

Densidade e distribuição do bacterioplâncton nas águas de Ubatuba (23°S 45°W), Estado de São Paulo

Hilda de Souza Lima MESQUITA

Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
(Caixa Postal 9075, 01065-970, São Paulo, SP, Brasil)

-
- **Abstract:** Bacterioplankton abundance and distribution were studied in nearshore waters of the São Paulo State, SE, Brazil, during 1985, 1986 and 1987. The standing-stock of bacteria varied from 0.17 to 3.97 cells $\times 10^6 \text{ ml}^{-1}$ and was dominated by free bacteria. The vertical distribution of the bacterial population was characterized by subsurface peaks and there have been found a decrease in abundance from inshore to offshore. Generally, the spatial arrangement of the bacteria population over the region showed no coupling to chlorophyll-*a* distribution. Sea-water temperature was found to have no direct influence on the seasonal variation of bacterial population. Recurrent hydrographic conditions characterized by the presence of the South Atlantic Central Water (SACW) seems to have a significant impact on the overall microbial community structure by stimulating phytoplankton growth and hence, the development of the whole pelagial community. The density increment of bacteria appears to be a response to the soluble by-products resulting from both primary and secondary production enhancement in the presence of the SACW. In the absence of the SACW a community of very small autotrophic and heterotrophic organisms, apparently in dynamic balance prevailed, suggesting the bacteria to represent a basic member of a complex microbial structure.
 - **Resumo:** A densidade e a distribuição do bacterioplâncton foram estudadas nas águas de Ubatuba, nos anos de 1985, 1986 e 1987, abrangendo os períodos de primavera, verão e inverno. Os resultados obtidos mostraram que a população bacteriana total variou de 0,17 a 3,97 $\times 10^6$ células.ml⁻¹, com dominância de bactérias livres. A densidade populacional média, por estação, decresceu da costa para o largo. Na coluna de água, a população bacteriana mostrou picos subsuperficiais de densidade. Densidades bacteriana baixas ocorreram, tanto na Água Costeira (AC) quanto na Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e, na mistura destas entre si e com a Água Tropical (AT). Próximo à costa, valores elevados de densidade foram característicos do verão, ocorrendo tanto na AC quanto na ACAS. As maiores densidades bacterianas registradas no verão, não são explicadas pela variação sazonal do teor de clorofila-*a* e nem pela variação sazonal da temperatura da água. Provavelmente resultam do enriquecimento da água em matéria orgânica, ocorrido previamente ao presente registro. Na ausência da ACAS, predomina comunidade de pequenos organismos autótrofos e heterótrofos, aparentemente em equilíbrio dinâmico, onde as bactérias são membros importantes de uma estrutura microbiana complexa.
 - **Descriptors:** Bacterioplankton, Vertical distribution, Seasonal variation, Population density, Chlorophylls, Water masses, Continental shelf, Ubatuba, São Paulo, Brazil.
 - **Descritores:** Bacterioplâncton, Distribuição vertical, Variação sazonal, Densidade da população, Clorofilas, Massas de água, Plataforma continental, Ubatuba: SP, Brasil.

Introdução

O bacterioplâncton tem sido considerado componente importante dos ecossistemas marinhos por se-lhe atribuir fluxo significativo de matéria e energia na cadeia trófica.

A distribuição e a densidade das bactérias dependem de vários fatores, alguns relacionados à natureza do substrato e sua concentração, e outros, à interação bactéria-predador (Andersen & Fenchel, 1985). A estrutura física do ecossistema e sua dinâmica também interferem significativamente na distribuição espaço-temporal das bactérias (Pomeroy *et al.*, 1983).

Até o presente não foram realizados estudos sobre a população bacteriana na região de Ubatuba. Ao largo da costa brasileira foram realizados trabalhos ecológicos sobre a população bacteriana somente na região de Cananéia, Estado de São Paulo (Mesquita, 1981, 1983; Mesquita & Peres, 1985; Watanabe & Kutner, 1965; Watanabe, 1980).

O objetivo do presente trabalho é a análise da densidade e distribuição da população bacteriana livre e aderida a detrito, sua variação sazonal e relação com o fitoplâncton, expresso como clorofila-*a*. Além disto, pretende-se a caracterização do perfil microbiano prevalente no inverno, com vistas à compreensão do padrão sazonal do bacterioplâncton na região.

Este trabalho é parte de um estudo multidisciplinar realizado na plataforma continental da costa sudeste do Brasil, Estado de São Paulo (23°S 45°W).

Material e métodos

A área de estudo é mostrada nas Figuras 1 e 2.

Os dados do presente estudo foram obtidos durante cruzeiros de pesquisa realizados pelo navio oceanográfico da USP, "Prof. W. Besnard", em dezembro/1985, julho/1986 e julho/1987. O intervalo entre as estações foi de 5 m.n. Durante o cruzeiro de 1985 (dezembro), oito estações, foram amostradas ao longo da radial C (Fig.1).

Em julho de 1986 e 1987, devido a problemas de ordem técnica foram amostradas apenas três e seis estações, respectivamente, ao longo da mesma radial.

Em julho/1987, duas das seis estações, uma no domínio interno da região estudada e outra mais ao largo, nas profundidades locais de 52 e 134 m respectivamente, foram amostradas e a comunidade microbiana (microheterótrofos, cianobactérias do picoplâncton, "proclorofitas", bactéria total, bactéria em detrito e porcentagem da população bacteriana total em divisão) foi analisada quanto a sua distribuição vertical.

Também fazem parte do presente trabalho os dados dos cruzeiros realizados com o B/Pq "Veliger II", em outubro/1985 e julho/1986, que constaram de nove estações distribuídas ao longo de três radiais (Fig. 2).

Dados físicos e químicos (temperatura, salinidade e oxigênio) e da biomassa fitoplanctônica (clorofila-*a*), foram obtidos conjuntamente à amostragem da população bacteriana.

Em cada estação, as amostras foram coletadas com garrafa Van Dorn, em profundidades previamente selecionadas, dependendo da profundidade local, que variou de 10 m, próximo a costa, à 130 m ao largo. A profundidade da zona eufótica variou de 10 a 60 m tanto no inverno quanto no verão. (Aidar *et al.*, neste volume).

A dosagem de clorofila-*a* foi feita pelo método espectrofotométrico (Strickland & Parsons, 1968), por técnicos do grupo interdisciplinar de plâncton.

As bactérias e os microorganismos heterótrofos (estes apenas em duas estações da radial C, julho/87) foram quantificados segundo a técnica de Hobbie *et al.* (1977), por microscopia de epifluorescência. As amostras de água (100 ml) para a determinação da densidade bacteriana, foram preservadas com a adição de formalina (concentração final de 5%) e mantidas sob refrigeração, até a análise.

Subamostras (1 ml) foram coradas com Alaranjado de Acridina (concentração final 0,01%) por três minutos, filtradas em filtros Nuclepore (0,22 μ m de porosidade) previamente corados com Irgalan Black. A seguir, os filtros foram montados em lâmina com óleo de glicerina estéril.

Foram contados, pelo menos, 50 campos microscópicos em cada filtro, sob um aumento de 1000 vezes. A cada 10 amostras analisadas correspondia um branco, preparado com água destilada previamente filtrada em filtro Millipore (0,22 μ m de porosidade) e esterilizada.

As células bacterianas contadas foram classificadas como livres (BL) ou aderidas ao detrito (BA).

O desvio médio das contagens, obtido através de réplicas, não foi superior a 10% da média.

Para a avaliação quantitativa dos organismos autótrofos (duas estações, radial C, julho/87), subamostras de 15 ml foram fracionadas em filtros Nuclepore de 1,0 mm e recolhidas em filtros de 0,22 μ m de porosidade, ambos corados previamente com Irgalan Black. Os filtros de 0,22 μ m serviram à análise do picofitoplâncton e, os de 1,0 μ m a avaliação do restante do fitoplâncton.

A distribuição das massas de água nas radiais foi obtida após a comparação dos dados pontuais de temperatura e salinidade, obtidos, com o diagrama T/S de Castro Filho *et al.* (1987) e, respeitando os limites de T e S estabelecidos por Miranda (1985) para as massas de água prevalentes na região.

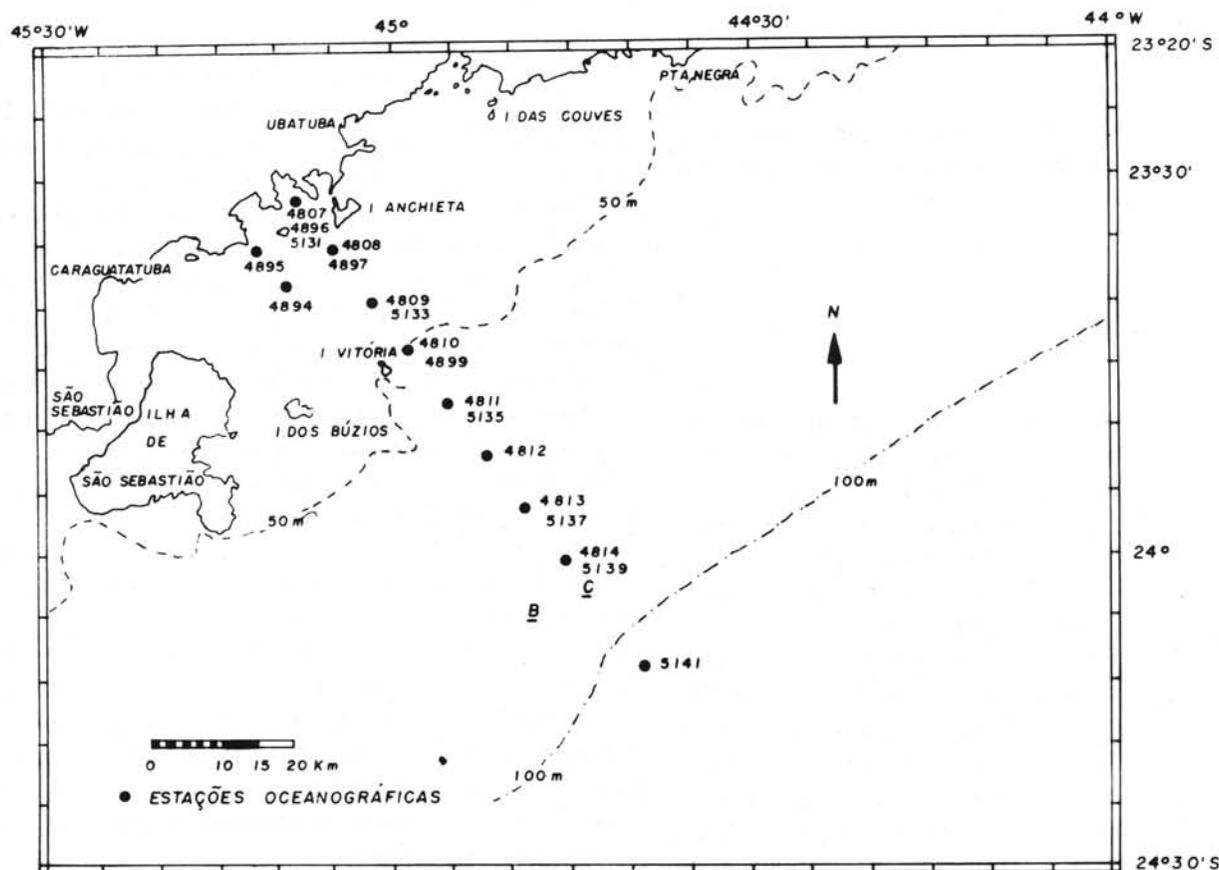


Fig. 1. Área de estudo e pontos amostrados em dezembro/1985 (estações 4807 a 4814), julho/1986 (estações 4894 a 4899) e julho/1987 (estações 5131 a 5141), nas radiais B e C.

