

## **Condições meteo-oceanográficas costeiras na região do estuário o Rio Itajaí-Açú.**

**Eliane Cristina Truccolo<sup>1</sup> & Carlos Augusto França Schettini<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>- Laboratório de Oceanografia Física - LOF. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar – CTTMar, Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI. CxP. 360, Itajaí, SC. 88302-202  
nane.truccolo@univali.br; guto@univali.br

### **ABSTRACT**

The coastal area adjacent to the Itajaí-Açú River, of about 100 km northward from Florianópolis, is influenced by the major Atlantic drainage of Santa Catarina State. The meteorological and oceanographic conditions in this region are driven not only by the fresh water delivery, astronomical tides and local wind, but also by remote processes such as storm waves and tsunamis. The local wind climate is quite different from not so far coastal areas mainly by the strong signal of breezes, like sea/land breeze and mountain/valley breeze. The local wave climate is affected by the presence of Florianópolis Island, southwards, which produces a shadow zone for the waves from south. The meteorological tides are not negligible in the local dynamics, since it can raise the astronomical levels up to one meter, enhancing the storm wave's effects on the shore. The coastal currents present a strongly bi-directional regime SSE-NNO. Near surface currents are influenced by the estuary-shelf interactions, being driven by the brackish waters plume dispersion. The estuarine plume dispersion produces a distinct area on the continental shelf that characterizes the regions of fluvial influence of the Itajaí-Açú River.

KEYWORDS: astronomical tides; synoptic meteorology; meteorological tides.

### **INTRODUÇÃO**

A região litorânea do estado de Santa Catarina possui uma extensão de aproximadamente 500 km e apresenta numerosas e diversas feições morfológicas, que vão desde estuários, lagoas e baías, incluindo praias expostas ou abrigadas. Os estuários compreendem uma porção significativa desta região costeira, sendo os mais importantes o estuário do rio Itajaí-Açú, a Baía da Babitonga e o complexo lagunar do Imaruí. Como são ambientes próximos ao litoral, estes sistemas são significativamente pressionados pelas diferentes atividades antrópicas locais, como a contínua e crescente concentração populacional nestas regiões, aterros hidráulicos, despejo de efluentes domésticos e industriais, retificação de canais, entre outras. Segundo Schettini (2002), o estuário do Rio Itajaí-Açú é um dos mais importantes sistemas da região sul e do Brasil, sendo talvez um dos ambientes mais bem

estudados e compreendidos no que diz respeito ao movimento das marés e dinâmica de sedimentos finos.

A maré astronômica oceânica e os fluxos de descarga fluvial na bacia de drenagem são responsáveis pela circulação gravitacional em estuários, e, até pouco tempo atrás, eram consideradas como forçantes exclusivas nos padrões de circulação (Pritchard, 1989; Parker, 1991; Prandle, 1991). Atualmente, além destes processos dominantes na hidrodinâmica, outros de igual importância foram incluídos. Estes últimos somam as perturbações meteorológicas que resultam na variação do clima de ventos da região (Wang, 1979; Elliott, 1982; Garvine, 1985), e a circulação da plataforma continental adjacente, através de ondas, correntes e marés meteorológicas (Pritchard & Vieira, 1984; Wong & Garvine, 1984; Vieira, 1985; Goodrich, 1988).

Os diferentes processos que influenciam na hidrodinâmica estuarina possuem diferentes escalas temporais e espaciais, ocorrendo tanto na porção fluvial, na conexão com a porção marinha, bem como no interior do sistema. Na interface entre o estuário e o rio, ou porção fluvial, há o predomínio da descarga de água doce. Na porção marinha, a circulação na plataforma continental adjacente influencia a dinâmica estuarina através de forçantes como ondas de marés astronômicas, marés meteorológicas, ondas de plataforma e de gravidade. No seu interior, efeitos morfológicos e os ventos de atuação local são importantes para a dinâmica de suas águas. Assim, a hidrodinâmica do sistema estuarino será o resultado da interação entre processos fluviais e marinhos, e também os que ocorrem na porção interior do estuário.

Nas regiões de plataformas continentais rasas costeiras ocorrem transições entre processos físicos oceânicos e costeiros, este último afetado pelo aporte de água doce da drenagem continental e pela geomorfologia da linha de costa. A pouca profundidade, da ordem de dezenas de metros, faz com que esta região responda mais diretamente ao regime de ventos do que à maré astronômica oceânica. Adicionalmente, os efeitos dos ventos distinguem-se entre escalas de atuação local e remota, e as respostas do nível do mar e correntes costeiras usualmente apresentam um atraso de fase em relação ao quadro sinótico de ventos.

O aporte de água doce na plataforma continental interna próxima à desembocadura de um estuário gera um gradiente de pressão baroclínico com sentido mar afora, onde pelo equilíbrio com a Força de Coriolis nas latitudes sul, força o escoamento para o norte. O aporte continental normalmente é acompanhado de maiores concentrações de nutrientes e sedimentos inorgânicos em suspensão. A retenção destes materiais junto à costa produz uma zona limite costeira, razoavelmente bem distinta das águas de plataforma externa, denominada de região de influência fluvial (RIF).

A região da desembocadura do estuário do rio Itajaí-Açú está localizada cerca de 100 km ao norte de Florianópolis (Fig. 1), e recebe o aporte do maior rio da Drenagem Atlântica de SC. A descarga fluvial é o processo dominante na sua hidrodinâmica, sendo a cooscilação de maré astronômica um mecanismo forçante secundário. No entanto, em períodos de baixo fluxo de água doce, a maré torna-se o principal mecanismo, seguido pelos movimentos de maiores períodos de origem marinha, denominados de frequência submareal (FSubM). As oscilações de FSubM oceânicas compreendem então uma terceira parte dos movimentos importantes no sistema. Assim como no estuário do rio Itajaí-Açú, vários outros pequenos estuários que estão conectados ao sistema, como o Saco da Fazenda e o Itajaí-Mirim, também apresentam esta mesma hidrodinâmica em função dos fluxos entre os ambientes.

A plataforma continental adjacente ao estuário é rasa e larga, propiciando uma maior atuação dos ventos de atuação local e/ou remota na região. As condições meteo-oceanográficas são afetadas tanto pela descarga fluvial como por ventos, induzindo variações no nível do mar e correntes costeiras, bem como na formação de ondas de tempestade e marés meteorológicas a milhares de quilômetros dali. Adicionalmente, os determinantes dos processos físicos nesta região, tal como a descarga e o vento, são afetados pela orientação da desembocadura no cenário da linha de costa local e regional.

