

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**CARACTERIZAÇÃO SAZONAL DA HIDRODINÂMICA E  
DO TRANSPORTE DE MATERIAL PARTICULADO EM  
SUSPENSÃO EM UM ESTUÁRIO DOMINADO POR  
MARÉ: ESTUÁRIO DE CARAVELAS (BA)**

**MARÇAL DUARTE PEREIRA**

ORIENTADOR – Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Mauricio Almeida Noernberg (Universidade de São Paulo – USP)

Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Junior (PPGGEO/IG/UFRGS)

Prof. Dr. Nils Edwin Asp Neto (Universidade Federal do Pará – UFPa)

Dissertação de Mestrado apresentada  
como requisito parcial para a obtenção  
do Título de Mestre em Geociências.

Porto Alegre – 2009

Pereira, Marçal Duarte

Caracterização sazonal da hidrodinâmica e do transporte de material particulado em suspensão em um estuário dominado por maré: estuário de caravelas (BA). / Marçal Duarte Pereira. - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2009.

[44 f.] il.

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2009.

Orientação: Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini.

1. Estuário. 2. Sedimento em suspensão. 3. Correntes de maré.  
I. Título.

---

**Catálogo na Publicação**

Biblioteca Geociências - UFRGS

Miriam Alves CRB 10/1947

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço imensamente a minha família por todo o apoio e confiança, sempre ao meu lado. Obrigado pai, mãe, Leco e Mariana.

A minha grande amiga Dani, que foi quem esteve efetivamente ao meu lado durante esta etapa da minha vida tornando o dia-a-dia especial.

Ao meu orientador Guto, com seu próprio estilo de orientação, que efetivamente funciona. Prova disso é o presente trabalho e todos os demais (campanhas estuarinas, resumos, artigos...). É uma grande satisfação trabalhar com um especialista no assunto. Seria ótimo dar seguimento e desenvolver o doutorado sobre sua orientação.

Aos colegas de trabalho do Laboratório de Oceanografia Física (LOF). Muito obrigado pelo apoio, resolução de dúvidas, conversas e risadas. Em especial à Carlinha, ao Lourival e a colega de mestrado Mariana, sempre prontos para esclarecer dúvidas (não foram poucas... Matlab... Matlab!!!). Por falar em Matlab, valeu Piero pelas conversas sobre o assunto.

Agência Nacional da Águas (ANA), na pessoa de Andreлина, pelo fornecimento dos dados de vazão.

A todos os colegas e amigos que participaram das campanhas estuarinas em Caravelas: Guto, Eduardo, Prof. Miranda, Camila, Piero, Cássia, Leo, Franci, Japa, Marta, Wilson, todos os tripulantes dos barcos do Tião. Como esquecer o fato de termos de passar a noite em pleno manguezal (Japa, Fernando e eu), aguardando a maré esvaziar para conseguirmos voltar remando (sem remo, lanterna ou forma de comunicação)? Um pequeno “probleminha” com o nosso moderno barco utilizado na batimetria. Jamais vou esquecer o tal respiro do tanque de combustível.

Aos amigos da SOMAR em especial ao colega Dermeval, por todo o apoio para a conclusão deste trabalho. Ajustes de horários e postergando viagens.

Muito obrigado a toda a família do meu cunhado Marcos por fornecer uma ótima estadia em Porto Alegre, acho que foi possível assistir a todas as temporadas dos Simpsons.

Aos grandes amigos de infância, hoje morando, estudando ou trabalhando em Porto Alegre. A nossa parceria é para sempre

Ao CNPq pela bolsa de mestrado e pelo financiamento do Projeto Pró-Abrolhos (Instituto do Milênio – CNPq).

Enfim a todos que contribuíram direta ou indiretamente para este trabalho e, que por um lapso de memória, não foram lembrados, OBRIGADO!!

## RESUMO

O objetivo do presente estudo é caracterizar a hidrodinâmica e o transporte de material particulado em suspensão (MPS) no estuário de Caravelas sob diferentes condições de maré e vazão fluvial. Foram realizadas quatro campanhas hidrográficas durante ciclos completos de maré, sendo em condições de maré de sizígia e quadratura, e durante os períodos seco e chuvoso. Dados de nível de água, velocidade e direção de correntes, salinidade, temperatura e turbidez foram obtidos em uma estação fixa próxima da desembocadura do estuário. A partir destes dados foram obtidos os transportes residuais de MPS e calculado os mecanismos de transporte. As maiores concentrações médias de material particulado em suspensão ocorreram em condições de sizígia. Em condições de maré de quadratura o transporte resultante de MPS foi com sentido estuário acima, porém de pequena intensidade. Em condições de sizígia o estuário é caracterizado por correntes mais intensas e assimétricas, com dominância de vazante. Durante a condição de sizígia o estuário pode atuar como importador ou exportador de MPS. O estuário do rio Caravelas foi classificado como bem misturado e fracamente estratificado. A hidrografia e o balanço sedimentar são principalmente modulados pela altura da maré e o aporte de água doce é irrelevante.

**Palavras-chave:** estuário, sedimento em suspensão, correntes de maré.

**ABSTRACT**

The objective of the present study is to characterize the hydrodynamics and the suspended particulate matter (SPM) in the Caravelas Estuary under different tidal and river regimes. Four hydrographic campaigns were carried out comprising a complete semi-diurnal tidal cycle, comprising neap and spring tidal phases, and during dry and wet seasons. Water level, current speed and direction, salinity, temperature and turbidity were recorded in an anchored station near to the estuarine mouth. The residual SPM flux and the mechanisms of transport were calculated. The higher SPM concentrations were recorded during the spring tidal phase. During neap tides, the net SPM flux was up-estuary, although with low scale. During spring tides the tidal currents are strongly ebb dominant, and the net flux can be either up- or down-estuary. The estuary was classified as well mixed or weakly stratified. The hydrography and the sediment balance are firstly modulated by the tidal range, and the fresh water inflow is negligible.

**Keywords:** estuary, suspended sediments transport, tidal currents.

**SUMÁRIO**

Catologação na Publicação .....	1
AGRADECIMENTOS .....	2
RESUMO .....	3
Palavras-chave: estuário, sedimento em suspensão, correntes de maré. ....	3
ABSTRACT .....	4
SUMÁRIO.....	5
ÁREA DE ESTUDO .....	8
MATERIAL E MÉTODOS.....	12
Campanhas amostrais .....	12
Conversão do REO e REA em MPS .....	13
Tratamento dos dados.....	16
RESULTADOS .....	20
Classificação dos sistemas.....	29
Transporte advectivo de sal e MPS .....	30
DISCUSSÃO E SUMÁRIO.....	33
CONCLUSÕES .....	37
BIBLIOGRAFIA.....	38
ANEXO 1: Carta de submissão do artigo para Revista Brasileira de Geofísica (RBGF) .....	42

## INTRODUÇÃO

O Brasil é uma sociedade com alto nível de urbanização, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) no ano de 2005 o Brasil tinha uma taxa de urbanização de 84,2% e, segundo projeções até 2050 esta porcentagem deve ser superior a 90%. A população concentra-se principalmente nas zonas costeiras, pois seis em cada dez pessoas vivem dentro de um raio de 60 km da orla litorânea e dois terços das cidades do mundo, com população de 2,5 milhões de pessoas ou mais, localizam-se próximas dos estuários (Agenda 21, 1992). Os estuários são ambientes transicionais entre o continente e o oceano sendo encontrados em todas as regiões litorâneas do globo, sob diferentes climas e regimes de marés (Fairbridge, 1980).

