

RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS FÍSICAS, QUÍMICAS E FITOPLANCTÔNICAS DE TRÊS ÁREAS ESTUARINAS DA COSTA NORTE DO BRASIL - SÃO JOSÉ DE RIBAMAR, CEDRAL E CAJAPIÓ, MA'

Relationships between physical, chemical and phytoplankton variables in three estuarine areas of Northern Brazil - São José de Ribamar, Cedral and Cajapió counties, Maranhão State

Eliesé Idalino Rodrigues², Marco Valério Jansen Cutrim³

RESUMO

As áreas estuarinas nos municípios de São José de Ribamar, Cedral e Cajapió, estado do Maranhão (Brasil), estão localizadas entre 2° - 3°S e 44° - 45°W. Seis coletas superficiais, em preamar, no período da manhã, foram feitas durante o período de maio/2005 a abril/2006, para cada ponto de coleta para determinar as variáveis fitoplanctônicas (clorofila *a* e contagem de células) e as variáveis hidrológicas e climáticas, considerando suas variações sazonais (período chuvoso, de janeiro a junho, e de estiagem, de julho a dezembro). A clorofila *a* variou de 2,4 a 16,56 mg.m⁻³. A quantidade de células do fitoplâncton variou de 11 a 176 cel.mL⁻¹. A regressão linear múltipla revelou que o fosfato se correlacionou com a clorofila *a*, enquanto que nitrato e silicato influenciaram a quantidade de células fitoplanctônicas. A Análise dos Componentes Principais (ACP) mostrou uma correlação positiva entre a clorofila *a* fitoplanctônica e a altura da maré no instante da coleta, da mesma forma que a quantidade de células fitoplanctônicas e a transparência da água. Um diagrama com as variáveis abióticas e bióticas foi construído a fim de compreender melhor as inter-relações envolvendo a comunidade fitoplanctônica.

Palavras-chaves: estuário, fitoplâncton, clorofila, Análise de Componentes Principais, Maranhão.

ABSTRACT

The estuarine areas in São José de Ribamar, Cedral and Cajapió counties, Maranhão State (Brazil), are located between 2° - 3°S and 44° - 45°W. Six superficial samplings at high tide in morning time were carried out during the period from May, 2005 to April, 2006 for each sampling point to determine phytoplankton variables (chlorophyll and cell count) and the hydrological and climatic variables, considering their seasonal variations (the rainy season, from January to June, and the dry season, from July to December). Algal chlorophyll *a* ranged from 2.4 to 16.56 mg.m⁻³. Cell counts of phytoplankton varied from 11 to 176 cel.mL⁻¹. Multiple linear regressions revealed that the phosphate were correlated to the chlorophyll, whereas the nitrate and the silicate influenced the cell count. Principal Component Analysis showed a positive correlation between the chlorophyll and the tide height during samplings, such as phytoplankton cell count and water transparency. A diagram with biotic and abiotic variables was constructed in order to better comprehending the interrelations involving the phytoplankton community.

Key words: estuary, phytoplankton, chlorophyll, Principal Component Analysis, Maranhão State.

¹ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, com apoio financeiro da FAPEMA.

² Biólogo, Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica do Piauí (CEFET-PI) – UNED de Picos, Rua João de Deus Filho, 149, Picos, PI 64600-000 (eirbol@gmail.com).

³ Biólogo, Professor do Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, Av. dos Portugueses, s/n, São Luís, MA 65080-040 (cutrim@ufma.br).

INTRODUÇÃO

Os ambientes estuarinos, dentre os ecossistemas aquáticos, são altamente produtivos e ocupam importantes áreas da zona costeira. Os aspectos que explicam a razão de sua elevada produtividade são o fluxo das marés e o aporte de nutrientes provenientes da drenagem terrestre, o que favorece a existência de grande quantidade de produtores primários, representados pelo fitoplâncton.

Os maiores sistemas estuarinos brasileiros se encontram na sua porção setentrional, abrangendo as áreas costeiras desde o Amapá até o Maranhão (Kjerfve & Lacerda, 1993). Apesar da grande importância ecológica da costa norte do Brasil, poucos trabalhos foram realizados no que se refere à biomassa fitoplanctônica e suas relações com as variáveis físico-químicas. Dentre os escassos estudos envolvendo tais aspectos dessa região, destacam-se os de Teixeira et al. (1988), no estreito dos Coqueiros, a sudoeste da ilha de São Luís, e Alcântara et al. (2004), no rio Anil, realizados no Golfão Maranhense.

Com a segunda maior linha de costa, 640 km (IBGE, 1984), representando 7,36% do total de 8.698 km da costa brasileira (Asmus & Kitzmann, 2004), o estado do Maranhão se destaca pela ocorrência de um regime de macromarés que chegam a atingir amplitudes de 7 m (DHN, 2005). Como consequência da presença de grandes bacias hidrográficas, a costa maranhense apresenta uma grande rede estuarina.

As variáveis climáticas, sobretudo a precipitação pluviométrica, atuam em toda a configuração da(s) bacia(s) hidrográfica(s) onde se encontra a área estuarina (Tundisi, 1970). As variações dessa confi-

guração refletem nas proporções de material em suspensão, incluindo os sais nutrientes. O fitoplâncton requer um diverso conjunto de nutrientes minerais para seu suporte e crescimento, incluindo N, P e Si (macronutrientes) de origem fluvial/costeira (Day Jr. et al., 1989). Além dos nutrientes, Agawin et al. (2000) e Legendre & Rassoulzadegan (1995) destacam a importância da quantidade de luz, da temperatura e do regime de marés, Nybakken (1997) inclui todos os fatores responsáveis pelo movimento da água, como as correntes (incluindo as marés), ressurgências e difusão. Sendo assim, as macromarés típicas da costa maranhense exercem grande influência sobre seus estuários.

Nos últimos anos, alguns trabalhos com modelagem matemática de estuários têm significado um grande avanço na busca por um melhor entendimento ecológico da zona costeira. No Brasil, dentre os raros estudos com tal ferramenta, encontram-se o de Frazão & Vital (2002), no estuário do rio Potengi (RN) e de Amaral et al. (2004), no estuário do rio Macaé (RJ). No Maranhão, dentre os raros trabalhos com essa temática, encontra-se o de Alcântara et al. (2004), no rio Anil.

