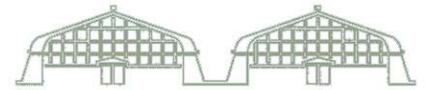




Instituto de Botânica



Jardim Botânico de São Paulo

# Diversidade de Algas Marinhas

Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente

Programa de Capacitação de Monitores e Educadores

Doutoranda: Ingrid Balesteros Silva  
Orientadora: Dr<sup>a</sup> Mutue Toyota Fujii  
Núcleo de Pesquisa em Ficologia

Supervisão de Estágio: Maria de Fátima Scaff

São Paulo, março de 2010

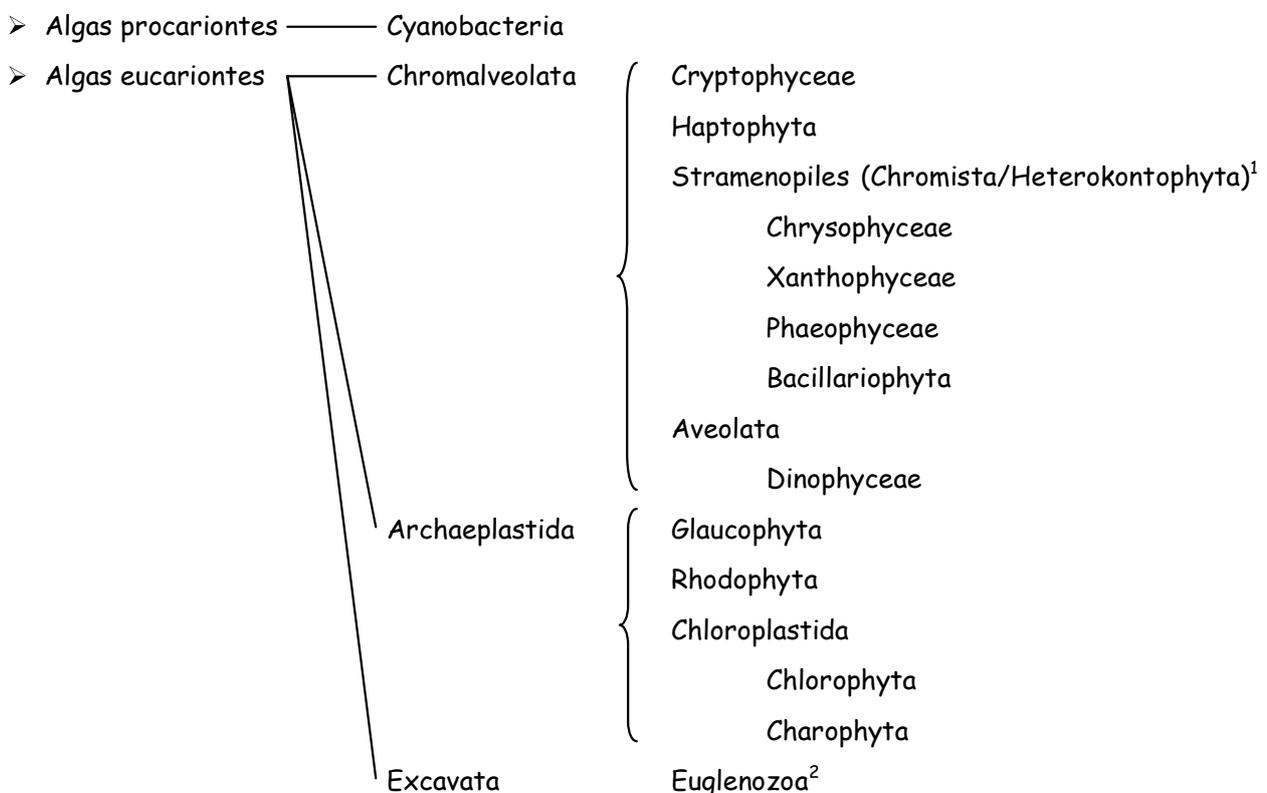
# Diversidade de Algas Marinhas

## Introdução

Ficologia é o estudo das algas. A palavra ficologia deriva de *Phycos*, do grego, que significa "alga". O termo alga, do ponto de vista da classificação natural, é artificial, pois reúne diversos tipos de organismos, nem sempre relacionados filogeneticamente. As algas são consideradas organismos **talófitos** (ou seja, não são diferenciados em raízes, caules e folhas), fotossintetizantes (exceto algumas espécies parasitas) que possuem em comum o pigmento **clorofila a** e, com raras exceções, não apresentam um envoltório de células estéreis nas células reprodutivas (Lee, 2008). As cianobactérias ou cianofíceas (chamadas de algas azuis) também são objeto de estudo dos ficólogos.

A classificação destes organismos é um tanto confusa. Tradicionalmente, a diferenciação dos organismos foi baseada na coloração dos talos verdes, vermelhos ou marrons, como resultado da combinação dos pigmentos fotossintetizantes contidos em seus plastos (clorofilas e pigmentos acessórios, como carotenóides, ficobilinas e xantofilas que mascaram a cor verde das clorofilas), e nas características morfológicas e anatômicas.

