



Instituto Politécnico
de Castelo Branco
Escola Superior
Agrária



**POLITÉCNICO
DE LEIRIA**

ESCOLA SUPERIOR
DE TURISMO E
TECNOLOGIA DO MAR

Avaliação Nutricional de Diferentes Espécies de Algas Marinhas

Mariana Marques Almeida

Licenciatura em Biotecnologia Alimentar

Orientadores

António Manuel Moitinho Nogueira Rodrigues

Teresa Margarida Lopes da Silva Mouga

Co-orientadores

Filipa Inês Pitacas

Relatório de Estágio apresentado à Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Licenciada em Biotecnologia Alimentar, realizada sob a orientação científica do Diretor do Laboratório de Nutrição e Alimentação Animal da Escola Superior Agrária, Doutor António Manuel Moitinho Nogueira Rodrigues, do Instituto Politécnico de Castelo Branco e sob a orientação científica da Doutora Teresa Margarida Lopes da Silva Mouga, do Instituto Politécnico de Leiria.

Julho de 2024

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo seu apoio nos momentos mais difíceis e que me ajudaram a encontrar forças para completar este grande desafio da minha vida.

Agradecimentos

Primeiro de tudo, quero agradecer ao meu orientador Doutor António Rodrigues, por todo o conhecimento, experiência e ainda, pela paciência e motivação, que foram fundamentais em certos momentos e me ajudaram a finalizar este trabalho. Apesar da distância entre nós, quero agradecer, ainda, à minha orientadora Doutora Teresa Mouga, pela ajuda e indicações na colheita da biomassa, por toda a partilha de sabedoria relacionada às macroalgas, pela sua animação e ajuda na interpretação de alguns resultados.

Essencialmente, quero agradecer à minha co-orientadora, a Mestre Filipa Inês Pitacas, que durante o meu período de estágio, sempre esteve a meu lado a dar motivação e conselhos que me ajudaram a ultrapassar problemas pessoais e a puxar pelo meu melhor com o seu conhecimento, paciência e inúmeras questões que me fizeram entender que ainda tenho muito por descobrir.

Quero agradecer, às Eng.^{as} Ângela e Cláudia do Laboratório de Solos, por toda ajuda, ensinamentos, a boa disposição e por cederem o seu tempo para me orientarem na utilização dos equipamentos de espectrofotometria.

À Doutora Luísa Paulo, quero agradecer pela boa receção no laboratório de Físico-Química do Centro de Apoio Tecnológico Agro-Alimentar (CATAA), pela sua compreensão e disponibilização do liofilizador.

Quero agradecer à minha coordenadora de curso, a Professora Doutora Ofélia Anjos, por ceder o seu tempo, em alguns momentos para me ajudar e por mostrar preocupação com o meu relatório.

Agradeço aos meus amigos pelos bons momentos passados, com menção especial, à Inês Barrocas, por estar ao meu lado com a sua alegria e positivismo, o que me ajudou a ter esperança na escrita do presente relatório e à Ana Leal por me ajudar a esquecer os meus medos, preocupações e ansiedades com a sua personalidade calorosa e animadora.

Por último e não menos importante, quero agradecer às pessoas que mais respeito e adoro, o meu irmão, os meus pais, os meus avós, tios e à minha madrinha, os quais sempre tiveram a preocupação em perguntar, “Como está a correr o teu estágio?” e que me apoiaram incondicionalmente.

É com grande honestidade do meu coração em que escrevo:

Muito obrigada a todos, pois sem vocês esta realização não seria possível!

Resumo

A atual vida frenética da urbanização têm transmitido uma ilusão relacionada à abundância e diversidade alimentar. Nos países desenvolvidos, o consumo sem regras, cuidados alimentares e de fast food (alimentos sem nutrientes e rica em calorias e gorduras) influenciou a sociedade a adotar uma alimentação antagônica à tradicional, “slow food”, denominada comida caseira. Consequentemente, devido às carências nutricionais na alimentação, quer nos países desenvolvidos quer nos países subdesenvolvidos, a população pode contrair casos graves de doenças, tais como diabetes, arteriosclerose ou raquitismo. As algas são organismos unicelulares (microalgas) e multicelulares (macroalgas), classificadas em três grupos a partir da sua pigmentação, com capacidades fotossintéticas, responsáveis pela disponibilização de aproximadamente 80% do O₂ atmosférico. As investigações recentes sobre o consumo regular de macroalgas têm demonstrado os efeitos de diversos compostos bioativos, incluindo o seu potencial face a doenças, vírus e o envelhecimento, os quais são essenciais à saúde do ser humano. Da mesma forma, observou-se que a incorporação das algas marinhas na ração animal promove o crescimento positivo dos animais e melhora a qualidade da proteína animal. As macroalgas, conhecidas por serem fontes alimentares pobres em gorduras, contêm uma ampla gama de nutrientes como hidratos de carbono, proteínas, vitaminas e minerais, que podem ajudar a melhorar as carências nutricionais na alimentação humana.

A composição nutricional das três espécies de Buarcos e a de Porto Batel indicou uma variação de valores para cinzas, proteínas, gorduras, fibras e hidratos de carbono com 26,56 a 33,53 g/100 g MS, 18,05 a 18,43 g/100 g MS, 0,11 a 0,19 g/100 g MS, de 5,83 a 10,88 g/100 g MS e 68,43 a 77,88 g/100 g MS, respetivamente. Estes resultados viabilizam a utilização das algas marinhas estudadas como ótimos candidatos na suplementação nutricional de diversos produtos alimentares, essencialmente devido às grandes quantidades de minerais. Com a ausência de dados relativos à ingestão diária de algas marinhas, as entidades responsáveis sugeriram a utilização da dose média diária (8-10 g) de matéria seca de algas marinhas, idêntica à utilizada nos países asiáticos. No rótulo apresentado neste trabalho, as maiores percentagens das doses diárias recomendadas (% DDR) de magnésio e potássio, foram observadas na macroalga castanha de Porto Batel (36,7 % e 19,7 %). No entanto, foi observado nas espécies colhidas na Baía de Buarcos, uma maior % DDR de cálcio, sódio, fósforo, ferro, zinco, cobre e manganês, os quais são superiores aos valores da espécie de Porto Batel. Os resultados do presente estudo confirmam a afirmação de que os perfis nutricionais e minerais das macroalgas dependem da espécie em questão, da proveniência geográfica e da disponibilidade de nutrientes no ambiente envolvente. Esta diversidade torna estes vegetais marinhos uma fonte viável de nutrição para o consumo humano.

Palavras chaves

macroalgas, nutrição, ambiente marinho, minerais, rótulo

Abstract

Today's hectic life of urbanization has given rise to an illusion of food abundance and diversity. In developed countries, the unregulated consumption of fast food (foods lacking in nutrients and high in calories and fat) has influenced society to adopt a diet that is antagonistic to the traditional "slow food", known as home-cooked food. As result, due to nutritional shortages in the diet, both in developed and underdeveloped countries, the population can contract serious diseases such as diabetes, arteriosclerosis or rickets. Algae are unicellular (microalgae) and multicellular (macroalgae) organisms, classified in three groups based on their pigmentation, with photosynthetic capabilities, responsible for providing approximately 80% of the atmospheric oxygen (O₂). Recent research into regular consumption of macroalgae has demonstrated the effects of various bioactive compounds, including their potential against diseases, virus and ageing, which are essential to the human health. Similarly, the incorporation of seaweed into animal feed has been observed to promote positive growth in animals and enhance the quality of animal protein. Macroalgae, known for being a low-fat-food source, contain a wide range of nutrients such as carbohydrates, proteins, vitamins and minerals, which can help improve nutritional shortages in the human diet.

The nutritional composition of the three species of Buarcos and Porto Batel exhibited a range of values for ash, protein, fat, fiber and carbohydrates with 26.56 to 33.53 g/100 g DM; 18.05 to 18.43 g/100 g DM; 0.11 to 0.19 g/100 g DM; 5.83 to 10.88 g/100 g DM and 68.43 to 77.88 g/100 g DM, respectively. These results make it feasible to use the seaweeds studied as excellent candidates for nutritional supplementation of various food products, essentially due to the large quantities of minerals. With the lack of data on the daily intake of seaweed, the responsible authorities have suggested using an average daily intake (8-10 g) of dry seaweed matter, identical to that used in Asia countries. In the labelling presented in this paper, the highest percentages of the recommended daily intake (% RDA) of magnesium and potassium were observed in the brown macroalgae from Porto Batel (36.7 % and 19.7 %). However, a higher % RDI for calcium, sodium, phosphorus, iron, zinc, copper and manganese, was observed in the species harvested in Buarcos Bay. The findings of this study confirm the assertion that the nutritional and mineral profiles of macroalgae are contingent upon the species in question, the geographical provenance, and the availability of nutrients in the surroundings environment. This diversity makes macroalgae a viable source of nutrition for human consumption.

Keywords

macroalgae, nutrition, marine environment, minerals, label

Índice Geral

I. Introdução	1
1. Produção e Consumo de Algas marinhas	1
1.1. A nível Mundial	1
1.2. Comercialização de algas marinhas	3
1.3. Espécies mais produzidas e mais consumidas em todo o mundo	4
1.4. Modo de Produção e Aplicações	6
1.5. Empresas portuguesas que produzem algas	7
II. Revisão Bibliográfica.....	8
1. Algas Marinhas	8
1.1. Aspetos Gerais	8
1.2. Composição Química das Macroalgas	9
1.3. <i>Ulva rigida</i>	11
1.4. <i>Gracilaria multipartita</i>	12
1.5. <i>Sargassum muticum</i>	13
1.6. Potencialidades e Riscos	15
III. Materiais e Métodos	16
1. Delineamento Experimental.....	16
1.1. Colheita de Amostras.....	16
1.2. Preparação de Amostras.....	17
2. Análises Químicas.....	18
2.1. Determinação do Teor de Humidade e de Matéria Seca.....	18
2.2. Determinação do Teor de Cinzas e da Matéria Orgânica	19
2.3. Determinação do Teor de Gordura Bruta - Método Soxtec	20
2.4. Determinação do Teor da Fibra Bruta – Método Weende	21
2.5. Determinação do Teor do azoto e da Proteína Bruta - Método Kjeldahl.....	22
2.6. Determinação dos Hidratos de Carbono	23
2.7. Energia	23
3. Determinação do Teor de Minerais	24
IV. Resultados e Discussão	25
1. Avaliação nutricional	25
1.1. Humidade e Matéria Seca.....	25
1.2. Cinzas e Matéria Orgânica	25
1.3. Proteína Bruta.....	26
1.4. Gordura Bruta	29

1.5.	Fibra Bruta	29
1.6.	Hidratos de Carbono	30
1.7.	Energia	31
2.	Avaliação de minerais	31
IV.	Conclusão	37
	Referências Bibliográficas	38

Índice de figuras

Figura 1: Representação gráfica dos 10 principais produtores no setor de algas marinhas em 2021.....	2
Figura 2: Representação gráfica da produção de macroalgas pelos países que não pertencem à Ásia, entre 2000 e 2021.	3
Figura 3: Representação gráfica da dimensão estimada do mercado de algas marinhas até 2030 (apresentada em dólares americanos), com a possibilidade de estabelecer o mercado, representado por uma cor, num cronograma temporal.	4
Figura 4: Representação gráfica da produção mundial das principais espécies de macroalgas em 2021.....	5
Figura 5: Principais métodos de produção de algas na Europa.	6
Figura 6: Aplicações da biomassa macroalgal na Europa.....	7
Figura 7: Ilustração de dois tipos de algas diferentes; a) Observação da microalga (<i>Scenedesmus</i> , Chlorophyta) ao microscópio (20 µm); b) Visualização a olho nu da macroalga (<i>Porphyra umbilicalis</i> , Rhodophyta)..	9
Figura 8: Ilustração da macroalga verde <i>Ulva rigida</i>	11
Figura 9: Ilustração da alga marinha vermelha <i>Gracilaria multipartita</i>	12
Figura 10: a) Massas flutuantes da macroalga castanha <i>Sargassum muticum</i> ; b) Ilustração da estrutura da <i>S. muticum</i>	14
Figura 11: Mapeamento das espécies de <i>Sargassum muticum</i> invasoras (nas costas norte Americana e Europa) e nativas na costa dos países asiáticos.....	15
Figura 12: Aplicações mais importantes das macroalgas utilizadas nos vários setores industriais.	16
Figura 13: Ilustração das macroalgas verde, vermelha e castanha colhidas na Baía de Buarcos; a) <i>Ulva rigida</i> ; b) <i>Gracilaria multipartita</i> ; c) <i>Sargassum muticum</i> ;	17
Figura 14: Mapeamento do local de colheita da macroalga <i>S. muticum</i> de Porto Batel.....	17
Figura 15: Biomassa de macroalgas secas em estufa; Buarcos: a) <i>Ulva rigida</i> ; b) <i>Gracilaria multipartita</i> ; c) <i>Sargassum muticum</i> ; Porto Batel: d) <i>S. muticum</i> desidratas	18
Figura 16: Estufa utilizada para determinação da húmida das amostras de macroalgas (Estufa Memmert UL 60) do Laboratório de Nutrição para Alimentação Animal (LNAA).	18
Figura 17: Mufla utilizada para determinação das cinzas das amostras de macroalgas (mufla Nabertherm L15 C6) no LNAA.....	19
Figura 18: Sistema Soxtec para a determinação da gordura bruta das amostras de macroalgas (Tecator Soxtec System HT e a unidade de extração 1043 Extraction Unit associado a uma unidade de aquecimento 1046 Service Unit) com cartuchos de celulose de papel, copos de alumínio e suportes metálicos	20
Figura 19: Unidade de extração Fibertec para determinação da fibra bruta das amostras de macroalgas (Tecator Fibertec System M6, 1020 Hot Extractor).	21
Figura 20: Sistema de digestão (Tecator Digestion System 6 – 1007 Digester) do LNAA.	22
Figura 21: Equipamento de destilação (Velp UKD 139 - Semi-Automatic Kjeldahl Distillation unit) do Laboratório de Solos- LS.	22
Figura 22: Ice 3000 Series Atomic Absorption Spetctrometer utilizado para determinação dos minerais no laboratório de solos (LS).	22

Figura 23: Evolution 300 UV-VIS Spectrometer utilizado para determinação do fósforo no LS. 24

Lista de tabelas

Tabela 1: Macroalgas cultivadas intensivamente em 2021	5
Tabela 2: Composição química de macroalgas (verdes, vermelhas e castanhas) de <i>Ulva</i> spp., <i>Sargassum</i> spp. e <i>Gracilaria</i> spp.....	10
Tabela 3: Composição proximal (g/100 g MS) das três amostras (em duplicado) das espécies de algas marinhas colhidas na Baía de Buarcos (<i>Sargassum muticum</i> , <i>Ulva rigida</i> , <i>Gracilaria multipartita</i>) e de uma amostra (em duplicado) da espécie colhida na praia de Porto Batel (<i>Sargassum muticum</i>).	28
Tabela 4: Composição mineral (em mg/g na matéria seca) das três amostras (e duplicados) das macroalgas de Buarcos (<i>Sargassum muticum</i> , <i>Ulva rigida</i> e <i>Gracilaria multipartita</i>) e de uma amostra de alga (<i>Sargassum muticum</i>) de Porto Batel	33
Tabela 5: Comparação da composição nutricional e mineral em 8 g de algas marinhas secas (de Buarcos e de Porto Batel) com os valores das doses diárias recomendadas para um adulto (% DDR).	36

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

AOAC – Association of Official Agricultural Chemist

ESA – Escola Superior Agrária de Castelo Branco

FAAS – Espectroscopia de Absorção Atómica de Chama

FAO – Food and Agriculture Organization

FB – Fibra bruta

GB - Gordura bruta

HC – Hidratos de Carbono

IMTA – Aquacultura Multi-Trófica Integrada

LNAA – Laboratório de Nutrição para Alimentação Animal

LS – Laboratório de Solos

MACOI – Website de Macroalgas Portuguesas

MAS – Espectroscopia de Absorção Molecular

MS – Matéria seca

PB – Proteína bruta

WHO – World Health Organization

I. Introdução

1. Produção e Consumo de Algas marinhas

1.1. A nível Mundial

Desde os tempos antigos que os habitantes das zonas costeiras recorriam às algas marinhas como um alimento funcional e recurso médico (Nanri et al., 2017; Notowidjojo, 2021). Contudo, a tradição sobreviveu em apenas alguns países asiáticos (grande parte insulares), como o Japão, Coreia, China, Tailândia, Vietname, Malásia, Filipinas, Indonésia (Pereira, 2016; Leite, 2017).

