



IPA
INSTITUTO DE
PESQUISAS AMBIENTAIS

Algicultura



Leandro A. Herrera, 2023

Leandro A. Herrera, 2023

Engenheiro Químico | MBA | M.Sc. Aquicultura | Estudante de doutorado

lattes.cnpq.br/8055094948532927

Direcionei minha carreira para ciências biológicas, através de estudos com macroalgas marinhas e busco formas de mitigar as alterações das mudanças climáticas nos oceanos. Minha resiliência já transpassou por diversas etapas na busca dos meus objetivos e o ponto fundamental está sendo a ampliação de conhecimentos permitindo, com muita criatividade, vivenciar às soluções.

Foto da capa: Macroalga vermelha *Kappaphycus alvarezii* (Doty) L.M.Liao (Rhodophyta, Gigartinales), cultivo na Fazenda Marinha Experimental do Instituto de Pesca, em Ubatuba-SP, Instituto de Pesca – IP (arquivo pessoal do autor).

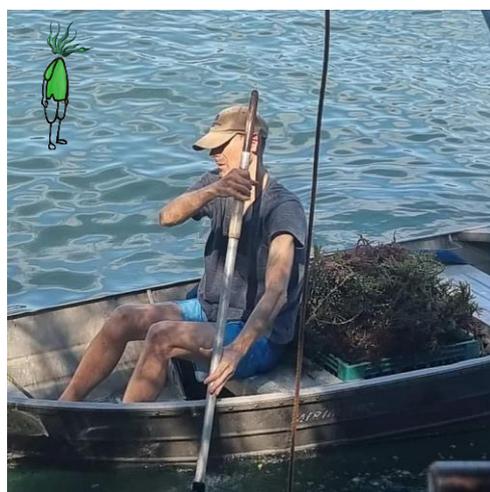
Atividade de “Estágio de Docência” do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente – Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA), São Paulo. Orientadora: Dra. Nair S. Yokoya (IPA) e Coorientadora: Dra. Valéria C. Gelli (IP).

Leandro Amaral Herrera, bolsista CAPES, processo nº 88887.602528/2021-00.



SUMÁRIO

ALGAS	1
1.1 Microalgas.....	1
1.2 Macroalgas	1
1.2.4 Características gerais das macroalgas marinhas (Phaeophyceae, Chlorophyta e Rhodophyta) .	2
1.3 Importância econômica das algas (uso e aproveitamento).....	4
1.3.1 Importância da <i>Kappaphycus alvarezii</i>	5
1.3.2 Aplicações da <i>K. alvarezii</i>	7
AQUICULTURA	9
2.1 Principais atividades de aquicultura.....	10
2.2 Cultivos algas (ALGICULTURA)	11
2.3 Qualidade de água na aquicultura	11
3.3.1 Principais fatores ambientais nos oceanos	13
2.4 Cultivos de Microalgas	14
2.4.1 Métodos de cultivo, características principais	14
2.4.2 Principais espécies de microalgas de interesse econômico e suas características	16
2.5 Cultivos de Macroalgas.....	17
2.5.1 Métodos de cultivos	17
2.5.2 Seleção do local de cultivo.....	18
2.5.3 Estruturas de cultivo.....	19
2.6 Principais algas cultivadas no mundo	21
2.7 Algicultura, questões ambientais.....	21
2.8 Algas e o Meio Ambiente.....	22
2.8.1 Macroalga <i>Kappaphycus alvarezii</i> , aspectos legais (Legislação)	23
2.9 Quantificação do mercado de macroalgas	23
Bibliografia	24
LEITURA RECOMENDADA.....	29



Fotos: Algicultura, Fazenda Marinha Experimental do Instituto de Pesca/APTA/SAA em Ubatuba-SP (arquivo pessoal do autor).

ALGAS

As algas são organismos eucariontes e fotossintetizantes que incluem uma grande variedade de formas podendo ser autotróficos e heterotróficos (Raven et al. 2014).

A FAO (2022) caracteriza como alga: “Um grupo altamente diversificado de organismos, principalmente aquáticos, autotróficos, e fotossintetizantes que variam de tamanho, incluindo formas unicelulares a multicelulares, e diferenciam das plantas vasculares pela ausência de estruturas verdadeiras como raízes, caules, folhas e flores”.

Ao longo da região costeira rochosa, podem ser encontradas as macroalgas marinhas de maior porte e complexidade que são membros dos grupos das algas pardas, vermelhas e verdes. A complexidade da bioquímica, estrutura do talo e histórico de vida das algas refletem as suas diversidades taxonômicas (Raven et al. 2014).

1.1 Microalgas

Segundo Raven et al. (2007), “Microalgas são elementos de um grupo muito heterogêneo de organismos, predominantemente aquáticos e, geralmente, microscópicos, unicelulares, eucariontes, que podem formar colônias, com pouca ou nenhuma diferenciação celular, além de serem dotados de pigmentos, responsáveis pela coloração variada e pelo metabolismo fotoautotrófico”.

Na aquicultura, as microalgas são alimentos para cultivos de camarões, peixes e moluscos bivalves, resultando no elevado custo em larviculturas (alimentação das formas jovens). As microalgas também são utilizadas para suplementação alimentar dos seres humanos, contém ácidos graxos poliinsaturados, carotenoides, polissacarídeos, vitaminas, antioxidantes e redutores de colesterol.

1.2 Macroalgas

Segundo Széchy et al. (2015), “as macroalgas (alga macroscópica, visível a olho nu) é um termo usado para denominar um grupo de organismos bem numeroso em espécies, que estão adaptadas a viver em ambientes aquáticos. As macroalgas possuem clorofila a, e realizam fotossíntese, produzindo compostos orgânicos essenciais ao seu crescimento. No ambiente marinho, as macroalgas crescem fixas a substratos que recebam a radiação solar, mesmo com o movimento natural da água provocado por ondas e correntezas. São mais abundantes na região costeira, ocorrendo em costões rochosos, lajes submersas, cascos de embarcações e outros substratos construídos pelo Homem”

A seguir, abordaremos as características gerais dos grupos de macroalgas marinhas: Phaeophyceae (algas pardas), Chlorophyta (algas verdes) e Rhodophyta (algas vermelhas).

1.2.4 Características gerais das macroalgas marinhas (Phaeophyceae, Chlorophyta e Rhodophyta)

Tabela 1: Características gerais das macroalgas marinhas (Phaeophyceae, Chlorophyta e Rhodophyta) (morfologia, parede celular, cloroplastos, pigmentos, tipos de reserva, flagelos, e exemplos de alguns gêneros) (Cole e Sheath, 1990; Pereira e Soares-Gomes, 2002; Raven, 2014).

Phaeophyceae	Rhodophyta	Chlorophyta
Morfologia		
<p>Não existem formas coloniais nem unicelulares (exceto: gametas e esporos). As mais simples são pluricelulares (epífitas). As mais complexas (<i>Macrocystis</i> sp.) possuem mais de 60 m comprimento Organização do talo: filamentosos, pseudoparenquimatoso ou parenquimatoso.</p>	<p>Maioria são multicelular. Organização do talo: filamentosos, pseudoparenquimatosos, e um tipo peculiar do talo polissifônico. Tamanhos: de microscópicas a alguns metros de comprimento.</p>	<p>Muito diversificada, unicelulares, coloniais, filamentosas (celulares ou cenocíticas), parenquimatoso. * Também existem formas cenocíticas não filamentosas. Tamanhos: de microscópicas a alguns metros de comprimento (<i>Codium</i> sp).</p>
Parede celular		
<p>Mais interna, celulose e mais externa (polissacarídeos): ácido algínico e fucoidina. Ácido algínico, combinado com ions Ca, Mg e Fe, formando alginatos. Algumas pardas apresentam calcificação (gênero <i>Padina</i>) aragonita em sua parede.</p>	<p>Células podem estar ligadas às células adjacentes (ligações citoplasmáticas ou “pit-connection”, preenchidas por polissacarídeos proteicos. Parte interna, rígida, maioria microfibrilas de celulose. Parte externa, muscilagenosa, polímeros galactanas / ágar / carragenana.</p>	<p>Estrutura fibrilar embebida em uma matriz não fibrilar, geralmente celulose, alguns polímeros de xilose (<i>Bryopsis</i> sp. e <i>Caulerpa</i> sp.) ou polímeros de manose (<i>Acetubalaria</i> sp.). Alguns gêneros podem depositar CaCO₃ na parede.</p>
Cloroplastos		
<p>De um a muitos (critério taxonômico). Formas extremamente variadas: estrelada, cilíndrica, lenticulares.</p>	<p>Um a muitos por célula, geralmente ovais ou discoides, alguns são estrelados. Tilacóides livres nos cloroplastos com ficobilissomas em sua superfície.</p>	<p>Um a muitos por célula, extremamente variável, importante critério na classificação das clorofíceas. Formas em fita, estrelado, lâminas, discoide, reticulado etc.</p>

Lamelas arranjadas em grupo de 3 bandas, sempre uma baba periférica aos cloroplastos. Duas camadas de retículo endoplasmático rugoso, muitos gêneros a mais externa envolve também o núcleo.

