

# VARIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO ESPECÍFICA DO FITOPLÂNCTON DE ARRAIAL DO CABO (RJ, BRASIL) APÓS ENRIQUECIMENTO COM NUTRIENTES

Eliane GONZALEZ-RODRIGUEZ\*

Serge Y. MAESTRINI\*\*

Jean Louis VALENTIN\*

Denise RIVERA-TENENBAUM\*\*\*

## ABSTRACT

Changes in species composition of natural phytoplankton from Cabo Frio (Brazil) after nutrient enrichment. Water samples of Cabo Frio area were pumped from 42m depth and placed into carboys of 20 liters, in order to study the changes in the specific composition of natural phytoplankton after enrichments with increasing amounts of nitrogen and phosphorus, ranging from 10 to 100 and 0,5 to 20  $\mu\text{g-at.l}^{-1}$ , respectively.

The enrichments lead to a simplification of the community structure. The Shannon's index decreased after the reduction of species number in relation to the inoculum, with dominance of **Chaetoceros** sp. and **Nitzschia "delicatissima"** during incubations.

Nitrogen enrichment showed a successive dominance of **Rhizosolenia stolterfothii** + **Prorocentrum balticum** (1<sup>st</sup> day), **Chaetoceros costatum** + **Chaetoceros** sp. + **Cerataulina pelagica** (2<sup>nd</sup>), **Chaetoceros** sp. + **N. "delicatissima"** (or in some cultures an unidentified Pennate diatom) (3<sup>rd</sup> day) and **N. "delicatissima"** + **Chaetoceros** sp. (4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> days).

\* Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira  
28910 — Arraial do Cabo, RJ, Brasil.

\*\* CREMA — L'Homeau, Case 5 17.137 — Nieul-sur-Mer, France.

\*\*\* UFRJ — Departamento de Biologia Marinha, Ilha do Fundão — Cidade Universitária,  
21910, Rio de Janeiro, Brasil.

**N. "delicatissima"** and **Chaetoceros** sp. dominated alternatively the phosphorus enriched experiments, followed by **C. affinis** and **Nitzschia closterium**.

Centric and Pennate, unidentified diatoms, occurred in all the enrichments.

Key words: Phytoplankton, species competition, nutrient enrichment, upwelling.

### RESUMO

O fitoplâncton natural de Cabo Frio foi cultivado em água do mar coletada a 42m de profundidade e enriquecida com concentrações crescentes de nitrogênio e fósforo. Uma série de culturas de volume igual a 15l foi feita em garrações de 20l, para acompanhar as variações da composição específica da comunidade.

Foram utilizadas 6 concentrações de nitrogênio, entre 10 e  $100\mu\text{g-at.l}^{-1}$  e, 9 de fósforo, entre 0,5 e  $20\mu\text{g-at.l}^{-1}$ .

Todos os enriquecimentos provocaram uma simplificação da estrutura da comunidade. A redução do número de espécies em relação ao inóculo e a grande dominância de **Chaetoceros** sp. e **Nitzschia "delicatissima"** durante o período de incubação, reduziram o índice de Shannon.

O enriquecimento com nitrogênio provocou a seguinte sucessão de espécies dominantes: **Rhizosolenia stolterfothii** + **Prorocentrum balticum** (1.º dia), **Chaetoceros costatum** + **Chaetoceros** sp. + **Cerataulina pelagica** (2.º dia), **Chaetoceros** sp. + **N. "delicatissima"** (ou em algumas culturas uma diatomácea penada não identificada) (3.º dia) e **N. "delicatissima"** + **Chaetoceros** sp. (4.º e 5.º dias).

Uma dominância alternada entre **N. "delicatissima"** e **Chaetoceros** sp., com subdominância de **C. affinis** e **Nitzschia closterium**, foi observada nos experimentos de enriquecimento com fósforo.

Diatomáceas cêntricas e penadas não identificadas ocorreram em todos os enriquecimentos.

Palavras-chave: Fitoplâncton, competição específica, nutriente, enriquecimento, ressurgência.

## INTRODUÇÃO

A região de Cabo Frio é caracterizada pela presença de uma ressurgência costeira, com o afloramento de águas ricas em sais nutrientes próximo à costa (Moreira da Silva, 1968 a, b). O aproveitamento da ocorrência dessas águas deu origem ao Projeto Cabo Frio (Moreira da Silva, 1969) que previa a utilização das águas ricas em nutrientes para uma produção contínua de algas que serviriam como alimento para diferentes herbívoros.

O caráter sazonal da ressurgência e o empobrecimento das águas que alcançam a costa, devido a processos de mistura durante seu trajeto sobre o fundo (Kempf et al., 1974), tornou necessário um estudo para determinar as variações sazonais da fertilidade da região.

Gonzalez-Rodriguez (1982) demonstrou que a fertilidade dessas águas é insuficiente para atingir uma densidade algal adequada para a criação de moluscos, sendo necessário enriquecê-la com nutrientes inorgânicos e substâncias orgânicas complexantes.

Todo enriquecimento de água para a produção em massa de algas deve levar em consideração dois aspectos importantes: i) o custo dos nutrientes e o rendimento (biomassa produzida em relação à concentração de nutrientes adicionados), e ii) a composição do fitoplâncton, quando se tratar de enriquecimento de populações naturais, por ser um fator importante devido a seu valor nutritivo para a criação de herbívoros de interesse comercial (Walne, 1970).

Para as águas de Cabo Frio esses dois aspectos foram abordados, sendo que os referentes ao primeiro encontram-se pu-

blicados em Gonzalez-Rodriguez & Maestrini (1984). O presente trabalho pretende complementar essas informações com resultados sobre as alterações da composição taxonômica do fitoplâncton em culturas de populações naturais enriquecidas com nitrogênio e fósforo inorgânicos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de água do mar foram coletadas (janeiro de 1981) a 42 m de profundidade na estação Saco do Inglês (Fig. 1), utilizando o sistema de bombeamento do "Projeto Cabo Frio" (Moreira da Silva, 1971). Após filtração em rede de nylon de  $250\mu\text{m}$  de malha para eliminar o zooplâncton, a água foi distribuída em garrafões de 20 litros à razão de 15 litros cada um.