A nível mundial, as algas marinhas foram identificadas como uma das fontes mais promissoras pela sua extraordinária capacidade de adaptação, pelo seu curto período de desenvolvimento e sustentabilidade de recursos. Tal constituiu um avanço significativo e eficaz na mitigação de futuras crises de recursos alimentares (Zhang, et al., 2022), relacionadas com o crescimento gradual da população mundial, tais como dificuldades na estabilidade alimentar e conseqüentemente, nas necessidades em termos de recursos e de cuidados de saúde prestados à sociedade (United Nations, 2017; Santos, 2017). Como exemplo, o relatório das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO, 2023), estimou que entre 2021 e 2022, 21,3% da população mundial (735 milhões de pessoas) apresentou casos graves de subalimentação, nomeadamente no Sul da Ásia e em África. Esta organização previu ainda, que até 2050 a população mundial irá atingir cerca de 9 bilhões de pessoas, o que pode agravar os problemas de subnutrição (Circuncisão, 2017).

No ano de 2019, a produção mundial de macroalgas em aquacultura totalizou um valor de 34,7 milhões de toneladas, com uma percentagem representativa de 97% das algas consumidas, enquanto cerca 3% (1,1, milhões de toneladas) da produção mundial provinha da recolha de espécies selvagens dos seus habitats naturais. Este aumento na produção entre 2000 e 2019 deveu-se, em grande parte, à utilização de algas marinhas como matéria-prima para uma diversidade de extratos, como a carragenina (West et al., 2016; FAO e WHO, 2023) e outros hidrocolóides (alginatos e agar) para a alimentação e produção de medicamentos, papel, fertilizantes e ração para animais (White e Wilson, 2015). Além disso, existe um crescente interesse na utilização de novos aditivos alimentares à base de macroalgas, tais como aromas, corantes alimentares e nutrientes (Rahikainen, Samson e Yang, 2021).

Em 2021, a indústria de algas marinhas foi, geograficamente, dominada pela Ásia (principalmente no sul e este do continente) com 99,5% (35 milhões de toneladas) da produção global, em termos de volume. Nesse ano, só a China representava 61% da produção mundial. Outro produtor significativo no setor de algas marinhas foi a Indonésia, o qual totalizou uma quota de mercado de 26%. Este país, foi seguido pela República da Coreia, Japão e Malásia, os quais representaram 12,2%, enquanto a República Unida da Tanzânia, a Federação Russa e o Chile demonstram uma

contribuição conjunta de apenas 0,34% da produção (FAO, 2023; United Nations, 2024). A Figura 1 indica a lista dos 10 principais produtores de algas marinhas.

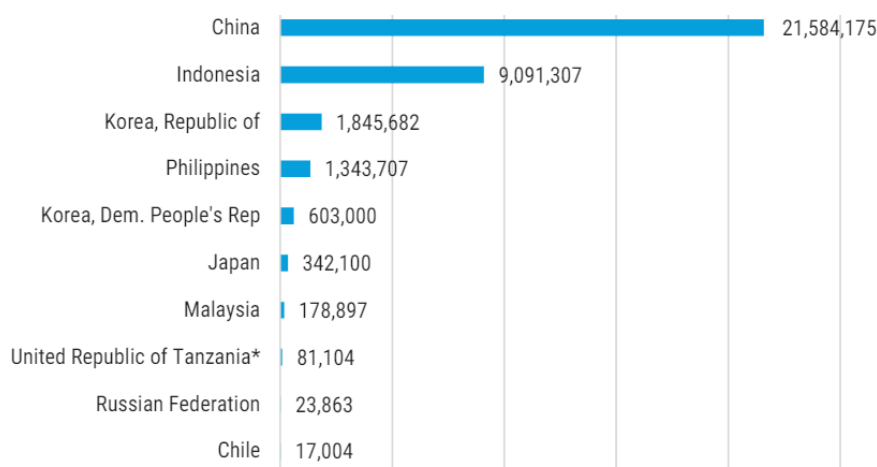


Figura 1: Representação gráfica dos 10 principais produtores no setor de algas marinhas em 2021 (FAO, 2023; United Nations, 2024).

A produção de macroalgas está a experienciar um período de rápido crescimento na Europa e Oceania, devido à crescente procura interna. Na Europa, o crescimento da produção de algas marinhas desde 2017 tem sido liderado pela Federação Russa, a qual foi responsável pela produção de 23,8 mil toneladas em 2021. Nas Américas, tradicionalmente, o Chile e o Peru têm-se destacado como os principais produtores de algas marinhas, cuja produção conjunta alcançou um volume de 88 mil toneladas em 2009. No entanto, em 2021 essa quantidade diminuiu para 17 mil toneladas. No continente africano, a produção total cultivada foi essencialmente controlada pela República Unida da Tanzânia, onde ocorreu em 2015 um pico de 178 mil toneladas. Porém, em 2021, esse volume diminuiu para 81 mil toneladas (United Nations, 2024). A representação da Figura 2, mostra a quantidade de algas marinhas produzidas (toneladas) pelos países que não pertencem ao continente asiático, entre 2000 e 2021.

No continente europeu, existem cerca de 163 empresas produtoras de macroalgas, com a França (33 empresas), a Irlanda (29 empresas) e a Espanha (22 empresas) a representar os três Estados-Membros mais importantes (Kuech, Breuer e Popescu, 2023). Contudo, existem no total 13 países onde a produção de macroalgas está a ser desenvolvida, nomeadamente, a Noruega, o Reino Unido e a Dinamarca (Araújo et al., 2021). Neste caso, em comparação com a área Mediterrânica, a maioria da produção está localizada no Norte Atlântico, onde mais de dois terços das empresas procedem à colheita de stocks selvagens na costa, na qual se realiza 85% manualmente e 15% mecanicamente.

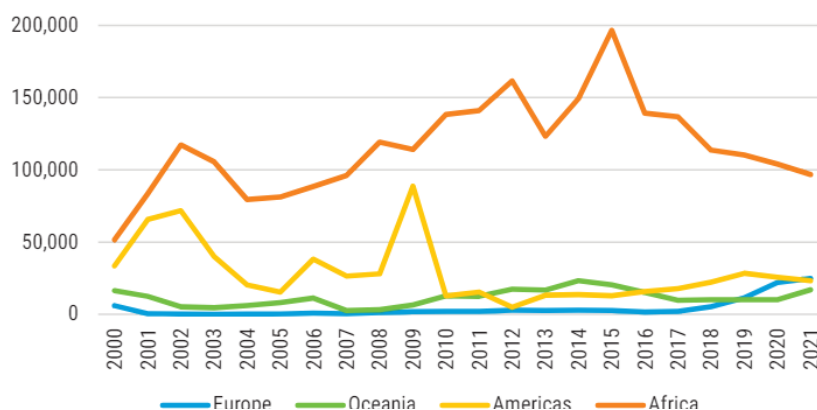


Figura 2: Representação gráfica da produção de macroalgas pelos países que não pertencem à Ásia, entre 2000 e 2021 (FAO, 2023; United Nations, 2024).

Portugal contém uma das costas mais extensas da União Europeia, com cerca de 2587 km, uma dimensão que inclui o território continental (1242 km) e os arquipélagos dos Açores (943 km) e da Madeira (402 km). Nos anos 70, Portugal era um dos maiores produtores mundiais de agar, mas em consequência da sobre-exploração das algas marinhas e das alterações do ecossistema marinho, esta indústria sofreu grandes perdas. No entanto, ainda existe esperanças para a sua recuperação, uma vez que, em Portugal a utilização de macroalgas na alimentação é casual e, como se verifica nos dias atuais, estão muito associadas com o consumo de comida japonesa, com a exceção dos Açores, onde há registos históricos relacionados com o consumo de espécies de macroalgas específicas (Soares et al., 2017). Em 2017, a produção aquícola em Portugal originou uma receita de 83,2 milhões, tendo sido produzido 12549 toneladas de organismos (Cardoso, 2017). Em Portugal, as principais espécies de macroalgas utilizadas para a alimentação e agricultura são a *Codium* spp., *Enteromorpha* spp. e *Ulva* spp; quer para a agricultura, a alimentação quer para a medicina são utilizadas a *Fucus* spp., *Saccharina* spp., *Gelidium* spp., *Gracilaria* spp., *Mastocarpus stellatus*, *Osmundia pinnatifida*, *Porphyra leucostica* e *Palmaria* spp. (Serrano, 2019).

1.2. Comercialização de algas marinhas

Como é identificado na Figura 3, o relatório do Global Seaweeds New and Emerging Markets (2023), identificou 10 mercados globais de algas marinhas com o potencial para um crescimento económico na produção de mais de 11,8 bilhões de dólares até 2030. No entanto, uma grande parte do valor adicional do setor das algas marinhas ainda permanece desconhecido. Contudo, os produtos produzidos a partir de macroalgas têm a capacidade de substituir os combustíveis fósseis em setores, como os de tecido e plástico, garantir serviços ecossistémicos, nomeadamente, a fixação de carbono e o ciclo do azoto e, por fim, viabilizar benefícios socioeconómicos nas populações mais vulneráveis, que habitam as zonas costeiras.

As macroalgas são naturalmente perecíveis devido ao seu elevado teor de água (60 a 94 %) (Holdt e Kraan, 2011; Silva et al., 2019) e portanto, são comercializadas a seco, onde aproximadamente 83 % da sua produção global total destina-se para o consumo humano (Mahadevan, 2015; Amlani, Yetgin, 2022). Após a sua desidratação, o teor de água irá apresentar valores próximos de 10 % (Costa et al 2015). A nível comercial, o grupo de espécies responsáveis por dois terços da produção mundial de macroalgas são as castanhas, enquanto as algas marinhas vermelhas e verdes representam aproximadamente um terço e 5 % da produção global, respetivamente (Lorenzo et al., 2017; Rahikainen, Samson e Yang, 2021).

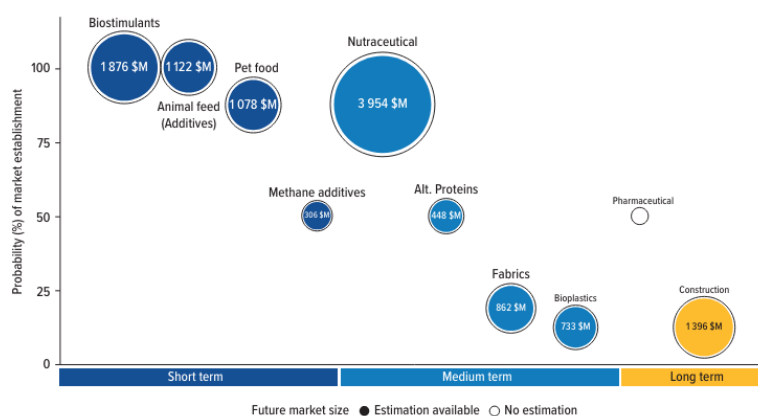


Figura 3: Representação gráfica da dimensão estimada do mercado de algas marinhas até 2030 (apresentada em dólares americanos), com a possibilidade de estabelecer o mercado, representado por uma cor, num cronograma temporal (The World Bank, 2023).

Nos países ocidentais a sua utilização na culinária é ainda limitada, em comparação com os países do Leste, onde são regularmente utilizadas na cozinha (Lloréns, 2019). Por exemplo, nos países como o Japão, a China e a Coreia, aproximadamente 66 % das espécies de algas são utilizadas como ingrediente diário nas suas dietas (Notowidjojo, 2021).

1.3. Espécies mais produzidas e mais consumidas em todo o mundo

Apesar da considerável variedade de macroalgas comestíveis e de outras espécies úteis, a maioria da produção de algas marinhas (98 %) é atribuída apenas a cinco géneros (Pereira et al., 2008; Rahikainen, Samson e Yang, 2021), a *Laminaria/Saccharina*, *Undaria*, *Porphyra*, *Euclima/Kappaphycus* e *Gracilaria* (Pereira e Yarish, 2008). A Figura 4 indica a produção mundial de macroalgas por espécies em 2021 e é baseada com os valores na Tabela 1, reportados pela Food and Agriculture Organization (2023). Dessas macroalgas, três são utilizadas para a alimentação, nomeadamente o nori (*Porphyra* spp.), uma alga utilizada na preparação de sushi, o wakame (*Undaria pinnatifida*), utilizado na preparação de saladas de algas (Peteiro, 2017; Langford, 2024) e o kombu (*Laminaria/Saccharina japonica*), utilizado

para aromatizar sopas. No seu conjunto, estas três espécies são aquelas que representam a maior parte da produção mundial de algas marinhas nas águas moderadas da China, do Japão e da República da Coreia. As outras espécies comerciais são algas marinhas essenciais para a extração de hidrocolóides, cultivadas na Indonésia, Filipinas e China (Langford, 2024).

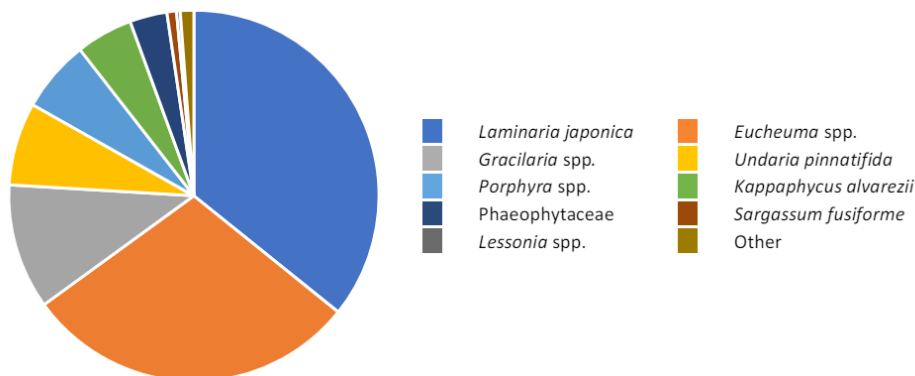


Figura 4: Representação gráfica da produção mundial das principais espécies de macroalgas em 2021 (Rahikainen, Samson e Yang, 2021).

Tabela 1: Macroalgas cultivadas intensivamente em 2021 (FAO,2023; Langford, 2024).

Usos	Espécies	Produtos principais	Proporção do mercado global	Principais produtores e a percentagem da produção global
Alimentação	<i>Laminaria /Saccharina japonica</i>	Kombu	39%	China (90 %); Coreia do Sul (5 %) e do Norte (5 %)
	<i>Undaria pinnatifida</i>	Wakame	8%	China (77 %); Coreia do Sul (21 %); Japão (2 %)
	<i>Porphyra</i> spp.	Nori	8%	China (71 %); Coreia do Sul (20 %); Japão (2%)
Hidrocolóides	<i>Eucheuma</i> spp. <i>Kappaphycus</i> spp.	Carragenina	26%	Indonésia (81 %); Filipinas (15 %); Japão (9 %)
	<i>Gracilaria</i> spp.	Agar	14%	China (85 %); Indonésia (15 %)
—	Todas as outras espécies	—	5%	—

A China é o principal produtor de hidrocolóides de todas as algas marinhas, com exceção das carrageninas, os quais são predominantes na Indonésia e Filipinas. Nos

últimos vinte anos, a proporção da produção mundial das macroalgas, representada pelas carrageninas, apresentou um aumento significativo de 26 % do volume total da indústria de algas marinhas (Langford, 2024).

1.4. Modo de Produção e Aplicações

A Figura 5 indica os principais métodos de produção de algas, que se encontram ainda em fase de desenvolvimento. No entanto, para facilitar o crescimento significativo da produtividade e qualidade global dos produtos à base de algas, é necessário criar equipamentos inovadores. Estes podem incluir, por exemplo, sistemas de cultivo e transformação em grande escala (potencialmente automatizados) e sondas de monitorização com sistemas de contro-comando, capazes de reduzir a perda imprevisível de biomassa e os custos da mão de obra, bem como melhorar os processos de biorrefinarias para o tratamento de toda a biomassa de macroalgas e microalgas, em contraste com a prática atual de processar apenas um pequeno volume de componentes ativos, o que resulta no desperdício da biomassa restante. (Bombelli et al., 2022; COM, 2022).

De acordo com o relatório da Food and Agriculture Organization (FAO) and *World Health Organization* (WHO) (2023), a transformação de algas marinhas podem incluir a utilização de diversos métodos, nomeadamente, a secagem, fermentação, branqueamento, congelação ou até incluir a combinação de ambos os métodos.

A atividade aquícola de algas marinhas ocorre principalmente no mar (76%), no qual se prevê que a crescente propagação do cultivo seja, significativamente, superior ao das investigações realizadas em terra. Para a produção de microalgas na Europa, mais de dois terços das empresas utilizam os fotobiorreatores como o principal método de produção, seguidos de tanques (19%) e fermentadores (10%) (Araújo et al., 2021, cit., Kuech, Breuer e Popescu, 2023).



Figura 5: Principais métodos de produção de algas na Europa (COM, 2022).

A biomassa de macroalgas marinha é um recurso versátil muito utilizado para uma variedade de aplicações na Europa. Como a Figura 6 indica, a maior utilização desta biomassa é na produção alimentar, a qual representa 36% das empresas europeias no setor de macroalgas. Além desta, aproximadamente 15% das empresas utilizam a

biomassa para produtos relacionados com a alimentação, tais como suplementos alimentares, agentes espessantes e conservantes e cerca de 10% das empresas de algas marinhas solicitam a utilização dos seus produtos no fabrico de alimentos para animais. Outras 17% das empresas proporcionam a utilização destes organismos na produção de produtos cosméticos e de higiene pessoal, enquanto as restantes aplicações incluem a produção de biocombustíveis e fertilizantes (Kuech, Breuer e Popescu,2023).