O presente estudo tem como objetivo principal estabelecer relações entre as variáveis físicas, químicas e fitoplanctônicas de três áreas estuarinas maranhenses, nos municípios de São José de Ribamar, Cedral e Cajapió.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram estabelecidos três pontos de coleta, em áreas estuarinas da costa maranhense (Figura 1). A

região apresenta clima tropical úmido, maior precipitação pluviométrica de janeiro a junho (média de 2.083 mm) - temperatura entre 24 e 30 °C, predominando ventos alísios de nordeste (período chuvoso), e de sudeste (período de estiagem), com velocidades máximas em torno de 15 m.s⁻¹ (Silva et al., 2006; EMBRAPA, 2001). As correntes de maré são relativamente fortes, atingindo velocidades de até 1,0 m.s⁻¹ (Mello & Mochel, 2002). O ponto I localiza-se em 2°34'15''S - 44° 01'00''W, na Baía de São José (Ilha de São Luís), localizando-se no médio estuário, com salinida-

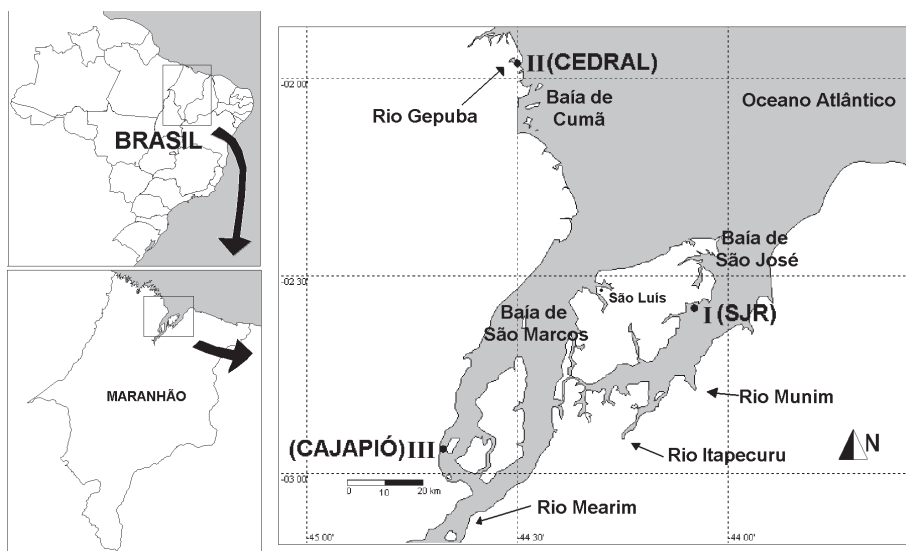


Figura 1 - Mapa com as localizações dos pontos de coleta (I, II e III), na costa maranhense. SJR = São José de Ribamar.

de de 5 a 25, sofrendo influência direta do mar, dos rios Itapecuru e Munim e das pequenas bacias da costa leste da ilha. O ponto II situa-se em 2°00'57''S - 44°30'13''W, ao sul do município de Cedral-MA (Reentrâncias Maranhenses), recebendo influência marinha e do rio Gepuba, na Baía de Cumã, sobre a plataforma interior (Maranhão 2003), com salinidades de 25 a 35. O ponto III encontra-se em 2°53'32''S - 44°38' 54''W, em frente ao município de Cajapió, na Baía de São Marcos, recebendo influência dos rios Mearim e seus afluentes, como o Pindaré e o Grajaú, sendo área de médio estuário (Maranhão, 2003), com salinidades de 11 a 31.

As amostras para análise de clorofila *a* como estimativa da biomassa fitoplanctônica e para determinação dos parâmetros hidrológicos foram coletadas bimestralmente, na superfície da água, no estófo da preamar, durante o período da manhã, de maio/2005 a abril/2006. As seis coletas foram realizadas tanto no período chuvoso (janeiro - junho) como no de estiagem (julho - dezembro), para cada um dos três pontos. Os dados de pluviometria (mm), radiação solar e velocidade dos ventos foram fornecidos pelo Laboratório de Meteorologia da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). A salinidade, o pH e a temperatura superficial da água foram determinados *in situ* com o uso de um multiparâmetro digital Consort C535. A densidade da água (σ_{stp}), em mg.cm^{-3} , foi calculada por meio da equação elaborada por Fofonoff & Millard Jr. (1983). O oxigênio dissolvido foi medido pelo método de Winkler e a saturação do oxigênio dissolvido foi calculada conforme UNESCO (1973). A transparência da água (cm) foi medida através do disco de Secchi. Empregou-se o método de Strickland & Parsons (1972) para nitrato (μM de N-NO_3^-) e fosfato (μM de P-PO_4^{3-} , P-HPO_4^{2-} e $\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$); para a análise do silicato (μM de $\text{Si-H}_4\text{SiO}_4$ e $\text{Si-H}_3\text{SiO}_4^-$) foi utilizado o método de Grasshoff *et al.* (1983). Para a análise de clorofila *a*, foi utilizado o método espectrofotométrico da UNESCO (1966), com as equações de Strickland & Parsons (1972), estimando-se a biomassa total e a fracionada (pico/nanofitoplâncton, conforme Lohmann 1911), através de fracionamento de clorofila *a* por meio de um filtro de 20 μm . A quantidade de células do fitoplâncton foi determinada por contagem conforme Thronsen (1978) e Utermöhl (1958). Com os dados devidamente log-transformados, foram empregadas análises de variância bifatorial (Two-Way ANOVA), para testar as diferenças entre os três pontos de coleta e entre os dois períodos sazonais (chuvoso e de estiagem), além de regressões lineares múltiplas e Análise de Componentes Principais (ACP), todas com os dados estandardizados e logaritmizados.

RESULTADOS

Os dados de precipitação pluviométrica mostraram que a maior concentração de chuva ocorreu durante o período de janeiro a junho, sobretudo em abril (592 mm), ao passo que os menores valores foram registrados durante o mês de setembro (0,5 mm), com média geral de 171 mm mensais. A velocidade média dos ventos foi de 5,15 m.s^{-1} , com maiores valores durante o período de estiagem ($F = 14,65$ e $p = 0,002$, Two-Way ANOVA) enquanto que a radiação solar média bimestral variou de 260 a 499 $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, sendo maior durante o período de estiagem ($F = 14,84$; $p = 0,002$ (Tabela I).