Dois tipos de enriquecimentos foram utilizados:

- 1) concentração fixa de fósforo:  $5\mu\text{g-at.l}^{-1}$  e concentrações crescentes de nitrogênio: 10, 20, 30, 50, 75 e  $100\mu\text{g-at.l}^{-1}$ .
- 2) concentração fixa de nitrogênio:  $100\mu\text{g-at.l}^{-1}$  (determinada pela experiência 1) e concentrações crescentes de fósforo: 0,5; 1,0; 1,25; 1,7; 2,5; 5,0; 6,7; 10,0 e  $20,0\mu\text{g-at.l}^{-1}$ . O nitrogênio foi adicionado na forma de  $\text{NaNO}_3$  e o fósforo como  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ . Como experimentos anteriores demonstraram que para uma boa assimilação dos nutrientes é necessária a presença de um quelante, todas as culturas receberam  $10\mu\text{M.l}^{-1}$  de EDTA.

Fitoplâncton de superfície foi usado como inóculo. Foram filtrados 1000l de água do mar através de redes de nylon de  $175\mu\text{m}$  e  $25\mu\text{m}$  de abertura de malha. O fitoplâncton recolhido foi distribuído nos garrafões com água enriquecida de modo a se obter uma biomassa inicial de aproximadamente  $5\mu\text{g.l}^{-1}$  de clorofila.

As culturas foram incubadas à temperatura constante ( $19^\circ\text{C}$ ) e iluminação artificial contínua ( $3.78 \times 10^{-2} \text{ cal. cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ ) fornecida por lâmpadas fluorescentes "Luz do dia".

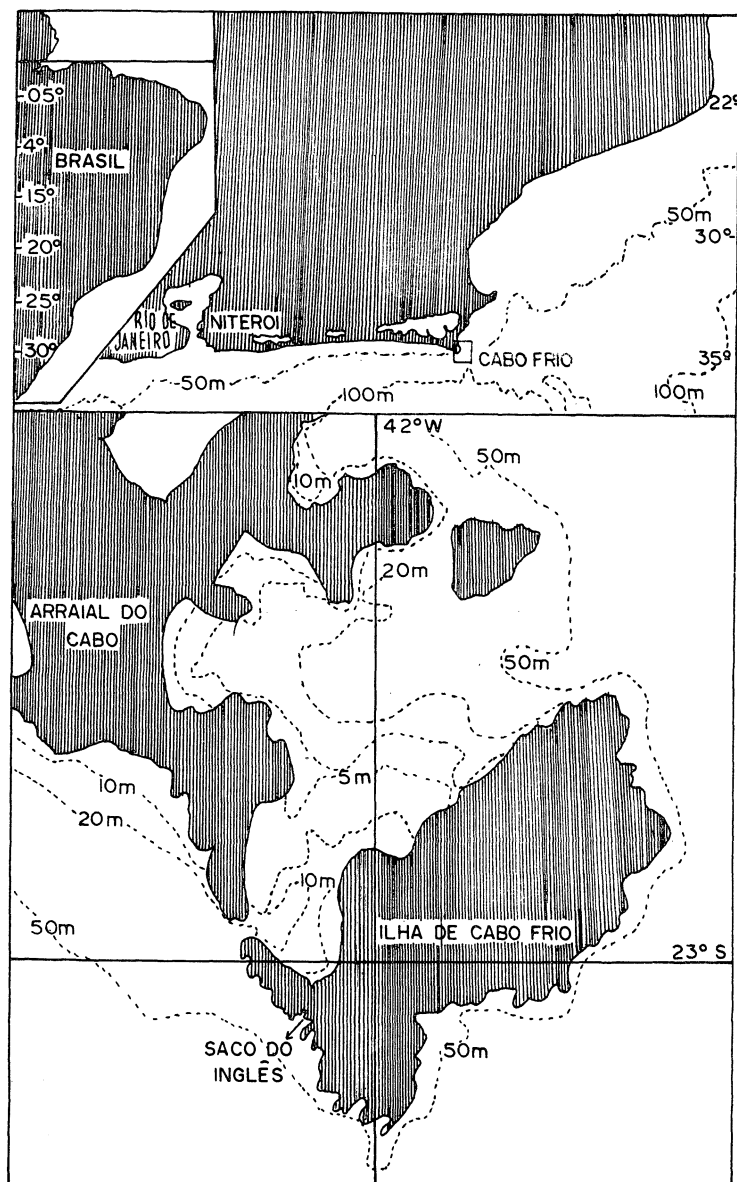


Figura 1 — Área de estudo. Posição da estação de Coleta (Saco do Inglês).

Nerítica, Pontal do Sul, PR, 4(1/2):33-56, outubro 1989.

Durante o período de incubação análises qualitativa e quantitativa do fitoplâncton foram feitas diariamente pela técnica de Utermöhl (1958). Foram usadas cubetas de 2 ml e 10 ml de acordo com a densidade celular das culturas. O tempo de sedimentação foi de 3 ou 8 horas respectivamente, segundo recomendação de Edler (1979) para amostras fixadas com lugol. Foram identificados os organismos do microfitoplâncton.

### **Tratamento dos dados**

A diversidade específica das culturas foi calculada para cada amostra utilizando-se o índice de Shannon (1948).

### **Matriz de dados**

Na experiência com diferentes concentrações de nitrogênio, foi analisada uma tabela de dados de dimensão 31x150 (inóculo + 6 concentrações com 5 dias de incubação e 150 espécies), e na experiência com fósforo a matriz de dados foi de dimensão 19x93 (inóculo + 9 concentrações com 2 dias de incubação e 93 espécies).

As observações são representadas no texto e nas figuras por um código alfa-numérico indicando o enriquecimento e o tempo de incubação; por exemplo, N11 = primeiro dia de incubação, concentração mais baixa de nitrogênio ( $10\mu\text{g-at.l}^{-1}$ ); P25 = segundo dia de incubação, quinta concentração de fósforo ( $2.5\mu\text{g-at.l}^{-1}$ ). Para facilitar a interpretação das figuras, só foram identificadas as espécies mais importantes relacionadas na Tabela I.