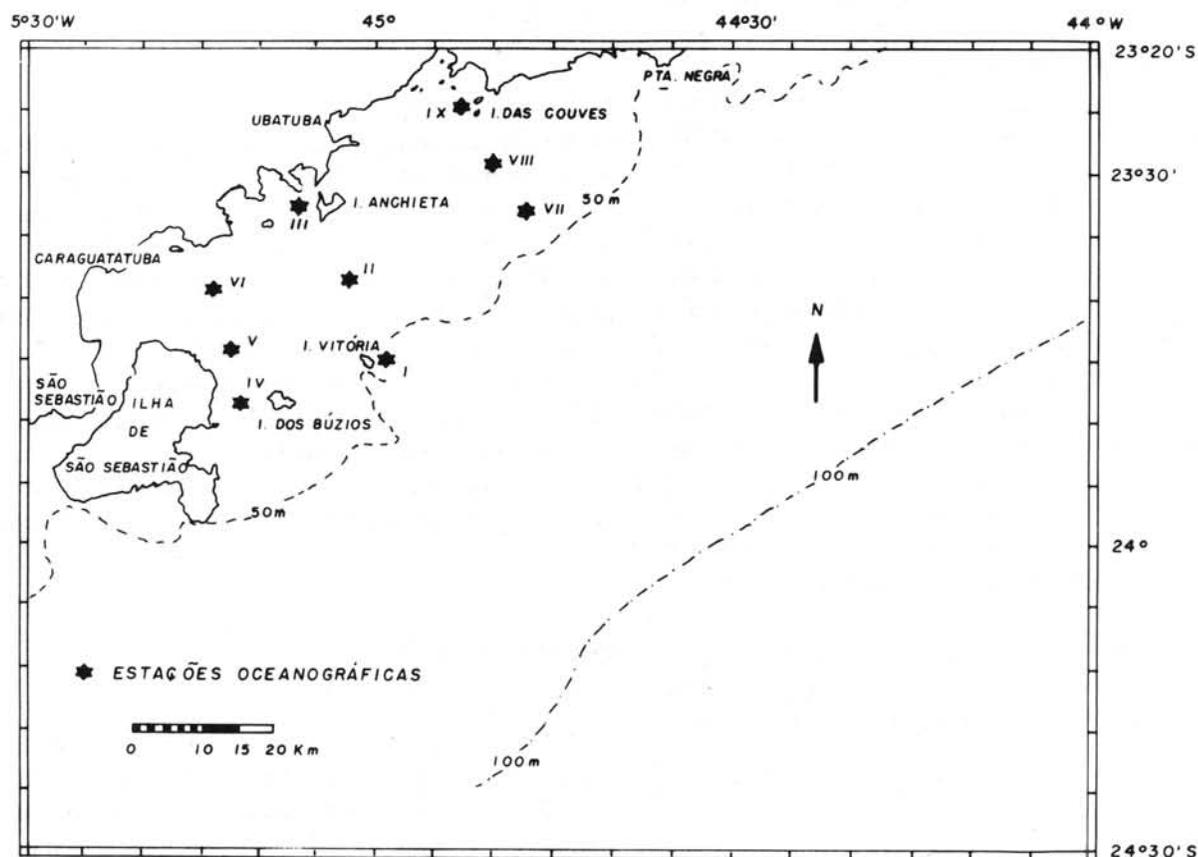


Fig. 2. Áreas de estudo e pontos amostrados em outubro/1985 e julho/1986. Radiais da Ilha de São Sebastião, Ilha Vitória e Ilha das Couves.

Resultados

As Figuras 3-7 mostram a distribuição das massas de água, da densidade bacteriana e da concentração de clorofila *a* durante o período de estudo.

Massas de água

O regime hidrográfico dominante na região no decorrer do presente estudo foi previamente descrito por Castro Filho *et al.* (1987). De acordo com estes autores, três massas de água determinam as características hidrográficas da plataforma continental no período estudado: a Água Costeira (AC), a Água Tropical (AT) e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS).

A AC, resulta da interação de água doce, originária de rios, córregos e chuvas, com a água da plataforma continental. A AT, que se encontra geralmente ao largo, apresenta salinidades mais elevadas. A ACAS, caracterizada por salinidades e temperaturas relativamente baixas, penetra pelo fundo em direção à plataforma continental e desloca grandes quantidades da água mais costeira. A frequência e intensidade desta intrusão variam sazonalmente e também de ano para ano, dependendo das condições climáticas prevalecentes. Todavia, esta penetração da ACAS é especialmente importante durante o período de verão.

A temperatura da água nos pontos e profundidades de amostragem da população bacteriana, variou de 15,00°C a 23,47°C e, a salinidade de 34,707 a 36,353 PSU.

No verão (dezembro/85) ao longo da radial estudada e, de acordo com Castro Filho *et al.* (1987), a coluna de água esteve termicamente estratificada. À profundidade aproximada de 10 - 15 m ocorreu pycnoclina bem definida, determinada principalmente pela variação de temperatura conseqüente à intrusão da ACAS.

Por ocasião das amostragens do presente trabalho encontrou-se para o verão (dezembro/85), a ocorrência dominante de AC na superfície das águas da radial C (> 20°C; < 35,70°C). A Água Tropical domina no extremo da radial C, ao largo, como uma intrusão de água com salinidades e temperaturas mais elevadas (> 35,70 e > 20°C) (Fig. 4).

A água de fundo e, também, aquela intermediária, são representadas predominantemente pela ACAS, a qual se caracteriza principalmente pela baixa temperatura (< 18,0°C).

No inverno/87, as massas de água se distribuem de forma eqüivalente ao verão (dezembro 85) mas a profundidade de ocorrência da ACAS é maior (Fig. 7).

A distribuição das massas de água nos outros períodos de estudo está representada nas Figuras 3, 5 e 6.

Em julho/86 (inverno), além da radial C, foi amostrada a radial B (as duas primeiras estações). As duas radiais, na parte eqüivalente às duas primeiras estações, não diferiram quanto às massas de água presentes (Fig. 6). Neste período, (tanto no cruzeiro iniciado a 24 de julho - N/Oc. "Prof. W. Besnard", quanto no cruzeiro de 9 a 11 de julho - B/Pq "Veliger" II - área interna, houve predominância de AC e da mistura desta com AT (Fig. 5).

O oxigênio dissolvido apresentou-se com valores altos de saturação na superfície da coluna de água. Em profundidade, predominaram valores baixos de saturação. A distribuição do teor de oxigênio dissolvido nas massas de água é analisado por Aidar *et al.* (neste volume).

Com relação à precipitação pluviométrica mensal, observou-se que o período mais chuvoso foi julho de 86 (250 mm/mês) e, o menos chuvoso, foi outubro/85 (27,5 mm/mês). Considerando-se a semana prévia à obtenção das amostras, encontramos chuvas freqüentes e intensas (174,3 mm/ 7 dias) somente na semana antecedente as amostragens realizadas entre 9 e 11 de julho/86. Nos outros períodos de amostragem encontrou-se para a semana prévia as coletas, valores de precipitação pluviométrica inferiores a 50 mm (Fig. 8)

Clorofila-a

A concentração de clorofila-a, nos pontos e profundidades de amostragem da população bacteriana, variou de indetectável a um máximo de 6,42 mg.m⁻³. Os valores mais altos observados ocorreram na primavera (outubro/85) (Fig. 3), e no verão (dezembro/85) (Fig. 4), às profundidades de 30 a 32 m respectivamente, na ACAS. Entretanto, concentrações elevadas de clorofila-a, foram pouco freqüentes nas radiais estudadas.

Em geral, a distribuição vertical de clorofila-a apresenta, assim como a de bactérias, maiores concentrações na subsuperfície.

Da costa para o largo, a concentração média de clorofila-a (por estação) apresenta gradiente decrescente.

Densidade bacteriana

A densidade bacteriana total (bactérias livres + bactérias aderidas ao detrito) variou de 0,17 a 3,97 x 10⁶ cels.ml⁻¹. As maiores densidades observadas ocorreram nas massas de água AC e ACAS, próximas a costa e no período de verão.