Bandas com 2-6 tilacóides cada. Alguns gêneros podem apresentar grana = plantas vasculares.

Pigmentos

Clorofila *a*, *c1* e *c2*.
Carotenoides, mais comum o Beta-caroteno.
Entre as xantofilas, mais frequente a fucoxantina.

Clorofila *a*, ficobiliproteínas, carotenoides, xantofilas, zeaxantina e outros.

Semelhantes as plantas vasculares e briófitas. Clorofila *a* e *b* nos tilacóides, carotenoides, principalmente luteína, sifoneína e sifonoxantina.

Reservas

Polissacarídeos (*Laminarina*) e manitol ocorrem no citoplasma, também podem ocorrer complexos fenólicos (forma vesículas de fucosana = cor parda).

Amido das florídeas, armazenada no citoplasma e não nos cloroplastos.

Amido igual ao das plantas vasculares, armazenado dentro do cloroplasto, associado aos pirenoides quando presentes. Reações bioquímicas da fotossíntese (síntese amido) iguais plantas vasculares.

Flagelos

Não móveis (células vegetativas), todas produzem (células germinativas) móveis (gametas e zoósporos). Geralmente dois flagelos inseridos lateralmente ou subapicalmente. Um longo plumoso com outro curto e simples.

Ausentes.

Podem apresentar fases vegetativas, reprodutivas ou ambas, não variáveis, de organização iguais, localizados na região anterior. Simples ou plumosos. A maioria apresenta estigma no cloroplasto em posição anterior, próximo ao flagelo.

Alguns gêneros

Laminaria (água fria): alimento "Kombu"
Lessonia
Macrocystis
Sargassum
Undaria: alimento "Wakame"

Porphyra/Pyropia: alimento "Nori"
Palmaria
Gelidium e *Gracilaria*: produz ágar-ágar
Eucheuma, *Kappaphycus* e *Hpynea*: produz carragenana

Caulerpa e *Ulva*: comestíveis

1.3 Importância econômica das algas (uso e aproveitamento)



Amostras de diferentes métodos de extração de carragenana, “algas secas”
(arquivo pessoal do autor).

O nosso objetivo é trazer ao seu conhecimento as diversas utilidades das algas e, demonstrar através de seus usos, que somos dependentes cada vez mais delas.

Segundo EEEP (2011), “as algas por séculos fizeram parte da alimentação diária de alguns países, particularmente no Leste Asiático, mas são ainda pouco exploradas como alimento na maioria dos países”.

Podemos enfatizar a importância do uso das algas marinhas na alimentação: No geral, as algas são consideradas alimentos saudáveis com baixa caloria e podem incluir uma combinação de nutrientes como ômega-3 e 6, vitaminas (A, C, E e B₁₂) (Kumar & Kaladharan, 2007), antioxidantes e, no caso das algas vermelhas, ao serem processadas, pode-se extrair os ficocolóides (ágar e carragenana) que apresentam propriedades estabilizantes e gelificantes (Hayashi et al., 2007).

Pela ação gelificante, os ágares são utilizados em meios de culturas para crescimento de bactérias, entre outros microrganismos. As carragenanas são polissacarídeos sulfatados muito utilizadas na composição de laticínios devido à sua reatividade com as proteínas do leite, e pode atuar como uma fibra alimentar, limpando o sistema digestivo, protegendo a membrana da superfície do estômago e prevenindo os efeitos de potenciais carcinógenos no intestino (Bixler & Porse; 2011;

Hayashi & Reis, 2012). Além disso, os polissacarídeos sulfatados também mostraram atividade antiviral (Hayashi & Reis, 2012).

Para o consumo humano existem diversas algas, o “nori” é um exemplo clássico e faz parte do “sushi” na culinária japonesa, além das algas pardas conhecidas comercialmente como “Wakame” e “Kombu”. A alga comestível desidratada e embalada que possibilita aos consumidores utilizá-las como queiram e funcionam como suplementos alimentares, em alguns casos como antioxidantes são denominadas comercialmente como “Sea Moss”.

Em uma outra possível aplicação e que já eram utilizados pelos povos antigos é sua utilização diretamente na adubação da terra (Aitken & Senn, 1964), devido aos nutrientes contidos nelas, possibilitam nutrir indiretamente a planta e manter a umidade do solo.

As algas podem ser fontes de diversos fármacos, cosméticos, biofertilizantes e/ou bioestimulantes foliares agrícolas (Gelli et al. 2020). Para a produção de energia limpa, as algas podem produzir biocombustíveis a partir dos açúcares (metanol) (Hargreaves, 2013; Masarin et al., 2016; Solorzano-Chavez, 2019), ou até mesmo produzir hidrogênio (Dalbello, 2016).

Entre outras aplicações, açúcares, cervejas, plásticos biodegradáveis e uma série de iniciativas utilizam as algas como componente principal.

1.3.1 Importância da *Kappaphycus alvarezii*



Macroalga *Kappaphycus alvarezii*, tetrasporófitos e gametófitos, Instituto de Pesca/APTA/SAA em Ubatuba-SP (arquivo pessoal do autor).

A macroalga *Kappaphycus alvarezii* (Doty) L.M.Liao (Rhodophyta, Gigartinales) é uma das principais fontes de carragenana que se tornou *commodities* dentre os cultivos marinhos na região Ásia-Pacífico (Bixler & Porse, 2010; La Ode et al., 2015; Porse & Rudolph, 2017) e sua produção mundial ultrapassou 1,5 milhões de toneladas em 2018 (FAO 2020).

A *K. alvarezii* é originária das Filipinas e foi trazida ao Brasil a partir de cultivos experimentais realizados no Japão na USA Marine Institute of University of Kochi (Paula et al., 2001). A sua introdução foi proposta com o intuito de minimizar a exploração dos bancos naturais de *Hypnea pseudomusciformis* Nauer, Cassano & M.C.Oliveira e de diminuir a dependência da matéria prima importada (Oliveira, 1990; Paula et al., 2002).

No Brasil, cultivos comerciais de algas (algicultura ou ficocultura) de *K. alvarezii* ainda são incipientes quando relacionados à produção mundial (Paula et al., 2001; Reis & Bastos, 2007; Gelli & Barbieri, 2015), devido aos entraves setoriais tais como a falta de conhecimento da população sobre o tema, a carência de iniciativas de extensão para os potenciais produtores (Reis et al., 2016; São Paulo, 2017; Nogueira, 2018) e questões de zoneamentos restritivos (IBAMA, 2020).

A aquicultura marinha ou maricultura desempenha um papel importante para subsistência, emprego e economia local entre as comunidades costeiras em muitos países em desenvolvimento (FAO, 2020) e eleva a produtividade das áreas costeiras, promove a fixação dos produtores em seu local de origem, estimula o ecoturismo e cadeias produtivas da maricultura e turismo (Fagundes et al., 1997).

O incentivo ao cultivo de algas pode também diminuir a importação da carragenana e da alga seca (*in natura*) (Santos, 2014).