Estuários podem ser definidos de diversas maneiras, baseando-se nas variáveis que estão sendo analisadas. Perillo(1995), lista mais de quarenta diferentes definições, desde as encontradas em dicionários e enciclopédias até as definições físicas, geológicas, químicas, biológicas e ecológicas. Em termos hidrodinâmicos, Pritchard (1955) e Cameron & Prichard (1963), definiram um estuário como sendo um corpo de água costeiro semi-fechado com uma conexão livre com o mar aberto, dentro do qual a água do mar é mensuravelmente diluída com a água doce proveniente da drenagem continental.

Os ambientes estuarinos são considerados de extrema importância na produtividade primária, devido às altas concentrações de nutrientes, além de constituírem o habitat natural de aves, mamíferos e peixes, sendo ambientes de desova de muitas espécies de peixes de valor comercial e rota de aves migratórias. Devido à crescente expansão populacional das cidades litorâneas, estes ambientes também apresentam uma importância econômica significativa, pois são utilizados como vias de acesso para o interior do continente, para as atividades portuárias, instalação de indústria pesqueira, extração de areia, dentre outros. A ocupação desordenada, a utilização do estuário como corpo receptor de efluentes naturais, industriais e de substâncias patogênicas e a falta de gerenciamento colocam em risco o desenvolvimento sustentável desses ambientes (Moraes, 2007).

A região costeira do estado da Bahia, dentro da problemática ambiental, merece atenção especial, pois dentro dos 7.408 km de extensão da costa brasileira, esta perfaz aproximadamente 1.120 km, onde ocorrem recifes de corais ao longo de 900 km de extensão (Leão, 1996). O extremo sul da Bahia é uma área de grande potencial turístico,

a qual vem sendo alvo de especulação imobiliária, projetos industriais (fábrica de celulose), atividades agropecuárias, exploração de combustíveis fósseis, entre outros (Andrade e Dominguez, 2002). Nesta região estão presentes ecossistemas extremamente frágeis e importantes como manguezais, brejos e restingas. Na faixa marinha adjacente, está localizado o complexo recifal dos Abrolhos, o maior do Oceano Atlântico Sul Ocidental e com a maior diversidade de corais recifais do Brasil (Laborel, 1970; Castro, 1994; Leão, 1996). Os recifes conhecidos localizam-se aproximadamente entre 5 e 70 km da linha de costa e o maior recife próximo à costa com mais de 250 km<sup>2</sup> de área é denominado Parcel das Paredes (Leão, 1996).

O aporte de sedimento nas águas costeiras é um dos fatores que mais afetam a distribuição dos recifes de coral, a estrutura das comunidades recifais e o crescimento e o recrutamento dos corais (Maida e Ferreira, 1997). O aumento desta carga de sedimento pode resultar de processos naturais e/ou antrópicos. Os processos naturais incluem a descarga fluvial, a descarga de sedimento terrígeno após períodos de chuvas intensas, a erosão da linha de costa e a ressuspensão do sedimento de fundo durante tempestades (Loya, 1976; Rogers, 1990). Entre os fatores antrópicos destacam-se os efeitos da dragagem e da ocupação humana na região costeira (Dodge & Vaisnys, 1977; Hodgson & Dickson, 2000; van Katwijk et al., 1993).

Leão (1996) comentou que os agentes antropogênicos mais comuns que afetam os recifes da Bahia estão relacionados ao desenvolvimento da zona costeira, turismo, pesca predatória, instalação de projetos industriais e exploração de petróleo. A autora indicou que os recifes localizados mais próximos à costa encontram-se sob estresse, devido ao aumento do aporte sedimentar causado pelo desmatamento realizado com fins industriais e de agricultura. Coutinho *et al.* (1993) também sugeriram o aumento da taxa de sedimentação como responsável pela alta densidade de macroalgas encontrada nos recifes mais próximos à costa. O aumento do aporte sedimentar foi sugerido como uma tendência a nível nacional por Maida e Ferreira (1997). Porém não há registros conclusivos da interferência do aporte sedimentar costeiro nos recifes da área de Abrolhos. Estudos preliminares indicam uma interação relativamente pequena entre a região costeira adjacente e os recifes (Lopez e Dutz, 1996; Marone e Camargo, 1996). Segundo Leão e Ginsburg (1997) os sedimentos encontrados na região são originários de grandes rios, como o Jequitinhonha, localizados cerca de 200 km ao norte.

Os principais rios que desembocam na região costeira adjacente ao complexo recifal de Abrolhos são os rios Alcobaça e Peruípe, além do rio Caravelas, que apesar de

apresentar uma pequena bacia de drenagem corresponde ao segundo maior sistema estuarino da região Nordeste do Brasil, com 66 km<sup>2</sup> de área (Herz, 1991). Além da importância ecológica o estuário do rio Caravelas é o principal ponto de partida para o turismo de visitação ao Parque Nacional Marinho dos Abrolhos além de ser utilizado como via de acesso ao terminal de barcaças da Aracruz Celulose.

A influência do aporte sedimentar do estuário do rio Caravelas na região costeira e nos ecossistemas coralíneos é desconhecida. A primeira caracterização do estuário em termos hidrodinâmicos e transporte de material particulado em suspensão foi realizada em um recente estudo por Schettini & Miranda (submetido). Os autores classificaram o estuário como bem misturado com o transporte de material particulado em suspensão modulado pela maré e processos costeiros, onde o aporte continental de água doce exerceria um papel irrelevante. Porém estes resultados foram obtidos a partir de uma única campanha durante um ciclo de maré de sizígia, apenas com estes resultados não foi possível caracterizar o comportamento sazonal do estuário em condições de maré e descarga continental distintas. O objetivo do presente estudo é justamente caracterizar a hidrodinâmica e o transporte de material particulado em suspensão no estuário sob diferentes condições de maré e vazão fluvial. Este tipo de avaliação se torna fundamental para compreender o papel desempenhado pelo estuário como exportador e/ou importador de propriedades ou de substâncias como salinidade e material particulado em suspensão. Este trabalho é parte integrante do Projeto Pró-Abrolhos (CNPq – Instituto do Milênio: Produtividade, Sustentabilidade e Utilização do Ecossistema do Banco de Abrolhos).

## **ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo localiza-se no extremo sul do estado da Bahia, entre as cidades de Alcobaça (17°31'S; 39°11'W) e Nova Viçosa (17°52'S; 39°23'W), no estuário do rio Caravelas (17°43'S; 39°15'W) (Figura 1).

