

Produção primária e características fotossintéticas do fitoplâncton na região sueste do Brasil

Frederico Pereira BRANDINI

Universidade Federal do Paraná
Centro de Biologia Marinha
(Av. Beira Mar s/n, Pontal do Sul 83200, Paranaguá, PR)

- **Abstract:** Primary production of phytoplankton (C-14) was obtained at coastal, mid-shelf and oceanic stations off the Southeastern Brazil, with the *in situ* simulated method. Productivity rates in the euphotic zone were calculated at two stations using chlorophyll and light data and the results were 35% lower than those obtained by the simulated *in situ* method. Primary production rates varied from 0.04-0.49 gC/m²/d in winter 1982, and from 0.1-0.32 gC/m²/d in autumn 1983. In addition, photosynthetic characteristics of the phytoplankton were studied. The P x I curves and the vertical distribution of assimilation number indicated a better photo-adaptation of the sub-surface phytoplankton in relation to the surface populations.
- **Descriptors:** Phytoplankton, Primary production, Photosynthesis, Southeastern Brazil.
- **Descritores:** Fitoplâncton, Produção primária, Fotossíntese, Região sueste-Brasil.

Introdução

Apesar da complexidade estrutural da teia alimentar dos ecossistemas marinhos, é possível avaliar a produção de peixes no mar com base nas medidas de produção primária (Ryther, 1969) ou, pelo menos, prever diferenças anuais dos estoques comerciais associados aos ciclos de produção de acordo com a região (Cushing, 1975). Estudos realizados na Corrente da Califórnia, identificaram as relações entre o tamanho da população de larvas de anchova e o ciclo de produção primária do fitoplâncton (Smith & Eppley, 1982).

A região sueste do Brasil contribui com uma fração significativa da produção pesqueira nacional (Paiva, 1986; Matsuura, 1986a), predominantemente sardinha, atum e bonito, cujos ciclos de vida estão evidentemente associados à produção fitoplanctônica. As flutuações anuais no recrutamento dessas espécies podem ser explicadas por fenômenos oceanográficos cíclicos (termoclina sazonal) ou não previsíveis (ressurgências) que alteram a estabilidade da coluna de água e a estrutura taxonômica do fitoplâncton, a exemplo do que foi observado por Lasker (1978) ao estudar o ciclo de vida da anchova da Califórnia (*Engraulis mordax*).

As ressurgências da Água Central do Atlântico Sul ao longo do talude continental da região sueste do Brasil (Mesquita *et al.*, 1983; Brandini, 1990) deslocam a

termoclina sazonal em direção à superfície e transformam provisoriamente o sistema de "produção regenerativa" em "produção nova" (*sensu* Dugdale & Goering, 1967), alterando totalmente a densidade e a composição específica do fitoplâncton em áreas afastadas da costa (Brandini *et al.*, 1989). Esses fenômenos devem afetar, por exemplo, os ciclos de vida do "bonito" (*Katsuwonus pelamis*) cujos estoques concentram-se ao longo do talude continental (Jablonski & Matsuura, 1985) sendo indiretamente favorecidos pelas ressurgências na borda da plataforma.

Com exceção dos trabalhos de Aidar-Aragão *et al.* (1980) e Vieira & Teixeira (1981), que apresentam valores de fotossíntese e excreção do fitoplâncton na superfície, as estimativas da taxa de produção primária na zona eufótica sobre a plataforma intermediária e áreas oceânicas adjacentes da região sueste foram iniciadas recentemente durante as expedições oceanográficas da Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha (Operação Sueste - DHN, 1985, 1986a,b). Uma ampla malha de estações foi amostrada em regime sazonal com o objetivo de estudar as características fotossintéticas do fitoplâncton e suas relações com a estrutura oceanográfica do ambiente pelágico. Os parâmetros ambientais e a produtividade potencial das diferentes massas de água foram estudados em vários períodos sazonais (Brandini, 1988a, 1990), e a

distribuição espacial do fitoplâncton em relação ao regime hidrográfico já foi discutida em alguns desses períodos (Brandini, 1988b; Brandini & Moraes, 1986).

O presente trabalho contém dados preliminares de produção primária na coluna eufótica e características fotossintéticas do fitoplâncton obtidos durante o inverno de 1982 e outono de 1983.

Material e métodos

O N/Oc. "Almirante Saldanha" (DHN/MM) percorreu uma malha formada por 91 estações oceanográficas entre 16 de julho e 21 de agosto de 1982 (Operação Sueste I), e entre 3 e 31 de maio de 1983 (Operação Sueste II). As estações indicadas na Figura 1 foram selecionadas para experimentos de fotossíntese e medidas de produção primária do fitoplâncton em áreas costeiras e oceânicas (Fig.1) utilizando-se a técnica do C-14 (Steemann-Nielsen, 1952). A Tabela 1 apresenta os dados de posicionamento, profundidade e data em cada estação.

As medidas de produção primária na zona eufótica foram obtidas pelo método "in situ" simulado (Jitts, 1963; Volleinweider, 1969) de acordo com o seguinte procedimento:

As amostras de água foram obtidas com garrafa de Van Dorn em cinco níveis de profundidade equivalentes a 100 (superfície), 60, 30, 16 e 1 % da luz incidente na superfície, com base no coeficiente de extinção da luz (k), de acordo com Strickland (1958); sub-amostras foram inoculadas com $\text{NaH}_2^{14}\text{CO}_3$ ($30\mu\text{Ci}/1000\text{ ml}$), colocadas em dois frascos claros e um escuro de 300 ml (região oceânica) ou 125 ml (região costeira) e incubadas com luz natural durante cinco horas. Foram utilizados filtros neutros constituídos por telas de aço inoxidável com aberturas de malha adequadas para cada porcentagem de luz, simulando as condições luminosas originais de cada amostra. A temperatura de incubação foi mantida constante por meio de um fluxo contínuo de água de superfície através do incubador. Após o período de incubação, as amostras foram filtradas em filtros Millipore AA ($0.8\mu\text{m}$) e a atividade dos filtros foi determinada posteriormente pela técnica da cintilação líquida (Volleinweider, 1969). As taxas de fotossíntese foram calculadas com as equações de Strickland & Parsons (1972) e a produção na zona eufótica durante o período de incubação foi multiplicada pela razão entre a RST (radiação solar total) diária e a RST do mesmo período para se estimar a taxa de produção diária. Os valores obtidos foram cerca de sete vezes as taxas de produção por hora indicadas na Tabela 4. Portanto, nas estações 1, 12 e 58, onde não foi possível a obtenção de curvas diárias de RTS por motivos técnicos, a taxa de produção por hora também foi multiplicada por sete para se obter uma estimativa melhor das taxas diárias. O mesmo procedimento foi adotado nos experimentos da comissão de outono (maio/1983).

Nas estações 62 e 66 foi utilizado o método da clorofila (Ryther & Yentsch, 1957), simultaneamente ao método "in situ" simulado, que exige as seguintes informações e condições:

- variação diária da radiação solar na superfície

- relação fotossíntese x luz de uma amostra superficial
- distribuição vertical homogênea da clorofila-*a* na zona eufótica
- coeficiente de extinção da luz, k

A radiação solar total (RST) incidente na superfície foi obtida com um radiômetro KAHLSICO-268 WA310, com leituras a cada 30 minutos entre o nascer e o por do sol. As curvas de fotossíntese x luz foram determinadas com o mesmo incubador de luz natural utilizado para as incubações com o método "in situ" simulado. A concentração de clorofila-*a* das amostras foi medida pelo método tricromático (Strickland & Parsons, 1972) após a extração dos pigmentos com acetona 90%, utilizando-se um espectrofotômetro Micronal B280 e as equações do SCOR-UNESCO (1966). O coeficiente de extinção da luz (k) foi obtido com o disco de Secchi de acordo com Poole & Atkins (1929).