A região Sudeste do Brasil, entre o litoral norte do estado de São Paulo até o sul do Rio de Janeiro, abriga comunidades tradicionais que vivenciam aceleradas transformações sociais e o declínio dos recursos pesqueiros. Essa região apresenta condições climáticas e ambientais favoráveis ao cultivo de espécies aquáticas e proximidade de mercados consumidores (Reis, 2004; Rodrigues et al., 2011; Nogueira, 2018).

A macroalga *K. alvarezii* possui taxas de crescimento que podem variar de 3 a 9% dia⁻¹ (Solarzano et al., 2019) e com baixo risco de invasão (Araújo et al., 2020), portanto, ela é considerada como a principal espécie vegetal para integrar a maricultura na região sudeste do Brasil (Hayashi et al., 2007; Bulboa & Paula, 2005; Reis et al., 2007; Bulboa et al., 2008).

1.3.2 Aplicações da *K. alvarezii*



Produção artesanal de extrato de macroalgas, Instituto de Pesca/APTA/SAA em Ubatuba-SP
(arquivo pessoal do autor).

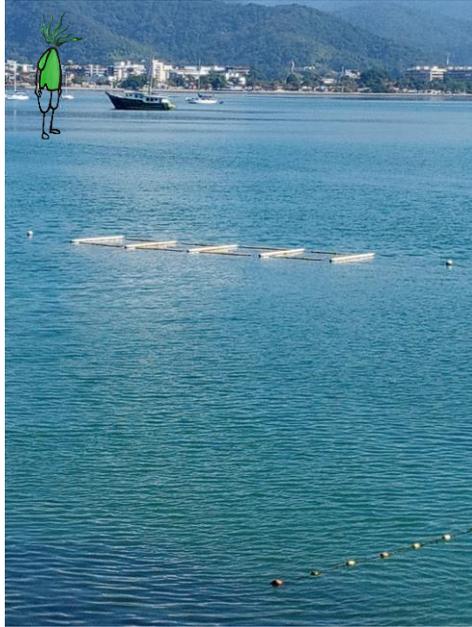
A biomassa produzida pelo cultivo de *K. alvarezii* pode ser utilizada em várias indústrias (Castelar, 2014), na indústria alimentícia como estabilizante, espessante e emulsificante, nos alimentos, em composições de fármacos e cosméticos (Hayashi & Reis, 2012; Kumar et al., 2014; Reis et al., 2016). Na indústria agrícola seu extrato pode ser utilizado como bioestimulante ou componente de fertilizantes. Vários estudos comprovaram a eficiência do extrato de *K. alvarezii* ou “suco de macroalga” como biofertilizante foliar (Zodape et al., 2008; Pramanick et al., 2014). O extrato da *K. alvarezii* contém carboidratos, proteínas, potássio entre outros micronutrientes como enxofre, cálcio, magnésio, zinco (Gelli et al., 2020), entre hormônios vegetais. Ao se aplicar o suco desta alga em plantações de milho, cana-de-açúcar, algodão, leguminosas, verduras e em flores cultivadas foi possível obter melhores rendimentos (Hurtado et al, 2022).

Importante salientar que, segundo o autor, as macroalgas são importantes para prover uma economia sustentável e atende de forma plena as necessidades contemporâneas de consumo e contribui para um futuro melhor.

Principais insumos possíveis de se obter ao manipular e/ou processar a *K. alvarezii*:

- ✓ Alga fresca: culinária contemporânea;
- ✓ Alga desidratada: “*sea moss*”, a *K. alvarezii* é comestível;
- ✓ Carragenana: estabilizante e gelificantes e emulsificante para alimentos;
- ✓ Fármacos: possuem biomoléculas que podem evitar ou combater doenças;
- ✓ Cosméticos: sabonetes, hidratantes, xampus;
- ✓ Extrato ou “suco de macroalga”, parte líquida: estimulantes vegetais, considerado um biofertilizante foliar agrícola;
- ✓ A “farinha de macroalga”, parte sólida: ração para animais (suplementação);
- ✓ Biocombustíveis: bioetanol e hidrogênio, produção de energia limpa.

AQUICULTURA



Fazenda Marinha Experimental do Instituto de Pesca/APTA/SAA em Ubatuba-SP
(arquivo pessoal do autor).

Segundo definição da FAO (A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura), “aquicultura ou cultivo na água é o equivalente aquático da agricultura ou cultivo em terra. Definida de forma ampla, a agricultura inclui a criação de animais (pecuária) e plantas (agronomia, horticultura e silvicultura em parte). Da mesma forma, a aquicultura abrange a criação de animais (incluindo crustáceos, peixes e moluscos) e plantas (incluindo algas e macrófitas de água doce). Enquanto a agricultura é predominantemente baseada no uso de água doce, a aquicultura ocorre tanto em áreas interiores (água doce) quanto costeiras (água salobra, água do mar)”.

A palavra aquicultura deriva-se do latim, Aqui = água e Cultura = Cultivo. Portanto significa o cultivo de todos os organismos aquáticos.

Maricultura: Cultivo de organismos em meio marinho e estuarino.

Algicultura: Algicultura (Algi = algas). É a parte da aquicultura que se enquadra o cultivo de macroalgas e microalgas, tanto de água marinha, água estuarina e água continental.

2.1 Principais atividades de aquicultura



Colheita de macroalgas, Fazenda Marinha Experimental do Instituto de Pesca/APTA/SAA em Ubatuba-SP (arquivo pessoal do autor).

Algicultura, cultivo de microalgas e macroalgas (Gênero *Gracilaria* sp.; Gênero Laminariales, *Kelps*, *K. alvarezii*);

Cultivo de Artêmias (Família: Artemiidae, ex: *Artêmia franciscana*);

Cultivo de Echinodermata (Classe Holothuroidea, principalmente *Holothuria grisea* – “pepino do mar”);

Cultivo de Jacaré, são 6 espécies cultivadas no Brasil, o jacaré-paguá ou jacaré-anão (*Paleosuchus palpebrosus*), jacaré-açu (*Melanosuchus niger*), jacaretinga (*Caiman crocodilus*), jacaré-coroa (*Paleosuchus trigonatus*), jacaré-do-pantanal (*Caiman yacare*) e jacaré-do-papo-amarelo (*Caiman atirostris*);

Cultivo de Rotíferos (Família: Branchionidae, Genero *Brachionus*, ex: *Brachionus plicatilis*);

Quelonicultura (cultivo de tartarugas);

Malacocultura (cultivo de Mexilhões, Gastrópodes, Bivalves e Cefalópodes);

Mitilicultura (Família Mytilidae, Genero *Perna*, ex: *Perna perna*);

Pectinocultura (Vieira, ex: *Nodipecten nodosus*);

Ostreicultura (Família: Ostreidae, ex: *Crassostrea gigas*);

Piscicultura (águas continentais, ex: *Tilapia rendalli* ou marinha ex: *Rachycentron canadum*, *Salmo salar*);

Ranicultura (cultivo de rã, principalmente rã-touro – *Lithobates castesbeianus*).

2.2 Cultivos algas (ALGICULTURA)

Os sistemas utilizados de cultivos são específicos e apropriados às características biológicas das algas e aos locais onde são cultivadas, por exemplo, microalgas podem ser cultivadas em sistemas fechados (biorreatores) ou semiabertos (raceway) e macroalgas em sistemas de recirculação fechados (RAS) ou completamente aberto (fazendas marinhas).

Também há diversas metodologias para cultivos de algas em água doce ou marinhas e, até mesmo devido as peculiaridades nas formas do relevo (geomorfologia) da área selecionada para o cultivo.

Segundo à Unidade de Estudos Costeiros, Universidade Federal Fluminense – GeoCosteira, “Geomorfologia Costeira é o ramo da Geomorfologia que se dedica ao estudo das formas e processos que ocorrem nas zonas costeiras, ou seja, nas áreas de transição entre a terra e o mar. A geomorfologia costeira examina como as forças da natureza, como o vento, as ondas, as correntes e as marés, moldam o relevo costeiro ao longo do tempo geológico. Ela também se preocupa com a interação entre as características geológicas da costa e os processos físicos, biológicos e antrópicos que influenciam a dinâmica do litoral”.