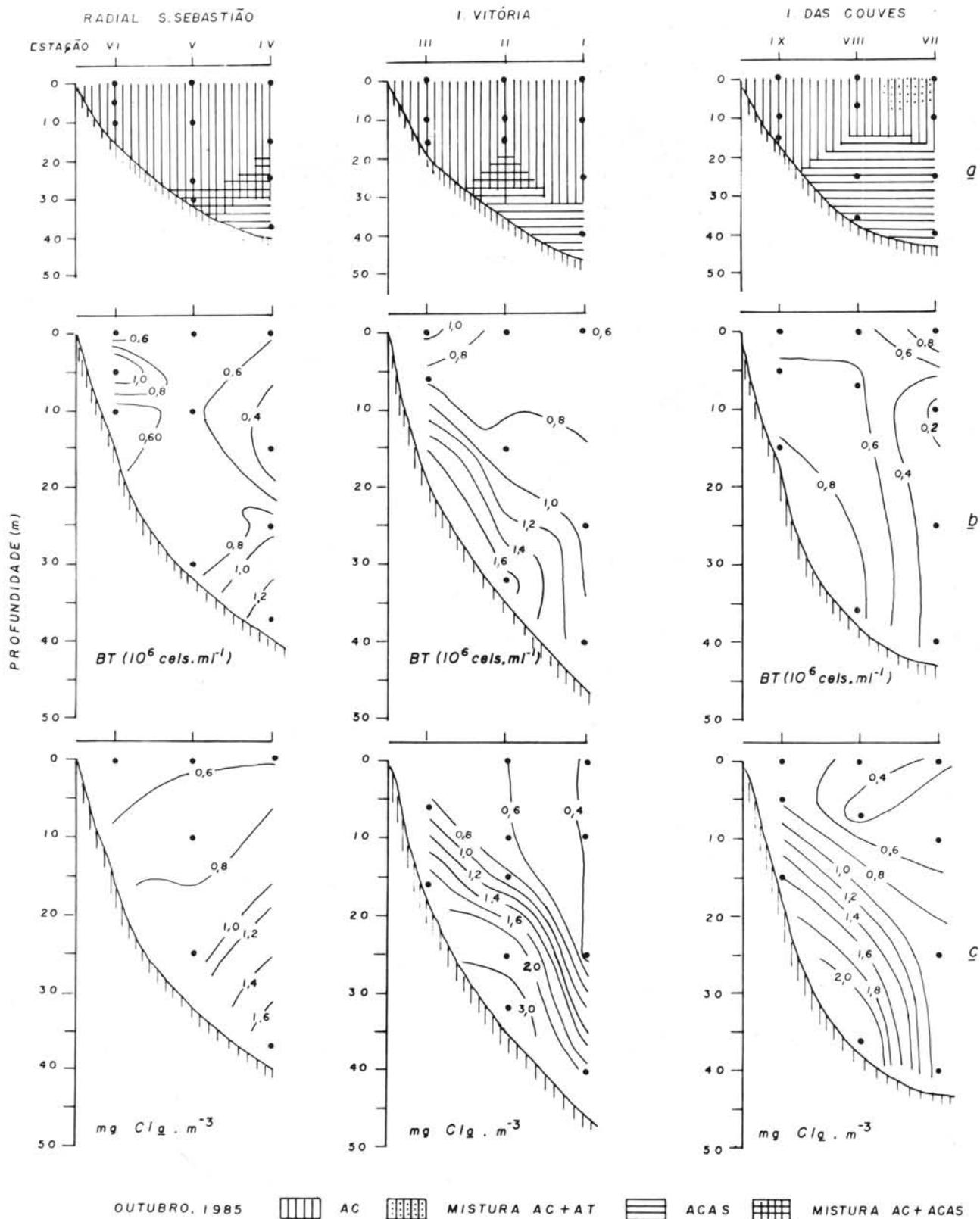


Fig. 3. Perfil das radiais da Ilha de São Sebastião, Ilha Vitória e Ilha das Couves, com representação estilizada das massas de água presentes em outubro/1985 (a) e, distribuição de densidade bacteriana total (BT) (b) e da clorofila-a (C/a) (c). AC = Água Costeira; AT = Água Tropical; ACAS = Água Central do Atlântico Sul.

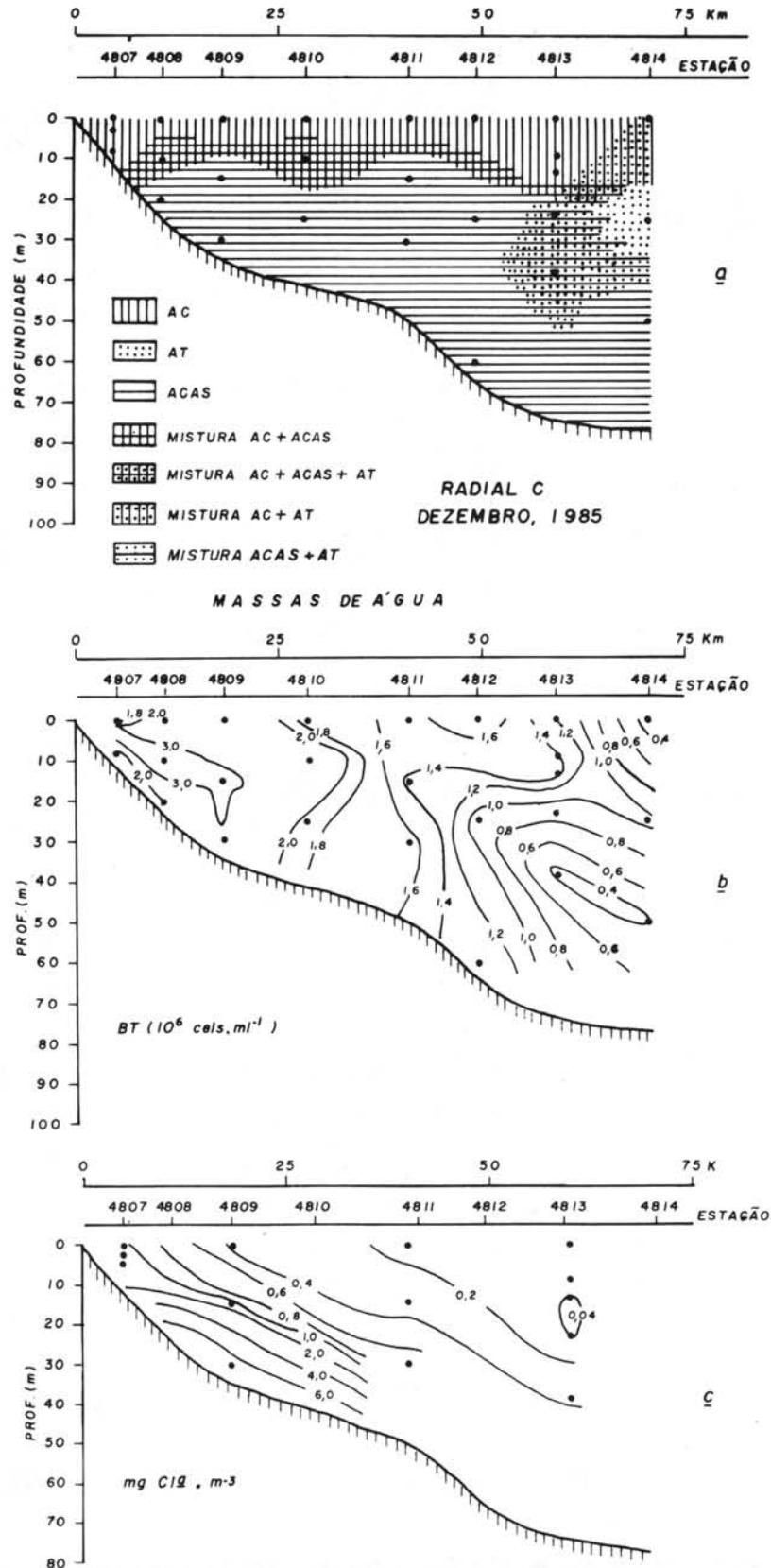


Fig. 4. Perfil da radial C com representação estilizada das massas de água presentes em dezembro/1985 (a) e distribuição da densidade bacteriana total (BT) (b) e da clorofila -a (CIIa) (c).

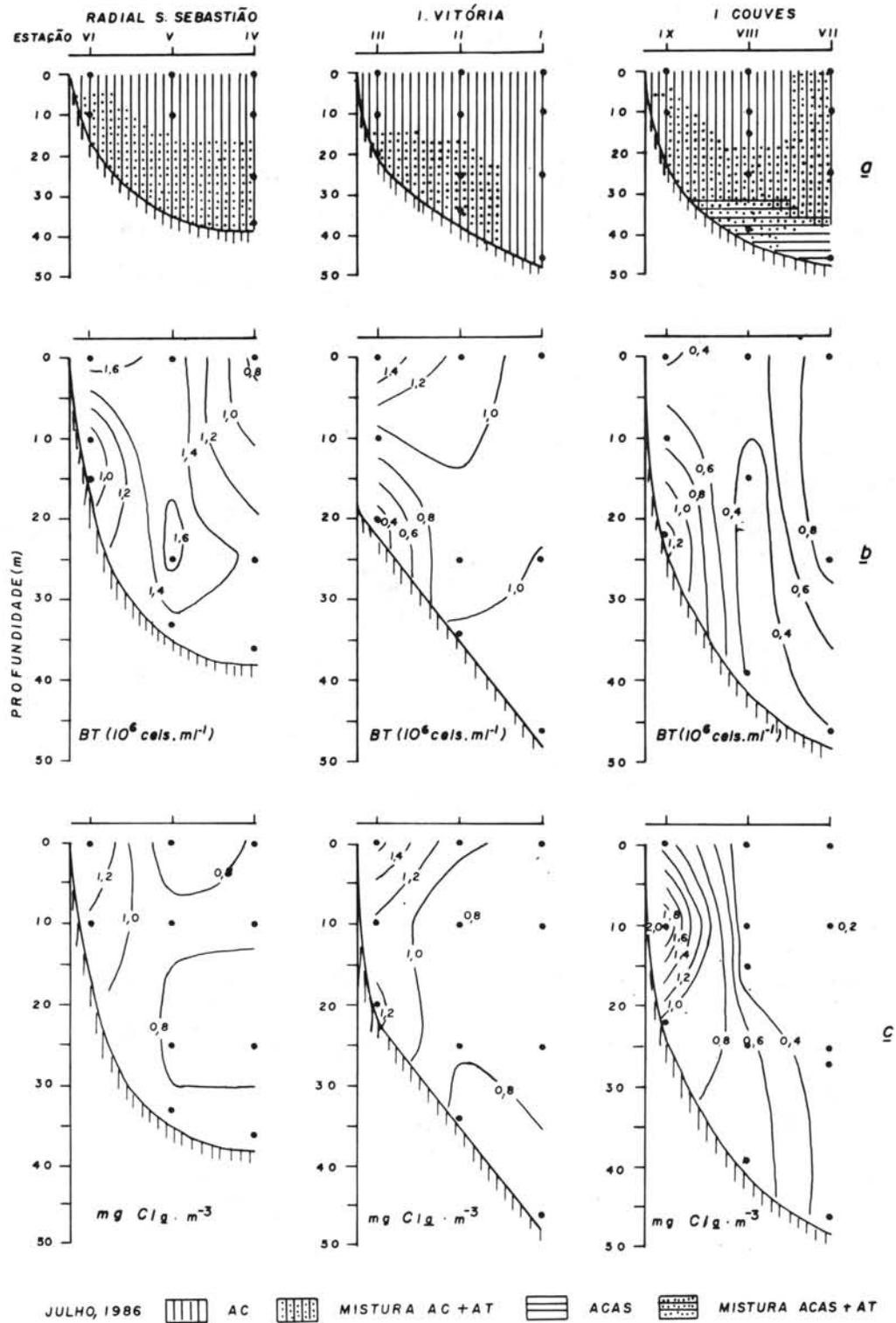


Fig. 5. Perfil das radiais da Ilha de São Sebastião, Ilha Vitória e Ilha das Couves, com representação estilizada das massas de água presentes em julho/1986 (a) e distribuição da densidade bacteriana total (BT) (b) e da clorofila-a (Cia) (c).

