

Capítulo 1

Circulação do baixo estuário do Rio Itajaí.

Carlos Augusto França Schettini¹; Eliane Cristina Truccolo¹

¹- 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 guto@univali.br; nane.truccolo@univali.br

ABSTRACT

The lower estuary of the Itajaí-Açú River is considered as the final reach of the Itajaí-Açú river that comprises the portion from the mouth until the Itajaí-Mirim mouth, with an extension of 7 km, and regular width ranging between 150 and 300m, and depth ranging from 5 to 11m. The local astronomical tide is mixed with dominance of semi-diurnal tides, with tidal height ranging from 0.3 until 1.2 m during neap and spring tide periods, respectively. The fluvial regime is highly variable. The Itajaí-Açú River drains 15,500 km², with an averaged river discharge of 230m³.s⁻¹ (1934-1998). Although, the discharge is of about half of the averaged value most of the time, with sparse peaks of discharge that can usually exceeds 1000 m³.s⁻¹ as response to rain events. The estuarine circulation resulting of the physical driven agents, marine and fluvial, is a pattern highly stratified, where the salt intrusion extends for tens of kilometers upstream of estuarine mouth.

KEYWORDS: geomorphology; estuarine circulation; astronomical tides.

INTRODUÇÃO

Estuários são corpos de água semifechados, com uma livre conexão com o mar aberto, dentro dos quais ocorre a diluição mensurável da água do mar pela água proveniente da drenagem continental (Cameron & Pritchard, 1963). Em termos físicos o limite continental de um estuário é o limite dos efeitos oscilatórios das marés (Fairbridge, 1980), sendo que ao longo de um estuário podem ser distinguidos três setores: (i) baixo estuário, com predominância de água de alta salinidade e processos marinhos; (ii) médio estuário, onde ocorre a transição do regime fluvial para regime marinho, e normalmente onde ocorre os principais processos de mistura; e (iii) alto estuário, onde é observado os efeitos da maré sobre a água doce apenas (Dionne, 1963).

Os processos de mistura entre as águas doce e salgada, e transporte de substâncias em estuários, são sujeitos a diversos determinantes, sendo os

principais a morfologia, a vazão fluvial e o regime de marés. A interação entre estes determinantes, incluindo também os efeitos potenciais de ventos e ondas, produz três tipos predominantes de regimes hidrodinâmicos: (i) altamente estratificados; (ii) parcialmente estratificados ou parcialmente misturados; e (iii) verticalmente homogêneos ou bem misturados (Dyer, 1997; Miranda *et al.* 2002).

Dentre toda a diversidade morfológica de estuários, os estuários onde o regime fluvial predomina sobre o regime de marés tende a produzir uma morfologia alongada e estreita, resultando em um estuário do tipo de frente deltáica segundo os modelos propostos por Fairbridge (1980). O estuário do rio Itajaí-Açú enquadra-se razoavelmente neste tipo. Sua evolução geomorfológica ainda não foi devidamente estudada, mas sua fisiografia atual apresenta largura variando entre 150 e 300 m, presença de meandros bem definidos atravessando uma planície costeira, e profundidade média acima de 5m, sugerindo um regime dominante fluvial. O objetivo do presente capítulo é apresentar uma revisão sobre o regime hidrodinâmico do baixo estuário do rio Itajaí-Açú, indicando os principais aspectos relacionados com sua morfologia, regime fluvial e regime de maré astronômica, os quais estabelecem os padrões de circulação predominantes.

- Geomorfologia do baixo estuário

O baixo estuário do rio Itajaí-Açú é tido como a porção final do rio Itajaí-Açú que compreende o trecho desde a desembocadura até a confluência do rio Itajaí-Mirim, apresentando uma extensão de 7 km, e largura aproximadamente regular, variando entre 150 e 300 metros (Schettini, 2002). Este trecho encontra-se atualmente em elevado grau de ocupação das suas margens por cais de atracação de embarcações de pesca, estaleiros, portos e orla urbana das cidades de Itajaí e Navegantes. A porção próxima da desembocadura está fixada pela presença de espigões, guias correntes e molhes, construídos em meados do século passado com o objetivo de tornar a navegação até o Porto de Itajaí mais segura. Antes de tais obras a desembocadura era orientada pelo promontório do Atalaia, com a presença de um pontal arenoso que se estendia a partir da praia de Navegantes (Fig. 1).

Cartas batimétricas do período de construção dos molhes (Fig. 2) indicam que a desembocadura era relativamente mais rasa que o canal do estuário, com profundidade da ordem de 5m. O estuário apresentava profundidade variando de 6 a 13m, sendo que as maiores profundidades estavam associadas com a curvatura dos meandros. A partir da década de 70 foram iniciadas obras de aprofundamento do canal de acesso e bacia de evolução do Porto de Itajaí (Carvalho, 1996). Atualmente há um programa de dragagem de manutenção permanente no baixo estuário realizado por uma draga de injeção de água. O calado do canal de acesso e bacia de evolução é mantido em 10 m. Durante o ano de 2006 foi executada a obra de aprofundamento do canal em um metro. A figura 3 apresenta a fisiografia atual do baixo estuário, indicando a área dragada.