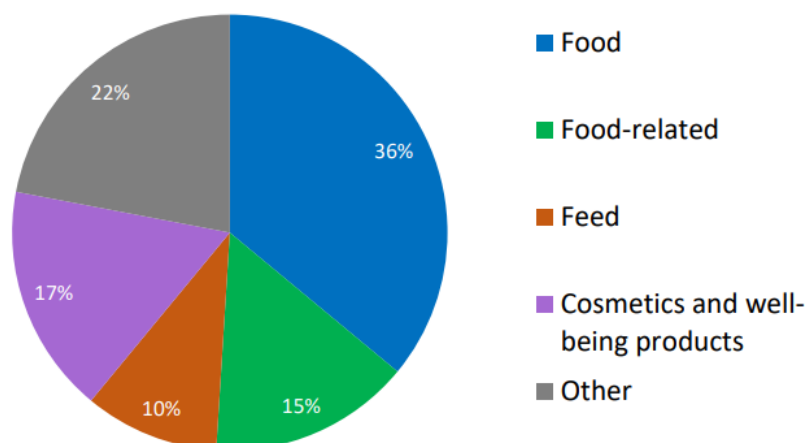


Figura 6: Aplicações da biomassa macroalgal na Europa (Araújo et al., 2021; Kuech, Breuer e Popescu, 2023).

1.5. Empresas portuguesas que produzem algas

Atualmente, em Portugal, apenas existe uma empresa especializada na produção de macroalgas, conhecida pelo nome de ALGApplus. Esta é uma empresa situada na região de Aveiro, que desde 2012 têm vindo a produzir, única e exclusivamente, espécies locais sob sistemas de IMTA (Aquacultura Multi-trófica Integrada), com tanques de aquacultura alimentados pelas águas da Ria de Aveiro. Das espécies produzidas, encontramos a *Ulva rigida*, a *Gracilaria gracilis*, o *Chondrus crispus*, a *Palmaria palmata*, a *Porphyra dioica* e *P. umbilicalis*, o *Codium tomentosum* e o *Fucus vesiculosus* (Abreu et al., 2005; Serrano, 2019).

A WISSI é uma marca portuguesa, criada em 2020 pela União Europeia, pioneira na colheita natural das algas marinhas, com o objetivo de as introduzir na dieta quotidiana dos portugueses. Nos dias de hoje, a grande distribuição, como o continente, têm apresentado estes vegetais marinhos nas prateleiras sob a forma desidratada, de temperos e barritas. Esta marca é responsável pela recolha, transformação e comercialização de algas (do fundo do oceano Atlântico) saudáveis para o consumo humano. Para ajudar os clientes na compra das algas WISSI, a marca disponibiliza no seu Website várias receitas e o modo de preparação (União Europeia, 2021).

II. Revisão Bibliográfica

1. Algas Marinhas

1.1. Aspectos Gerais

Todos os seres vivos habitam num planeta, no qual aproximadamente 72% da superfície é água. Como todos os elementos essenciais à sua sobrevivência encontram-se na água do mar, todas as formas de vida evoluíram através desta matriz extensa e genuína (Sá, 2002; Gomez-Zavaglia et al., 2019), ou seja, os ecossistemas aquáticos possuem e fornecem condições vitais a 500000 espécies (Gomez-Zavaglia et al., 2019) de inúmeros organismos, tais como as algas, os moluscos, as esponjas do mar (do filo porifera), corais e tunicados (do filo cordados).

Atualmente, os oceanos já são considerados os verdadeiros “pulmões da Terra”, devido à residência de cianobactérias e outras algas na água do mar. Na realidade, estes seres são os responsáveis pela disponibilização de cerca 80% do oxigénio atmosférico, do qual necessitamos para sobreviver. As algas, entre as espécies microscópicas e macroscópicas, são quase omnipresentes por se distribuírem em todos os ambientes húmidos na terra, na água doce ou nos oceanos (Lewin e Andersen, 2019; Leandro, Pereira e Gonçalves, 2020), bem como possivelmente em montanhas cobertas de neve, fontes termais e desertos (Lee, 2018; Inácio, 2023). Em relação ao seu desenvolvimento, as macroalgas apresentam uma velocidade de crescimento 10 vezes superior aos das plantas terrestres e portanto, alguns estudos referem ser necessário menos de um décimo da terra para produzir a mesma quantidade de biomassa. Este crescimento não compete com os das outras culturas e nem necessita de água doce (Tzachor, 2019; Zhang et al., 2022).

A fim de as poder distinguir, as algas foram agrupadas em dois grupos principais. Como referido anteriormente, é o das microalgas (Figura 7, a) que, como o nome indica, são seres de dimensões microscópicas geralmente unicelulares (algas verdes, azuis, Dinoflagellata – dinoflagelados, Bacillariophyceae – diatomáceas, entre outras) e o das macroalgas (Figura 7, b), conhecidas por serem organismos grandes de dimensões macroscópicas (Rhodophyta, Chlorophyta, Phaeophyceae), de alguns milímetros até alcançar mais de 50 metros de comprimento (Kim, 2015; Leite, 2017).

As macroalgas, que habitam desde águas costeiras pouco profundas até águas com cerca de 1800 metros de profundidade (Akika et al., 2010; Silva, 2015), são produtores primários e organismos multicelulares que não possuem a mesma complexidade das plantas terrestres, uma vez que carecem de raízes, caules, folhas (Notowidjojo, 2021), flores e sementes. Para o seu bom desenvolvimento, muitos destes organismos são bentónicos e, portanto, dependem da sua fixação a substratos duros, como afloramentos rochosos ou outras formações geológicas, situados sob a superfície da água ou em movimento pelo oceano (McHugh, 2003; Sultana et al., 2023). No âmbito da sua morfologia, elas possuem talos lisos, com muitas ramificações longas e curtas e no geral, diferentes colorações (vermelha, verde e castanha) (Hamed et al., 2015;

Notowidjojo, 2021). Relativamente à composição pigmentar, é possível classificar, em classes e filos, as macroalgas que pertencem ao domínio Eukarya e aos reinos Archaeplastida (algas verdes e vermelhas) e Stramenopila (algas castanhas) (Pereira, 2009). Os três grupos taxonômicos que caracterizam as macroalgas são: a divisão Chlorophyta (algas verdes), onde a coloração é idêntica à das plantas (clorofilas a e b e carotenóides); a divisão Rhodophyta (algas vermelhas), as quais possuem clorofila a, ficobilinas (R-ficocianina e R-ficoeritrina) e carotenóides (β -caroteno, luteína e zeaxantina); a divisão Heterokontophyta (algas castanhas), que possui clorofila a e carotenóides (fucoxantina, responsável pela cor acastanhada); (Pereira, et al., 2013; Rodrigues, 2015).



Figura 7: Ilustração de dois tipos de algas diferentes; a) Observação da microalga (*Scenedesmus*, Chlorophyta) ao microscópio (20 µm); b) Visualização a olho nu da macroalga (*Porphyra umbilicalis*, Rhodophyta) (Pereira, 2021).

1.2. Composição Química das Macroalgas

As algas marinhas possuem na sua composição um elevado valor nutricional (Afonso et al., 2021), cujo conteúdo de hidratos de carbono, proteínas, lípidos e cinzas variam aproximadamente, entre 33-75%, 10-15%, 1,5-4% e 3-47% respetivamente. O teor de humidade das algas frescas varia entre 80-90% enquanto o das algas em seco (em estufa) varia entre 10-20% (Circuncisão, 2017). Contudo, a sua composição química pode variar conforme a espécie, localização e as condições ambientais (Notowidjojo, 2021), tais como a concentração de gases dissolvidos (CO_2 e O_2), da intensidade luminosa, concentração mineral (salinidade e nutrientes), temperatura, dos raios ultravioleta, diversos poluentes, agentes patogénicos (fungos, vírus e bactérias) e predadores (Gressler et al., 2010; Silva, 2015). Com o fim de se adaptarem nesses meios, as suas células produzem, como um mecanismo de autodefesa, uma diversidade de compostos significativos cujos estudos mostraram serem benéficos à saúde humana (Dixit et al., 2018; Lomartire e Gonçalves, 2022).

Estes seres são estudados pelo seu valor rico em compostos com atividades biológicas específicas, dos quais se incluem, os compostos orgânicos complexos e metabolitos primários e secundários (Biris-Dorhoi et al., 2020). Na Tabela 2 estão representados os parâmetros nutricionais determinados por alguns autores de macroalgas (verdes, vermelhas e castanhas).

É ainda importante referir que, as macroalgas possuem uma elevada concentração de macrominerais (Ca, Mg, Na, P e K) e de microminerais (Zn, I, Mn, Fe e Cu). No geral, as algas marinhas são constituídas por Na, K, Ca, Fe e Mg com quantidades entre 15-25% do seu peso seco, o que as marca como as principais fontes de cálcio e fósforo. Adicionalmente, ingerir macroalgas vai beneficiar o ser humano com a redução da hipertensão, devido à presença de uma razão Na/K baixa (Mohamed, Hashim e Rahman, 2012; Castro, 2020). É de salientar que o conteúdo de minerais presente nas algas marinhas pode apresentar uma variação considerável e em alguns casos, exceder as suas concentrações na zona de água envolvente, devido à grande capacidade de acumulação destes organismos (Rupérez, 2002; Ritter, 2019).

Tabela 2: Composição química de macroalgas (verdes, vermelhas e castanhas) de *Ulva* spp., *Sargassum* spp. e *Gracilaria* spp.

Espécies de Macroalgas	Referências Bibliográficas	Composição Nutricional					
		% cinzas	% MO	% GB	% PB	% FB	% HC
		%MS	%MS	%MS	%MS	%MS	%MS
Macroalgas Verdes (Chlorophyta)							
<i>Ulva lactuca</i>	(Pereira, 2011) ¹	12,9	87,1	0,6 - 1,6	10,0 - 25	29 - 55	36 - 43
<i>Ulva reticulada</i>	(Yaich et al., 2011) ²	—	—	1,7 - 2,3	17 - 20	65,7	50 - 58
<i>Ulva rigida</i>	(Ratana-Arporn e Chirapart, 2006) ²	26,8	73,2	0,9	17,8	11,9	42,6
<i>Ulva rigida</i>	(Pereira, 2011)	28,6	71,4	0,9 - 2,0	18 - 19	38 - 41	43 - 56
Macroalgas Castanhas (Heterokontophyta)							
<i>Sargassum pelágico</i>	(FAO, 2022)	9 - 47 %	—	< 4 %	2 - 15 %	7 - 33 %	11 - 59 %
<i>Sargassum muticum</i> (Portugal-Buarcos)	(Rodrigues et al., 2015)	22,94 ± 0,06	67,41 ± 0,02	1,45 ± 0,07	16,9 ± 0,2	26,41	45,6
<i>Sargassum fusiforme</i>	(Pereira, 2011)	19,77	80,23	1,4	11,6	17 - 69	30,6

Macroalgas vermelhas (Rodophyta)							
<i>Gracilaria gracilis</i> (Portugal - Buarcos)	(Rodrigues et al., 2015)	24,8 ± 0,03	67,21 ± 0,01	0,60 ± 0,01	20,2 ± 0,6	–	–
<i>Gracilaria changii</i>	(Pereira, 2011)	22,7	77,3	3,3	6,9	24,7	–
<i>G. chilensis</i>	(Pereira, 2011)	18,9	81,1	1,3	13,7	–	66,1
<i>G. vermiculophyllum</i>	(Afonso et al., 2021)	19,6 ± 16	80,4	1,2 ± 0,1	20,8 ± 0,6	26,37	40,2 ± 5,3

¹ Citado por Circuncisão, 2017; ² Citado por Xu et al., 2023; – Não determinado

1.2. *Ulva rigida*

A espécie cosmopolita, *Ulva rigida* C. Agardh 1823 (Chlorophyta, Ulvophyceae, Ulvales, Ulvaceae, (Guiry e Guiry, 2013; Pavão, 2014), denominada de alface-do-mar, contém um talo, formando fronde ou lâmina, e um pequeno disco que permite a sua fixação ao substrato (Neto et al, 2005; Magalhães, 2014). Esta espécie pode ser localizada em diferentes zonas costeiras,(em poças de maré, rochas intertidais e recifes) e ainda nas correntes de água salobra ou mesmo doce, por exemplo nas proximidades da foz de um rio, onde existe grandes concentrações de nutrientes. Na Figura 8, a *Ulva rigida* é conhecida por apresentar um talo fino com cerca de 10 a 30 cm de comprimento, podendo apresentar tons de verde (Womersley, 1984; Paopun et al., 2023), entre o verde brilhante a verde-escuro, bem como também exibir uma coloração dourada nas margens, quando está na época reprodutiva, ou ainda adquirir tonalidades brancas quando está sob condições de stress (Neto et al., 2005; Pavão, 2014).



Figura 8: Ilustração da macroalga verde *Ulva rigida* (Circuncisão,2017).

As espécies de *Ulva* são conhecidas por serem uma fonte rica de polissacarídeos essenciais, os quais incluem ulvanos e oligossacarídeos, que podem representar cerca de 40% do seu peso seco (MS) (Pereira, 2011; Queirós et al., 2021). Num estudo realizado por Godard et al., (2009), um grupo de hamsters ateroscleróticos foram alimentados regularmente com uma dieta onde a celulose foi substituída pela fibra (polissacáridos) da alga *U. rigida*. Este autor concluiu, que os hasmsters apresentaram

um baixo stress oxidativo e uma redução no desenvolvimento de aterosclerose e de estrias gordas, devido ao aumento das atividades das enzimas antioxidantes.

1.3. *Gracilaria multipartita*

As algas vermelhas, do grupo Rhodophyta (termo que deriva do grego *rhodo* (rosa) e *phyta* (planta), são organismos antigos, abundantes e comercializados, com uma reprodução única (Usov, 1992; Vega, Palacios e Quitral, 2020). A *Gracilaria*, um género de alga marinha vermelha, é uma das macrófitas marinhas mais cultivadas e valiosas no mundo (Costa et al., 2017), sendo utilizada essencialmente como fonte de agar e polissacáridos sulfatados (Kazir et al., 2019; Machado, 2020), os quais são, por sua vez, utilizados na produção de uma vasta gama de produtos de consumo, incluindo alimentos, produtos farmacêuticos, cosméticos, loções para as mãos e para o corpo, champô, sabonete, pasta de dentes, gel ambientador e muitos outros produtos (Samaraweera et al. 2011; World Bank, 2016).

Nas primeiras publicações da *Gracilaria multipartita* (Clemente) Harvey 1846, esta era designada de *Fucus multipartitus* por Clemente e Rubio (1807), baseado em diversas colheitas na Andaluzia e outras regiões de Espanha (Prieto, Freshwater, e Hommersand, 2016). No entanto, mais tarde essa nomenclatura foi alterada e aceite por Harvey. A *Gracilaria multipartita* (Figura 9) é uma espécie europeia de *Gracilaria* (Gracilariales, Rhodophyta) (Prieto, Freshwater, e Hommersand, 2016), pertencente à classe Florideophyceae, translúcida de cor púrpura opaca ou castanho-avermelhado (por vezes branqueada). Esta macroalga cartilaginosa possui frondes que alcançam até os 25 cm de comprimento, nos quais o estipe pode estender-se gradualmente numa lâmina com 1mm de espessura até 1 cm de largura, ou desenvolver ramificações até 6 vezes no plano da lâmina, onde existe uma margem frequentemente prolífera (MACOI, 2010). Adicionalmente, é importante referir que os períodos de crescimento ativo da *G. multipartita* são caracterizados a partir das grandes temperaturas e intensidades de luz e ainda, pelos elevados teores de minerais (Ugarte e Santelices, 1992; Mouradi et al., 2006). Foi confirmado por alguns autores que a produção de biomassa das espécies *Gracilaria* é superior no verão do que no inverno, devido ao aumento significativo da intensidade da luz no verão (Molloy e Bolton, 1996; Mouradi et al., 2006).



Figura 9: Ilustração da alga marinha vermelha *Gracilaria multipartita* (Créditos de AlgaeBase).

A espécie *G. multipartita* é uma alga marinha que se encontra nas bacias de diferentes profundidades de grandes rochas arenosas no fundo do litoral, na zona litoral média (Bacha et al., 2004). A nível do seu valor nutricional, estas possuem uma riqueza de proteínas, vitaminas, carotenóides (β -caroteno, luteína e zeaxantina), pigmentos, fibras alimentares e baixo valor de lípidos (ricas em ácidos gordos ómega-3 e -6) (Cotas et al., 2020; Freitas et al., 2022).