Com essas informações, determina-se primeiro a variação diária da radiação solar nos níveis selecionados ao longo da zona eufótica através da equação:

$$I_d = I_0.e^{(-kd)} \quad (\text{Strickland, 1958}) \quad (\text{eq. 1})$$

onde: I_d = radiação solar na profundidade d
 I_0 = radiação solar na superfície
 k = coeficiente de extinção da luz

Em seguida, calcula-se a taxa de fotossíntese por unidade de clorofila-*a* em qualquer instante, nos níveis selecionados, a partir dos dados de radiação solar, através da equação:

$$F = \frac{F_{\text{max}} \cdot I}{I + I_k} \quad (\text{Parsons \& Takahashi, 1973}) \quad (\text{eq. 2})$$

onde:

F = número de assimilação (fotossíntese/clorofila-*a*)
 F_{max} = taxa máxima de fotossíntese em luz saturante
 I = intensidade de radiação
 I_k = índice de foto-adaptação (Talling, 1957)

Para se obter a taxa de produção primária na zona eufótica por esse método, o valor de F (número de assimilação) foi integrado graficamente ao longo do eixo tempo, obtendo-se as taxas de produção em $\text{mgC}/\text{mgClor-}a/\text{dia}$ em cada nível de luz. Esses valores foram multiplicados pela concentração de clorofila-*a* transformando-os em $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{dia}$. Finalmente, a produtividade diária foi integrada ao longo da zona eufótica e o valor final expresso em $\text{gC}/\text{m}^2/\text{dia}$.

Durante a comissão de inverno (julho/agosto de 1982) foram obtidas curvas de fotossíntese x luz nas estações 17, 38, 62 e 66 utilizando-se as porcentagens de luz disponíveis no incubador de luz natural (100, 60, 30, 16 e 1%). Na comissão de outono, além da curva de fotossíntese x luz obtida na superfície da estação 79, amostras de superfície das estações 64, 68, 72 e 83 foram fracionadas com redes de náilon de $20\mu\text{m}$ após a incubação, para se determinar as contribuições relativas do nano- e do microplâncton no valor total da produção.

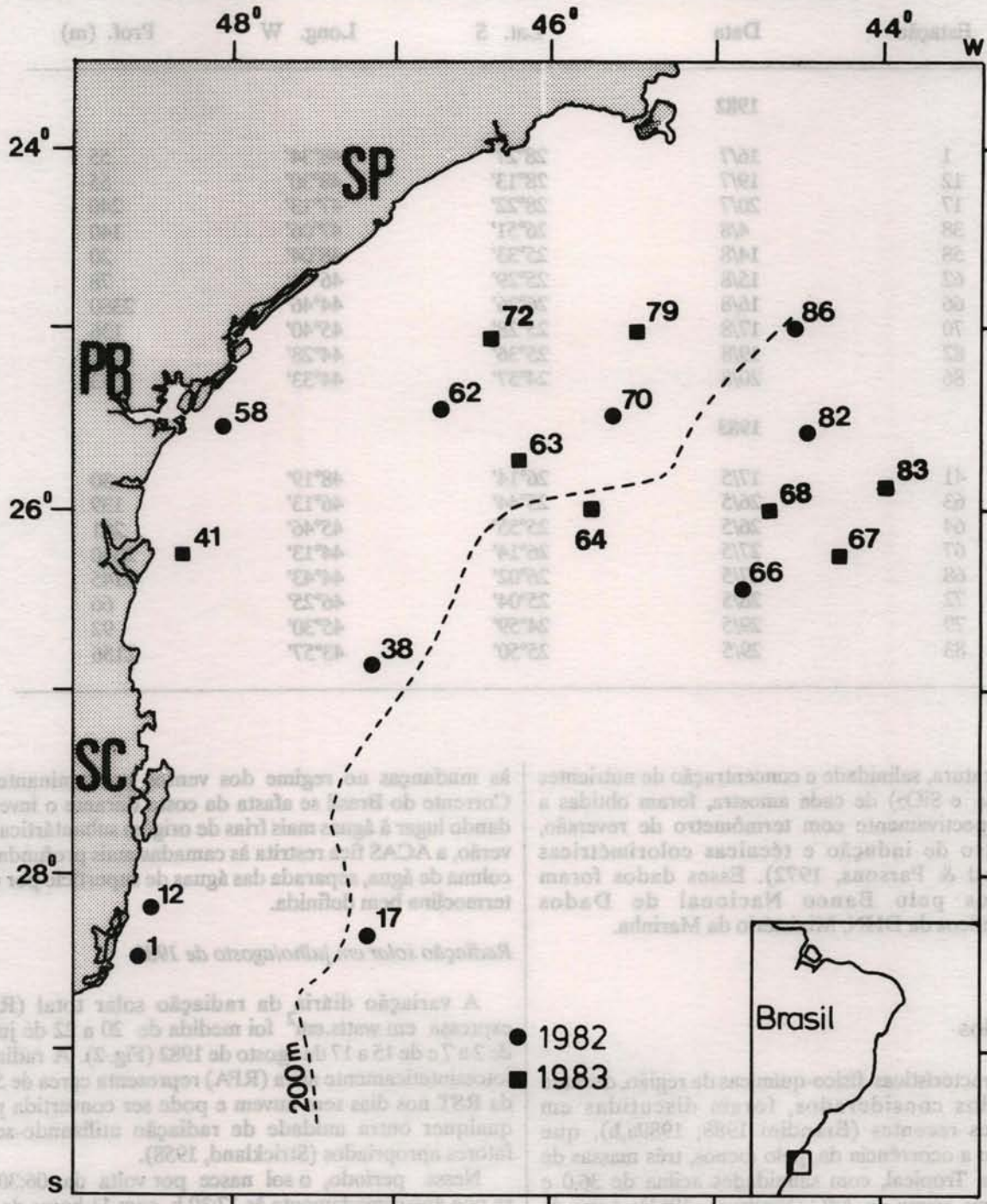


Fig. 1. Mapa da região estudada e posição das estações de produção primária.

Tabela 1. Identificação das estações de coleta

Estação	Data	Lat. S	Long. W	Prof. (m)
1982				
1	16/7	28°27'	48°34'	55
12	19/7	28°13'	48°30'	55
17	20/7	28°22'	47°13'	240
38	4/8	26°51'	47°06'	140
58	14/8	25°33'	48°04'	20
62	15/8	25°29'	46°44'	78
66	16/8	26°26'	44°46'	2380
70	17/8	25°28'	45°40'	136
82	19/8	25°36'	44°28'	1925
86	20/8	24°57'	44°33'	663
1983				
41	17/5	26°14'	48°19'	30
63	26/5	25°44'	46°13'	139
64	26/5	25°55'	45°46'	281
67	27/5	26°14'	44°13'	2340
68	27/5	26°02'	44°43'	2145
72	28/5	25°04'	46°25'	66
79	29/5	24°59'	45°30'	92
83	29/5	25°50'	43°57'	2156

Temperatura, salinidade e concentração de nutrientes (NO_3 , PO_4 e SiO_2) de cada amostra, foram obtidas a bordo respectivamente com termômetro de reversão, salinômetro de indução e técnicas colorimétricas (Strickland & Parsons, 1972). Esses dados foram fornecidos pelo Banco Nacional de Dados Oceanográficos da DHN, Ministério da Marinha.