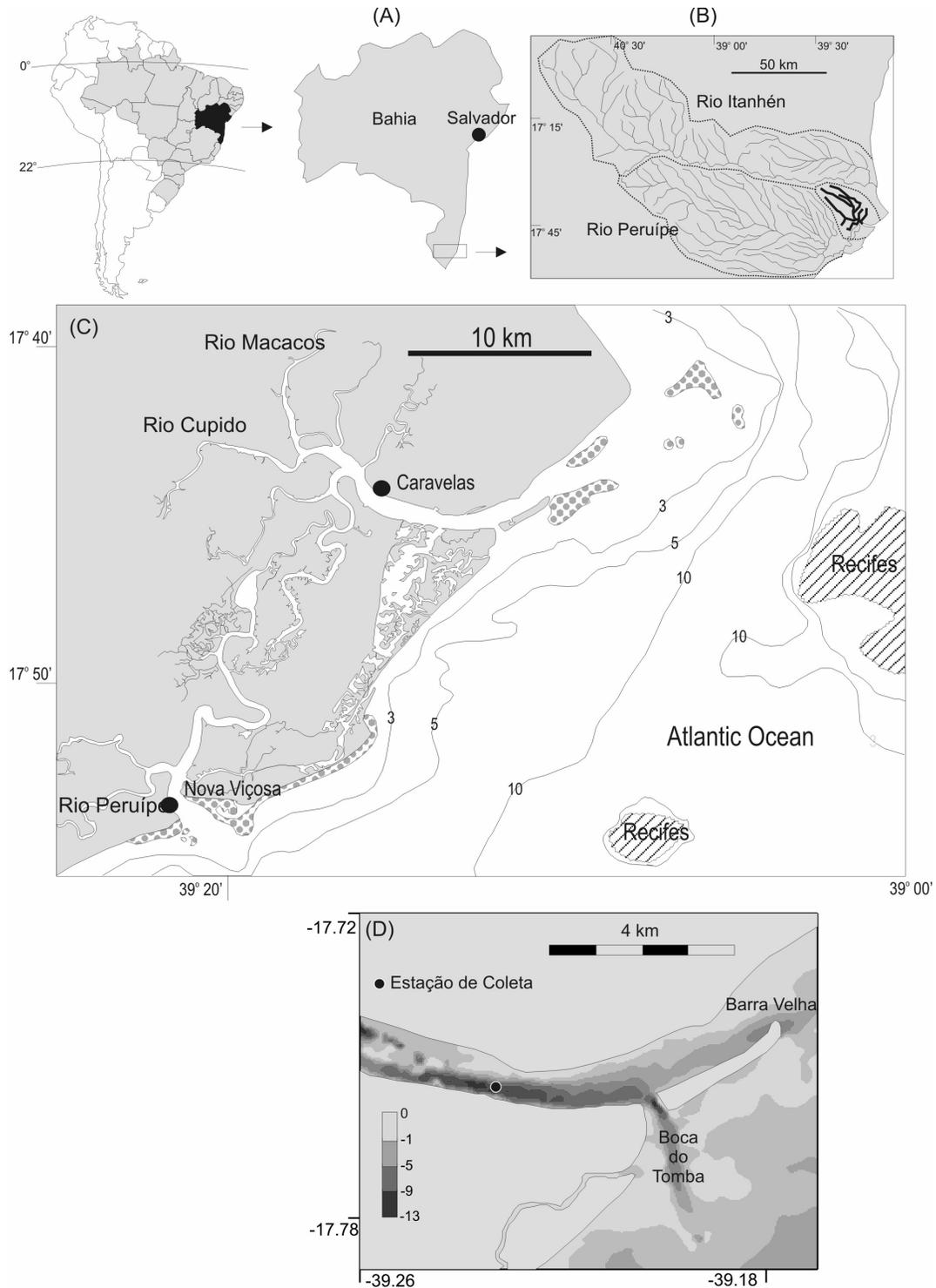


Figura 1: Localização da área de estudo.

O estuário do rio Caravelas, com cerca de 66 km<sup>2</sup> de área, corresponde ao segundo maior estuário da região Nordeste do Brasil e abriga um importante ecossistema de manguezal (Herz, 1991). O estuário possui conexão com a

desembocadura do rio Peruípe, através de pequenos canais meandantes, localizada a aproximadamente 27 km ao sul. Estes canais ocorrem em torno da Ilha da Cassumba, com cerca de 120km<sup>2</sup> de área. A desembocadura do rio Caravelas é formada pelas regiões denominadas de Barra Velha e Canal do Tomba (Figura 1).

A região costeira é caracterizada por aportes fluviais de pequeno porte quando comparada com os grandes rios Doce e São Francisco localizados ao sul e ao norte da região respectivamente. Os cinco rios que desembocam nas proximidades da área de estudo (Burunhém, Jucuruçú, Alcobaça/Itanhém, Peruípe e Caravelas) combinados apresentam uma descarga média anual em torno de 120 m<sup>3</sup>/s (DNAEE, 1987 apud Teixeira, 2006). Localizado a cerca de 60 km ao sul da área de estudo encontra-se outro importante contribuinte de água doce, o rio Mucuri, com descarga média de aproximadamente 100 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (ANA).

Os rios Alcobaça e Caravelas possuem suas nascentes no estado da Bahia, e o rio Peruípe no estado de Minas Gerais. A foz destes rios está localizada respectivamente nos municípios de Alcobaça, Caravelas e Nova Viçosa. A área de drenagem do rio Alcobaça é de 5.215 km<sup>2</sup> e a do rio Peruípe é de 4.600 km<sup>2</sup>, já a do rio Caravelas é comparativamente inferior, com apenas 597 km<sup>2</sup>.

A região apresenta temperatura média máxima em torno de 25,5 °C, entre os meses de janeiro e fevereiro, enquanto que a média mínima é 21,5 °C, nos meses de junho a agosto (SRHSH, 1997). A precipitação média anual encontra-se em torno de 1.400 mm/ano. O trimestre mais chuvoso ocorre entre dezembro e fevereiro, e o período de seca acontece entre agosto e setembro (SRHSH, 1997). As médias históricas de vazão para estes períodos, nos rios Alcobaça e Peruípe, são apresentadas na Tabela 1. Na Figura 2 a marcante sazonalidade hidrológica também pode ser observada. Não há registros hidrológicos para o rio Caravelas, porém por estar localizado entre os rios Alcobaça e Peruípe pode-se assumir comportamento hidrológico sazonal semelhante.

Tabela 1: Dados históricos de vazão (mínima, máxima e média) dos rios Alcobaça e Peruípe. Fonte: Hidroweb (ANA).