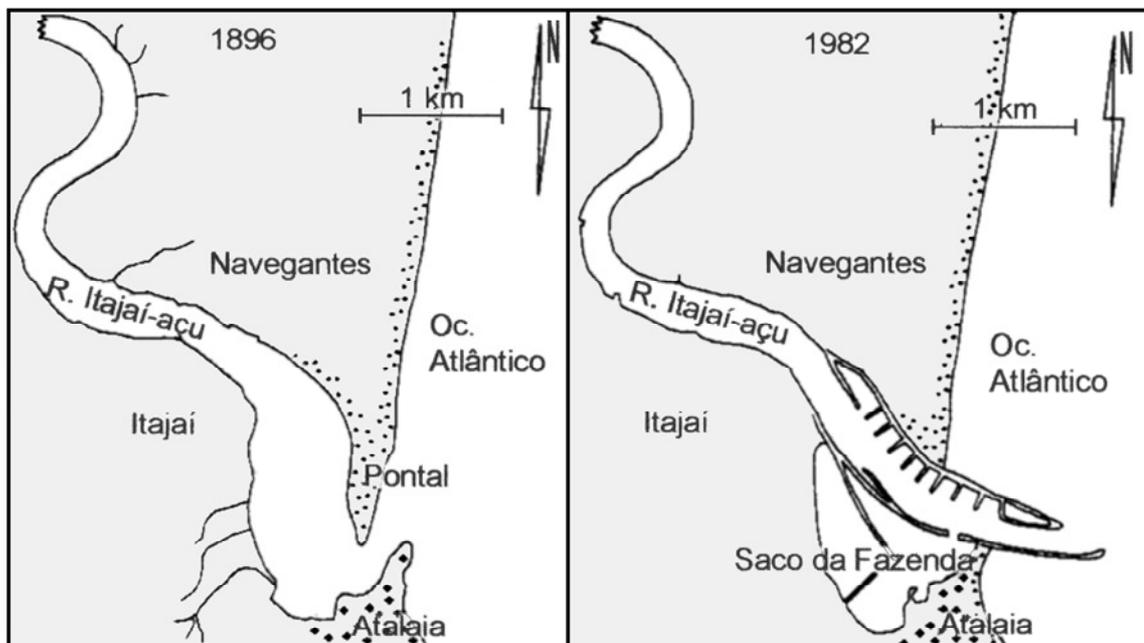


Figura 1. Situação da Barra de Itajaí em 1896, antes de qualquer retificação, e em 1982 (modificado de Vargas, 1983).

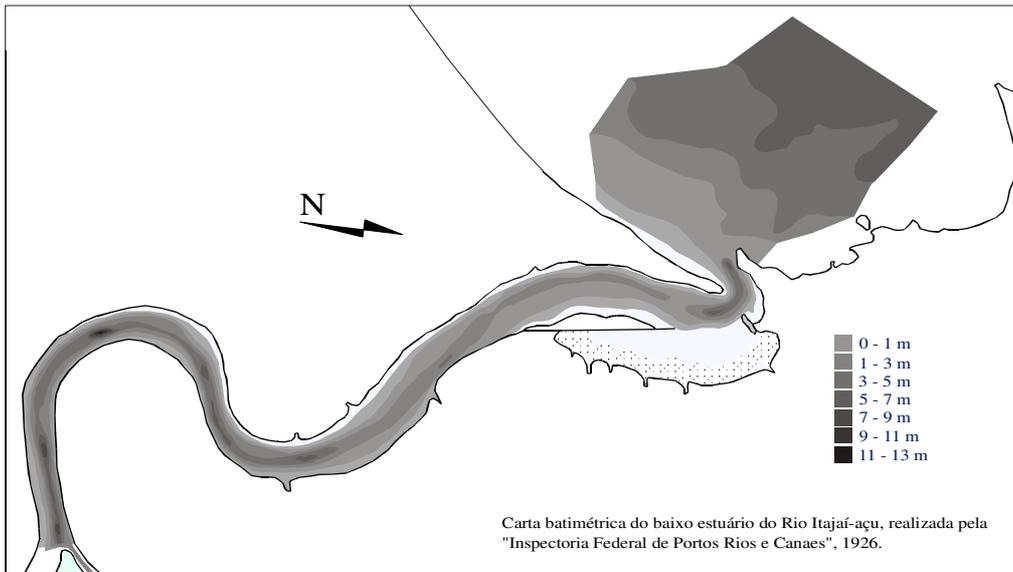


Figura 2. Carta batimétrica do baixo estuário do rio Itajaí-Açu em 1926.

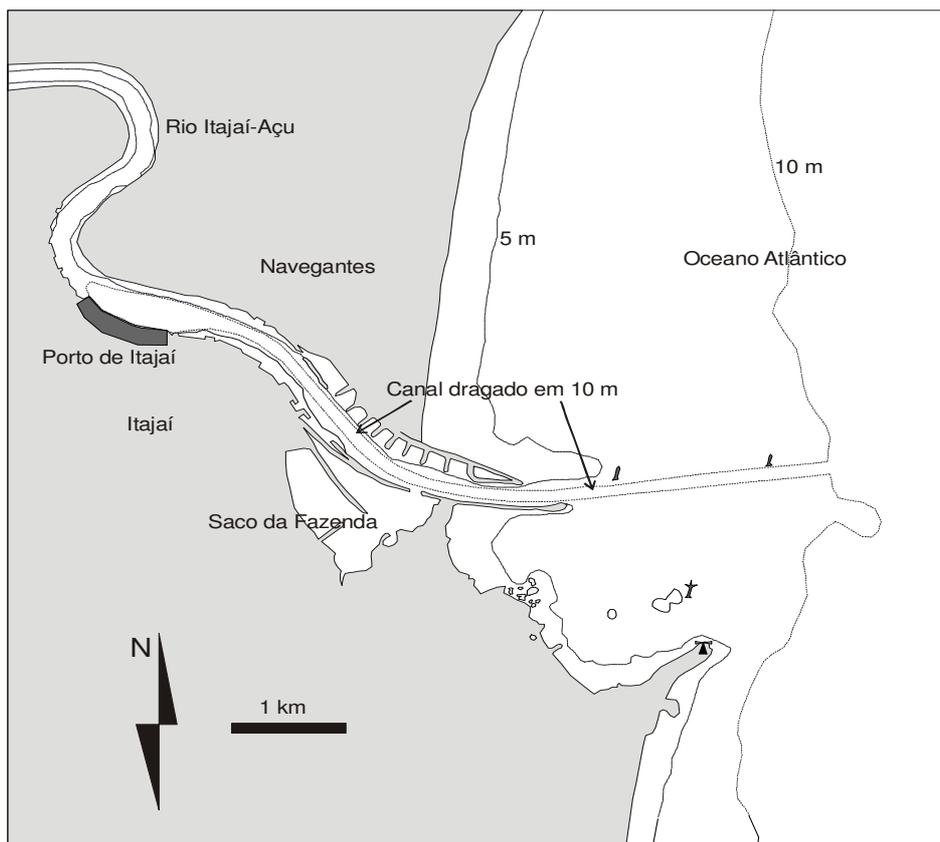


Figura 3. Situação atual do baixo estuário do rio Itajaí-Açu com a indicação do canal de acesso e bacia de evolução do Porto de Itajaí.

MATERIAL E MÉTODOS

Este manuscrito apresenta dados obtidos de diversos trabalhos realizados a partir de 1994 no baixo estuário do rio Itajaí-Açú. Schettini (2002) apresenta um sumário do histórico dos trabalhos realizados. Dados de nível de água analisados no subitem 'regime da maré astronômica' foram gentilmente cedidos pela empresa de dragagem Norham, a qual mantém um registrador de nível de água de pressão no baixo estuário desde 1999, na extremidade do píer do Centro de Pesquisa Pesqueira do Sul do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (CePSul-IBAMA). A partir destas séries de dados foram identificados os constituintes harmônicos de maré através da análise harmônica de maré descrita por Franco (1981).