Resultados

As características físico-químicas da região, durante os períodos considerados, foram discutidas em publicações recentes (Brandini 1988; 1989a,b), que mencionam a ocorrência de, pelo menos, três massas de água: Água Tropical, com salinidades acima de 36,0 e temperaturas acima de 20°C (Emilsson, 1961); Água de Plataforma, com salinidades entre 35,0 e 36,0 e temperaturas acima de 20°C (Emilsson, *op. cit.*); e Água Central do Atlântico Sul - ACAS, localizada em camadas sub-superficiais com salinidades entre 35,0 e 36,0 e temperaturas entre 10 e 20°C (Sverdrup *et al.*, 1942). As características dinâmicas dessas massas de água foram originalmente descritas por Emilsson (*op. cit.*) e recentemente descritas por Miranda (1982), e Matsuura (1986b). Na maior parte do ano a Água Tropical, representada pela Corrente do Brasil, domina as áreas oceânicas e parte da plataforma continental. Entretanto, devido à proximidade com a Convergência Subtropical e

às mudanças no regime dos ventos predominantes, a Corrente do Brasil se afasta da costa durante o inverno, dando lugar à águas mais frias de origem subantártica. No verão, a ACAS fica restrita às camadas mais profundas da coluna de água, separada das águas de superfície por uma termoclina bem definida.

Radiação solar em julho/agosto de 1982

A variação diária da radiação solar total (RST) expressa em watts.cm^2 foi medida de 20 a 22 de julho; de 2 a 7 e de 15 a 17 de agosto de 1982 (Fig. 2). A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) representa cerca de 50% da RST nos dias sem nuvem e pode ser convertida para qualquer outra unidade de radiação utilizando-se os fatores apropriados (Strickland, 1958).

Nesse período, o sol nasce por volta das 06:30 h e se põe aproximadamente às 17:30 h, com 11 horas de luz. Os maiores valores de RST foram observados entre 10 e 14:00 h e o máximo de 65 watts.cm^2 foi observado às 11:30 h do dia 4 de agosto. O céu esteve parcialmente encoberto nos dias 22 de julho e 5, 6 e 17 de agosto, e totalmente encoberto nos dias 2 de julho e 7 de agosto. Os dias 20 e 21 de julho, e 3, 4, 15 e 16 de agosto apresentaram um padrão de variação diária muito próximo da curva de Gauss, característica dos dias sem nuvens. A parte hachuriada de alguns gráficos representa períodos do dia em que a RST foi saturante para as reações fotossintéticas na superfície, de acordo com as curvas FxL da Figura 5.

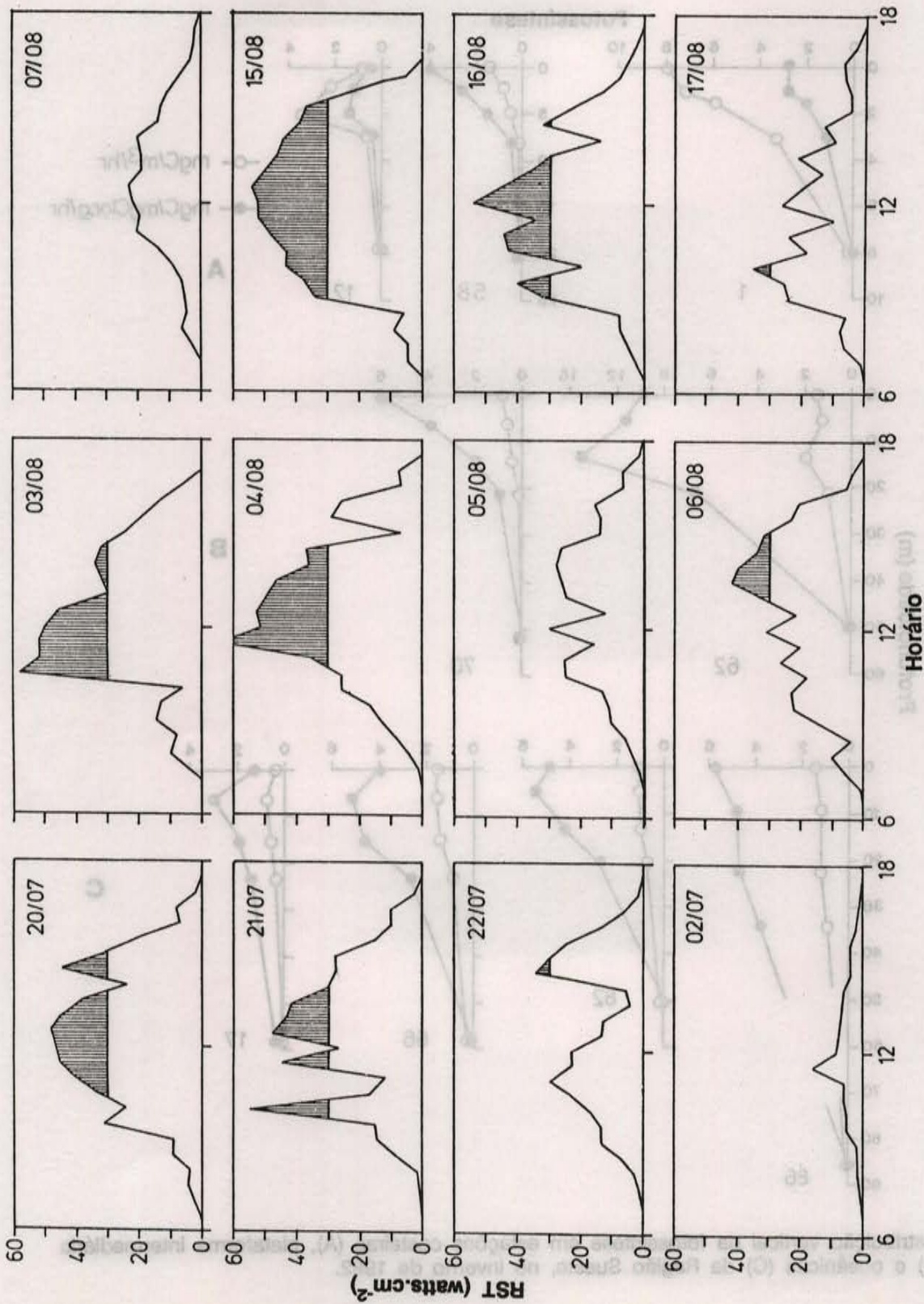


Fig. 2. Radiação solar total (RST) em watts.cm⁻² nos dias selecionados do inverno de 1982, na Região Sueste do Brasil. A parte hachuriada representa os períodos com intensidade de luz saturante para a fotossíntese do fitoplâncton.

A taxa de fotossíntese por unidade de volume de água
 variou de 0,01 a 8,09 mgC/m³. Os valores máximos
 foram obtidos na camada superficial das estações
 costeiras, decrescendo gradativamente em direção à base
 da zona eufótica. Nas áreas intermediárias da

zona eufótica vertical da fotossíntese
 A figura 3 mostra a distribuição vertical da taxa de
 fotossíntese em zonas eufóticas de áreas costeiras,
 intermediárias e oceânicas, em julho/agosto de 1982.

Distribuição vertical da fotossíntese

A Figura 3 indica a distribuição vertical da taxa de fotossíntese na zona eufótica de áreas costeiras, intermediárias e oceânicas, em julho/agosto de 1982.