A maré no estado do Maranhão é considerada semidiurna, por ter duas baixa-mares e duas preamares durante o período de um dia lunar, com alturas aproximadamente iguais. Conforme a classificação de Davies (1964) é do tipo macromareal com amplitudes superiores a 4 metros. Durante o período estudado, as amplitudes de marés variaram de 2,0 a 7,1 m, sendo os valores máximos registrados durante os meses de março, 7,1 m, e agosto, 7,0 m (DHN, 2005).

A transparência da água variou de 12 cm a 130 cm, com média de 65,5 cm. A temperatura da água teve média de 29,8°C, variando de 27,8 a 38,5°C. A menor concentração de oxigênio dissolvido foi 2,7 mL.L^{-1} , e a maior 7,3 mL.L^{-1} , sendo a média 4,7 mL.L^{-1} . A taxa de saturação do oxigênio dissolvido variou de 61,4 a 160,5%, com média 101,6%. O pH manteve-se alcalino (média 7,93), variando de 7,40 a 8,68 (Tabela I).

A salinidade (Tabela I) variou de 10,7 a 33,0, com média 26,9. As precipitações pluviométricas elevadas do período chuvoso fizeram os valores de salinidade reduzirem ($F = 5,51$; $p = 0,037$, como consequência do grande volume de água recebido pelos estuários.

O valor de densidade da água (σ_{stp}) mais baixo foi 4,63 mg.cm^{-3} , o maior sendo 20,81 mg.cm^{-3} , sendo a média 15,70 mg.cm^{-3} , com maiores valores durante a estiagem ($F = 5,65$; $p = 0,035$ (Tabela I).

A concentração média de nitrato foi 9,77 μM , tendo como menor valor 1,38 μM e maior 24,43 μM . O fosfato teve menor concentração de 0,15 μM e maior 1,72 μM , com média 0,79 μM . As concentrações registradas para silicato tiveram média de 25,76 μM , variando de 3,25 μM a 65,03 μM .

A clorofila *a* total apresentou valores variando de 2,40 mg.m^{-3} a 16,56 mg.m^{-3} (Tabela I; Figura 2).

Quanto à contribuição dos diferentes tamanhos de organismos fitoplanctônicos, constatou-se que os organismos do pico/nanofitoplâncton representaram em média 62,5% da clorofila *a* total, com

proporções maiores registradas no ponto II (88,1%), durante o período chuvoso, e menores no ponto I (19,5%) durante o período de estiagem (Figura 3).

No que se refere à contagem de células fitoplanctônicas, os valores obtidos foram de 11 a 176 cel.mL⁻¹, com média 79 cel.mL⁻¹ (Tabela I; Figura 2).

As regressões lineares múltiplas entre as variáveis biológicas e os nutrientes revelaram que, enquanto o fosfato se relaciona negativamente com a clorofila *a*, o nitrato interage negativamente com a quantidade de células do fitoplâncton, que também é modificada positivamente pelo silicato (Tabela II).

O plano I-II da Análise de Componentes Principais explicou 69,1% da variância total. O fator 1 explicou 36,9%, associando de forma direta a clorofila *a* fracionada, o oxigênio dissolvido, a concentração de silicato e o pH, que tiveram relação inversa com a tem-

peratura da água, a salinidade, a radiação solar acumulada e a velocidade média do vento nos 30 dias que antecederam cada coleta.. O fator 2 explicou 32,2% das variações dos dados, associando diretamente a clorofila *a* total, a altura da maré no momento da coleta, a precipitação pluviométrica dos 30 dias que antecederam cada coleta e a densidade da água, que variaram inversamente com a quantidade de células fitoplanctônicas e a transparência da água. Os dois grupos destacados na ACP indicaram as principais variáveis que atuam positivamente na quantidade de células e na clorofila *a* do fitoplâncton (Tabela I; Figura 3).

Para melhor compreender as inter-relações que envolvem a comunidade fitoplanctônica nas áreas estudadas, foi construído um diagrama contendo as variáveis abióticas (climáticas e hidrológicas) e bióticas (Figura 4).

Tabela I - Valores médios das variáveis climáticas, hidrológicas e biológicas e resultados da análise de variância bifatorial dos dados devidamente logaritimizados referente aos três pontos de coleta e os dois períodos sazonais, de 2005 a 2006. PC = Pontos de coleta, PS = Períodos sazonais, Chuv = Chuvoso, Est = Estiagem. *0,05; **0,01.

Variáveis	Médias						ANOVA (F)		
	PC			OS		Geral	PC	PS	PC * PS
	I	II	III	Chuv	Est				
Pluviosidade mensal (mm)	163,9	202,2	147,9	302,2	40,4	171,3	0,02	13,46**	0,13
Velocidade dos ventos (m.s ⁻¹)	5,85	6,00	3,60	4,41	5,89	5,15	16,25**	14,65**	1,39
Radiação solar (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	423,8	422,0	388,8	373,1	450,0	411,5	1,30	14,84**	2,89
Altura da maré em coleta (m)	5,3	4,5	5,8	5,4	5,1	5,2	12,76**	2,25	1,83
Transparência (cm)	94,5	67,7	34,3	73,9	57,1	65,5	10,49*	2,44	0,25
Temperatura da água (°C)	30,0	28,5	30,9	30,5	29,1	29,8	1,89	1,86	0,54
pH	7,93	8,01	7,86	7,90	7,96	7,93	0,33	0,12	0,02
Oxigênio dissolvido (ml.L ⁻¹)	4,54	4,89	4,53	4,85	4,46	4,65	0,22	0,57	1,33
Saturação do O.D. (%)	100,2	106,9	97,8	105,7	97,5	101,6	0,23	0,51	1,07
Salinidade	28,2	30,2	22,3	24,1	29,7	26,9	4,00*	5,51*	0,90
Densidade da água σ_{sp} (mg.cm ⁻³)	16,62	18,60	11,87	13,37	18,03	15,70	4,34*	5,65*	1,47
Nitrato (μ M)	6,33	2,76	20,22	10,47	9,07	9,77	34,55**	2,37	1,31
Fosfato (μ M)	0,66	0,40	1,30	0,86	0,76	0,79	14,03**	0,02	1,32
Silicato (μ M)	17,42	12,58	47,29	29,06	22,46	25,76	14,71**	1,36	1,78
Razão nitrato/fosfato	9,41	9,60	16,93	13,12	11,23	11,98	2,75	0,25	0,96
Razão nitrato/silicato	0,49	0,31	0,47	0,35	0,48	0,42	0,97	0,90	0,55
Clorofila <i>a</i> total (mg.m ⁻³)	4,89	9,39	4,81	5,98	6,76	6,37	2,38	0,30	2,30
Clorofila <i>a</i> fracionada (mg.m ⁻³)	2,28	6,97	3,18	4,22	4,07	4,14	4,96*	0,04	3,44
Fitoplâncton (cel.mL ⁻¹)	78	122	38	82	77	79	5,69*	0,06	1,98

