

VARIABILIDADE TEMPORAL DAS CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS E ECOLÓGICAS DA REGIÃO DE INFLUÊNCIA FLUVIAL DO RIO ITAJAÍ-AÇU

SCHETTINI, C.A.F.; RESGALLA JR., C.; PEREIRA FILHO, J.; SILVA, M.A.C.; TRUCCOLO, E.C. & RÖRIG, L.R.

CTTMar/UNIVALI, CxP 360, Itajaí, SC, CEP 88302-202
guto@univali.br

ABSTRACT

Schettini, C.A.F.; Resgalla Jr., C.; Pereira Filho, J.; Silva, M.A.C.; Truccolo, E.C. & Rörig, L.R. 2005. Temporal variability of oceanographic and ecological characteristics of the region of fluvial influence of Itajaí-açu river. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.* 9(2):93-102. ISSN 1808-7035. The region of fluvial influence (ROFI) of Itajaí-Açu River was assessed through fourteen surveys covering thirty sampling stations in a radial shape with origin in the estuarine inlet. The total sampled area was of 100 km², with depth ranging from 6 to 25 m, and until 10 Km offshore. The surveys were nearly monthly, from October 2002 to December 2003. The variables collected were salinity, temperature, suspended particulate matter, dissolved oxygen, chlorophyll a, picoplankton (autothrophic and heterothrophic) and zooplankton. River discharge and meteorological data were also obtained to help in the general characterization. The results indicated that in terms of averaged values of each variable, the sampling area is poorly related with the river discharge, or in other words, the sampling area is wider than the ROFI. Only salinity showed reasonably agreement with river discharge, although during the winter the region is affected by the Plata estuarine front. Further analysis on the data gathered must cope with spatial variability, either horizontal, e.g., plume dispersion, as vertical, e.g., plume buoyancy flow.

Keywords: Water masses; Nutrients; Bacterioplankton; Phytoplankton; Zooplankton; Itajaí-Açu river.

INTRODUÇÃO

Região de Influência Fluvial (RIF – a partir de *Region of Fluvial Influence – ROFI*, e.g., Simpson, 1997) é um termo utilizado para definir uma região costeira da plataforma continental fortemente influenciada pelo aporte regular de água doce proveniente da drenagem continental. A despeito de poder ser empregado para qualquer região costeira sob certa influência de água doce, o termo é mais aplicado nos casos de sistemas costeiros que estão sujeitos ao aporte direto de água doce.

Embora quase invariavelmente a água doce passe através de um estuário, muitos sistemas estuarinos apresentam elevado grau de mistura, o que minimiza o impacto do aporte fluvial direto sobre a plataforma continental. Estuários que apresentam regime hidrodinâmico altamente estratificado são geralmente controlados primeiramente pela descarga fluvial, liberando águas de baixa salinidade na zona costeira. Em condições de vazão elevada pode ocorrer a liberação direta de água doce. Exemplos de sistemas costeiros fortemente influenciados por rios são rio Seine (França; Dauvin *et al.*, 1998), rio Rhine (Holanda, de Ruijter, W.P.M. *et al.*, 1997), rio Vermelho (Vietnam; van Maren & Hoekstra, 2004), rio Ebro (Espanha; Durand *et al.*,

2002), rio Itajaí-Açu (Brasil, Schettini *et al.*, 1998), entre muitos outros.

As RIFs são importantes pois são nestas áreas que se concentram os fluxos de materiais entre os continentes e oceanos. Devido ao elevado aporte de nutrientes, são regiões que apresentam alto valor em termos de recursos pesqueiros. Por outro lado, são as regiões marinhas mais afetadas pelas atividades humanas pois recebem diretamente a carga produzida nas respectivas bacias de drenagem, o que pode implicar em eutrofização e/ou no enriquecimento de elementos tóxicos (e.g., Rabalais *et al.*, 1996).

O litoral de Santa Catarina apresenta uma série de rios que em seus trechos terminais consistem de estuários altamente estratificados que percorrem planícies costeiras e despejam água doce diretamente na plataforma durante episódios hidrológicos. Os maiores são os rios Itajaí-Açu, Tubarão, Araranguá, Itapocu, Tijucas e Manpituba, em ordem decrescente de tamanho de bacia hidrográfica. O maior, do rio Itajaí-Açu, apresenta uma bacia da ordem de 15.500 km², representando o maior aporte de água doce entre o sistema lagunar Patos-Mirim cerca de 1000 km ao sul e rio Ribeira de Iguape cerca de 250 km ao norte.

Estudos anteriores sobre os efeitos do aporte fluvial sobre a zona costeira catarinense são limitados

à plataforma adjacente ao rio Itajaí-Açu. Schettini *et al.* (1998) apresentaram uma descrição da evolução do sistema altamente estratificado do estuário para a região de evolução da pluma, através de observações físicas, químicas e biológicas. Este estudo foi baseado em um único transecto perpendicular à linha de costa realizado durante um período de alta vazão do rio, em março de 1996. Rörig *et al.* (2003) interpretaram os processos biológicos e a zonação espacial dos organismos neste cruzeiro. Trochimczuk & Schettini (2003) avaliaram a dispersão espacial da pluma do rio em três cruzeiros realizados no verão de 2000, com levantamento de dados em quatro transectos em cada. Os principais resultados deste estudo indicaram a dispersão preferencial para nordeste da pluma, bem como a formação de várias frentes de densidade.

O objetivo do presente trabalho é apresentar uma avaliação geral dos padrões oceanográficos e ecológicos da RIF do rio Itajaí-Açu baseando-se em quatorze cruzeiros oceanográficos realizados no período entre novembro de 2002 até dezembro de 2003. Estes cruzeiros abrangeram espacialmente uma área de cerca de 100 km², onde procurou caracterizar ao longo do tempo as inter-relações físicas, químicas e biológicas desencadeadas pela contribuição fluvial do rio Itajaí-Açu. O desenho amostral foi baseado na hipótese de que a região é fortemente influenciada pela vazão do rio Itajaí-Açu, sendo este o principal agente determinante das características oceanográficas locais.

Área de estudo

O rio Itajaí-Açu é o maior rio da vertente Atlântica de Santa Catarina, desaguando no Oceano Atlântico em 26° 54,7' Sul e 048° 38,1' Oeste, cerca de 80 Km ao norte de Florianópolis. É a principal bacia hidrográfica estadual, onde concentra-se um importante parque industrial centrado na cidade de Blumenau. O baixo trecho do rio Itajaí-Açu entre a desembocadura até a cidade de Blumenau (~70 km) consiste de fato de um sistema estuarino, tendo próximo da desembocadura o Porto de Itajaí.