Atualmente, a sistemática vegetal foi revolucionada pela aplicação de **ferramentas moleculares**, embora grande parte da classificação tenha sido mantida e corroborada por esta técnica. Entretanto, foi evidenciada a existência de agrupamentos filogeneticamente não relacionados e que tiveram que ser realocados em grupos taxonômicos distintos (filos, ordens, famílias, etc.), ou em novos grupos criados para acomodar organismos de origens filogenéticas diferentes. Segundo Adl *et al.* (2005), as algas são classificadas em grupos de organismos **procariotos** (cianobactérias) e **eucariotos**, que estão divididos em três grandes grupos: **Chromalveolata**, **Archaeplastida** e **Excavata**:



<sup>1</sup> Os termos Stramenopiles, Chromista e Heterokontophyta são utilizados por diferentes autores para incluir diferentes grupos de organismos (Adl *et al.*, 2005).

<sup>2</sup> Euglenozoa não realizam fotossíntese pois no curso evolutivo perderam os pigmentos, porém o grupo possui origem filogenética a partir de seres fotossintetizantes.

As algas podem ser encontradas em diversos tipos de habitats (figura 1), ocorrendo em ambientes de água doce e salgada, sobre troncos de árvores, rochas, desertos, superfície de neves e geleiras, e fontes termais (Raven *et al.*, 2007). As algas marinhas podem variar desde indivíduos unicelulares microscópicos (podendo formar colônias ou viverem isolados) até formas multicelulares complexas com muitos metros de comprimento. As algas multicelulares podem apresentar uma diversidade enorme de formas. Nos ambientes marinhos, alguns dinoflagelados (zooxantelas) podem formar associações simbióticas com diversos tipos de organismos. As algas de vida livre podem formar, principalmente, dois tipos de comunidades:

- **fitoplâncton:** comunidade formada por microalgas que vivem livres na coluna d'água.
- **fitobentos:** comunidade formada por macro- ou microalgas que crescem fixas sobre qualquer superfície passível de ser colonizada, como por exemplo rochas, esqueletos de corais mortos, animais, plantas marinhas (macroalgas ou fanerógamas), embarcações naufragadas etc.



Figura 1. Exemplos de ambientes onde podemos encontrar algas. (a) Praias arenosas e costões rochosos (detalhe). (b) *Tentropolia* crescendo sobre o tronco de uma árvore (seta) e sobre a rocha (detalhe). (c) Manguezais. Note as algas crescendo sobre as raízes de mangues (detalhe). (d) Fonte termal. (e) *Padina* sp. crescendo em solo marinho da Antártica (seta). (f) Bancos de arenito na praia. (g) Lagoa de água salobra (foto: S. Magalhães). (h) Lagoas no Pantanal. (i) Ambientes recifais (foto: S. Magalhães).

As algas multicelulares (na maioria macroalgas) crescem, em sua maioria, fixas aos substratos e podem apresentar muitos tipos morfológicos de talos: filamentosos, podendo ser filamentos uni ou multisseriados (uma ou mais fileiras de células formando o filamento), foliáceos (parenquimatosos), pseudoparenquimatosos (cilíndricos ou achatados), crostosos (formam crostas sobre o substrato) e cenocíticos (sem delimitação dos núcleos por parede celular) (figura 2). No presente trabalho serão abordados sucintamente os três grupos de macroalgas marinhas, Rhodophyta (algas vermelhas), Phaeophyceae (algas pardas) e Chlorophyta (algas verdes), o fitoplâncton, bem como a importância ecológica e econômica destes grupos.

