



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA

ASPECTOS GERAIS DA TAXONOMIA E BIOECOLOGIA DA  
*Arthrospira platensis* (Cyanophyta-Oscillatoriales)

DANIEL GOMMA DE AZEVEDO

---

Trabalho apresentado ao Departamento de  
Engenharia de Pesca do Centro de Ciências  
Agrárias da Universidade Federal do Ceará,  
como parte das exigências para a obtenção  
do Título de Engenheiro de Pesca

---

FORTALEZA - CEARÁ  
MARÇO DE 1999

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A986a Azevedo, Daniel Gomma de.  
Aspectos gerais da taxonomia e bioecologia da *Arthrospira platensis* (Cyanophyta-Oscillatoriales) /  
Daniel Gomma de Azevedo. – 1999.  
35 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências  
Agrárias, Curso de Engenharia de Pesca, Fortaleza, 1999.  
Orientação: Profa. Dra. Vera Lúcia Mota Klein.  
Coorientação: Prof. Dr. Alexandre Holanda Sampaio.

1. Algas marinhas. I. Título.

CDD 639.2

---

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vera Lúcia Mota Klein

---

Prof Dr. Alexandre Holanda Sampaio

**ORIENTADORES**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vera Lúcia Mota Klein

---

Prof. Aldeney Andrade S. Filho

---

Prof Dr. Alexandre Holanda Sampaio

**VISTO:**

---

Prof. Dr. Pedro de Alcântara Filho

Chefe do Departamento de Engenharia de Pesca

---

Prof. Luis Pessoa Aragão

Coordenador do Curso de Engenharia de Pesca

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por me fortalecer quando me encontro mais fraco, por me inspirar, capacitar e me dar abundância de vida.

A Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vera Lúcia Mota Klein, pela perene disposição em contribuir e auxiliar, e pela incondicional compreensão e paciência.

Ao amigo e professor Aldeney Andrade S. Filho pela amizade e apoio nos momentos em que precisei.

A todos os colegas que contribuíram para mais um avanço no aprendizado que é a vida.



## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. HISTÓRICO DO CULTIVO DE MICROALGAS .....	3
2. MATERIAL UTILIZADO .....	6
3. CLASSIFICAÇÃO, BIOLOGIA E CONSIDERAÇÕES SOBRE A SPIRULINA ( <i>Arthrospira platensis</i> ) .....	7
3.1. CLASSIFICAÇÃO .....	7
3.2. BIOLOGIA DA SPIRULINA.....	9
3.2.1. REPRODUÇÃO.....	10
3.2.2. FLUTUABILIDADE.....	11
3.2.3. MOBILIDADE.....	12
3.2.4. NUTRIÇÃO.....	13
3.3. HABITAT E ECOLOGIA .....	15
4. CONDIÇÕES PARA O CULTIVO.....	17
5. UTILIZAÇÃO DA SPIRULINA COMO SUPLEMENTO ALIMENTAR.....	19
5.1. PROPRIEDADES TERAPÊUTICAS DA SPIRULINA.....	19
6. PERSPECTIVAS PARA O CULTIVO DA SPURULINA NO MUNDO E NO NORDESTE DO BRASIL.....	21
7. RESUMO .....	24
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

## 9. LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PRODUTIVIDADE PROTEICA EM DIFERENTES CULTURAS .....	20
FIGURA 2 - CICLO REPRODUTIVO DA SPIRULINA .....	29
FIGURA 3 - DIFERENTES FORMAS DA SPIRULINA .....	29
FIGURA 4 - DESENHO SPIRULINA (GOMONT) .....	29
FIGURA 5 - FOTO <i>Arthrospira platensis</i> .....	29
FIGURA 6 - SECÇÃO MICROGRÁFICA LONGITUDINAL .....	30
FIGURA 7 - FLAMINGOS ( <i>p. minor</i> ) SE ALIMENTANDO .....	31
FIGURA 8 - MULHER DA TRIBO KANEMBU COLHENDO SPIRULINA .....	31
FIGURA 9 - VISTA AÉREA DA FAZENDA EARTHRISE .....	32
FIGURA 10 - FAZENDA SOSA TEXCOCO .....	32
FIGURA 11 - DETALHE DA PÁ GIRATÓRIA DO TANQUE DE CULTIVO DA FAZENDA CYANOTECH.....	32

## 10. LISTA DE TABELAS

TABELA 1.- ANÁLISE LIMNOLÓGICA COMPARATIVA ENTRE DIFERENTES AMBIENTES NATURAIS DA SPIRULINA E O MEIO DE CULTIVO ZARROUK (mg/L) .....	14
TABELA 2.- QUANTIDADE DE ÁGUA NECESSÁRIA PARA A PRODUÇÃO DE UM QUILO DE PROTEÍNAS EM DIFERENTES CULTURAS (EM LITROS) .....	22
TABELA 3.- COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA SPIRULINA.....	27

## 1. INTRODUÇÃO

As algas podem ser facilmente discernidas pelo ponto de vista da tecnologia envolvida no seu cultivo, na colheita e processamento. As algas marinhas macroscópicas, são aquelas que têm um tamanho tal que podem ser vistas a olho nu. Em geral, as algas marinhas se fixam a substratos rochosos no fundo dos mares e podem alcançar vários metros de comprimento, e.g., a espécie *Laminaria*.

Em contrapartida, organismos planctônicos diminutos medindo apenas alguns microns em diâmetro como a *Synechococcus* ou *Chlorella* ou a filamentosa *Spirulina* são típicas microalgas. Segundo Richmond (1986), elas são a base primária da cadeia alimentar aquática e são responsáveis por cerca e 40% da fotossíntese total no mundo.

Na natureza, as microalgas planctônicas só podem ser vistas a olho nu se formarem colônias, populações de células muito densas. A ocorrência de colônias é muito imprevisível, não podendo fomentar uma produção industrial, que pode somente ser alcançada através de sistemas artificiais.

Uma das razões pelas quais o interesse pelas microalgas tem sido cada vez maior é a empolgante esperança de cultivar algas unicelulares com recursos locais como fonte alternativa de alimentação para populações famintas ou desnutridas.