O presente capítulo tem como objetivo apresentar uma avaliação do conhecimento sobre as forçantes físicas na região da desembocadura do estuário do rio Itajaí-Açú. A Seção 2 comenta os materiais e métodos utilizados na obtenção e análise dos registros. Os resultados estão mostrados na Seção 3, que está dividida em subseções. A primeira apresenta uma caracterização

da maré astronômica costeira. A segunda apresenta uma revisão das condições meteorológicas e o regime de ventos na região. A terceira apresenta a resposta do nível do mar costeiro para eventos meteorológicos, ou as chamadas marés meteorológicas, e seu efeito no nível de água no baixo estuário. A quarta traz um relato sintético sobre as observações do efeito do tsunami de 2004, ocorrido no Oc. Índico, no nível da água no baixo estuário do rio Itajaí-Açú. A quinta apresenta uma descrição sobre as correntes costeiras observadas próximo da desembocadura do estuário e sua relação com a RIF durante a execução do Projeto Itapla.

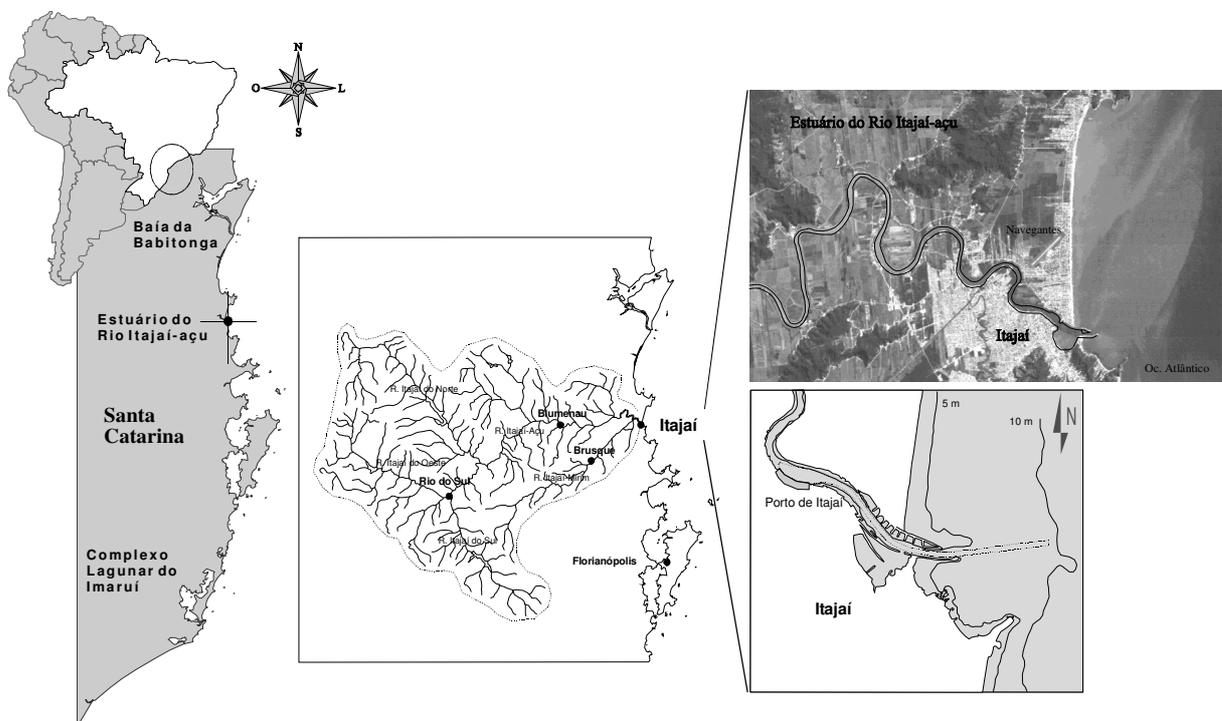


Figura 1. Localização da desembocadura do estuário do rio Itajaí-Açú e o Saco da Fazenda.

## MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo foram utilizados resultados obtidos de diversas fontes. O quadro sinótico de ventos foi analisado a partir de séries temporais de velocidade e direção de vento e pressão atmosférica disponíveis na estação meteorológica do Lab. de Climatologia, da UNIVALI, e no Aeroporto de Navegantes, da Infraero. Cartas sinóticas de pressão atmosférica superficial

também foram utilizadas sendo disponibilizadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil.

A caracterização da maré astronômica costeira e marés meteorológicas foram baseadas na análise de dados do nível da água registrado por marégrafos. Foram utilizados resultados obtidos a partir de análises sobre monitoramento do nível da água na Praia de Cabeçadas, em Itajaí, em São Francisco do Sul, na praia da Enseada, e no estuário do rio Itajaí-Açú. Os dados de nível da água no estuário do rio Itajaí-Açú foram gentilmente cedidos pela empresa de dragagem Norham. A componente astronômica do nível de água foi analisada através de análise harmônica clássica. A componente meteorológica foi obtida através da extração da energia do sinal de baixa frequência através de filtros matemáticos. O filtro mais comumente empregado para separação da componente meteorológica é o filtro quadrático do tipo Lanczos, o qual elimina da série qualquer sinal com periodicidade inferior a quarenta horas (Truccolo *et al.*, 2006).

Dados de corrente na plataforma interna foram obtidos durante a execução do Projeto ITAPLA, no qual um perfilador acústico de correntes por efeito Doppler (PACD) foi fundeado ao largo do estuário do rio Itajaí-Açú durante um período de quatro meses. O PACD emite pulsos acústicos através da coluna de água por três transdutores orientados em ângulos distintos, e utiliza o retorno acústico gerado pelo material particulado em suspensão na água. Através do efeito Doppler na alteração da frequência do som emitido é calculada a velocidade de corrente, e o sistema de três transdutores permite determinar a direção. Por ser um sensor acústico, permite obter dados de velocidade e direção em diversos níveis na coluna de água a partir do fundo.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **1. MARÉS ASTRONÔMICAS COSTEIRAS**

O nível do mar apresenta diversas oscilações em um amplo espectro temporal, causadas por diferentes processos astronômicos, oceanográficos e atmosféricos. As marés astronômicas, de períodos de horas, e as marés meteorológicas, em escala temporal de dias, representam uma porção

significativa destas oscilações. O estudo destas oscilações têm importância na compreensão de processos erosivos, alteração na hidrodinâmica estuarina, operações portuárias, obras de engenharia costeira, entre outros. Com o intuito de caracterizar estas componentes do nível do mar na região ao largo da cidade de Itajaí, em Cabeçudas, foram efetuadas análises harmônica e estatísticas de registros horários de nível do mar costeiro para os períodos de 21/01 a 19/04 e 06/06 a 22/08/2003, e 09/09/2003 a 26/05/2004.