A taxa de fotossíntese por unidade de volume de água variou de 0,01 a 8,09 mgC/m³/h. Os valores máximos foram obtidos na camada superficial em estações costeiras, decrescendo gradualmente em direção à base da zona eufótica. Nas áreas intermediárias da

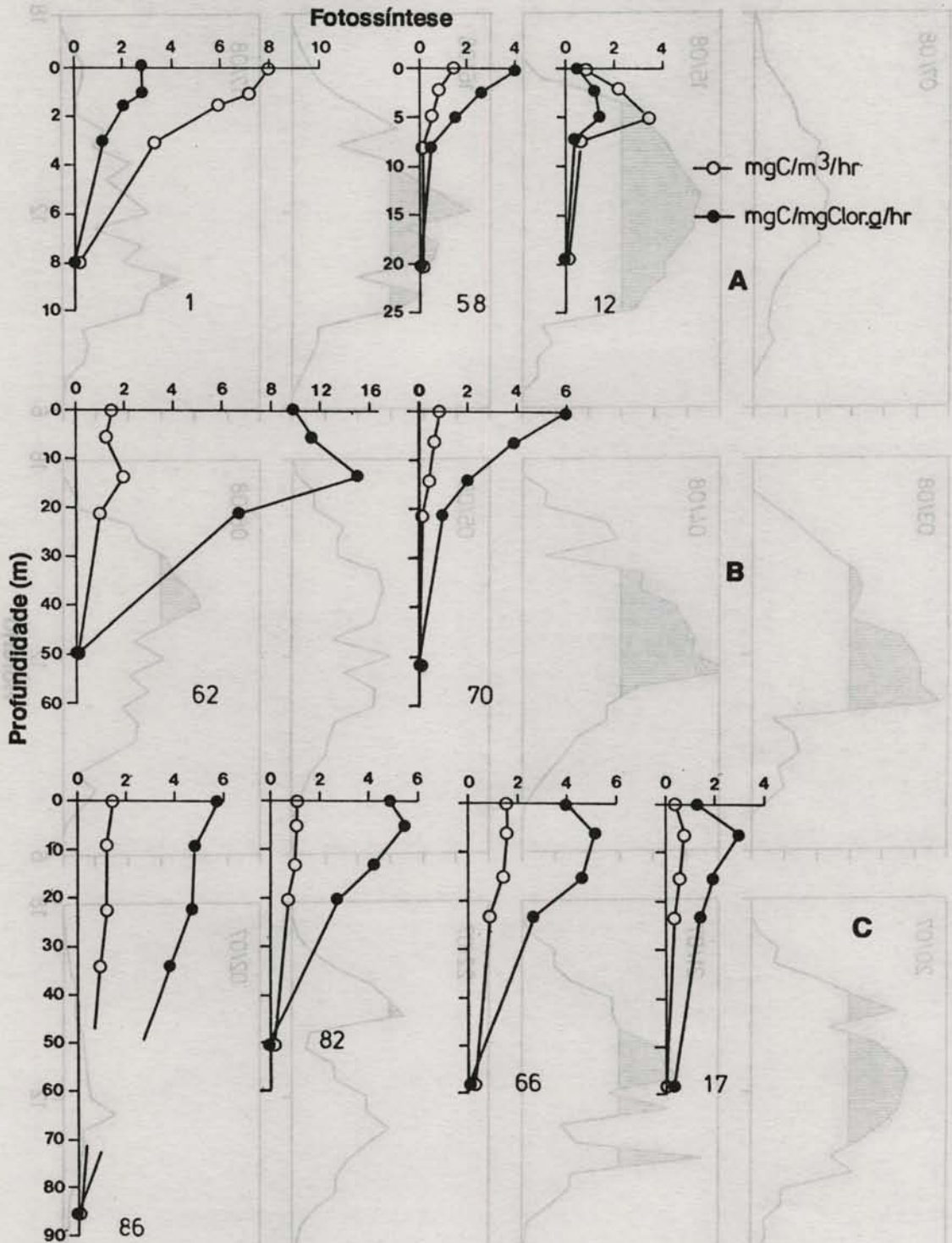


Fig. 3. Distribuição vertical da fotossíntese em estações costeiras (A), plataforma intermediária (B) e oceânicas (C) da Região Sueste, no inverno de 1982.

plataforma e na zona oceânica as taxas foram mais baixas e a distribuição vertical foi homogênea. Quando expressa por unidade de clorofila-*a* (número de assimilação) a fotossíntese apresentou um padrão de distribuição vertical semelhante em todas as estações, com máximos sub-superficiais variando entre 1,38 e 15,07 mgC/mgClor.a/h (est. 12 e 62, respectivamente) decrescendo em direção à base da zona eufótica. Em maio de 1983, a fotossíntese por unidade de volume de água e por unidade de clorofila-*a* (Fig. 4) variaram respectivamente de 0,01 a 3,79 mgC/m³/h e de 0,04 a 6,11 mgC/mgClor.a/h. Nas estações 63 e 79 (intermediárias) e na estação oceânica 67, os máximos foram obtidos na superfície. Na estação costeira 41 o máximo foi observado a 2,5 m. O padrão de distribuição vertical foi praticamente o mesmo observado no inverno, ou seja, valores máximos na superfície decrescendo regularmente até um mínimo na base da zona eufótica.

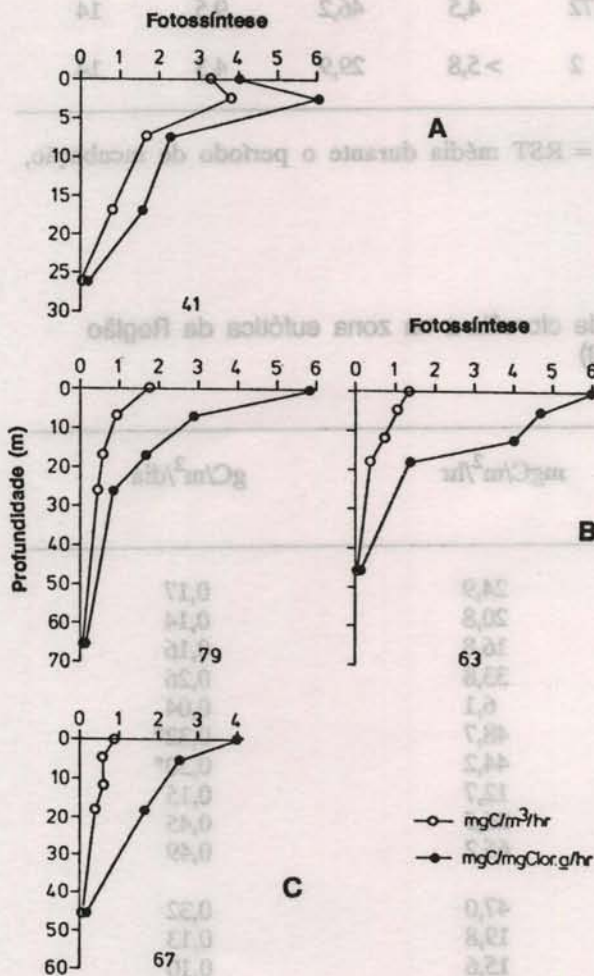


Fig. 4. Distribuição vertical da fotossíntese em estações costeiras (A), plataforma intermediária (B) e oceânicas (C) da Região Sueste, no outono de 1983.

Taxas de fotossíntese em amostras fracionadas

A Tabela 2 apresenta as taxas de fotossíntese em amostras fracionadas no outono de 1983. O nanofitoplâncton (<20 μm) fotoassimilou mais de 70% do carbono inorgânico nas estações 64 e 60, 96% na estação 72 e 100% na estação 83.