O regime hidrológico do rio Itajaí-Açu apresenta-se bastante variável em escalas inter e intra-anual. A vazão média para os últimos 10 anos de monitoramento diário é da ordem de 420 m³.s⁻¹. Contudo, o regime hidrológico tende na maior parte do tempo a apresentar vazões abaixo da média, ocorrendo picos de vazão esparsos que podem chegar a mais de 3.000 m³.s⁻¹ (Schettini, 2002). Esta variabilidade pode ser atribuída ao regime climático mesotérmico úmido com chuvas distribuídas regularmente durante todo o ano (GAPLAN, 1986).

O regime de ventos e as condições do tempo na região são influenciados por processos atmosféricos

de escalas temporais e espaciais diferentes. Durante o ano predominam ventos úmidos provenientes do quadrante norte originados no sistema semi-fixo de alta pressão atmosférica do Atlântico Sul. Este sistema é perturbado quase semanalmente pela passagem de sistemas frontais polares. Nestes períodos são observadas rajadas de ventos, com significativa variação nas direções. Durante a passagem da frente fria se observa o aumento nos índices pluviométricos que resultarão em picos de descarga fluvial do rio Itajaí nos dias seguintes (Truccolo *et al.*, 2004). Os ventos em escalas diárias de brisas de terra e de mar transversais à linha de costa e os ventos de vale-montanha ao longo do Vale do Itajaí influenciam significativamente o regime de ventos local. A combinação destes alteram a direção ou até mesmo diminuem a velocidade dos ventos regionais dos quadrantes norte – sul (Truccolo, em prep.).

O regime de marés regional é misto com predominância semi-diurna, com número de forma calculado pela razão entre as somas das amplitudes dos constituintes principais diurnos pela dos principais semi-diurnos $[O_1 + K_1]/[M_2 + S_2] = 0,4$. A altura da maré média é da ordem de 0,8 m, variando no ciclo sinodical de sizígia e quadratura entre 1,1 e 0,3 m, respectivamente (Schettini, 2002). Os efeitos meteorológicos sobre o nível do mar são importantes, podendo produzir marés meteorológicas da ordem de um metro sobre o nível de maré astronômica (Truccolo *et al.*, 2004). Ainda não existe informações sobre o regime de correntes marinhas costeiras ao largo de Itajaí.

MATERIAL E MÉTODOS

Quatorze campanhas oceanográficas foram realizadas aproximadamente com frequência mensal entre novembro de 2002 até dezembro de 2003 (Tabela 1). As campanhas foram realizadas utilizando um pequeno barco de pesca, o “Boas Novas”, perfazendo uma amostragem com coletas em trinta estações posicionadas em cinco transectos de 9 km de extensão orientados radialmente a partir da desembocadura, uma estação na desembocadura e uma dois quilômetros para montante no estuário (Figura 1, Tabela 2). O distanciamento entre estações ao longo dos transectos foi da ordem de 2 km, sendo que nas proximidades da desembocadura o distanciamento foi de 1 km. O objetivo da malha de amostragem foi de fornecer maior resolução espacial na proximidade da desembocadura onde se dão os processos mais dinâmicos de evolução da pluma fluvial.

Em relação à numeração das estações, foi dado número zero para a estação da desembocadura, -1 para a estação no estuário (para montante), e na plataforma

Tabela 1 - Sumário das condições hidrológicas do rio Itajaí-Açu, altura de maré, velocidade e direção do vento e temperatura do ar nos dias em que foram realizadas as campanhas.

Cruzeiro	Data	Vazão (m ³ .s ⁻¹)	Alt. Maré (m)	Vento (m.s ⁻¹)	Vento (cardial)	Temperatura (°C)
I	04.nov.02	133	0,83	0,9	SO	21,8
II	18.dez.02	244	0,61	8,6	NE	23,8
III	30.jan.03	163	0,42	3,9	NE	25,2
IV	26.fev.03	111	0,39	4,1	NE	26,5
V	30.mar.03	86	0,62	2,4	N	23,6
VI	30.abr.03	152	0,81	0,2	SE	23,3
VII	29.mai.03	108	0,75	1,5	NO	15,5
VIII	26.jun.03	118	0,61	1,2	SO	19,1
IX	23.jul.03	116	0,31	2,1	N	17,8
X	28.ago.03	202	1,04	1,6	S	13,0
XI	25.set.03	364	1,05	2,9	O	18,4
XII	30.out.03	973	0,10	3,5	SO	21,4
XIII	12.dez.03	707	0,41	3,8	SO	22,1
XIV	17.dez.03	299	0,34	3,8	SO	20,4

foi adotado numeração crescente onde os décimos indicam o número do transecto, e.g., estação # 23 indica a terceira estação do segundo transecto, e assim por diante.

A área de amostragem é da ordem de 100 km², com profundidade média de 13 m variando entre 5 até 25 m. Cada campanha teve duração de cerca de sete horas, fornecendo um quadro quase-sinótico das condições oceanográficas ao largo da desembocadura do rio Itajaí-Açu.

Salinidade, temperatura, concentração e saturação de oxigênio dissolvido e concentração de material particulado em suspensão (MPS) foram coletados em todas as estações utilizando uma sonda tipo CTD (do Inglês: *conductivity/temperature/depth*) marca Saiv A/STM modelo SD204. A sonda CTD coleta os dados em função do tempo com uma taxa de amostragem de 1 Hz, sendo abaixada até o fundo com uma velocidade inferior a 0,5 m.s⁻¹. Os dados são posteriormente processados e reduzidos para fornecerem uma resolução vertical na coluna de água de 0,5 m a partir da superfície.

A salinidade é calculada a partir da condutividade elétrica e temperatura pelos algoritmos da escala prática de salinidade (UNESCO-PSS-78). A concentração de MPS é estimada a partir do sinal de turbidez gerado pelo turbidímetro de retro espalhamento ótico marca SeaPointTM acoplado à sonda. O turbidímetro fornece o sinal em Unidade de Turbidez Nefelométrica (NTU, do Inglês, *Nephelometric Turbidity Unit*), o qual foi convertido para concentração de MPS, em mg.l⁻¹, através da