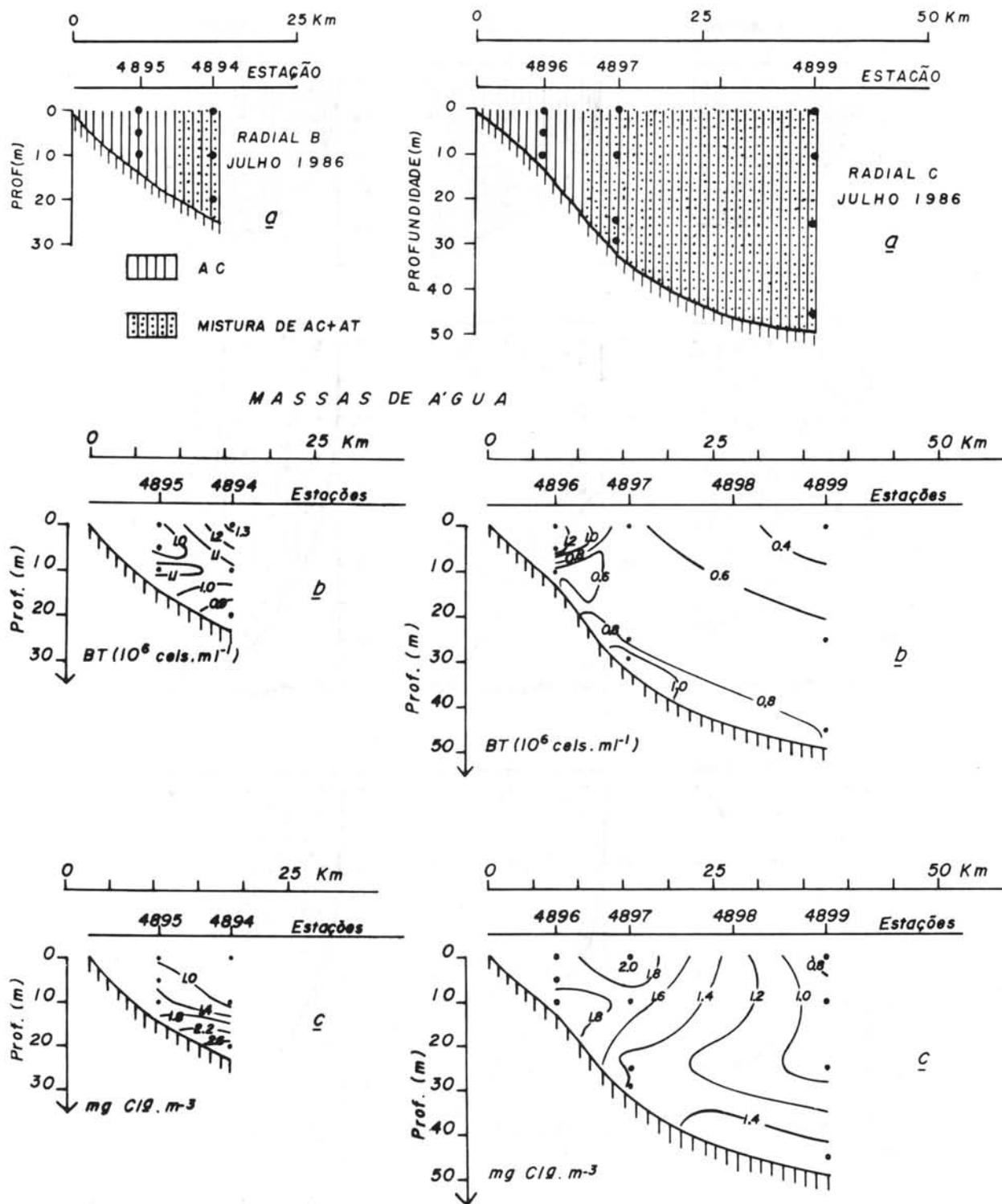


Fig. 6. Perfis das radiais B e C, com representação estilizada das massas de água (a), distribuição da densidade bacteriana total (BT) (b) e da clorofila-a (Cl) (c) em julho/1986.

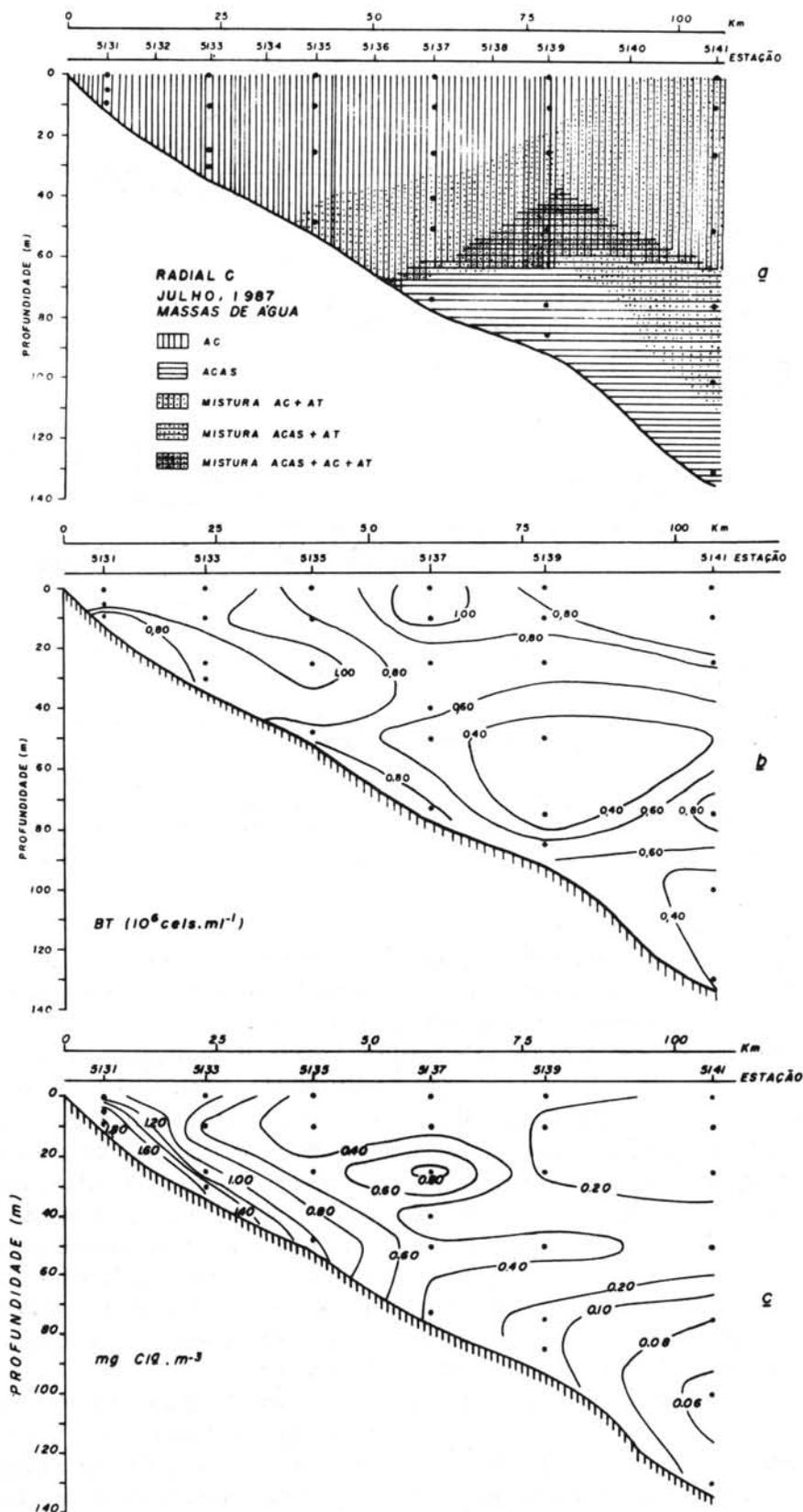
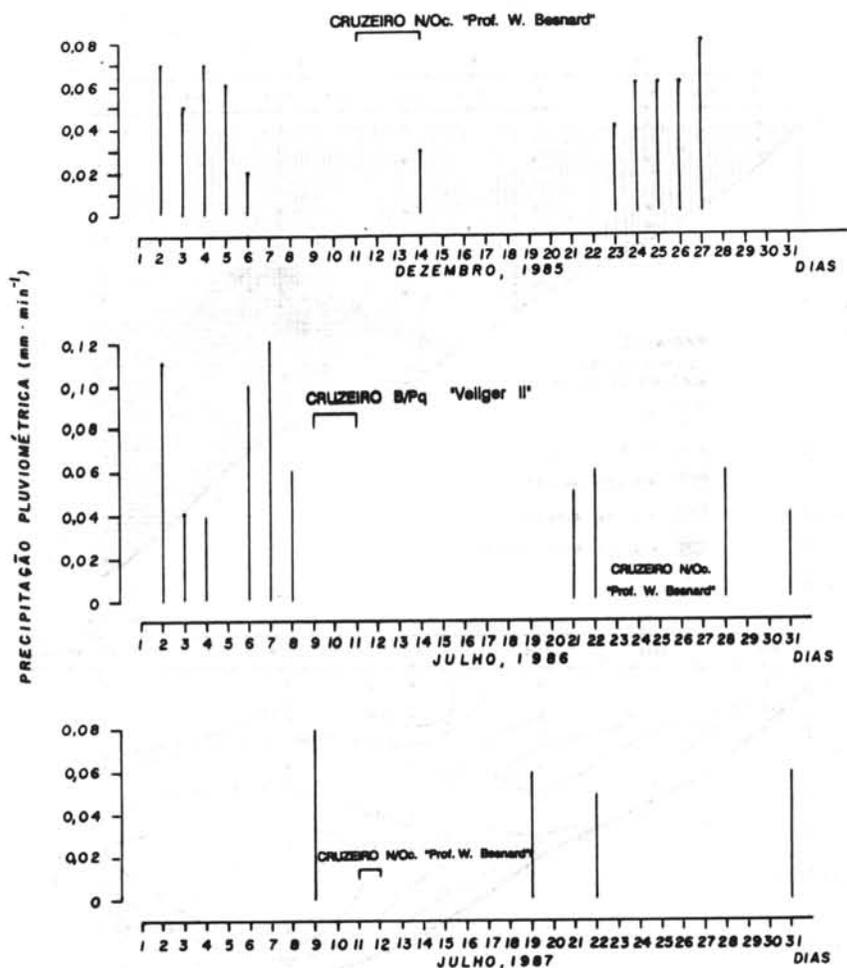


Fig. 7. Perfil da radial C, com representação estilizada das massas de água presentes em julho/1987 (a) e, distribuição da densidade bacteriana total (BT) (b) e da clorofila- a (CII) (c).



As densidades bacterianas foram freqüentemente baixas, inferiores a $0,30 \times 10^6$ cels.ml⁻¹, com mínimo de $0,17 \times 10^6$ cels.ml⁻¹ a 10 m em águas costeiras de outubro/85 (primavera) e $0,22 \times 10^6$ cels.ml⁻¹ a 75 m na ACAS e em julho/87 (inverno).