Tabela II - Coeficiente parcial (b) da análise de regressão linear múltipla entre clorofila *a* total, quantidade de células fitoplanctônicas e concentração de nutrientes (nitrato, fosfato e silicato). * 0,05; ** 0,01. Os dados de quantidade de células foram estandarizados, enquanto os demais foram logaritimizados.

Variável dependente	Variável independente		
	Nitrato	fosfato	silicato
Clorofila <i>a</i> total (F = 3,46*)	- 0,01	- 2,65**	1,03
Quantidade de células (F = 13,93**)	- 4,35**	- 1,12	2,86**

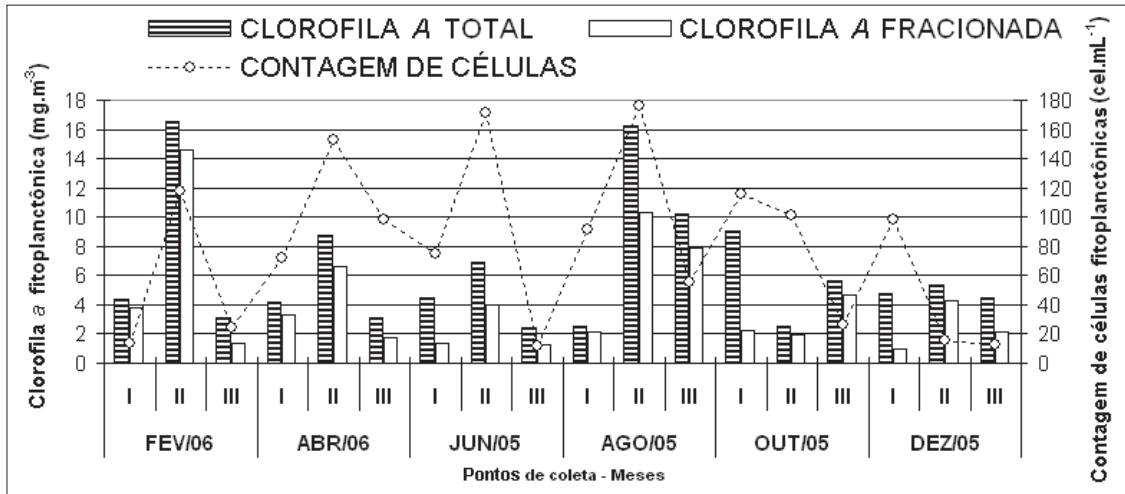


Figura 2 - Valores de quantificação da biomassa fitoplanctônica estimada em clorofila a (mg.m⁻³) total e fracionada e da contagem de células fitoplanctônicas, para cada ponto de coleta (I, II e III), durante o período de 2005 a 2006.

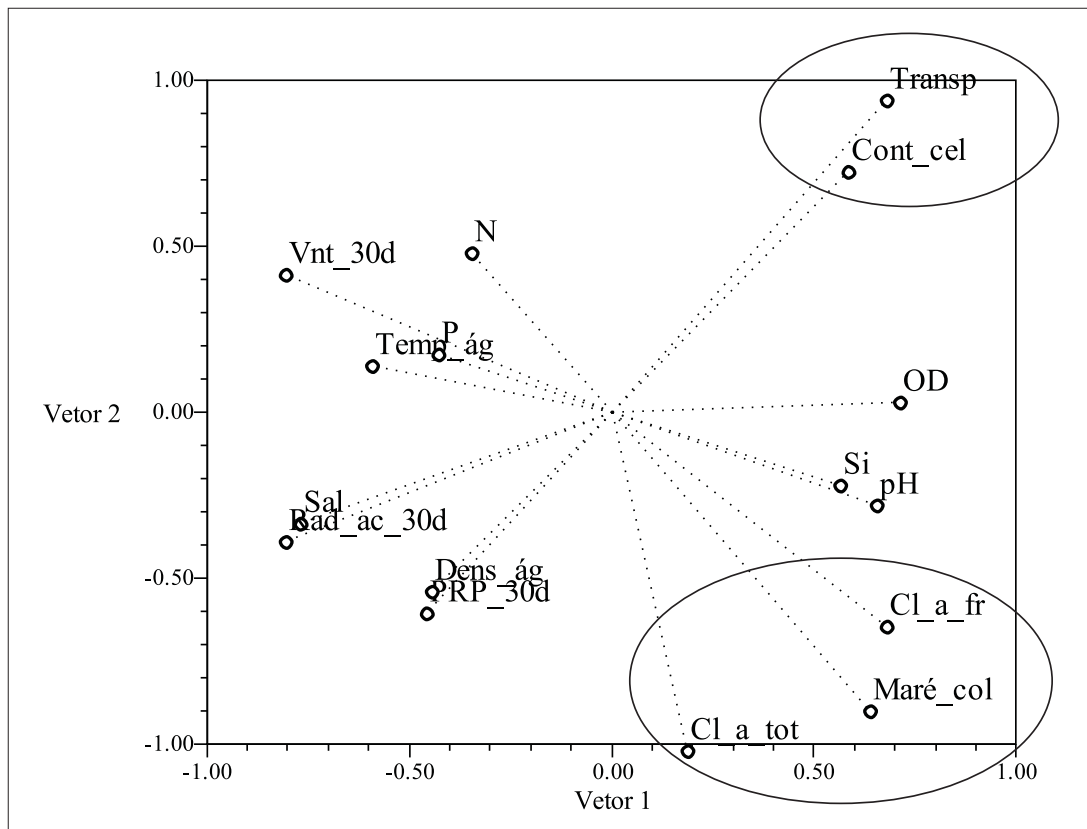


Figura 3 - Análise dos Componentes Principais (ACP) das variáveis abióticas e bióticas dos três pontos de coleta, durante o período de 2005 a 2006. Explicação de 69,1% da variação: vetor 1 (36,9%) e vetor 2 (32,2%). Vnt_30d (velocidade média dos ventos nos 30 dias que antecederam as coletas), Temp_ág (temperatura superficial da água), Cont_cel (contagem de células), Transp (transparência da água), OD (oxigênio dissolvido), Cl_a_fr (clorofila a fracionada), Maré_col (altura da maré no instante da coleta), Cl_a_tot (clorofila a total), Dens_ág (densidade da água), Sal (salinidade), PRP_30d (precipitação pluviométrica média dos 30 dias que antecederam as coletas), Rad_ac_30d (radiação solar acumulada nos 30 dias que antecederam as coletas).