### **Análise de agrupamento**

A fim de poder comparar e reunir os enriquecimentos que proporcionaram uma mesma resposta fitoplantônica, foi realizada uma análise de agrupamento ("Cluster Analysis") em cada experimento (com nitrogênio e com fósforo). A matriz de similaridade entre o grau de enriquecimento foi estabelecida a par-

Tabela I — Lista das espécies de fitoplâncton dominantes nas experiências de enriquecimento com concentrações crescentes de nitrogênio e de fósforo.

Código	Espécie	Dominantes N	em P
Ba	<b>Bacteriastrum</b> sp.		x
Cp	<b>Cerataulina pelagica</b>	x	
Ch	<b>Chaetoceros</b> sp.	x	x
Ca	<b>Chaetoceros affinis</b>	x	x
Cc	<b>Chaetoceros costatum</b>	x	x
Cd	<b>Chaetoceros decipiens</b>		x
Ec	<b>Eucampia cornuta</b>	x	
Ni	<b>Nitzschia</b> sp.		x
Nc	<b>Nitzschia closterium</b>	x	x
Nd	<b>Nitzschia "delicatissima"</b>	x	x
Nl	<b>Nitzschia longissima</b>	x	
Ra	<b>Rhizosolenia alata f. alata</b>	x	
Rs	<b>Rhizosolenia stolterfothii</b>	x	
Cf	<b>Ceratium furca</b>	x	x
Pb	<b>Prorocentrum balticum</b>	x	
Pm	<b>Prorocentrum micans</b>	x	
Ce	Cêntrica não identificada	x	
Pe	Penada não identificada	x	x
Di	Diatomácea não identificada	x	

**Nitzschia "delicatissima"** inclui as espécies **Nitzschia delicatissima**, **N. seriata** e **N. pungens**. Difíceis de distinguir em microscópio ótico

tir do coeficiente de correlação de "rank" de Spearman (I), baseado na posição relativa de cada espécie na população. Sendo independente do valor quantitativo bruto, a posição relativa representa melhor a identidade ou a diferença de estrutura entre duas comunidades fitoplanctônicas.

O método de agregação dos enriquecimentos utilizado é o de peso proporcional ("Weighted Pair Group Method Average"), aconselhado pela literatura (Davis, 1973) por respeitar de maneira satisfatória a matriz original de correlação. Os resultados são representados em forma de dendrograma.

### **Análise fatorial de correspondências**

A análise fatorial tem por finalidade definir, por ordem de importância, os fatores (eixos fatoriais) responsáveis pela variância de dados e agrupar variáveis e observações em função desses fatores.

Para poder interpretar os eixos fatoriais, calculamos a contribuição absoluta de cada enriquecimento e de cada espécie na formação de cada eixo (a análise limitou-se aos eixos I e II, isto é, 1.º plano fatorial). Benzecri **et al.** (1973) fazem uma descrição detalhada deste método e apresentam numerosas aplicações em ecologia numérica.

## **RESULTADOS**

Durante o período de incubação, foram observadas modificações quali-quantitativas importantes na população. Observou-se grande aumento da biomassa de algumas espécies, o aparecimento de grupos específicos aparentemente ausentes da população inicial e o desaparecimento de outros, resultando numa diminuição do índice de diversidade específica (Índice de Shannon).



## Experiência com concentrações crescentes de nitrogênio

### Inóculo

A comunidade inicial foi quantitativamente pobre ( $2 \times 10^4$  cel.l<sup>-1</sup>), mas qualitativamente rica, composta por 100 espécies (Índice de Shannon = 4,57 bits. cel<sup>-1</sup>) dominada por: **Rhizosolenia stolterfothii** (22% do número total de células), **Chaetoceros** sp. (11%), **Prorocentrum balticum** (8%), **Cerataulina pelagica** (7%) e **Ceratium furca** (5%). As outras espécies apareceram em proporções relativas inferiores a 5%, sendo que a grande maioria estava abaixo de 2%.

### Efeito do enriquecimento com nitrogênio

De uma maneira geral, o enriquecimento com nitrogênio proporcionou um aumento da biomassa total, com densidades celulares máximas a partir do 3.º dia de incubação (máximo de  $370 \times 10^4$  cel.l<sup>-1</sup> na amostra N32). As espécies dominantes, por ordem de importância foram: **Nitzschia "delicatissima"**, **Chaetoceros** sp., uma diatomácea penada, uma diatomácea cêntrica, **Chaetoceros costatum**, **Nitzschia closterium**, **Cerataulina pelagica** e **Rhizosolenia stolterfothii** (Tabela II).

O aumento da biomassa foi seguido por modificações na composição específica, alterando a estrutura da comunidade. A diversidade específica manteve-se alta no 1.º dia de incubação (entre 3,98 e 4,70 bits.cel<sup>-1</sup>), diminuiu levemente no 2.º dia (entre 2,40 e 3,38 bits.cel<sup>-1</sup>) e caiu abaixo de 3,00 bits.cel<sup>-1</sup> nos dias subsequentes, com valores mínimos de 1,54 em N56 e 1,56 bits.cel<sup>-1</sup> em N46. 18% das espécies presentes no inóculo desapareceram sob o efeito do enriquecimento e a seguinte sucessão na dominância foi observada: **R. stolterfothii** dominou o 1.º dia (amostras N11 a N16), **C. costatum** no 2.º dia (amostras N21 a N26), **Chaetoceros** sp. no 3.º dia (amostras N31 a N36) e **N. "delicatissima"** na maioria das amostras dos dois últimos dias (amostras N41 a N56) (Tabela II).

Tabela II — Variação da biomassa ( $B=10^4 \text{ cel.l}^{-1}$ ), diversidade específica ( $H=\text{bit. cel}^{-1}$ ) e espécies dominantes (% de ocorrência) durante a experiência com concentrações crescentes de nitrogênio. (vide Tabela I para código das espécies).