Dados de descarga líquida para o rio Itajaí-Açú utilizados no subitem 'regime fluvial' foram obtidos junto a Agência Nacional de Águas para a estação fluviométrica de Indaial. Dados de nível (ou cota) são medidos diariamente e convertidos para descarga líquida através de uma curva chave de vazão estabelecida. O período de dados utilizados compreende desde 1934 até 1999.

Dados hidrográficos utilizados no subitem 'circulação estuarina' foram obtidos a partir de diversas fontes. De forma geral, os dados de salinidade e temperatura da água foram obtidos com o emprego de sondas de aquisição de dados tipo CTD (acrônimo do inglês – *conductivity-temperature-depth*), da marca SAIV A/S. Este tipo de instrumento, uma vez ativado, adquire dados continuamente em intervalos de um segundo, os quais são posteriormente reduzidos e processados para fornecer um perfil vertical em função de profundidades regulares, normalmente com uma resolução vertical de 0,5 m. Informações de velocidade e direção de correntes utilizados nesta mesma seção foram obtidos com o emprego de um correntógrafo acústico marca Falmouth modelo 3D-ACM. Este instrumento foi operado em tempo real, sendo gradualmente baixado na coluna de água para aquisição de dados em diversos níveis. Os procedimentos de aquisição de dados de salinidade e correntes foram repetidos em intervalos horários por um período de 13 ou 25 horas para acompanhar as variações completas de um ou dois ciclos completos de maré. Dados de correntes também foram obtidos com emprego de perfiladores acústicos de correntes por efeito Doppler (PACD). Estes instrumentos

possibilitam a obtenção de um perfil de dados de velocidade e direção de correntes em intervalos regulares de profundidade da coluna de água a partir de transdutores acústicos montados em uma embarcação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Regime de maré astronômica

A variação do nível da água no baixo estuário do rio Itajaí-Açú é primeiramente controlada pela maré astronômica, a qual explica cerca de 70% da variância desta. O restante da variância é devido a oscilações de baixa frequência causada ou por marés meteorológicas ou por eventos de vazão fluvial extremos. A figura 4 apresenta um exemplo de registro de nível da água no baixo estuário do rio Itajaí-Açú.

O regime de maré astronômica regional é caracterizado como de micromarés misto com predominância semidiurna. O número de forma, obtido pela razão da soma dos principais constituintes diurnos pela soma dos principais constituintes semidiurnos $[(O1 + K1)/(M2 + S2)]$ (Pugh, 1987), é em torno de 0,4 (Schettini *et al.* 1996). A altura média de maré na desembocadura do estuário é de 0,8m, com mínimas de 0,3m durante os períodos de quadratura e 1,2 m durante os períodos de sizígia (Schettini *et al.* 1998).

O regime de maré astronômica local é bastante influenciado por constituintes harmônicos de água rasa, possivelmente devido à complexidade da linha de costa e extensão da plataforma continental. A Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) fornece 32 constituintes harmônicos para a estação maregráfica do porto de Itajaí (Tab. I). Destes, 18 são constituintes astronômicos puros, enquanto que os demais são constituintes de águas rasas gerados pela deformação da onda de maré à medida que esta avança sobre a plataforma continental e adentra no estuário (Franco, 1981; Pugh, 1987). O somatório total das amplitudes dos constituintes é 147,7 cm, sendo que 101,2 cm, ou 68%, são devido aos constituintes harmônicos puros.

Os efeitos de água rasa na maré local são evidenciados pela importância dos constituintes de espécie quartidiurna, com os constituintes MK_4 e SK_4 apresentando equivalência de amplitude com o constituinte principal

diurno lunar O_1 , da ordem de 10 cm. A importância dos constituintes quartidiurnos resulta em um padrão complexo da variação do nível do mar, principalmente durante os períodos de quadratura, quando se observam quatro preamares ao longo de um dia. A distribuição de frequência de níveis extremos em relação ao nível médio (Fig. 5) evidencia a complexidade do regime de maré, onde ocorre um padrão bimodal bastante evidente para os extremos de preamar.

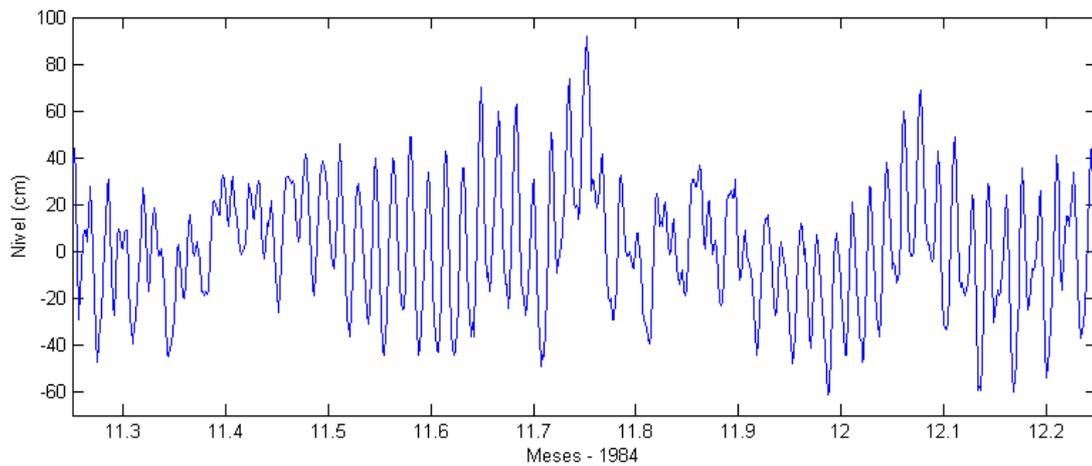


Figura 4. Série temporal de um mês de nível da água para o baixo estuário do rio Itajaí-Açú.