Há poucos anos atrás, um relatório do Comitê Consultivo das Nações Unidas em Ação Internacional para Impedir uma Iminente Crise de Proteína (*United Nations Advisory Committee on International Action to Avert an Impending Protein Crisis* [apud, CRC Handbook of Microalgal Mass Culture, Richmond, 1986]) foi publicado. A mensagem daquele relatório era muito clara - a população mundial estava crescendo em ritmo maior que a produção agrícola convencional e a crise de proteína já afetando centenas de milhões de pessoas estava cada vez

mais próxima. O Comitê da ONU recomendou que produtos convencionais fossem suplementadas com alimentos contendo alto teor protéico de origens não convencionais, tais como microrganismos. Neste contexto as microalgas se tornaram fortes candidatas por várias razões:

1. Praticamente todo o corpo destas algas tem valor nutricional, uma vez que uma diminuta porção da célula é indigerível (ausência de folhas galhos e raízes).
2. Maior produção protéica que as plantas por unidade de superfície e tempo - contém uma considerável quantidade de proteína, até 70%.
3. As microalgas tem potencial altíssimo de produção, uma vez que as condições de cultivo podem ser rapidamente controladas e a densidade populacional ajustada de maneira a obter a maior eficiência na conversão solar por unidade de área.
4. Independência da qualidade da terra - não há concorrência pelo uso de áreas já utilizadas pela agricultura.
5. Colheita de biomassa que cresce diariamente.
6. Talvez o aspecto mais atraente no cultivo em massa de microalgas como fonte de alimento, é que tanto a água salobra como a marinha podem ser utilizadas na sua produção. Esta pode ser a chave para estabelecer alta produtividade em regiões onde falta água doce e que de outra maneira permaneceriam improdutivas ou pouco produtivas.
7. Todo o processo pode ser automatizado

Em contrapartida encontraram-se as seguintes desvantagens:

1. Investimentos comparativamente altos
2. Alto custo de CO<sub>2</sub> requerido
3. Necessidade de substâncias químicas como fonte de nutrientes minerais.



4. Perigo de acumulação de poluentes advindos da água, de agentes químicos e/ou emissões atmosféricas.

Hoje em dia o cultivo de microalgas ainda está longe de prover uma fonte acessível de alimentos. A produção em massa de microalgas em tanques a céu aberto é uma tarefa desafiadora. Muito mais tem para ser aprendido e desenvolvido sobre a biologia envolvida nesta biotecnologia e muitos detalhes tecnológicos devem ser melhorados. Os procedimentos de produção devem ser simplificados e a produção média anual deve se multiplicar imensamente para que se possa considerar esta prática como uma iniciativa agrônômica-pesqueira expressiva.

A maior parte da população mundial subsiste hoje através do plantio e processamento de vegetais. Um importante fator em países em desenvolvimento é a escassez de sistemas de agricultura e a manutenção da sustentabilidade dos recursos envolvidos para a produção de biomassa.

Biomassa no contexto energético, se refere à ampla gama de produtos derivados da fotossíntese. Todo produto derivado da fotossíntese é uma fonte energética potencial, pois se trata de um sistema de conversão da energia solar. O problema relacionado à radiação solar é que esta é difusa e intermitente. Se a intenção é utilizá-la, deve-se capturar uma fonte de energia difusa e armazená-la; as plantas e algas lograram isto há muito tempo.

### **1.1. Histórico do Cultivo das Microalgas**

A idéia de produzir microalgas em uma escala técnica se deu inicialmente com cientistas alemães que pretendiam desenvolver um meio de atenuar ou mesmo impedir a carência da provisão de alimentos durante a segunda guerra mundial. A idéia inicial era produzir lipídeos a partir de diatomáceas, que apresentaram considerável síntese deste macronutriente quando suprimidas de

alimento. Descobriu-se então que a produtividade através desta técnica era muito baixa. Pouco tempo depois os cientistas começaram a investigar o potencial da *Chlorella*, pois se sabia que esta tem capacidade de dobrar sua biomassa algumas vezes por dia em ambientes super iluminados em laboratórios. Esse assunto passou a ser estudado a partir de 1947 em vários países. Percebeu-se que a utilização de iluminação artificial seria inviável economicamente para a sua produção em larga escala. Portanto as algas devem depender da luz natural. As microalgas em tanques ao ar livre crescem às custas de energia luminosa, nutrientes minerais, dióxido de carbono e energia mecânica. Tendo o suprimento adequado de nutrientes, a produtividade depende primariamente na irradiação e temperatura. A conversão destes fatores básicos em processos industriais confiáveis têm levado a um crescimento tecnológico que ainda não foi concluído. Investigadores tiveram que aprender como prevenir a invasão de predadores nos cultivos. Formas economicamente viáveis tiveram que ser desenvolvidas para resolver os problemas encontrados na construção das estruturas, agitação do líquido do cultivo, suprimento de carbono e colheita. Tudo isso foi bem mais complicado do que se esperava.

As microalgas podem ser utilizadas como ração para animais e para o preparo de vários gêneros alimentícios, e este é um fato já amplamente reconhecido devido ao seu excelente valor nutricional, confirmado por inúmeros estudos e análises. Além disso, elas contêm várias substâncias químicas que podem ser extraídas para a utilização na indústria alimentícia, farmacêutica, cosmética e química. Somado a isso, as vantagens oferecidas pelo cultivo em massa de microalgas sobre cultivos convencionais foram expostas: ciclo de vida curto, produção contínua durante todo o ano, facilidade na manipulação da engenharia genética do organismo e a possibilidade de produzir microalgas em água salobra, poupando reservatórios de água doce, que têm se tornado a cada dia mais escassos (Richmond, CRC Handbook of Microalgal Mass Culture, 1986).

Uma das espécies de microalgas que mais tem se destacado para a exploração comercial é a *Arthrospira platensis*, vulgarmente conhecida por spirulina. A spirulina tem sido explorada há mais de duas décadas e estudada há quase um século. Devido à sua facilidade de manejo, resistência às condições extremas, tanto de pH, como de temperatura e salinidade e alta produtividade, a espécie citada tem estado no topo da lista das microalgas exploradas comercialmente.

A spirulina não é uma novidade ou descoberta recente. Há mais de 500 anos, Astecas colhiam Spirulina do Lago Texcocco e faziam uma espécie de biscoito chamado *tecuítlatl* (Moorhead e Morgan, 1993). Até hoje, indivíduos da tribo dos Kanembu colhem Spirulina do lago Chad e a secam para fazer uma espécie de biscoito chamado *dihé* (Fox, 1992). A spirulina é hoje mundialmente conhecida por suas características regeneradoras e por seu potencial no combate à fome que assola hoje o mundo.

## 2. MATERIAL UTILIZADO

O material utilizado para a realização deste trabalho constou do acervo bibliográfico das seguintes fontes:

Biblioteca de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Ceará;

Biblioteca do Laboratório de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará (LABOMAR);

Biblioteca particular da Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vera Lúcia Mota Klein;

Biblioteca particular do autor.