Tabela 2. Taxas de fotossíntese total e fracionadas, em amostras de superfície na Região Sueste (maio de 1983)

Est.	Dia	Total	mgC/m ³ /hr	% total
64	26	0,83	0,59	71
68	27	0,40	0,30	75
72	28	1,60	1,53	96
83	29	0,59	0,59	100

Relações fotossíntese x luz

Na Figura 5 estão representadas as relações fotossíntese x luz na superfície das estações 17, 38, 62 e 66 durante o inverno de 1982. A taxa máxima de fotossíntese obtida sob intensidades saturantes de luz, Fmax, variou de 1,50 a 9,53 mgC/mgClor.a/hr (est. 17 e 62, respectivamente). O índice de fotoadaptação - I_k (Talling, 1957) variou de 7 a 14 watts.cm² nas estações 17 e 62, respectivamente. Em nenhum experimento houve inibição da fotossíntese em altas intensidades de radiação.

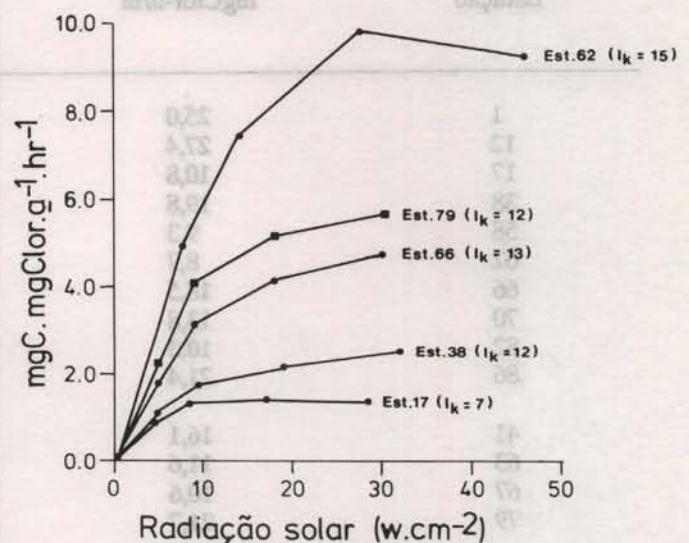


Fig. 5. Relações fotossíntese x luz em amostras de superfície no inverno de 1982 (●) e outono de 1983 (■). Região Sueste do Brasil.

Os parâmetros fotossintéticos e os dados físico-químicos de cada estação estão sumarizados na Tabela 3. As estações 62 (plataforma intermediária) e 66 (oceânica) apresentaram maiores Fmáx e Ik. Nessas mesmas estações, as concentrações de nutrientes foram mais elevadas, principalmente na estação 62. Os dados de temperatura e salinidade indicam que todas as estações estavam localizadas em áreas oligotróficas dominadas pela Corrente do Brasil.

Produção primária

As taxas de produção primária na zona eufótica estão indicadas na Tabela 4. No inverno de 1982, a produção variou de 6,1 a 65,1 mgC/m²/hr (= 0,04 a 0,49 gC/m²/dia) com o valor mínimo na estação 58 localizada em frente à Baía de Paranaguá e o máximo obtido na estação oceânica 86, localizada sobre o talude continental.

Tabela 3. Parâmetros físico-químicos e fotossintéticos na superfície de áreas de plataforma e oceânicas. Região Sueste, inverno de 1982

Est.	T°C	S‰	SiO ₂	PO ₄	NO ₃	N/P	I	Fmáx	IK
17	21,0	36,2	2,0	0,03	1,61	-	28,6	1,5	7
38	21,5	36,5	2,7	0,22	1,21	5,5	32,0	2,5	12
62	19,5	35,2	12,4	0,60	2,72	4,5	46,2	9,5	14
66	21,8	36,5	5	0,34	2	>5,8	29,9	4,3	14

Obs.: nutrientes em $\mu\text{mol/l}$; Fmáx em mgC/mgClor-a/hr; I = RST média durante o período de incubação, em watts.cm²

Tabela 4. Taxas de produção primária e concentração de clorofila-a na zona eufótica da Região Sueste (julho/agosto de 1982 e maio de 1983)

Estação	mgClor-a/m ²	mgC/m ² /hr	gC/m ² /dia
1	25,0	24,9	0,17
12	27,4	20,8	0,14
17	10,8	16,8	0,16
38	19,8	33,8	0,26
58	9,3	6,1	0,04
62	8,7	48,7	0,32*
66	18,5	44,2	0,30*
70	13,8	12,7	0,15
82	10,3	26,5	0,45
86	21,4	65,2	0,49
41	16,1	47,0	0,32
63	11,6	19,8	0,13
67	10,6	15,6	0,10
79	21,7	27,27	0,19

(*) = 0,20 pelo método da clorofila

No outono de 1983, o valor mínimo de 15,66 $\text{mgC/m}^2/\text{hr}$ ($= 0,10 \text{ gC/m}^2/\text{dia}$) foi obtido na estação oceânica 67, e o valor máximo de 47,0 $\text{mgC/m}^2/\text{hr}$ ($= 0,32 \text{ gC/m}^2/\text{dia}$) foi observado na estação 41, no litoral norte de Santa Catarina. Valores intermediários de 19,8 e 27,2 $\text{mgC/m}^2/\text{hr}$ ($= 0,13$ e $0,19 \text{ gC/m}^2/\text{dia}$) foram obtidos respectivamente nas estações intermediárias 63 e 79, sobre a plataforma intermediária de São Paulo.

A variação diária da radiação solar total e da taxa de fotossíntese, em todos os níveis de luz amostrados nas estações 62 e 66 (Fig. 6), foram obtidas a partir das equações (1) e (2). O cálculo da produção primária na zona eufótica, pelo método da clorofila, resultou valores obtidos praticamente os mesmos em ambas as estações, equivalentes a 0,20 $\text{gC/m}^2/\text{dia}$.

Discussão

A maior parte das informações sobre as taxas de produção primária do fitoplâncton marinho foram obtidas com a técnica do C-14. Apesar das dificuldades para se aplicar a técnica nas condições ideais sugeridas por Colijn *et al.* (1983), a técnica do C-14 continua sendo amplamente utilizada na maioria dos estudos de produtividade, principalmente quando realizados em áreas afastadas da costa.

No presente trabalho, dois métodos diferentes de estimativas de produção orgânica na zona eufótica foram empregados simultaneamente em duas estações oceanográficas: a estação 62, localizada em águas de plataforma, com menor salinidade e temperatura e maior concentração de sílica e fósforo; e a estação 66, localizada