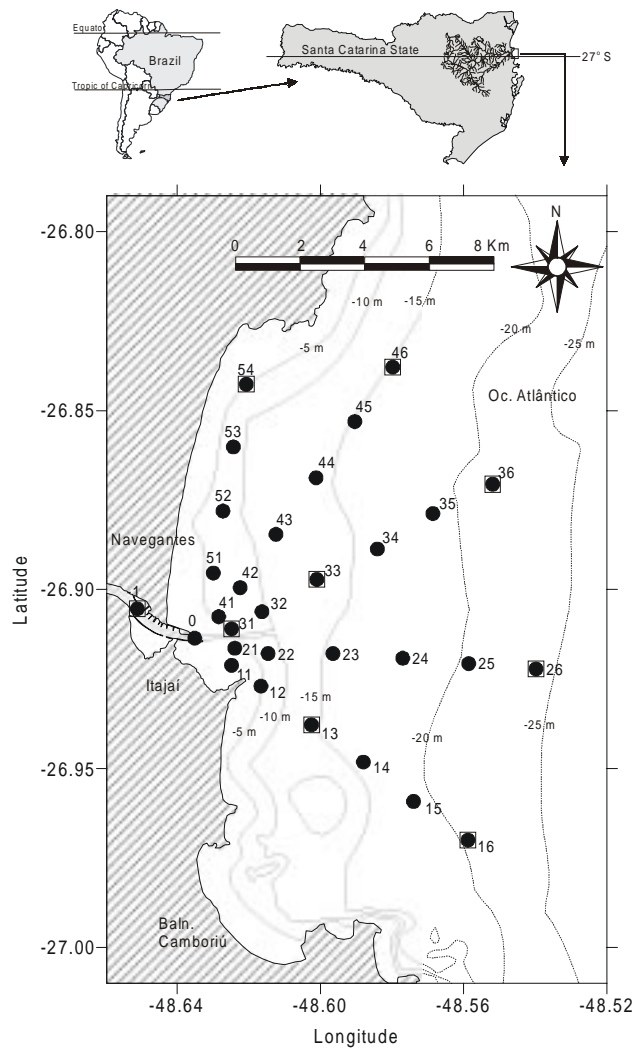


Figura 1 - Localização da área de estudo e das estações de coleta. Os círculos indicam as estações de CTD e clorofila-a superficial, e os quadrados indicam as estações onde foram realizadas amostras para nutrientes inorgânicos dissolvidos, bacterio/fito/zooplâncton.

equação MPS = 3,24 + 2,38 NTU, com coeficiente de explicação r² = 0,97. Esta curva de conversão foi obtida a partir de pares de dados de amostras analisadas por método gravimétrico e leituras sinóticas realizadas com o turbidímetro na área de estudo.

Nutrientes inorgânicos dissolvidos (N-NH₄⁺, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, P-PO₄³⁻ e Si-H₄SiO₄) foram determinados a partir de amostras de água coletadas em superfície e fundo nas estações # -1, 13, 16, 26, 31, 33, 36, 46 e 54, em todos os cruzeiros. As amostras coletadas durante a campanha foram armazenadas em caixa-térmica com gelo, sendo descarregados no meio e no final de cada campanha. Após desembarcar as amostras foram imediatamente filtradas, sendo retiradas alíquotas as quais foram congeladas. As concentrações dos nutrientes foram determinadas através de métodos

Tabela 2 - Coordenadas geográficas, profundidade e parâmetros coletados em cada estação. f: salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido, material particulado em suspensão na coluna de água e clorofila-a de superfície; n: nutrientes inorgânicos dissolvidos em superfície e fundo; p: picoplâncton em superfície e fundo; z: zooplâncton.

Estação	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Parâmetros
-1	26° 54' 21,1" S	048° 38' 05,4" W	10,3	f / n / p / z
0	26° 54' 50,6" S	048° 38' 07,9" W	10,6	f
11	26° 55' 18,0" S	048° 37' 30,8" W	8,7	f
12	26° 55' 38,9" S	048° 37' 01,2" W	10,7	f
13	26° 56' 17,8" S	048° 36' 10,5" W	13,4	f / q / z
14	26° 56' 55,2" S	048° 35' 21,2" W	16,1	f
15	26° 57' 34,8" S	048° 35' 27,9" W	18,6	f
16	26° 58' 13,7" S	048° 33' 33,2" W	20,9	f / q / z
21	26° 55' 21,6" S	048° 32' 24,8" W	9,8	f
22	26° 55' 16,2" S	048° 33' 32,4" W	11,0	f
23	26° 55' 10,8" S	048° 34' 38,7" W	13,8	f
24	26° 55' 06,1" S	048° 35' 48,9" W	17,3	f
25	26° 55' 06,1" S	048° 36' 54,0" W	20,8	f
26	26° 55' 00,7" S	048° 37' 27,5" W	24,4	f / q / z
31	26° 54' 41,3" S	048° 37' 30,8" W	9,0	f / q / p / z
32	26° 54' 24,0" S	048° 37' 00,2" W	10,5	f
33	26° 53' 51,6" S	048° 36' 05,1" W	13,0	f / q / p / z
34	26° 53' 21,0" S	048° 35' 04,2" W	16,1	f
35	26° 52' 45,4" S	048° 34' 08,4" W	19,0	f
36	26° 52' 15,8" S	048° 33' 08,3" W	21,6	f / q / p / z
41	26° 50' 18,1" S	048° 34' 48,7" W	8,3	f
42	26° 51' 12,8" S	048° 35' 26,9" W	9,4	f
43	26° 52' 09,4" S	048° 36' 05,8" W	11,2	f
44	26° 53' 06,2" S	048° 37' 46,1" W	13,0	f
45	26° 53' 59,9" S	048° 37' 22,1" W	14,4	f
46	26° 54' 29,0" S	048° 37' 43,7" W	15,6	f / q / z
51	26° 53' 45,1" S	048° 37' 49,1" W	8,0	f
52	26° 52' 42,8" S	048° 37' 39,4" W	8,2	f
53	26° 51' 38,4" S	048° 37' 29,0" W	8,1	f
54	26° 50' 35,4" S	048° 37' 16,0" W	8,4	f / q / p / z

colorimétricos modificados de Strickland & Parsons (1972).

Clorofila-a de superfície foi analisada 'in vivo' a partir de amostras de água coletadas em todas as estações e em 9 cruzeiros através de um fluorímetro ótico marca Turner™ modelo TD 700. As amostras coletadas durante a campanha foram armazenadas em caixa-térmica com gelo, sendo descarregados na metade e no final de cada campanha, sendo analisadas imediatamente.