### 3. CLASSIFICAÇÃO, BIOLOGIA E CONSIDERAÇÕES SOBRE A SPIRULINA (*Arthrospira platensis*)

#### 3.1 Classificação

A classificação da *Arthrospira platensis*, segundo Smith (1969) é a seguinte:

Reino - Monera

Subreino - Prokariota

Divisão - Cyanophyta

Classe - Myxophyceae

Ordem - Oscillatoriales

Família - Oscillatoreaceae

Gênero - *Arthrospira*

Espécie - *Arthrospira platensis*

Fott e Karim (1973) fizeram o estudo mais detalhado das espécies de *Spirulina*. Segundo eles, a sinonímia se dá da seguinte forma:

*Spirulina geitleri* De Toni 1939

Sinônimos:

*Spirulina maxima* (Setchel et Gardner, 1917) Geitler 1932

*Spirulina platensis* (Nordsted) Teitler 1925

*Arthrospira maxima* Setchel et Gardner 1917

*Oscillatoria platensis* (Nordsted) Bourelly 1970

Vonshak (1997) afirma que a utilização do Gênero *Spirulina* é por motivo prático e tecnológico, e não por razões taxonômicas. Por este motivo, o autor crê que seja importante ressaltar que o gênero *Arthrospira* é diferente e filogeneticamente distante da *Spirulina*, apesar de compartilhar com esta a forma helicoidal.

Percebe-se que a classificação taxonômica de spirulina é complicada e controversa. A visão da *Arthrospira* e *Spirulina* como dois gêneros separados foi compartilhada por vários autores recentemente (Desikachary, 1959; Ripka et al., 1981; Agnagnostidis e Komarek, 1988 [apud, *Spirulina, Production & Potential*, 1986] ; Bicudo e Bicudo, 1970) e foi oficialmente aceita pelo Manual Sistemático de Bacteriologia de Bergey (Castenholtz, 1989). A separação entre estes dois gêneros tem sido confirmada repetidamente com base em várias características tais como helicidade e tamanho do tricoma (Desikashary, 1959; Hindak, 1985), estrutura da parede celular e modelo de poros (Guglielmi e Cohen-Bazire, 1982a,1982b), vesículas gasosas (Guglielmi et al., 1989) e modelo de tilacóides (Anagnostidis e Komarek, 1988).

A questão de taxonomia e nomenclatura da espécie mais comum de *Arthrospira*, a *A. platensis* e a *A. maxima* foi recentemente argumentada por Komarek e Lund (1990) no trabalho 'What is *S. platensis* in fact?' ('O que é *S. platensis* de fato?'). Ainda há grande controvérsia no que tange a nomenclatura da espécie, e ao mesmo tempo, o trabalho citado nos mostra quanto debate está ocorrendo sobre a classificação da *Arthrospira* spp. tradicional. Sem dúvida, uma determinação correta das espécies é um requisito fundamental para qualquer tipo de pesquisa.

### 3.2. Biologia da spirulina

A spirulina é uma cianobactéria multicelular e filamentosa. Ao microscópio apresenta filamentos azuis-esverdeados compostos de células cilíndricas dispostas em tricomas helicoidais não ramificados. Os filamentos são móveis e deslizantes ao longo de seu eixo (Figura 4). Não apresentam heterocistos.

O formato helicoidal do tricoma é característico do gênero (Figura 5), mas seus parâmetros (tamanho, dimensões e angulação) variam de acordo com as espécies e até mesmo dentro da mesma espécie (Figura 3).

Segundo Ciferri (1983), o diâmetro das células varia de 1 a 3  $\mu\text{m}$  nas espécies menores e de 3 a 12 nas maiores. As espécies maiores de spirulina tais como a *S. platensis* e a *S. maxima* têm um citoplasma granular contendo vacúolos gasosos e setas facilmente visíveis.

A microscopia eletrônica revelou a existência de quatro camadas na parede celular segundo Van Eykelenburg, 1977 (apud, Spirulina, the Edible Algae, Ciferri, 1983).

As setas se assemelham a um fino disco dobrado parcialmente. Esta dobra cobre a superfície das setas e sua extensão parece ter relação com a angulação do tricoma; quanto maior a angulação, menor a área da dobra e vice-versa (Ciferri op. cit).

Segundo Vonshak (1997) os tricomas são envoltos em uma pequena bainha e há leve constrição nas paredes que separam as células. As células apicais podem ser arredondadas ou pontiagudas apresentando extremidades levemente capitadas. Fatores ambientais, principalmente temperatura (Van Eykelenburg, 1977), condições físicas e químicas podem afetar a geometria helicoidal (Jeeji Bai, 1980 [apud, Spirulina, Production and Potential, Fox, 1986]) podendo tornar-se espiralada ou retilínea.

Talvez a estrutura citoplasmática mais proeminente seja o sistema de tilacóides (Figura 6), originários do plasmalema. Às vezes, os tilacóides se apresentam agrupados em espirais concêntricas, mais evidentes em células adultas.

A spirulina pode crescer rapidamente em lagos rasos, salobres e de temperatura morna. É uma das algas mais abundantes e facilmente encontradas em lagos salinos da África e América de acordo com Rich, 1931 (apud, Spirulina, the Edible Algae, Ciferri, 1983).

A maioria dos membros da família Oscillatoriaceae tem filamentos cilíndricos, não ramificados de tamanho indefinido sem diferenciação celular exceto por pequenas variações na forma do final das células. Porque a cor do tricoma e as características da bainha variam de acordo com as condições ambientais, os fatores a serem relevados durante a classificação se limitam à considerações sobre o tamanho da célula e sua forma, entretanto, somente o gênero *Spirulina* é caracterizado por um enrolamento helicoidal regular. Na verdade, esta é a única característica que distingue o gênero segundo Lewin, 1980 (apud, Spirulina, Production and Potential, Fox, 1986).

### **3.2.1. Reprodução**

O ciclo de vida da spirulina em cultivos de laboratório é bem simples. Um tricoma maduro se parte em vários pedaços através da formação de várias células especializadas, chamadas necrídios, que sofrem lise, resultando em discos de separação bi-côncavos. A fragmentação do tricoma produz cadeias curtas, deslizantes (com duas a quatro células), os hormogônios, que produzem um novo tricoma. As células no hormogônio perdem as porções ligadas às células necridiais, tornando-se arredondadas nas pontas distais, com pouco ou nenhum



engrossamento das paredes (Figura 2). Durante este processo o citoplasma se apresenta menos granulado e as células apresentam uma cor verde-azulada pálida. O número de células nos hormogônios aumentam através de fissão celular, enquanto que o citoplasma se torna granulado e suas as células apresentam uma cor verde-azulada brilhante. Através deste processo, os tricomas aumentam de tamanho e apresentam a forma helicoidal típica. Uma ruptura espontânea dos tricomas garantem o crescimento e dispersão do organismo (Ciferri, 1983).

### 3.2.2. Flutuabilidade

As vesículas de gás são de interesse especial, pois podem elevar os filamentos na coluna d'água a fim de alcançar a luz solar para realizar a fotossíntese (Figura 5). Estas vesículas são tubos cilíndricos e ocos com capas cônicas nas extremidades segundo Walsby, 1973 (apud, *Spirulina (Arthrospira) Physiology, Cell-biology and Biotechnology*, Vonshak, 1997). Estas, geralmente medem em torno de 70nm de comprimento e 10nm de diâmetro (Smith & Peat, 1967 [apud, *Spirulina (Arthrospira), Physiology, Cell-biology and Biotechnology*, Vonshak, 1997]). Elas aparecem geralmente nas paredes das células empilhadas organizadamente em grupos, variando de alguns poucos até mais de cem. Quando há um aumento de pressão dos líquidos celulares circundantes ocorre um colapso das vesículas podendo ou não, seqüenciar a reconstrução imediata das mesmas.