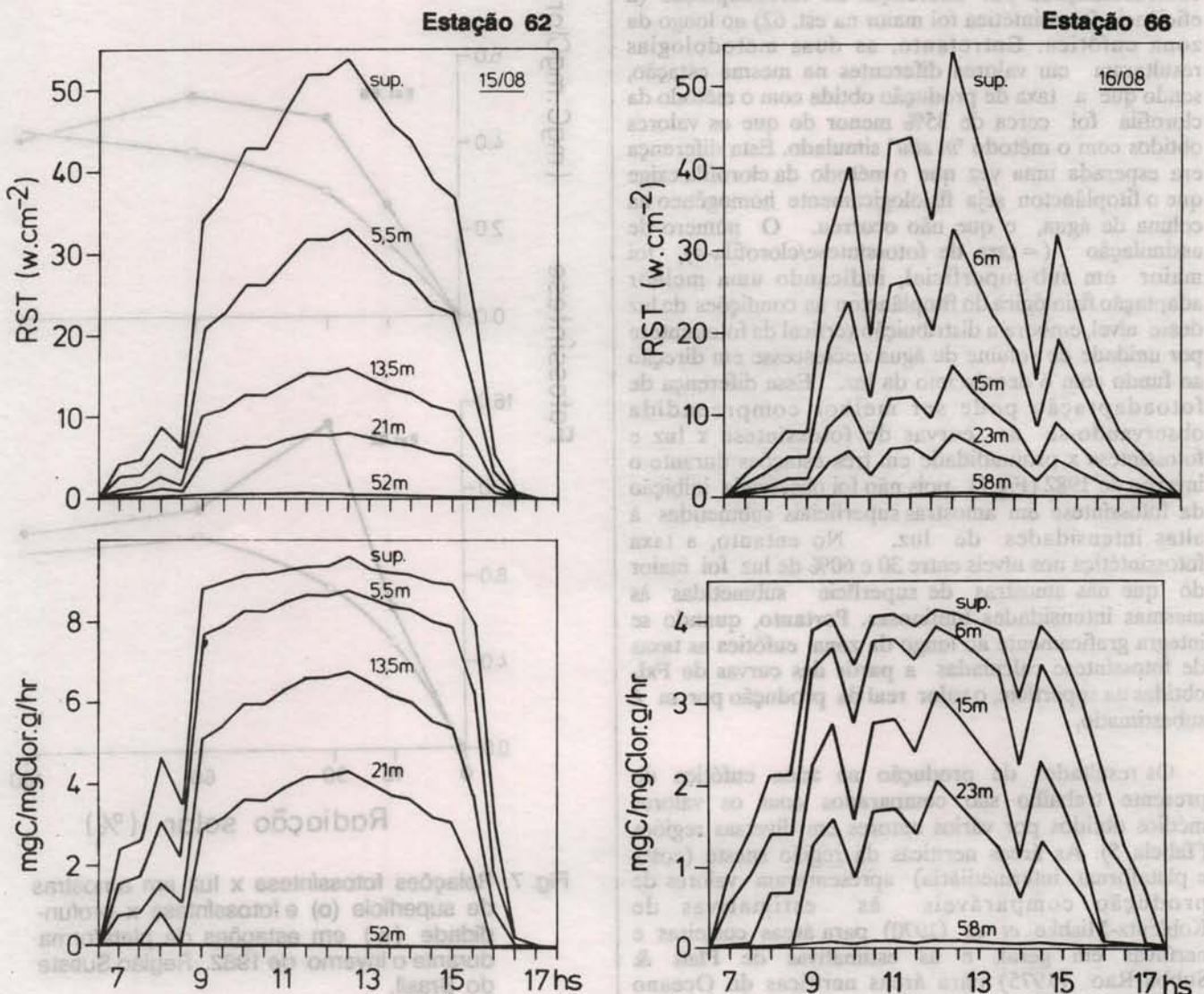


Fig. 6. Variação diária da radiação solar total (RST) e da taxa de fotossíntese (calculada a partir da equação 2) nas profundidades correspondentes aos níveis de 100, 60, 30, 16 e 1% de luz incidente na superfície, no inverno de 1982. Região Sueste do Brasil. Est. 62 e Est. 66.

em área oceânica com baixa concentração desses nutrientes. A concentração de nitrogênio inorgânico (principalmente nitrato) foi limitante em ambas as estações, com razões N:P em torno de 4,5 e 5,8 nas estações 62 e 66, respectivamente. De acordo com Brandini (1986) as concentrações de amônia obtidas na superfície dessas estações foram significativamente baixas quando comparadas com o nitrato (0,04 e 0,28 $\mu\text{mol/l}$ nas estações 62 e 66, respectivamente) e, portanto, não foram consideradas no cálculo da razão N:P. Apesar de localizadas em massas de água diferentes, com diferentes concentrações de nutrientes e clorofila-*a*, as taxas de produção foram praticamente iguais quando obtidas com o método da clorofila e muito semelhantes quando obtidas com o método "in situ" simulado. Provavelmente, a diferença na concentração de clorofila (menor na est. 62 e maior na est. 66) foi contrabalançada por diferenças de fotoadaptação (a eficiência fotossintética foi maior na est. 62) ao longo da zona eufótica. Entretanto, as duas metodologias resultaram em valores diferentes na mesma estação, sendo que a taxa de produção obtida com o método da clorofila foi cerca de 35% menor do que os valores obtidos com o método "in situ" simulado. Esta diferença era esperada uma vez que o método da clorofila exige que o fitoplâncton seja fisiologicamente homogêneo na coluna de água, o que não ocorreu. O número de assimilação (= taxa de fotossíntese/clorofila-*a*), foi maior em sub-superficial, indicando uma melhor adaptação fisiológica do fitoplâncton às condições de luz desse nível, embora a distribuição vertical da fotossíntese por unidade de volume de água decrescesse em direção ao fundo com o decréscimo da luz. Essa diferença de fotoadaptação pode ser melhor compreendida observando-se as curvas de fotossíntese x luz e fotossíntese x profundidade em três estações durante o inverno de 1982 (Fig.7), pois não foi observada inibição da fotossíntese em amostras superficiais submetidas à altas intensidades de luz. No entanto, a taxa fotossintética nos níveis entre 30 e 60% de luz foi maior do que nas amostras de superfície submetidas às mesmas intensidades luminosas. Portanto, quando se integra graficamente ao longo da zona eufótica as taxas de fotossíntese calculadas a partir das curvas de FxL obtidas na superfície, o valor real da produção por m é subestimado.

Os resultados de produção na zona eufótica do presente trabalho são comparados com os valores médios obtidos por vários autores em diversas regiões (Tabela 5). As áreas neríticas da região sueste (costa e plataforma intermediária) apresentaram valores de produção comparáveis às estimativas de Koblentz-Mishke *et al.* (1970) para áreas costeiras e neríticas em geral, e às estimativas de Platt & Subba-Rao (1975) para áreas neríticas do Oceano Atlântico e Pacífico. Entretanto, os limites de variação obtidos no presente trabalho foram inferiores aos valores apresentados por Sorokin (1963) e Estrada (1974) para as áreas de ressurgência no noroeste da África. As áreas oceânicas da região sueste, apesar de dominadas pela massa de Água Tropical oligotrófica da Corrente do Brasil, apresentaram valores de produção superiores aos dos giros subtropicais (Koblentz-Mishke *et al.*, 1970).

Teixeira & Tundisi (1967) obtiveram valores 10x inferiores em águas do Atlântico Equatorial.