Rio	Período	Vazão (m <sup>3</sup> /s)		
		Máxima	Mínima	Média
Alcobaça	Agosto-Setembro	31,6	16,2	21,3
Alcobaça	Dezembro-Fevereiro	107,7	21,8	49,3

Peruípe	Agosto-Setembro	19,2	12,1	14,6
Peruípe	Dezembro-Fevereiro	37,1	15,6	24,0

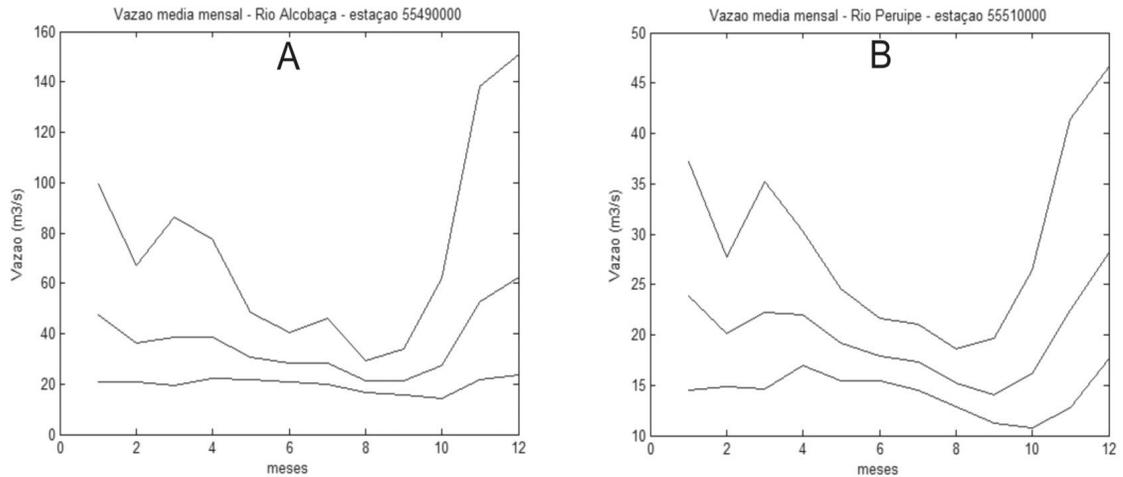


Figura 2: Vazão mensal (média, mínima e máxima): (a) rio Alcobaça; (b) rio Perúipe.

Fonte: Hidroweb (ANA).

A plataforma continental na região é denominada de Plataforma Continental Leste Brasileira (PCLB), possui uma largura média de 50 km chegando a atingir 200 km em frente a Caravelas no Banco de Abrolhos. É uma plataforma continental com batimetria complexa, devido à presença de uma série de recifes de corais, ilhas vulcânicas e canais profundos. O complexo recifal de Abrolhos possui área aproximada de 6000 km<sup>2</sup> que corresponde ao maior e mais rico sistema de recife de coral do Atlântico Sul (Leão e Ginsburg, 1997). Nessa região da plataforma continental as duas feições topográficas que se destacam são os canais Sueste e de Abrolhos, ambos atravessam o Banco com orientação NE-SW com aproximadamente 20 km de largura e 50 km de comprimento.

Segundo Leipe *et al.* (1999) e Summerhayes *et al.* (1976) a circulação sobre a plataforma continental e zona costeira é principalmente influenciada pela massa de água tropical (AT) associada à Corrente do Brasil e suas oscilações que resultam em vórtices e meandros. Os trabalhos de Lessa e Cirano (2006) e Teixeira (2006) sugerem que o vento de larga escala e fluxos sub-inerciais são os mecanismos de maior importância

para a circulação, já a modulação da maré exerceria um papel secundário. Os autores classificaram o regime de maré como mesomaré e semi-diurno ( $Nf = (K_1 + O_1)/(M_2 + S_2) = 0,12$ ) de acordo com as características de altura e período respectivamente. Outro fato ressaltado nos trabalhos é que os maiores valores de amplitude de maré para toda a costa leste brasileira ocorrem nesta região (Lessa e Cirano, 2006).

Apesar da importância tanto ecológica como econômica do estuário do rio Caravelas, a influência deste aporte fluvial no ecossistema costeiro e coralíneo é desconhecida. Há um programa de monitoramento das características hidrodinâmicas realizado pela empresa de consultoria CEPEMAR iniciado em 2001, tanto no estuário como na plataforma continental interna. Sazonalmente são realizadas amostragens no estuário e dados de ondas, marés e velocidade de correntes continuam sendo obtidos na plataforma continental interna por dois fundeios em profundidades de 8 e 10 metros (Teixeira, 2006). Porém estes dados não são amplamente divulgados em periódicos científicos. Um recente estudo (Schettini & Miranda, submetido) corresponde à primeira caracterização em termos hidrodinâmicos e transporte de material particulado em suspensão do estuário do rio Caravelas. Os autores coletaram dados de corrente, salinidade, maré e material particulado em suspensão MPS em duas seções transversais próximas da desembocadura do estuário durante um ciclo de maré de sizígia, além de dois perfis longitudinais de salinidade e temperatura perfazendo distâncias de 16 km e 26 km estuário acima, durante a baixa-mar e a preamar respectivamente. O estuário foi classificado como bem misturado controlado principalmente por correntes de maré, com dominância das correntes de vazante. O transporte de MPS também apresentou comportamento modulado pela maré e por processos costeiros, com o aporte continental de água doce exercendo papel irrelevante.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Campanhas amostrais**

Com o intuito de realizar uma caracterização sazonal do estuário, foram realizadas duas campanhas hidrográficas durante ciclos completos de maré em

condições de maré de sizígia e quadratura durante o período de menor precipitação na região (seco) e duas campanhas durante o período de maior precipitação (chuvoso). As campanhas de quadratura e sizígia do período seco foram realizadas nos dias 22/08/07 e 28/08/07 respectivamente, as campanhas de quadratura e sizígia do período chuvoso foram nos dias 16/01/08 e 21/01/08 respectivamente.

Nas quatro campanhas foi adotada a mesma estação fixa (17°45'14''S; 39°13'52''W) localizada próxima à desembocadura do estuário, no talvegue do canal com profundidade da ordem de 11 m (Figura 1). Foram obtidos dados de nível de água, velocidade e direção de correntes, salinidade, temperatura e turbidez em intervalos de 30 minutos durante um ciclo semi-diurno de maré (13 horas), com resolução vertical de 0,5 m na coluna de água. Os dados de velocidade e direção de correntes foram obtidos por um Perfilador Acústico de Correntes por efeito Doppler (PACD) da marca Sontec que foi configurado para realizar células de 0,5 metros. A velocidade e direção de cada perfil correspondem a média obtida durante o tempo de operação que foi de cinco minutos. Informações sobre o nível da água foram obtidas por um marégrafo de pressão da marca RBR modelo XR-420-TG fundeado próximo da estação (17°45'06,9''S; 039°14'42,3''W- Figura 1).

Nas campanhas do período seco a salinidade e a temperatura foram obtidas por um CTD (acrônimo do inglês Conductivity, Temperature, Depth) modelo SD 204 da marca SAIV/AS<sub>TM</sub>, com turbidímetro de retroespalhamento ótico SeaPoint acoplado. Porém os dados obtidos pelo turbidímetro não foram utilizados, posteriormente foi verificado que os mesmos não apresentavam relação consistente com a concentração de material particulado em suspensão. Nas campanhas do período chuvoso a salinidade e a temperatura foram obtidas por um CTD da marca ALEC com turbidímetro de retroespalhamento ótico.