A fotossíntese aumenta a pressão de turgor resultando na ruptura das vesículas gasosas e conseqüentemente submergindo os filamentos. Outro fator que contribui para a submersão dos filamentos é a alta incidência dos raios solares. Provavelmente isso ocorre em função da grande atividade fotossintética,

o que resulta no inchaço das células devido à alta síntese de carboidratos que comprimem os cilindros de gás, quebrando-os (Fox, 1996).

### 3.2.3. Mobilidade

Os filamentos da *Arthrospira* são móveis, deslocam-se como um movimento deslizante de um saca-rolha, numa velocidade máxima de 5µm/segundo (Castenholtz, 1982 [apud, Spirulina, Production and Potential, Fox, 1986]). Até recentemente, ninguém sabia dizer ao certo como o organismo se locomovia.

Guglielmi (1993 [apud, Spirulina, Production and Potential, Fox, 1986]) utilizou um microscópio eletrônico e descobriu micróporos de 12 nm de diâmetro dispostos em fileira e cercado cada célula nas extremidades. Fímbrias de 2 a 10nm se originam destes micróporos e apontam para uma mesma direção, e ao desenvolverem um movimento ondulatório impulsionando o filamento. Ainda não se sabe o mecanismo de transmissão de informação para que todas as células de um filamento mudem de direção de movimento (para reversão) aproximadamente ao mesmo tempo.

A razão da mobilidade da spirulina não, é outra senão a de proteção contra queimaduras solares e a de buscar nutrientes (Fox, 1996). Apesar de apresentar movimentos limitados em função de seu tamanho, os filamentos podem se dispersar por milhares de quilômetros por terem o flamingo (*Phoeniconaias minor*) como predador, atuando como agente de dispersão (Penelope Jenkin, 1957 [apud, Spirulina, Production and Potential, Fox, 1986]). Estes foram observados em lagos no Quênia se alimentando dos filamentos através de movimentos dos bicos na superfície dos lagos (Figura 7). A estrutura bucal destes flamingos permite uma eficiente retenção dos filamentos por peneiramento. Estas aves apresentam uma anatomia de bico e língua que mostra uma notável adaptação

para se alimentar de cianobactérias microscópicas. A spirulina é transportada pelos flamingos ao se aderirem às suas patas e bicos até que estas aves pousem em lagos onde as condições sejam propícias para seu desenvolvimento (Fox, op.cit.)

#### **3.2.4. Nutrição**

A spirulina requer água alcalina, uma fonte de nitrogênio, ferro, fósforo, potássio e enxofre. Todos os outros elementos requeridos são encontrados em sais oceânicos. Como a maioria das cianobactérias, a spirulina é fotoautotrófica obrigatória, i.e., não pode crescer no escuro em meios contendo fontes orgânicas de carbono. Contudo, quando exposta à luz, pode utilizar carboidratos, pois na adição de 0,1% de glicose no meio de crescimento observa-se um aumento na taxa de crescimento e produção celular (Ogawa & Terui, 1972 [apud, Spirulina, Production and Potential, Fox, 1986]).

A alcalinidade é obrigatória para que haja crescimento. De acordo com Zarrouk (1966[apud, Spirulina, Production and Potential, Fox, 1986]), o pH ótimo está entre 8.3 e 11. Segundo experiências feitas pelo autor, o pH de 10.4 não chegou a ser um empecilho para o crescimento da microalga, mas foi quando este atingiu 10.8. A spirulina pode facilmente suportar grandes alterações do pH, desde que sejam graduais, pois se forem abruptas, danificam o cultivo rapidamente; o que acontece se o meio não estiver bem tamponado. O  $\text{NaHCO}_3$  a 0.2 M é um excelente tampão e é incluído na grande maioria dos meios de cultivo. Os nitratos são mais assimiláveis pela spirulina, mas os sais de amônio também podem ser utilizados em baixas concentrações - até 100 mg N/l. O mesmo autor também afirma que ambos sódio e potássio são indispensáveis no meios de cultivo da spirulina.

Os meios de cultivo da spirulina são formulados tendo-se como base a análise da água onde foram coletadas. Estes meios se diferenciam de acordo com a finalidade. Geralmente os meios de cultivo em laboratório, i.e., em pequena escala, são mais elaborados, e portanto mais caros. Os meios utilizados em cultivos de larga escala tendem a ser mais baratos devido ao volume utilizado. A seguir, na Tabela 1, uma análise comparativa dos elementos encontrados em ambientes naturais da spirulina e o meio de cultivo Zarrouk, um dos mais utilizados.

Tabela 1- Análise limnológica comparativa entre diferentes ambientes naturais da spirulina e o meio de cultura Zarrouk (mg/L)

Componente	lago Toliara	lago Camargue	meio Zarrouk
Ca	6,5	167	21,16
Mg	80	552	19,72
Na	16.790	n.d.	5.437,25
K	n.d.	420	673,05
NH <sub>4</sub>	0,22	0,5	0
Fe	0,44	0,17	2,01
Cl	21.136	n.d.	624,76
HCO <sub>3</sub>	8.244	3068,4	11,616
CO <sub>3</sub>	2.669	55,2	11,616
NO <sub>3</sub>	<0,1	<0,1	1.822,5
NO <sub>2</sub>	0,39	n.d.	0
PO <sub>4</sub>	9,56	1,48	272,5
SO <sub>4</sub>	1.478	943	632,45
Densidade Total	48 g/l	19,5 g/l	21,33 g/l
pH	10,0	9,1	8,5

Fonte: Fox, 1986 (apud, Spirulina, Production and Potential, Fox, 1986)



### 3.3. Habitat e Ecologia

A spirulina é um organismo ubíquo e as espécies são encontradas em ambientes mais variados; terra, mangue, água salobra e marinha, fontes termais, e água doce. Fica claro que este organismo consegue colonizar ambientes que dificilmente outros habitariam. Em lagos alcalinos contendo concentração salina de 30,0 g/l ou maior, a população de cianobactérias era praticamente mono-específica; sendo compreendida unicamente de spirulina. De acordo com Ciferri (1983), a *A. platensis* foi encontrada em águas contendo de 85 a 270 g/L de sal. Sendo-se que seu crescimento ótimo se dá entre 20 e 70g/L, fica claro que a espécie possui enorme facilidade de adaptação e resistência à ambientes inóspitos no que tange salinidade. As espécies mais encontradas são a *Spirulina platensis* e a *S. maxima*, que abundantemente povoam alguns lagos alcalinos da África e México com pH de até 10.4 segundo Richmond, (op.cit). Ciferri (op. cit), relata a presença de spirulina em lagos africanos com pH de até 11 (apud, Spirulina, the Edible Algae, 1983)