A variação do nível do mar costeiro oscilou em torno de um valor médio de 197 cm, com desvio padrão de 32 cm. Valores extremos ocorreram nos meses de outono-inverno: o valor máximo de 384 cm ocorreu em 13/04/03, e o mínimo de 115 cm em 17/07/03. A análise harmônica para obtenção das componentes astronômicas resultou em 51 constantes significativas estatisticamente, com probabilidade de rejeição de pequenas componentes de 0,99 (Tabela 1). Com os valores das principais constantes semidiurnas foram calculadas a altura média da maré, igual a 52 cm, o valor médio em períodos de sizígia, de 88 cm, e o valor em períodos de quadratura, de 15 cm. Deste modo, a região foi caracterizada por micromarés, pois apresenta alturas menores que 2 m. O regime de maré foi calculado pelo Número de Forma, igual a 0,38 o que indica um regime do tipo misto, predominantemente semidiurno, com desigualdades de alturas para as preamares e baixamares consecutivas.

A componente meteorológica foi obtida através da aplicação do filtro de Lanczos nos registros horários de nível do mar. O filtro remove oscilações com períodos menores que 40 h. Análise de variância indicou que a componente astronômica representou 61,5% da variância total do nível do mar, a maré meteorológica representou 37,7% da variância original, enquanto que a porção de longo termo (tendência) representou menos que 1,0% (Tabela 2).

Apesar do domínio das oscilações horárias, é possível avaliar a importância da maré meteorológica nas oscilações do nível do mar. Isto foi feito através da definição de faixas limites que compreendem o valor estimado para a altura média da preamar de sizígia (ou "MHWS - Mean High Water Springs"), de 0,4 m, e o valor máximo da maré astronômica, de 0,7 m. Os resultados mostram que oscilações do nível do mar maiores que 0,4 m são observados em 20,7% do período, sendo que 5,7% são devido à contribuição da

componente meteorológica (Tabela 3). A sua importância fica mais evidente considerando-se o segundo limite, onde 2,3% dos dados de nível do mar estão acima deste limite, sendo a maré meteorológica responsável por 2,2%, ou 98,7% deste valor. Durante o período de estudo foram observados 28 eventos de maré meteorológica, tanto positivas quanto negativas. No evento positivo mais significativo, em abr/03, o nível do mar alcançou 90 cm acima da maré astronômica prevista para o local. Esta maré meteorológica teve origem com a propagação de sistemas frontais e ventos do quadrante sul sobre o oceano.

Tabela 1: Principais constantes de maré astronômica na região ao largo do estuário do Rio Itajaí-Açú, em Cabeçadas, com amplitude e fases relativas à hora local, e a classificação do regime de maré local.

Total de constantes = 51	Amplitude (cm)	Fase(°)
<b>Diurnas</b>		
Q <sub>1</sub>	3,10	39,87
O <sub>1</sub>	10,87	67,95
P <sub>1</sub>	2,32	125,59
K <sub>1</sub>	6,20	134,13
<b>Semidiurnas</b>		
N <sub>2</sub>	4,38	131,21
M <sub>2</sub>	25,86	53,28
S <sub>2</sub>	18,30	53,28
K <sub>2</sub>	5,69	42,38
<b>Águas Rasas</b>		
M <sub>3</sub>	4,56	157,30
M <sub>4</sub>	6,62	78,77
MS <sub>4</sub>	3,08	172,17
<b>Parâmetros</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Valores (m)</b>
Número de forma	$NF=(K_1 + O_1)/(M_2 + S_2)$	0,38
Altura média	2,2 (M <sub>2</sub> )	0,52
Altura de sizígia	2,0 (M <sub>2</sub> + S <sub>2</sub> )	0,88
Altura de quadratura	2,0 (M <sub>2</sub> - S <sub>2</sub> )	0,15
<b>Regime de maré:</b>		
tipo misto, predominantemente semidiurno, com desigualdades de alturas para as preamares e baixamares consecutivas.		

Tabela 2: Análise de variância das diferentes componentes do nível do mar em Cabeçadas.

Nível do mar	Variância	(%)
Total	1389,5	100,0
Maré astronômica	854,8	61,5
Maré meteorológica	523,6	37,7
Tendência	11,1	1,0

Tabela 3: Importância relativa das componentes astronômicas e meteorológicas nas oscilações do nível do mar costeiro em Cabeçadas.

Nível do mar	Faixa limite de 0,4 m	Faixa limite de 0,7 m
Período total	20,7 %	2,3 %
Maré astronômica	15,0 %	0,03 %
Maré meteorológica	5,7 %	2,24 %

## 2. QUADRO METEOROLÓGICO SINÓTICO E REGIME DE VENTOS

O regime de ventos e as condições meteorológicas na região do baixo estuário do rio Itajaí-Açú e plataforma adjacente são influenciados por processos atmosféricos de escalas temporais e espaciais diferentes. Ventos úmidos provenientes do quadrante N, principalmente o NE, predominam durante todo o ano. Estes ventos são gerados pelo sistema semifixo de alta pressão atmosférica, denominado de Anticiclone do Atlântico Sul (AAS). Os ventos úmidos e amenos são característicos para a região durante todo o ano devido a grande escala espacial deste sistema, que atua em toda a costa sul e sudeste e parte da costa nordeste do Brasil.

Este sistema de ventos é perturbado quase que semanalmente pela passagem de sistemas frontais, originados pelo encontro da massa de ar fria do Anticiclone Móvel Polar (AMP) com a massa de ar quente do AAS. Os sistemas frontais migram sobre a região com sentido de SO para NE. O encontro entre estas diferentes massas de ar origina um sistema de frentes. A entrada quase-periódica das frentes frias e quentes modifica significativamente a circulação atmosférica em SC em função da proximidade da zona de geração das frentes, entre 60 - 40° S. O sistema frontal pode ser intenso e resultar em um ciclone extratropical (Fig. 2), configurando-se como o principal processo meteorológico para a região sul-sudeste do Brasil.