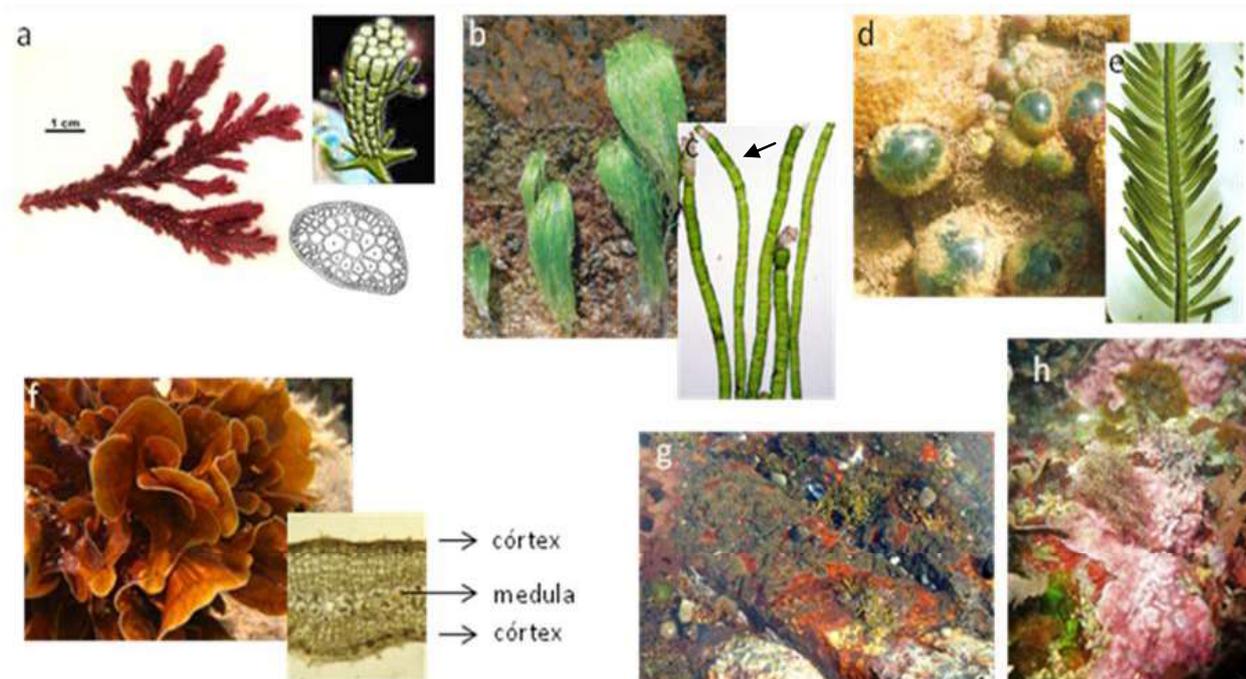


Figura 2. Tipos de talos encontrados em macroalgas. (a) Talo pseudoparenquimatoso de *Bryothamnion seafortii*, formado pela união dos filamentos de células, cistos em corte transversal no detalhe inferior. O detalhe superior demonstra de maneira ilustrada como vários filamentos de células unidos formam um talo pseudoparenquimatoso. (b) Talo filamentososo de *Chaetomorpha antennina* (Chlorophyta) crescendo sobre rochas e (c) filamentos de *C. antennina* isolados. Note as paredes celulares (seta). (d) Talo cenocítico de *Valonia ventricosa* (Chlorophyta). (e) Talo filamentososo cenocítico de *Bryopsis plumosa* (Chlorophyta). (f) Talo parenquimatoso, composto de córtex e medula, de *Lobophora variegata* (Phaeophyceae). (g) Algas pardas e vermelhas crostosas. (h) Algas calcárias crostosas (Rhodophyta).

## Rhodophyta - Algas vermelhas

Existem cerca de 4.000 a 6.000 espécies de rodófitas conhecidas atualmente (Raven *et al.*, 2007). A maioria das algas vermelhas habita ambientes marinhos bentônicos, sendo predominantes nos mares tropicais, mas existem algumas espécies de água doce. Nos ambientes marinhos, as rodófitas ocupam desde a zona superior da região entremarés até grandes profundidades, havendo registros de algas coralináceas crostosas em até 268 metros de profundidade, onde chega apenas 0,0005% da quantidade de luz disponível na superfície (Littler *et al.*, 1985). Isso se deve ao fato de as rodofíceas possuírem pigmentos fotossintetizantes capazes de absorver a luz com menores comprimentos de onda.

Os principais pigmentos fotossintetizantes presentes nas algas vermelhas são clorofila **a** (clorofila **d** também é referida), e os pigmentos acessórios compostos de **carotenos** (como o betacaroteno) e **ficobilinas** (ficoeritrina, ficocianina e aloficocianina), que são responsáveis pela coloração avermelhada destas algas. Apesar de serem consideradas algas vermelhas, muitas rodofíceas podem ter outras colorações, dependendo do tipo e da quantidade de pigmento acessório. As condições abióticas do meio onde vivem também podem ocasionar alterações nos padrões de cores, como por exemplo, a falta de certos nutrientes na coluna d'água pode fazer com que certas rodofíceas fiquem com a coloração amarelada. É comum, também, algumas rodofíceas serem verdes ou marrons, em todo o talo ou apenas em certas porções.

O material de reserva das rodófitas é um composto que possui propriedades intermediárias entre o amido (que é o produto de reserva das plantas) e o glicogênio (reserva alimentar dos fungos, bactérias e de muitos organismos não-vegetais) chamado de **amido das florídeas** e fica armazenado no citoplasma.

A parede celular é constituída de celulose e uma camada externa de mucilagem, que pode ser galactanas (como ágar e carragenana). Algumas espécies depositam carbonato de cálcio em suas paredes celulares (por exemplo, espécies de *Jania* e *Lithothamnion*), o que lhes conferem um aspecto rígido.

A maioria das rodófitas é multicelular, podendo atingir mais de 2 metros de comprimento. Dentre as rodofíceas, as formas filamentosas são as predominantes, mas podem apresentar talo foliáceo, cilíndrico ou crostoso (figura 3).



Figura 3. Diversidade de algas vermelhas, Rhodophyta. (a) *Gigartina skottsbergii*, comum em águas temperadas frias e polares. (b) *Porphyridium* sp., uma rodofícea unicelular. (c) *Hydropuntia cornea*, rodofícea de coloração verde-amarelada crescendo entre gramíneas marinhas. (d) *Neosiphonia sphaerocarpa*, uma espécie filamentosas. Note os tetrasporângios (seta). (e) *Ochtodes secundiramea*, possui iridescência azulada (foto: E.O.V. Martins). (f) *Peyssonelia* sp., rodofícea crostosa.