A densidade média (por estação) da população bacteriana mostrou, em geral, gradiente decrescente da costa para o largo e da meia água para o fundo. O gradiente horizontal ao longo da radial é especialmente acentuado no período de verão (dezembro/85) (Fig.4).

A distribuição vertical da população bacteriana ao longo da coluna de água é caracterizada por picos subsuperficiais. Em algumas estações, os valores mais elevados de densidade bacteriana ocorreram na termoclina (Fig. 9).

Durante o período abrangido por este trabalho, bactérias livres (BL) dominaram numericamente a população bacteriana aderida ao detrito (BA), representando, em média, 85,6% do total. Esta dominância foi especialmente acentuada no verão, quando a relação BL/BA (Tab. 1) apresentou valores médios da

ordem de 68 na AC e 54 na ACAS os quais são expressivamente mais elevados que os encontrados para os outros períodos.

Valores médios baixos de BL/BA, (inferiores a 6) indicam um aumento relativo das bactérias em detrito. Tais valores podem ocorrer por uma diminuição das densidades de bactérias livres ou por um aumento das aderidas ao detrito. A Tabela 1 mostra que na AC, em julho de 1986, a densidade de bactérias em detrito dobrou, comparativamente aos outros períodos (Tab. 1). Na ACAS, neste mesmo período, bactérias em detrito apresentaram baixa concentração e as bactérias livres foram pouco abundantes em relação aos outros períodos de estudo.

A Figura 13, representa a distribuição da densidade da população bacteriana na AC e na ACAS, nos diversos períodos de estudo, em relação à temperatura.

A análise desta figura mostra que os valores de verão são conspicuamente mais elevados que os dos outros períodos de estudo, em ambas as massas de água. Em relação à ACAS, observa-se a ocorrência de alguns valores baixos de densidade bacteriana no verão.

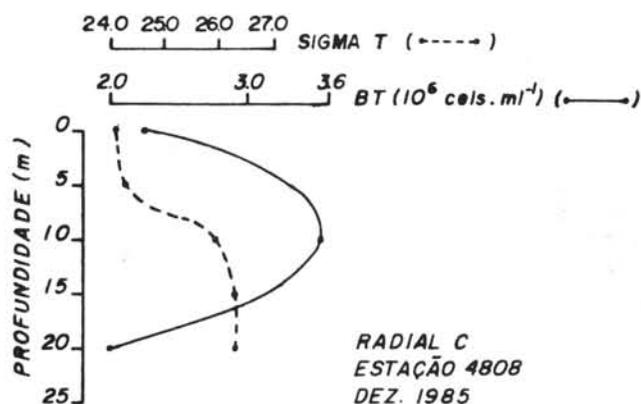


Fig. 9. Máximo de densidade bacteriana na pycnoclina, dez/85.

Em cada uma das duas massas de água consideradas não se observa, em relação à variação de temperatura, diferença entre os dados de verão e os de outras estações do ano. Portanto, a variação sazonal caracterizada por aumento significativo da densidade bacteriana no verão, não parece ser diretamente devida à variação da temperatura.

Esta figura evidencia também que não existe diferença conspícua no teor de bactérias entre as massas de água.

Relação entre a densidade da população bacteriana e o teor de clorofila-*a*

A análise dos perfis de distribuição vertical da concentração de clorofila-*a* e da densidade da população bacteriana mostra que, nos diversos períodos de estudo, os picos subsuperficiais encontrados para ambas as variáveis não ocorrem, em geral, à mesma profundidade na coluna de água. No entanto, considerando-se cada massa

de água em separado, observa-se, em outubro e dezembro/85 na ACAS (Fig. 10), a ocorrência de relação entre estas variáveis, caracterizada por maiores densidades bacterianas em concentrações mais elevadas de clorofila-*a*. Na AC, em dezembro/85, a relação é discernível, ocorrendo, porém, maior dispersão de dados (Fig. 11).

No período compreendido entre 9 e 11 de julho/86 há evidência de que o teor de clorofila-*a* favorece, principalmente, o desenvolvimento da população bacteriana aderida ao detrito, embora haja razoável dispersão de dados (Fig. 12).

Os dados referentes aos transectos B e C, dos cruzeiros de 24/07/86, e de julho/1987, não evidenciam relação entre estas variáveis (não mostrados).

A análise das Figuras 10 e 11, que representam a relação entre a densidade bacteriana e a concentração de clorofila-*a* nos diferentes períodos de estudo, mostra que para concentrações equivalentes de clorofila-*a* são registrados valores mais elevados de densidade bacteriana no verão, tanto na AC quanto na ACAS. Este resultado indica que as maiores densidades bacterianas encontradas no verão, não são explicadas pela ocorrência concomitante de concentrações mais elevadas de clorofila-*a*.

Distribuição vertical da população microbiana

A abundância da população microbiana ao longo da coluna de água em julho/87 é representada na Figura 14. Apesar dos erros envolvidos na avaliação dos organismos de maior porte em preparações dirigidas ao estudo das bactérias, a abundância de microheterótrofos é conspícua. Estes foram, em geral, mais abundantes na estação mais interna (profundidade local 52 m), variando de 1,19 a 13,9 organismos $\times 10^3 \cdot \text{ml}^{-1}$ nesta e de 1,14 a 6,87 organismos $\times 10^3 \cdot \text{ml}^{-1}$ na estação mais oceânica.

Tabela 1. Relação bactérias livres "versus" bactérias aderidas ao detrito (BL/BA) e valores médios de bactéria total (BT) e de bactérias aderidas ao detrito, na AC e na ACAS, nos diversos períodos de estudo

Massas de Água	Mês/Ano	BL/BA	\bar{X} BL/BA	\bar{X} BT $10^6 \text{ cels. ml}^{-1}$	\bar{X} BA $10^6 \text{ cels. ml}^{-1}$
AC	out./1985	1.94 a 57.33	15.40	0.65	0.07
	dez./1985	8.79 a 249.00	68.40	2.00	0.08
	jul./1986	3.69 a 29.30	4.40	0.93	0.14
		0.62 a 4.34	1.80	1.00	0.16
	jul./1987	1.67 a 23.33	35.50	0.95	0.07
ACAS	out./1985	1.44 a 82.34	16.48	0.90	0.14
	dez./1985	4.34 a 124.00	54.13	1.74	0.11
	jul./1986	3.78 a 7.33	5.55	0.30	0.06
	jul./1987	2.50 a 25.32	11.09	0.51	0.07

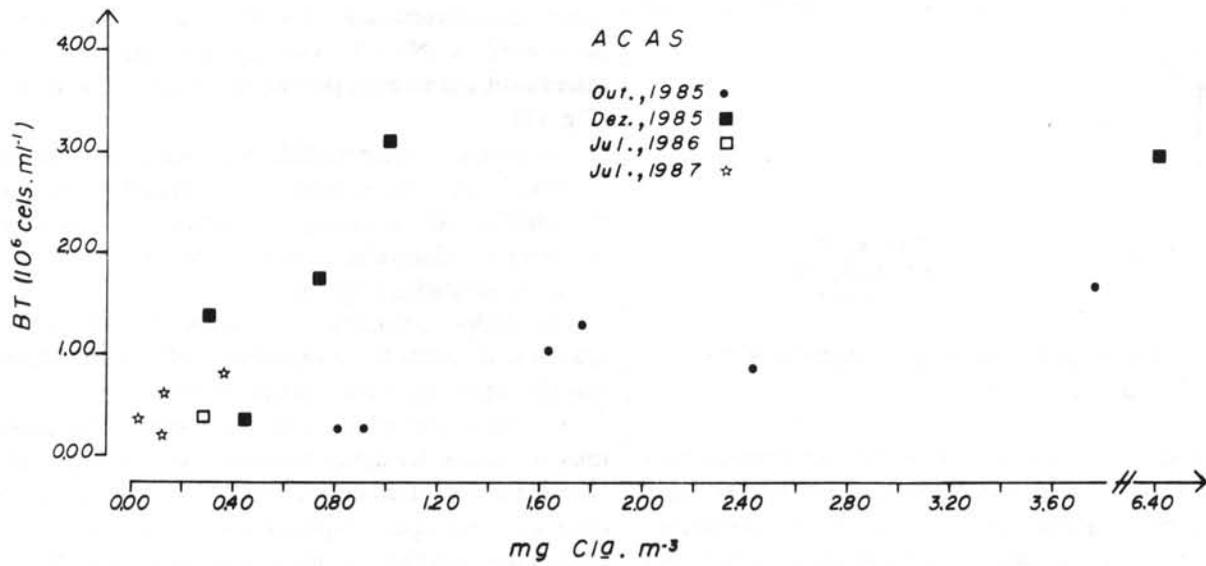


Fig. 10. Relação entre a densidade bacteriana total (BT) e o teor de clorofila-a (Cl a) na ACAS, nos diversos períodos de estudo.

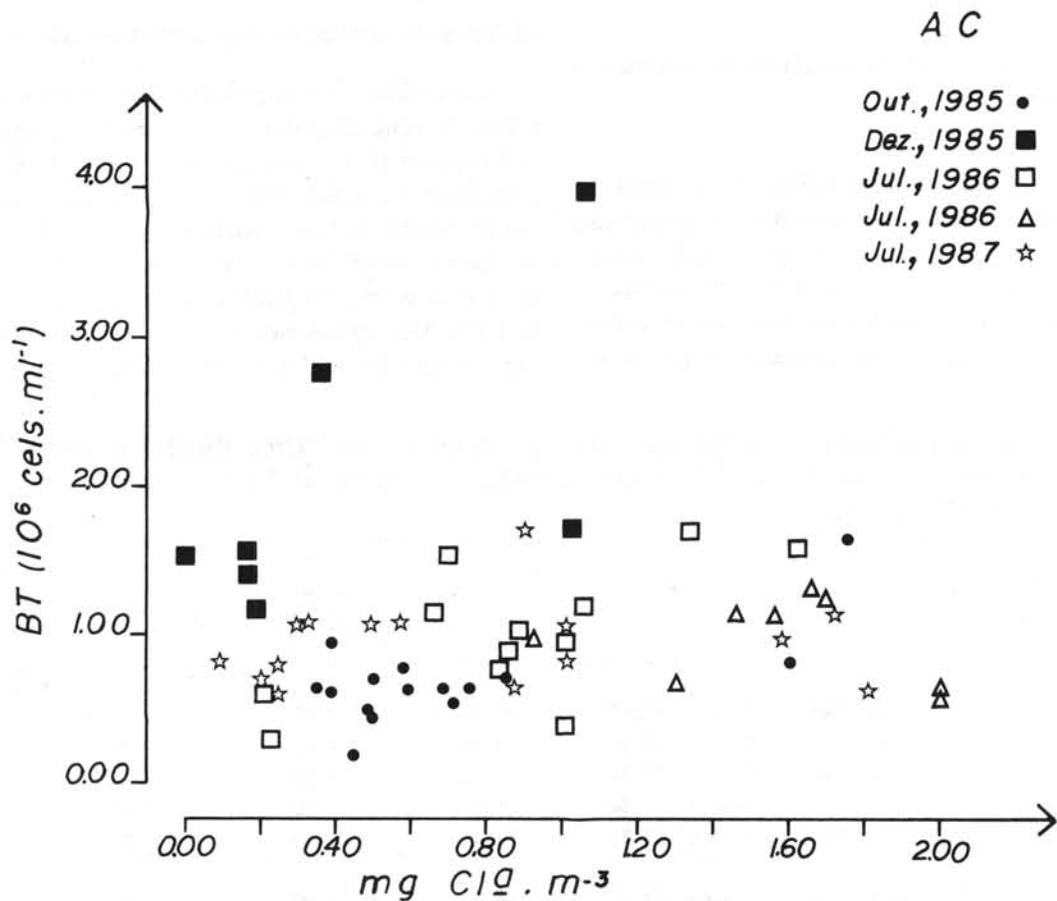


Fig. 11. Relação entre a densidade bacteriana total (BT) e o teor de clorofila-a (Cl a) na AC, nos diversos períodos de estudo.