1.4. *Sargassum muticum*

As macroalgas castanhas são algas multicelulares que apresentam uma grande capacidade evolutiva, localizadas, frequentemente, nas zonas costeiras continentais de águas frias e raramente na água doce (Li et al., 2021; Zhang et al., 2022). Destas é de exemplo o *Sargassum*, o qual contém polissacáridos, proteínas, polifenóis, lípidos, esteróis, carotenóides e outros compostos ativos com uma diversidade de propriedades terapêuticas e farmacêuticas, o que o torna um novo alimento medicinal do século XXI (Yende e Chaugule, 2014; Zhang et al., 2022). Estudos revelaram que as macroalgas castanhas normalmente apresentam valores de proteína a variar entre os 5 e 15% do seu peso seco (Suetsuna, 2004; Zhang et al., 2022), uma média de cinzas a oscilar entre 13 e 30 % na matéria seca (Ito e Kori, 1989; Santos, 2018). A grande quantidade de cinzas observadas neste estudo confirmou a veracidade de vários autores, ao comprovar que as algas marinhas em estudo possuem uma elevada concentração de minerais (mg/g na matéria seca) que não se encontra em plantas cultivadas, nomeadamente batatas (9,63 %), tomates (9,12 %) e espinafres (20 %) (Holdt e Kraan, 2011; Santos, 2018).

O *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt 1955, vulgarmente conhecido como “erva daninha japonesa” ou “sargaço Japonês”, é uma alga castanha (Classe Phaeophyceae), da família Sargassaceae, pertencente ao género *Sargassum* (Guiry et al., 2014; Silva, 2015). Esta alga pseudo-perene, apresenta um crescimento rápido e com grande capacidade de regeneração, o que a permite viver por 4 anos. O *S. muticum* situa-se na zona superior do patamar infralitoral e mediolitoral fixa ao substrato através de um disco, estruturada com uma haste basal perene e ramos primários anuais, nos quais se dispõem ramos foliáceos em espiral. Ao longo destes, existem, deveras, inúmeros aerocistos esféricos, cuja função é manter a alga ereta dentro de água e permitir que esta cresça à superfície, a fim de originar massas flutuantes (Figura 10a). A sua coloração pode variar, consoante a estação do ano, do castanho-escuro até ao castanho-amarelado (Guirt et al., 2014; Silva, 2015). A Figura 10b abaixo, ilustra a macroalga castanha *S. muticum*.



Figura 10: a) Massas flutuantes da macroalga castanha *Sargassum muticum* (OMARE, 2024); b) Ilustração da estrutura da *S. muticum* (Silva, 2015).

Esta espécie de alga marinha é nativa da região noroeste do Pacífico (Milledge, Nielsen e Bailey, 2016), que se distribuí desde a China e a Coreia do Sul até ao Japão e Sudeste da Rússia (Eneflen et al., 2015). Esta macroalga castanha presente no ambiente marinho, foi introduzida em diversas regiões não nativas da sua área de distribuição nativa, nomeadamente na Europa e América do Norte (Silva et al., 2023). Em 1970, o *S. muticum* foi introduzido acidentalmente na Europa onde houve, mais tarde, relatos da sua propagação por outras zonas europeias, pelo mar Mediterrâneo e pelas costas norte Africanas do oceano Atlântico (Bernali, et al., 2019). Como esta alga marinha possui um comportamento extremamente invasivo pelas diversas costas do mundo, muitos autores consideraram e registaram-no na lista das “100 piores espécies de algas invasoras” do Mediterrâneo (Streftaris e Zenetos, 2006; Pinteus et al., 2021). Os fatores responsáveis pelo seu comportamento invasivo e a sua rápida distribuição são a sua potencial habilidade de colonização, a sua taxa de crescimento, fecundidade, auto-fertilização (Caxiano et al., 2022; Jesus et al., 2023) e de não possuir predadores (Davison, 2009; Silva, 2016). A distribuição da alga castanha *Sargassum muticum* pelas regiões nativa e não nativa está mapeada na Figura 11. No geral, as abordagens utilizadas para a erradicar e controlar não foram eficazes, apesar de terem sido lentas e dispendiosas. Com este efeito, a fim de incentivar a colheita e o controlo desta macroalga castanha, foi proposta a exploração comercial da sua biomassa para produtos alimentares, combustíveis e produtos farmacêuticos (Milledge, Nielsen e Bailey, 2016)



Figura 11: Mapeamento das espécies de *Sargassum muticum* invasoras (nas costas norte Americana e Europa) e nativas na costa dos países asiáticos (National Geographic; Nemesis, 2016).

Relativamente ao seu conteúdo nutricional e mineral, alguns autores identificaram o *Sargassum muticum* como uma alga que apresenta propriedades nutricionais relevantes e uma concentração elevada de minerais, por forma a mostrar assim o seu potencial como matéria-prima para a produção de extratos líquidos com vista à aplicação como fertilizantes agrícolas (Pedrosa et al., 2010; Silva, 2015).

1.5. Potencialidades e Riscos

Nos dias de hoje, foram descobertas reminiscências associadas à utilização das algas marinhas, o que estimulou um interesse na capacidade destes organismos e motivou os cientistas a realizarem investigações, que revelam o seu potencial nas várias vertentes industriais (Figura 12), por exemplo, como fontes alimentares alternativas, em resposta aos problemas de saúde essencialmente relacionados com o estilo de vida, como a obesidade, os diabetes, a hipertensão e as doenças cardiovasculares. Existem estudos epidemiológicos que comprovaram que, as populações com um consumo regular de algas marinhas têm uma taxa mais baixa de doenças relacionadas com a alimentação (Nanri et al., 2017; Norowidjojo, 2021), devido à produção dos seus compostos bioquímicos (ex: polissacarídeos, carotenoides e fenóis) com uma diversidade de atividades biológicas (anti-tumorais, anti-fúngicas, anti-oxidantes). No entanto, é fundamental considerar a contaminação dos organismos marinhos pelos metais pesados, essencialmente, o mercúrio, chumbo e cádmio, os quais viabilizam efeitos adversos para a saúde do consumidor, se e só se, for em quantidades excessivas. Neste contexto, é crucial receber produtos de polifenóis marinhos de fornecedores de confiança para minimizar o risco da contaminação por aqueles elementos. Outras questões preocupantes, são os efeitos indejáveis das reações alérgicas aos polifenóis marinhos produzidos por tipos de macroalgas específicas sendo, portanto, recomendado comprovar a ausência de eventuais reações antes de incluir estes produtos na dieta alimentar (Mildenberger, Stangeland e Rebours, 2022; Cotas et al., 2024).

As atividades biológicas das macroalgas podem ser atendidas de forma direta, a partir do consumo de algas inteiras (ex: *Ulva rigida*) ou da ingestão de suplementos alimentares ou medicamentos e indireta, através da utilização das algas marinhas na agricultura como fertilizantes naturais, por forma a enriquecer os solos de nutrientes e permitir uma cultura saudável livre de produtos químicos presentes em fertilizantes tradicionais. Este tipo de utilização das macroalgas vai, portanto, disponibilizar condições essenciais ao solo e às plantas, que irão proporcionar efeitos positivos na nossa saúde, após o consumo dos produtos agrícolas (Illera-Vives et al., 2017; Lomartine, Marques e Gonçalves, 2021).

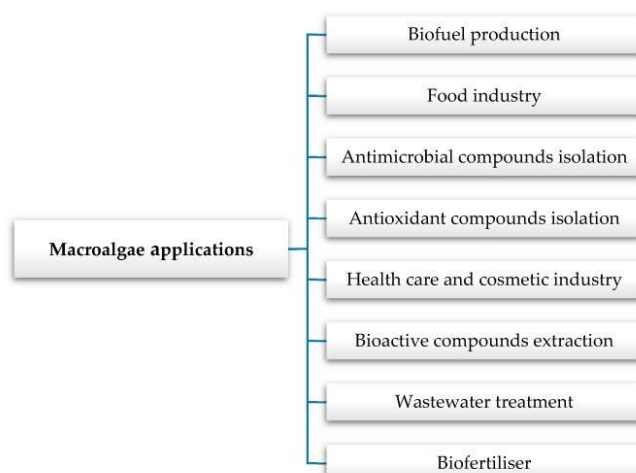


Figura 12: Aplicações mais importantes das macroalgas utilizadas nos vários setores industriais (Biris-Dorhoi et al., 2020).

III. Materiais e Métodos

1. Delineamento Experimental

1.1. Colheita de Amostras

A seleção da biomassa foi realizada no mês de janeiro, no horário das marés-baixas de manhã, provenientes de 3 espécies de algas marinhas diferentes, ilustradas na Figura 13 (a) *Ulva rigida*, b) *Gracilaria multipartita* e c) *Sargassum muticum* nas águas da praia areal rochosa de Buarcos da Figueira da Foz, Distrito de Coimbra, Portugal, a Nordeste do Oceano Atlântico (40°10'17.22"N; 8°53'40.98"W) (Sá, 2019). Posteriormente, em fevereiro apenas a biomassa da espécie *Sargassum muticum* foi colhida na praia de Porto Batel (Figura 14), localizada entre as localidades da Consolação e São Bernardino. O esperado era obter 3 amostras de cada espécie em dois locais diferentes, mas devido às dificuldades migratórias da *G. multipartita*, que não existe no segundo local, ao clima desfavorável e ao tamanho inconveniente da *U. rigida*, apenas foi possível colher a *S. muticum*.



Figura 13: Ilustração das macroalgas verde, vermelha e castanha colhidas na Baía de Buarcos; a) *Ulva rigida*; b) *Gracilaria multipartita*; c) *Sargassum muticum*.



Figura 14: Mapeamento do local de colheita da macroalga *S. muticum* de Porto Batel (OMARE, 2024).

1.2. Preparação de Amostras

No laboratório de biologia do edifício CeteMares, Centro de I&D, Formação e Divulgação do Conhecimento Marítimo, MARE-Politécnico de Leiria, Peniche foi efetuada a lavagem das biomassas colhidas em Buarcos e no Porto Batel, após a sua descongelação com água do mar à temperatura ambiente, por forma a evitar o choque térmico e consequentemente, a perda de sais minerais. Posteriormente, foi realizado a remoção e separação da maior parte dos resíduos, areias e epífitos retidos nos talos das amostras e a determinação da 1ª humidade pela secagem de metade de cada espécie de algas à estufa a 60 °C por 24 h. No final da secagem, as amostras secas (Figura 15) foram moídas, num moinho de cozinha até se tornarem em pó, armazenadas no interior de sacos herméticos e foi efetuada a sua pesagem. A outra metade foi congelada.





Figura 15: Biomassa de macroalgas secas em estufa; Buarcos: a) *Ulva rigida*; b) *Gracilaria multipartita*; c) *Sargassum muticum*; Porto Batel: d) *S. muticum* desidratadas.

Como foi referido anteriormente, as amostras de algas secas em estufa foram submetidas a um moinho de cozinha (liquidificador), equipamento que forneceu uma baixa eficiência na moenda da biomassa seca. No laboratório de Nutrição Alimentar Animal (LNAA) da escola superior Agrária (ESA), foi utilizado um crivo de até 1,0 mm com *Mesh* 18, para proceder à separação das amostras que ficaram em pó das que ainda se encontravam em flocos. No final da crivagem das quatro espécies, estas foram novamente moídas no moinho (IKA A10 basic, 145 x 130 x 250 mm) por cerca de \pm 20 segundos no Laboratório de Solos da ESACB, destinado a pequenas quantidades de amostras.

2. Análises Químicas

As análises químicas efetuadas na biomassa de algas no laboratório de Nutrição de Alimentação Animal (LNAA) foram consideradas em duplicado, por forma a garantir a veracidade dos resultados e evitar erros acidentais e a repetibilidade.

2.1. Determinação do Teor de Humidade e de Matéria Seca

A determinação da 2ª humidade (humidade residual) foi realizada através da secagem das amostras em estufa (Figura 16), até o seu peso estabilizar. Como o valor da humidade é inversamente proporcional ao da matéria seca (MS), calculou-se a diferença para 100 do valor determinado da 2ª humidade para descobrir a percentagem de MS.



Figura 16: Estufa utilizada para determinação da humidade das amostras de macroalgas (Estufa Memmert UL 60) do Laboratório de Nutrição para Alimentação Animal (LNAA).

Neste procedimento, aproximadamente 1,0 g de amostra foi pesada para cadinhos de porcelana, os quais foram previamente pesados e sucessivamente postos a secar na estufa a 103 ± 2 °C durante 24 h até a amostra ter apresentado um peso constante (AOAC, 1990). Após o arrefecimento dos cadinhos com a amostra seca no exsiccador por 30 minutos, realizou-se uma nova pesagem e determinou-se o resultado da humidade, expresso em percentagens (%), bem como a percentagem de MS.

2.2. Determinação do Teor de Cinzas e da Matéria Orgânica

As cinzas de um alimento são o termo analítico correspondente ao resíduo inorgânico que persiste após a combustão da matéria orgânica (Circuncisão, 2017). Desta forma, o teor das cinzas foi obtido através da inceneração completa das amostras em mufla a 550 ± 50 °C durante a noite (Figura 17) (AOAC, 1990).



Figura 17: Mufla utilizada para determinação das cinzas das amostras de macroalgas (mufla Nabertherm L15 C6) no LNAA.

As cápsulas com o material resultante da determinação da segunda humidade, foram colocadas na mufla e submetidas a um processo completo de inceneração, contado a partir do momento, no qual atingiu-se a temperatura referida. As cápsulas foram retiradas, horas depois de desligar a mufla e mantidas no exsiccador até à sua pesagem na balança analítica. Os resultados das cinzas na matéria seca foram expressos em percentagem em g/100 g.

2.3. Determinação do Teor de Gordura Bruta - Método Soxtec

Para a determinação da gordura bruta (GB) das amostras de algas utilizou-se um equipamento Tecator Soxtec System HT, e a unidade de extração 1043 Extraction Unit (Figura 18). Utilizamos o éter de petróleo como o solvente no processo de extração da GB (AOAC, 1990).



Figura 18: Sistema Soxtec para a determinação da gordura bruta das amostras de macroalgas (Tecator Soxtec System HT, e a unidade de extração 1043 Extraction Unit associado a uma unidade de aquecimento 1046 Service Unit) com cartuchos de celulose de papel, copos de alumínio e suportes metálicos.

Aproximadamente, 2,5 g de amostra (T_a - toma da amostra) seca foi pesada numa balança analítica para o interior de cartuchos de celulose de papel ou *thimbles*. Primeiramente procedeu-se à introdução dos *thimbles* com algodão (isento de gordura) na unidade de extração e posteriormente, dado a volatilização do solvente, adicionara-se 50 ml de éter de petróleo aos copos de alumínio, previamente pesados (P). Estes foram colocados no extrator. A fim de conseguir resultados eficientes, utilizou-se uma unidade de aquecimento (indicado na figura 18, à esquerda do extrator) para produzir calor e consequentemente, aquecer o solvente e as amostras até atingir o ponto de ebulição (40 -60 °C). No fim de completa a extração, obtivemos a gordura bruta das amostras nos copos de alumínio (P') e foi feita a recuperação do solvente para a reutilização. O resultado da gordura bruta (peso fresco), expresso em percentagem (%GB), resultou das médias entre as amostras e os duplicados. A fim de conhecer a percentagem da gordura bruta na matéria seca (% GBMS), foi utilizado a equação 1 seguinte:

$$\% \text{ GB} = \frac{(P' - P)}{T_a} \times 100 \text{ (Eq. 1)}$$

Para determinar os resultados de gordura bruta na matéria seca (GB_{MS}) utilizou-se a equação 2:

$$\% \text{ GB}_{\text{MS}} = \frac{(\% \text{ GB})}{(\% \text{ MS})} \times 100 \text{ (Eq. 2)}$$

2.4. Determinação do Teor da Fibra Bruta - Método Weende

O termo de fibra bruta (FB) engloba as frações de celulose e lenhina insolúvel. A nível químico, a fibra bruta é a parte dos hidratos de carbono resistentes ao tratamento sucessivo com ácido e base diluídos (Van Soest et al., 1991; Paiva, 2014). A FB das amostras foi determinada pelo método de Weende na unidade de extração Tecator Fibertec System M Soxhlet, 1020 Hot Extractor (Figura 19).



Figura 19: Unidade de extração Fibertec para determinação da fibra bruta de Weende das amostras de macroalgas (Tecator Fibertec System M6, 1020 Hot Extractor).

Procedeu-se à pesagem de aproximadamente 1 g de celite (toma da amostra - Ta) e de 1 g de amostra para cadinhos, previamente pesados, os quais foram introduzidos na unidade de extração a quente ajustadas às colunas de ebulição.