### **Conversão do REO e REA em MPS**

Uma curva de calibração foi gerada para converter os dados de Retro Espalhamento Ótico (REO) obtidos pelo turbidímetro, em NTU, nas duas campanhas do período chuvoso em MPS (mg.l<sup>-1</sup>). Esta curva de calibração foi gerada a partir de uma amostra concentrada de material particulado em suspensão obtida in situ. Para obtenção da amostra foi utilizado um recipiente de 200 litros que foi cheio com água coletada no

local, após 3 h a água foi sifonada e o material que decantou foi armazenado, formando uma amostra concentrada e representativa do material particulado em suspensão do local. Em uma câmara de calibração com água marinha e agitação constante proporcionada por bombas submersas para manter a turbulência, a amostra foi gradualmente adicionada. A cada adição da amostra concentrada foram efetuadas medidas de turbidez (REO) com o mesmo turbidímetro utilizado durante a campanha e retirada uma amostra de água. Posteriormente as amostras de água foram filtradas em filtros de peso inicial conhecidos, armazenados em estufa para a secagem e pesados em balança de precisão analítica. A concentração de MPS foi obtida pela relação da massa total retida em um filtro pelo volume filtrado através do mesmo. A relação entre o Retro Espalhamento Ótico (REO) obtido pelo turbidímetro e o material particulado em suspensão (MPS) resultou no seguinte ajuste linear:  $MPS(mg/l) = 1,0277 \cdot xREO - 1,0499$ , com coeficiente de correlação  $R^2=0,99$  (Figura 3).

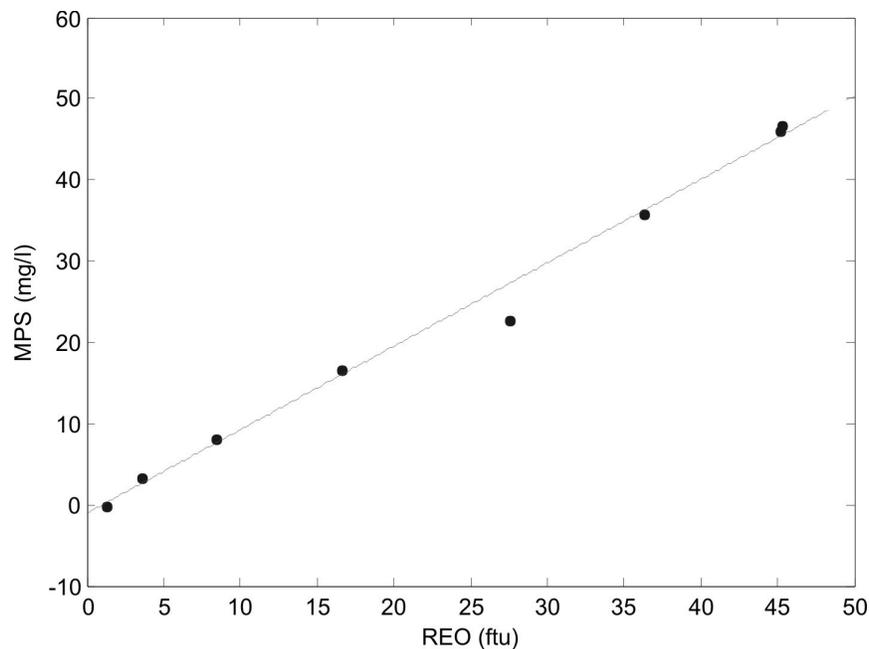


Figura 3: Relação do REO (ftu) obtido pelo CTD com a concentração de MPS ( $mg.l^{-1}$ ) obtido por gravimetria.

Nos PACDs convencionais, a amplitude do sinal acústico refletido é armazenada na memória do equipamento para o controle da qualidade dos dados e assim determinar a precisão das medições de velocidade. No entanto, estes dados possuem uma relação

direta com a concentração do MPS na água, entre as concentrações de 1 até 10000 mg.l<sup>-1</sup> segundo um fabricante (Nortek, 2001).

O PACD registra a amplitude acústica em unidade de “contagens” (unidade logarítmica interna do equipamento), estes dados foram transformados para potência sonora em decibéis (dB) e normalizados para torná-los independentes da profundidade em que foram coletados, obtendo-se assim o Retro Espalhamento Acústico (REA). As etapas desta metodologia foram efetuadas conforme Zaleski e Schettini (2006) e Nortek, (2001). O fator escalar para transformar a amplitude acústica da unidade de “contagens” em decibéis corresponde a 0,43. É necessário também subtrair o valor de ruído do equipamento “r”, obtendo-se a amplitude corrigida ( $Amp_c$ ) através da equação:  $Amp_c = 0,43(Amp - r)$ , onde “Amp” é o parâmetro gravado na memória do PACD e “r” a intensidade de ruído do mesmo, sendo r o valor de Amp quando o equipamento opera no ar. Para normalizar os dados e deixá-los independentes da profundidade que foram coletados é necessário adicionar os termos de dispersão geométrica à amplitude corrigida, através da seguinte equação:  $REA = Amp_c + 20 \log_{10}(R) + 2\alpha_w(R) + 20R \int \alpha_p dr$ . Onde R é a distância ao longo do feixe acústico ( $z/\cos(25^\circ)$ ), sendo que  $25^\circ$  é a inclinação do feixe acústico em relação à vertical,  $\alpha_w$  é a absorção pela água em  $dB.m^{-1}$ , e  $\alpha_p$  é a atenuação por partículas em  $dB.m^{-1}$ . O segundo termo a esquerda da igualdade é a correção geométrica da forma cônica do feixe acústico. O terceiro corrige o efeito da absorção da energia acústica na água, e é função da frequência do som, salinidade e pressão. O quarto termo é a correção pela absorção pelas partículas, sendo normalmente ignorado (Nortek, 2001).

Posteriormente os dados corrigidos e normalizados de REA obtidos pelo PACD e os dados de MPS ( $mg.l^{-1}$ ) obtidos pelo turbidímetro foram relacionados. Os dados apresentaram uma evidente correlação exponencial descrita pela seguinte equação:

$$MPS(mg/l) = 0,005263^{0,1233 \times REA}, \text{ com coeficiente de correlação } R^2=0,85 \text{ (Figura 4).}$$