Código amostra	B	H	Espécie							
Inoc	2	4.57	Rs(22)	Ch(11)	Pb(8)	Cp(7)	Cf(5)			
N11	3	4.70	Rs(13)	Pm(9)	Cp(9)	Pb(7)	Ch(6)	Ec(6)	Ca(5)	
N12	1	4.09	Rs(18)	Ch(12)	Cp(10)	Pe(6)				
N13	2	3.98	Rs(27)	Pb(19)	Ch(11)	Cp(9)	Rs(9)			
N14	2	4.08	Rs(25)	Pb(19)	Ch(6)	Pe(6)				
N15	2	4.01	Rs(22)	Pb(17)	Ch(8)	Ra(7)	Cp(6)	Pe(5)		
N16	3	4.35	Rs(21)	Pb(11)	Ch(10)	Cp(7)	Ec(5)	Pe(5)		
N21	24	3.20	Cc(36)	Ch(13)	Cp(11)	Rs(11)	Ec(6)	Nd(5)		
N22	29	3.06	Ch(39)	Cc(24)	Nd(17)	Cp(7)				
N23	31	2.40	Cc(62)	Pe(8)	Cp(7)	Rs(5)				
N24	25	3.32	Cc(38)	Cp(15)	Rs(9)	Ec(7)				
N25	16	3.39	Cc(28)	Nd(25)	Cp(8)	Ca(7)				
N26	4	3.36	Cc(44)	Cp(15)	Rs(11)					
N31	299	2.72	Ch(32)	Cc(19)	Nd(19)	Pe(16)				
N32	370	2.50	Ch(37)	Pe(25)	Nd(18)					
N33	322	2.57	Ch(42)	Pe(29)	Nd(9)	Cc(5)				
N34	191	2.76	Ch(34)	Pe(22)	Nd(14)	Cp(6)				
N35	126	2.23	Ch(59)	Nd(15)	Pe(7)	Cp(6)				
N36	283	2.45	Pe(36)	Nd(28)	Ch(16)	Cc(8)	Cp(5)			
N41	213	3.05	Cc(42)	Ch(22)	Pe(10)	Nd(6)				
N42	268	2.68	Ch(46)	Nd(13)	Cc(5)	Pe(5)				
N43	292	1.84	Nd(54)	Ch(34)						
N44	56	2.08	Ch(62)	Nd(13)	Rs(10)					
N45	156	1.90	Nd(50)	Ch(36)	Rs(5)					
N46	152	1.56	Nd(72)	Ch(16)						
N51	150	2.57	Nd(40)	Ch(30)	Cp(7)	Cc(6)	Rs(6)			
N52	69	2.89	Nd(37)	Ch(21)	Cc(9)	Rs(6)				
N53	207	2.54	Ch(43)	Nd(26)	Pe(10)	Cc(5)	Rs(5)			
N54	72	2.76	Ch(40)	Nd(19)	Nl(10)	Nc(9)	Rs(8)			
N55	314	2.41	Nd(42)	Nl(20)	Nc(15)	Ch(13)				
N56	111	1.54	Nd(63)	Ch(27)						

## Tratamento matemático dos dados

### Análise de agrupamento

A análise de agrupamento ("Cluster Analysis") efetuada sobre as 31 amostras fitoplanctônicas (inóculo + 30 amostras enriquecidas) com base no coeficiente de correlação de "rank" de Spearman, evidenciou as comunidades de estruturas idênticas. O dendrograma da figura 2 mostra a formação dos grupos A, B, C e D correspondendo respectivamente ao 1.º, 2.º, 3.º, 4.º e 5.º dias de incubação com as dominâncias descritas acima.

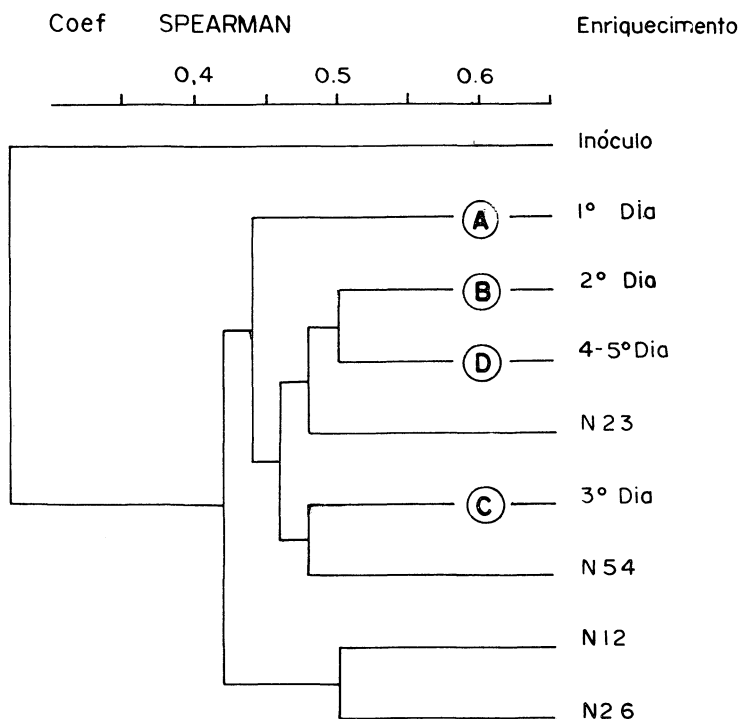


Figura 2 — Dendrograma de análise de agrupamento ("clusters") dos enriquecimentos com concentrações crescentes de nitrogênio (H = índice de diversidade específica, código das espécies — Tabela I).

Entretanto, em alguns casos este padrão evolutivo não foi respeitado. Assim como o inóculo, certos enriquecimentos individualizaram-se por proporcionarem comunidades de estrutura singular, como foi o caso do N23 onde **Chaetoceros** sp. foi substituído por uma diatomácea penada e, onde ocorreu uma maior dominância de **C. costatum** (62%) o que provocou consequentemente, uma maior simplificação da comunidade: diminuição do índice de Shannon em relação aos enriquecimentos do 2.º dia (2,40 contra mais de 3,02 para outras amostras do 2.º dia).