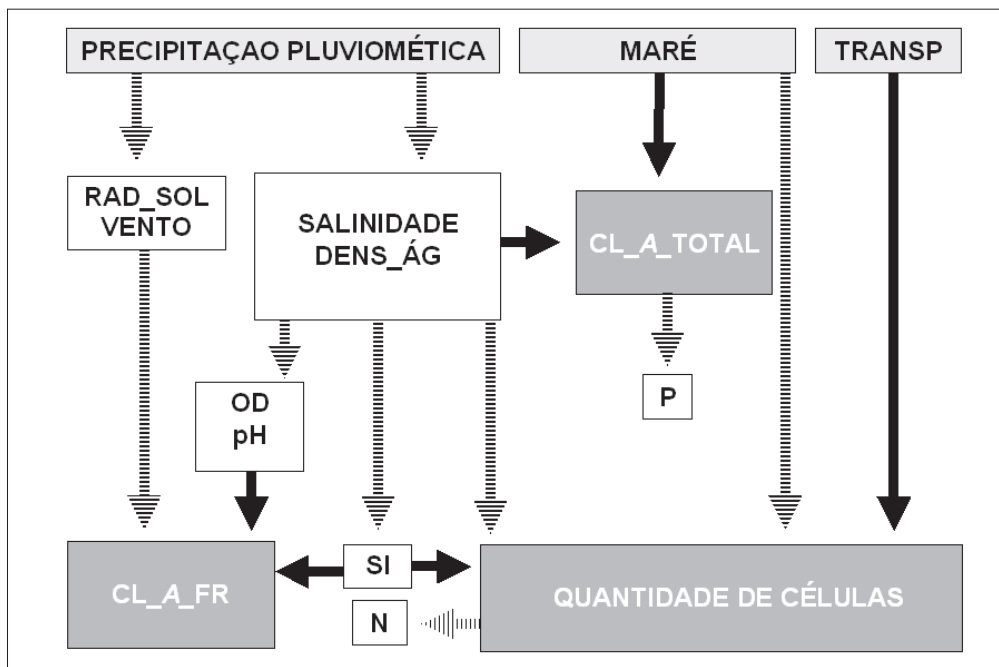


Figura 4 - Diagrama com os resultados obtidos por meio do tratamento estatístico aplicado aos dados (setas maciças indicam correlação positiva e setas listradas representam correlação negativa). Transp (transparência), Rad_sol (radiação solar), Vento (velocidade do vento), Dens-ág (densidade da água), OD (oxigênio dissolvido), Si (silicato), N (nitrato), P (fosfato), Cl_a_fr (clorofila a fracionada), Cl_a_total (clorofila a total).

DISCUSSÃO

Nas áreas estudadas, a ação dos ventos foi maior durante o período de estiagem, atingindo, nos pontos I e II, médias superiores a 4 m.s^{-1} , velocidade a partir da qual, conforme Yin et al. (1996), o vento se torna atuante sobre a disposição do fitoplâncton nas massas d'água. Segundo Santos-Fernandes et al. (1998), a força dos ventos pode ressuspender o sedimento e alterar a produtividade fitoplanctônica em locais com pequena profundidade.

Maiores alturas de maré estiveram ligadas a maiores taxas de clorofila *a* fitoplanctônica (que variou de 2,40 a $16,56 \text{ mg.m}^{-3}$), o que também foi verificado por Bastos et al. (2005) no estuário do rio Una (PE).

A presença de uma grande turbidez em estuários meso e macromareais influencia muito nos processos biológicos na coluna d'água (Irigoien & Castel, 1997). A limitação da penetração da luz pela turbidez tem sido frequentemente assinalada como um fator controlador da produção primária em estuários (Randall & Day, 1987; Lehman, 1992).

No presente estudo, maiores transparências levaram a maiores quantidades de células fitoplanctônicas. A transparência da água em áreas estuarinas costuma ser reduzida, por serem ambientes pouco

profundos (Bastos et al., 2005) e de intenso dinamismo, controlado pela descarga fluvial e pelas marés. Na costa maranhense, por efeito da grande quantidade de rios e das grandes extensões dos mesmos, ocorre um elevado aporte de sedimentos, tornando a zona eufótica limitada a uma pequena lâmina da superfície (Teixeira et al., 1988).

Em estuários tropicais, a salinidade é a principal variável química que condiciona a distribuição dos organismos, uma vez que a temperatura e a radiação solar têm valores pouco variáveis ao longo do ano (Santos-Fernandes et al., 1998). Dentro do Sistema de Veneza (Venice-System, 1959), os estuários estudados estão enquadrados como de mesoalinos a eurialinos.

Nota-se que as densidades da água registradas estiveram abaixo até mesmo da densidade citoplasmática do fitoplâncton citada por Bonecker et al. (2002) como sendo de $\delta_{\text{stp}} = 30$ a 100 mg.cm^{-3} . Como o período com menor salinidade foi o chuvoso, este também demonstra os menores valores para densidade da água, possivelmente causando diferenças na fisiologia do fitoplâncton, que deve estar adaptada aos gradientes de densidade na coluna d'água (Nybakken, 1997).

Os valores de pH observados (7,4 a 8,68) demonstraram a grande influência marinha nas áreas

em estudo, estando dentro do limite estabelecido por Perkins (1977) como compatível com a vida marinha. Esse padrão também foi registrado por Souza & Couto (1999), no estuário do rio Piauí (SE) e por Grego *et al.* (2004), no estuário do rio Timbó (PE).