A spirulina requer um ambiente alcalino, por isso se encontra em lagos entre as latitudes 35°N e 35°S. É um organismo extremamente resistente às variações de salinidade, pois suporta o ambiente super salino quando os lagos africanos sofrem grande evaporação no período de seca, quando passam por uma criptobiose. A salinidade pode chegar a níveis de até 270‰. Uma seca ocorrida no ano de 1984 secou o lago Lonar, na Índia. Dois anos depois a população de Spirulina estava sadia novamente (Fox, 1986). A salinidade dos lagos onde a Spirulina mais se desenvolveu variou entre 16.4 e 55.5‰. A Spirulina se desenvolve melhor onde o Na é o ânion mais abundante, K<sup>+</sup> e Ca e Mg ausentes ou em quantidades pequenas e onde o bicarbonato e carbonatos são os cátions dominantes; SO<sub>4</sub> em quantidades relativamente altas e pouco Cl<sup>-</sup>,

i.e., onde o cloreto de sódio não é um sal abundante (Iltis, 1971, [apud, Spirulina, Production and Potential, Fox, 1986]).

A spirulina é uma alga termofílica. Segundo Zarrouk (1966[apud, Spirulina, Production and Potential, Fox, 1986]) a faixa de temperatura ótima é entre 35 e 40°C. A temperatura extrema inferior que ainda permite um crescimento é de aproximadamente 18°C, mas consegue suportar temperaturas bastante baixas durante a noite (Richmond, op.cit).

#### 4. CONDIÇÕES PARA O CULTIVO

Quando se faz o cultivo de qualquer organismo em sistemas artificiais, i.e., desenvolvidos pelo homem, trata-se de simular as condições naturais deste organismo, para que o mesmo venha apresentar níveis satisfatórios de produção. O mesmo se aplica à spirulina.

Segundo Fox (op. cit.), há crescimento em níveis ótimos quando:

- a temperatura está entre 34 e 40°C
- o cultivo se encontra densamente povoado
- há luz solar abundante
- o pH se encontra em torno de 9.5
- os elementos essenciais para o crescimento estão presentes em quantidades suficientes (a falta de um deles pode inibir o crescimento)
- a água do cultivo é misturada de tal maneira que resulte em uma alternância rápida entre incidência luminosa e sua interrupção, o que incrementa a produção fotossintética (Fox, op.cit.) A alta intensidade de luz sem agitação do meio causa fotólise devido ao efeito fotoelétrico.
- há uma distribuição equilibrada de nutrientes, ou seja, quando os nutrientes estão homogeneamente diluídos na solução.

Em condições naturais, as algas crescem em oceanos, lagos, correntes d'água e em ambientes úmidos. Quando se fala em *algocultura*, há alguns sistemas utilizáveis para comportar o cultivo. Estes podem ser em laboratórios ou ao ar livre. Os feitos em laboratório mostraram-se inviáveis economicamente, quando se pretendeu alcançar uma larga escala. Chegou-se a conclusão que devia-se utilizar o sol como fonte energética principal. Vários já foram experimentados e cada um apresentou suas vantagens e desvantagens.

Quando o cultivo é feito a céu aberto, deve-se levar em consideração que o excesso de incidência de raios solares resulta em fotólise da spirulina. Desta forma, deve-se manter o cultivo em constante movimento durante o período de exposição solar. Diante deste fato, desenvolveu-se o que se denomina de bioreator - uma estrutura construída e revestida internamente de plástico ou cimento, de forma ovalada que permite a circulação do meio de cultivo que se movimenta como uma correnteza ao redor de uma ilha central ao mesmo. O tamanho de dimensões não são padronizados, mas a idéia é a mesma.



## 5. UTILIZAÇÃO DA SPIRULINA COMO SUPLEMENTO ALIMENTAR

A estória da spirulina como base alimentar humana é intrigante. Segundo Furst, 1978 (apud, Spirulina, the Edible Algae, 1983), Toribio Benavute chegou ao vale do México em 1524, três anos após a queda dos Astecas. Ele descreveu a colheita do *tecuitatl* como: "... um tipo de lama que em determinada época do ano, quando se engrossa, os índios a coletam com uma rede de malha fina até que suas canoas se encham. Já na beira do lago, cavam um buraco semelhante à uma cama onde deixam a massa verde secar por dois dias. Feitos os bolos, estes são cortados como tijolos largos e vendidos por mercadores. O *tecuitatl* é apreciado pelo povo assim com o queijo nos apetece. Seu sabor é convidativo e levemente salgado."

Mas a spirulina não foi utilizada somente pelos Astecas. Os integrantes da tribo Kanembu, até os dias de hoje, a colhem de lagos (Figura 8). Através de um processo muito semelhante ao descrito por Toribio Benavute, os integrantes desta tribo fazem um biscoito chamado *dihé*. (Ciferri, 1983 e Fox, 1986, [apud, Spirulina, Production and Potential, Fox, 1986]).

Hoje em dia várias são as companhias que produzem a spirulina tanto para consumo humano como para o consumo animal. A produção comercial da microalga se dá atualmente no México (Figura 10), Taiwan, China, Tailândia, EUA (Figuras 9 e 11), Japão e Israel. O mercado tem crescido em ritmo galopante e a perspectiva é que mais empresas venham a comercializar a spirulina nos próximos anos.

### 5.1. Propriedades terapêuticas da spirulina

A spirulina, além de fornecer altíssimos níveis de nutrientes, apresenta algumas aplicações clínicas, segundo alguns estudos. Vários testes foram

realizados ao redor do mundo e revelaram efeitos terapêuticos da microalga em pacientes com as mais variadas doenças.

Jasby (1987) compilou alguns destes estudos onde se observou melhora no tratamento de feridas (Clement, et al, 1967); aumento de atividade dos glóbulos brancos no tratamento de câncer utilizando-se a ficocianina (Ijima et al, 1982); reativação enzimática em humanos (Matsueda et al, 1976), (apud, Spirulina, Production and Potential, Fox, 1986).