N12, N26, N54 separaram-se dos seus respectivos grupos em razão de alterações do nível de subdominâncias.

#### Análise fatorial de correspondências

Os dois primeiros fatores, que constituem o 1.º plano fatorial da análise, resumem os resultados da análise em "Clusters", repartindo as amostras (enriquecimentos) em 4 grandes grupos A, B, C, D, já evidenciados (Fig. 3).

O 1.º fator, formado pela oposição entre a abundância de **N. "delicatissima"** (contribuição positiva) e de uma diatomácea penada (contribuição negativa) (Tabela III), também opôs as espécies exclusivas do 2.º dia às espécies dominantes do 4.º e 5.º dias, final de incubação.

O 2.º fator, formado pela forte contribuição de **C. costatum** no enriquecimento N23, de uma diatomácea penada em N33 e de uma diatomácea não identificada em N32, separou também as espécies exclusivas do 1.º dia de incubação das espécies dominantes do 3.º dia. Sendo assim, o plano fatorial separou as variáveis (espécies e enriquecimentos) em função do tempo de incubação, que parece constituir o fator preponderante da variação qualitativa do fitoplâncton.

#### Experiências com concentrações crescentes de fósforo

##### Inóculo

A comunidade inicial de  $10^4 \text{ cel.l}^{-1}$  foi composta por 86 espécies, das quais dominaram **Chaetoceros** sp. (30% do total de células), **C. affinis** (16%), **Bacteriastrium** sp. (10%), **C. deci-**

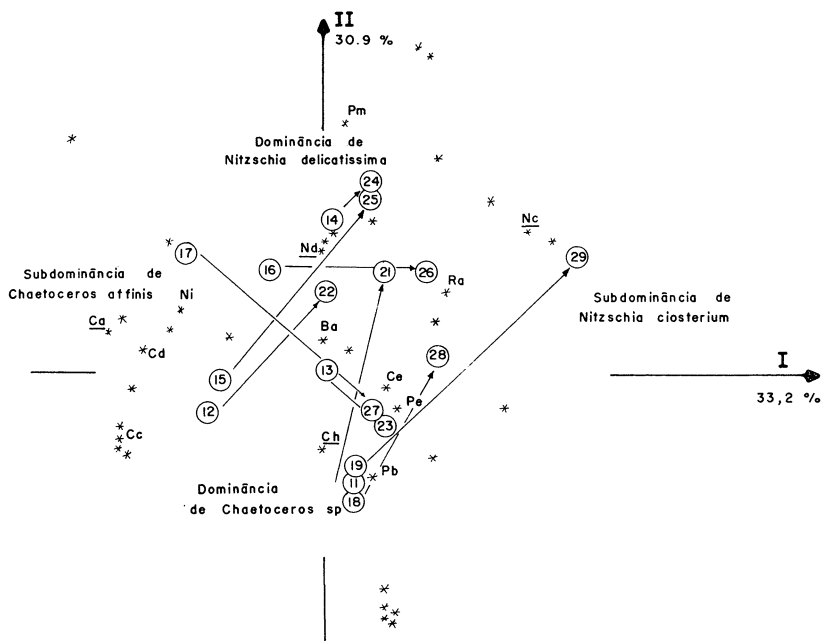


Figura 3 — Análise fatorial de Correspondências dos dados da experiência com concentrações crescentes de nitrogênio. Representações das espécies e dos enriquecimentos no plano fatorial I-II (Código das espécies — Tabela I; \* = outras espécies; número = enriquecimentos e A, B, C, D = grupos de enriquecimentos, vide texto).

**piens** (9%) e **C. furca** (5%). As outras espécies representaram menos de 5% da biomassa total, proporcionando uma diversidade específica alta ( $H=3,74 \text{ bits.cel}^{-1}$ ).

#### Efeito do enriquecimento em fósforo

Como no caso do nitrogênio, o enriquecimento com fósforo também provocou um aumento da biomassa. Entretanto, os máximos da biomassa foram rapidamente alcançados a partir do 1.º dia de incubação (e não no 3.º dia, como no caso do

Tabela III — Análise de correspondências sobre dados da experiência com concentrações crescentes de nitrogênio. Contribuições absolutas (%) das espécies do fitoplâncton e dos enriquecimentos ao plano fatorial I-II (vide Tabela I para código das espécies).

Códigos	Contribuição absoluta	
	Eixo I	Eixo II
<b>Espécies</b>		
Nd	39,5	0,1
Pe	-28,7	-18,9
Cc	-17,0	29,2
NI	1,7	0,5
Cf	-1,6	1,7
Di	-1,5	-15,1
Ch	0,1	2,6
<b>Enriquecimentos</b>		
N43	15,5	0
N46	15,2	0
N33	-10,6	-3,7
N56	10,0	0
N45	8,5	0
N23	-6,4	14,7
N31	-5,7	1,5
N36	-5,1	-3,0
N32	-4,2	-31,1
N24	-3,6	10,8
N51	3,2	1,5
N54	2,8	1,4

nitrogênio), variando entre  $105 \times 10^4 \text{ cel.l}^{-1}$  em P19 e  $556 \times 10^4 \text{ cel.l}^{-1}$  em P12. No 2.º dia, a densidade celular sofreu uma diminuição nítida, o que nos levou a abreviar a experiência.

Após um dia de incubação, a composição florística das culturas foi alterada (Tabela IV). A diversidade específica cresceu devido ao desaparecimento de 54 espécies iniciais e à dominância marcante de **Chaetoceros** sp.

Na comunidade do 1.º dia, **Chaetoceros** sp. dominou com subdominância de **N. "delicatissima"** acompanhada de **C. affinis** ou de uma diatomácea penada, à exceção de P14, P16 e P17, onde **N. "delicatissima"** foi dominante. No 2.º dia, **N. "delicatissima"** passou a dominar na maioria dos enriquecimentos com subdominância de **Chaetoceros** sp. ou **N. closterium**, à exceção de P27 e P28, onde foi mais abundante.