A média (4,56 mL.L⁻¹) de oxigênio dissolvido (OD) obtida durante o presente estudo encontra-se no intervalo de 1 a 6 mL.L⁻¹, o qual, conforme Sen-Gupta & Machain-Castillo (1993), representa a variação mais comum para águas marinhas tropicais em condições naturais. Segundo Bastos *et al.* (2005), as concentrações de oxigênio dissolvido são maiores em ambientes lacustres e, nos estuários, variam muito em função do fluxo e refluxo das marés.

De acordo com a classificação de Macêdo & Costa (1978, *apud* Feitosa *et al.*, 1999) para saturação do OD, os três pontos podem ser considerados zonas de baixa saturação (valores de 50 a 100%) a saturadas (a partir de 100%), não havendo, conforme esta variável, indícios de poluição, que ocorreriam com saturações abaixo de 50%, típicas de zonas muito antropizadas.

Embora a maior parte do nitrogênio na água do mar esteja presente sob a forma molecular (N₂), correspondendo a 95% do total, o fitoplâncton somente pode utilizar as formas dissolvidas, sobretudo nitrato. As demais formas do nitrogênio, no caso, amônio e nitrito, em ambientes costeiros não-poluídos têm concentrações de, no máximo, 1 µM (Baumgarten *et al.*, 1996). Por este motivo, neste estudo, tais nutrientes não foram considerados.

No ambiente costeiro, as concentrações de nitrato são na ordem de 10 a 15 µM (Baumgarten *et al.*, 1996), porém, a média de 9,8 µM registrada no presente estudo, corresponde somente à preamar. Segundo Thomas *et al.* (2005), concentrações de nitrato abaixo de 2 µM, como as que ocorreram no ponto II no final do período chuvoso e durante o período de estiagem, são limitantes para a produtividade fitoplanctônica.

Tais valores de nitrato registrados no presente estudo são bem maiores que os considerados suficientes para o desenvolvimento fitoplanctônico por Teixeira *et al.* (1988), em estudo realizado no Estreito dos Coqueiros, na ilha de São Luís, no qual registraram valores de nitrato desde 0,40 a 8,49 µM. Souza & Couto (1999), em estudo no estuário do rio Piauí (SE), encontraram valores bem maiores, variando de 10,2 a 15,2 µM, ao contrário de Losada *et al.* (2000), em estuários da costa pernambucana. Thomas *et al.* (2005), em estudo com os estuários Mdloti e Mhlanga, no sul da África, encontraram concentrações de 0,14 a 418 µM, sendo valores elevados e associados à eutrofização evidenciada pelos autores nesses estuários.

A média de 0,8 µM de fosfato registrada no presente estudo encontra-se pouco abaixo dos valores (1,0 a 1,2 µM) definidos por Liss (1976, *apud* Baumgarten *et al.*, 1996) e Delgado-Noriega & Astorga-España (2005) como resultado de um sistema tampante entre a coluna d'água e a coluna sedimentar nos estuários não poluídos.

Nos pontos I e II (Tabela I), os valores médios da razão N:P evidenciam o nitrogênio como fator limitante. A proporção de carbono, nitrogênio e fósforo nas células microalgais oceânicas, conforme a razão de Redfield (1958), é de 106:16:1. Na água do mar, as relações C:N e C:P são muito superiores a essa razão, o que coloca apenas o nitrogênio e o fósforo como potenciais limitadores (Turner *et al.*, 1998). Segundo Beynton *et al.* (1982, *apud* EPA, 2001), o intervalo de 10 a 20 da razão é considerado balanceado, sendo que razões abaixo de 10 indicam o nitrogênio como limitador, enquanto que as superiores a 20 indicam o fósforo como limitante.

Segundo Baumgarten *et al.* (1996), a concentração de silicato em ambientes estuarinos é, em média, de 150 µM. Os valores observados nas áreas estudadas (média 65 µM) podem ter sido influenciados pelas macromarés locais e pelo fato de as coletas terem sido realizadas em preamar. A ACP correlacionou negativamente a concentração de silicato à salinidade.

Os valores registrados para a proporção entre nitrato e silicato (razão N:Si) na área de estudo foram menores que um (Tabela I), desclassificando o silicato como fator limitante (Turner *et al.*, 1998). Como a razão N:Si nas diatomáceas é de 1:1, valores acima de um implicariam limitações à reprodução de tais microalgas, o que levaria a uma abertura natural para o florescimento de outros grupos algais.

Teixeira *et al.* (1988) registraram para o Estreito dos Coqueiros (MA) valores de clorofila *a* variando de 3,1 a 20 mg.m⁻³, considerando a camada eufótica extremamente reduzida, fazendo com que quase toda a biomassa fitoplanctônica esteja na camada superficial. Tais valores se assemelham aos observados no presente estudo.

Por meio de regressão linear múltipla, foi evidenciada a correlação negativa entre a clorofila *a* e o fosfato, que é consumido à medida que aumenta a biomassa fitoplanctônica, estimada por meio dos teores de clorofila *a*. O fosfato também foi preponderante para o desenvolvimento fitoplanctônico nos estuários dos rios Ilhetas e Mamucaba, em Pernambuco (Losada *et al.*, 2000).

Esse resultado evidenciando o papel do fósforo como fator limitante para o fitoplâncton segue o padrão geral citado por Howarth (1988), segundo

o qual, o fósforo é limitante na água doce, no mar e nos estuários. Embora algumas pesquisas apontem para o nitrogênio como limitador, o mais comum é a constatação da concentração de fósforo como preponderante sobre a comunidade fitoplanctônica.

Conforme Takahashi *et al.* (1986), pode-se utilizar a constante 1,59 para converter a quantidade de nitrato (μM) no teor de clorofila *a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$). De tal forma, era esperado um valor de clorofila *a* bem mais elevado para os estuários do presente estudo (aproximadamente 3,8 vezes maior). Neste caso, os níveis de clorofila *a* não devem ter sido limitados pela concentração de nitrato, o que corrobora os resultados da ACP.

As áreas em estudo recebem grande influência marinha, o que faz com que seja necessária uma atenção especial à contribuição do pico/nanoplâncton para a biomassa fitoplanctônica. Segundo Li *et al.* (1983), Day Jr. *et al.* (1989), Nybakken (1997) e Agawin *et al.* (2000), os organismos fotossintéticos mais quantitativamente importantes no ambiente marinho, representando mais de 75% da biomassa, são os do grupo do pico/nanoplâncton, especialmente os pequenos flagelados verdes.