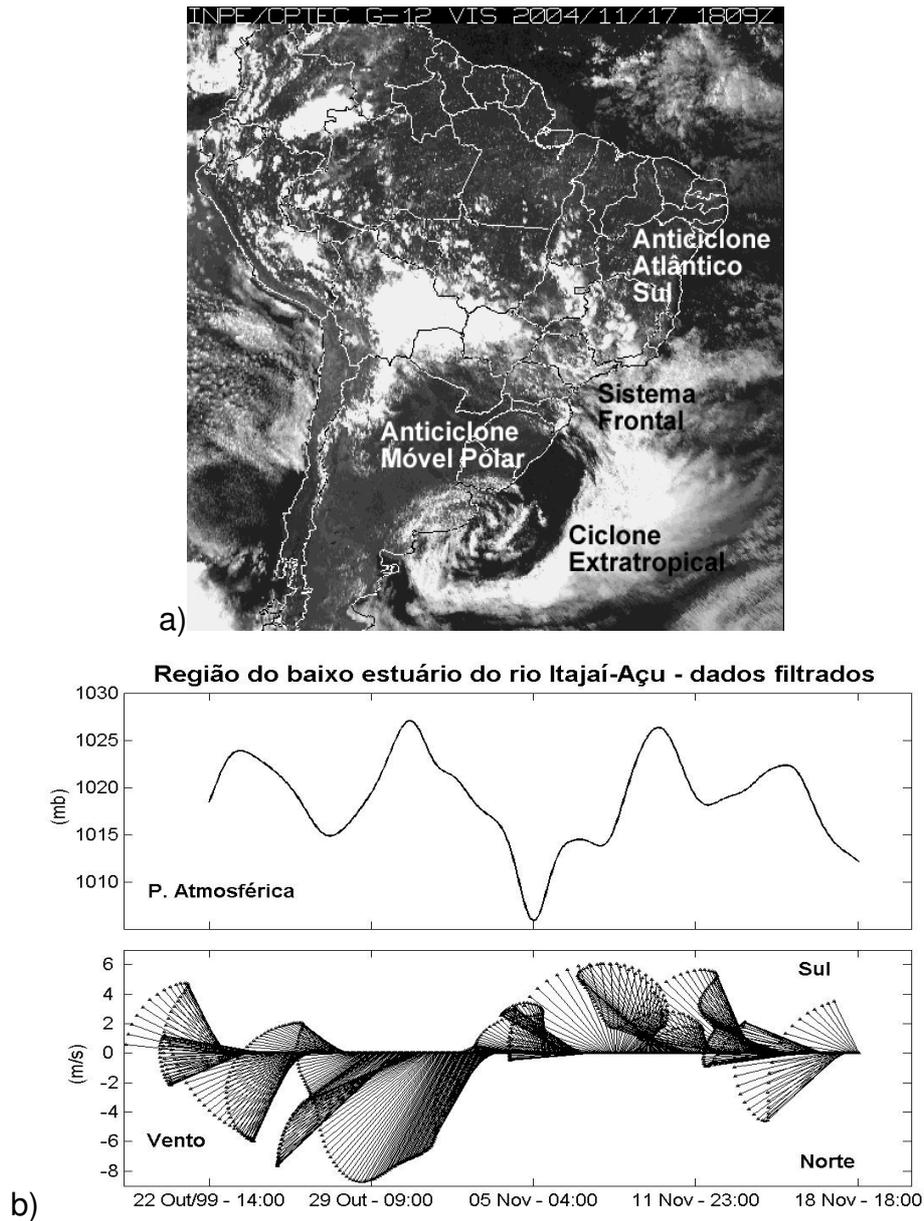


Figura 2. a) Imagem de satélite mostrando a propagação de um ciclone extratropical; b) séries temporais de pressão atmosférica e ventos em Itajaí.

Durante a passagem da frente fria ocorrem alterações nas condições predominantes do tempo, passando de quente e úmido com o transporte da massa de ar tropical pelos ventos de NE (Fig. 2), para frio e seco com o transporte da massa de ar polar pelos ventos agora do quadrante S. Ocorrem significativas alterações nos valores de pressão atmosférica (Fig. 2), havendo também o aumento das condições de chuva forte. No período que antecede a entrada do sistema frontal, a direção do vento muda no sentido anti-horário, passando de NE para NO até SO, inclusive com fortes rajadas. Durante o

período de domínio do sistema, os ventos são predominantemente do quadrante S e de intensidade moderada a forte. Em função da orientação da linha de costa local e regional, os ventos provenientes dos quadrantes N e S são ditos longitudinais a esta costa.

Ventos locais, tal como as brisas, terral-maral e também os de vale-montanha, transversais à linha de costa, estes últimos com origem na região do Alto Vale de Itajaí, também desempenham um papel importante, porém agora em escalas diárias. A frequência de ocorrência destes ventos na costa de Itajaí é consideravelmente maior do que em regiões próximas. Notadamente, há maior ocorrência de ventos fracos distribuídos em todas as direções em relação aos ventos de NE ou SE na região de Itajaí, representado por Navegantes (Nav), que em São Francisco, 100 km ao norte e representado por Praia Grande (PGr), onde os ventos de NE e SE apresentam maior ocorrência relativa (Fig. 3). Visto através do espectro de densidade de energia, as brisas de mar e de terra somam a maior parte da energia cinética do vento, maior inclusive que os ventos longitudinais à costa, de direção N-S (Fig. 4). Este padrão ocorre principalmente devido à presença do vale, onde os ventos de vale-montanha intensificam os ventos de brisas maral e terral. A combinação destes ventos altera tanto a direção e reduzem a velocidade dos ventos longitudinais, dos quadrantes N associados ao AAS, e de S, quando da propagação dos sistemas frontais.

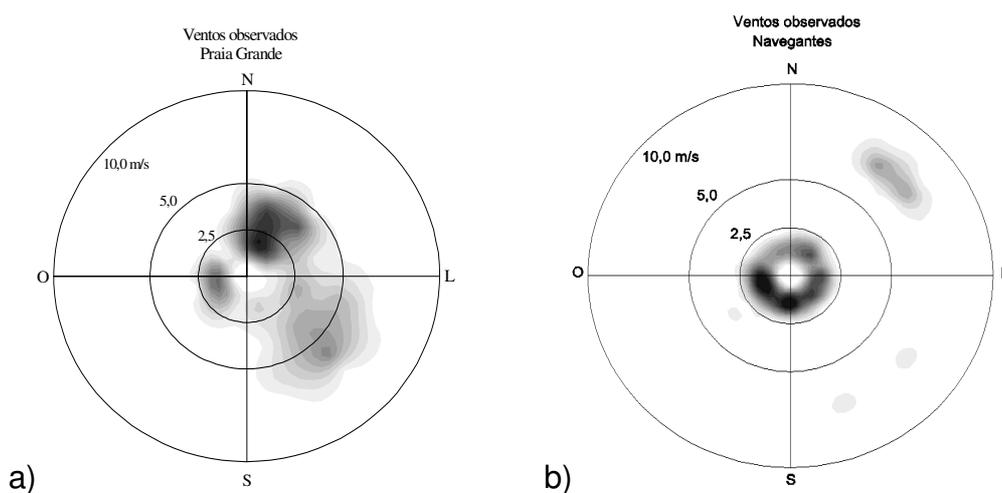


Figura 3. Distribuição polar de densidade de vetores dos ventos (notação meteorológica) em: (a) Praia Grande e (b) Navegantes.