De maneira geral, foi nítida a estabilidade específica da comunidade após o enriquecimento, pois H raramente ultrapassou  $2 \text{ bits.cel}^{-1}$  e chegou a  $0.89 \text{ bits.cel}^{-1}$  em P19, onde 82% da população foi de **Chaetoceros** sp. Além disso, para qualquer valor de concentração de fósforo a dominância foi sempre de **Chaetoceros** sp. ou **N. "delicatissima"** e a subdominância de **C. affinis** e **N. closterium**.

### Tratamento matemático dos dados

#### Análise de agrupamento

O dendrograma (Fig. 4) constituído a partir dos coeficientes de correlação de "rank" de Spearman, confirmou a nítida modificação da comunidade original após os enriquecimentos. O coeficiente de Spearman, baseado na posição relativa de cada espécie e não apenas na dominância das espécies mais abundantes, fez aparecer ao nível de 0,5%, dois grupos mais importantes: um formado unicamente do 1.º dia (A = P12, P14, P15, P16 e P17) e um outro com a maioria do 2.º dia (B = P11, P13, P18, P21, P23, P24, P25, P26 e P28).

É interessante notar que para a maior concentração de fósforo, a estrutura da comunidade foi pouco alterada entre o 1.º e o 2.º dias (P19 e P29 ligados) mas se distinguiu das outras.

Tabela IV — Variação da biomassa ( $B=10^4 \text{ cel.l}^{-1}$ ), diversidade específica ( $H=\text{bit.cel}^{-1}$ ) e espécies dominantes (% de ocorrência) durante a experiência com concentrações crescentes de fosfato. (Vide Tabela I para código de espécies).

<b>Código amostra</b>	<b>B</b>	<b>H</b>	<b>Espécie</b>				
Inoc	1	3.74	Ch(30)	Ca(16)	Ba(10)	Cd(9)	Cf(5)
P11	332	1.25	Ch(76)	Nd(13)	Pe(6)		
P12	556	2.25	Ch(46)	Ca(21)	Nd(15)	Cc(6)	
P13	180	1.55	Ch(54)	Nd(37)			
P14	132	1.44	Nd(67)	Ch(23)	Nc(6)		
P15	206	2.26	Ch(41)	Ca(26)	Nd(18)		
P16	224	2.00	Nd(45)	Cd(20)	Ch(19)	Ca(6)	Ni(6)
P17	250	1.95	Nd(48)	Ca(29)	Ch(10)		
P18	335	1.02	Ch(82)	Nd(8)	Pe(8)		
P19	105	0.89	Ch(82)	Nd(12)			
P21	107	1.79	Nd(48)	Ch(32)	Nc(14)		
P22	246	1.28	Nd(60)	Ch(36)			
P23	225	1.68	Nd(64)	Ch(26)			
P24	134	1.38	Nd(73)	Nc(13)	Ch(9)		
P25	46	1.89	Nd(63)	Nc(12)	Ch(12)		
P26	140	2.24	Nd(38)	Ch(24)	Nc(22)	Pe(9)	
P27	93	1.56	Ch(67)	Nd(15)	Nc(12)		
P28	181	2.13	Ch(39)	Nc(17)	Nd(14)	Pe(8)	
P29	93	1.92	Nd(48)	Nc(30)	Ch(12)	Pe(8)	



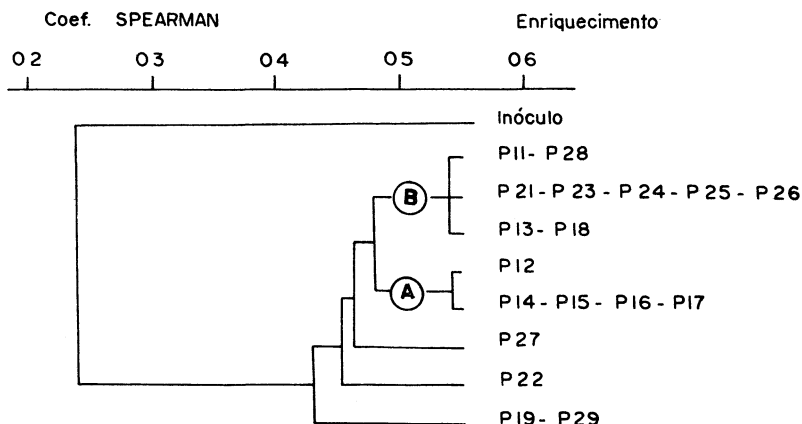


Figura 4 — Dendrograma da análise de agrupamento ("clusters") dos enriquecimentos com concentrações crescentes de fósforo (Código dos enriquecimentos — vide texto).

#### Análise fatorial de correspondências

Um deslocamento da esquerda para a direita ao longo do eixo I correspondeu à passagem do 1.º ao 2.º dia de incubação (Fig. 5). Com efeito, todas as populações do 1.º dia (de P11 a P19) estão situadas mais para a esquerda do eixo. O fator principal da variação do fitoplâncton ilustrado pelo 1.º eixo de AFC foi então, o dia de incubação. Os enriquecimentos P29 (do lado positivo) e P12, P17 (do lado negativo) contribuíram mais para formação deste eixo. Da mesma maneira, este eixo é ligado à alternância de *N. closterium* e *C. affinis*, espécies que ocupam posição de subdominância em quase todas as comunidades (Tabela V).

O 2.º eixo foi formado pelas contribuições dos enriquecimentos P24, P17, P14, P16 e da espécie *N. "delicatissima"* do lado positivo, e pelas contribuições de P18, P11 e da espécie *Chaetoceros* sp. do lado negativo. O 2.º eixo opôs as dominâncias de *N. "delicatissima"* à de *Chaetoceros*.

Pela análise fatorial constatamos que foram as dominâncias alternadas entre espécies dos gêneros *Chaetoceros* e *Nitzschia*

Tabela V — Análise de correspondências sobre dados da experiência com concentrações crescentes de fósforo. Contribuições absolutas (%) das espécies do fitoplâncton e dos enriquecimentos ao plano fatorial I-II. (Vide Tabela I para código das espécies).