Os valores de biomassa fracionada, estimada por meio de fracionamento da clorofila *a*, revelaram que a maior contribuição em termos desse pigmento é do pico/nanoplâncton, com média de 53,9% (ponto I), 73,7% (ponto II) e 60,1% (ponto III).

Maiores contribuições referentes às comunidades nanoplânctônicas também foram verificadas em estudos realizados em Pernambuco, como os de Santos-Fernandes *et al.* (1998) e Branco *et al.* (2002). Em estudo nos estuários temporariamente abertos Mdloti e Mhlanga, no sul da África, Thomas *et al.* (2005) registraram um padrão ainda mais preponderante, com cerca de 80% da clorofila *a* representando a biomassa fracionada.

A Análise de Componentes Principais (ACP) evidenciou a ação da maré sobre a costa maranhense, relacionando os maiores valores de tal variável com um aumento da biomassa fitoplanctônica (clorofila *a* total), que, conseqüentemente, conduz a uma maior demanda de nutrientes (nitrato e fosfato). Tal processo depende também da disponibilidade de silicato carregado da bacia hidrográfica pelas precipitações pluviométricas, favorecendo o desenvolvimento das diatomáceas, predominantes em áreas estuarinas.

Agradecimentos - Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) pelo apoio à realização das coletas de campo, ao Laboratório de Meteorologia da Universidade Estadu-

al do Maranhão (UEMA) pelos dados climatológicos e à equipe técnica do Laboratório de Hidrobiologia (LABOHIDRO/UFMA) pela ajuda nas análises dos nutrientes e da clorofila *a*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agawin, N.S.R.; Duarte, C.M. & Agusti, S. Nutrient and temperature control of the picoplankton to phytoplankton biomass and production. *Limnol. Oceanogr.*, v.45, n.3, p.591-600, 2000.

Alcântara, E.H.; Mochel, F.R.; Amorim, A.J.E. & Thevand, A. Modelagem da profundidade secchi e da concentração de clorofila *a* no estuário do rio Anil, São Luís-MA. *Caminhos de Geografia*, v.2, n.13, p.19-40, 2004.

Amaral, K.J.; Rosman, P.C.C. & Azevedo, J.P.S. Estuário do rio Macaé: modelagem computacional como ferramenta para o gerenciamento integrado de recursos hídricos, p. 1167-1185, in Buscaglia, G.; Dari, E. & Zamonsky, O. (eds.). *Mecânica computacional*, Vol. XXIII, Bariloche, 2004.

Asmus, M. & Kitzmann, D. *Gestão costeira no Brasil: estado atual e perspectivas*. LabGerco/FURG, 59 p., Porto Alegre, 2004.

Bastos, R.B.; Feitosa, F.A.N. & Muniz, K. Variabilidade espaço-temporal da biomassa fitoplanctônica e hidrologia no estuário do Rio Una (Pernambuco - Brasil). *Trop. Oceanogr.*, v.33, n.1, p.1-18, 2005.

Baumgarten, M.G.Z.; Rocha, J.M.B. & Niencheski, L.F.H. *Manual de análises em Oceanografia Química*. Editora da FURG, 132 p., Rio Grande, 1996.

Bonecker, A.C.T.; Bonecker, S.L. & Bassani, C. Plâncton marinho, Cap. 6. in: Pereira, R.C. & Soares-Gomes, A. (org.). *Biologia Marinha*. Interciência, 382 p., Rio de Janeiro, 2002.

Branco, E.S.; Feitosa, F.A.N. & Flores-Monte, M.J. Variação sazonal e espacial da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos no estuário de barra das Jangadas (Jaboatão dos Guararapes - Pernambuco - Brasil). *Trop. Oceanogr.*, v.30, n.2, p. 79-96, 2002.

Davies, J.L. A morphogenetic approach to world shorelines. *Zeitschrift für Geomorphology* 8: 127-142, 1964.

Day-Jr., J.W.; Hall, C.A.S.; Kemp, W.M. & Yáñez-Arancibia, A. *Estuarine ecology*. J. Wiley, 556 p., New York, 1989.

Delgado-Noriega, C. & Astorga-España, M.S. Caracterização física, química e microbiológica dos efluen-