Contagem de organismos do picoplâncton autotrófico e heterotrófico foram realizadas para amostras de água de superfície e de fundo coletadas nas estações # -1, 31, 33, 36 e 54 e em 7 cruzeiros. Depois de coletadas no campo, as amostras foram preservadas com formol 2% e mantidas em ambiente refrigerado. O picoplâncton autotrófico foi analisado segundo Macisaac & Stockner (1993), a partir de uma alíquota de 2 ml filtrado em filtro escuro de policarbonato de 0,2 mm de poro. O filtro foi preparado em lâmina de vidro, sendo analisados em um período inferior a 24 horas a partir do momento de coleta. O picoplâncton heterotrófico foi analisado segundo Hobbie (1977), a partir de diluições decimais seriadas das amostras em

tampão salino, com filtragem de 1 ml da diluição. O filtro foi posteriormente corado com laranja de acridina por um minuto, sendo preparado em lâmina de vidro. As contagens foram realizadas em um período inferior a seis meses do momento da amostragem. Em ambos os casos, as células foram contadas em dez campos de visualização do microscópio, sendo calculado o valor médio e corrigido para área total do filtro, volume filtrado e diluição realizada, fornecendo resultado em número de células por mililitro

Amostras de zooplâncton foram coletadas em superfície nas mesmas estações que foram coletadas amostras para determinação de nutrientes inorgânicos dissolvidos. As amostras foram obtidas a partir de arastos superficiais de dois minutos com rede do tipo WP-2, de 1,8 m de extensão, 0,3 m de diâmetro, malha de 200 mm, e equipada com fluxômetro General Oceanics™. As amostras foram armazenadas em frascos plásticos com solução de formol 4%. Em laboratório, as análises qualitativas e quantitativas das amostras de zooplâncton foram realizadas ao menor *táxon* possível. Para isto, foram utilizados microscópio estereoscópico binocular, microscópio biológico e câmaras de contagem do tipo Bogorov. O procedimento recomendado por Boltovskoy (1981) constatou no fracionamento das amostras para contagens com subamostradores do tipo "colher sueca" ou "pistão" perfazendo um mínimo de 10% das amostras. Os dados obtidos nas análises quali-quantitativas foram expressos por número de organismos por metro cúbico (N.Org/ m³) de água filtrada pela rede. Foram calculados o índice de riqueza de Margalef, o índice de diversidade de Shannon e Weaver, e o índice de equitabilidade de Pielou segundo Omori & Ikeda (1984).

Dados secundários de vazão diária do rio Itajaí-Açu foram obtidos para a estação fluviométrica de Indaial com a Agência Nacional de Águas (ANA). Esta estação está a 90 km da desembocadura, porém é a mais jusante sem influência da maré. Dados de velocidade e direção de vento, pressão atmosférica, e temperatura do ar, em escala horária, foram obtidos para a estação meteorológica do Porto de Itajaí, localizada próximo à desembocadura do estuário. Adicionalmente, em função de lacunas de dados, foram incluídas séries temporais obtidas na estação meteorológica da Univali, próxima a estação do Porto.

Os dados médios de todas as variáveis foram normalizados para aplicação de Análise de Componentes Principais (ACP), através de relação linear para variarem entre zero e um. A partir dos dados normalizados foi gerada a matriz de covariância, sobre a qual foi executada a ACP em ambiente Matlab® (Mathworks Inc.™). A análise foi realizada para três conjuntos de dados: (1) com os resultados de todos os cruzeiros para todas as variáveis da Tabela 3 excetuando-se oxi-

gênio dissolvido, clorofila-a, ambas categorias de picoplâncton, e os índices de riqueza e equitabilidade do zooplâncton; (2) com os resultados dos cruzeiros 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11 e 14, tal como no conjunto 1, porém incluindo as variáveis de oxigênio dissolvido e clorofila-a; e, (3) com os resultados dos cruzeiros 5, 9, 10 e 11, tal como no conjunto 2, porém incluindo as variáveis de categorias de picoplâncton. A diferenciação deve-se basicamente a falta de todos os dados em alguns cruzeiros. A seleção dos índices do zooplâncton deve-se ao fato de que todos apresentaram a mesma variabilidade, sendo escolhido o de diversidade como indicador.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maioria dos cruzeiros foi realizada com maré entre 0,3 e 0,7 m de altura. Somente o cruzeiro 12 apresentou condição excepcional de quadratura, com altura de maré de 0,1 m, e os cruzeiros 10 e 11 apresentaram condições extremas de sizígia, com altura superior a 1 m (Tabela 1). As condições meteorológicas para a maior parte dos cruzeiros foram de ventos fracos a moderados. Exceções foram os cruzeiros 1 e 6, onde prevaleceu condição de calmaria, e o cruzeiro 2, o qual foi sob condições de vento forte. A direção pre-

Tabela 3 - Sumário dos valores médios e desvio padrão, mínimo e máximo em função dos cruzeiros e para cada variável durante o período de monitoramento. MPS: material particulado em suspensão; NID: nitrogênio inorgânico dissolvido; Picop.: picoplâncton; Zôop.: zooplâncton.

Variável	Média ± D.P.	Mínimo	Máximo	Representatividade
Vazão (m ³ .s ⁻¹)	270 ± 260	86	973	Fonte pontual
Salinidade	32,6 ± 1,0	31,1	34,5	Coluna de água
Temperatura (°C)	22,7 ± 2,8	18,9	26,5	Coluna de água
Oxigênio dissolvido (mg.l ⁻¹)	7,4 ± 0,4	6,8	8,0	Coluna de água
MPS (mg.l ⁻¹)	9,9 ± 1,5	7,3	11,9	Coluna de água
Amônio (μMol)	7,8 ± 7,7	1,5	29,9	Sup & fundo
Nitrito (μMol)	0,26 ± 0,12	0,07	0,53	Sup & fundo
Nitrato (μMol)	2,4 ± 1,5	0,9	4,9	Sup & fundo
NID (μMol)	9,0 ± 7,1	1,4	29,4	Sup & fundo
Fosfato (μMol)	0,60 ± 0,21	0,27	1,00	Sup & fundo
Silício (μMol)	21,1 ± 10,9	8,9	45,3	Sup & fundo
Clorofila-a (mg.l ⁻¹)	4,7 ± 2,6	2,0	9,0	Superfície
Picop. autotrófico (org.ml ⁻¹).10 ³	70 ± 36	26	123	Sup & fundo
Picop. heterotrófico (org.ml ⁻¹).10 ⁴	32 ± 13	16	51	Sup & fundo
Zôop. Densidade (org.l ⁻¹)	825 ± 471	233	1766	Superfície
Zôop. Riqueza	1,9 ± 0,4	1,3	2,7	Superfície
Zôop. Diverssidade	1,6 ± 0,3	1,2	2,3	Superfície
Zôop. Equitabilidade	0,6 ± 0,1	0,5	0,8	Superfície

dominante do vento foi mais variável, havendo equilíbrio entre ocorrências de predomínio entre os quadrantes norte e sul. Por outro lado, houve relativamente maior número de cruzeiros com vento predominante do quadrante oeste do que leste. Esta observação denota a importância local dos efeitos de brisa marinha-terrestre e de vale-montanha. Somente os cruzeiros 2, 3 e 4 foram sob condições de vento nordeste, que é em termos climáticos o vento predominante.