2.3 Qualidade de água na aquicultura



Manejo periódico, Fazenda Marinha Experimental do Instituto de Pesca/APTA/SAA em Ubatuba-SP (arquivo pessoal do autor).

A água é o principal elemento no qual permite dar existência à aquicultura, suas propriedades físicas dependem de fatores biótico e abióticos.

Vejam os alguns desses fatores (Libes, 1992; Lalli e Parsons, 1995):

Calor específico: Permite a estabilidade térmica aos ecossistemas aquáticos (1 Kcal, 1°C = 4,186 J).

Tensão superficial: (atração entre moléculas) Diminui com o aumento de temperatura e a quantidade de substâncias orgânicas dissolvidas.

Viscosidade: Resistência ao movimento dos organismos e das partículas presentes na água. Alterações da viscosidade em função de variações de temperatura e o teor de sais dissolvidos.

Densidade: Característica intrínseca, 4 °C densidade = 1,000 gcm⁻³

Transparência da água (Zona fótica): Depende principalmente da capacidade do meio em abrandar a radiação subaquática. A causa de turbidez pode estar relacionada ao material suspenso orgânico ou inorgânico. Comumente é utilizado um disco de Secchi para mensurações de transparência; Zona fótica: O limite inferior é aquele onde a intensidade da radiação corresponde a 1% daquela que atinge a superfície (ponto de compensação), porque a produção primária líquida é aproximadamente igual à respiração dos organismos presentes nela.

Oxigênio dissolvido: Fatores mais importantes porque influencia na dinâmica e na caracterização dos ecossistemas aquáticos. Sua concentração varia ao longo do dia que é proporcional a quantidade de plâncton.

Solubilidade: Dependente da pressão (profundidade), temperatura e salinidade. Em torno de 30oV, solubilidade 7 mg L⁻¹, em geral o CO₂ é inverso.

pH: Influenciada pela concentração de CO₂, causa uma reação ácida na água devido à presença de ácidos minerais como nitritos, sulfúricos. De maneira geral para produção orgânica aquática os níveis de pH estão entre 6,5 e 9. O pH atua diretamente nos processos de permeabilidade da membrana celular, ou seja, no transporte iônico intracelular e extracelular e entre os organismos e o meio.

Alcalinidade total: É a capacidade que um sistema aquoso tem para neutralizar ácidos (tamponar), refere-se à concentração total de bases na água e é expressa em mg L⁻¹ de equivalente de CaCO₃. Está diretamente ligada à capacidade da água em manter seu equilíbrio ácido-base.

Dureza total: Representa a concentração de cátions dissolvidos na água, expressa em equivalência de $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$, característica conferida à água pela presença de sais alcalino-terrosos (Cálcio, Magnésio e outros). Em águas normais os valores de dureza e alcalinidade total se equiparam.

Condutividade elétrica: É um indicador da capacidade da água em conduzir eletricidade, este parâmetro ajuda a identificar fontes poluidoras nos corpos de água, quando muito alto indica elevado grau de decomposição e muito baixo grande produção primária.

Outros fatores: como por exemplo, em ambientes abertos as concentrações de fitoplânctons, de material orgânico e inorgânico dissolvidos ou suspensos na água e o fator de dispersão dessas concentrações são dependentes dos fluxos de correntes de marés, passagem de embarcações, ventos e alterações antrópicas no entorno do cultivo.

3.3.1 Principais fatores ambientais nos oceanos

Temperatura: é o principal fator que controla a distribuição e a atividade de animais e plantas, agindo como limitante. Sua temperatura varia de $-1,9\text{ }^\circ\text{C}$ (ponto de solidificação da água a uma salinidade de 35, a $42\text{ }^\circ\text{C}$, região mais isolada do Mar Vermelho). Na coluna d'água, a temperatura frequentemente diminui com a profundidade *em* regiões equatoriais e tropicais, ou seja, em pequenas e médias latitudes, respectivamente. Como resultado do aquecimento da superfície oceânica cria-se uma estrutura de camadas na coluna d'água.

Densidade: aumenta com a concentração de sais e com a pressão e diminui com o aumento da temperatura. A temperatura e densidade são variáveis físicas independentes. Como grande quantidade de água está em contato com a superfície, suas características mudam muito gradualmente ao longo da coluna da água. Com relação a distribuição vertical, existe uma estratificação estável, com a densidade aumentando conforme a profundidade.

Pressão: ao nível do mar é $1,033\text{ kg cm}^{-2}$ e a pressão hidrostática é determinada pelo peso da coluna d'água sobrejacente, por unidade de área, aumentando uma atmosfera a cada 10m.

Marés: o fenômeno é mais evidente na costa, suas variações no Brasil podem ser de 1 m até 5 m no Maranhão. As marés se devem ao movimento da Lua ao redor da Terra e em menor escala a atração do Sol.

Salinidade: em média sua concentração é de 35 g de substâncias dissolvidas que incluem sais inorgânicos, substâncias orgânicas e gases, as maiores frações são de sais inorgânicos presentes como íons de sódio, cloro, sulfatos. Magnésio, cálcio e potássio.

Oxigênio dissolvido: a solubilidade de gases na água do mar é uma função da temperatura, quanto menor a temperatura maior a solubilidade. A 31 °C a água do mar contém 21 mL.L⁻¹ de oxigênio dissolvido.

Dióxido de carbono e carbonatos: A solubilidade de CO₂ na água depende da temperatura e da pressão. Diferente do oxigênio, porque CO₂ reage com a água do mar. E sua concentração gasosa é muito pequena. Então o carbono se encontra em soluções a forma mais abundante é HCO₃⁻ e C O₃⁻.

2.4 Cultivos de Microalgas

2.4.1 Métodos de cultivo, características principais

Sistemas abertos (exposição da cultura com ar atmosférico): Pouco sofisticado sob condições naturais e com baixo ou nenhum controle dos parâmetros ambientais (luz, temperatura, pH entre outros). Exemplo: Fazendas marinhas

Sistemas fechados (fotobiorreatores biológicos): Elevada produtividade sem contato com ar atmosférico. São sistemas que envolve tecnologia e podem ser caros, geralmente se baseiam no princípio “air-lift”, no qual as bolhas de gás que emergem no biorreator geram um perfil de fluxo que transporta as algas para a fonte regulada de luz. Isso resulta numa distribuição uniforme de luz e em altos níveis de produtividade de biomassa. São usados tanto para produção de microalgas, quanto cianobactérias.

O meio de cultura (alimentos das algas) é inserido numa frequência regular dentro do reator junto as algas que se reproduzem exponencialmente. Podem apresentar diversas formas, mais comum são os cilíndricos verticais e painéis de formas achatada, construídos com material transparente.

Vantagens: monitoramento de densidade celular, concentração de nutrientes, temperatura pH, entre outros parâmetros; controle das condições hidrostáticas da coluna (fluxo de ar e água, dissolução de gases etc.); redução da vulnerabilidade à contaminação e a utilização eficiente dos nutrientes do meio de cultura.

Sistemas Intensivo: Realizado em laboratório com iluminação artificial, mais comumente utilizado em larvicultura, as algas servem de alimentos para rotíferos que complementam a dieta de formas jovens de peixes e camarões marinhos. Normalmente o sistema se processa em escalas, a inoculação ocorre em pequenos recipientes aproveitando o potencial máximo das cepas em crescimento a cada etapa, obtendo-se maior produtividade possível (EEEP, 2011).

De forma geral são 3 etapas:

Inicial: aclimação e crescimento lento (2 – 4 dias).

Crescimento exponencial: células se adaptam ao meio, sua reprodutividade é muito rápida (4 – 6 dias).

Estacionária: com limitação da penetração de luz no cultivo e nutrientes, taxa de divisão celular diminui e o cultivo se estabiliza. A duração dessa etapa depende da espécie cultivada, ideal coletar durante a fase de crescimento exponencial para que as algas possam continuar a se reproduzir no recipiente em que foram inoculadas.