- tes industriais da Baía Catalina – Magallanes, Chile. *Trop. Oceanogr.*, v.33, n12, p. 141-151, 2005.
- DHN. *Tábuas das marés para 2006*. 43.ed. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Niterói, Marinha do Brasil, 2005.
- EMBRAPA. *Zoneamento ecológico-econômico do Estado do Maranhão*. Campinas. Disponível em: <http://www.cnpm.embrapa.br>. Acesso: em 20/08/2006, 2001.
- EPA. *Nutrient criteria technical guidance manual: estuarine and coastal marine waters*. Office of Water, United States Environmental Protection Agency, Washington, 2001.
- Feitosa, F.A.N.; Nascimento, F.C.R. & Costa, K.M.P. Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos na bacia do Pina (Recife-PE). *Trab. Oceanogr. Univ. Fed. PE*, v.17, n.2 p.1-13, 1999.
- Fofonoff, P. & Millard-Jr., R.C. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. UNESCO. *Technical Papers in Marine Science* 44: 6-9, 1983.
- Frazão, E.P. & Vital, H. Modelamento Hidrodinâmico e da Distribuição Sedimentar no Estuário do Rio Potengi e Áreas Adjacentes: Implicações na Migração de Derrames de Hidrocarboneto, in *2º Workshop dos Programas de Recursos Humanos da ANP-UFRN para o Setor de Petróleo e Gás*, Natal, 2002.
- Grasshoff, K.; Ehrardt, M. & Dremling, K. *Methods of seawater analysis*. Variag Chemie, 2nd edition, 419 p., New York, 1983.
- Grego, C.K.; Feitosa, F.A.N.; Silva, M.H. & Montes, M.J.F. Distribuição espacial e sazonal da clorofila *a* fitoplanctônica e hidrologia do estuário do rio Timbó (Paulista – PE). *Trop. Oceanogr.*, v.3, n.2, p.181-199, 2004.
- Howarth, R.W. Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystems. *Annual Reviews of Ecology*, v19, p. 89-110, 1988.
- IBGE. *Atlas do Maranhão*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1984.
- Irigoien, X. & Castel, J. Light Limitation and distribution of chlorophyll pigments in a highly turbid estuary: the Gironde (SW France). *Est. Coast. Shelf Sci.*, v.44, p.507-517, 1997.
- Kjerfve, B. & Lacerda, L.D. Mangroves of Brazil. p.245-272. in Lacerda, L.D. (ed.), *Conservation and sustainable utilization of mangrove forests in Latin America and Africa regions*, International Society for Mangrove Ecosystems, Technical reports, 2 vol., 1º vol., ITTO TS-13, 1993.
- Legendre, L. & Rassoulzadegan, F. Plankton and nutrient dynamics in marine waters. *Ophelia* v.41, p.153-172, 1995.
- Lehman, P.W. Environmental factors associated with long-term changes in chlorophyll concentration in the Sacramento-San Joaquin delta and Suisun bay, California. *Estuaries*, v.15, p..335-348, 1992.
- Li, W.K.W.; Subba-Rao, D.V.; Harrison, W.G.; Smith, J.C.; Cullen, J.J.; Irwin, B. & Platt, T. Autotrophic picoplankton in the Tropical Ocean. *Science*, v.219, n.4582, p.292-295, 1983.
- Lohmann, H. Ueber das Nannoplankton und die Zentrifugierung kleinster Wasserproben zur Gewinnung desselben in lebenden Zustände. *International Revue Hydrobiologie und Hydrographie*, v.4, p.1-38, 1911.
- Losada, A.P.; Feitosa, F.A.N. & Correia-Lins, I. Variação sazonal e espacial da biomassa fitoplanctônica nos estuários dos rios Ilhetas e Mamucaba (Tamararé-PE) relacionada com parâmetros hidrológicos. *Trop. Oceanogr.*, v.28, n.2, p.117-138, 2000.
- MARANHÃO. *Zoneamento Costeiro do Estado*. São Luís, SEAGRO/IICA/UFMA/UEMA, 2003.
- Mello, C.F. & Mochel, F.R. *Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade das Zonas Costeira e Marinha*. Sumário Executivo. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/SBF, 72 p, 2002.
- Nybakken, J.W. *Marine Biology: an ecological approach*. Addison-Wesley Educational Publishers Inc., 4th edition, 462 p, 1997.
- Perkins, E.J. Inorganic wastes, p.70-101, in Lenihan, J.; Fletcher, W.W. (eds.), *The marine environment*. Blackie & Son Ltd, Glasgow, 1977.
- Randall, J.M. & Day, J.W. Effects of river discharge, vertical circulation and aquatic primary production in a turbid Louisiana (USA) estuary. *Neth.J. Sea Res.*, v.21, p.321-242, 1987.
- Redfield, A.C. The biological control of chemical factors in the environment. *Amer. Scien.*, n.46: p.205-221, 1958.
- Santos-Fernandes, T.L.; Passavante, J.Z.O; Koëning, M.L & Macêdo, S.J. Fitoplâncton do estuário do rio Jaguaribe, (Itamaracá, Pernambuco, Brasil): biomassa. *Trab. Oceanogr. Univ. Fed. PE*, v.26, n.2, p.1-18, 1998.
- Sen-Gupta, B.K. & Machain-Castillo, M.L. Benthic foraminifera in oxigen-poor habitats. *Mar. Micropaleon.*, v.20, p.183-201, 1993.
- Silva, A.R.; Tauil, P.L.; Bastos-Jr., J.L.; Matos, W.B.; Costa, E.A.P. & Gonçalves, E.G.R. Aspectos da trans-

- missão focal de malária na Ilha de São Luis, Maranhão. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.*, v.39, n.3, p.250-254, 2006.
- Souza, M.F.L. & Couto, E.C.G. Short-term changes and longitudinal distribution of carbon metabolism in the Piauí river estuary (Sergipe, Brazil). *Rev. Bras. Biol.*, v.59, n.2, p.195-202, 1999.
- Strickland, J.D.H. & Parsons, T.S. A practical handbook of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, v.167, n.2, p.1-205, 1972.
- Takahashi, M.; Ishizaka, J.; Ishimaru, T.; Atkinson, L.P.; Lee, T.N.; Yamaguchi, Y.; Fujita, Y. & Ichimura, S. Temporal change in nutrient concentrations and phytoplankton biomass in short time scale local upwelling around the Izu Peninsula, Japan. *J. Plankton Res*, v.8, p.1039-1049, 1986.
- Teixeira, C.; Aranha, F.J.; Barbieri, R. & Melo, O.T. Produção primária e clorofila-*a* do fitoplâncton e parâmetros físicos e químicos do Estreito dos Coqueiros - Maranhão, Brasil. *Rev. Bras. Biol.*, v.48, n.1, p.29-39, 1988.
- Thomas, C.M.; Perissionotto, R. & Kibirige, I. Phytoplankton biomass and size structure in two South African eutrophic, temporarily open/closed estuaries. *Est. Coast. Shelf Sci.*, v.65, p.223-238, 2005.
- Thronsdén, J. Preservation and storage: monographs on oceanographic methodology, p.69-74, in Sournia, A. (ed), *Phytoplankton manual*. UNESCO, 1978.
- Tundisi, J.G. O plâncton estuarino. *Contr. Avul. Inst. Oceanogr.Univ.São Paulo, ser. Oceanogr. Biol.*, v.19, p.1-12, 1970.
- Turner, R.E.; Qureshi, N.; Rabalais, N.N.; Dortch, Q.; Justie, D.; Shaw, R.F. & Cope, J. Fluctuating silicate:nitrate ratios and coastal plankton food webs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.95, n.22, p.13048-13051, 1998.
- UNESCO. *Determination of photosynthetic pigments in sea water*. UNESCO, 69 p., Paris 1966.
- UNESCO. *International Oceanographic Tables*. Great Britain Wormly, v.2, 141 p, 1973.
- Utermöhl, H. Zur Vervollkommung der quantitativen phytoplankton. *Mitteilungen der Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* 9: 1-39, 1958.
- Venice-System. Final resolution of the symposium on the classification of brackish waters. *Arch. Oceanogr.Limnol.*, v.11, p. 243-248, 1959.
- Yin, X.C.; Chen, X.Z.; Song, Z.P. & Wang, Y.C. The temporal variation of LURR in Kanto and other regions in Japan and its application to earthquake prediction, *Earthquake Research in China*, v.10, p.381-385, 1996.