As amostras foram hidrolisadas sucessivamente com cerca 150 mL de solução ácida de ácido sulfúrico (H_2SO_4 0,26 N) e básica de hidróxido de sódio (NaOH 0,32 N), durante 30 minutos, após a entrada em ebulição, com a finalidade de remover todos os constituintes que não façam parte da FB. Após a hidrólise com a solução ácida, procedeu-se a três lavagens das amostras com água destilada a ferver através de um sistema de vácuo, para possibilitar a hidrólise básica. Após os 30 minutos, realizou-se igualmente mais três lavagens das amostras. No final, utilizou-se uma bomba de kitassatos num sistema de filtração a vácuo para finalizar a lavagem com acetona (NP-2029/1983, 1983). Os cadinhos foram introduzidos na estufa a 103 ± 2 °C por 1 hora. Depois de arrefecerem no exsiccador retirou-se o peso de cada cadinho com o resíduo após estufa (P) e após mufla (P'). O teor de FB foi calculado pela seguinte equação 3:

$$\% \text{ FB} = \frac{(P - P')}{T_a} \times 100 \text{ (Eq.3)}$$

Para determinar os resultados de fibra bruta das amostras na matéria seca utilizou-se a seguinte equação 4:

$$\% \text{ FB}_{\text{MS}} = \frac{(\% \text{ FB})}{(\% \text{ MS})} \times 100 \text{ (Eq. 4)}$$

2.5. Determinação do Teor do azoto e da Proteína Bruta - Método Kjeldahl

Para determinar a Proteína bruta (PB) das amostras foi utilizado o método Kjeldahl (AOAC, 1990). Para tal, foram utilizados os equipamentos Tecator Digestion System 6 – 1015 Digester (Figura 20) e o destilador Velt UKD 139 Semi-Automatic Kjeldahl Distillation Unit (Figura 21).



Figura 20: Sistema de digestão (Tecator Digestion System 6 - 1007 Digester) do LNAA.



Figura 21: Equipamento de destilação (Velp UKD 139 - Semi-Automatic Kjeldahl Distillation unit) do Laboratório de Solos- LS.

Com a ajuda de papel vegetal, foi introduzido nos tubos Kjeldahl, aproximadamente 0,5 g de cada amostra (Ta), por forma a não existir resíduos retidos nas paredes dos tubos. Posteriormente, foram adicionadas duas pastilhas catalisadoras Kjeltabs (sulfato de cobre e de potássio), com a finalidade de aumentar a velocidade da digestão e o ponto de ebulição, respetivamente. Após adicionar 12 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) em cada tubo, estes foram colocados na unidade de digestão (no interior da *hotte*) e submetidos a uma temperatura de 420 °C por 60 minutos. Durante esta etapa, a funcionalidade do ácido sulfúrico foi converter o azoto orgânico em ião amónio. No final, quando os resíduos dos tubos apresentaram cor verde, translúcida e com um aspeto xaroposo, os tubos foram retirados da unidade de digestão para o seu posterior arrefecimento.

Na etapa seguinte, a unidade de destilação automática, fez a dispensa de água destilada e posteriormente de hidróxido de sódio (NaOH) a 50%. Esta solução alcalina provoca a libertação de amoníaco, que por sua vez foi destilado e convertido em azoto amoniacal. Este, durante o processo de destilação, foi recolhido numa solução de ácido bórico (H_3BO_3) a 4% para um Erlenmeyer.

A última etapa deste procedimento consistiu na titulação do destilado com ácido clorídrico (HCl) a 0,1 mol/L.

A quantidade de azoto total (%NT) foi determinada pela seguinte equação (Eq. 5), em que Va é o volume gasto (ml) de HCl na titulação da amostra, Vb é o volume gasto (ml) de HCl na titulação do ensaio em branco, 0,1 é a molaridade do HCl utilizado na titulação, 14,008 é o peso molecular do azoto e Ta é a toma da amostra (g):

$$\% \text{ NT} = \frac{(V_a - V_b) \times 0,1 \times 14,008}{10 \times T_a} \text{ (Eq. 5)}$$

De acordo com o estudo de Angell et al. (2016), utilizar o fator de conversão 6,25 para determinar o teor de proteína bruta (PB), subestimava o teor proteico em 43%, por isso, o valor médio global proposto como fator de conversão universal mais preciso, de azoto em proteína de algas marinhas, foi aproximadamente 5,00. Neste contexto, para determinar a proteína bruta (% PB), foi realizada a multiplicação da percentagem do azoto total na matéria seca com o fator de conversão 5,00 (Angell et al. 2016) (% NT_{MS} × 5,00).

Para determinar a proteína bruta das amostras na matéria seca (PB_{MS}) utilizou-se a seguinte equação 6:

$$(\% \text{ PB}_{\text{MS}}) = \frac{(\% \text{ PB})}{(\% \text{ MS})} \times 100 \text{ (Eq. 6)}$$

2.6. Determinação dos Hidratos de Carbono

Os hidrocolóides conhecidos, no geral, como agares, carrageninas e alginatos são hidratos de carbono (HC) polissacáridos que constituem o esqueleto das algas marinhas. Estes compostos podem ser extraídos e utilizados como espessantes incolores e insípidos (Samaraweera et al. 2011; World Bank, 2016). Existem três grupos de Hidratos de Carbono nas algas marinhas, nomeadamente os açúcares, a fibra alimentar insolúvel e solúvel. Já foi demonstrado, que os açúcares (manitol nas macroalgas castanhas e sorbitol nas vermelhas) podem representar até 20 % do peso seco das algas marinhas (Mouritsen et al., 2013; Soares et al., 2017). O teor de hidratos carbono (HC) foi determinada pela seguinte formula (equação 7). Segundo Rodrigues (2015), a estimativa utilizada para determinar os hidratos de carbono contém uma limitação importante, a qual consiste na incorporação de todos os erros das análises anteriores, principalmente, os da fibra bruta. Apesar disto, a imprecisão não é significativa.

$$\% \text{ HC} = 100 - (\% \text{ H} + \% \text{ PB} + \% \text{ GB} + \% \text{ FB}) \text{ (Eq. 7)}$$

2.7. Energia

A energia é um componente essencial adquirida através das dietas alimentares humana e animal, uma vez que é necessária para todos os tipos de processos e

funcionalidades do corpo (Velyudhan, Kim e Nyachoti, 2015; Shurson et al., 2021). A determinação da energia foi realizada através da seguinte fórmula (União Europeia, 2011) (equações 8 e 9):

$$\text{Energia (kcal)} = (\% \text{ HC} \times 4) + (\% \text{ PB} \times 4) + (\% \text{ GB} \times 9) + (\% \text{ FB} \times 2) \text{ (Eq. 8)}$$

ou

$$\text{Energia (kJ)} = (\% \text{ HC} \times 17) + (\% \text{ PB} \times 17) + (\% \text{ GB} \times 37) + (\% \text{ FB} \times 8) \text{ (Eq.9)}$$

3. Determinação do Teor de Minerais

No laboratório dos solos da ESACB, após ter adicionado o ácido clorídrico (20%), as cápsulas com as amostras de cinzas obtidas foram tapadas com vidros de relógio e introduzidas sobre uma placa de aquecimento até entrarem em ebulição. A preparação das amostras para as diluições foi executada pela filtração destas para balões volumétricos de 50 mL, com papel filtro Whatmann nº 41 e água ultra-pura fervente.

Foram utilizados, na espectrofotometria de absorção atômica de chama (FAAS – Flame Atomic Absorption Spectrometry), respetivamente, os comprimentos de ondas de detecção 422,7; 766,5; 285,3; 589,0; 248,3; 213,9; 324,8; 279,5 nm para proceder automaticamente às leituras de absorvância e concentração dos macro- (CA, K, Mg, Na) e micro-minerais (Fe, Zn, Cu, Mn) das amostras, enquanto que as leituras da absorvância do fósforo (P) foram determinadas na espectrofotometria de absorção molecular (EAM), com a utilização de um comprimento de onda de 470 nm. Os resultados calculados e registados são expressos em mg/g. As Figuras 22 e 23 indicam os dois equipamentos utilizados para quantificação dos minerais.



Figura 22: Ice 3000 Series Atomic Absorption Spectrometer utilizado para determinação dos minerais no laboratório de solos (LS).



Figura 23: Evolution 300 UV-VIS Spectrometer utilizado para determinação do fósforo no LS.

IV. Resultados e Discussão

1. Avaliação nutricional

A Tabela 3 indica a composição proximal das 3 amostras (em duplicado) das espécies de macroalgas colhidas na Baía de Buarcos (*Sargassum muticum*, *Ulva rigida* e *Gracilaria multipartita*) e uma amostra (e duplicado) da praia Porto Batel (*S. muticum*).

1.1. Humidade e Matéria Seca

As algas marinhas são alimentos perecíveis com um grau de deterioração muito elevado num curto período de tempo após a sua colheita. A fim de evitar este problema e garantir a conservação das qualidades de interesse, o método de secagem é o mais indicado para reduzir o volume de armazenamento e retardar o crescimento microbiano, ao diminuir a atividade da água (Rodrigues et al., 2015). Como evidenciado na Tabela 3, os resultados observados, mostraram que as macroalgas colhidas na baía de Buarcos continham valores de 1^o Humidade de 89,5% para a *Ulva rigida*, 95,5%, para a *Gracilaria multipartita* e 91,7 % para o *Sargassum muticum*, enquanto a espécie de Porto Batel (PB) continha 86,87%. Após a extração total da quantidade de água por secagem, foram obtidos os valores de 2^a humidade e matéria seca ou peso seco das amostras, que inclui, nomeadamente, a matéria orgânica (MO) (os hidratos de carbono (HC), as proteínas (PB), gorduras (GB) e fibras (FB)) e inorgânica (MI) (minerais).

Na Tabela 3 verificou-se que, das espécies de Buarcos, o *S. muticum* (7,77 g/100 g) apresentou maior valor de 2^o humidade do que a *U. rigida* (7,58 g/100 g) e a *G. multipartita* (6,07 g/100 g), o que significa que o teor de matéria seca presente na primeira espécie (92,23 g/100 g) é inferior do que a segunda (92,44 g/100 g) e a última espécie (93,93 g/100 g). É ainda importante referir, que a 2^a humidade da macroalga castanha de Buarcos foi superior à da espécie de Porto Batel (5,56 g/100 g) e portanto, a alga marinha que apresenta maior quantidade de matéria seca é o *S. muticum* de Porto Batel com um valor de 94,44 g/100 g. Através destes valores concluí-se que, o tratamento de secagem conseguiu reduzir a humidade de cada amostra de forma significativa e que as espécies de macroalgas castanhas dos dois locais vão apresentar um valor de matéria seca diferente, sendo a de Porto Batel superior.

1.2. Cinzas e Matéria Orgânica

Na Tabela 3, observou-se diferenças de matéria orgânica (MO) e inorgânica (MI) entre as espécies de Buarcos. A maior quantidade de MI foi evidenciada na *Ulva rigida*, com 33,53 g/100 g de cinzas (C) na MS, enquanto o *Sargassum muticum* e a *Gracilaria multipartita* indicaram 28,42 e 26,56 g/100 g de cinzas na MS, respetivamente. No entanto, estas duas espécies foram aquelas com maior composição de MO na matéria seca, sendo evidenciado na Tabela 3, 71,58 g/100 g para o *S. muticum* e 73,44 g/100 g para a *G. multipartita*.

A Tabela 3 também indica uma quantidade elevada de 30,17 g/ 100g de cinzas na MS para o *S. muticum* de Porto Batel. Isto significa, que esta espécie vai apresentar um teor de MO inferior à da Baía de Buarcos. A grande concentração de cinzas pode indicar a presença de inúmeros minerais essenciais e microminerais (Milledge et al., 2016; Beacham et al., 2019) nas espécies *U. rigida* de Buarcos e *S. muticum* de Porto Batel.

Nos estudos realizados por Taboada, Millán e Mâguez (2010), e Tirgui et al. (2013) citado por Queirós et al. (2021), foi indicado que as espécies de *Ulva rigida* selvagens apresentavam valores de cinzas a variar de 14 a 31% na matéria seca (MS), com uma média anual de 33,5% na MS. Ao considerar os resultados de cinzas obtidos por Paiva et al. (2017) (20,6%) para *U. rigida* e (Rodrigues et al., 2015) (22,94%) para *S. muticum* verifica-se que, os valores determinados neste estudo foram superiores. A ausência de informação sobre a *Gracilaria multipartita* da costa portuguesa em estudos anteriores, impossibilitam a comparação de resultados. Foram realizados outros estudos, nos quais o teor de cinzas variou entre 18,96% (Freitas et al., 2021) para 24,8% de cinzas na MS (Rodrigues et al., 2015), para outra espécie (*Gracilaria gracilis* colhida na praia de Buarcos) do mesmo género da macroalga *Gracilaria multipartita*. Neste caso, conclui-se que esta contém uma percentagem de cinzas superior à espécie *G. gracilis*.

1.3. Proteína Bruta

A proteína é um componente essencial necessário na dieta humana e animal, capaz de suprir as suas necessidades e garantir a sobrevivência (Harnedy e FitzGerald, 2015; Xu et al., 2023). Na Tabela 3 verifica-se que a média entre amostra e duplicado de proteína bruta (PB) variou entre 10,13 ($\pm 0,07$) g/100 g para o *S. muticum* de Porto Batel (PB) e 18,43 ($\pm 0,07$) g/100 g para a *G. multipartita* de Buarcos, o que indica que esta é a macroalga com maior quantidade de proteína de alto valor biológico. Apesar de colhidas em locais diferentes, as espécies de *S. muticum* não apresentam muita diferença entre si, apresentando um valor proteico semelhante. Porém, são aquelas com menor quantidade de proteína.

O teor de PB presente nas macroalgas depende da espécie, uma vez que apresenta quantidades consideravelmente diferentes, cujo valor é maior para as algas verdes (3 - 47%) (Kadam et al., 2017; Vieira et al., 2018) e vermelhas (10 - 30%) (Peñalver et al., 2020; Notowidjojo, 2021), do que para as macroalgas castanhas (5 - 15%) (Zhou et al., 2014; Rodrigues et al., 2015). Em concordância ao que foi referido por estes autores, os resultados adquiridos neste estudo confirmaram que, as macroalgas verde *U. rigida* (18,05 $\pm 0,19$ g/100 g) e vermelha *G. multipartita* (18,43 $\pm 0,07$ g/100 g) apresentaram valores de PB superiores às das macroalgas castanhas *S. muticum* de Porto Batel (10,03 $\pm 0,07$ g/100 g) e de Buarcos (10,25 $\pm 0,35$ g/100 g). Com isto, conclui-se que as macroalgas verdes e vermelhas têm o potencial para serem utilizadas como uma fonte alternativa de proteínas para alimentação do ser humano e para ração animal.

No estudo de Ferreira et al., (2022), verificou-se que a *U. rigida* ($14,6 \pm 0,35$) indicava um valor inferior de PB, em comparação com o resultado obtido no presente trabalho. Pedrosa e colaboradores (2014), indicaram no seu artigo que, a espécie *S. muticum* ($13,3 \pm 0,7\%$), apresentava um valor superior de PB aos resultados obtidos para as espécies em estudo neste relatório. Adicionalmente, a literatura referiu que as macroalgas apresentam maior e menor quantidade de proteína no fim do Inverno - início da Primavera e no fim do Verão - início do Outono. (Pangestuti e Kim, 2015; Vieira et al., 2018), respetivamente.

Tabela 3: Composição proximal (g/100 g MS) das 3 amostras (em duplicado) das espécies de algas marinhas colhidas na Baía de Buarcos (*Sargassum muticum*, *Ulva* *rigida*, *Gracilaria multipartita*) e de uma amostra (em duplicado) da espécie colhida na praia de Porto Batel (*S. muticum*).