Os manejos possíveis influenciam a produtividade do tanque e devem ser controlados a fim de se obter uma produtividade ótima, tais como intensidade luminosa, quantidade de nutrientes, pH e salinidade

Pontos críticos:

Suprimento de Ar / CO₂, não deixar sedimento no fundo, ajuste a vazão.

pH, manter alcalino entre 7,5 e 8,2, fora dos limites deve ser ajustado o suprimento de CO₂.

Nutrientes, checar diariamente para manter aos níveis desejados.

Contaminação, a formação de espuma ou detritos nos tanques de cultivo. Caso haja contaminação o descarte deve ser imediato e se realizar higienização completa do sistema de cultivo, incluindo equipamentos e utensílios utilizados.

Sistemas Extensivo: Tanques ou viveiros grandes ou raceway, sendo tanques pouco profundos (até 1 m), requer baixo investimento e relativamente de fácil operação. Limitação de baixa produtividade e dificuldades com as variações diárias e sazonais de iluminação, temperatura. Maior vulnerabilidade e contaminação (bactérias, fungos, protozoários e insetos) (EEEP, 2011).

“Raceway”, ou sistemas de pistas (ou de fluxo), na maioria dos casos são largos e baixa profundidade (30 cm) para que a luz transpasse todo o volume fluído em sua extensão, as algas são expostas à radiação solar natural e crescem exponencialmente. São usadas rodas de pás ou dispositivos similares para a movimentação de água e para manter as algas circulando. Colheitas, geralmente se processam todos os dias (Matthiensen e Michelon, 2022).

Os nutrientes mais importantes para o crescimento de microalgas são nitrogênio, fósforo e silício.

2.4.2 Principais espécies de microalgas de interesse econômico e suas características

Bacilarioficeas (diatomáceas) – *Chaetoceros calcitrans*, rica em EPA*

Cloroficeas – *Tetraselmis suecica*

Pavlova lutheri, habilidade em sintetizar e acumular PUFA'S**

Dunaliella tertiolecta

Nannochloropsis oculata

Chlorella vulgaris

Haptophyta – *Isochrysis galbana*, rica em W₃.

*EPA – ácido eicosa-pentaenoico (ácidos graxos poliinsaturados)

**PUFA'S – ácidos poliinsaturados de cadeia longa (ômega 3 e 6)

2.5 Cultivos de Macroalgas

2.5.1 Métodos de cultivos



Método de amarração “Tie-Tie” e quadro flutuante, Instituto de Pesca/APTA/SAA em Ubatuba-SP (arquivo pessoal do autor).

Obtenção das mudas:

Formas Vegetativas: As algas são cultivadas em ambientes que proporcionam o seu crescimento e, após um período pré-determinado são realizadas colheitas. AS algas são replantadas com as “mudas ou propágulos (segmentos mais apicais do talo), que são segmentos dos talos que propiciam a continuação do cultivo (crescimento vegetativo).

Os locais de cultivo variam de acordo com a espécie alvo, devendo respeitar alguns requisitos como, salinidade, temperatura, luminosidade, nutrientes e circulação de água.

Alternância de gerações, ou cultivo com ciclo reprodutivo: Como na maioria das algas pardas, a alga produz um esporófito que é coletado e libera esporos que germinam, originando gametófitos microscópicos. Esses gametófitos se tornam férteis, liberam “femininos e masculinos” que se unem para formar “embriões”, que irão se desenvolver lentamente e serão coletados para iniciar um novo ciclo.

Ponto crítico: Transição entre esporófitos e gametófitos, realizados em laboratório com temperatura, luminosidade e nutrientes cuidadosamente controlados, envolve altos custos e conhecimento técnico.

2.5.2 Seleção do local de cultivo

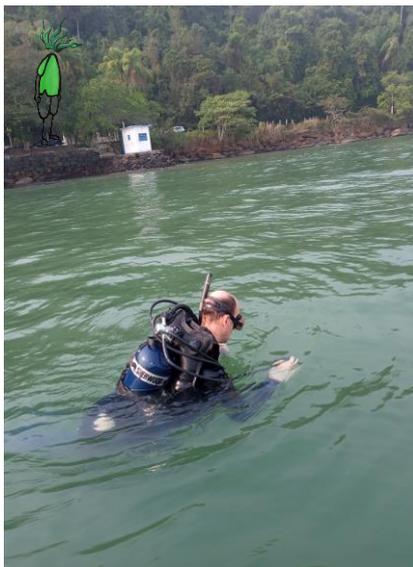


Foto: Inspeção das estruturas de fundeio, Fazenda Marinha Experimental do Instituto de Pesca/APTA/SAA em Ubatuba-SP (arquivo pessoal do autor).

Tecnicamente existem vários parâmetros que devem ser observados, importante salientar a boa convivência com a comunidade local e aos aspectos de regularidade da atividade junto aos órgãos públicos.

Características a serem observadas, segundo o autor:

Correnteza: A movimentação da água trará nutrientes e movimentará as algas fazendo com que elas tomem sol por todo o talo, além de fazer com que se limpem. Quando muito forte, impedirá que as plantas cresçam muito, fazendo com que elas se quebrem, obrigando a fazer colheitas mais frequentes. Também dificulta o trabalho no manejo periódico.

Salinidade: Parâmetro necessário para o crescimento das algas e deve ter a menor possibilidade possível de variação.

Temperatura: Fator determinante no crescimento de muitas algas, baías rasas e abrigadas podem esquentar demais levando à mortalidade. Ideal temperaturas entre 22 e 32°C.

Tipo de fundo: Essencial em vários aspectos de cultivo. Indica, de forma geral, o tipo de água e correnteza que passa pelo local e vai determinar o tipo de estrutura de cultivo e sua forma de fixação ao substrato marinho.

Areia grossa: ideal

Lama: indica que haverá grande depósito de partículas finas sobre as algas. Podendo diminuir o crescimento e favorecer o surgimento de epífitas.

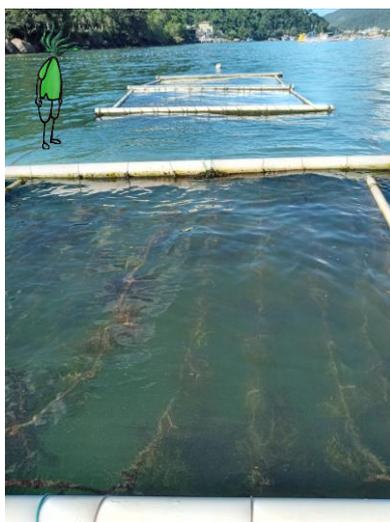
Pedra: problemas para fixação do cultivo, possibilidade de animais herbívoros

Profundidade: Maior profundidade haverá maior dificuldade de se trabalhar no manejo e baixa profundidade há possibilidade de em “baixamar” as algas ficarem fora da água.

Acesso ao local: Deve ser fácil para o produtor chegar ao cultivo para trabalhar e vigiar.

Abrigo de áreas e ressacas: podem quebrar os talos das algas e/ou danificar as estruturas de cultivo, também tornar as condições de trabalho muito arriscadas.

2.5.3 Estruturas de cultivo



Quadro flutuante em sistema de balsa de cultivo, Fazenda Marinha Experimental do Instituto de Pesca/APTA/SAA em Ubatuba-SP (arquivo pessoal do autor).

Segundo o autor, podem ser de várias formas e confeccionado por diversos materiais. Segmentos de cordas podem ser amarradas às cordas suspensas na água por estruturas flutuantes (boias) e fixados às estacas, poitas ou âncoras pressas ao leito marinho.

Amarrados às redes de pesca também fixados ao fundo ou estruturas flutuantes.

Tanques de cultivo sem fixá-las a estruturas.

Pedaços de algas podem ser enterrados diretamente no solo marinho, contidos em tubos plásticos cheios de areia ou, qualquer outra inovação tecnológica que permita atender as necessidades ontogenéticas da espécie alvo.