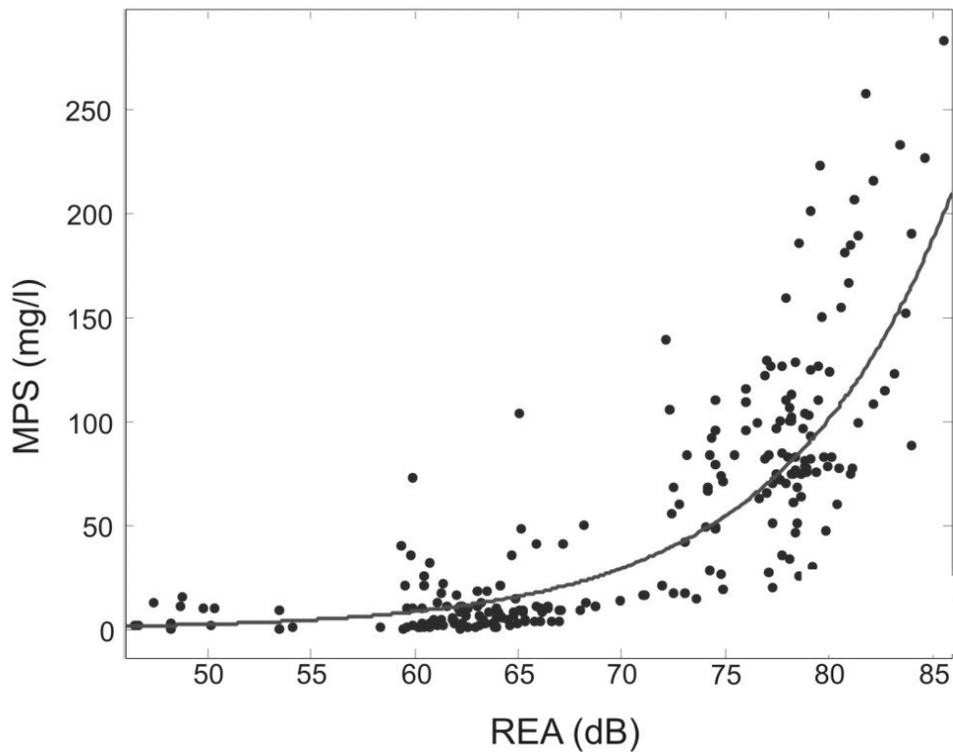


Figura 4: Relação entre os dados de REA (dB) obtidos pelo PACD e concentração de MPS ( $\text{mg.l}^{-1}$ ) obtido pelo CTD.

### **Tratamento dos dados**

O pré-tratamento dos dados adquiridos pelo PACD e pelos CTDs foi realizado no Excel (Microsoft Inc.<sup>TM</sup>) com o objetivo de organizar as variáveis para o posterior tratamento e redução no Matlab (Mathworks Inc.<sup>TM</sup>). Em ambiente Matlab os dados de salinidade e temperatura foram reduzidos a cada 0,5 metro e foram referenciados a partir de 1,5 metro abaixo da superfície da água para coincidir com os níveis de medição do PACD. Os níveis de medição do PACD foram calculados com base no nível do equipamento (N.E.) abaixo da água (0,5 m), da distância em branco (D.B) fornecida pelo PACD (0,45 m) e do tamanho da célula (T.C=0,5 m). Sendo assim, o nível da primeira medição (N.P.M.) pode ser calculado:  $\text{N.P.N} = \text{N.E} + \text{D.B} + \text{T.C}$ , resultando

em N.P.M = 1,5 m, e o segundo 2 m e assim por diante, até o nível de base de 11 m definido através da análise visual dos perfis.

Para sincronizar os dados do CTD que não possuem os mesmos níveis, pois possuem profundidades diferentes, foi realizada uma regressão linear através da contração e estiramento dos perfis verticais do CTD. Os dados foram então unidos em uma matriz regular com 20 níveis de 0,5 metro equidistantes, iniciando em 1,5 m abaixo da superfície, contento os dados de tempo, níveis, salinidade, temperatura, material particulado em suspensão (MPS), velocidade e direção. Um histograma, com classes coerentes com o ciclo de 360 graus, foi aplicado aos dados de direção e indicou o sentido das correntes para vazante ou enchente (Figura 5). Em relação à orientação da linha de costa e a geometria do estuário foi definido que o setor entre  $0^\circ$  e  $200^\circ$  corresponde ao setor de enchente e o setor complementar ao setor de vazante. Por convenção foi atribuído sinal negativo às correntes de vazante.

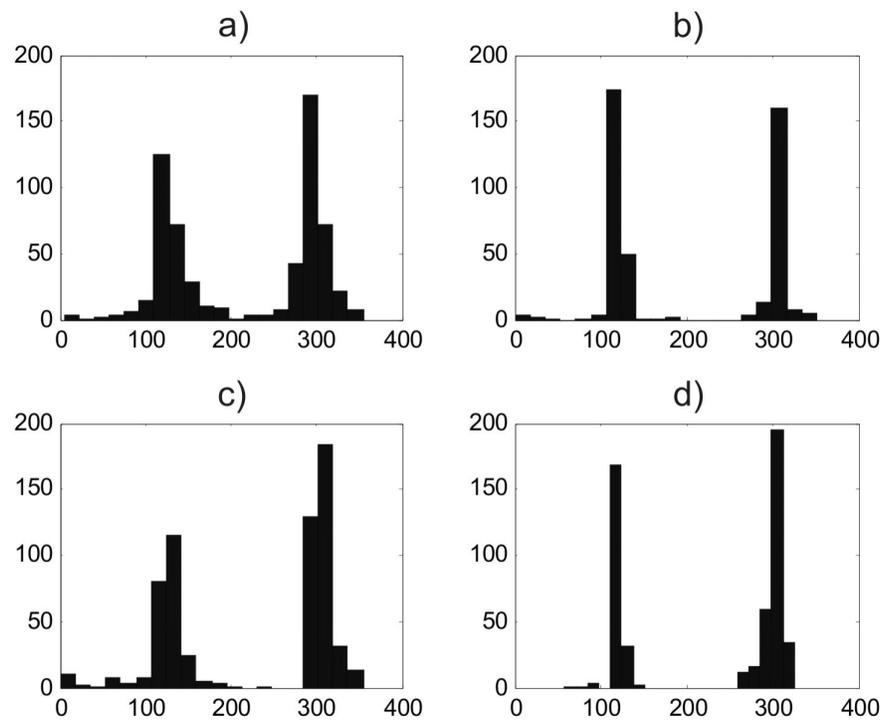


Figura 5: Histograma dos dados de direção; (a) Campanha seca, quadratura; (b) Campanha seca, sizígia; (c) Campanha chuvosa, quadratura; (d) Campanha chuvosa, sizígia.

A partir da matriz regular de dados foram gerados valores para a classificação dos estuários, calcular os componentes do transporte advectivo de sal e de MPS, gráficos da distribuição vertical e temporal da velocidade de corrente e das propriedades de salinidade e MPS. Também foi calculado o transporte de material particulado em suspensão em cada campanha, através do produto direto da velocidade média na coluna de água pela concentração do MPS.

A classificação dos sistemas foi efetuada, para cada experimento, com base no Diagrama de Estratificação-circulação proposto por Hansen & Rattray (1966) descrita por Miranda *et al.* (2002). Esta classificação leva em consideração dois parâmetros adimensionais: o parâmetro de estratificação definido pela razão  $\delta S / \bar{S}$ , onde  $\delta S = S_f - S_s$  é a diferença entre os valores de salinidade de fundo ( $S_f$ ) e de superfície ( $S_s$ ) e  $\bar{S}$  é o valor médio da salinidade na coluna de água. O outro parâmetro é o circulação, determinado pela razão  $U_s / \bar{u}$ , onde  $U_s$  é o valor médio do componente longitudinal de velocidade na superfície e  $\bar{u}$  é a média da velocidade na coluna de água, utilizada em casos em que não se tem conhecimento adequado da descarga fluvial.