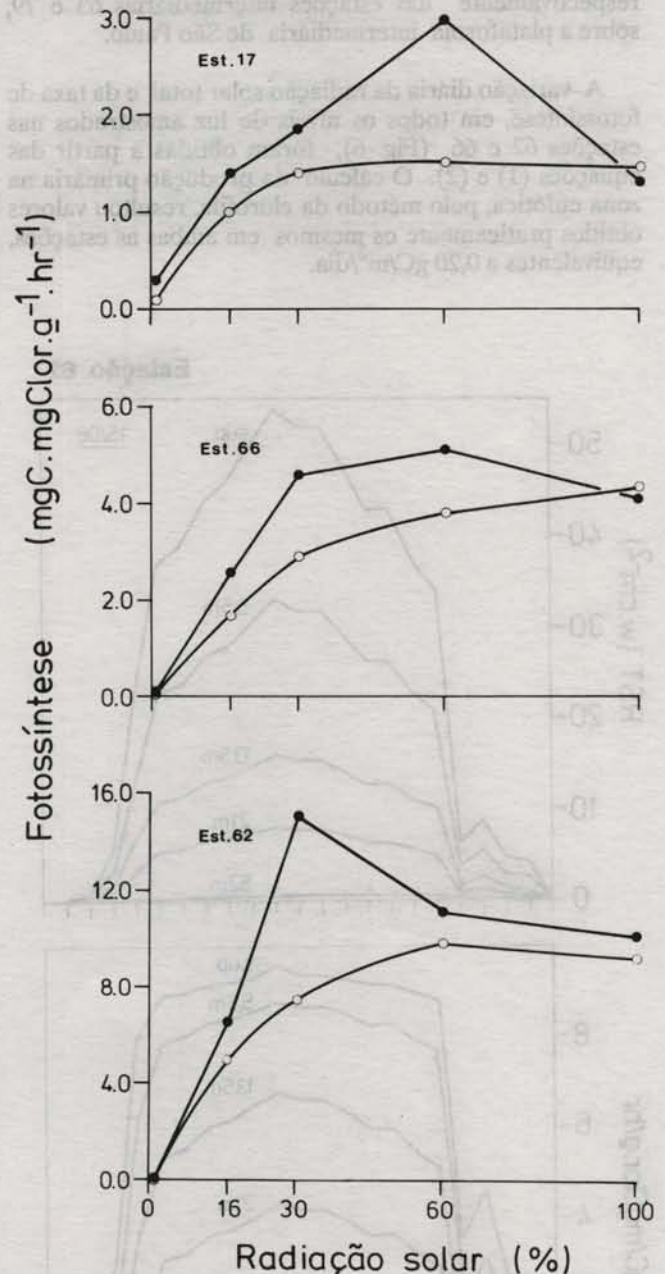


Fig. 7. Relações fotossíntese x luz em amostras de superfície (o) e fotossíntese x profundidade (●) em estações de plataforma durante o inverno de 1982. Região Sueste do Brasil.

Brandini (1988a, 1990) analisou a estrutura oceanográfica da área estudada e comentou a sua semelhança com as regiões sueste dos Estados Unidos e Austrália. Nos mesmos períodos estudados no presente trabalho, foram detectadas zonas de mistura entre

massas de água subantárticas e tropicais na altura da costa catarinense, principalmente no inverno, representando os limites extremos da Convergência Subtropical associados à ressurgências da Água Central do Atlântico Sul (Matsuura, 1986). A mistura de massas de água provoca uma variação geográfica acentuada de fatores ambientais (temperatura, nutrientes) que afetam a distribuição da biomassa e composição do fitoplâncton. Isto explica parcialmente a grande variabilidade nas taxas de produção obtidas na região sueste. As estações 1, 12, 30 e 58 estão localizadas em áreas costeiras e intermediárias, comparativamente mais ricas em nutrientes do que a Água Tropical.

Entretanto, também ocorreram diferenças marcantes na produção, em estações localizadas na mesma massa de água, provavelmente associadas à diferenças na estrutura taxonômica da comunidade fitoplanctônica. A análise de amostras de fitoplâncton total e os estudos de distribuição geográfica dos principais grupos taxonômicos (Brandini, 1988b) revelaram que, com exceção dos fitoflagelados que dominaram em todas as estações, as áreas costeiras e intermediárias da costa de Santa Catarina foram dominadas por diatomáceas, dinoflagelados e silicoflagelados. Cocolitoforídeos e cianofíceas dominaram no restante das estações.

Além dos aspectos metodológicos discutidos e da heterogeneidade ambiental que ocorre na coluna eufótica da região sueste, a produção primária pode ter sido subestimada devido à excreção fitoplanctônica. De acordo com Vieira & Teixeira (1981) em amostras

oceânicas da região sueste, até 30% do carbono fotoassimilado pode ser excretado durante o período de incubação, com valores relativos crescentes em direção às águas oceânicas.

Em publicações recentes (Brandini *et al.*, 1989; Brandini, 1990) foi discutida a importância dos máximos subsuperficiais de clorofila nos estudos de produção e como eles afetam a produção anual em regiões de plataforma. Holligan *et al.* (1984) mencionaram que, em áreas oceânicas, esses picos ocorrem na altura de 1% de luz não contribuindo significativamente para a produção anual, ao passo que, em áreas de plataforma, eles são mais desenvolvidos no verão em profundidades entre 5-10% de luz, perfazendo uma fração significativa da produção anual. No presente trabalho, a coleta de água foi feita em níveis discretos utilizando-se garrafas de Van Dorn. Certamente, esta não é a metodologia mais adequada nos estudos de produção na coluna de água uma vez que os "picos verdadeiros" de clorofila são dificilmente detectados.

Além dos fatores ambientais e metodológicos responsáveis pela variação nas medidas de produção, ainda restam os fatores biológicos como herbivoria, excreção, adaptação fisiológica à luz, microdistribuição, etc., que afetam a taxa de produção, mesmo em uma massa de água homogênea do ponto de vista físico-químico. De qualquer modo, apesar das dúvidas quanto aos valores absolutos, as variações ou as homogeneidades espaciais podem ser detectadas se a metodologia for padronizada, dando uma idéia básica

Tabela 5. Taxas diárias de produção na zona eufótica da Região Sueste do Brasil e em outros oceanos

Região	gC/m ² /dia		Referência
	Nerítica	Oceânica	
Oceanos			
Índico	0,71	0,23	Platt & Subba Rao (1975)
Atlântico	0,41	0,28	Platt & Subba Rao (1975)
Pacífico	0,52	0,15	Platt & Subba Rao (1975)
Áreas			
costeiras	0,25-0,50		Koblentz-Mishke <i>et al.</i> (1970)
neríticas	0,50		Koblentz-Mishke <i>et al.</i> (1970)
equatoriais	0,10-0,50		Koblentz-Mishke <i>et al.</i> (1970)
giros subtropicais	0,10		Koblentz-Mishke <i>et al.</i> (1970)
NW África	> 0,1 0,2-1,0		Sorokin (1963) Estrada (1974)
Atlântico Equatorial	0,01-0,05		Teixeira & Tundisi (1967)
Região Sueste			
costa	0,04-0,32		Presente trabalho
plataforma intermediária	0,13-0,45		Presente trabalho
área oceânica	0,10-0,49		Presente trabalho

sobre as relações entre produção e parâmetros ambientais.

Resumo

Taxas de produção primária do fitoplâncton (C-14) foram obtidas em 14 estações da plataforma intermediária e áreas oceânicas da região sueste do Brasil, no inverno de 1982 e outono de 1983. O cálculo da produção na zona eufótica foi feito utilizando-se o método *in situ* simulado. Em duas ocasiões, a taxa de produção foi estimada com base nos dados de clorofila-*a* e radiação solar diária, e os resultados obtidos foram comparados com os obtidos pelo método *in situ* simulado.

A taxa de produção variou de 0,04-0,49 gC/m²/d. Os resultados obtidos com o método da clorofila foram cerca de 35% menores.

Além dos experimentos de produção, foram estudadas as características fotossintéticas do fitoplâncton através da relação fotossíntese x luz. O número de assimilação cresceu com a profundidade indicando uma fotoadaptação das populações fitoplanctônicas dos estratos intermediários da zona eufótica (30-60% de luz), em relação às populações de superfície.

Agradecimentos

Agradeço aos colegas João R. M. Silva e Carola A. C. Thamm pelo auxílio nos trabalhos de coleta, e a Ricardo Queiroz pelas análises das amostras de C-14 no Instituto Oceanográfico da USP. Aos oficiais e demais tripulantes do N/Oc. "Almirante Saldanha" pelo apoio durante toda a OPERAÇÃO SUESTE I e II. Agradeço, ainda, à Diretoria de Hidrografia e Navegação - MM, por ceder os dados hidrográficos e todo o material necessário para as análises de clorofila e experimentos de fotossíntese.