Fox (op.ct) compilou alguns estudos entre eles; inibição da replicação do vírus HIV-1 nas células T (Ayehunie et al, 1996), diminuição significativa do nível de colesterol de pacientes (Devi e Venkataraman, 1983; Nakaya et al, 1988), incremento no peso de crianças desnutridas (Galvan, 1973), diminuição de manchas de Bitot entre crianças (Seshadri, 1993), sensível diminuição de propagação de tumores, melhora no sistema imunológico, proteção radioativa, incremento na flora intestinal, melhoras em diabetes, hipertensão e assimilação de ferro diminuição de 83% de radioatividade na urina de crianças infectadas em Chernobil.(Belay et al, 1993) (apud, CRC Manual of Microalgae Mass Culture, Richmond, 1980)

Hills (1980) efetuou diversos testes com a spirulina e observou melhora na cicatrização, e em outros estudos, a spirulina promoveu o metabolismo de pele e prevenção de queratinização; estímulo no crescimento de animais recebendo doses de spirulina; promoveu melhora no tratamento contra o câncer em ratos; proteção contra o câncer com o conteúdo de beta-caroteno. O mesmo autor demonstrou que o GLA (ácido gamma linolênico) encontrado na spirulina combate a artrite, doenças coronárias, obesidade, deficiência de zinco, alcoolismo, maníaco-depressão, alguns sintomas de envelhecimento e esquizofrenia. Pacientes que tomaram a spirulina sob os cuidados de Hills observaram redução de estresse pré-menstrual e alívio de ressaca. (apud, CRC Manual of Microalgae Mass Culture, Richmond, 1980).



## 7.PERSPECTIVAS PARA O CULTIVO DE SPIRULINA NO MUNDO E NO NORDESTE BRASILEIRO

O que vai determinar o panorama do cultivo em larga escala das microalgas não é só o potencial de mercado dos seus produtos, mas seus custos de produção. Neste sentido, esforços estão sendo feitos para abaixar o custo de produção unitário através do aumento da produtividade, pesquisa biotecnológica e inovação. A produtividade atual, que gira em torno de 10 a 30 toneladas de biomassa seca por hectare por ano que são obtidos em instalações produtoras de escala industrial, é baixa levando em consideração o rendimento máximo teórico e um nível ótimo razoável, o qual é uma fração deste máximo que é mais de 200 toneladas de biomassa seca por hectare por ano (Vonshak ,1997).

O futuro da *microalgacultura* depende de dois fatores: primeiro , a habilidade para reduzir custos de produção e tornar a biomassa de microalgas uma mercadoria negociada em grandes quantidades, não só limitada ao setor de alimentos naturais; e segundo, o desenvolvimento de bioreatores adequados (estruturas que comportam o cultivo). Outro requisito para um cultivo em larga escala bem sucedido é a disponibilidade de uma maior quantidade de espécies de microalgas e variedades de maior performance que respondam melhor às condições ambientais inconstantes encontradas ao ar livre.

Os países em desenvolvimento poderiam se beneficiar das melhorias biotecnológicas atuais . Não só isso, mas com a esperada baixa nos custos de produção, as aplicações do cultivo de microalgas poderiam se estender além do atual mercado de suplementos naturais e bioquímicos refinados e incluir, além de outros, um suplemento de alto teor protéico na alimentação humana. É muito provável que a crescente demanda por matéria prima para ração animal da alta qualidade venha a contribuir para o eventual decréscimo nos custos de produção de microalgas, o que daria um impulso importante para o cultivo em massa em

regiões salinas e salobras inúteis para a irrigação de culturas hoje conhecidas. Essas áreas são muito abundantes em regiões semi-áridas, onde o cultivo em massa de microalgas poderia representar uma importante fonte de receita e contribuir para uma utilização racional dos escassos recursos naturais. O Nordeste brasileiro é uma região que apresenta condições propícias para a exploração do cultivo de spirulina, pois no seu clima semi-árido tropical observa-se uma média de temperaturas entre 23 e 30°C (IPLANCE, 1989)

À estas altas temperaturas médias, alia-se intensa insolação durante a maior parte do ano e abundância de terras imprestáveis para outras culturas, o que fazem da região uma porto seguro para cultivo da microalga.

Devido à escassez de recursos hídricos na região, a spirulina se encaixa perfeitamente como cultura a ser explorada, pois a relação de utilização da água para produção por quilo de proteína é a mais baixa que se tem notícia e a produção de proteína por hectare/ano é a maior disparadamente como se pode observar nos seguintes quadros:

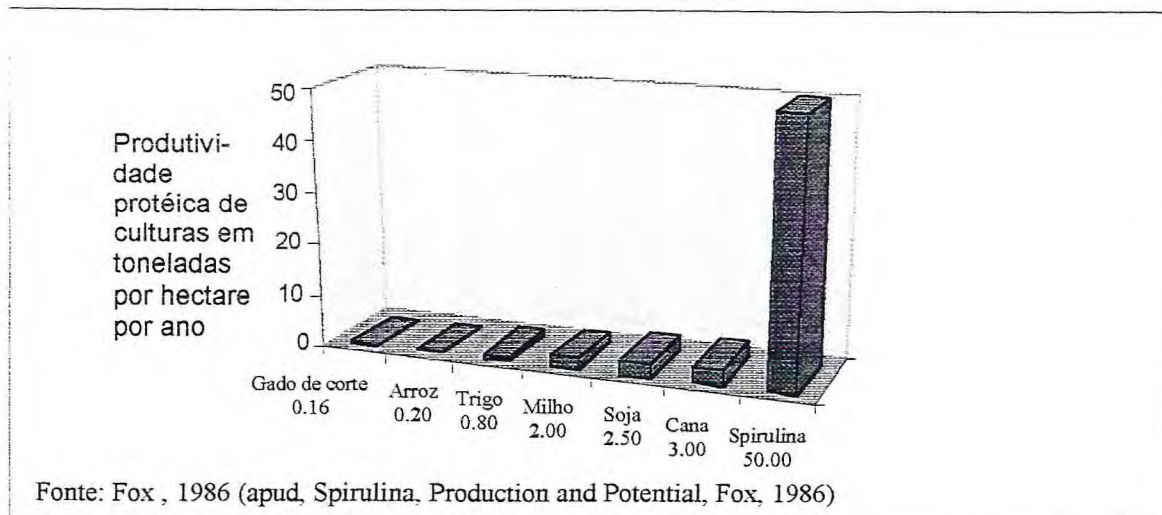
Tabela 2 - Quantidade de água necessária para a produção de um quilo de proteína em diferentes culturas (em litros)

Spirulina (65% de proteína)	2.498
Soja (34% de proteína):	8.858
Milho (9% de proteína)	12.416
Gado de corte (20% de proteína)	104.096

Fonte: a. Ota, Earthrise Farms, 1988 (apud, (apud, CRC Manual of Microalgae Mass Culture, Richmond, 1986)



Figura 1 - Produtividade protéica de diferentes culturas



Sabendo-se do potencial que o Nordeste tem para sua exploração, faz-se necessário uma abordagem mais direcionada ao estudo de melhorias de técnicas de cultivo e redução de custos para que a spirulina possa vir a ser uma relevante fonte de nutrição tanto para o homem como para organismos explorados na aquicultura.