A Figura 2 apresenta a variação diária da vazão do rio Itajaí-Açu para a estação fluviométrica de Indaial com a indicação dos dias que foram realizados os cruzeiros. Existem três aspectos mais importantes: (1) do primeiro ao nono cruzeiros a vazão foi baixa, inferior à 150 m³.s⁻¹, com exceção do segundo cruzeiro, quando a vazão foi da ordem de 250 m³.s⁻¹. A vazão neste período, de novembro de 2002 até julho de 2003, manteve-se baixa, ocorrendo apenas um pico da ordem de 800 m³.s⁻¹ no final de abril. (2) A partir de agosto de 2003 passa a ocorrer pulsos freqüentes da ordem de 1000 m³.s⁻¹, havendo a manutenção de um valor médio da ordem de 350-400 m³.s⁻¹. O cruzeiro # XII ocorreu exatamente em um pico de descarga da ordem de 1000 m³.s⁻¹. E, (3) em outubro de 2002 ocorre um pico de vazão da ordem de 3.500 m³.s⁻¹, seguido de vários dias que a vazão manteve-se da ordem de 1000 m³.s⁻¹, cerca de duas semanas da realização do cruzeiro # I.

A salinidade apresentou valores abaixo de 32 nos cruzeiros 1, 2, 8 e 9. A maior salinidade média foi observada no cruzeiro 4, sendo que a partir do cruzeiro 3 até o cruzeiro 7 a salinidade ficou em torno de 34. A partir do cruzeiro 10 até o cruzeiro 14 a salinidade fica entre 32 e 33 (Figura 3). De modo geral os maiores valores de salinidades estão associados com um regime de baixa vazão do rio, enquanto que os menores valores estão associados com maior vazão. Isto de fato ocorre excluindo-se os cruzeiros onde foram observa-

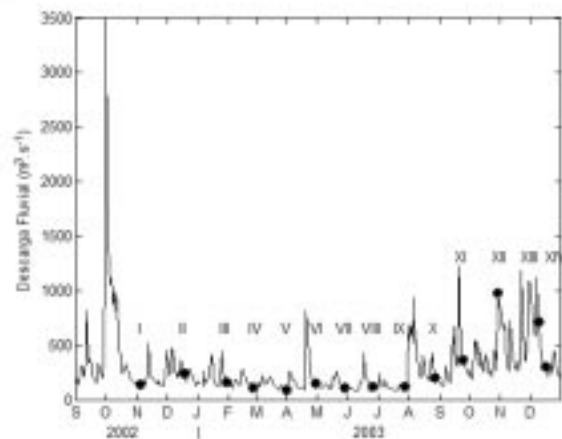


Figura 2 - Vazão do rio Itajaí-Açu na estação fluviométrica de Indaial entre setembro de 2002 e dezembro de 2003. Os círculos pretos indicam os dias que foram realizados os cruzeiros.

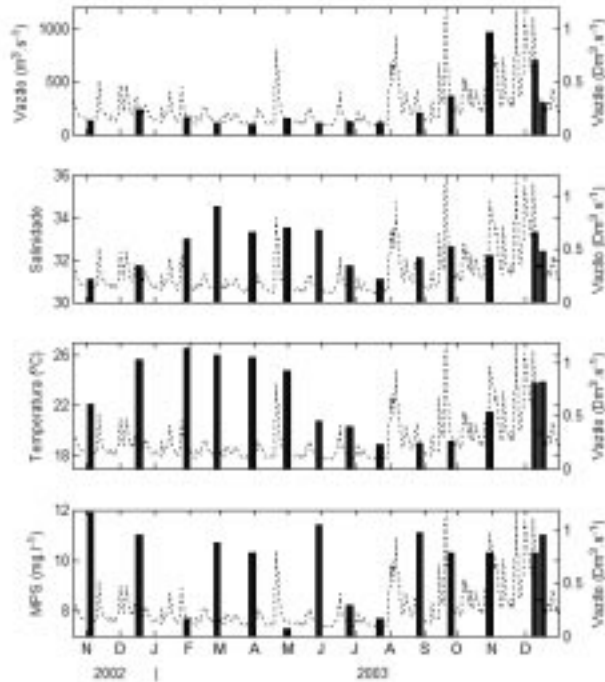


Figura 3 - Variação temporal da vazão no dia de cada campanha e valores médios de salinidade, temperatura e MPS, sobrepostos à série temporal de vazão diária ao longo do período monitorado.

dos os menores valores de salinidade, 1, 2, 8 e 9. No caso dos cruzeiros 1 e 2, a menor salinidade pode ser justificada como sendo ainda reflexo da vazão extremamente elevada que ocorreu em outubro de 2002 (Figura 2). Já nos casos dos cruzeiros 8 e 9 a explicação seria a influência da frente estuarina do Prata. Embora o estuário do Prata esteja a mais de 1.000 km ao sul, durante o período de inverno as condições oceanográficas das correntes do Brasil e das Malvinas favorecem o deslocamento de águas de baixa salinidade para o norte. Embora seja um processo ainda pouco explorado, esta frente pode chegar até o litoral do Rio de Janeiro (Piola *et al.*, 2005). Borzone *et al.* (1999) observaram águas de salinidade inferior a 32 em toda a coluna de água em uma região de 40 m de profundidade numa região cerca de 100 km ao norte da área de estudo, o que reforça o efeito do rio da Prata na região durante os meses de inverno.

A variação da temperatura apresentou um padrão bastante regular seguindo o ciclo radiativo anual (Figura 3). A maior temperatura média foi de 26,5 °C, observada no cruzeiro 2 no final de janeiro de 2003. A menor temperatura média foi da ordem de 19 °C, observadas nos cruzeiros 9, 10 e 11. A temperatura média geral ficou em $22,7 \pm 2,8$ °C. Os valores de temperatura são maiores do que os relatados por Carvalho *et al.*, (1998) para a região. Estes autores observaram valores

médios de temperatura para a coluna de água de até 20 m de profundidade variando entre 17,9 a 24,7 °C, entre inverno e verão, respectivamente. Contudo, a área de amostragem destes foi mais extensa para o sul e para norte da desembocadura do rio Itajaí-Açu.