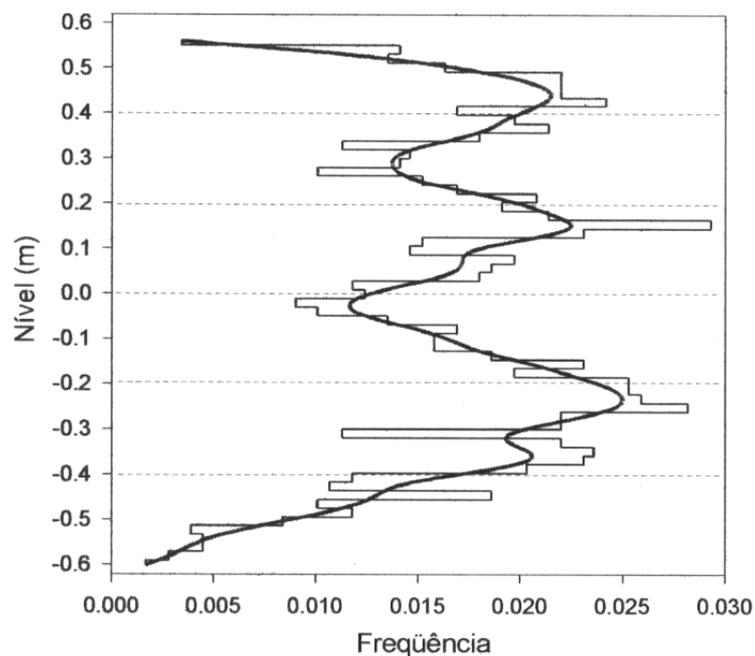


Figura 5. Distribuição de frequência de valores extremos de maré astronômica no estuário do rio Itajaí-Açú próximo para a estação maregráfica do porto de Itajaí. A linha em negrito representa os dados do histograma filtrados.

Tabela I. Constituintes harmônicos (C.H.) com respectiva amplitude (a) e fase para a estação maregráfica do porto de Itajaí, fornecidos pela Diretoria de Hidrografia e Navegação. Os C.H. em negrito são os ditos astronômicos, e os demais, de águas rasas (Franco, 1981).

Espécie	C.H.	A (cm)	Fase (°)	Espécie	C.H.	A (cm)	Fase (°)
Longo Período	AS	4,2	55,5	Semi Diurnas	L ₂	1,7	75,3
	SSA	5,2	91,7		2N ₂	1,4	131,7
	MM	1,9	44,8		MU ₂	1,5	117,0
	MF	6,1	170,4		KJ ₂	1,0	224,5
	MSF	4,3	276,4		MSN ₂	0,7	237,4
Diurnas	K ₁	6,1	137,1	OQ ₂	0,9	98,9	
	O ₁	10,4	77,0	M ₃	4,2	175,6	
	P ₁	2,1	126,9	MK ₃	1,6	75,7	
	Q ₁	3,2	52,7	Terci Diurnas	MO ₃	2,8	335,9
	RO ₁	0,8	83,0	SK ₃	2,1	224,0	
	2Q ₁	0,7	351,1	SO ₃	1,4	276,4	
	S ₁	1,3	118,2	M ₄	5,7	116,4	
Semi Diurnas	M ₂	23,2	68,8	MS ₄	3,9	205,4	
	S ₂	15,7	66,4	Quarti Diurnas	MN ₄	2,4	67,1
	N ₂	4,3	145,5	MK ₄	11,0	205,2	
	K ₂	5,2	60,1	SK ₄	10,7	227,3	

- Regime fluvial

O monitoramento diário da descarga líquida é realizado no Rio Itajaí-Açú desde 1934 em algumas estações fluviométricas mantidas atualmente pela Agência Nacional de Águas – ANA. A estação fluviométrica de Indaial é a mais próxima da desembocadura sem sofrer influência da maré. Esta estação está a 90 km da desembocadura, representando uma área de captação de 11.110 km², ou aproximadamente 70% de toda a bacia de drenagem (Schettini, 2002).

A análise dos dados de descarga diária de 1934 até 1998 fornece uma descarga média de $228 \pm 282 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, com mínima de 17 e máxima de $5.390 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, sendo que a máxima ocorreu em 1984 durante um evento de El Niño, um dos mais intensos já observado na região. A descarga média mensal apresenta dois picos de máxima descarga ao longo do ano, em fevereiro $285 \pm 185 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e outubro, $309 \pm 192 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, e dois picos de mínima, em abril

$164 \pm 110 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e dezembro $185 \pm 124 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Fig. 6). Porém, é notável a alta variabilidade destes dados médios mensais através do coeficiente de variação. A variabilidade é bastante grande durante todo o ano, sendo máxima nos meses de julho e agosto, e mínima nos meses de março e outubro.

Não obstante, a variação da descarga média mensal como mostrada na figura 6 é demasiadamente sintética, dado que o regime hidrológico do rio Itajaí-Açú é consideravelmente variável ao longo do tempo, tanto em termos sazonais quanto em termos interanuais ou até mesmo decenais. A figura 7 apresenta a evolução temporal da descarga em termos de médias mensais e anuais, com seus respectivos histogramas de frequência. As médias anuais apresentam uma distribuição bimodal, sendo que a interface entre as modas se dá aproximadamente próximo da descarga média geral ($\sim 230 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Esta distinção de modas está possivelmente associada com a instabilidade climática que se observa em Santa Catarina decorrente de fenômenos de escala global como a Oscilação Sul – El Niño.

Durante os anos de ocorrência do El Niño observa-se o aumento da pluviosidade nos Estados do sul e sudeste do Brasil, acompanhado de secas no nordeste. Durante os anos ditos normais, sem influência do El Niño, a pluviosidade no sul é comparativamente menor, e maior no nordeste do país (Gan, 1992). Tal variabilidade climática como regulador do regime hidrológico obviamente influencia o regime de descarga fluvial, acarretando na variabilidade interanual observada. Adicionalmente, a intensidade do fenômeno El Niño varia a cada ocorrência, e a concentração de precipitação atmosférica não ocorre necessariamente sempre sobre as mesmas regiões, como apontado por Martin *et al.* (1992).

A distribuição de frequência das médias mensais (Fig. 7) apresenta uma distribuição unimodal, com forte assimetria negativa. Isto reflete a descarga do rio: relativamente baixa durante a maior parte do tempo, inferior ao valor médio, com ocorrência de pulsos esporádicos em função da precipitação na bacia hidrográfica. Os períodos de baixa descarga entre pulsos de alta descarga duram em média 11 dias, porém podem ocorrer períodos de baixa descarga com mais de 120 dias de duração (Schettini & Carvalho, 1998a).