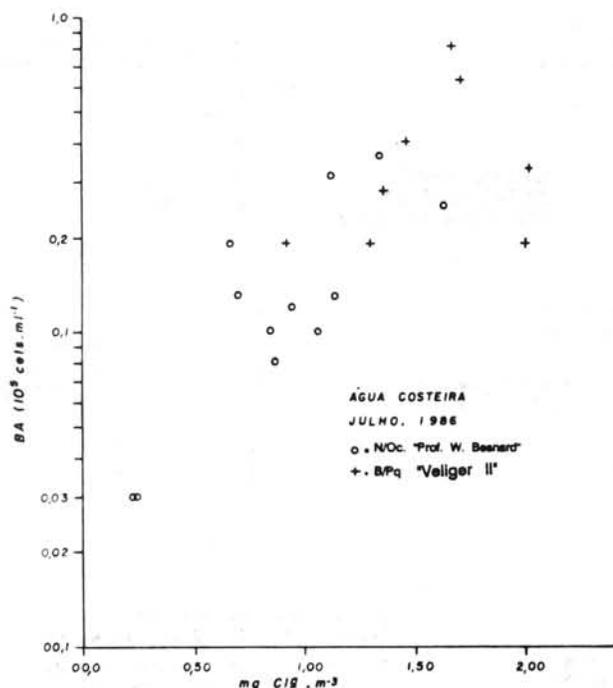


Fig. 12. Relação entre o teor de clorofila-a (Cl_a) e a densidade de bactérias aderidas ao detrito (BA), na AC em julho/1986.

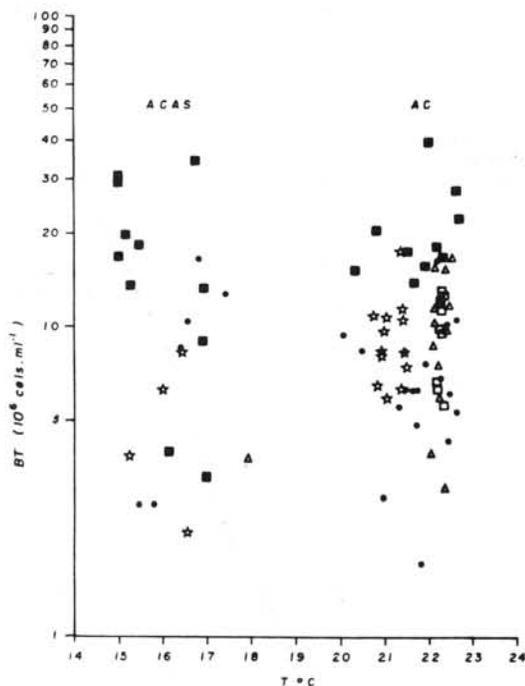


Fig. 13. Distribuição da densidade de bactérias totais = BT (bactérias livres + bactérias aderidas ao detrito), em relação a temperatura na ACAS e na AC em outubro/85 (●), dezembro/85 (■), julho/86-B (□), julho/86-V (△) e julho/87 (*).

O número de células clorofiladas ($> 1 \mu\text{m}$) na estação mais interna, variou de $0,55$ a $12,56 \times 10^3 \text{ cels.ml}^{-1}$, enquanto que, na estação mais ao largo, esteve entre $0,72$ a $12,05 \times 10^3 \text{ .ml}^{-1}$ não ocorrendo diferença quanto a densidade de fitoplâncton entre estas duas estações.

O picoplâncton autotrófico ($< 1 \mu\text{m}$) foi representado na estação mais interna, principalmente, por cianobactérias portadoras de ficoeritrina, ($1,20$ a $8,00 \times 10^3 \text{ cels.ml}^{-1}$). Na estação mais externa, à profundidade igual ou superior à 25 m , o picoplâncton autótrofo é dominado por células com fluorescência vermelha, provavelmente "proclorofitas". Estas "proclorofitas" apresentaram densidades entre $0,46$ a $3,65 \times 10^3 \text{ cels.ml}^{-1}$. Apenas nas camadas superficiais, as cianobactérias portadoras de ficoeritrina são dominantes.

A população bacteriana total variou de $0,59$ a $1,08 \times 10^6 \text{ cels.ml}^{-1}$, no domínio interno (profundidade local = 52 m) e de $0,31$ a $0,89 \times 10^6 \text{ cels.ml}^{-1}$, no domínio externo (profundidade local = 134 m).

As BA em percentagem do total de bactérias, foi comparativamente mais elevada na estação mais externa variando de $2,7$ a $14,8\%$, em contraposição à variação observada para a região mais interna: de $1,2$ a $8,2\%$ da população total.

Bactérias em divisão estiveram presentes em ambas as estações, porém, índices relativamente mais altos ($5,2$ a $8,35\%$ da população total) são encontrados na estação mais interna do que naquela ao largo ($2,70$ a $4,80\%$ da população total).

Na estação mais ao largo (134 m), à profundidade de 75 m , observa-se um aumento da população microbiana total. Esta profundidade corresponde à zona de mistura entre a ACAS e AT.

Discussão

A magnitude das densidades da população bacteriana, na região de Ubatuba, não diferiu significativamente daquela observada em regiões similares de outras partes do globo.

Pomeroy *et al.* (1983) e Hanson *et al.* (1988) apresentam densidades entre $0,05$ e $2,69 \times 10^6$ na plataforma continental a sudeste dos E.U.A.

Concentrações elevadas de bactérias, maiores que as registradas no presente trabalho, foram encontradas em zonas marinhas frontais à oeste do Irish Sea (Fogg *et al.*, 1985; Lochte, 1985). No presente estudo, concentrações maiores de bactérias foram encontradas na base ou meio da termoclina: na estação 4809 a 15 m de profundidade e, na 4808 a 10 m de profundidade, ambas no verão/85, e na estação ao largo à 75 m , no inverno/87. Porém, densidades altas ocorreram também na coluna de água termicamente homogênea ou, numa coluna estratificada, em profundidades acima ou abaixo da termoclina. Pelo fato do

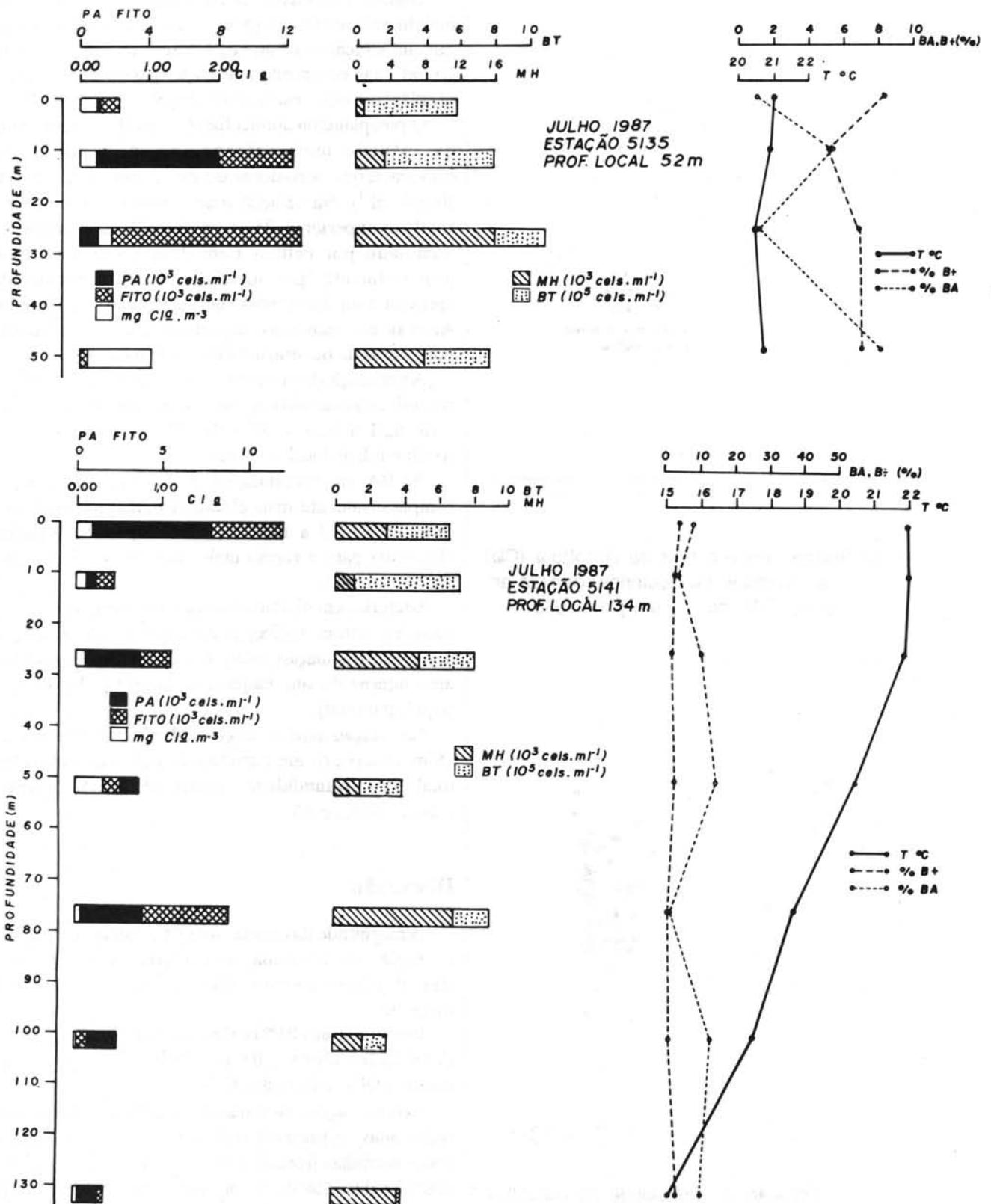


Fig. 14. Distribuição vertical da população microbiana. PA = Picoplâncton autótrofo; MH = microheterótrofo; BT = Bactéria total; B+ (%) = Bactérias em divisão, em porcentagem; BA (%) = Bactérias aderidas ao detrito, em porcentagem; Fito = células autotróficas do nanoplâncton e microplâncton; Cl a = clorofila-a, em julho/1987.

número de amostragens em camadas da coluna de água com gradientes térmicos ou salinos ter sido pequeno, é difícil avaliar-se a importância da termoclina ou da estratificação, como fator favorável ao acúmulo de bactérias, seja como barreira física, seja como biótopo propício ao crescimento bacteriano.