## Phaeophyceae – Algas pardas ou marrons

Cerca de 1.500 espécies são conhecidas atualmente neste grupo (Raven *et al.*, 2007). As algas pardas são quase exclusivamente marinhas (exceto por três gêneros raros de água doce) e predominam nos mares das regiões temperadas frias e polares. Nos mares tropicais, as algas pardas apresentam um número reduzido de espécies, mas podem acumular grande quantidade de biomassa. Em certas regiões, essas algas podem formar imensas massas flutuantes, como no Mar de Sargaços, ao nordeste das ilhas caribenhas, servindo como hábitat para toda uma comunidade biológica.

Neste grupo não existem representantes unicelulares. Seus tamanhos podem variar de poucos milímetros, podendo chegar a mais de 60 metros de comprimento (Raven *et al.*, 2007). Algas pardas gigantes podem formar densas florestas marinhas, conhecidas como *kelps*.

Os representantes deste grupo podem apresentar diferentes tipos de talo (figura 4): filamentosos simples, pseudoparenquimatosos, parenquimatosos, podendo ser diferenciado em apressório (fixa a alga ao substrato), estipe e lâmina, como é o caso dos *kelps* e de *Sargassum*, um gênero muito comum em

mares tropicais. Certos gêneros formam vesículas gasosas para flutuação e poucas espécies depositam carbonato de cálcio nas paredes celulares, como algumas espécies de *Padina* (figura 4g).

As paredes celulares das feofíceas são constituídas de **celulose** e uma matriz mucilaginosa de **ácido algínico (algina ou alginato)**, que fornece flexibilidade e resistência, ajudando a reduzir a dessecação durante a exposição nos períodos de maré baixa. Os principais pigmentos encontrados nas algas pardas são as clorofilas **a e c**, e vários tipos de **carotenóides**, incluindo a **fucoxantina** que proporciona a cor marrom escura ou verde oliva aos representantes deste grupo. O material de reserva das feófitas é a **laminarina** (um polímero de glicose) e o **manitol** (um álcool), que ficam depositados nos vacúolos.