Código	Contribuição absoluta	
	Eixo I	Eixo II
<b>Espécies</b>		
Ch	1,9	-42,0
Ca	-43,9	0,6
Cc	-5,0	0,7
Cd	-5,4	0,0
Nc	32,4	9,1
Nd	0,0	43,8
<b>Enriquecimentos</b>		
P11	2,1	-14,9
P12	-24,8	-3,8
P14	0,4	7,0
P15	-8,0	0,2
P16	2,0	5,5
P17	-18,4	10,4
P18	2,0	-21,1
P24	1,9	14,4
P26	7,3	3,7
P28	9,7	0
P29	15,4	2,1



A comunidade fitoplanctônica de águas enriquecidas artificialmente evolui rapidamente para este estado, quando as concentrações usadas são superiores à reserva natural (Dunstan & Tenore, 1974; Stoermer *et al.*, 1978; Frey & Small, 1980; Charpy-Roubaud *et al.*, 1982; De Pauw *et al.*, 1983; Gonzalez-Rodriguez *et al.*, 1985; Teixeira *et al.*, 1986). As espécies que possuem taxa de crescimento ( $\mu_{max}$ ) mais elevada superam aquelas capazes de assimilar os elementos biogênicos em concentrações muito baixas ( $K_s$  baixo) (Eppley *et al.*, 1969; Tilman 1977; Mickelson *et al.*, 1979). Maiores, detalhes sobre este mecanismo podem ser encontrados em Maestrini & Bonin (1981).

Nos enriquecimentos efetuados, observou-se tanto para as concentrações crescentes de nitrogênio como para as de fósforo uma evolução da comunidade neste sentido. Para os dois tipos de enriquecimento, houve dominância de espécies dos gêneros **Chaetoceros** e **Nitzschia** e uma simplificação da comunidade. Esta simplificação foi mais drástica para os enriquecimentos com fósforo, pois, de um índice de diversidade inicial de 3,74 bits.cel<sup>-1</sup> (P19) atingiu-se rapidamente valores de até 0,89 bits.cel<sup>-1</sup> (P19) com o desaparecimento de 54 espécies presentes no inóculo. Para o nitrogênio, esta simplificação ocorreu de forma gradativa, num espaço de tempo maior, passando-se de um valor inicial de 4,57 bits.cel<sup>-1</sup> para um mínimo de 1,54 bits.cel<sup>-1</sup> (N56) e o desaparecimento de apenas 18 espécies em relação ao inóculo. Esta evolução apresentou-se muito mais ligada ao tempo de incubação do que propriamente às concentrações utilizadas. Modificações na composição taxonômica em experimentos com populações naturais de fitoplâncton não podem ser evitadas (O'Brien & Noyelles, 1976). Segundo Dufour & Slepoukha (1981), quanto maior a duração do experimento mais importantes serão essas alterações.

Para os enriquecimentos com nitrogênio, em que a população inicial era dominada por **Rhizosolenia stouterfothii** essa dominância só se alterou a partir do 2.º dia de incubação com o domínio de **Chaetoceros costatum** e **Chaetoceros** sp. (todos os enriquecimentos) sendo substituídos, na maioria das culturas, por **Nitzschia "delicatissima"**. Essa substituição de **Chaetoce-**

ros por **Nitzschia** ocorreu também nos experimentos com fósforo, embora neste caso o inóculo já apresentasse uma dominância de **Chaetoceros**. Esta dominância inicial de **Chaetoceros** seria explicada pelo fato de muitas espécies desse gênero serem favorecidas por concentrações elevadas de fósforo quando a quantidade de nitrogênio também é elevada (Gonzalez-Rodriguez et al., 1985).

A substituição de **Chaetoceros** por **Nitzschia** em praticamente todos os enriquecimentos seria favorecida pela presença de EDTA adicionado junto com o nitrogênio e o fósforo nos enriquecimentos. Este fato já foi observado por Charpy-Roubaud et al. (1983) em enriquecimentos com águas do Atlântico Sul e também por Gonzalez-Rodriguez et al. (1985) para enriquecimentos realizados com as águas de ressurgência de Cabo Frio. Para essas águas, a adição de EDTA e uma mistura de vitaminas provocaram uma mudança mais acentuada na composição da comunidade do que a simples adição de nitrogênio e fósforo, fazendo com que **Nitzschia** "*delicatissima*" dominasse a população. Não conhecendo até o momento nenhum dado preciso sobre a ecofisiologia dessas espécies, pode-se apenas supor que elas seriam favorecidas pela presença de algum microelemento que se tornou disponível pela presença do EDTA, ou de um fator de crescimento que estaria presente após um condicionamento das águas devido ao desenvolvimento das espécies que antecederam a sua dominância.

Os resultados do presente trabalho indicam que o enriquecimento de água natural de Cabo Frio com nitrogênio e fósforo provocam não somente um aumento de biomassa, como também uma simplificação na composição específica da comunidade. Os enriquecimentos efetuados com este objetivo e as concentrações selecionadas com base em experimentos anteriores (Gonzalez-Rodriguez & Maestrini (1984) resultaram em populações dominadas por **Chaetoceros** e **Nitzschia** que chegaram a representar 94% da comunidade. Uma modificação mais profunda da estrutura da comunidade e sua orientação para a dominância de determinadas espécies exigidas por animais mais seletivos, estaria condicionada a um enriquecimento com microelementos,

substâncias complexantes e fatores de crescimento. Conclusões semelhantes foram encontradas por Keating (1978) e Frey & Small (1980).