A análise da densidade bacteriana e da concentração de clorofila-*a* ao longo da coluna de água, mostra que estes parâmetros não seguem o mesmo padrão de distribuição vertical. Tal fato foi observado, entre outros autores, por Pomeroy *et al.* (1983), Kassab *et al.* (1985) e Hanson *et al.* (1988). Em considerando, separadamente, o conjunto de dados referentes a cada massa de água, há um aumento na densidade bacteriana com o aumento do teor de clorofila-*a* na água, tanto na AC quanto na ACAS, em diferentes períodos do ano (primavera, verão e inverno). Menor dispersão de pontos é encontrada na ACAS em outubro e dezembro/85, e, na AC no inverno/86, do que na AC no verão (dezembro/85). Em massas de água misturadas ou em períodos como o inverno/87, não há evidência de relação entre a clorofila-*a* e a população bacteriana. Portanto, esta relação, quando observada, ocorre independentemente do período do ano. É, em geral, evidente, nas massas de água com menores variações de salinidade e de temperatura o que equivale dizer, em massas de água mais homogêneas e melhor caracterizadas fisicamente, à exceção daquelas presentes em julho/87. A maior dispersão de pontos observada na relação entre a densidade da população bacteriana e o teor de clorofila-*a*, ou a inexistência de uma relação, clara entre estas variáveis, como observado por vários autores (Bird & Kalff, 1984; Kiorboe *et al.*, 1990) sugere a presença de fontes de matéria orgânica outras que o fitoplâncton, muitas vezes com populações bacterianas específicas. Segundo Bird & Kalff (*op. cit.*) as alterações temporais na relação clorofila-*a*/célula, e as variações no fluxo de carbono alóctone, podem causar variações na relação entre a densidade bacteriana e o teor de clorofila-*a*. A matéria orgânica alóctone, presente, com populações específicas ou não, pode ser originária da resuspensão do sedimento de fundo, da drenagem dos continentes por ocasião das chuvas ou, pelo aumento do fluxo de água doce dos rios.

A relação BL/BA, mostra que apenas no inverno/86, houve aumento significativo das bactérias em detrito. Evidencia-se também, relação positiva entre a densidade bacteriana em detrito e o teor de clorofila-*a* neste período, sugerindo ser este detrito originário do fitoplâncton.

Com relação à variação sazonal, há, tanto na AC quanto na ACAS, no verão, aumento de até três vezes, da população bacteriana. No entanto, quanto ao teor de clorofila-*a*, não há variação expressiva entre as massas de água e entre os períodos do ano. Esse é, em geral, bastante baixo, e parece representar as concentrações

características deste ambiente. Aidar *et al.* (neste volume), em extensa rede de estações na região, observou uma concentração média de clorofila-*a* de 0,57 mg.m⁻³ com variação de 0,06 a 2,77 mg.m⁻³ no período estudado.

A temperatura afeta os processos biológicos de forma fundamental, por causa de sua influência sobre a velocidade das reações bioquímicas, (Iriberry *et al.*, 1985). No entanto, no presente estudo, a temperatura não parece ser o fator responsável pela variação sazonal da densidade bacteriana, limitando ou estimulando o seu desenvolvimento.

A análise da variação da população bacteriana em relação à temperatura não revelou diferença nas densidades bacterianas da ACAS (15-18°C) e da AC (20-23°C).

A população bacteriana depende da presença de matéria orgânica dissolvida lábil que pode ser fator limitante do seu desenvolvimento. A matéria orgânica dissolvida (MOD) é originária da excreção do fitoplâncton, de sua senescência, da atividade de herbivoria do zooplâncton sobre o fitoplâncton, do metabolismo do zooplâncton, da resuspensão do sedimento de fundo, da drenagem dos continentes por ocasião das chuvas e do aporte de água doce dos rios. A matéria orgânica dissolvida lábil, favorece o desenvolvimento da população bacteriana livre enquanto que a matéria orgânica particulada, inerte, de origem recente, favorece o desenvolvimento de populações aderidas ao detrito (Pomeroy, 1984)

A população bacteriana livre domina claramente a população aderida ao detrito no verão, concordando com as observações de vários autores (Van Es & Meyer-Reil, 1982; Pomeroy *et al.*, 1983, Azam & Ammerman, 1984) para outras regiões do globo. Tal fato sugere que, em Ubatuba, a concentração de MOD é maior no verão que em outros períodos do ano. Mas qual a origem desta matéria orgânica dissolvida, se os teores de clorofila-*a* são expressivamente baixos e equivalentes aos dos períodos de inverno e primavera?

Observações de natureza qualitativa têm revelado a ocorrência de florescimentos fitoplanctônicos possantes e com frequência relativamente alta nos períodos de primavera e verão. Constatou-se florescimentos de *Coscinodiscus* sp, no início do verão (observ. pess.), *Oscillatoria* sp, no fim da primavera (Gianesella-Galvão & Costa, 1991), *Mesodinium rubrum* autótrofo, no começo do verão (Owen *et al.*, 1992) *Ceratium furca* e *Pselodinium* sp, no fim do verão (observ. pess.) e de organismos filamentosos de porte grande, no verão (Cunningham* comun. pess.).

(*) Cunningham, P. T. M. (1991) Instituto Oceanográfico USP, São Paulo

Florescimentos de tal natureza são eventos transitórios e, em não havendo uma população de herbívoros desenvolvidos para utilizá-los, seu destino é a decomposição na coluna de água ou a deposição no sedimento (Smetacek, 1985).

Concomitantemente ao florescimento da diatomácea *Coscinodiscus* sp, em novembro/1989, foi registrada a ocorrência de pelotas fecais em grande quantidade, com elevado teor de muco e com alta razão de afundamento. A presença de pelotas fecais, por ocasião do desenvolvimento de *Coscinodiscus* sp, sugere que alguns destes florescimentos são rapidamente utilizados. A herbivoria por copépodos é pouco provável de ocorrer, porque a população residente é pequena e a sua taxa de crescimento é baixa comparada à aquelas do fitoplâncton (Goldman, 1988). No entanto, salpas são freqüentes na região e elas ocorrem por ocasião da intrusão da ACAS na primavera e verão (Katsuragawa *et al.*, neste volume). A intrusão da ACAS representa entrada de nutrientes na zona eufótica e possibilidade de desenvolvimento do fitoplâncton (Aidar *et al.*, neste volume). As salpas podem apresentar rápido desenvolvimento desde que haja alimento disponível. *Thalia democratica* (presente em Ubatuba) pode crescer até 10% de seu comprimento em apenas uma hora (Heron, 1972).

Estes eventos esporádicos, de alta densidade de clorofila-*a* e de intensa herbivoria são fontes de MOD que conduzem ao desenvolvimento da população bacteriana. Após o desaparecimento destes eventos, a alta densidade bacteriana resultante, permanece, seja como traço da ocorrência destes eventos, seja porque a MOD, por apresentar tempo de residência na água, maior que o da matéria particulada, continua a favorecer o desenvolvimento da população microbiana.

No entanto, com a atividade de herbivoria, o teor de BA deveria ser também, significativamente mais elevado no verão, concomitantemente ao aumento da população bacteriana livre. Mas, o que se observou no verão/85 principalmente na AC, foi uma baixa densidade de bactérias aderida ao detrito. Como ressaltado anteriormente, aumento conspícuo de bactérias em detrito foi observado apenas no inverno/86.

Tais fatos sugerem que, na primavera e verão/85, a herbivoria possa ter ocorrido por organismos cujas pelotas fecais apresentavam razão de afundamento alta, como o observado por ocasião do florescimento de *Coscinodiscus* sp, em 1989. Os zooplanctontes pequenos, de protozoa a nauplii, produzem excretas menores e menos densas que não afundam ou o fazem, vagarosamente (Hofman *et al.*, 1981). Tais excretas permanecem em suspensão na coluna de água servindo de substrato às bactérias e favorecendo o aumento de BA na coluna de água mas, são rapidamente decompostos.

Em julho/86, o aumento relativo de BA, assim como a associação encontrada entre bactérias e clorofila-*a*, sugerem a senescência do fito como a fonte de detrito. A morte do fitoplâncton poderia ter sido ocasionada pelas alterações ambientais causadas pela pluviosidade alta ocorrida previamente às amostragens.

A herbivoria por organismos produtores de pelotas fecais, com alta taxa de afundamento, enriquece a água principalmente em matéria orgânica (MO). Para que os nossos dados mostrassem alta incidência de BA seria necessário simultaneidade entre a ocorrência dos eventos e as amostragens na coluna de água. Esta coleta simultânea ocorreu apenas na primavera/89, quando, com o florescimento de *Coscinodiscus* sp, foi observada, comparativamente, maior incidência de BA.

No caso do florescimento da cianobactéria *Oscillatoria* sp, na região de Ubatuba (Gianesella-Galvão & Costa, 1991) não ocorreu afundamento das células e, as evidências foram de que também não sofreram herbivoria. De acordo com Pomeroy (1984) fitoplâncton vivo repele bactéria, mas quando fenece durante períodos de limitação de nutrientes, são invadidos por bactérias e são diretamente convertidos em detrito e biomassa bacteriana. Isto é especialmente evidente após o florescimento de primavera, nas altas latitudes, e daqueles de *Oscillatoria* sp, nos trópicos. Estas cianobactérias apresentam vacúolos gasosos e, mesmo em senescência, permanecem na camada de superfície. A observação de amostras de água por ocasião deste florescimento revelou população microbiana muitíssimo densa, bem como alta incidência de ciliados. Há, neste caso, indícios de que, a decomposição rápida da matéria orgânica de um florescimento em senescência é também plausível de ocorrência, deixando, após o desaparecimento do florescimento, registros na coluna de água, sob a forma de elevada densidade bacteriana.