Referências bibliográficas

- AIDAR-ARAGÃO, E.; TEIXEIRA, C. & VIEIRA, A. A. H. 1980. Produção primária e concentração de clorofila-*a* na costa brasileira (Lat. 22° 31'S - Long. 41° 52'W a Lat. 28° 43'S - Long. 47° 57'W). Bolm Inst. oceanogr., S Paulo, 29(2):9-14.
- BRANDINI, F. P. 1986. Hidrografia e características do fitoplâncton na região sueste do Brasil: produção primária, biomassa e composição. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 110p.
- _____. 1988a. Hydrography, phytoplankton biomass and photosynthesis in shelf and oceanic waters off Southeastern Brazil during autumn (May/June 1983). Bolm Inst. oceanogr., S Paulo, 36(1/2): 63-72.

- BRANDINI, F. P. 1988b. Composição e distribuição do fitoplâncton na Região Sueste e suas relações com as massas d'água (Operação Sueste I - inverno/1982). Ciênc. Cult., S Paulo, 40(4): 334-341.
- _____. 1990. Hydrography and characteristics of the phytoplankton in shelf and oceanic waters off Southeastern Brazil during winter (July/August 1982) and summer (February/March 1984). Hydrobiologia, 196:111-148.
- _____. & MORAES, C. L. B. 1986. Composição e distribuição do fitoplâncton em áreas costeiras e oceânicas da Região Sueste do Brasil. Nerítica, Pontal do Sul, 1(3):9-19.
- _____. & THAMM, C. A. C. 1989. Shelf break upwelling, subsurface maxima of chlorophyll and nitrite, and vertical distribution of a subtropical nano-microplankton community off Southeastern Brazil. In: BRANDINI, F. P., ed. Memórias do III Encontro Brasileiro de Plâncton, Curitiba. 190p.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO - Ministério da Marinha. 1985. Relatório da 99ª Comissão Oceanográfica Sueste II. 20p.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO - Ministério da Marinha. 1986a. Relatório da 98ª Comissão Oceanográfica Sueste I. 24p.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO - Ministério da Marinha. 1986b. Relatório da 100ª Comissão Oceanográfica Sueste III. 23p.
- COLIJN, F.; GIESKES, W. W. C. & ZEVENBOOM, W. 1983. The measurement of primary production: problems and recommendations. Hydrobiol. Bull., 17(1):29-51.
- CUSHING, D. H. 1975. Marine ecology and fisheries. Cambridge, Cambridge University Press. 278p.
- DUGDALE, R. C. & GOERING, J. J. 1967. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. Limnol. Oceanogr., 12:196-206.
- EMILSSON, I. 1961. The shelf and coastal waters off Southern Brazil. Bolm Inst. oceanogr., S Paulo, 11(2):101-112.
- ESTRADA, M. 1974. Photosynthetic pigments and productivity in the upwelling region of NW Africa. Tethys, 6(1/2): 247-260.
- HOLLIGAN, P. M.; BALCH, W. M. & YENTSCH, C. M. 1984. The significance of subsurface chlorophyll, nitrite and ammonium maxima in relation to nitrogen for phytoplankton growth in stratified waters of the Gulf of Maine. J. mar. Res., 42:1051-1073.

- JABLONSKI, S. & MATSUURA, Y. 1985. Estimate of exploitation rates and population size of skipjack tuna off the southeastern coast of Brazil. *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 33(1): 29-38.
- JITTS, H. R. 1963. The simulated *in situ* measurement of oceanic primary production. *Austr. J. mar. Freshwat. Res.*, 14(2):139-147.
- KOBLENTZ-MISHKE, O. J.; VOLKOVINSKY, V. V. & KABANOVA, J. G. 1970. Plankton primary production of the world ocean. In: *Scientific Exploration of the South Pacific*. Washington, D.C., National Academy of Sciences. p.183-193.
- LASKER, R. 1978. The relation between oceanographic conditions and larval anchovy food in the California Current: identification of factors contributing to recruitment failure. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer*, 173:212-230.
- MATSUURA, Y. 1986a. Estimativa de taxa de exploração, recrutamento e biomassa do estoque da sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis*, na região sudeste do Brasil. *Ciênc. Cult.*, S Paulo, 38(5):892-904.
- _____. 1986b. Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta Grande (SC). *Ciênc. Cult.*, S Paulo, 38(8):1439-1450.
- MESQUITA, A. R.; LEITE, J. B. A. & RIZZO, R. 1983. Note on the shelf break upwelling off the Southeast coast of Brazil (Lat. 26°30'S). *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 32(2):193-198.
- MIRANDA, L. B. 1982. Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) a Ilha de São Sebastião (SP). Tese de livre-docência. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. 123 + apêndice 30p.
- PAIVA, M. P. 1986. O mar e os interesses nacionais do Brasil. *Bolm Ciên. Mar.*, (42):1-22.
- PARSONS, T. & TAKAHASHI, M. 1973. *Biological oceanographic processes*. Oxford, Pergamon Press. 186p.
- PLATT, T. & SUBBA RAO, D. V. 1975. Primary production of marine microphytes. In: Cooper, J. P., ed. *Photosynthesis and productivity in different environments*. London, Cambridge University Press. p.249-280.
- POOLE, H. H. & ATKINS, W. R. G. 1929. Photoelectric measurements of submarine illumination throughout the year. *J. mar. biol. Ass. UK*, 16:297-324.
- RYTHER, J. H. 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. *Science*, 166:72-76.
- _____. & YENTSCH, C. S. 1957. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. *Limnol. Oceanogr.*, 2:281-286.
- SCOR-UNESCO W. G. 17. 1966. Determination of photosynthetic pigments. *Monogr. oceanogr. Methodol.*, U.N., 1:9-18.
- SOROKIN, Y. I. 1963. Primary organic production in the Atlantic Ocean. *Hydrobiologia*, 22:306-316.
- SMITH, P. E. & EPPLEY, R. W. 1982. Primary production and the anchovy population in the Southern California Bight: comparison of time series. *Limnol. Oceanogr.*, 27(1):1-17.
- STEEMANN-NIELSEN, E. 1952. The use of radioactive carbon (C-14) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. int. perm. Explor. Mer*, 18:117-140.
- STRICKLAND, J. D. H. 1958. Solar radiation penetrating the ocean. A review of requirements, data and methods of measurement, with particular reference to photosynthetic productivity. *J. Fish. Res. Bd Can.*, 15(3):453-493.
- _____. & PARSONS, T. R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd Can.*, (167):1-311.
- SVERDRUP, H. U.; JOHNSON, M. W. & FLEMING, R. H. 1942. *The oceans: their physics, chemistry and, general biology*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall. 1087p.
- TALLING, J. F. 1957. Photosynthetic characteristics of some freshwater plankton diatoms in relation to underwater radiation. *New Phytol.*, 56:29-50.
- TEIXEIRA, C. & TUNDISI, J. G. 1967. Primary production and phytoplankton in equatorial waters. *Bull. mar. Sci.*, 17(4):884-891.
- VIEIRA, A. H. & TEIXEIRA, C. 1981. Excreção de matéria orgânica dissolvida por populações fitoplanctônicas da costa leste e sudeste do Brasil. *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 30(1):9-25.
- VOLLENWEIDER, R. A., ed. 1969. *A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments*. Oxford, Blackwell. 213p.

(Recebido em 29-05-90;
aceito em 28-11-90)