Para calcular os componentes do transporte advectivo de sal e MPS é necessário separar as parcelas do transporte geradas pelos componentes de influência periódica da maré (barotrópico) e circulação gravitacional (baroclínico) e eventuais efeitos do vento. Para indicar os processos físicos responsáveis pelo movimento estuário acima (dispersivo) e estuário abaixo (advectivo), os componentes de velocidade longitudinal, salinidade e a espessura da coluna de água devem ser decompostas. Neste trabalho foram adotados os procedimentos descritos por Miranda *et al.* (2002), fundamentados em trabalhos de Bowden (1963), Fischer (1976), Hunkins (1981), Dyer (1974) e Kjerfve (1986), que considera um canal estuarino lateralmente homogêneo. A velocidade longitudinal instantânea em um dado instante pode ser decomposta através da seguinte equação:

$$u(x, z, t) = u_a(x) + u_t(x,t) + u_s(x,z) + u'(x, z, t) \quad (1)$$

O primeiro termo da Equação (1) representa a redistribuição advectiva da salinidade pelo efeito da descarga fluvial. O segundo termo representa os efeitos cíclicos da corrente da maré e o terceiro termo os efeitos da circulação gravitacional. A componente de advecção fluvial,  $u_a$ , é obtida pela média vertical e temporal dos dados de corrente por um ou mais ciclos completos de maré,  $\langle u \rangle$ , onde a média vertical é representada pelos símbolos  $\langle \rangle$  e a média temporal é representada pela sobre barra. A

componente barotrópica,  $u_t$ , representa a variação da velocidade média da coluna de água ao longo de um ou mais ciclos de maré, descontada a componente da advecção fluvial, ou

$$u_t(t) = \bar{u}(t) - \langle \bar{u} \rangle \quad (2)$$

e a componente baroclínica,  $u_s$ , representa a variação da velocidade média de cada nível de observação descontada a componente de advecção fluvial, ou

$$u_s(z) = \langle u(z) \rangle - \langle \bar{u} \rangle \quad (3)$$

e o resíduo é obtido isolando o último termo do lado direito da Equação 1. A mesma decomposição pode ser aplicada para salinidade e para a concentração de sedimentos em suspensão. A variação da coluna de água ( $h$ ) com a maré pode ser decomposta pelos seguintes componentes:

$$h(x,t) = h_a + h_t(x,t) \quad (4)$$

Sendo  $h_a$  a profundidade média local e  $h_t$  a variação do nível instantâneo.

O transporte total de sal ( $T_s$ ) médio durante um ou mais ciclos de maré é dado por meio da seguinte equação:

$$T_s = \frac{1}{T} \int_0^T \int_0^h \rho u S \, dz \, dt \quad (5)$$

Onde  $\rho$  é a densidade da água e  $S$  é a salinidade. Substituindo os parâmetros da integral  $u$  e  $S$  pela Equação 1 e sua análoga para a salinidade, resulta em 32 parcelas, das quais somente 7 possuem significância no processo do transporte total médio de sal durante um ou mais ciclos de maré. Podendo assim, ser descrito por:

$$T_s = \bar{\rho} \left( u_a h_a S_a + \langle h_t u_t \rangle S_a + h_a \langle u_t S_t \rangle + h_a \overline{u_s s_s} + h_a \langle \overline{u^i s^i} \rangle + \langle u_t S_t h_t \rangle + u_a \langle S_t h_t \rangle \right) \quad (6)$$

que pode ser representada como  $T_s = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7$ . Onde o termo 1 representa o transporte gerado pela descarga fluvial e com seu valor sempre estuário abaixo, de natureza advectiva. O termo 2 representa o transporte de massa gerado pela propagação da onda de maré no estuário (deriva de Stokes), geralmente transportando sal estuário abaixo. O termo 3 é a correlação de maré dos valores médios de velocidade e salinidade na coluna de água, normalmente gerencia o transporte de sal estuário acima. O termo 4 é o transporte da circulação estacionária (diferença entre a corrente de gravidade pelo componente gerado pela descarga fluvial ou residual). O resultado do cisalhamento oscilatório e o movimento gerado pelo vento e flutuações turbulentas de velocidade, com escala de tempo inferior ao período de maré, está representado no

termo 5. O termo 6 é a dispersão da maré. E por último, o termo 7 que corresponde a media temporal da correlação entre salinidade e a maré ponderada pela velocidade residual (Miranda *et al.*, 2002). O transporte de sedimentos em suspensão pode ser trabalhado da mesma forma, tendo-se o cuidado de eliminar a densidade e utilizar a concentração nas mesmas unidades métricas da velocidade.

## RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta um sumário dos resultados encontrados para cada experimento.

Tabela 2: Resumo dos resultados encontrados para cada campanha.

	<b>Período seco quadratura</b>	<b>Período seco sizígia</b>	<b>Período chuvoso quadratura</b>	<b>Período chuvoso sizígia</b>
Altura máxima da maré (m)	0,58	3,2	1,28	2,5
Max. corrente de vazante (m/s)	0,3	-1,43	-0,65	-1,38
Max. corrente de enchente (m/s)	0,3	0,96	0,4	0,88
Vel. média (m/s)	0,016	-0,215	0,027	0,007
Salinidade mínima	33,8	33,2	32,8	33,5
Salinidade máxima	36,6	36	35,7	36,2
Salinidade média	36	35	35	35,3
Temperatura média	24,9	25,3	28,2	27,6
MPS mínimo	0,41	7,1	1,5	14,5

	(mg.l <sup>-1</sup> )			
MPS máximo (mg.l <sup>-1</sup> )	35	740	63	990
MPS médio (mg.l <sup>-1</sup> )	8,8	87	15,3	100