RAS – Sistema de recirculação fechado, é um método mais empregado para estudos científicos, sistema mais tecnológico e caro, permite controle total das condições ambientais (temperatura, fotoperíodo que é período de luz ao dia, nutrientes químicos, entre outros parâmetros). Normalmente possui uma taxa quase desprezível de renovação de água. A técnica pode ser utilizada em consórcio com outras espécies aquáticas, onde as algas são inseridas ao sistema e aproveitam os resíduos dos outros organismos para nutrir sua necessidade resultando uma melhora da qualidade de água, por exemplo, cultivo integrado entre peixes e macroalgas (sistema multitrófico) (Lapa e Arana, 2016).

Fazendas marinhas (Balsa de cultivo): sistema totalmente aberto e grandes quantidades de macroalgas são cultivadas e as algas em cultivo ficam expostas as alterações ambientais. Basicamente se diferenciam devido as características na plataforma continental do local de cultivo, sendo:

Locais com baixa declividade (ex: Bali, Indonésia, as macroalgas são presas ao fundo mar às estacas (preposicionadas) e colheitas são realizadas por mergulho, caso a profundidade não permita sua retirada manualmente.

Locais mais profundos (ex: Litoral Norte de São Paulo), são necessários estruturas flutuantes e as macroalgas ficam presas a elas por um sistema chamado de “long-line” ou por balsas flutuantes.

No Brasil assim como em grande parte do mundo, se utiliza de estruturas flutuantes, as macroalgas ficam presas a elas. Pode-se utilizar de uma grande diversidade de flutuadores, tubos de PVC lacrados nas pontas, bambus ou qualquer outro tipo de flutuador construído, desde que atenda a finalidade, a alga fique próxima à superfície pois precisa estar na zona fótica para realizar a fotossíntese.

Há diversas formas de amarração, comumente se utiliza de quadros de flutuadores formados laterais com cordas entre as cordas fixados os flutuadores, então, são inseridos fios (linhas de pesca) com amarrações específicas para prender os ramos das algas (comumente conhecido por Tie-Tie).

Outros métodos existem, quando se utiliza de um único cabo que flutua pela existência de boias amarradas a ele e as algas são inseridas no próprio cabo, geralmente esses cabos são extensos.

Importante salientar que cada produtor se adéqua à região onde irá cultivar sua alga, a qualidade de água no local, relevo, tipo de alga (espécie), profundidade, embarcação disponível, mão de obra ou qualquer outro fator deve ser previamente estudado para favorecer um melhor manejo.

Long line – consiste em cabos dispostos na superfície da água, meia água ou mantido ao leito marinho (cabo-mestre), desde que esteja flutuando pela existência flutuadores e fundeado pelas extremidades (Ferreira e Neto, 1997).

2.6 Principais algas cultivadas no mundo

Tabela 2: Principais algas cultivadas no mundo (FAO, 2022).

	2000	2005	2010	2015	2020	Percentage of total, 2020
	(thousand tonnes, live weight)					
Algae						
Japanese kelp, <i>Laminaria japonica</i>	5 380.9	5 699.1	6 525.6	10 313.7	12 469.8	35.5
Euclidean seaweeds, <i>Euclidean</i> spp.	214.3	983.9	3 472.6	10 182.1	8 129.4	23.2
Gracilaria seaweeds, <i>Gracilaria</i> spp.	55.5	933.2	1 657.1	3 767.0	5 180.4	14.8
Wakame, <i>Undaria pinnatifida</i>	311.1	2 439.7	1 505.1	2 215.6	2 810.6	8
Nori, <i>Porphyra</i> spp.	424.9	703.1	1 040.7	1 109.9	2 220.2	6.3
Elkhorn sea moss, <i>Kappaphycus alvarezii</i>	649.5	1 283.5	1 884.2	1 751.8	1 604.1	4.6
Fusiform sargassum, <i>Sargassum fusiforme</i>	12.1	115.6	97.0	209.3	292.9	0.8
Spiny euclidean, <i>Euclidean denticulatum</i>	85.3	174.5	265.5	280.8	154.1	0.4
Subtotal of 8 major species	7 133.7	12 332.7	16 447.9	29 830.2	32 861.5	93.7
Subtotal other species	3 461.9	2 498.6	3 726.5	1 243.4	2 216.0	6.3
Total	10 595.6	14 831.3	20 174.3	31 073.5	35 077.6	100

SOURCE: FAO.

2.7 Algicultura, questões ambientais

Segundo o autor, os cultivos de algas, tanto microalgas como as macroalgas possuem condições de mitigar (minimizar) as alterações antrópicas no meio ambiente aquático, porque as algas consomem os nutrientes dissolvidos na água (ex: carbono inorgânico, potássio e compostos nitrogenados), esses nutrientes ao se elevarem as concentrações podem trazer toxidades à flora e fauna marinha. Em se tratando de macroalgas, outro aspecto ambiental é relevante, os produtos de macroalgas ao serem comparadas com outras matérias primas de origem vegetal e terrestre apresentam vantagens, não necessitam de terras agricultáveis para crescerem, então não competem por espaço físico em culturas agrícolas, não necessitam de fertilizantes em geral e o cultivo de sua biomassa não demanda água doce para produção, além de fornecerem produtos atóxicos e biodegradáveis ao mercado.

A algicultura atualmente é uma atividade incentivada pela Organização das Nações Unidas (ONU) para a Alimentação e a Agricultura – FAO para geração de trabalho e renda nos países em

desenvolvimento. Segundo o autor, esta atividade tem potencial ambiental para a consecução dos seguintes objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) da ONU:

- ✓ ODS 13 – Ação contra a mudança global do clima - as algas promovem serviços ecossistêmicos, atuando como biorremediadoras pela assimilação de compostos nitrogenados e fosfatados, e do carbono inorgânico da água do mar;
- ✓ ODS 14 – Vida na água - a algicultura aumenta a biodiversidade da comunidade periférica aos cultivos;

Segundo Simmance (2021), “a agricultura de algas marinhas em ambientes marinhos pode aumentar a oferta de alimentos nutritivos a um custo ambiental menor em relação aos alimentos de origem terrestre. Algas marinhas podem ser integradas aos sistemas de policultura existentes para fornecer múltiplos serviços ecossistêmicos e fortalecer a resiliência do sistema”.

2.8 Algas e o Meio Ambiente



Aplysia dactylomela se alimentando de *K. alvarezii* (arquivo pessoal do autor).

Segundo o autor, Esse é um tema emergente e é preciso salientar que as macroalgas possuem condições reais em contribuir para melhorar o meio ambiente através de diversos mecanismos, não só por assimilação de CO² (carbono inorgânico), nitratos e fósforos, mas também pela substituição de produtos químicos por produtos de origem das algas, orgânicos, biodegradáveis e atóxicos (ex: fertilizantes químicos altamente contaminantes, eles podem ser parcialmente substituídos por biofertilizantes em base de algas).

À medida que as algas liberam oxigênio (processo fotossintetizante) ocorre o aumento do teor de oxigênio dissolvido da água, conseqüentemente evita condições anoxilicas que resultam em mortes em massa de peixes (Simmance, 2021).

As algas ao morrerem conduzem a incorporação de carbono de sua estrutura orgânica para as profundezas oceânicas, fazendo a interrupção no ciclo do carbono terrestre e indiretamente minimizando a acidificação dos oceanos. Segundo Krause-Jensen e Duarte (2016) a zona costeira foi identificada como importante sumidouro de carbono e as macroalgas e as microalgas são os produtores primários dominantes nesta zona.

2.8.1 Macroalga *Kappaphycus alvarezii*, aspectos legais (Legislação)

A autorização para o cultivo de *K. alvarezii* no litoral sudeste do Brasil, sob aspecto ambiental, está condicionada ao compromisso de monitoramento ambiental permanente e, quando em áreas protegidas, à aprovação dos respectivos planos de manejo (Reis, 2007; Castelar et al., 2009, Castelar, 2014, IBAMA, 2020). Da mesma forma, os cultivos no estado de Santa Catarina foram recentemente autorizados, Sul do Rio de Janeiro e o Litoral Norte do Estado de São Paulo (IBAMA, 2020).