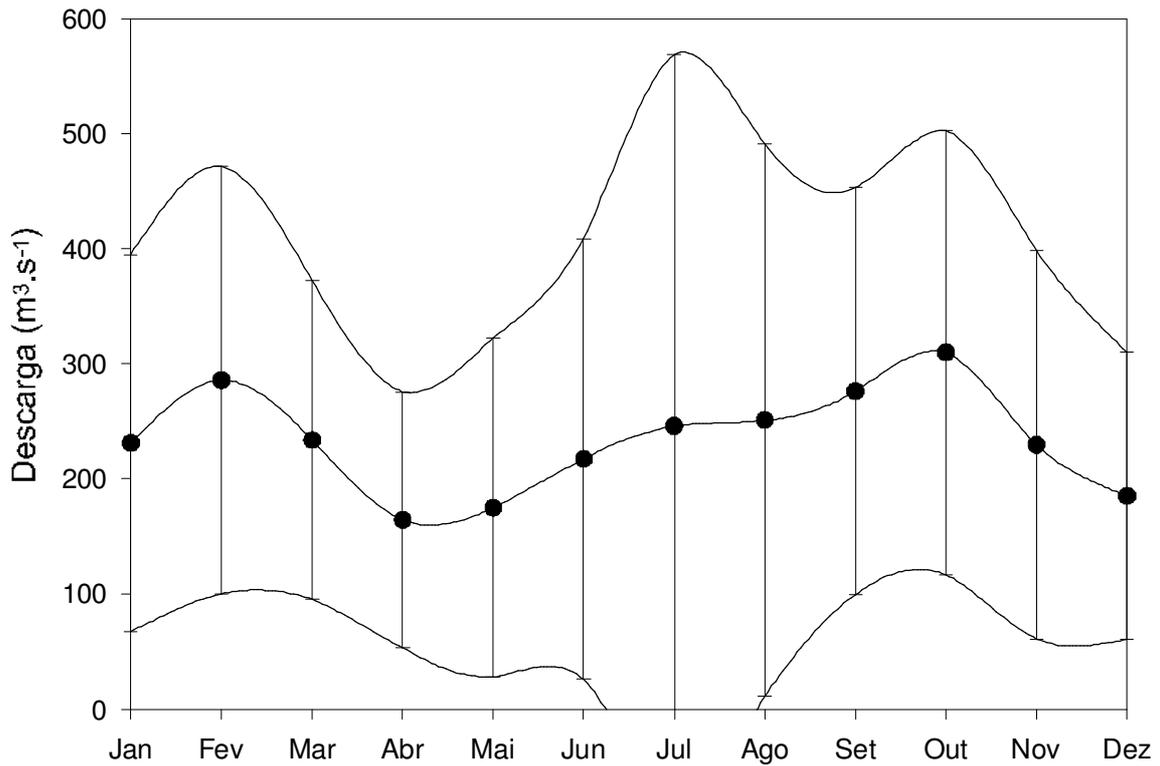


Figura 6. Descarga média mensal e desvio padrão do rio Itajaí-Açú na estação limnimétrica de Indaial, baseado em dados diários de 1934 até 1999.

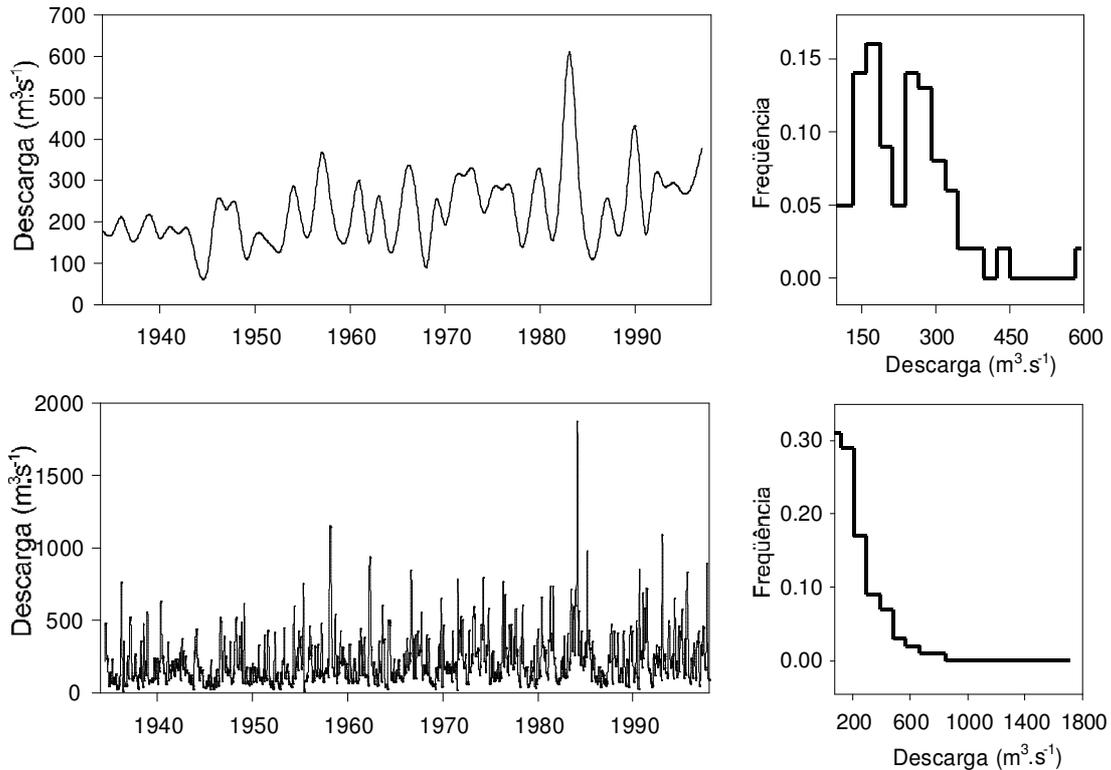


Figura 7. Descarga média anual e mensal a partir de dados diários de 1934 até 1998, com seus respectivos histogramas de frequência.

- Circulação estuarina

Os efeitos da (i) diferença de densidade entre a água doce e a água marinha, (ii) da propagação da onda de maré estuário adentro e (iii) da vazão do rio, todos se dando dentro da bacia estuarina, irão determinar o regime da circulação estuarina. Esta última, por sua vez, será o determinante principal que atuará nos processos de transporte ou retenção de materiais provenientes da drenagem continental, como sedimentos, nutrientes e contaminantes. Schettini (2002) apresenta uma caracterização geral do estuário do rio Itajaí-Açú, onde classifica o estuário como sendo do tipo altamente estratificado. A figura 8 apresenta um exemplo de distribuição da salinidade longitudinal e vertical no estuário do rio Itajaí-Açú em condições de descarga em torno do valor médio.