## 8. RESUMO

O presente trabalho teve como meta expor as qualidades, características e biologia da spirulina. Esta microalga tem sido estudada há mais de vinte anos por vários pesquisadores do mundo inteiro. Há controvérsias no que tange a classificação da spirulina, contudo, o que mais releva são os resultados dos estudos da biologia, comportamento e desenvolvimento da microalga. Tendo-se estes dados em mãos, fica muito mais fácil desenvolver e adaptar tecnologias de cultivo e manter um monitoramento do processo produtivo e portanto, alcançar resultados satisfatórios em termos de produtividade.

O objetivo deste trabalho foi o de levantar dados relativos à biologia e aspectos gerais da spirulina na esperança de servir como recurso no aprofundamento do estudo deste organismo no futuro.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Richmond, A. Handbook of Microalgal Mass Culture. EUA Richmond, ed., CRC Press, 1986. p. 212-230
- (2) Shelef G. & Soeder C. Algae Biomass- Production and Use . Elsevier/North holland Biomedical Press. 1980 p. 611-617
- (3) Fox, Ripley D. Spirulina: Production and Potential. EDISUD, França. 1996. p. 10-119
- (4) Soeder C. & Binsack R. Microalgae for Food and Feed- A Status Analysis . German-Israeli Workshop. 1977. p. 274-280
- (5) Hills C. & Nakamura H. Food from Sunlight - Planetary Survival for Hungry People. World Hunger Research Project. EUA, 1978. p. 310-335
- (6) Vonshak, A. Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology. Taylor & Francis, Londres, R.U., 1977.p. 1-209
- (7) Round, F.E. The Biology of the Algae Edward Arnold Publ. LTD. Londres, R.U. (ano não disponível) p. 15;129
- (8) Becker, E.W. Microalgae. Biotechnology and Microbiology .Cambridge University Press, N.Y. EUA, 1994.p. 9-64
- (9) Becker, E.W. Production and Use of Microalgae Schweitzerbart'sche Verlagsbuchanlung, Stuttgart, Alemanha, 1985.
- (10) Moorhead, K & Morgan, H. Spirulina - Nature's Superfood. Nutrex Inc., EUA, 1993.p. 7-21
- (11) Smith G. Botânica Criptogâmica. Fundação Calouste Gulbenkian.. Portugal, 1969. p. 272
- (12) Ciferri O. Spirulina, the Edible Algae. Microbiological Reviews. EUA, Vol. 47 No. 4 , 1983. p. 551-578

Tabela 3 - Composição química da spirulina

Análise Geral	
Umidade	3-7%
Proteínas	55-70%
Gorduras	6-8%
Carboidratos	15-25%
Fibras	8-10%
Cinzas	7-13%

Vitaminas e Minerais	
Vitamina A	2300IU
B-Caroteno	14 mg
Clorofila -a	100mg
Tiamina (Vit. B-1)	0.35mg
Riboflavina (Vit. B-2)	0.40mg
Piridoxina (Vit. B-6)	80mcg
Colobalamina (Vit. B-12)	20mcg
Vit. C	0
Vit. E	1mg
Niacina	1.4mg
Ac. Pantotico	10mcg
Ac. Fólico	1mcg
Biotina	0.5mcg
Inositol	6.4mg
Cálcio	70mg
Fósforo	80mg
Selênio	10mcg
Iodo	0mg
Magnésio	40mg
Ferro	15mg
Zinco	0.3mg
Cobre	120mcg
Manganes	0.5mg
Cromo	25mcg
Cloro	0mg
Sódio	90mg
Potássio	140mg
Germanio	60mcg

Pigmentos	
Ficocianina	1400mg
Clorofila	100mg
Carotenóides	37mg

Fitonutrientes Naturais	
Ácido Gamalinoilênico	130mg
Glicolípideos	200mg
Sulfolípideos	10mg
Polissacarídeos	10mg

Amino Ácidos	
Lisina	200mg
Histidina	100mg
Arginina	430mg
Ácido Aspártico	610mg
Serina	320mg
Ácido Glutâmico	910mg
Prolina	270mg
Glicina	320mg
Alanina	470mg
Cistina	60mg
Valina	400mg
Metionina	140mg
Isoleucina	350mg
Leucina	540mg
Tirosina	300mg
Fenilalanina	280mg
Triptofano	90mg

Fonte: Earthrise Company and Trading Co. (1997)



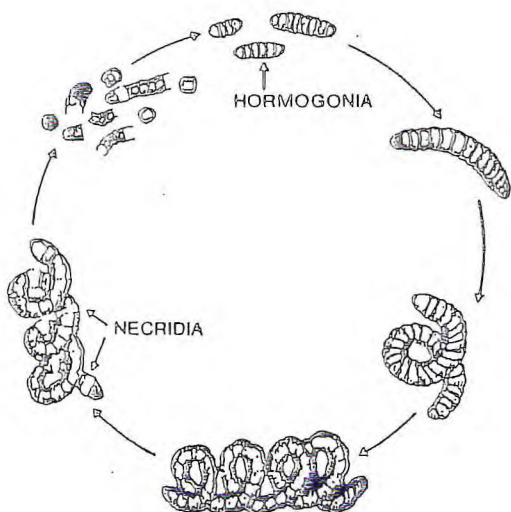


Figura 2 - Ciclo de vida da *Spirulina* ( de Materassi, R. Prospective de l'ella Coltura di Spirulina in Italy, Consiglio, Nazionale delle Riche, Rome, 1980.)

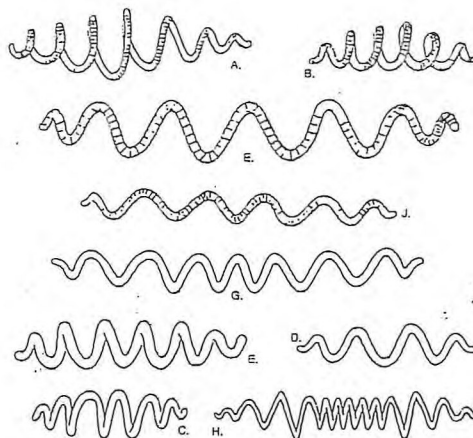


Figura 3 - *Athrospira platensis*  
Desenhos de Florence Rich (1931) Como todas estas formas for encontradas em um mesmo lago, presume-se que são uma mesr espécie: *Arthrospira platensis*



Figura 4 - *Athrospira platensis*  
de Gumont (1892)

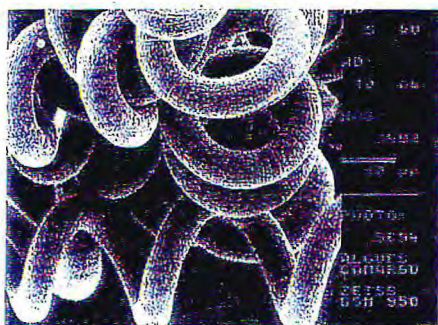


Figura 5 - *Athrospira platensis*, variedade Camargue.  
Fotografias de microscópio eletrônico de varredura  
Cortesia de Jean-Pierre Bossy, CNRS, Station INRA,  
St-Christo-lès-Alès. As paredes intercelulares velhas  
tendem a engrossar-se. Os microporos para as fimbrias  
podem ser vistos em algumas paredes intercelulares.