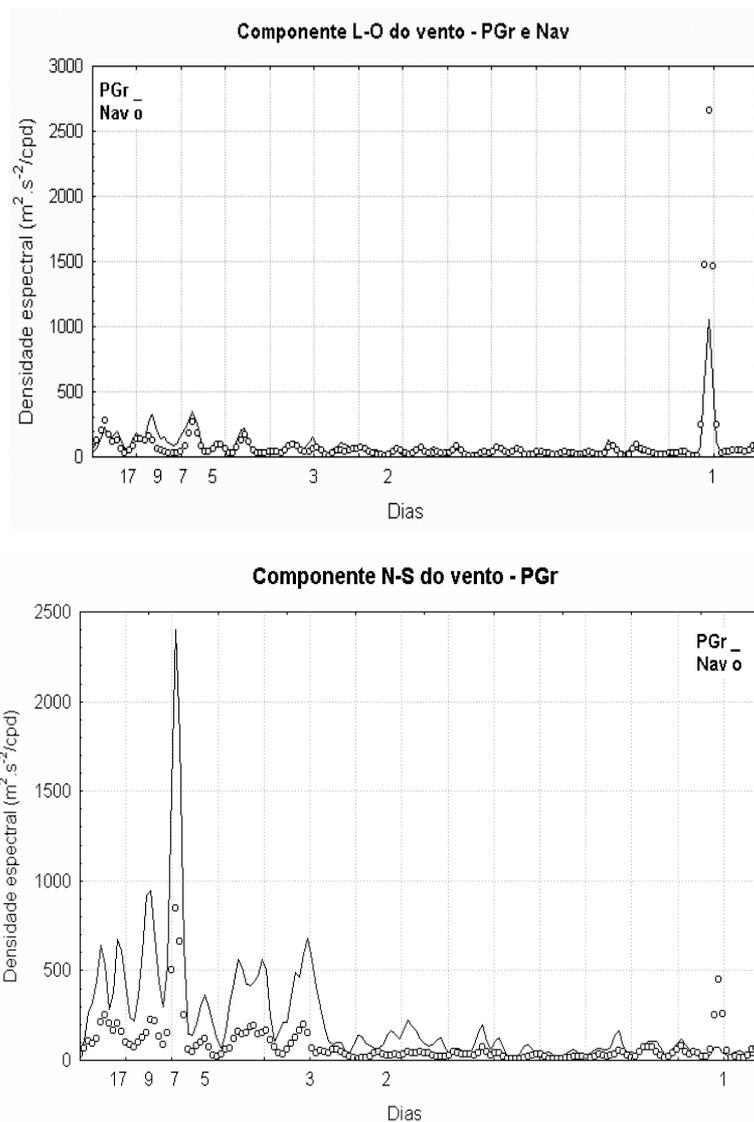


Figura 4. Densidade espectral de energia dos ventos transversais e longitudinais à costa para dois locais no litoral centro-norte de Santa Catarina.

### 3. MARÉS METEOROLÓGICAS

Além do processo de geração de ondas de gravidades na superfície em escalas de tempo de segundos, o vento também produz respostas na superfície do oceano em escala de poucos dias, tais ondas são chamadas de marés meteorológicas. Segundo Truccolo *et al.* (2002), as marés meteorológicas são importantes para o litoral norte de SC, pois representam cerca de 25% da variabilidade do nível do mar costeiro em períodos de horas, o que representa, durante o período de um ano, a ocorrência de pelo menos 1 semana de marés meteorológicas costeiras maiores que 0,8 m. O nível do mar

costeiro pode ser aumentado em torno de 1 m acima da cooscilação da maré astronômica prevista em condições extremas, devido aos ventos do quadrante S (Truccolo *et al.* 1996).

A dinâmica do nível do mar costeiro relacionada às forçantes atmosféricas locais foi analisada através de modelos de regressão no tempo e na frequência na região de São Francisco do Sul, ao norte de Itajaí (Truccolo *et al.*, 2006). Os resultados mostraram que as variações do nível do mar costeiro são maximizadas por ventos de direção de 12°N, orientados longitudinalmente a costa, e após 6 - 10h de atuação destes. Os ventos transversais à costa mostraram-se insignificantes nestas escalas para esta região. Na região costeira de Itajaí é provável que estes tenham uma importância maior.

Embora a ação de ondas seja mais importante na região de plataforma adjacente, os efeitos de marés meteorológicas podem ser observados estuário adentro até sua cabeceira. Na região costeira o efeito das marés meteorológicas é importante, pois potencializa a ação de ondas sobre áreas normalmente mais elevadas da costa, o que pode produzir erosão ou destruição de benfeitorias. No estuário, gera o aumento do volume de água e altera os balanços de massa na escala de tempo de dias.

O efeito da maré meteorológica em desembocaduras de estuários pode ser amplificado quando da sua ocorrência durante períodos de maré de sizígia, ou até mesmo durante períodos de vazão fluvial elevada. A figura 6 apresenta registros de nível da água no baixo estuário do rio Itajaí-Açú onde são observados dois eventos de elevação do nível, indicados pelas flechas, com valores em torno de 0,8 m e 0,7 m, entre Abril e Maio de 2003. A influência direta do nível do mar costeiro no nível de água do estuário pode ser ilustrada pela coerência de amplitude e fase, como ilustrado na figura 7. Em todas as escalas de horas e para o período de observação, ambos os níveis apresentam alta coerência (aproximadamente 1) e em fase (aproximadamente 0), o que indica uma rápida resposta do nível de água do estuário às oscilações do nível do mar costeiro.