Os valores médios de concentração de MPS ficaram na ordem 10 a 12 mg.l⁻¹ para a maioria dos cruzeiros (Figura 3). Somente os cruzeiros 3, 6, 8 e 9 apresentaram valores em torno e abaixo de 8 mg.l⁻¹. O MPS foi medido a partir de um turbidímetro de retro-espalhamento ótico, cuja calibração foi feita com dominância de sedimentos inorgânicos. Assim sendo, estes valores representam principalmente a fração inorgânica. A principal fonte de MPS na região de estudo é o rio Itajaí-Açu, que pode apresentar uma descarga sólida da ordem de 80×10^3 toneladas por dia em períodos de alta vazão (Schettini, 2002), sendo liberados diretamente na plataforma adjacente. Em condições de baixa vazão a maior parte do material proveniente do rio fica retida na bacia estuarina. Um problema na interpretação dos valores observados de MPS tendo como hipóteses sua origem a partir do rio Itajaí-Açu é a questão do comportamento destes, cuja dinâmica é grandemente influenciada pelas condições estuarinas e de dispersão da pluma fluvial (Geyer *et al.*, 2004). Os maiores valores de MPS nos cruzeiros 1 e 2 poderiam ser interpretados como sendo influência ainda do pico de vazão de outubro, o que é corroborado com os valores de salinidade, chegando ao valor baixo de MPS do terceiro cruzeiro. Contudo, não é possível explicar o aumento de MPS para os cruzeiros 4, 5 e 7, ou o baixo valor observado no cruzeiro 6 após um pico de descarga.

O amônio foi o principal nutriente nitrogenado observado, demonstrado pela variação do nitrogênio inorgânico dissolvido - NID (Figura 4). Esta predominância está de acordo com o observado dentro do estuário do Rio Itajaí (Pereira Filho *et al.*, 2003). Em praticamente todos os cruzeiros a concentração variou entre 3 e 10 μM ($=\mu\text{mol.l}^{-1}$), e pouca relação direta com a vazão do rio. A feição mais notável é o pico de concentração observado no cruzeiro 6, da ordem de 30 μM . Este pico ocorreu alguns dias após um pico de vazão da ordem de $850 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Porém não se observa comportamento similar nos cruzeiros 11, 13 e 14 que também foram realizados após picos de vazão. Uma hipótese seria o longo período sem chuvas significativas na bacia, indicado pelo longo período sem picos de vazão até o sexto cruzeiro, resultando no acúmulo deste nutriente na bacia hidrográfica e no estuário. Após um evento de chuva intensa, ocorreria a lavagem e exportação em excesso deste elemento para a plataforma, o que não ocorreria em períodos de precipitação regular. O nitrato apresentou valores entre 1 e 5 μM , e o nitrito apresentou valores entre 0,07 e 0,5 μM (Tabela 3). Os

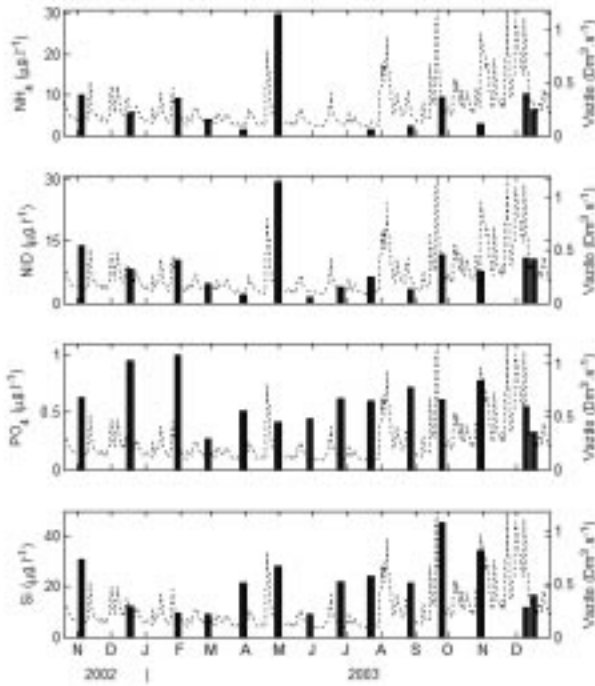


Figura 4 - Variação temporal de valores médios de amônio (NH₄), Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), fosfato (PO₄) e silício (Si), sobrepostos à série temporal de vazão diária ao longo do período monitorado.

outros nutrientes inorgânicos dissolvidos, fosfato e silício, não apresentaram nenhum padrão sazonal ou relacionado diretamente com a vazão. O valores médios foram $0,60 \pm 0,21$ e $21,1 \pm 10,9$ μMol , respectivamente.

O oxigênio dissolvido apresentou valores da ordem de $7,5 \text{ mg.l}^{-1}$, sem padrão relacionado com vazão ou sazonalidade (Figura 5). Os valores de clorofila-a apresentaram grande variação, entre 2 e 9 mg.l^{-1} . Porém esta variabilidade aparentemente não está diretamente associada com a vazão, tampouco com sazonalidade. Isto é particularmente notável para os cruzeiros 3, 4, 5 e 6, quando passa de valores de 2 para 8 do cruzeiro 3 para o cruzeiro 4, e depois decai de 8 para 2 do cruzeiro 5 para o cruzeiro 6. As contagens de picoplâncton autotrófico e heterotrófico foram possíveis apenas para 5 e 6 cruzeiros, respectivamente, o que dificulta a identificação de padrões temporais. Contudo, não há indício de relação direta com a vazão. Por outro lado, existe uma relação proporcional e inversa entre estas duas categorias de organismos.

As altas densidades do zooplâncton observadas nos meses de inverno e primavera de 2003 (Figura 6) estiveram associadas à presença de pluma bem desenvolvida sobre a plataforma, que também apresentaram uma baixa equitabilidade de espécies, com dominância de *Penia avirostris*. Esta espécie tem sido freqüentemente citada pela ocorrência em altas densi-

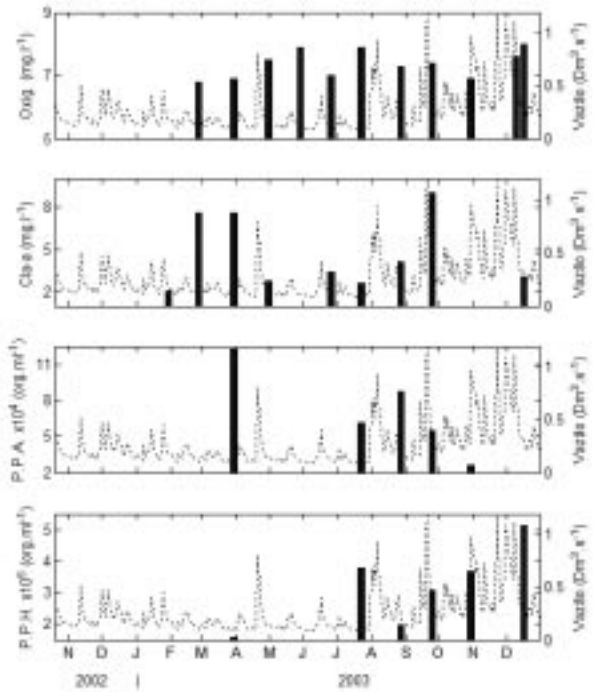


Figura 5 - Variação temporal de valores médios de oxigênio dissolvido, clorofila-a, picoplâncton autotrófico (P.P.A.) e picoplâncton heterotrófico, sobrepostos à série temporal de vazão diária ao longo do período monitorado.