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENZECRI, J.P. et coll. 1973. L'analyse des donnés. II. L'analyse des correspondances. — Dunod (ed.), Paris, 619p.
- CHARPY-ROUBAUD, C.J.; CHARPY, L.J. & MAESTRINI, S.Y. 1982. Fertilité des eaux côtières nord-patagoniques: facteurs limitant la production du phytoplancton et potentialités d'exploitation mycicole. — *Oceanol. Acta*, 5: 179-188.
- CHARPY-ROUBAUD, C.J.; CHARPY, L.J. & MAESTRINI, S.Y. 1983. Nutrient enrichments of water of "Golfo San José" (Argentina 42°S), growth and species selection of phytoplankton. *PSZNI Mar. Ecol.*, 4:1-18.
- DAVIS, J.C. 1973. Statistics and data analysis in geology. — Wiley, J. & Sons Inc., New York, London, Sydney, Toronto, 565p.
- DE PAUW, N.; VERBOVEN, J. & CLAUS, C. 1985. Large-scale micro-algae production for nursery rearing of marine bivalves. — *Aquacult. Eng.* 2:27-47.
- DUFOUR, P. & SLEPOUKHA, M. 1981. Étude de la fertilité d'une lagune tropicale de Côte d'Ivoire au moyen de tests biologiques sur populations phytoplanctoniques naturelles. — *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 14 (2): 103-114.
- DUNSTAN, W.M. & TENORE, K.R. 1974. Control of species composition in enriched mass culture of natural phytoplankton populations. — *J. Appl. Ecol.*, 11: 529-536.
- EDLER, L. (ed). 1979). Recommendations for marine biological studies in the Baltic Sea. — *Phytoplankton and Chlorophyll. Baltic Marine Biology W.G.—IX. B.M.B. Publ.*: 5-38.
- EPPLEY, R.W.; ROGERS, J.N. & MACCARTHY, J.J. 1969. Half-saturation constants for uptake of nitrate and ammonium by marine phytoplankton *Limnol. Oceanogr.*, 14: 912-920.
- FREY, B.E. & SMALL, L.F. 1980. Effects of micro-nutrients and major nutrients on natural phytoplankton populations. — *J. Plank. Res.*, 2: 1-22
- GONZALEZ-RODRIGUEZ, E. 1982. La réssurgence de Cabo Frio (RJ, Brésil): fertilité, facteurs nutritionnels limitant la biomasse algale; essai d'amélioration. Thèse de Doctorat de Spécialité en Océanologie, Univ. Aix-Marseille II, 112P.
- GONZALEZ-RODRIGUEZ, E. & MAESTRINI, S.Y. 1984. The use of some agricultural fertilizers for the mass production of marine algae. — *Aquaculture*, 36: 248-256.

- GONZALEZ-RODRIGUEZ, E.; MAESTRINI, S.Y.; VALENTIN, J.L. & TENENBAUM, D.R. 1985. Variation de la composition spécifique du phytoplancton de Cabo Frio cultivé en présence d' enrichissements différentiels. — *Oceanol. Acta*, 8: 441-452.
- KEATING, K.L. 1978. Blue-green algal inhibition of diatom growth: transition from mesotrophic to eutrophic community structure. — *Science*, 199: 971-973.
- KEMPF, M.; LISSALDE, J.P. & VALENTIN, J. 1974. O plancton na ressurgência de Cabo Frio (Brasil). I Modalidades e Técnicas de trabalho no mar. — *Inst. Pesq. Mar.*, Rio de Janeiro, 83: 1-11.
- MAESTRINI, S.Y. & BONIN, D.J. 1981. Competition among phytoplankton based on inorganic macronutrients. In: *Physiological bases of phytoplankton ecology*, p. 264-278, Platt, T. (ed.), Can. Bull. Fish. Aquat. Sci., 210, 346p.
- MARGALEF, R. 1967. Ritmos, fluctuaciones y sucesión. In: *Ecología marina*, p. 454, 492, Castellvi, J. et al. (eds.), Fundacion de la Salle, Caracas, 711p.
- MICKELSON, J.J.; MASKE, H. & DUGDALE, R.C. 1979. Nutrient determined dominance in multi-species chemostat cultures of diatoms. *Limnol. Oceanogr.*, 24: 298-315.
- MOREIRA DA SILVA, P.C. 1968a. Dinâmica da ressurgência e aplicações. — *Inst. Pesq. Mar.*, Rio de Janeiro, 12: 1-31.
- MOREIRA DA SILVA, P.C. 1968b. O fenômeno da ressurgência na costa meridional brasileira. — *Inst. Pesq. Mar.*, Rio de Janeiro, 24: 1-31.
- MOREIRA DA SILVA, P.C. 1969. Projeto Cabo Frio. — *Inst. Pesq. Mar.*, Rio de Janeiro: 1-25.
- MOREIRA DA SILVA, P.C. 1971. Fertilization of the sea as a by-product of an industrial utilization of deep water. In: *Fertility of the sea*, p. 463-468, Costlow, J.D. (ed.), Gordon & Breach Sci. Publ., New York, London, Paris, T I, II, 622p.
- O'BRIEN, W.J. & DE NOYELLES Jr., F. 1976. Response of three phytoplankton bioassay techniques in experimental ponds of known limiting nutrient. — *Hydrobiol.*, 49: 65-76.
- SHANNON, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. — *Bell. Syst. Techn. J.*, 27: 379-423.
- STOERMER, E.F.; LADEWSKI, B.G. & SCHELSKE, C.L. 1978. Population responses of lake Michigan phytoplankton to nitrogen and phosphorus enrichment. — *Hydrobiol.*, 57: 249-265.
- TEIXEIRA C.; KUTNER M.B.B.; AIDAR-ARAGÃO E. & SCHMIDT G. 1986. Algal assay of limiting nutrients for phytoplankton production and growth at Flamengo Bay (Ubatuba-Brazil). — *Rev. Brasil. Biol.*, 46(3): 491-506.

- TILMAN, D. 1977. Resource competition between planktonic algae: an experimental and theoretical approach. — *Ecology*, 58: 338-348.
- UTERMÖHL, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton method. — *Mitt. int. Verein. für theor. angew. Limnol.*, 9: 1-38.
- WALNE, P.P. 1970. Studies on the food value on nineteen genera of algae to juvenile bivalves of the genera **Ostrea**, **Crassostrea**, **Mercenaria** and **Mytilus**. — *Fish. Invest. Min. Agric. Fish. Food (GB) Sér. II*, 25: 1-62.