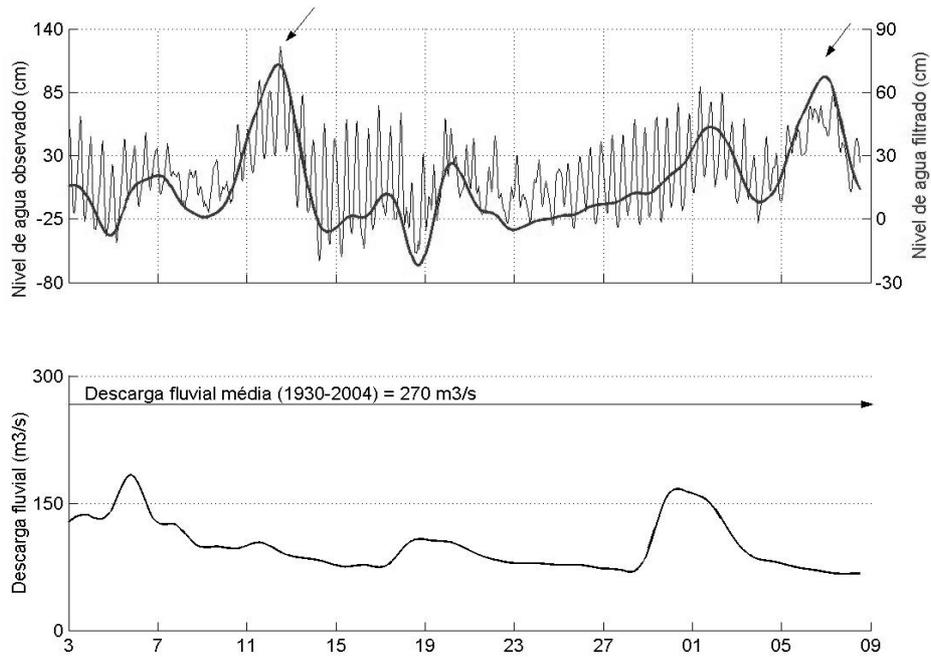


Figura 6. Elevação do nível de água no baixo estuário do rio Itajaí-Açu (a linha fina indica o nível de água observado e sua escala de valores está no eixo y a esquerda).

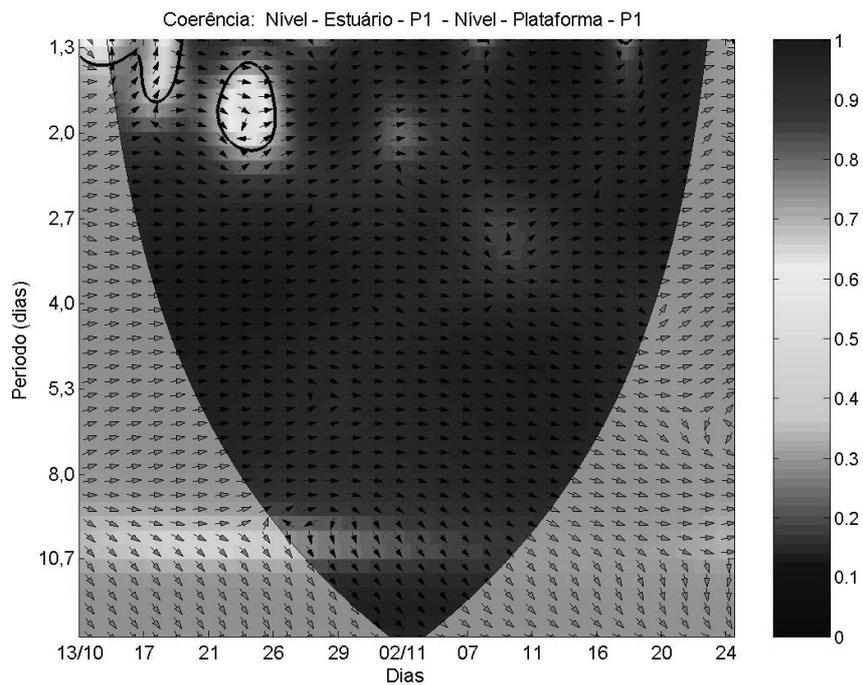


Figura 7. Espectro de coerência entre o nível do mar na plataforma continental e o nível de água no baixo estuário do rio Itajaí-Açu. As cores indicam valores de coerência entre 0 – 1 e as flechas a fase (flecha para a direita em fase).

#### 4. TSUNAMIS

Tsunamis são perturbações da superfície do mar na forma de ondas longas, com comprimento de aproximadamente 100 km, geradas nas regiões oceânicas por terremotos (sismos), atividades vulcânicas ou deslizamentos de terra. Estas ondas podem passar imperceptíveis nos oceanos, mas quando se aproximam da plataforma continental e das zonas costeiras, suas velocidades diminuem levando ao aumento da sua altura pela conservação de energia. Similarmente às marés meteorológicas, tsunamis apresentam natureza probabilística e, felizmente, ocorrem com uma probabilidade bastante menor. Enquanto marés meteorológicas são esperadas em uma frequência semanal/mensal, tsunamis são esperados em escalas de décadas a séculos.

O último grande tsunami que abalou o planeta inteiro ocorreu em 26 de dezembro de 2004 na Indonésia, e foi possível observar seu efeito no nível da água do estuário do rio Itajaí-Açú. A figura 8a e 8b apresenta o registro maregráfico observado e filtrado para o período antecedente e após a chegada do tsunami. As primeiras ondas chegaram à região costeira de Itajaí cerca de 20 h após a ocorrência do sismo. Estas chegaram ao início do dia 27 em séries com 20 min de período, alcançando alturas máximas da ordem de 0,9 (Fig. 8cd; Truccolo *et al.* 2005). Ressalta-se que as maiores ondas apresentaram alturas superiores as da maré astronômica para o período. Nos dias que se seguiram ainda foi possível identificar oscilações no nível de água devido à propagação das últimas ondas do tsunami.