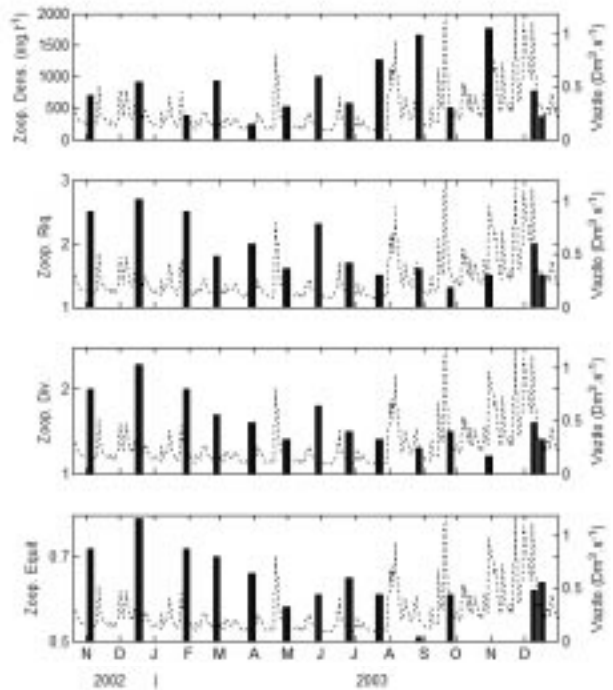


Figura 6 - Variação temporal de valores médios de densidade de organismos do zooplâncton e índices médios de riqueza, diversidade e equitabilidade, sobrepostos à série temporal de vazão diária ao longo do período monitorado.

dades nas desembocaduras de rios e, por apresentar uma micro-distribuição para os primeiros centímetros da coluna de água. Este comportamento pode facilitar a sua acumulação em regiões de frente e de convergências de águas distintas (Ramirez, 1981). Todos os índices calculados apresentaram o mesmo padrão de variação temporal, e de maneira geral inverso da densidade de organismos (Figura 6).

A Figura 7 apresenta os resultados da ACP realizada com os três conjuntos de dados descritos na seção Material e Métodos. Os diagramas apresentam a relação entre o primeiro fator com o segundo fator de cada conjunto de dados, indicando em cada diagrama os modos Q (variáveis, representadas por quadrados) e r (cruzeiros, representados por triângulos). A variável que mais apresentou peso da definição do primeiro fator foi a temperatura, indicando uma possível variabilidade sazonal no conjunto de dados, embora dificilmente observável a partir das figuras de variações temporais. Qualquer ponderação mais aprofundada destes resultados certamente estaria demasiadamente especulativa. Porém, o fato de não haver um padrão mais claro também é sugestivo de que a área de amostragem considerada é significativamente maior do que a área de influência direta da descarga do rio Itajaí-Açu.

CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade das características oceanográficas da região de influência fluvial do rio Itajaí-Açu através de quatorze cruzeiros oceanográficos, tendo como hipótese norteadora que vazão do rio é o principal agente determinante da variabilidade destas características. Como análise preliminar das diversas variáveis físicas, químicas, geológicas e biológicas amostradas em termos de valores médios, verifica-se que existe pouco ou nenhum efeito direto a vazão na área de amostragem. A conclusão primeira desta constatação é que a RIF do rio Itajaí-Açu é menor do que a região monitorada.

A salinidade é a variável mais intrinsecamente relacionada com a vazão pelo efeito diluição e por ser uma variável conservativa. A salinidade média aparentemente foi influenciada por um pico de descarga da ordem de $3.500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ocorrido no início de outubro de 2002, que acarretou diminuição da salinidade nos cruzeiros 1 e 2. A salinidade também indicou a influência das águas da frente do Prata nos cruzeiros 8 e 9, dos meses de inverno.

A variabilidade do plâncton sobre a plataforma adjacente a desembocadura do rio Itajaí-Açu parece estar mais relacionada com a sazonalidade da temperatura, como demonstrado na análise de ACP, alter-

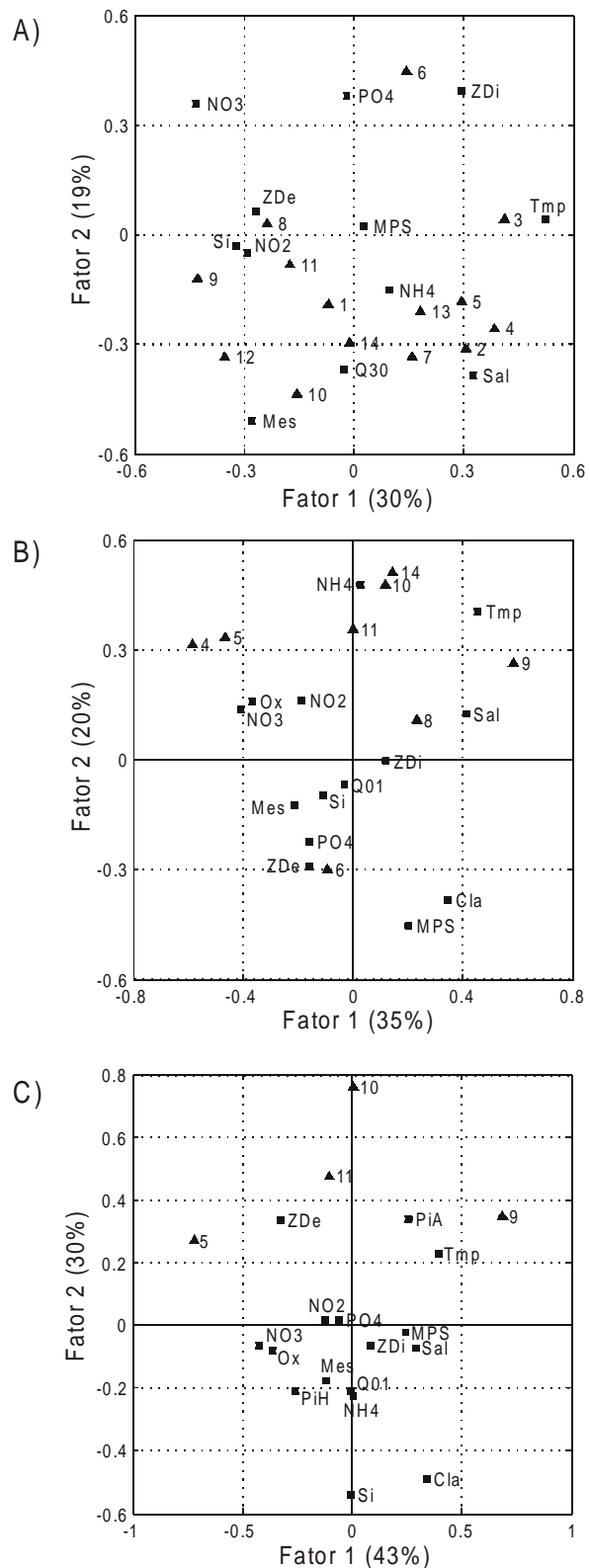


Figura 7 - Resultados na Análise de Componentes Principais. A) para todos os cruzeiros e excetuando-se as variáveis oxigênio dissolvido, clorofila-a e ambas categorias de picoplâncton; B) para os cruzeiros 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11 e 14, excetuando-se ambas categorias de picoplâncton; C) para os cruzeiros 5, 9, 10 e 11 para todas as variáveis.

