20. Disponível em: <http://www.iosrjournals.org/iosr-javs/papers/vol7-issue2/Version-1/T0721116120.pdf>. Acesso em: 19 set. 2021.
- Schell J. M., Goodwin D. S., Siuda A. N. S. 2015. Recent *Sargassum* inundation events in the Caribbean: Shipboard observations reveal dominance of a previously rare form. *Oceanography*, **28** (3): 8–10. DOI: 10.5670/oceanog.2015.70

- Schiro J. A. S., Meyer-Arendt K. J., Schneider S. K. 2017. *Sargassum* on Santa Rosa Island, Florida: faunal use and beachgoer perception. *Journal of Coastal Conservation* **21**, 63–83. DOI 10.1007/s11852-016-0472-6.
- Sembera J. A., Meier E. J., Waliczek T. M. 2018. Composting as an Alternative Management Strategy for *Sargassum* Drifts on Coastlines. *Hort Technology*, **28** (1): 80–84. DOI:10.21273/horttech03836-17
- Sissini M. N. *et al.* 2017. The floating *Sargassum* (Phaeophyceae) of the South Atlantic Ocean – likely scenarios. *Phycologia*, **56** (3): 321–328. DOI: 10.2216 / 16-92.1
- Smetacek V. & Zingone A. 2013. Green and golden seaweed tides on the rise. *Nature*, **504** (7478): 84–88. DOI:10.1038/nature12860
- Solarin B. B., Bolaji D. A., Fakayode O. S., Akinnigbagbe R. O. 2014. Impacts of an invasive seaweed *Sargassum hystrix* var. *fluitans* (Børgesen 1914) on the fisheries and other economic implications for the Nigerian coastal waters. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, **7** (7): 01-06. DOI: 10.9790 / 2380-07710106
- Széchy M. T. M., Guedes P. M., Baeta-Neves M. H., Oliveira E. N. 2012. Verification of *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon (Heterokontophyta: Phaeophyceae) from the Sargasso Sea off the coast of Brazil, western Atlantic Ocean. *Journal of species lists and distribution*, **8** (4): 638–641. DOI: 10.15560 / 8.4.638
- Tang Q. & Huang G. 2022. Improving method, properties and application of polysaccharide as emulsifier. *Food Chemistry*, 376, 15131937. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131937
- Taylor 1960. *Tropical marine algae*.
- Thompson T. M., Young B. R., Baroutian S. 2020. Pelagic *Sargassum* for energy and fertiliser production in the Caribbean: A case study on Barbados. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 118, 109564. DOI:10.1016/j.rser.2019.109564
- Usoltseva R. V., Belik A. A., Kusaykin M. I., Malyarenko O. S., Zvyagintseva T. N., Ermakova S. P. 2020. Laminarans and 1,3-β-D-glucanases. *International Journal of Biological Macromolecules*, **163**, 1010-1025. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2020.07.034
- Van Tussenbroek. *et al.* 2017. Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin*, **122** (1-2): 272-281. DOI:10.1016/j.marpolbul.2017.06.0
- Vanavil B., Selvaraj K., Aanandhalakshmi R., Sri K. U., Arumugam M. 2020. Bioactive and thermostable sulphated polysaccharide from *Sargassum swartzii* with drug delivery applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, **153**, 190-200. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2020.02.332

- Vázquez-Delfin E. *et al.* 2021. Species composition and chemical characterization of *Sargassum* influx at six different locations along the Mexican Caribbean coast. *Science of the total environment*, **795**: 148852. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148852
- Vázquez J. A. C., González G. A., Zepeda C. H. 2020. El sargazo, un fenómeno complejo. In: *Revista de La Academia Mexicana de Ciencias: Mexico ante El Sargazo*. **71** (4): 20-27. (ISSN: 1405-6550), Yucatán, Ciudad de México. Disponível em: <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/vol-71-numero-4>. Acesso em: 13 mar. 2021
- Vijayan R., Chitra L., Penislusshiyam S., Palvannan T. 2018. Exploring bioactive fraction of *Sargassum wightii*: In vitro elucidation of angiotensin-I-converting enzyme inhibition and antioxidant potential. *International Journal of Food Properties*, **21** (1): 674–684. DOI:10.1080/10942912.2018.1454465
- Wan A. H. L., Davies S. J., Soler-Vila A., Fitzgerald R., Johnson M. P. 2018. Macroalgae as a sustainable aquafeed ingredient. *Reviews in Aquaculture*, **11** (3): 458-492. DOI:10.1111/raq.12241
- Wang M., Hu C., Barnes B. B., Mitchum G., Lapointe B., Montoya J. P. 2019. The great Atlantic *Sargassum* belt. *Science*, **365** (6448): 83–87. DOI:10.1126/science.aaw7912
- Wang M., Hu C., Cannizzaro J., English D., Han X., Naar D., Lapointe B., Brewton R., Hernandez F. 2018. Remote sensing of *Sargassum* biomass, nutrients, and pigments. *Geophysical Research Letters*, **45** (22): 12.359-12.367. DOI:10.1029/2018gl078858
- Walsh K. T. 2019. Examining the quality of a compost product derived from *Sargassum* (*Sargassum fluitans* and *Sargassum natans*) (Unpublished thesis). *Texas State University*, San Marcos, Texas, 57 p.
- Wijesekara I. & Karunarathna W. K. D. 2017. Usage of Seaweed Polysaccharides as Nutraceuticals. In: *Seaweed Polysaccharides*, 341–348. DOI:10.1016/b978-0-12-809816-5.00018-9
- Williams A. & Feagin R. 2010. *Sargassum* as a Natural Solution to Enhance Dune Plant Growth. *Environmental Management*, **46** (5): 738–747. DOI:10.1007/s00267-010-9558-3
- Yokoi K. & Konomi A. 2012. Toxicity of so-called edible hijiki seaweed (*Sargassum fusiforme*) containing inorganic arsenic. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, **63** (2): 291–297. DOI:10.1016/j.yrtph.2012.04.006