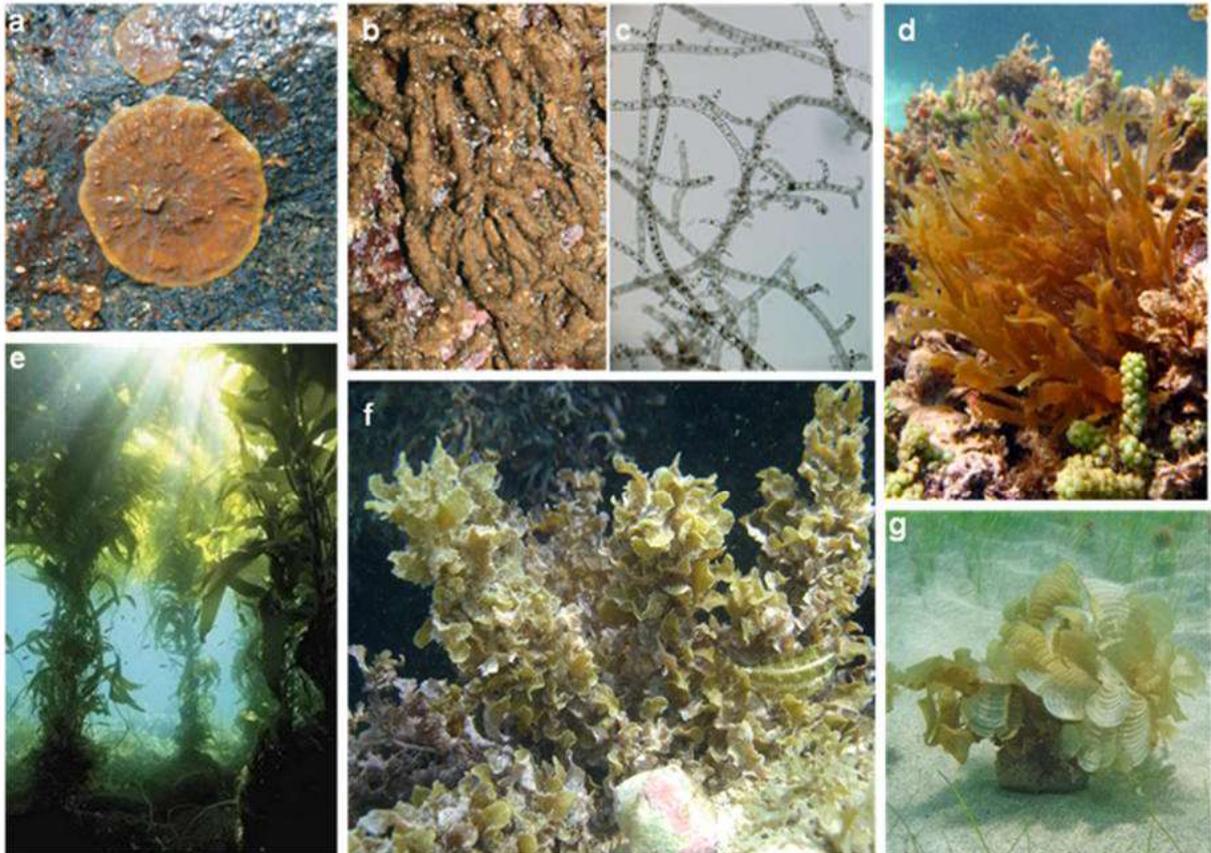


Figura 4. Diversidade de algas pardas. (a) *Ralfsia*, um gênero crostoso crescendo na zona das marés sobre a rocha. (b) *Asteronema breviarticulata* formando tufos no costão rochoso e (c) filamentos isolados vistos ao microscópio. (d) *Dictyota ciliolata*, muito comum no Brasil (foto: Sandra Magalhães). (e) Florestas de *kelps* na Califórnia. (f) *Sargassum hyshystrix* (foto: E. O.V. Martins). (g) *Padina*, uma espécie que deposita carbonato de cálcio nas paredes celulares, o que lhes confere a coloração esbranquiçada (foto: E. O.V. Martins).

## Chlorophyta – Algas verdes

São conhecidas cerca de 17.000 espécies de clorófitas, sendo muitas delas unicelulares. As algas verdes estão presentes em ambientes marinhos, mas a maioria encontra-se em águas continentais (água doce), podendo também habitar troncos de árvores, solos, superfícies de neve e viver em simbiose com fungos (líquens), protozoários, hidras, esponjas e outros animais.

Os talos das algas verdes multicelulares podem ser filamentosos, foliáceos (parenquimatosos), cenocíticos ou crostosos. A figura 5 mostra alguns tipos morfológicos encontrados em Chlorophyta.

As paredes celulares da maioria das algas verdes são formadas por **celulose** e **polissacarídeos não-celulósicos**. Em certos casos pode ocorrer o depósito de carbonato de cálcio nas paredes celulares, como em espécies de *Halimeda*, *Udotea* e *Acetabularia*.

Clorofila **a** e **b**, **carotenos** e **xantofilas** são os pigmentos encontrados nas algas desta divisão. A reserva é o **amido**, que fica armazenado dentro dos cloroplastos, diferindo das outras algas eucariontes.

As clorófitas assemelham-se às plantas terrestres em várias características importantes como presença de clorofila **a** e **b**, amido como material de reserva armazenado dentro dos cloroplastos, reprodução oogâmica e muitos aspectos bioquímicos e ultraestruturais. Estas semelhanças, entre outras, levam a crer que este grupo de algas deu origem aos vegetais terrestres.