nando a dominância de espécies típicas para cada época do ano. Entretanto, a influência da vazão do rio, e consequentemente das alterações relacionadas com a salinidade e nos teores de nutrientes só poderiam ser respondidas em uma escala de tempo menor para a fração do nano e micropâncton e maior para o mesopâncton. Adicionalmente, a grande variabilidade das condições oceanográficas como o aporte continental, correntes litorâneas de origens diferentes e amplitude de maré só contribuem para aumentar as dificuldades de estudo tanto em escala temporal como espacial.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é uma contribuição do projeto 'interação do estuário do rio Itajaí-Açu e plataforma continental, e suas implicações na evolução costeira e produtividade biológica (ITAPLA)', desenvolvido com recursos da FAPESC. Os autores agradecem a Anatole Trochimczuk Filho e aos diversos acadêmicos do CTTMar que participaram de alguma forma no desenvolvimento deste projeto; à Marcelo Rodrigues Ribeiro pela revisão do artigo. C.A.F. Schettini é bolsista do CNPq – N.º 307556/2004-2.

REFERÊNCIAS

- Boltovskoy, D. 1981. Atlas del zooplancton del Atlântico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Publ. Esp. INIDEPE, Mar del Plata. 936 pp.
- Borzone, C.A.; Pezzuto, P.R. & Marone, E. 1999. Oceanographic characteristics of a multi-specific fishing ground of the Central South Brazil Bight. *Marine Ecology*, 20(2):131-146.
- Carvalho, J.L.B.; Schettini, C.A.F. & Ribas, T.M. 1998. Estrutura termohalina do litoral centro-norte catarinense. *Notas Técnicas da Facimar*, 2:181-197.
- Dauvin, J.-C.; Thiébaud, E. & Wang, Z. 1998. Short-term changes in the mesozooplanktonic community in the Seine ROFI (region of fresh water influence)(estern English Channel). *Journal of Plankton Research*, 20(6):1145-1167.
- GAPLAN 1986. Atlas de Santa Catarina. Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro, 173p.
- Geyer, W.R.; Hill, P.S.; Kineke, G.C. 2004. The transport, transformation and dispersal of sediment by bouyant coastal flows. *Continental Shelf Research*, 24:927-949.
- Hobbie, J. E.; Daley, R. J. & Jasper, S. 1977. Use of nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Applied and Environmental Microbiology*, 33(5):1225-1228.
- van Maren, D.S. & Hoekstra, P. 2004. Dispersal of suspended sediments in the turbid and highly stratified Red river plume. *Continental Shelf Research*, 25:503-519.
- Macisaac, E.A. & Stockner, J.G. Enumeration of phototrophic picoplankton by autofluorescence microscopy. In: Kemp, P.F.; Sherr, B.F.; Sherr, E.B. & Cole, J.J. (Eds.), *Handbook of methods in aquatic microbial ecology*. Boca Raton, Lewis Publishers.
- Omori M. & Ikeda, T. 1984. *Method in Marine zooplankton ecology*. John Wiley & Sons Publ. New York. 332pp.
- Pereira Filho, J.; Spillere, L.C.; Schettini, C.A.F. 2003. Dinâmica de nutrientes na região portuária do estuário do Rio Itajaí-Açu, SC. *Atlântica*, 25 (1): 11-20.
- Piola, A.R.; Matano, R.P.; Palma, E.D.; Möller Jr., O.O.; Campos, E. 2005. The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf. *Geophysical Research Letters*, 32:L01603.
- Rabalais, N.N.; Turner, R.E.; Justic, D.; Dortch, Q.; Wiseman, W.J.; Sem Gupta, B.K. 1996. Nutrient changes in the Mississippi river and system responses on the adjacent continental shelf. *Estuaries*, 19:386-407.
- Ramirez, F.C. 1981. Cladóceras. In: Boltovskoy, D (ed.). *Atlas del zooplancton del atlantico sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino*. Publ. Esp. INIDEPE, Mar del Plata, Argentina. 533-541pp.
- Rörig, L.R.; Resgalla Jr, C.; Schettini, C.A.F. 2003. Estrutura da assembléia planctônica através do estuário e da pluma do rio Itajaí-Açu. *Revista de Estudos Ambientais*, Blumenau, v. 5, n. 1, p. 76-94, 2003.
- de Ruijter, W.P.M.; Visser, A.W. & Boss, W.G. 1997. The Rhine outflow: a prototypical pulsed discharge plume in a high energy shallow sea. *Journal of Marine Systems*, 12(1):263-276.
- Schettini, C.A.F. 2002. Caracterização física do estuário do rio Itajaí-Açu. *Rev. Bras. Rec. Hidr.*, 7(1):123-142.
- Schettini, C.A.F.; Kuroshima, K.N.; Pereira Fo., J.; Rörig, L.R.; Resgalla Jr., C. 1998. Oceanographic and ecological aspects of the Itajaí-Açu river plume during a high discharge period. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 70(2):335-351.
- Simpson, J.H. 1997. Physical processes in the ROFI regime. *Journal of Marine Systems*, 12(1):3-15.
- Strickland, J.D.H. & Parsons, T.R. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Fish. Res. Bd. Can., 310p.
- Trochimczuk Fo., A. & Schettini, C.A.F. 2003. Avaliação da dispersão espacial da pluma do estuário do

rio Itajaí-Açu em diferentes períodos de descarga. Notas Técnicas da Facimar, 7:83-96.
Truccolo, E.C.; Franco, D.; Schettini, C.A.F. 2004. The low frequency sea level oscillations in the northern

coast of Santa Catarina, Brazil. Journal of Coastal Research, 39(SI), in press.
Truccolo, E.C. Regime de ventos no litoral centro-norte de Santa Catarina e sua importância para os processos costeiros locais (em preparação).

Submetido: Outubro/2004
Revisado: Fevereiro/2005
Aceito: Julho/2005