Espécie	Data	Local	H (g/100 g MS)	MS (g/100 MS)	C (g/100 g MS)	MO (g/100 g MS)	PB (g/100 g MS)	GB (g/100 g MS)	FB (g/100 g MS)	HC (g/100 g MS)	E (Kcal)	E (Kj)
<i>Sargassum muticum</i>	26/jan	Buarcos	7,77 ± 0,1	92,23 ± 0,1	28,42 ± 0,06	71,58 ± 0,06	10,25 ± 0,35	0,19 ± 0,01	10,88 ± 0,2	70,91	348,11	1473,79
	26/jan	Buarcos										
<i>Ulva rigida</i>	26/jan	Buarcos	7,58 ± 0,03	92,44 ± 0,03	33,53 ± 0,09	66,48 ± 0,09	18,05 ± 0,1	0,11 ± 0,004	5,83 ± 0,02	68,43	358,57	1520,87
	26/jan	Buarcos										
<i>Gracilaria multipartita</i>	26/jan	Buarcos	6,07 ± 0,3	93,93 ± 0,3	26,56 ± 0,02	73,44 ± 0,02	18,43 ± 0,07	0,14 ± 0,0	6,168 ± 0,35	69,19	364,08	1544,08
	26/jan	Buarcos										
<i>Sargassum muticum</i>	22/fev	Porto Batel	5,56 ± 0,1	94,44 ± 0,1	30,17 ± 0,3	69,83 ± 0,3	10,13 ± 0,07	0,19 ± 0,05	6,24 ± 1,34	77,88	366,23	1553,12
	22/fev	Porto Batel										

Os resultados estão representados com a média da amostra e duplicado ± diferença entre elas; H: 2ª humidade; MS: matéria seca; C: cinzas; MO: matéria orgânica; PB: proteína bruta; GB: gordura bruta; FB: fibra bruta; HC; hidratos de carbono; E: energia;

1.4. Gordura Bruta

A quantidade de gordura bruta (GB) presente nas macroalgas é naturalmente baixa e como é possível verificar na Tabela 3, o teor de GB variou entre 0,11 g/100 g ($\pm 0,004$) para *Ulva rigida* de Buarcos e 0,19 g/100 g ($\pm 0,05$) na MS para o *Sargassum muticum* de Porto Batel. Neste estudo, verificou-se que esta última espécie não se diferencia da de Buarcos ($0,19 \pm 0,01$ g/100 g). Apesar destes resultados, nem todos os teores de gordura estabelecem semelhanças com aqueles no presente estudo, tais como o da espécie *U. rigida*, os quais são evidentemente inferiores aos reportados nos estudos de Kumari et al., (2013) (0,23 - 2,0 g/100 g) e Paiva et al.,(2016); Queiroz et al., (2021)(0,37 - 1,63 %), mas superiores aos indicados no estudo de Nova et al. (2023) ($0,08 \pm 0,004$ g/100 g).

Nos estudos de Pedrosa, Domingues e Jordão (2014) e Silva (2015), verificou-se que o teor de GB para o *S. muticum* ($1,4 \pm 0,2$ %) era superior ao determinado no nosso estudo. No entanto, esse resultado não indicou muita diferença entre as nossas espécies de Buarcos ($0,19 \pm 0,01$ g/100 g) e de Porto Batel ($0,19 \pm 0,05$ g/100 g). Outros estudos também registaram resultados de GB a variarem entre $0,94 \pm 0,06$ % (Silva et al.,2023) e $1,45 \pm 0,07$ g/100 g (Rodrigues et al., 2015) para o *S. muticum*.

Os valores de GB enunciados pela literatura mostraram uma variação de $0,60 \pm 0,01$ % (Rodrigues et al., 2015) a 1,12% (Francavilha et al., 2013) para macroalgas da espécie de *Gracilaria* (*Gracilariaria* spp.). Soares e colaboradores (2021), demonstraram no seu estudo que as *Gracilaria* spp. possuíam uma composição de GB a variar entre $0,80 \pm 0,07$ % e $2,0 \pm 0,1$ % na MS. Ao considerar estes valores, verificamos que o resultado obtido no nosso trabalho para *G. multipartita* ($0,14 \pm 0,0$ g/100 g) é inferior.

As diferenças evidenciadas entre os resultados obtidos no nosso trabalho e os resultados obtidos por outros autores podem estar relacionadas com o facto de terem sido utilizado métodos de determinação diferentes.

1.5. Fibra Bruta

Na Tabela 3 verifica-se uma grande diferença entre o teor de fibra bruta (FB) das três espécies de macroalgas, que oscila desde o valor mais baixo $5,83 (\pm 0,02)$ g/100 g, seguido de $6,17 (\pm 0,35)$, $6,24 (\pm 1,34)$ e $10,88 (\pm 0,2)$ g/100 g na matéria seca (MS) para a *U. rigida*, *G. multipartita* e as espécies *S. muticum* de Porto Batel e de Buarcos, respetivamente. Nestes dois últimos valores conclui-se que, a espécie de Buarcos possui maior quantidade de FB do que a espécie de Porto Batel (PB).

Ao considerar os valores referidos nos estudos de Paiva, (2014) (52,20%) e no estudo de Milinovic et al., (2021), referiram uma variação de FB entre 14 - 18% na MS

para as macroalgas vermelhas e 22 - 32% na MS para as castanhas, o que significa que, a quantidade de fibra bruta determinada nas algas vermelha e castanhas, não se incluem dentro daqueles valores. A quantidade de fibra bruta determinada no *S. muticum*, de Porto Batel e Buarcos, é menor do que aquela descrita para as *S. muticum* sp. (Dewinta, Susetya e Suriani, 2020; Silva et al., 2023).

Foi observado que, a espécie *U. rigida* em estudo apresentou um valor de FB menor do que aquele indicado por Milinovic et al., (2021) (21%) e Patarras et al. (2011) apresentou no seu estudo outra espécie de macroalga do mesmo género, *Ulva compressa*, com um teor de FB de 41,16%, considerando-o superior ao teor adquirido neste trabalho.

Devido à grande diferença entre o espectável e os resultados obtidos no presente trabalho, concluímos que, ocorreu um erro no procedimento para a determinação da FB pelo método de Weende. Durante o procedimento prático na unidade de extração, no momento da hidrólise básica das amostras com hidróxido de sódio (NaOH), após entrar em ebulição, a solução ascendeu, inesperadamente e rapidamente até muito próximo da base da coluna, o que mostrou, conseqüentemente, resíduos de amostra retidas na parede da coluna e que não foram hidrolisadas, quando a solução voltou ao normal (resistência foi diminuída para 4). Com este efeito, o resultado da FB foi influenciado obrigando à repetição de todo o processo. Este método forneceu valores baixos devido à digestão drástica e implicou a perda de alguns componentes (Salman et al., 2010; Rodrigues, 2015). Nos estudos de Paiva (2014), Rodrigues (2015), Patarra et al., (2011) e Milinovic et al. (2021), a solução básica utilizada para a determinação da fibra bruta pelo método de Weende foi o hidróxido de potássio (KOH) com a adição de 10 gotas de octanol.

1.6. Hidratos de Carbono

Conforme a espécie, o teor de hidratos de carbono (HC) presente nas algas marinhas pode variar de 20 a 76 % em peso seco (Circuncisão, 2017). Na Tabela 3 é possível verificar os valores de HC a variarem desde 68,43 g/100 g, seguido de 69,19 g/100 g, 70,91 g/100 g e 77,88 g/100 g na matéria seca (MS) para a *U. rigida*, *G. multipartita* e as espécies *S. muticum* de Buarcos e Porto Batel, respetivamente. Neste trabalho, verificou-se, portanto, que as algas castanhas *S. muticum* contêm uma quantidade de hidratos de carbono superior às das macroalgas *U. rigida* e *G. multipartita*.

O teor de HC determinado na *U. rigida* da costa portuguesa por Milinovic et al. (2021) (62% na MS) e da costa espanhola por Neto et al. (2018) (58,1 ±0,7 g/100 g), foram inferiores ao valor da mesma espécie analisada neste estudo. A diferença existente, entre o valor do primeiro autor com o nosso, pode estar associada à utilização de uma equação de subtração distinta. Relativamente aos valores adquiridos entre o primeiro e segundo autores, a diferença pode corresponder à localização da espécie em diferentes ambientes marinhos.

A falta de resultados sobre a determinação dos HC pela diferença, para as espécies *G. multipartita* e *S. muticum* da costa portuguesa, impossibilita a comparação de resultados de estudos anteriores. A macroalga vermelha *G. gracilis* (53%) (Milinovic et al., 2021) e outras espécies de *Gracilaria* sp. ($46,9 \pm 0,4$) (Neto et al., 2018) indicaram um teor de HC inferior ao da espécie *G. multipartita*.

1.7. Energia

Na Tabela 3, os valores de energia (kJ/kcal) das três espécies de Buarcos não indicaram muitas diferenças, sendo a *Gracilaria multipartita* (1544,08 kJ/100 g MS e 364,08 kcal/100 g MS) a macroalga com maior valor energético do que a *Ulva rigida* (1520,87 kJ/100g MS e 358,57 kcal/100 g MS) e o *Sargassum muticum* (1473,78 kJ/100 g MS e 348,11 kcal/100 g MS). No entanto, em comparação com estas três, o *S. muticum* de Porto Batel (1553,12 kJ/100 g MS e 366,23 kcal/100 g MS) é aquela que disponibiliza maior quantidade de energia a um adulto.

2. Avaliação de minerais

A Tabela 4 indica os resultados da composição mineral, expressa em mg/g na matéria seca (MS), das três macroalgas colhidas na Baía de Buarcos e da espécie de Porto Batel.

Os resultados obtidos mostraram que, dos macro-minerais determinados, o sódio é o mineral predominante nas três espécies de Buarcos, com a alga marinha *Ulva rigida* ($73,8 \pm 0,6$ mg/g MS) a apresentar a maior quantidade de sódio, seguida pelo *Sargassum muticum* ($73,5 \pm 9,8$ mg/g) e a *Gracilaria multipartita* ($64,1 \pm 8,4$ mg/g MS). A grande quantidade de sódio existente na *U. rigida* pode ser resultado da presença de pequenos resíduos de areias, não removidos durante o procedimento experimental.

Num local de colheita diferente, o *S. muticum* de Porto Batel foi a espécie que indicou a menor quantidade de sódio ($29,4 \pm 5,4$ mg/g MS), o que permite concluir, como vários estudos indicam, que a composição mineral das macroalgas tende a variar devido a fatores endógenos e exógenos, ou seja, a sua composição pode diferir entre classes de macroalgas e dentro da mesma espécie, devido às condições de origem (Mišurcová et al., 2014; Costa, 2014). Outro exemplo desta situação, para além do sódio, é do potássio cuja quantidade foi predominante na macroalga castanha de Porto Batel, com um valor de $86,18 \pm 12,8$ mg/g MS e na *G. multipartita* de Buarcos ($36,94 \pm 1,4$ mg/g MS). No entanto, os menores valores de potássio foram indicados pelo *S. muticum* ($15,04 \pm 0,6$ mg/g MS) e pela *U. rigida* ($7,05$ mg/g MS), o que significa que estas duas vão apresentar uma razão Na/K superior. A relação entre estes dois elementos permite contrabalançar as dietas ocidentais modernas (ricas em sódio com baixos teores de potássio) relacionadas com a hipertensão e doenças cardiovasculares associadas (Circuncisão, 2017). Como a Tabela 4 indica, a razão Na/K mais baixa foi evidenciada pela espécie de Porto Batel (0,341), seguida pela *G. multipartita* de Buarcos (1,74), enquanto os maiores valores foram indicados pelo *S. muticum* (4,9) e pela *U. rigida* (10,5). Segundo o que Rodrigues e colaboradores (2015) referiram no seu estudo, as macroalgas com

uma razão Na/K baixa podem ser utilizadas como substitutos do sal, o que significa que, para as nossas espécies, o *S. muticum* de Porto Batel e a *G. multipartita* de Buarcos podem ser incluídas na dieta humana, viabilizando a redução da pressão arterial.

O cálcio e o fósforo, os dois principais minerais do corpo humano, em conjunto com o magnésio, representam uma proporção considerável dos componentes químicos das algas (Cardoso et al., 2014; Circuncisão et al., 2018). As maiores quantidades de cálcio foram apresentadas pelo *S. muticum* ($21,22 \pm 2,1$ mg/g) e pela *G. multipartita* ($17,55 \pm 1,4$ mg/g), enquanto a menor quantidade foi indicada pela *U. rigida* ($8,99 \pm 0,8$ mg/g). O valor comercial do cálcio, produzido pelas algas marinhas, é realçado pelas propriedades únicas destas fontes naturais. Vários estudos comprovaram que o cálcio, proveniente das algas marinhas, é capaz de aumentar e auxiliar na densidade óssea, nos músculos e nervos às pessoas de todas idades, enquanto o cálcio convencional de suplementos contém efeitos negativos associados ao inchaço e náuseas (Adluri et al., 2010; Jose, Xavier, 2020). Os valores de magnésio obtidos neste trabalho foram superiores na espécie de Porto Batel, a qual indicou uma concentração de $17 \pm 1,2$ mg/g MS e na *U. rigida* ($15,5 \pm 1,3$ mg/g MS). Das espécies de Buarcos verificou-se que os maiores valores de magnésio analisados, as algas verde e castanha foram superiores ao da macroalga vermelha ($7,85 \pm 0,3$ mg/g MS). O mesmo se concluiu no estudo de Rodrigues et al. (2015), no qual registou valores de Mg a variar de $1,75$ mg/g MS para a macroalga vermelha e $15,04$ mg/g MS para o *S. muticum* (Colhida em Buarcos em Abril). Em termos quantitativos, o fósforo foi o macromineral menos representativo, uma vez que indicou valores a variar de $1,07 \pm 0,03$ a $2,18$ mg/g MS de algas secas. Neste estudo, o maior valor de fósforo foi indicado na *G. multipartita* ($2,18$ mg/g), sendo superior em relação às outras duas espécies de Buarcos. Dentro da mesma espécie, o *S. muticum* de Porto Batel ($1,57 \pm 0,12$ mg/g MS) apresentou um teor de fósforo superior ao da espécie de Buarcos.

Relativamente aos microminerais analisados neste estudo, o Fe, Zn, Mn e o Cu foram os mais significativos nas quatro macroalgas analisadas. Entre os microminerais, o ferro foi o predominante, com valores superiores nas três espécies de Buarcos a variarem entre $0,221 (\pm 0,01)$ mg/g MS para o *S. muticum* e $0,280 (\pm 0,01)$ mg/g MS para a *G. multipartita*. A menor quantidade de ferro foi encontrada na alga castanha de Porto Batel com um valor $0,117 (\pm 0,01)$ mg/g MS. O ferro é um mineral essencial presente em muitas proteínas, como as enzimas e hemoglobinas nas células do sangue. A sua presença no organismo, torna-o indispensável para a ligação e o transporte de oxigénio através dos tecidos (Yates et al., 1998; Leandro et al., 2020). Os maiores valores de zinco (Zn) e manganês (Mn) foram observados nas espécies colhidas na Baía de Buarcos, cujas concentrações variaram de $0,00835 (\pm 0,001)$ mg/g MS para o *S. muticum* e $0,0289 (\pm 0,0016)$ mg/g MS para a *G. multipartita*. No entanto, a concentração de cobre indicada pela alga castanha de Porto Batel foi superior aos valores apresentados pelas três algas de Buarcos.

Tabela 4: Composição mineral (em mg/g na matéria seca) das três amostras (e duplicados) das macroalgas de Buarcos (*Sargassum muticum*, *Ulva rigida* e *Gracilaria multipartita*) e de uma amostra de alga (*Sargassum muticum*) de Porto Batel.

Local	Espécie	Composição Mineral									
		P ⁻ (mg/g MS)	Ca ²⁺ (mg/g MS)	Mg ²⁺ (mg/g MS)	K ⁺ (mg/g MS)	Na ⁺ (mg/g MS)	Fe ²⁺ (mg/g MS)	Zn ²⁺ (mg/g MS)	Mn ²⁺ (mg/g MS)	Cu ²⁺ (mg/g MS)	Na ⁺ / K ⁺
Buarcos	<i>Sargassum muticum</i>	1,07 ± 0,03	21,22 ± 2,1	13,6 ± 0,6	15,04 ± 0,6	73,5 ± 9,8	0,221 ± 0,01	0,00835 ± 0,001	0,0011 ± 0,0001	0,0208 ± 0,002	4,9
	<i>Ulva rigida</i>	1,13 ± 0,0	8,99 ± 0,8	15,5 ± 1,3	7,05 ± 0,8	73,8 ± 0,6	0,238 ± 0,01	0,0096 ± 0,0006	0,0087 ± 0,001	0,0223 ± 0,001	10,5
	<i>Gracilaria multipartita</i>	2,18 ± 0,09	17,55 ± 1,4	7,85 ± 0,3	36,94 ± 1,4	64,1 ± 8,4	0,28 ± 0,01	0,0289 ± 0,0016	0,0711 ± 0,002	0,00202 ± 0,0003	1,74
Porto Batel	<i>Sargassum muticum</i>	1,57 ± 0,12	11,05 ± 1,8	17,2 ± 1,2	86,18 ± 12,8	29,4 ± 5,4	0,117 ± 0,01	0,0056 ± 0,0006	0,0037 ± 0,0002	0,0179 ± 0,0003	0,341

Os resultados estão representados com a média da amostra e duplicado ± diferença entre elas;

No que diz respeito à população portuguesa, as algas marinhas, encontradas na costa de Portugal, fornecem uma diversidade de nutrientes em concentrações que podem satisfazer as necessidades nutricionais. Por vezes, isto pode ainda permitir a aplicação de alegações nutricionais. No entanto, não existem dados sobre a ingestão diária de algas marinhas para a população portuguesa e muito menos para outros países europeus. Contudo, se se considerar o consumo de algas marinhas nos países asiáticos, poder-se-á assumir uma ingestão média diária de 8-10 g de matéria seca de algas (Mišurcová, Machů e Orsavová, 2011; Rodrigues et al., 2015). É possível verificar na Tabela 5, um rótulo com as contribuições das macroalgas analisadas para as necessidades nutricionais diárias recomendadas para um adulto (União Europeia, 2011).