Em recente estudo sobre o monitoramento ambiental avaliando-se o risco ambiental, “concluiu-se que duas décadas de cultivo de *K. alvarezii* não encontraram nenhuma evidência de propagação desta espécie introduzida na Baía de Ubatuba-SP, seja por fragmentos vegetativos dispersos das estruturas de cultivo ou por esporos, indicando que o potencial invasivo desta espécie é baixo” (Araújo et al., 2020).

2.9 Quantificação do mercado de macroalgas

Segundo FAO (2022), o cultivo global de algas, dominado por espécies marinhas, aumentaram em 1,4% em 2020 de 34,6 milhões de toneladas em 2019.

O comércio de algas aumentou de US\$ 65 milhões em 1976 para US\$ 1,1 bilhão em 2020, com China, Indonésia e a República da Coreia os maiores exportadores, e China, Japão e Estados Unidos da América os principais importadores (EEEP, 2011).

Em decorrência da crescente demanda por ingredientes orgânicos e alimentos processados, assim como por espessantes, estabilizantes e gelificantes dos produtos à base de carragenana (Solorzano-Chavez et al., 2019), estima-se uma projeção no mercado mundial de US\$ 931,6 milhões em 2020 para US\$1,2 bilhões em 2025 (Market Data Forecast, 2020).

Bibliografia

- AITKEN, J. B. & SENN, T. L. 1964. Seaweed products as a fertilizer and soil conditioner for horticultural crops. *Botânica Marinha* (published online 2009-11-23) <https://doi.org/10.1515/botm.1965.8.1.144>.
- ARAÚJO P. G., NARDELLI A.E., GELLI V. C., FUJII M. T., CHOW F. 2020. Monitoring environmental risk of the exotic species *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta), after two decades of introduction in southeastern Brazil. *Botanica Marina Aop*. <https://doi.org/10.1515/bot-2020-0052>.
- BIXLER H.J. & PORSE H. 2010. A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *J. Appl Phycol* 23: 321-335.
- BULBOA, C. & PAULA, E. J. 2005. Introduction of non-native species of *Kappaphycus* (Rhodophyta, Gigartinales) in subtropical waters: Comparative analysis of growth rates of *Kappaphycus alvarezii* and *Kappaphycus striatum in vitro* and in the sea in south-eastern Brazil. *Phycological Research*, 53 (3): 183-188.
- BULBOA, C.; PAULA, E. J.; CHOW, F. 2008 Germination and survival of tetraspores of *Kappaphycus alvarezii* var. *Alvarezii* (Solieriaceae, Rhodophyta) introduced in subtropical waters of Brazil. *Phycological Research*, 56 (1): 39-45.
- CASTELAR B. 2014. Algicultura de espécies nativas: alternativas ao uso da espécie exótica *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P.C.Silva (Rhodophyta, Solieriaceae) em áreas de alto risco de invasão no Brasil. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Escola Nacional de Botânica Tropical. (Dissertação de doutorado).
- CASTELAR, B; REIS, R.P.; CALHEIROS, A. C. S. 2014 *Ulva lactuca* and *U. flexuosa* (Chlorophyta, Ulvophyceae) cultivation in Brazilian tropical waters: recruitment, growth, and ulvan yield *J of Appl Phycol*, 26: 1989–1999.
- COLE, K. M. and SHEATH, R. G. 1990. *Biology of the red algae*. Cambridge University Press
- DALBELO, G. 2016. Otimização da hidrólise ácida da macroalga *Kappaphycus alvarezii* para a produção de gás hidrogênio por fermentação. Instituto de química da Universidade de São Paulo. (Dissertação de mestrado).
- DENER, R.B. 2017. Sistemas de cultivo de microalgas – parte 1. *Aquaculture Brasil*. On-line: https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/85938/1593092832Roberto_B._Derner_Ed.08.pdf
- EEEP – Escola Estadual de Educação Profissional 2011. *Aquicultura – Introdução à Pesca e à Aquicultura*, Curso Técnico em Aquicultura, governo do Estado do Ceará – Secretaria da Educação.

- FAGUNDES, L.; HENRIQUES, M. B.; OSTINI, S.; GELLI, V.C. 1997. Custos e benefícios da mitilicultura em espinhel no sistema empresarial e familiar. *INFORMAÇÕES ECONÔMICAS (IMPRESSO)*, São Paulo-SP, 27(2): 33-47.
- FAO 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture – Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO 2022. The state of world fisheries and aquaculture – towards blue transformation
- FERREIRA, J. F & NETO, F. M. O. 1997. Cultivo de Moluscos em Santa Catarina. Panorama da aquicultura ed.97.
- GELLI, V. C. & BARBIERI, E. 2015. Cultivo e aproveitamento da macroalga *Kappaphycus alvarezii* para pequenos maricultores. In: EDITORES, P. & J. (Ed.). Aquicultura no Brasil: Novas Perspectivas. 1(2): 641-658.
- GELLI, V. C.; PATINO, M. T. O.; ROCHA, J. V.; BARBIERI, E.; MIRANDA-FILHO, K. C.; HENRIQUES, M.B. 2020. Production of the *Kappaphycus alvarezii* extract as a leaf biofertilizer: Technical and economic analysis for the north coast of São Paulo-Brasil. *Bol. Inst. Pesca*, 46(2): e568.
- HARGREAVES, P. I. 2013. Produção de etanol a partir de *Kappaphycus alvarezii* – Biocombustível de terceira geração. Universidade Federal do Rio de Janeiro (Dissertação de doutorado).
- HAYASHI, L; PAULA, E. J.; CHOW, F. 2007. Growth rate and carrageenan analyses in four strains of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) farmed in the subtropical waters of São Paulo State, Brazil. *J Appl Phycol*, 19: 393-399.
- HAYASHI, L.; REIS, R.P. 2012. Cultivation of the red algae *Kappaphycus alvarezii* in Brazil and its pharmacological potential. *Revista Brasileira Farmacognosia*, 22(4): 748-752.
- HURTADO, A.Q.; NEISH, I.C.; MAJAHAR, M.K.; NORRIE, J.; PEREIRA, L.; MICHALAK, I.; SHUKLA, O.S.; CRISTCHHEY, A.T. 2021. Extracts of seaweeds used as biostimulants on land and sea cropsdan efficacious, phyconomic, circular blue economy: with special reference to *Ascophyllum* (brown) and *Kappaphycus* (red) seaweeds. Chapter 12: 263 – 287.
- IBAMA, 2020. Instrução Normativa nº 1. Permitir o cultivo de *Kappaphycus alvarezii* no litoral de Santa Catarina, do Rio de Janeiro e São Paulo nas áreas delimitadas nesta norma. *DOU*: 23/01/2020: 16 (1): 76.
- KRAUSE-JENSEN, D. & DUARTE, C.M. 2016. Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. *Nature Geoscience* 9: 737 – 742.