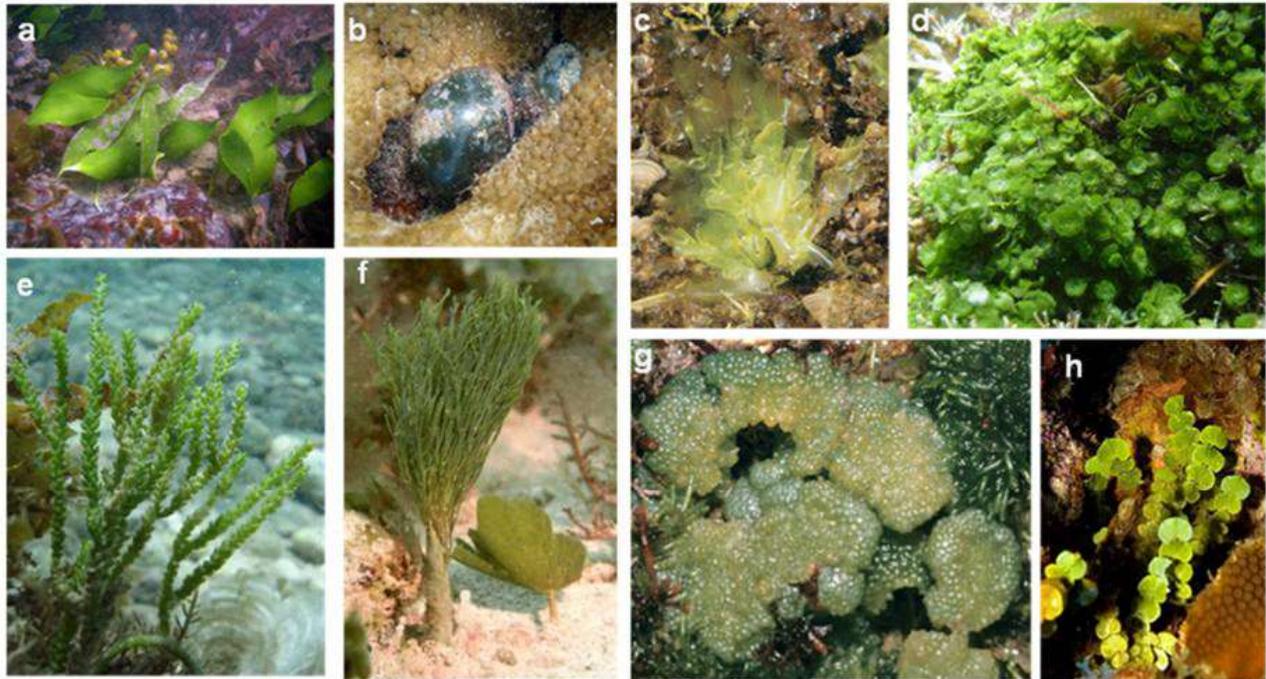


Figura 5. Diversidade de algas verdes. (a) *Caulerpa prolifera*. (b) *Valonia ventricosa*, com o talo composto por uma única célula gigante, crescendo entre *Palythoa caribaeorum*, uma espécie de coral mole muito comum no Brasil. (c) *Ulva*, popularmente conhecida como alface-do-mar, é uma alga comestível. (d) *Caulerpa verticillata*. (e) *Caulerpa cupressoides*. (f) *Rhipilia* e *Udotea* (direita), espécies que crescem em substratos lodosos ou arenosos. (g) *Dictyosphaeria*, um gênero como em mares tropicais. (h) *Halimeda*, uma alga com impregnação de carbonato de cálcio.

## Fitoplâncton

Nos ambientes aquáticos, algas unicelulares vivem livres na coluna d'água, constituindo as comunidades fitoplanctônicas. Estas ocorrem como indivíduos solitários ou podem formar colônias.

Os componentes do fitoplâncton têm mobilidade bastante reduzida e, assim como todos os vegetais, necessitam de luz e nutrientes para realizar a fotossíntese e se desenvolver. O fitoplâncton é constituído por diversos grupos de algas, como os dinoflagelados, as diatomáceas, as clorofíceas e as euglenofíceas, entre outros (figura 6).

As comunidades fitoplanctônicas são as principais produtoras de oxigênio no ambiente marinho por ocupar grandes extensões na coluna d'água e superfície dos oceanos. Assim como outros organismos fotossintetizantes, as algas planctônicas são produtoras primárias, constituindo a base das cadeias tróficas.