Apesar dos consumos diários de nutrientes representarem uma porção relativamente pequena, as algas marinhas apresentaram uma grande quantidade de minerais, devido à grande disponibilidade e diversidade destes nos oceanos. Dos resultados analisados no presente estudo, o *Sargassum muticum* de Buarcos apresentou maiores quantidades de cálcio (Ca), ferro (Fe), sódio (Na), zinco (Zn) e cobre (Cu) do que a espécie colhida em Porto Batel, ou seja, em 8 g de algas secas, a dose diária recomendada (% DDR) destes minerais para um adulto, fornecidos pela alga castanha de Buarcos, foram 21,2%, 12,6%, 29,4%, 0, % e 0,2%, respetivamente.

Segundo MacArtain et al. (2007), as macroalgas castanhas são ainda uma extraordinária fonte de magnésio. No seu estudo, ele comprovou, que 8 g de algas castanhas podiam fornecer 65% da % DDR de magnésio. Adicionalmente, Rodrigues et al. (2015), confirmaram no seu estudo que a espécie *S. muticum* (40,1%) pode também fornecer grandes quantidades de magnésio. Em comparação com os nossos resultados, os valores destes dois autores foram superiores aos obtidos para as nossas duas algas castanhas de Buarcos e de Porto Batel. Relativamente a este elemento, o nosso trabalho indicou que a dose diária recomendada de magnésio, em 8 g de *S. muticum* (36,7%) de Porto Batel, foi superior ao das três espécies de Buarcos.

O potássio (K) foi outro mineral importante presente em 8 g da macroalga castanha de Porto Batel (com 19, 7% da dose diária recomendada para um adulto). Entre as espécies de Buarcos, verificou-se que, de 8 g de algas secas, o maior valor da dose diária recomendada de sódio e magnésio foi observado pela *Ulva rigida* (29,5% e 33,0%), seguida pelo *S. muticum* (29,4% e 29,1%) e pela *Gracilaria multipartita* (25,6% e 16,8%).

O Fósforo (P) foi o mineral que indicou maior presença na *G. multipartita* (2,5 %) com uma % DDR de P superior às restantes macroalgas.

O Fe e o Zn são os micro-minerais com maior presença na macroalga vermelha, na qual verificou-se 16,8% e 25,6% da dose diária recomendada, respetivamente.

No entanto, os níveis de cobre na *U. rigida* (17,8%), indicaram uma dose diária recomendada maior do que àquela apresentada pelas algas vermelha (16,2%) e castanha (16,6%).

Tabela 5: Comparação da composição nutricional e mineral em 8 g de algas marinhas secas (de Buarcos e de Porto Batel) com os valores das doses diárias recomendadas para um adulto (% DDR).

Composição nutricional	Valores referência adulto	<i>Sargassum muticum</i> (BUARCOS)		<i>Ulva rigida</i> (BUARCOS)		<i>Gracilaria multipartita</i> (BUARCOS)		<i>Sargassum muticum</i> (PORTO BATEL)	
		g/8 g	% DDR	g/8 g	% DDR	g/8 g	% DDR	g/8 g	% DDR
Energia (kcal)	2000	27,8	1,4	28,7	1,4	29,1	1,5	29,3	1,5
Energia (kJ)	8400	117,9	1,4	121,7	1,4	123,5	1,5	124,2	1,5
Lípidos totais (g)	70	0,02	0,02	0,01	0,0	0,0	0,0	0,015	0,0
Hidratos de carbono (g)	260	4,3	1,64	5,5	2,1	5,5	2,1	6,23	2,4
Açúcares (g)	90	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0
Proteínas (g)	50	0,8	1,6	1,4	2,9	1,5	2,9	0,8104	1,6
Fibra (g)>	25	0,9	3,5	0,5	1,9	0,5	2,0	0,4992	2,0
Sal (g)<	6000	1,47	0,25	1,48	0,25	1,28	0,2	0,006	0,1
Minerais	Valores referência adulto	mg/8 g	% DDR	mg/8 g	% DDR	mg/8 g	% DDR	mg/8 g	% DDR
Ca (mg)	800	169,7	21,2	71,9	9,0	140,4	17,5	88,4	11,1
P (mg)	700	8,5	1,2	9,02	1,3	17,40	2,5	12,56	1,8
K (mg)	3500	120,3	3,4	56,4	1,6	295,5	8,4	689,48	19,7
Mg (mg)	375	109,0	29,1	123,7	33,0	62,82	16,8	137,7	36,7
Fe (mg)	14	1,8	12,6	1,90	13,6	2,24	16,0	0,93	6,6
Na (mg)	2000	588,2	29,4	590,4	29,5	512,5	25,6	234,9	11,7
Zn (mg)	10	0,07	0,7	0,08	0,8	0,23	2,3	0,04	0,45
Cu (mg)	1	0,2	16,6	0,18	17,8	0,16	16,2	0,14	14,3
Cl (mg)	800	—	—	—	—	—	—	—	—
Mn (mg)	2	0,008	0,4	0,07	3,5	0,57	28,4	0,03	1,48
Fl (mg)	3,5	—	—	—	—	—	—	—	—

(—): Não determinados; *Expresso em mg/dia; 1Valores de referência a um Adulto em g/dia; 2Valores de referência a um Adulto em mg/dia;

IV. Conclusão

O crescente interesse pelas extraordinárias propriedades das algas marinhas e seus componentes, levaram ao descobrimento e à aplicação deste novo superalimento em diversos setores industriais, nomeadamente farmacêuticas, cosméticas e na alimentação. Com estas capacidades, as macroalgas têm sido, cada vez mais, aceites na alimentação humana, especialmente pelo consumo da famosa comida japonesa (sushi) e coreana (kimbab ou sushi coreano), que se baseia numa folha seca de alga “nori” a envolver arroz com peixe cru, ou vegetais ou frutas. Em Portugal, a aceitação deste alimento pelo consumidor poderá estimular a realização de novos trabalhos na caracterização e avaliação das espécies de algas marinhas, distribuídas pelas zonas costeiras portuguesas, na alimentação humana.

Neste estudo, concluiu-se, que as macroalgas apresentam um valor nutricional rico em proteínas, fornecidas pelas espécies vermelhas e verdes e de hidratos de carbono, obtidos pelas espécies castanhas. Relativamente às fibras alimentares, apesar dos valores adquiridos neste estudo terem sido inferiores aos estimados por vários autores, as algas vermelhas são os seus principais produtores. Uma segunda propriedade importante, presente nestes vegetais marinhos, a qual é procurada pela maioria das pessoas, essencialmente as mulheres e idosos, é o seu valor pobre em gorduras. Tais vantagens, irão contribuir essencialmente para uma alimentação saudável e equilibrada quando consumidas de forma regular. Adicionalmente, os resultados deste estudo ainda comprovaram a presença de uma grande riqueza mineral incluídas nas células das algas marinhas em estudo. Com esta diversidade mineral, estas algas marinhas podem auxiliar o consumidor a combater doenças cardiovasculares, na mineralização dos ossos, no transporte do oxigénio e na pressão arterial, bem como solucionar os problemas relacionados à crescente carência de alimentos em 2050.

Referências Bibliográficas

- Afonso, C., Correia, A. P., Freitas, M. V., Batista, T., Neves, M., Mouga, T. (2021). Seasonal Changes in the Nutritional Composition of *Agarophyton vermiculophyllum* (Rhodophyta, Gracilariales) from the Center of Portugal. *Foods*, 10(5), 11 – 45. DOI: 10.3390/foods10051145
- Amlani, M. Q., Yetgin, S. (2022). Seaweeds: Bioactive Components and properties, potential risk factors, uses, extraction and purification methods. *Marine Science and Technology Bulletin*, 11(1), 9-31. DOI: 10.33714/masteb.1021121
- Angell, A. R., Mata, L., Nys, R., Paul, N. A. (2016). The protein content of seaweeds: a universal nitrogen-to-protein conversion factor of five. *Journal Applications Phycology*, 28, 511-524. DOI: 10.1007/s10811-015-0650-1
- AOAC. (1990). Official methods of analysis. Association. Official. Analytic. 15th Edition, Washington DC, USA.
- AOAC. (2000). Official Methods of Analysis. 17th Edition. Association. Official. Analytic. Chem., Gaithersburg, Maryland, USA.
- Araújo, R., Calderón, F. v., López, J. S., Azevedo, I. C., Bruhn, A., Tasende, M. G., Ghaderiardakani, F., Ilmjärv, T., Laurans, M., Monagail, M. M., Mangini, S., Peteiro, C., Rebours, C., Stefansson, T., Ullmann, J. (2021). Current Status of the Algae Production Industry in Europe: An Emerging Sector of the Blue Bioeconomy. *Bioeconomy*, 7, 626389. DOI: 10.3389/fmars.2020.626389
- Bacha, S. E., Mouradi, A., Gourji, A. E., Benzazzouz, B., Givernaud, T. (2004). Cycle biologique de l'agarophyte *Gracilaria multipartita* (Clemente) Harvey (Rhodophyceae, Gracilariales) sur la côte atlantique marocaine. *Actes Insts. Agron. Vet. Maroc.*, 24(1-2), 23-34.
- Beacham, T., Cole, I., DeDross, L., Raikova, S. (2019). Analysis of Seaweeds from South West England as a Biorefinery Feedstock. *Applied Sciences*, 9(20), 44-56. DOI: 10.3390/app9204456
- Bernali, M., Djebri, I., Bellouis, D., Sellan, L. N., Rebzani-Zahaf, C. (2019). First record of drifting *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt thalli on the Algerian coasts of Cherchell and Sidi Fredj. *BioInvasions Records*, 8(3), 575-581. DOI: 10.3391/bir.2019.8.3.13
- Biris-Dorhoi, E. S., Michiu, D., Pop, C. R., Rotar, A. M., Tofana, M., Pop O. L., Socaci, S. A., Farcas, A. C. (2020). Macroalgae—A Sustainable Source of Chemical Compounds with Biological Activities. *Nutrients*, 12(10), 3085. DOI: 10.3390/nu12103085

- Cardoso, P. S. L. (2017). Cultivo e utilização de macroalgas em alimentos funcionais para aquacultura. Dissertação de Mestrado de Recursos Biológicos Aquáticos. Universidade do Porto. Faculdade de Ciências. Porto. Portugal.
- Castro, P. S. S. (2020). Estudos em biomassa de macroalgas recorrendo a tecnologias de extração verdes. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química e Biológica no Departamento de Engenharia e Química do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa. Portugal.
- Circuncisão, A. R. S. (2017). Análise do perfil nutricional de *Ulva rigida* cultivada sob diferentes condições em sistema de aquacultura integrada multi-trófica. Tese de Mestrado. Universidade de Aveiro. Departamento de Química, Bioquímica. Aveiro. Portugal.
- Circuncisão, A. R., Catarino, M. D., Cardoso, S. M., Silva, A. M. (2018). Minerals from Macroalgae Origin: Health Benefits and Risks for Consumers. *Marine Drugs*, 16(11), 400. DOI: 10.3390/md16110400.
- Comissão Europeia, (2022). Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões. Rumo a um Setor das Algas da UE Forte e Sustentável. 592. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0592&from=EN>
- Costa, C. S. G. (2014). Caracterização química de algas disponíveis comercialmente para consumo humano. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química da Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto. Porto. Portugal.
- Costa, C., Pimentel, F., Alves, R. C., Costa, A., Alves, A., Oliveira, M. B. P. P. (2015). Perfil Nutricional de Algas Marinha Edíveis: Influência da Origem Geográfica. *TecnoAlimentar, Tecnologia de Inovação e Segurança*. 1-7. DOI: 10216/111259/2/258627
- Costa, E., Melo, T., Moreira, A. S. P., Bernardo, C., Helguero, L., Ferreira, I., Cruz, M. R., Rego, A. M., Domingues, P., Calado, R., Abreu, M. H., Domingues, M. R. (2017). Valorization of Lipids from *Gracilaria* sp. Through Lipidomics and Decoding of Antiproliferative and Anti-Inflammatory Activity. *Marine Drugs*, 15(3), 62. DOI: 10.3390/md15030062
- Cotas, J., Lomartire, S., Gonçalves, A. M. M. Pereira, L. (2024). From Ocean to Medicine: Harnessing Seaweed's Potential for Drug Development). *International Journal of Molecular Sciences*, 25(2), 7-971. DOI: 10.3390/ijms25020797
- DGS (2024). Fibra. Promoção da Alimentação Saudável - Programa Nacional. <https://alimentacaosaudavel.dgs.pt/nutriente/fibra/>, acesso em 13-06-2024.
- EFSA Journal (2019). Dietary reference values for sodium. European Food Safety Authority. DOI: 10.2903/j.efsa.2019.5778

- Englen, A. H., Serebryakova, A., Ang, P., Simmons, K. B. (2015). Circumglobal Invasion by the Brown Seaweed *Sargassum muticum*. *Oceanography and Marine Biology*, 53, 81-126. DOI: 10.1201/b18733-4
- Ferreira, M., Salgado, J. M., Peres, H., Belo, I. (2022). Potential of Red «, Greens and Brown Seaweeds as Substrates for Solid State Fermentation to increase their Nutritional Value to Produce Enzymes. *Foods* ,11(23), 38-64. DOI: 10.3390/foods11233864
- Francavilla, M., Franchi, M., Monteleone, M., Caroppo, C. (2013). The red Seaweed *Gracilaria gracilis* as a multi products source. *Marine Drugs*, 11, 3754-3776. DOI: 10.3390/md11103754
- Freitas, M. V., Mouga, T., Correia, A. P., Afonso, C., Baptista, T. (2021). New Insights on the Sporulation, Germination, and Nutritional Profile of *Gracilaria gracilis* (Rhodophyta) Grown under Controlled Conditions. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(6), 5-62. DOI: 10.3390/jmse9060562
- Freitas, M. V., Inácio, L. G., Martins, M., Afonso, C., Pereira, L., Mouga, T. (2022). Primary Composition and Pigments of 11 Red Seaweeds species from the Center of Portugal. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10, 11-68. DOI: 10.3390/jmse10091168
- Freitas, M. F., Pereira, L., Afonso, C., Mouga, T. (2022). Sabores do Mar: Algas Edíveis do Centro de Portugal. Instituto Politécnico de Leiria, p.46, Portugal. DOI: 10.25766/GGG5-NX8
- Food and Agriculture Organization of United Nations (2023). Statistical Yearbook: World Food and Agriculture. Rome. 2-384. DOI: 10.4060/cc8166en
- FAO and WHO. (2023). The State of Food Security and Nutrition in the World 2023. Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural–urban continuum. Rome, FAO. DOI: 10.4060/cc3017en
- Godard, M., Decorde, K., Ventura, E., Soteras, G. (2009). Polysaccharides from the green alga *Ulva rigida* improve the antioxidant status and prevent fatty streak lesions in the high cholesterol fed hamster, an animal model of nutritionally-induced atherosclerosis. *Food Chemistry*, 115(1), 176-180. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.11.084
- Gomez-Zavaglia, A., Lage, M. A., Jimenez-Lopez, C., Mejuto, J. C., Simal-Gandara, J. (2019). The Potential of Seaweeds as a Source of Functional Ingredients of Prebiotic and Antioxidant Value. *Antioxidants*, 8(9), 406. DOI: 10.3390/antiox8090406
- Inácio, L. D. G. (2023). Biomassa de algas vermelhas – Caracterização química e bioatividades. Dissertação de Mestrado em Biotecnologia dos Recursos

- Marinhos. Instituto Politécnico de Leiria. Escola Superior de Turismo e Tecnologia do Mar. Peniche, Leiria. Portugal.
- Jesus, B. C., Miera, B. S., Santiago, R., Martins, A., Pedrosa, R., Miquel, B. G., Marrucho, I. M. (2023). Valorisation of *Sargassum muticum* through the extraction of phenolic compounds using eutectic solvents and intensification techniques. *RSC Sustainability*, 1, 12-45. DOI: 10.1039/d3su00051
- Jose, J., Xavier, J. (2020). Study of mineral and nutritional composition of some seaweeds found along the coast of Gulf of Mannar, India. *Plant Science Today*, 7(4), 631-637. DOI: 10.14719/pst.2020.7.4.912
- JOUE (2011). Regulamento (UE) N.º 1169/2011. (...) prestação de informação aos consumidores sobre os géneros alimentícios (...). Jornal Oficial da União Europeia, L 304 de 22.11.2011. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:304:0018:0063:PT:PDF>, acesso em 13-06-2024.
- Kuech, A., Breuer, M., Popescu, I. (2023). Research for PECH Committee – The future of the EU algae sector, European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels. URL: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/733114/IPOL_STU\(2023\)733114_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/733114/IPOL_STU(2023)733114_EN.pdf)
- Kumari, P., Bijo, A. J., Mantri, V. A., Reddy, C. R. K. (2013). Fatty acid profiling of tropical marine macroalgae: An analysis from chemotaxonomic and nutritional perspectives. *Phytochemistry*, 86(4), 44-56. DOI: 10.1016/j.phytochem.2012.10.015
- Langford, Z. (2024). Introduction. Globalisation and Livelihood Transformations in the Indonesian Seaweed Industry. 1st Edition. 1-20. DOI: 10.4324/9781003183860-1
- Leandro, A., Pereira, L., Gonçalves, A. M. M. (2020). Diverse Applications of Marine Macroalgae. *Mar Drugs*, 18(1), 17. DOI: 10.3390/md18010017
- Leandro, A., Pacheco, D., Cotas, J., Marques, J., Pereira, L., Gonçalves, A. M. M. (2020). Seaweed's Bioactive Candidate Compounds to Food Industry and Global Food Security. *Life*, 10(8), 1-40. DOI: 10.3390/life10080140
- Leite, B. S. M. (2017). Novas Alternativas para o Uso de Macroalgas da Costa Portuguesa em Alimentação. Dissertação de Mestrado em Ciências Gastronómicas. Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Nova Lisboa, 301. Lisboa. Portugal.
- Lloréns, J. L. P. (2019). Seaweed Consumption in the Americas. *Gastronomica*, 19(4), 4959. DOI: 10.1525/gfc.2019.19.4.49