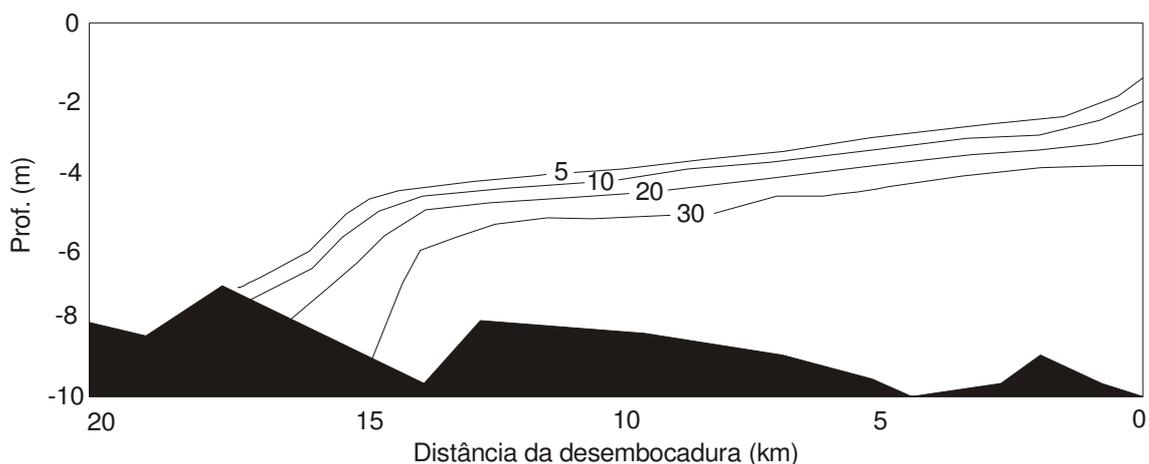


Figura 8. Exemplo de distribuição longitudinal/vertical de salinidade no estuário do rio Itajaí-Açú.

O principal forçante da hidrodinâmica do estuário do rio Itajaí-Açú é a descarga fluvial. Após períodos prolongados de baixa vazão a intrusão salina pode chegar a mais de 30 km da desembocadura. Por outro lado, após eventos de precipitação intensa na bacia hidrográfica, a vazão eleva-se rapidamente e caso ultrapasse valores da ordem de $1.000\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ toda a água salgada é expulsa da bacia estuarina (Schettini, 2002). Contudo, durante a maior parte do tempo a vazão do rio Itajaí-Açú encontra-se abaixo do valor médio, o que implica que a intrusão salina é uma feição quase permanente.

Em função disso, a setorização do estuário foi definida nos moldes sugeridos por Dionne (1962), onde podem ser distinguidos três setores ao longo de um estuário: baixo, médio e alto. No baixo estuário predominam processos marinhos; no médio estuário ocorrem os processos de mistura entre águas doce e marinha; e no alto estuário há somente água doce, porém sujeita aos efeitos da maré. Schettini (2002) definiu o baixo estuário do rio Itajaí-Açú o trecho entre a desembocadura até a desembocadura do rio Itajaí-Mirim, pois nesta região predominam águas marinhas a maior parte do tempo, ainda que com acentuada estratificação vertical da salinidade, correntes e concentração de material particulado em suspensão.

Schettini *et al.* (2006) estudaram o regime hidrodinâmico no baixo estuário, através de uma campanha abrangendo dois ciclos completos de maré (25 horas), em condição de maré de sizígia e baixa vazão fluvial, obtendo perfis verticais residuais de correntes, salinidade e concentração de material particulado em suspensão (Fig. 9). O perfil vertical residual de velocidade de corrente apresenta velocidades da ordem de $0,4 \text{ m.s}^{-1}$ para jusante na superfície, e de $0,15 \text{ m.s}^{-1}$ para montante próximo do fundo. A salinidade apresenta uma variação de 25 unidades, variando de 8 para 33 da superfície para o fundo. A concentração de material particulado em suspensão apresenta na maior parte da coluna de água valores da ordem de 10 mg.l^{-1} , aumentando em sete vezes próximo do fundo.

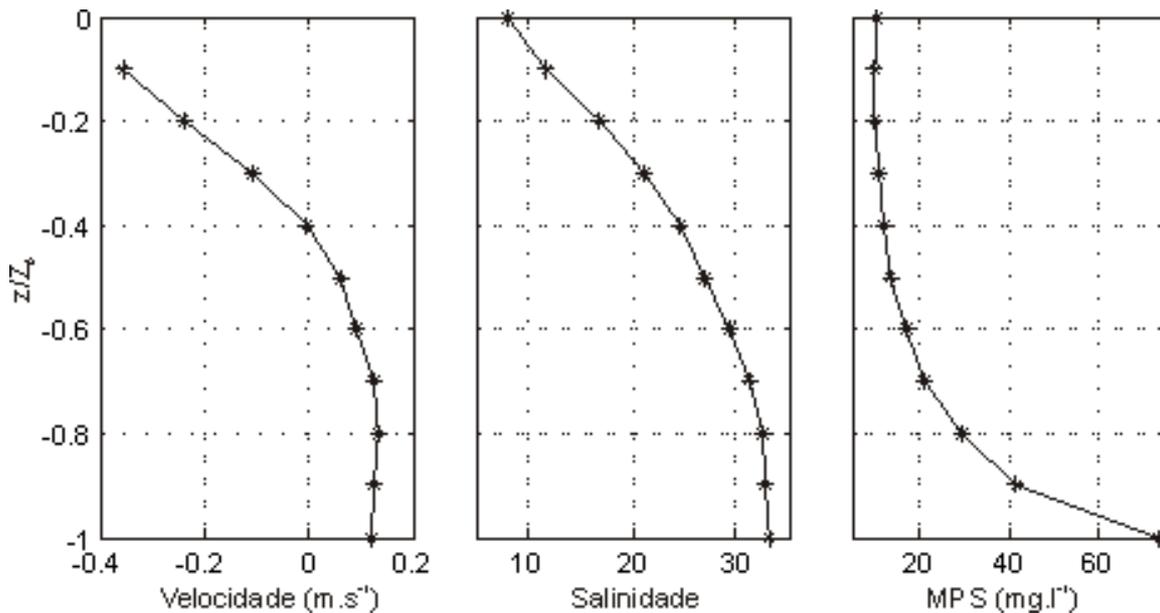


Figura 9. Perfis verticais de velocidade de corrente (positivo para montante, negativo para jusante), salinidade e concentração de material particulado em suspensão residuais para dois ciclos completos de maré no baixo estuário do rio Itajaí-Açú.

As implicações deste regime de circulação estuarino no estuário do rio Itajaí-Açú é que em condições de baixa descarga a maior parte, senão todo, material proveniente da drenagem continental é retido na bacia estuarina. Adicionalmente, as correntes de fundo contribuem para trazer material da plataforma adjacente para o interior do estuário. Isto é particularmente evidenciado para o balanço de sedimentos (Schettini, 2001). Durante períodos de alta vazão o material particulado em suspensão é expulso do estuário. Porém estes períodos são de curta duração e episódicos. Na maior parte do tempo ocorre a importação de sedimentos finos da plataforma adjacente. Sedimentos estes que foram previamente exportados e que retornam em função do regime de correntes.