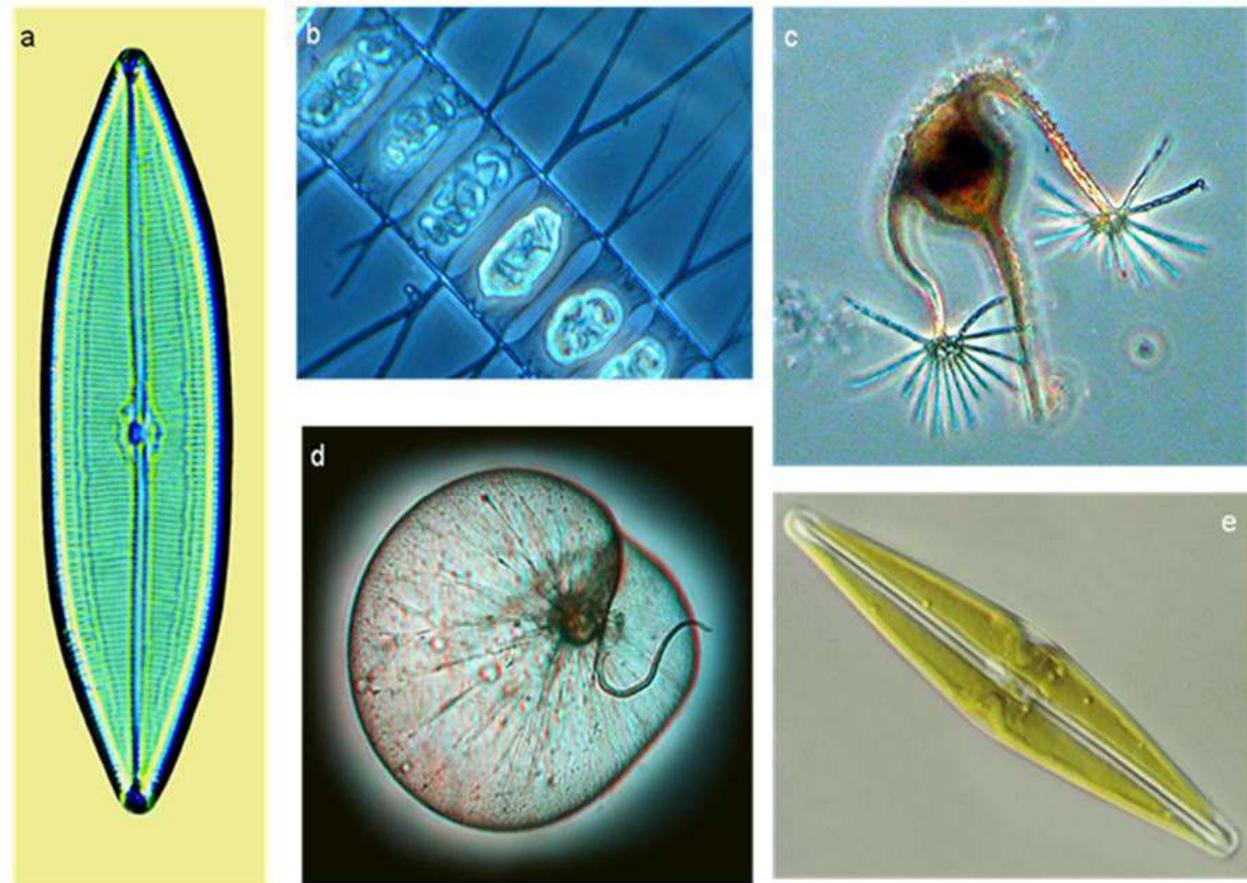


Figura 6. Alguns exemplos de representantes do fitoplâncton marinho. (a) *Caloneis* (Bacillariophyta). (b) *Chaetoceros* (Bacillariophyta). (c) *Ceratium* (Dinophyceae). (d) *Noctiluca* (Dinophyceae). (e) *Navicula* (Bacillariophyceae).

## Importância ecológica das Algas

As algas formam a base da grande maioria das cadeias tróficas aquáticas, fornecendo oxigênio para os outros seres aquáticos e contribuindo com a maior parte do oxigênio disponível na atmosfera. Ao contrário, em ambientes extremamente inóspitos como as grandes profundezas oceânicas, onde não chega a luz, as cadeias tróficas podem ter como base as bactérias sulfurosas. Ainda assim, nesses ambientes podem chegar restos de animais ou algas mortas, que sustentam a cadeia de detritos.

As algas marinhas são importantes constituintes do bentos e servem de berçário e refúgio para diversas espécies de peixes, crustáceos, moluscos, mamíferos e vários outros grupos de animais.

As cianofíceas convertem o nitrogênio da atmosfera a nitrato (forma inorgânica na qual o nitrogênio está disponível para reações biológicas). Este processo, chamado de fixação de nitrogênio, é de fundamental importância para muitas plantas terrestres, inclusive muitas espécies cultivadas, podendo reduzir ou até evitar o uso de fertilizantes na agricultura. Juntamente com outras microalgas, as cianofíceas aquáticas formam o **fitoplâncton**. Estas algas microscópicas podem reproduzir-se rapidamente em situações de eutrofização, causando um fenômeno conhecido por **florações** (discutido a seguir). O incremento de nutrientes em regiões costeiras também pode causar o aumento na população de espécies de ciclo de vida curto e oportunistas, o que acaba desequilibrando a comunidade do local (figura 7). A sobrepesca ou mortalidade



Figura 7. Proliferação de *Ulva* sp. na Praia dos Sonhos, Itanhaem. Foto: M.T. Fujii.

de herbívoros por diversas razões (doenças, catástrofes naturais etc.) são outras possíveis causas do aumento das populações de macroalgas em diversos locais (Hughes, 1994).

Algumas espécies de dinoflagelados, as chamadas **zooxantelas**, formam associações simbióticas com diversos tipos de organismos, como corais, esponjas, gastrópodes, polvos, lulas, anêmonas, tunicados, águas-vivas e certos protistas. Nos corais, as zooxantelas estão presentes, principalmente, nos tecidos que revestem o aparelho digestivo. São responsáveis pela produtividade fotossintética que possibilita o crescimento dos recifes de coral, que são verdadeiros oásis de diversidade biológica em águas tropicais pobres em nutrientes. Sem a presença das zooxantelas, os corais morrem de forma que para a existência dos recifes de corais, que é um dos ecossistemas mais diversificados do mundo, a presença destas algas é primordial.

Outro grupo de alga que desempenha um papel muito importante nos recifes de corais são as algas calcárias (rodófitas que depositam carbonato de cálcio em suas paredes celulares). As coralináceas, principalmente os gêneros crostosos, fornecem resistência aos recifes porque preenchem os espaços vazios e consolidam remanescentes de organismos mortos, contribuindo para a sedimentação destes ambientes. Servem também como substrato para várias macroalgas. Outro papel relevante dessas algas é a participação nos ciclos biogeoquímicos, principalmente do carbonato de cálcio que compõe o esqueleto e a carapaça de vários organismos marinhos.