Estes eventos que parecem estar restritos às épocas mais quentes do ano, explicariam as mais altas densidades bacterianas registradas no verão.

Na ausência de florescimentos a população autotrófica, na região de Ubatuba, é abundante e encontra-se representada por cianobactérias, "proclorofitas" e algas do nanoplâncton. Estes organismos de pequenas dimensões, na ausência de uma fonte alóctone de nutrientes (ACAS, por exemplo), exploram com eficiência os teores baixos de nutriente (Goldman & Glibert, 1983) característicos da região. A manutenção desta população na região requer adição contínua de nutrientes que, provavelmente, são reciclados pela população microbiana heterotrófica (bactérias, flagelados heterótrofos e outros microorganismos heterótrofos). As bactérias teriam como fonte primária de matéria orgânica a população autotrófica microbiana, (picoplanctônica e nanoplanctônica), através de excreção ativa de compostos

celulares e/ou sua liberação durante a senescência. O razoável número de bactérias em processo de divisão no inverno e, a maior ocorrência de BA paralelamente à relação encontrada entre o teor de clorofila-*a* e a densidade bacteriana no inverno de 86, favorecem a hipótese de um sistema auto-sustentado como referido por Goldman (1984) e que se constitui no que Azam *et al.* (1983) descrevem como "alça microbiana".

Conclusões

A população bacteriana da região de Ubatuba, constituída principalmente por bactérias livres, se apresenta com densidades comparáveis a de regiões similares em outras partes do globo. Seu aumento no verão, não parece depender diretamente do aumento de temperatura e de clorofila-*a*. Representa, provavelmente, o traço de eventos anteriores, tais como florescimentos de fitoplâncton, que causaram o aumento de matéria orgânica dissolvida e conseqüentemente de substrato para o seu desenvolvimento.

A abundância de picoplâncton autotrófico (cianobactérias e "proclorofitas") e de outros constituintes menores do fitoplâncton, em períodos de baixa produtividade orgânica (inverno), representam, na ausência dos grandes florescimentos do fitoplâncton, os principais produtores primários da região estudada. População heterotrófica conspícua (bactérias e protozooplâncton) acompanha estes produtores primários. A ocorrência de bactérias em divisão, sugere não estarem estas, limitadas por substratos ou nutrientes.

Há, portanto, evidência de uma estrutura microbiana no inverno, constituída por estes organismos, na qual, os nutrientes necessários à sua manutenção, provavelmente, se originam da atividade regeneradora da população microbiana heterotrófica.

Agradecimentos

Agradeço à Profa Elizabeth Aidar a correção crítica e às inúmeras oportunidades de discussão informal dos resultados do presente trabalho. Ao grupo do Plâncton, a possibilidade de usar os dados de clorofila-*a*. Aos colegas do Projeto Integrado a leitura crítica do manuscrito e às sugestões feitas. À Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (SECIRM), pelo suporte financeiro que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

Referências bibliográficas

- ANDERSEN, P. & FENCHEL, T. 1985. Bacterivory by microheterotrophic flagellates in seawater samples. *Limnol. Oceanogr.*, 30:198-202.
- AIDAR, E.; GAETA, S. A.; GIANESELLA-GALVÃO, S.M.F.; KUTNER, M.B.B. & TEIXEIRA, C. 1993. Ecossistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila-*a* e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba, SP. *Publção esp. Inst. oceanogr.*, S Paulo, (10):9-43.
- AZAM, F. & AMMERMAN, J. W. 1984. Cycling of organic matter by bacterioplankton in pelagic marine ecosystem: micro-environmental considerations. In: Fasham, M. J. R., ed. *Flows of energy and materials in marine ecosystem: theory and practice*. New York, Plenum Press. p.345-360.
- _____; FENCHEL, T.; FIELD, J. G.; GRAY, J. S.; MEYER-REIL, L. A. & THINGSTAD, F. 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.*, 10: 257-263.
- BIRD, D. F. & KALFF, J. 1984. Empirical relationships between bacterial abundance and chlorophyll concentration in fresh and marine waters. *Can. J. Fish. aquat. Sci.*, 41:1015-1023.
- CASTRO FILHO, B. M. de; MIRANDA, L. B. de; MIYAO, S. Y. 1987. Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 35(2):135-151.
- FOGG, G. E.; EGAN, B.; FLOODGATE, G. D.; JONES, D. A.; KASSAB, J. Y.; LOCHTE, K.; REES, E. I. S.; SCROPE-HOME, S. & TURLEY, C. M. 1985. Biological studies in the vicinity of a shallow-sea tidal mixing front. VII. The frontal ecosystems. *Phil. Trans. R. Soc.*, 310B:555-571.
- GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F. & COSTA, M. P. 1991. Floração de *Oscillatoria* sp em águas costeiras do Atlântico Sudoeste. In: SIMPÓSIO SOBRE OCEANOGRAFIA - IOUSP, 2., São Paulo, 1991. Resumos. São Paulo, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. p.87.
- GOLDMAN, J. C. 1984. Oceanic nutrient cycles. In: Fasham, M. J. R. ed. *Flows of energy and materials in marine ecosystems: theory and practice*. New York, Plenum Press. p.137-170.

- GOLDMAN, J. C. 1988. Spatial and temporal discontinuities of biological processes in pelagic surface waters. In: Rothschild, B. J., ed. Toward a theory on biological-physical interactions in the world ocean. Dordrecht, Kluwer Academic. p.273-296.
- _____ & GLIBERT, P. M. 1983. Kinetics of inorganic nitrogen uptake by phytoplankton. In: Carpenter, E. J. & Capone, D. G., eds Nitrogen in the marine environment. New York, Academic Press. p.233-274.
- HANSON, R. B.; POMEROY, L. R.; BLANTON, J. O.; BIDDANDA, B. A.; WAINWRIGHT, S.; BISHOP, S. S.; YODER, J. A. & ATKINSON, L. P. 1988. Climatological and hydrographic influences on nearshore food webs off the southeastern United States: bacterioplankton dynamics. *Continental Shelf Res.*, 8(12):1321-1344.
- HERON, A. C. 1972. Population ecology of a colonizing species: the pelagic tunicate *Thalia democratica*. I Individual growth rate and generation time. *Oecologia*, 10:269-293.
- HOBBIE, J. H.; DALEY, R. J. & JASPER, S. 1977. Use of Nuclepore filters for counting bacteria by epifluorescence microscopy. *Appl. environ. Microbiol.*, 33:1225-1228.
- HOFMANN, E. E.; KLINCK, J. M. & PAFFENHOFER, G. A. 1981. Concentrations and vertical fluxes of zooplankton fecal pellets on a continental shelf. *Mar. Biol.*, 61:327-335.
- IRIBERRI, J.; UNANUE, M.; BARCINA, I. & EGEE, L. 1985. Seasonal variation in population density and heterotrophic activity of attached and free-living bacteria in coastal waters. *Appl. environ. Microbiol.*, 53(10):2308-2314.
- KASSAB, J. Y.; WHITAKER, C. J. & FLOODGATE, G. D. 1985. Biological studies in the vicinity of a shallow-sea tidal mixing front. VI A general statistical study. *Phil. Trans. R. Soc.*, 310:521-554.
- KATSURAGAWA, M.; MATSUURA, Y.; DIAS, J. F.; SUZUKI, K. & SPACH, H. L. 1993. O ictioplâncton ao largo de Ubatuba, SP: composição, distribuição e ocorrência sazonal (1985-1988). *Publicação esp. Inst. oceanogr.*, S Paulo, (10):85-121.
- KIORBOE, T.; KAAS, H.; KRUSE, B.; MOHLENBERG, F.; TISELIUS, P. & AERTEBJERG, G. 1990. The structure of the pelagic food web in relation to water column structure in the Skagerrak. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.*, 59:19-32.
- LOCHTE, K. 1985. Biological studies in the vicinity of a shallow-sea tidal mixing front. III. Seasonal and spatial distribution of heterotrophic uptake of glucose. *Phil. Trans. R. Soc.*, 310B:445-469.
- MESQUITA, H. de S. L. 1981. Free-living/attached bacteria ratio in the Cananéia estuary (25°S - 48°W), Brazil. In: SEMINÁRIO REGIONAL DE ECOLOGIA, 2., São Carlos. Trabalhos. São Carlos, Universidade Federal de São Carlos. p.437-455.
- _____ 1983. Suspended particulate organic carbon and phytoplankton in the Cananéia estuary (25°S - 48°W), Brazil. *Océanographie trop.*, ORSTOM, 18(1):55-68.
- _____ & Peres, C. de A. 1985. Numerical contribution of phytoplanktonic cells, heterotrophic particles and bacteria to size fractionated POC in the Cananéia estuary (25°S-48°W), Brazil. *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 33(1):69-78.
- MIRANDA, L. B. de 1985. Forma da correlação T-S de massas de água das regiões costeira e oceânica entre o Cabo de São Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP), Brasil. *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 33(2):105-119.
- OWEN, R. W.; GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F. & KUTNER, M. B. B. 1992. Discrete, subsurface layers of autotrophic ciliate *Mesodinium rubrum* off Brazil. *J. Plankt. Res.* 14(1):97-105.
- POMEROY, L. R. 1984. Significance of microorganisms in carbon and energy flow in marine ecosystems. In: Klugg, M. J. & Reddy C. A., eds Current perspectives in microbial ecology. Washington, DC., American Society of Microbiology. p.405-411.
- _____; ATKINSON, L. P.; BLANTON, J. O.; CAMPBELL, W. B.; JACOBSEN, T. R.; KERRICK, K. H. & WOODS, A. M. 1983. Microbial distribution and abundance in response to physical and biological processes on the continental shelf of southeastern U.S.A. *Continental Shelf Res.*, 2(1):1-20.
- SMETACEK, V. 1985. Role of sinking in diatom life history cycles: ecological, evolutionary and geological significance. *Mar. Biol.*, 84:239-251.
- STRICKLAND, J. D. H. & PARSONS, T. R. 1968. A practical handbook of sea water analysis. *J. Fish. Res. Bd Can.*, (167):1-311.

VAN ES, F. B. & MEYER REIL, L. A. 1982. Biomass and metabolic activity of heterotrophic marine bacteria. *Adv. microb. Ecol.*, 6:111-170.

WATANABE, K. 1980. Distribution of aerobic, heterotrophic bacteria in Cananea Estuary, Brazil. *Acta Veterinaria (Beograd)*, 30(5-6):253-275.

WATANABE, K. & KUTNER, M. B. B. 1965. Plankton studies in a mangrove environment. III. Bacteriological analyses of waters in Cananea. *Bolm Inst. oceanogr., S Paulo*, 14:43-52.

(Manuscrito recebido 6 julho 1992; revisto 22 dezembro 1992; aceito 26 fevereiro 1993)