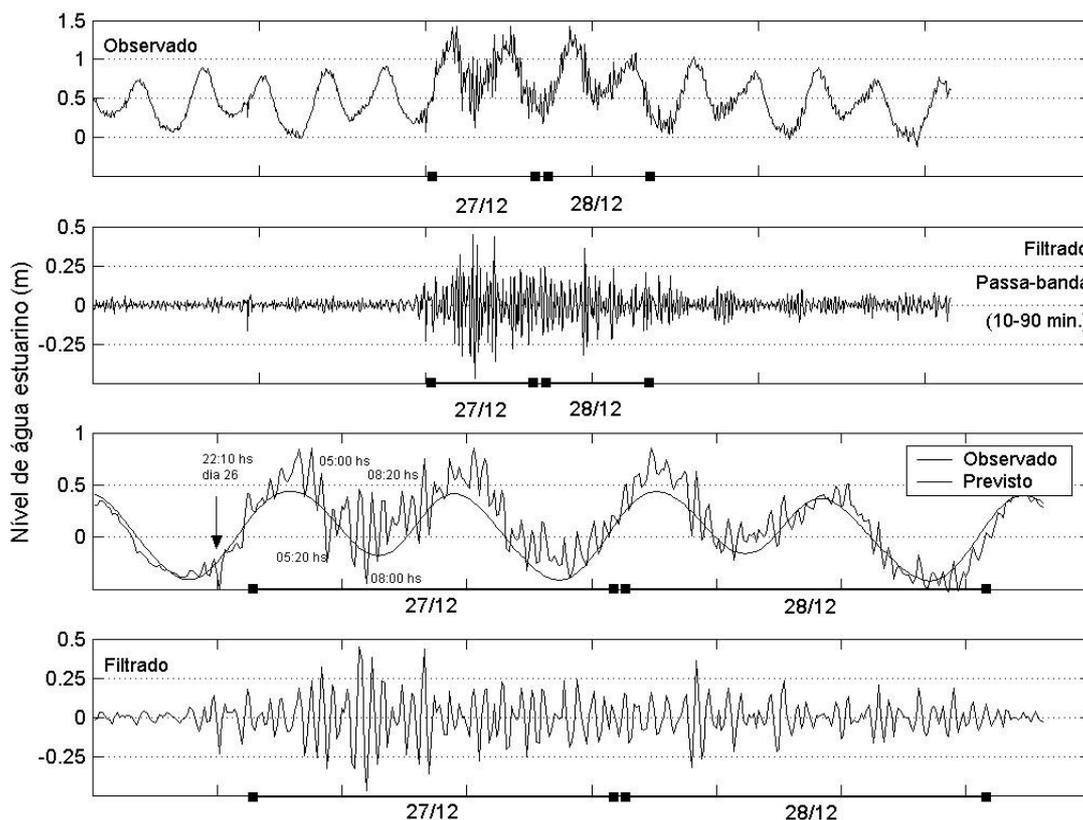


Figura 8. Registros de nível de água no baixo estuário do rio Itajaí-Açú durante o tsunami de 2004: a) observado, b) filtrado para vários dias, c) observado e previsto, d) filtrado, estes últimos para os dias 27 e 28/12 (modificado de Truccolo *et al.* 2005).

## 5. CORRENTES COSTEIRAS

Correntes costeiras são resultantes do balanço de energia entre ventos locais, marés astronômicas e meteorológicas, gradientes horizontais no campo de densidade da água e inclusive da vazão fluvial. Estes cinco elementos são importantes na dinâmica da região da costeira próxima à desembocadura do estuário do rio Itajaí-Açú. Até o presente momento não existe um estudo detalhado sobre estes efeitos no regime de correntes costeiras. Durante a execução do Projeto Interação do Estuário do Rio Itajaí-Açú e Plataforma Adjacente – ITAPLA/FAPESC foram obtidas séries temporais de correntes para o período de novembro de 2001 até março de 2002, representando assim um período de verão (Schettini, 2003), porém estes dados ainda não foram analisados em profundidade e publicados. Neste projeto foi fundeado um perfilador acústico de correntes por efeito Doppler nas proximidades da Boia 1

de balizamento do canal de acesso ao Porto de Itajaí, cerca de 3km para fora da costa, em uma profundidade de 9m.

A figura 9 apresenta diagramas de distribuição polar para correntes nos níveis de fundo, meia água e próximo da superfície para registros de correntes obtidos no Projeto Itapla. A orientação aproximada do eixo de corrente é sul-sudeste – norte-noroeste, o que destoa ligeiramente da orientação local da linha de costa da praia de Navegantes, que é praticamente sul – norte. As velocidades de fundo e meia água são fortemente bidirecionais chegando a magnitudes da ordem de  $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ . Em meia água o regime permanece fortemente bidirecional, com aumento da amplitude, chegando a valores máximos da ordem de  $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ . Próximo da superfície a magnitude das correntes aumentam ainda mais, e passa a ocorrer uma componente para leste com magnitude de até  $0,75 \text{ m.s}^{-1}$ . Esta mudança próxima da superfície é induzida pela interação entre o estuário e plataforma.

Durante a enchente do ciclo de maré, um volume de água entra na bacia estuarina, sendo uma parte de água salgada e outra de água doce fluvial. A água doce boia sobre a água salgada, e uma parte da energia da propagação da onda de maré é convertida em energia turbulenta que causa mistura entre os diferentes tipos de água. Durante a vazante, sairá um volume de água salgado não misturado próximo do fundo, e próximo da superfície sairá água de baixa salinidade. No estuário, a estrutura estratificada em duas camadas é mantida pelas constrições laterais das margens. Porém, ao sair para a plataforma sem tais constrições, o empuxo irá forçar o espalhamento horizontal da água menos densa, formando uma pluma fluvial ou estuarina. O gradiente de pressão baroclínico entre a estratificação estuarina e a não estratificação na plataforma induzirá a aceleração do escoamento. Assim, a pluma resultante apresentará uma espessura da ordem de unidades a dezenas de decímetros, e forte estratificação de correntes e densidade. A evolução da pluma sobre a água costeira produz também troca de momento entre as camadas, bem como a mistura gradual até o desaparecimento dos gradientes verticais. A troca de momento irá produzir uma corrente de água costeira com mesmo sentido da dispersão da pluma; a mistura entre as camadas irá formar a massa de água costeira. Os dados apresentados na figura 9 para superfície não representam a velocidade da pluma, mas principalmente da corrente de resposta de

subsuperfície. Isto ocorre devido ao fato de que o sinal do PACD torna-se demasiadamente ruidoso próximo da superfície pela presença de ondas e bolhas, sendo descartado primeiro metro ou mais, onde está a pluma em si.

Os processos oceanográficos e ecológicos na pluma fluvial formada ao largo do estuário do rio Itajaí-Açú foram primeiramente avaliados em Schettini *et al.* (1998). Estudos posteriores foram reportados por Trochimczuk & Schettini (2003) e Schettini *et al.* (2005). A pluma é observada como uma diferenciação da cor da superfície do mar, mais expressiva em períodos de vazão fluvial mais elevada. A região mais diretamente afetada pela dispersão da pluma em condições normais é restrita a alguns quilômetros da desembocadura. O padrão predominante de dispersão da pluma é para nordeste, sendo que sua influência para o sul da desembocadura se deve já a formação de água costeira de baixa salinidade.