- KUMAR, V. V., KALADHARAN, P. 2007. Amino acids in the seaweed as na alternate source of protein for animal feed. J of the Marine Biological Assoc of India, 49(1): 35 – 40.
- KUMAR, K.S.; GANESAN, K.; SELVARAJ, K.; RAO, P. S. 2014. Studies on the functional properties of protein concentrate of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty–An edible seaweed. Food chemistry, 153: 353-360.
- APA, K. R. & ARANA, L. A. V. 2016. Sistemas de recirculação aquícola, RAS. Laboratório de Camarões Marinhos (LCM), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Aquaculture Brasil, On-line: <https://www.aquaculturebrasil.com/artigo/12/sistemas-de-recirculacao-aquicola-%E2%80%93-ras-%E2%80%93-quando-utilizar>
- LIBES, S. M. (1992) An introduction to Marine Biogeochemistry. Eds. John Wiley & Sons. University of South Carolina – Coastal Carolina College.
- LALLI, C. M. & PARSONS, T. R. 1995. Biological Oceanography: an Introduction. Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford.
- LA ODE, M. A.; IBA, W.; INGRAM, B. A.; GOOLEY, G. J.; de SILVA, S. S. 2015. Mariculture in SE Sulawesi, Indonesia: Culture practices and the socio economic aspects of the major commodities. Ocean & Coastal Management, 116: 44-57.
- MARYTA, bióloga (UNISANTOS), Biologia Marinha: <https://www.efloraweb.com.br/propriedades-fisico-quimicas-da-agua-do-mar/>
- MARKET DATA FORECAST 2020. <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/carrageenan-market>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2021.
- MASARIN, F.; CEDENO, F. R. P.; CHAVEZ, E. G. S.; OLIVEIRA, L. E.; GELLI, V.C.; MONTI, R. 2016. Chemical analysis and biorefinery of red algae *Kappaphycus alvarezii* for efficient production of glucose from residue of carrageenan extraction process. Biot Biofuels, 9: 122.
- MATTHIENSEN, A. e MIHELON, W. 2022. Produção de microalgas em sistema semiaberto: estrutura e funcionamento de tanques semicirculares (raceway tanks). COMUNICADO TÉCNICO 601, EMPRAPA. On-line: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1151835/1/final10047.pdf>
- NOGUEIRA, 2018. Viabilidade econômica do cultivo empresarial e familiar da macroalga *Kappaphycus alvarezii* na costa sudeste do Brasil. Instituto de Pesca – APTA-SP – Secretaria de Agricultura e Abastecimento (Dissertação de mestrado).
- OLIVEIRA, E.C. 1990. The rationale for seaweed cultivation in Latin America. Pp.135-141. In: E.C. Oliveira & N. Kautsky (eds.). São Paulo, Universidade de São Paulo.

- PAULA E. J.; ERBERT, C.; PEREIRA, R. T. L. 2001. Growth rate of the carrageenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) *in vitro* Phycological Research, 49: 155-161.
- PAULA, E.J.; PEREIRA, R.T.L. & OHNO, M. 2002. Growth rate of the carrageenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) introduced in subtropical waters of São Paulo State, Brazil. Phycological Research 50: 1-9.
- PEREIRA, R. C. and SOARES-GOMES, A. 2002. Biologia Marinha. Editora Interciência Ltda. Capítulo 4, p 69 – 79.
- PORSE, H.; RUDOLPH, B. 2017. The seaweed hydrocolloid industry: 2016 updates, requirements, and outlook. Journal of Applied Phycology, 29(5): 2187-2200.
- PRAMANICK, B.; BRAHMACHARI, K.; GHOSHI, A.; ZODAPE, S. 2014. Effect of seaweed SAPs on growth and yield improvement of transplanted rice in old alluvial soil of West Bengal Bangladesh. Journal of Botany, 43(1): 53-58.
- RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. (2007) Biologia Vegetal. 7ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 906
- RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. (2014) Raven | Biology of Plants 8 ed. Guanabara Koogen (Tradução Vieira AC et al.) Capítulo 16
- REIS, R. P.; MIRANDA, G. E. C.; BEZERRA, C. A. B.; TEIXEIRA, D. I. A 2004. Cultivo de *Kappaphycus alvarezii* no litoral do Rio de Janeiro. Panorama da Aquicultura, 14(84): 53-56.
- REIS, R. P.; BASTOS, M.; GÓES, H. G. 2007. Cultivo de algas no Rio de Janeiro permite a produção de carragena 100% nacional. Panorama da Aquicultura. <https://panoramadaaquicultura.com.br/kappaphycus-alvarezii/>. Acesso em: 11 fevereiro de 2020.
- REIS, R. P.; CASTELAR, B.; SANTOS, A.A. 2016. Why is algaculture still incipient in Brazil? Journal of Applied Phycology, 29 (2): 673-682.
- RODRIGUES, J. A. G.; ARAÚJO, I. W. F.; PAULA, G. A.; LIMA, T. B.; BESSA, E. F. BENEVIDES, N. M. B. 2011. Carragenana da epífita *Hypnea musciformis* obtida do cultivo experimental de *Solieria filiformis* em Flecheiras, Estado do Ceará, Brasil. Acta Scientiarum. Technology, 33 (2): 137-144.
- SANTOS, A. A. 2014. Potencial de cultivo da macroalga *Kappaphycus alvarezii* no litoral de Santa Catarina. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Aquicultura. (Dissertação de doutorado)
- SÃO PAULO (Estado), 2017. Decreto Nº 62.913, de 08 de novembro de 2017. Dispõe sobre o Zoneamento Ecológico-Econômico do Setor do Litoral Norte, e dá providências correlatas.

- SIMMANCE, S. (2021) Algas marinhas na agenda global de sistemas alimentares. <https://piscishoweavisuleite.com.br/> acesso em: 23/08/2023.
- SOLORZANO-CHAVEZ, E. G.; EZEQUIEL de O. L.; GELLI, V. C.; MONTI, R.; CONCEIÇÃO de O. S.; MASARIN, F. 2019. Evaluation of the *Kappaphycus alvarezii* growth under different environmental conditions and efficiency of the enzymatic hydrolysis of the residue generated in the carrageenan processing. *Biomass and Bioenergy*, 127: p. 105254.
- SZÉCHT, M.T.M.; MORAES, F.C.; CASSANO, V.; PEREIRA, M. (2015) ICMBio Guia de macroalgas marinhas https://www.icmbio.gov.br/esectamoios/images/stories/Guia_de_Macroalgas_Marinhas_2015.pdf, acesso: 23/08/2023.
- ZODAPE, S.T.; KAWARKHE, V.J.; PATOLIA, J.S.; WARADE, A.D. 2008. Effect of liquid seaweed fertilizer on yield and quality of okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *Journal of Scientific and Industrial Research*, 67: 1115-1117.

LEITURA RECOMENDADA

3.1 Microalgas

3.1.1 Algas para combater a crise climática

CNN Brasil: <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia>, por Thomas Pageda, 18/08/2023

3.2 Macroalgas

3.2.1 Material de algas marinhas armazena quatro vezes mais calor para reutilização

Fonte: Inovação Tecnológica, <https://www.inovacaotecnologica.com.br/>, por Redação do Site Inovação Tecnológica, 14/08/2023.

Ref: Reynold J, Williams R, Elvins J, Jewell E, Searle J, Ke X (2023). Development and characterisation of an alginate and expanded graphite based composite for thermochemical heat storage. *Journal of Materials Science* 58(13): 5610, DOI: 10.1007/s10853-023-08370-1

3.2.2 Biomaterial feito de colágeno e açúcar de algas se mostra capaz de estimular a regeneração óssea.

Revista FAPESP: <https://agencia.fapesp.br/>, por Julia Moióli | Agência FAPESP.

Ref: Noqueira LFB, Crus MAE, Melo MT, Maniglia BC, Caroleo F, Paolesse R, Lopes HB, Belote MM, Ciancaglini P, Ramos AP, Bottini M (2023). Collagen/ κ -Carrageenan-Based Scaffolds as Biomimetic Constructs for In Vitro Bone Mineralization Studies. *Biomacromolecules* 24 (3):1258–1266

3.3.3 Tecnologias verdes já permitem o aproveitamento total de macroalgas pela indústria cosmética

<https://agencia.fapesp.br/>, por Ricardo Muniz | Agência FAPESP 27/07/23.

Ref: Hempel MSS, Colepicolo P, Zambotti-Villela L (2023) Macroalgae Biorefinery for the Cosmetic Industry: Basic Concept, Green Technology, and Safety Guidelines. *Phycology* 3(1):211-241, <https://doi.org/10.3390/phyecology3010014>

3.3.4 Brasil tem potencial para se tornar um ícone internacional importante na aquicultura marinha

<https://www.ecycle.com.br/> por Jornal da USP, por Fanly Fungyi Chow Ho, 20/11/2021.

3.3.5 Algas marinhas na agenda global de sistemas alimentares

<https://piscishoweavisuleite.com.br/> por Fiona Simmance, 25/10/2021.