- Classificação dinâmica do estuário

Existem diversas classificações aplicáveis para estuários. Em termos dinâmicos, a primeira classificação da estrutura dinâmica de um estuário foi proposta por Pritchard (1955), que distingue um estuário em termos de grau de mistura entre a água doce e salgada. São distintos três tipos predominantes de estuários, sendo (i) altamente estratificado, (ii) parcialmente estratificado ou parcialmente misturado, e (iii) verticalmente homogêneo ou bem misturado. Os

estuários bem misturados apresentam uma subdivisão que seriam estuários que apresentam heterogeneidade lateral. Os estuários altamente estratificados algumas vezes também são denominados de cunha salina quando o grau de estratificação da coluna de água é bastante acentuado. Dentro desta tipologia, o estuário do rio Itajaí-Açú é classificado como altamente estratificado, podendo também ser denominado de cunha salina durante os períodos de maré de quadratura. Nestes períodos há menos dissipação de energia durante a propagação da onda de maré, o que leva a um maior fluxo de empuxo da água doce gerando um sistema onde ficam claramente distinguidas duas camadas. Uma camada superior dominada pela água fluvial, e uma camada inferior com águas costeiras advectadas para o interior da bacia estuarina. A Figura 9 exemplifica bem a distribuição do estuário onde se observa este fenômeno.

Uma classificação dinâmica menos subjetiva do que a sugerida por Pritchard (1955) foi proposta por Hansens & Rattray (1966), baseada em parâmetros adimensionais de estratificação e circulação. Um estuário pode ser classificado de acordo com a classificação da Pritchard (1955) baseando-se em uma campanha de levantamento da distribuição longitudinal e vertical da salinidade, e caracteriza o estuário como um todo. Por outro lado, a classificação de Hansen & Rattray (1966) requer uma campanha hidrográfica onde dados de correntes e salinidade são obtidos na coluna de água durante um ou mais ciclos completos de maré. Assim, esta classificação é dependente do local onde foram realizados os levantamentos.

O parâmetro de circulação é obtido através da razão entre a velocidade residual superficial e a velocidade de descarga fluvial. Esta última é obtida pela razão da vazão fluvial pela área da seção transversal experimental, ou alternativamente pela média de todos os valores de dados de correntes da coluna de água durante a campanha (Miranda *et al.* 2002). O parâmetro de estratificação é obtido pela razão da diferença da salinidade de fundo e a salinidade de superfície pela salinidade média da coluna de água. Estes parâmetros médios de uma ou mais ciclos de maré. A classificação baseia-se em um diagrama cartesiano onde a abscissa é o parâmetro de circulação, e a ordenada o parâmetro de estratificação. O diagrama (Fig. 10) é subdividido em quatro áreas em função de uma família de curvas paramétricas de um

parâmetro que fornece a razão entre o transporte de sal advectivo e difusivo. Há ainda uma subdivisão em função da ordenada onde o parâmetro de estratificação é 0,1. Esta divisão é arbitrária, sendo que acima desta linha estão os sistemas mais estratificados, e abaixo os sistemas mais misturados. A área indica por 1a representa estuários verticalmente homogêneos; 1b representa sistemas altamente estratificados; 2a e b representam sistemas parcialmente estratificados menos e mais estratificados, respectivamente; 3a e b representam sistemas tipo fjörds menos e mais estratificados, respectivamente; e 4 representam sistemas do tipo cunha salina. Esta classificação, embora bastante simples, já foi testada e comparada com outros parâmetros de caracterização de escoamento estuarino, sendo amplamente aceita (Miranda *et al.* 2002).

A partir de diferentes levantamentos hidrográficos realizados no estuário do rio Itajaí-Açú, o estuário foi consistentemente classificado como transicional entre os tipos altamente estratificados e cunha salina. Schettini *et al.* (1996), utilizaram primeiramente a classificação de Hansen & Rattray (1966) para o estuário baseando-se em três campanhas hidrográficas acompanhando as variáveis físicas durante dois ciclos completos de maré, durante 25 horas. Dados de velocidade e direção de correntes e salinidade na coluna de água foram coletados em intervalos de uma hora em duas estações sinóticas, sendo uma próxima da desembocadura do estuário, e outra localizada cerca de doze quilômetros para montante. Duas destas campanhas foram realizadas em condições de sizígia, 3 e 4 de novembro de 1994 e 13 e 14 de junho de 1995, e uma em condição de quadratura, 6 e 7 de junho de 1995 (Schettini & Carvalho, 1998). Couceiro & Schettini (em preparação), em um estudo comparativo entre as condições hidrodinâmicas entre os estuários do rio Itajaí-Açú e Itajaí-Mirim realizaram duas campanhas hidrográficas em semanas consecutivas, em 26 de agosto e 2 de setembro de 2003. A primeira campanha em maré de sizígia e a segunda em maré de quadratura, e ambas abrangendo um ciclo completo de maré, ou 13 horas.

A classificação do estuário do rio Itajaí-Açú baseando em todas as campanhas hidrográficas é apresentado na figura 10. É observado que na maior parte das condições o estuário está situado na área 4, indicando um regime dinâmico de cunha salina, porém também são observadas duas

situações onde está situado na área 1b, indicando regime altamente estratificado, e uma única ocorrência na área 1a que indica regime verticalmente homogêneo. Com exceção desta última observação, há uma concordância das demais, uma vez que a condição de cunha salina pode ser considerada uma variante da condição altamente estratificada (Pritchard, 1955). Contudo, a quebra da estratificação se dá pela dissipação turbulenta da energia da maré. No caso do estuário do rio Itajaí-Açú isto é incomum, pois o sistema é dominado pela descarga fluvial, o que produz um intenso fluxo de empuxo induzindo a um regime altamente estratificado. Porém, a exceção observada é explicada pelo fato de que esta campanha foi realizada após um período prolongado de estiagem, quando foram observadas as menores vazões do rio por um período prolongado de tempo. Assim, a diminuição do fluxo de empuxo induzido pela descarga fluvial favoreceu os efeitos turbulentos gerados pela propagação da onda de maré produzindo uma condição menos estratificada. Entretanto, esta situação não é a prevalecente neste estuário, o qual pode ser classificado como altamente estratificado e cunha salina.