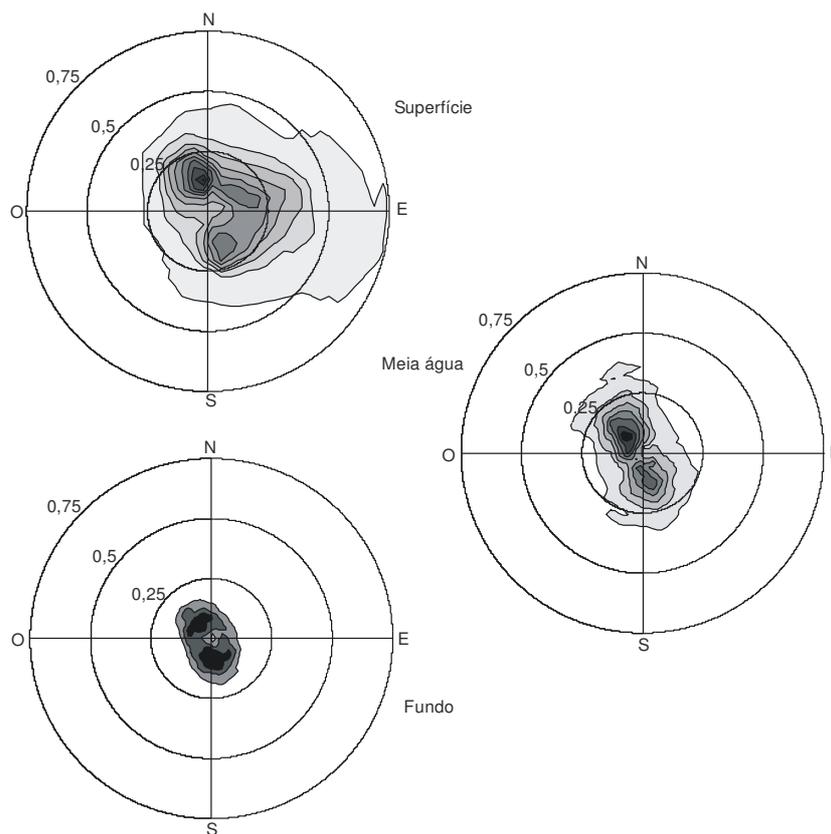


Figura 9. Diagramas de distribuição de ocorrência polar de velocidade e direção de correntes para dados obtidos ao largo de Itajaí em superfície, meia água e fundo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Elliott, A J. 1982. Wind-driven flow in a shallow estuary. *Oceanologica Acta*, 5(1): 7-10.
- Garvine, R.W. 1985. A simple model of estuarine subtidal fluctuations forced by local and remote wind stress. *Jour. of Geophysical Res.*, 90(C6): 11.945-11.948.
- Goodrich, D.M. 1988. On meteorologically induced flushing in three U.S. east coast estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 26:111-121.
- Parker, B. B. 1991. The relative importance of the various nonlinear mechanisms in a wide range of tidal interactions (Review). In: B.B. Parker (ed). *Tidal Hydrodynamics*. New York: John Wiley and Sons. 237-268p.
- Prandle, D. 1991. Tides in estuaries and in embayments (Review). In: B.B. Parker (ed). *Tidal Hydrodynamics*. New York: John Wiley and Sons. 125-152p.
- Pritchard, D.W. 1989. Estuarine Classification – a help or a hindrance. In: B.J. Neilson; A. Kuo; J. Brubaker (eds). *Estuarine Circulation*. New Jersey: Humana. 1-38p.
- Pritchard, D. W.; Vieira, M.E.C. 1984. Vertical variations in the residual current response to meteorological forcing in the mid-Chesapeake Bay. In: V.S. Kennedy (ed.). *The Estuary as a Filter*. Florida: Academic Press. 27-65p.
- Schettini, C.A.F. 2002. Caracterização física do Estuário do Rio Itajaí-Açú, SC. *Rev. Bras. de Recursos Hídricos*, 7(1):123-142.
- Schettini, C.A.F. 2003. Interação entre o estuário do rio Itajaí-Açú e plataforma continental, e suas implicações na evolução costeira e produtividade biológica – ITAPLA. Itajaí, Relatório Final, 86p.
- Schettini, C.A.F.; Kuroshima, K.N.; Pereira Fo., J.; Rörig, L.R.; Resgalla Jr., C. 1998. Oceanographic and ecological aspects of the Itajaí-Açú river plume during a high discharge period. *An. Acad. Bras. Sci.* 70:335-351.
- Schettini, C.A.F.; Resgalla Jr., C.; Pereira Fo., J.; Silva, M.A.C.; Truccolo, E.C.; Rörig, L.R. 2005. Variabilidade temporal das características oceanográficas e ecológicas da região de influência fluvial do rio Itajaí-Açú. *Braz. J. Aqua. Sci. Tech.*, 9(2):93-102.
- Truccolo, E.C.; Melo, E.; Schettini, C.A.F. 1996. Oscilação do nível do mar em resposta à forçantes meteorológicas em São Francisco do Sul - SC: Evento de Julho de 1996. In: SIMPÓSIO SOBRE OCEANOGRAFIA, 3, Resumos..., São Paulo, p.381.
- Truccolo, E.C.; Schettini, C.A.F.; Franco, D. 2002. Coastal sea level variability due to meteorological forcing in the Northern coast of Santa Catarina, Brazil: observations, in: Gomes, F.V. et al. (Ed.) (2002). *Littoral 2002: 6th International Symposium Proceedings: a multi-disciplinary Symposium on Coastal Zone Research, Management and Planning*, Porto, 22-26 September 2002: volume 2. pp. 219-223.
- Truccolo, E.C.; Franco, D.; Schettini, C.A.F. 2006. The low frequency sea level oscillations in the northern coast of Santa Catarina, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 39(SI):547-552.
- Truccolo, E.C.; Schettini, C.A.F.; Oliveira, D. 2005. Efeito do Tsunami de dezembro de 2004 no nível de água do estuário do rio Itajaí-Açú. In: Congresso Brasileiro de Oceanografia, II, CBO, Vitória, ES, (publicado em CD-Rom, sem paginação).
- Trochimczuk Fo., A. & Schettini, C.A.F. 2003. Avaliação da dispersão espacial da pluma do estuário do rio Itajaí-Açú em diferentes períodos de descarga. *Notas Técnicas da Facimar*, 7:83-96.
- Vieira, M.E.C. 1985. Estimates of subtidal volume flux in Mid-Chesapeake Bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 21: 411-427.
- Wang, D.P. 1979. Wind-driven circulation in the Chesapeake Bay, winter 1975. *Jour. of Physical Oceanography*, 9:564-572.
- Wong, K.-C. & Garvine, R.W. 1984. Observations of wind-induced, subtidal variability in the Delaware Estuary. *Jour. of Geophysical Res.*, 89(C6):10589-10597.