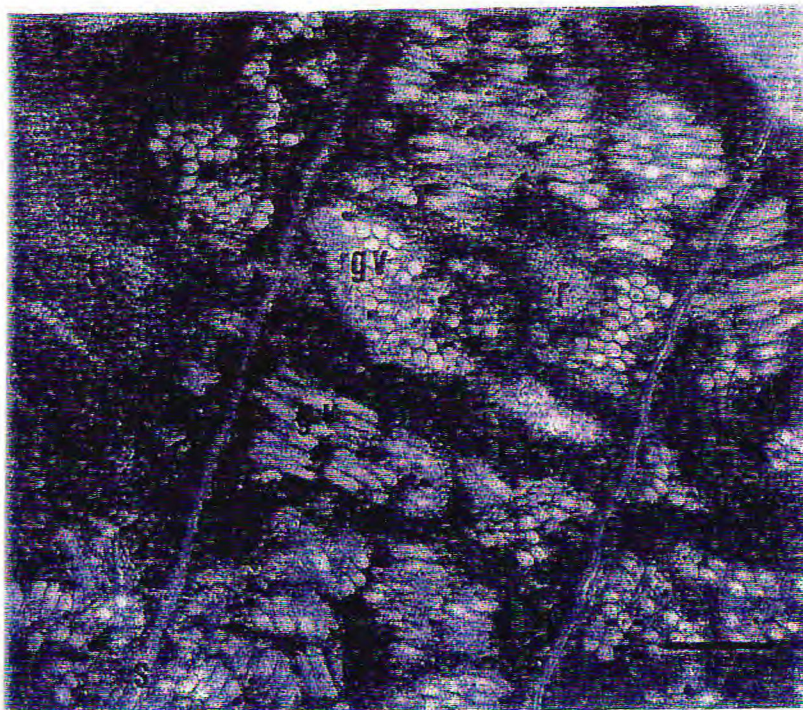


Figura 6 - Micrografia eletrônica da *Arthrospira maxima* em uma secção longitudinal mostrando a divisão do tricoma em células por paredes intercelulares (s). Note a abundância de vacúolos gasosos (gv), os pacotes de membranas do tilacóide (t), com ficobilissomas, vários grânulos osmiofílicos e ribossomos (r). barra representa 0,5  $\mu\text{m}$ .





Figura 7 - Esta foto foi tirada por Nigel Dennis; do N. Dennis & Tarboton (1993) Waterbirds. Mostra a Spirulina na água, nas pernas e caindo do bico do Phoeniconaias minor, vulgo Flamingo.



Figura 8 - Uma mulher Kanembou peneirando spirulina da superfície do lago Rombou, no Chad. (Foto: cortesia de J. Maley).



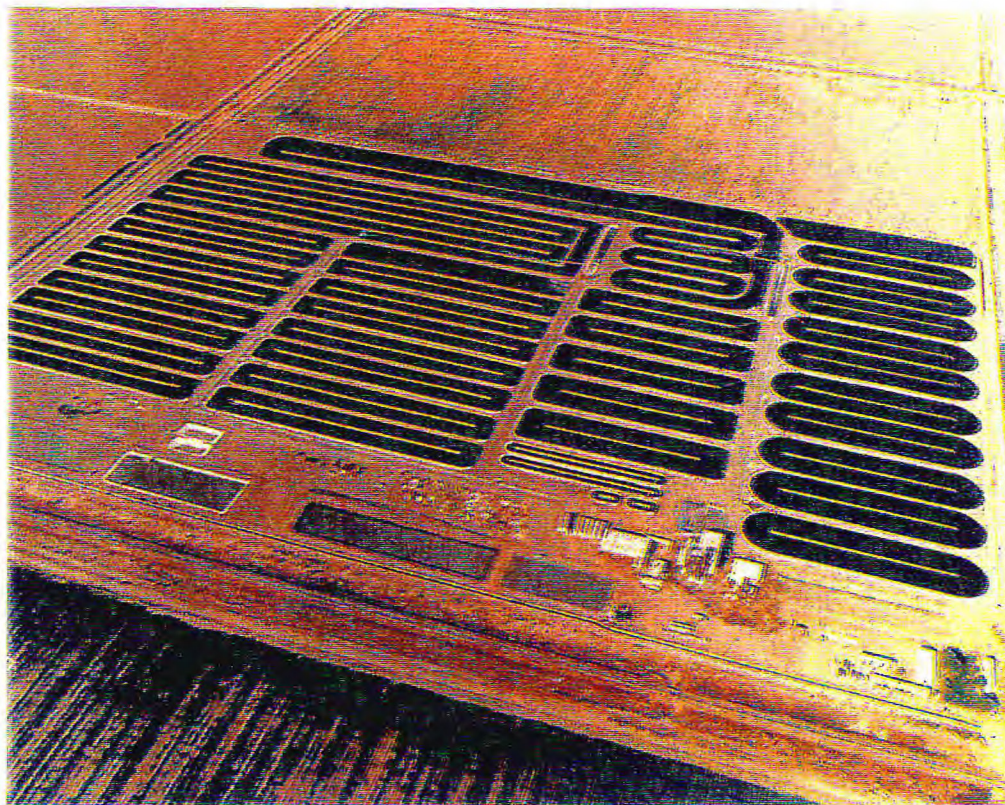


Figura 9 - Vista aérea da Fazenda Earthrise - 22 hectares de área de produção de spirulina, próximo à Calipátria, California. Foto: cortesia de Y. Ota, diretor da Fazenda Earthrise.

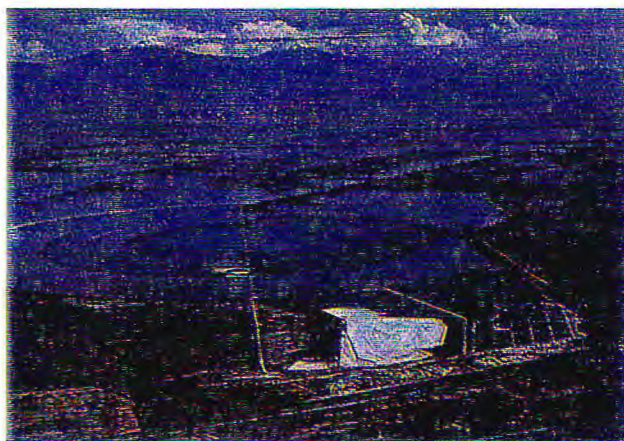


Figura 10 - Vista aérea de Sosa Texcoco próximo à Cidade do México. Exploração de carbonato e spirulina da bacia de evaporação de 3800 metros de diâmetro.



Figura 11 - Fazenda da Cyanotech Co. de 360 toneladas de capacidade em Keahole Point, Kailua-Kona, Havai (1995).