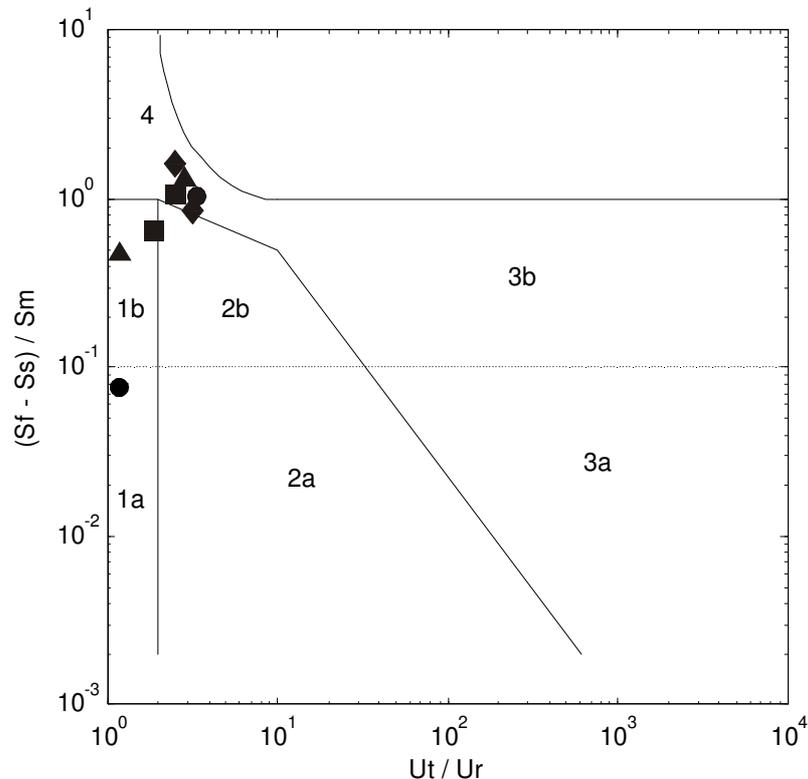


Figura 10. Diagrama de classificação de Hansen & Rattray (1966), com as indicações da condição estuarina do rio Itajaí-Açú em diferentes campanhas. Romboedros: sizígia em novembro de 1994; triângulos: sizígia em junho de 1995; quadrados: quadratura em junho de 1995; círculos: sizígia e quadratura em agosto e setembro de 2003.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cameron, W.M. & Pritchard, D.W. 1963. Estuaries. *In*: Hill, M.N. (Ed.) *The sea*. New York, Wiley Interscience, p. 306-332.
- Carvalho, J. L. B. 1996. As dragagens no porto de Itajaí: aspectos econômicos. *Dynamis*, 4(17):76-87.
- Couceiro, M.A.A. & Schettini (em preparação) Estudo comparativo da hidrodinâmica dos estuários do rio Itajaí-Açú e Itajaí-Mirim.
- Dionne, J. C. 1963. Towards a more adequate definition of the St. Lawrence estuary. *Zeitschr. F. Geomorph.*, 7(1):36-44.
- Dyer, K.R. 1997. *Estuaries: a physical introduction*. 2nd Ed. New York, John Wiley & Sons, 195p.
- Fairbridge, R.W. 1980. The estuary: its definition and geodynamic cycle. *In*: OLAUSSON, E. & KATO, I. (Eds). *Chemistry and biogeochemistry of estuaries*. New York, John Wiley & Sons, pp. 1-35.
- Franco, A.S. 1981. *Tides: fundamentals, analysis and prediction*. São Paulo, IPT, 232p.
- Gan, M. A. 1992. Influence of southern oscillation (El Niño) on atmospheric circulation and precipitation over Brazil. *In*: Lacerda, L. D.; Turcq, B.; Knoppers, B.; Kjerfve, B. (Eds.) *Paleoclimatic Changes and the Carbon Cycle*. Rio de Janeiro, Soc. Brasileira de Geoquímica, p.13-20.
- GAPLAN – Gabinete de Planejamento de Santa Catarina 1986. *Atlas de Santa Catarina*. Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro, 173 p.
- Hansen, D.V. & Rattray Jr., M. 1966. New dimensions on estuarine classification. *Limnol. Oceanogr.*, 11(3):319-325.
- Martin, L.; Flexor, J. M. & Suguio, K. 1992. Records of blockage of polar advections and atmospheric circulation over south america, during the last 5,000 years. *In*: Lacerda, L. D.; Turcq, B.; Knoppers, B.; Kjerfve, B. (Eds.) *Paleoclimatic Changes and the Carbon Cycle*. Rio de Janeiro, Soc. Brasileira de Geoquímica, p.21-24.
- Miranda, L.B.; Castro FO., B.M.; Kjerfve, B. 2002. *Princípios de oceanografia física de estuários*. São Paulo, Edusp, 411p.
- Pritchard, D.W. 1955. Estuarine circulation patterns. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.*, 81:717:1-11.
- Pugh, D.T. 1987. *Tides, surges and mean sea level*. New York, John Wiley and Sons, 472 p.
- Schettini, C.A.F. 2001. Dinâmica de sedimentos finos no estuário do rio Itajaí-Açú. Porto Alegre, Tese de Doutorado, CECO-UFRGS, 90p.
- Schettini, C.A.F. 2002. Caracterização Física do Estuário do rio Itajaí-Açú. *Rev. Bras. Rec. Hidric.* 7(1):123-142.
- Schettini, C.A.F. & Carvalho, J.L.B. 1998. Suspended sediment balance in the estuary of Itajaí-Açú river during a low discharge period. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 70:325-334.
- Schettini, C.A.F. & Carvalho, J.L.B. 1998. Hidrodinâmica e distribuição de sólidos em suspensão no estuário do rio Itajaí-Açú. *Notas Técnicas da Facimar*, 2:131-140.
- Schettini, C.A.F.; Carvalho, J.L.B. & Jabor, P. 1996. *Comparative hydrology and suspended matter distribution of four estuaries in Santa Catarina State – Southern Brazil*. Workshop on Comparative Studies of Temperate Coast Estuaries, Bahia Blanca, Proceedings, IADO, p.29-32.
- Schettini, C.A.F.; Kuroshima, K.N.; Pereira Fo, J.; Rörig, L.R. & Resgalla Jr., 1998. Oceanographic and ecological aspects of the Itajaí-Açú river plume during a high discharge period. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 70:325-334.
- Schettini, C.A.F.; Ricklefs, K.; Truccolo, E.C.; Golbig, V. 2006. Synoptic hydrography of an highly stratified estuary. *Ocean Dynamics*.
- Vargas, B. M. 1983. Evolução histórico-morfológica do estuário do rio Itajaí-Açú e sua implicação no porto de Itajaí, SC. Rio de Janeiro, INPH, Relatório 139/83, 138 p.