### Florações de algas nocivas ou “marés vermelhas”

O aumento excessivo na taxa de crescimento das microalgas nos oceanos é tradicionalmente chamado de “Maré Vermelha” por deixar a água com coloração avermelhada (figura 8). No entanto, os organismos que participam das florações podem ter pigmentos vermelhos, marrons ou verdes, e deixam a água com a mesma cor de seus pigmentos; por isso o termo maré vermelha tem sido substituído por florações de algas. Essas florações não ocorrem apenas em ambientes marinhos, mas também em água doce. Um conjunto de fatores pode provocar a ocorrência de florações: eutrofização (enriquecimento por nutrientes) dos ecossistemas aquáticos, temperaturas superficiais elevadas, baixa salinidade, entre outros. Essas florações podem causar diversos danos, não só à comunidade aquática, mas também ao homem. Algumas espécies de microalgas produzem toxinas e, em grandes quantidades, essas toxinas são acumuladas nos tecidos de organismos filtradores como os moluscos, crustáceos e outros. Tais toxinas podem não ser prejudiciais a estes organismos, mas ao longo da cadeia trófica pode prejudicar consumidores em níveis superiores, como peixes e humanos. Existem toxinas diarréicas, amnésicas, paralisantes (que podem comprometer o funcionamento de diversos músculos, inclusive do coração) e neurológicas, podendo levar à morte. Isso pode representar um risco para a economia, pois compromete a pesca e prejudica os cultivos de moluscos, peixes e outros. No Brasil, este fenômeno ocorre com certa frequência no litoral do Estado de Santa Catarina, e comprometeu, por várias vezes, as atividades de criação de ostras.



Figura 8. Floração de *Mesodinium rubrum* na Praia das Cabeçadas, Santa Catarina. Fonte: [www.cttmar.univali.br/algas](http://www.cttmar.univali.br/algas).

### IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

As algas são utilizadas nos mais diferentes setores da economia mundial (figura 9). Elas são utilizadas e muito apreciadas como alimento direto por diversos povos, principalmente os asiáticos. Exemplos destas algas são: algas pardas do gênero *Laminaria* (kombu), vermelhas do gênero *Porphyra* (Nori, usado para preparar sushi) e verdes como *Ulva* (alface do mar utilizada como salada), que são ricas em sais minerais e vitaminas. A microalga verde *Chlorella* constitui-se em uma rica fonte de proteínas, podendo ser consumida sob a forma de cápsulas.

Representantes de alguns grupos de algas são utilizados como complemento de ração animal, além de serem usados como fertilizantes (potenciais fontes de potássio e de cálcio, no caso das algas calcárias) e na correção do pH de solos para agricultura. As cianobactérias são importantes na agricultura como fixadoras de nitrogênio.

Das algas pardas são extraídos os alginatos, que são substâncias utilizadas como agentes geleificantes, emulsificantes e estabilizantes nas indústrias alimentícias (como fabricação de sorvetes), têxteis, de cosméticos, farmacêuticas e na fabricação de cerveja. A partir das algas vermelhas são extraídos os ficocolóides, principalmente ágar e carragenano, que são utilizados em meios de culturas de bactérias e nas indústrias alimentícias, farmacêuticas, de cosméticos e de tintas. Substâncias naturais extraídas de algumas espécies de algas vermelhas têm potencial atividade antiincrustante e pode ser um componente natural na fabricação de tintas para embarcações, uma vez que as tintas utilizadas para este fim são altamente tóxicas.

Recentemente, substâncias extraídas de macroalgas estão apresentando bons resultados em ensaios anticancerígenos, antitrombóticos, antitumorais, antifúngicos e antivirais, sugerindo fonte potencial de novos fármacos.



Figura 9. Exemplos de utilização econômica das algas. (a) Pílulas auxiliares em tratamentos para emagrecer. (b) Cosméticos. (c) Nori, utilizado para enrolar o sushi, é feito de espécies de *Porphyra*, uma rodófito. (d) Cultivo de alta tecnologia de microalgas verdes em biorreatores para produção de biodiesel. (e) *Caulerpa racemosa* fresca utilizada na preparação de saladas. (f) Coleta de *Macrocystis pyrifera* no sul do Chile. (g) Cultivo em cordas de *Durvillaea* (Phaeophyceae) na Nova Zelândia. (h) Fazenda de cultivo de *Eucheuma* (Rhodophyta).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adl, S.M.; Simpson, A.G.B.; Farmer, M.A.; Andersen, R.A.; Anderson, O.R.; Barta, J.; Bowser, S.S.; Brugerolle, G.; Fensome, R.A.; Fredericq, S.; James, T.Y.; Karpov, S.; Kugrens, P.; Krug, J.; Lane, C.E.; Lewis, L.A.; Lodge, J.; Lynn, D.; Mann, D.G.; McCourt, R.M.; Mendoza, L.; Moestrup, Ø.; Mozley-Standridge, S.E.; Nerad, T.A.; Shearer, C.A.; Smirnov, A.V.; Spiegel, F.W. & Taylor, M.J.R. 2005. The new higher level classification of Eukaryotes with emphasis on Taxonomy of Protists. *J. Eukaryot. Microbiol.*, 52(5): 399-451.
- Hughes, T.P. 1994. Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean Coral Reef. *Science* 265: 1547-1551
- Lee, R.E. 2008. *Phycology*. Cambridge University Press. 547pp.
- Littler, M.; Littler, D.; Blair, S.M. & Norris, J.N. 1985. Deepest known plant life discovered on an uncharted seamount. *Science* 227: 57-59.
- Raven, P. H.; Evert, R. F. & Eichhorn, S. E. 2007. *Biologia Vegetal*. 7ª. ed. Ed. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro. 830pp.