- Lomartire, S., Gonçalves, A. M. M. (2022). An Overview of Potential Seaweed-Derived Bioactive Compounds for Pharmaceutical Applications. *Marine Drugs*, 20(2), 1-41. DOI: 10.3390/md20020141
- Lomartire, S., Marques, J. C., Gonçalves, A. M. M. (2021). Overview to the Health Benefits of Seaweeds Consumption. *Marine Drugs*, 19(6), 341. DOI: 10.3390/MD19060341
- MacArtain, P., Gill, C. I. R., Brooks, M., Campbell, R., Rowland, I. R. (2007). Nutritional Value of Edible Seaweeds. *Nutrition Reviews*, 65(12-1), 535-543. DOI: 10.1301/nr.2007.dec.535-543
- Machado, M. C. P. (2020). Perfil de aminoácidos de macroalgas produzidas num sistema de aquacultura multi-trófica integrada. Dissertação de Mestrado em Tecnologia e Ciência Alimentar. Faculdade de Ciência da Universidade do Porto. 61. Porto Portugal.
- Magalhães, B. I. M. M. (2014). Avaliação do efeito da temperatura e luz no crescimento in vitro de *Ulva rigida* C. Agardh (Chlorophyta, Chlorophyceae). Dissertação de Mestrado. Universidade dos Açores. Departamento de Biologia. Ponta Delgada. Açores. Portugal.
- Milinic, J., Fernando, A. L., Campos, B., Leite, B., Mata, P., Diniz, M., Sardinha, J., Noronha, J. P. (2021). Nutritional Benefits of Edible Macroalgae from the Central Portuguese Coast: Inclusion of Low-Calorie 'Sea Vegetables' in Human Diet. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 28(5)556250. DOI: 10.19080/IJESNR.2021.28.556250
- Milledge, J. J., Nielsen, B. V., Bailey, D. (2016). High-value products from macroalgae: the potential uses of the invasive brown seaweed, *Sargassum muticum*. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 15, 67-88. DOI: 10.1007/s11157-015-9381-7
- Mouradi, A., Chikhaoui, M., Fekhaoui, M., Akallal, R., Guessous, A., Givernaud, T. (2006). Variabilité interspécifique de trois algues rouges : *Hypnea musciformis*, *Gracilaria multipartita* et *Gelidium sesquipedale* (Rhodophycées) de la côte atlantique marocaine. *Afrique Science*, 2(3), 365-389. DOI: 10.4314/afsci.v2i3.61200
- Nemesis, (2016). *Sargassum muticum*: Algae. Regional Distribution Map. Marine Invasions Lab. URL: https://invasions.si.edu/nemesis/species_summary/11390
- Neto, R. T., Marçal, C., Queirós, A. S., Abreu, H., Silva, A. M. S., Cardoso, S. M. (2018). Screening of *Ulva rigida*, *Gracilaria* sp., *Fucus vesiculosus* and *Saccharina latissima* as Functional Ingredients. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(10), 29-87. DOI: 10.3390/ijms19102987

- Notowidjojo, L. (2021). Seaweed as novel food for prevention and therapy for life Style related disease. *World Nutrition Journal*, 5(1), 1-5. DOI: 10.25220/WNJ.V05.i1.0001
- Nova, P., Martins, A. P., Maricato, É., Nunes, C., Abreu, H., Coimbra, M. A., Freitas, A. C., Gomes, A. M. (2023). Chemical Composition and Antioxidant Potential of Five Algae Cultivated in Fully Controlled Closed Systems. *Molecules*, 28(12), 45-88. DOI: 10.3390/molecules28124588
- OMARE, (2024). Observatório Marinho de Esposende. *Sargassum muticum* (yendo) Fensholt, 1955. URL: <http://www.omare.pt/pt/especie/sargassum-muticum/>
- Paiva, L. S. (2014). Desenvolvimento de tecnologias de extração e de quantificação dos principais componentes nutricionais de macroalgas do litoral dos Açores tendo em vista o seu aproveitamento como suplemento alimentar. Dissertação de Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar. Departamento de Ciências Agrárias da Universidade dos Açores. Açores. Portugal.
- Paiva, L., Lima, E., Neto, A. I., Marcone, M., Baptista, J. (2017). Nutritional and Functional Bioactivity Value of Selected Azorean Macroalgae: *Ulva compressa*, *Ulva rigida*, *Gelidium microdon*, and *Pterocladia capillacea*. *Journal of Food Science*, 82(7), 1757-1764. DOI: 10.1111/1750-3841.13778
- Paiva, L., Lima, E., Neto, A. I., Marcone, M., Baptista, J. (2016). Health-promoting ingredients from four selected Azorean macroalgae. *Food Research International*, 89(1), 432-438. DOI: 10.1016/j.foodres.2016.08.007
- Paopun, Y., (2023). Structural Development of Marine Green Alga (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823) during Cultivation) DOI: 10.48048/tis.2023.6747
- Patarra, R. F., Paiva, L. S., Neto, A. I., Lima, E. M. C. (2011). Nutritional value of selected macroalgae. *Journal of Applied Phycology*, 23(2), 205-208. DOI: 10.1007/s10811-010-9556-0
- Pavão, M. I. (2014). Crescimento de *Ulva rigida* C. Agardh em condições de stress de Macronutrientes. Dissertação de Mestrado em Biodiversidade e Biotecnologia Vegetal. Departamento de Biologia da Universidade dos Açores. Açores.
- Pedrosa, A. C., Domingues, V., Jordão, M. I. S. (2014). Composição nutricional das macroalgas *Bifurcaria bifurcata* e *Sargassum muticum* da costa litoral Portuguesa. Encontro da Química dos Alimentos. Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Coimbra. Coimbra Portugal.
- Pereira, R., Yarish, C. (2008). Mass Production of Marine Macroalgae. *Encyclopédia of Ecology*, 2236-2247. DOI: 10.1016/B978-008045405-4.00066-5
- Pereira, L. (2009). Composição Pigmentar e Classificação. Guia Ilustrado das Macroalgas: Conhecer e reconhecer algumas espécies da flora portuguesa. 1ª

- Edição, p. 16. Maria João Padez Ferreira de Castro. DOI: 10.14195/978-989-26-0397-1
- Pereira, L. (2010). MACOI: Portuguese Seaweeds Website. *Gracilaria multipartita* (Clemnete) Harvey. URL: http://www.flordeutopia.pt/macoi/spec_list_detail.php?spec_id=87
- Pereira, L. (2011). A review of the nutrient composition of selected edible seaweeds. In: Pomin, V.H., Ed., *Seaweed: Ecology, Nutrient Composition and Medicinal Uses*, Nova Science Publishers, Inc., Coimbra, 15-47.
- Pereira, L. (2021). Macroalgae. *Encyclopedia*, 1(1), 177-188. DOI: 10.3390/encyclopedia1010017
- Pinteus, S., Lemos, M. F. L., Alves, C., Silva, J., Pedrosa, R. (2021). The marine invasive seaweeds *Asparagopsis armata* and *Sargassum muticum* as targets for greener antifouling solutions. *Science of the Total Environment*, 750, 141-372. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141372
- Prieto, C. R., Freswater, D. W., Hommersand, M. H. (2016). *Gracilaria corallicola* and *G. multipartita* (Gracilariales, Rhodophyta), two related flattened European species. *European Journal of Phycology*, 51,444-460. DOI: 10.1080/09670262.2016.1201867
- Queirós, A. S., Circuncisão, A., R., Pereira, E., Válega, M., Abreu, M. H., Silva, A. M. S., Cardoso, S. M. (2021). Valuable Nutrients from *Ulva rigida*: Modulation by Seasonal and Cultivation Factors. *Applied Sciences*, 11(13), 61-37. DOI: 10.3390/app11136137
- Rahikainen, M., Samson, R., Yang, B. (2021). Global production of macroalgae and uses as food, dietary supplements and food additives. European Union. *Interreg. Baltic Sea Region*, 20. URL: https://submariner-network.eu/wp-content/uploads/2024/01/Seaweed_usage_GRASS_MR_03092021.pdf
- Ritter, L. (2019). The potential of *Ulva* diversity in southern Portugal for a sustainable food and feed industry. Tese de Mestrado em ciência na Aquacultura e Pesca na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade do Algarve. 92. Algarve. Portugal.
- Rodrigues, M. S. (2015). Caracterização da composição nutricional da macroalga *Fucus vesiculosus* e a alteração dos compostos bioativos nos diferentes métodos de secagem. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Bragança. Escola Superior Agrária. Bragança. Portugal.
- Rodrigues, D., Freita, A. C., Pereira, L., Santos, T. A. P. R., Vasconcelos, M. W., Roriz, M., Alcalá, L. M. R., Gomes, A. M. P., Duarte, A. C. (2015). Chemical composition of red, brown and green macroalgae from Buarcos bay in Central West Coast of Portugal. *Food Chemistry* 183, 197-207. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.03.057

- Sá, A. R. F. (2019). Guia Ilustrado das Macroalgas da Baía de Buarcos. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra. Faculdade de Ciências da Vida. Biodiversidade e Biotecnologia Vegetal. Coimbra. Portugal.
- Santos, F. J. C. (2017). Macroalgas Verdes Produzidas em Aquacultura na Região Algarvia: Potencial Terapêutico/ Propriedades Biológicas. Dissertação de Mestrado em Ciências Farmacêuticas. Universidade do Algarve. Faculdade de ciências e Tecnologia. Algarve. Portugal.
- Santos, A., Gregório, M. J., Sousa, S. M., Anjo, C., Bica, M., Graça, P. (2018). A importância do Potássio e da Alimentação na Regulação da Pressão Arterial. Programa Nacionaal para a promoção da Alimentação Saudável. DOI: 978-972-675-278-3
- Serrano, M. M. S. (2019). Utilização de *Fucus vesiculosus* e *Nannochloropsis gaditana* em rações para corvina (*Argyrosomus regius*). Relatório de Estágio de Mestrado em Recursos Biológicos Aquáticos. Universidade do Porto. Faculdade de Ciências. Porto. Portugal.
- Shurson, G. C., Hung, Y. T., Jang, J. C., Urriola, P. E. (2021). Measures Matter—Determining the True Nutri-Physiological Value of Feed Ingredients for Swine. *Animals*, 11(5), 12-59. DOI: 10.3390/ani11051259
- Silva, L. D. S. (2015). Avaliação do potencial dos extratos de algas marinhas *Sargassum muticum* e *Ascophyllum nodosum* (Phaeophyceae) como fertilizante agrícola. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra. Departamento de Ciências da Vida. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Coimbra. Portugal.
- Silva, A. F. R. (2016). Efeito do processo de Secagem nas propriedades físico-químicas de macroalgas comestíveis. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro. Departamento de Química. Biotecnologia Alimentar. Aveiro. Portugal
- Silva, A. F. R., Abreu, H., Silva, A. M. S., Cardoso, M. (2019). Effect of Oven-Drying on the Recovery of Valuable Compounds from *Ulva rigida*, *Gracilaria* sp. and *Fucus vesiculosus*. *Marine Drugs*, 17(2), 90. DOI: 10.3390/md17020090
- Silva, A., Soares, C., Carpena, M., Oliveira, P. G., Echave, J., Chamorro, F., Donn, P., Mansour, S. S., Barroso, M. F., Prieto, M. A. (2023). Assessment of Nutritional Profile of *Sargassum muticum* Alga from the Spanish Coastline. *Biology and life Sciences forum*, 26(1), 94. DOI: 10.3390/Foods2023-15028
- Soares, C., Machado, S., Vieira, E. F., Morais, S., Teles, M. T., Correia, M., Carvalho, A., Domingues, V. F., Ramalhosa, M. J., Delerue-Matos, C., Antunes, F. (2017). Seaweeds from the Portuguese coast: A potential food resource? *Materials Science and Engineering*, 231, 012126. DOI: 10.1088/1757-899X/231/1/012126
- Soares, C., Sousa, S., Machado, S., Vieira, E., Carvalho, A. P., Ramalhosa, M. J., Morais S., Correia, M., Oliveira-Teles, T., Domingues, V. F., Delerue-Matos, C. (2021).

- Bioactive Lipids of Seaweeds from the Portuguese North Coast: Health Benefits versus Potential Contamination. *Foods*, 10(6), 13-66. DOI: 10.3390/foods10061366
- Sultana, F., Wahab, M. A., Nahiduzzaman, M., Mohiuddin, M., Iqbal, M. Z., Shakil, A., Mamun, A. M., Khan, M. S. R., Wong, L., Asaduzzaman, M. (2023). Seaweed farming for food and nutritional security, climate change mitigation and adaptation, and women empowerment: A review. *Aquaculture and Fisheries*, 8(5), 463-480. DOI: 10.1016/j.aaf.2022.09.001
- Taboada, C., Milláin, R., Mãguez, I. (2010). Composition, nutritional aspects and effect on serum parameters of marine algae *Ulva rigida*. *Journal Scientific Food Agriculture*, 2009, 90, 445-449. DOI: 10.1002/jsfa.3836
- The World Bank. (2023). Global Seaweed: New and Emerging Markets Report. URL: documents1.worldbank.org/curated/en/099081423104548226/pdf/P175786073c14c01609fe409c202ddf12d0.pdf
- Trigui, M., Gasmi, L., Zouari, I., Tounsi, S. (2013). Seasonal variation in phenolic composition, antibacterial and antioxidant activities of *Ulva rigida* (Chlorophyta) and Assessment of Antiacetylcholinesterase potential. *Journal Applications Phycology*, 25, 319-328. DOI: 10.1007/s10811-012-9866-5
- União Europeia. (2011). REGULAMENTO (EU) N.º 1169/2011 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 25 de Outubro de 2011. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:304:0018:0063:PT:PDF>
- União Europeia. (2021). WISSI: A nova marca portuguesa de algas marinhas. WISSI: Atlantic Vegetables. URL: <https://wissi.pt/wissi-a-nova-marca-portuguesa-de-algas-marinhas/>
- United Nations. (2024). An Ocean of Opportunities: The Potential of Seaweed to Advance Food, Environmental and Gender Dimensions of the SDGs. ISBN: 978-92-1-003065-6
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., Lewis, B. A. (1991). Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
- Vega, G.G., Palcios, M. P., Quitral, V. (2020). Nutritional Composition and Bioactive Compounds of Red Seaweed: A Mini-Review. *Journal of Food and Nutrition Research*, 8(8), 431-440. DOI: 10.12691/jfnr-8-8-7
- Vieira, E. F., Soares, C., Machado, S., Correia, M., Ramalhosa, M. J., Oliveira-teles, M. T., Carvalho, A. P., Domingues, V. F., Antunes, F., Oliveira, T. A. C., Morais, S., Delerue-Matos, C. (2018). Seaweeds from the Portuguese coast as a source of

proteinaceous material: Total and free amino acid composition profile. *Food Chemistry*, 264-275. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.06.145

White, W. L., Wilson, P. (2015). World Seaweed Utilization. *Seaweed Sustainability*, 7-25. DOI: 10.1016/B978-0-12-418697-2.00002-7

World Bank. (2016). Seaweed Aquaculture for Food Security, Income Generation and Environmental Health in Tropical Developing Countries. Public Disclosure Authorized. *Environment & Natural Resources*. 16. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/947831469090666344/pdf/107147-WP-REVISED-Seaweed-Aquaculture-Web.pdf>

Xu, J., Liao, W., Liu, Y., Guo, Y., Jiang, S., Zhao, C. (2023). An overview on the nutritional and bioactive components of green seaweeds. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5(18). DOI: 10.1186/s43014-023-00132-5

Zhang, L., Liao, W., Huang, Y., Wen, Y., Chu Y., Zhao, C. (2022). Global seaweed farming and processing in the past 20 years. *Food Production, Processing and Nutrition*, 4(23). DOI: 10.1186/s43014-022-00103-2

ANEXOS