Na campanha do período seco de quadratura a variação da maré apresentou padrão semi-diurno. A baixa-mar ocorreu no início da campanha as 7 h e a preamar ocorreu por volta das 11 h, com variação máxima do nível da água de 0,58 m. A segunda baixa-mar ocorreu por volta das 17:00h. Na figura 6 é apresentada a distribuição vertical e temporal de velocidade, salinidade, MPS e fluxo de MPS. A velocidade máxima das correntes de enchente e vazante foi semelhante, em torno de 0,3 m.s<sup>-1</sup> e -0,3 m.s<sup>-1</sup> respectivamente. No início da campanha (7 h) ocorreram as correntes de enchente mais intensas na metade inferior da coluna de água que foram progressivamente perdendo intensidade. Em torno das 10:30 h ocorreu a estufa de enchente com valores nulos de corrente ao longo de toda coluna de água. Três horas após a estufa as correntes de vazante atingiram as máximas velocidades na porção intermediária da coluna de água. A partir das 15 h as correntes mais próximas do fundo foram perdendo intensidade e se aproximando de zero. Entre as 16 e 19:30 h é possível observar o comportamento bidirecional da velocidade, com correntes de vazante ocorrendo na porção superior da coluna de água e correntes de enchente na metade inferior. Apenas neste intervalo de tempo (3,5h) foi possível observar uma pequena estratificação de velocidade na coluna de água que durante o restante do experimento teve comportamento vertical homogêneo. Os valores de salinidade apresentaram pequena variação ao longo de todo o experimento, com valores variando entre 34 e 36,5. Na Figura 6B é possível observar que na metade superior da coluna de água os valores de salinidade mantiveram-se ligeiramente inferiores. A concentração de material particulado em suspensão (MPS) foi baixa durante todo o experimento, com valores menores do que 10 mg.l<sup>-1</sup>. O pico de concentração ocorreu entre as 9:30 e 11:30 h, nas profundidades maiores que 8 metros, atingindo valores de 30 mg.l<sup>-1</sup> que corresponderam ao período de inversão das correntes de enchente para vazante. O fluxo instantâneo de material particulado em suspensão variou entre -1,97 e 2,58 kg.s<sup>-1</sup> com sentido estuário

afora e adentro respectivamente (Figura 6D). O transporte resultante de MPS foi 3 kg/ciclo de maré com sentido estuário acima.

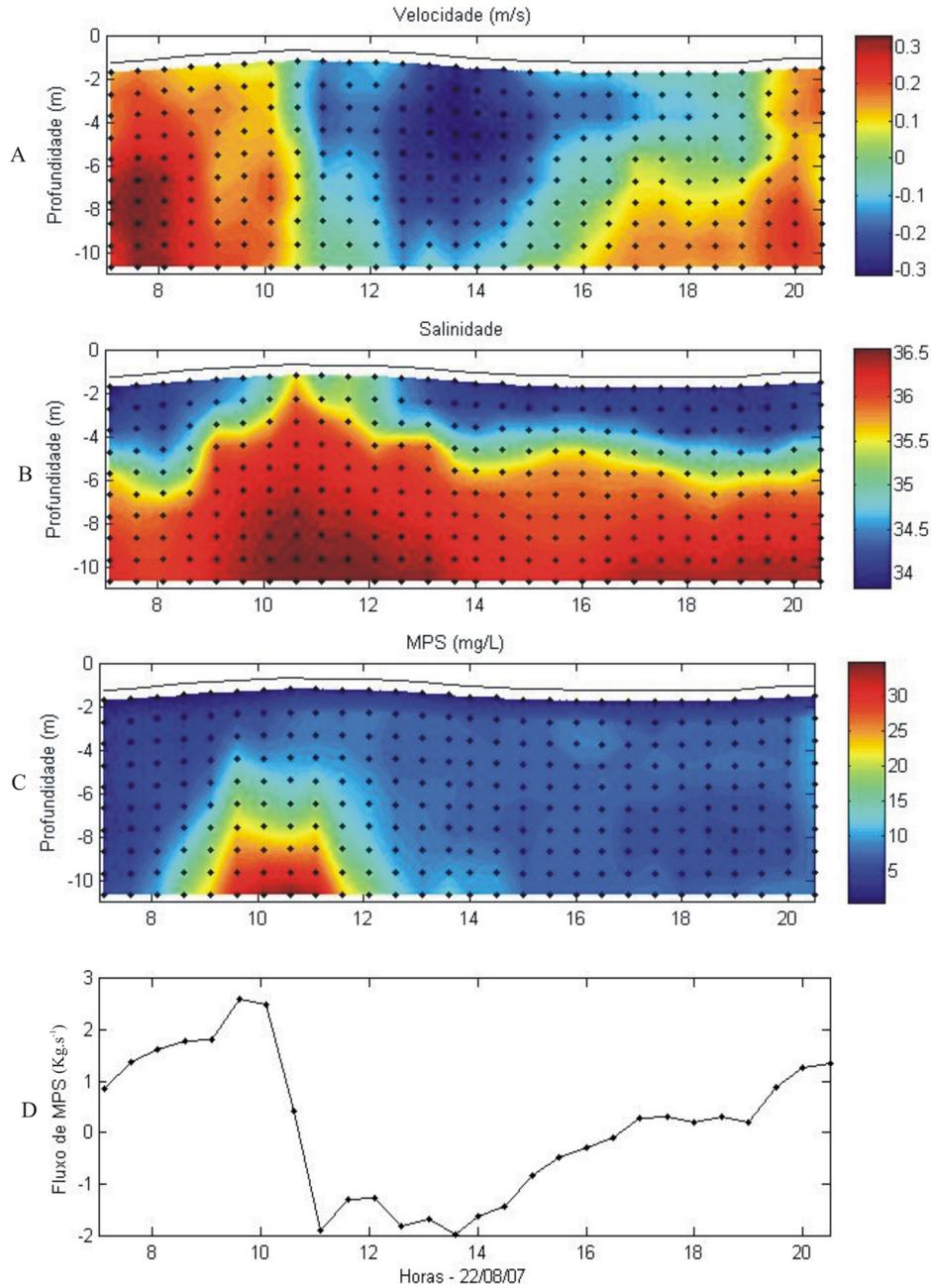


Figura 6: Variação vertical e temporal de velocidade de corrente (A), salinidade (B) concentração de MPS (C) e fluxo de MPS (D) para a campanha de quadratura do período seco (22 de agosto de 2007).

Na campanha de sizígia do período seco a maré teve amplitude de 3,2 m, a primeira preamar ocorreu no início da campanha (4,5h) e a baixa-mar as 10:30 h com a segunda preamar ocorrendo as 16 h. A onda de maré teve um claro comportamento semi-diurno e simétrico, foi possível observar uma onda completa durante o período amostral de 13 horas (Figura 7). As velocidades das correntes apresentaram padrão verticalmente homogêneo controlado pela oscilação da onda de maré. As correntes de vazante foram mais intensas e atingiram velocidade máxima de -1,43 m/s, a velocidade máxima das correntes de enchente foi de 0,96 m/s (Figura 7A). A estofa de enchente ocorreu simultaneamente com a primeira preamar, no início da campanha, já a estofa de vazante ocorreu seis horas após, em torno de 10:30 h, em fase com a oscilação da maré. A variação da salinidade ao longo das 13 horas do experimento foi entre 33 e 36. A salinidade foi verticalmente homogênea, as variações ocorreram pela influencia da oscilação da maré, com os menores valores ocorrendo simultaneamente com a baixa-mar e os maiores valores coincidindo com as preamares (Figura 7B). Em relação à concentração de MPS é possível observar que as maiores concentrações ocorreram em dois momentos, entre as 14 e 14:30 h, com concentrações superiores a  $100 \text{ mg.l}^{-1}$  associadas às correntes de enchente mais intensas, sugerindo uma importação de MPS da plataforma continental interna. O outro pico na concentração de MPS foi as 17 h, coincidindo com a estofa de enchente, quando as correntes ao longo da coluna d água eram nulas. Este segundo pico na concentração de MPS pode ser associado à decantação das partículas possibilitada pela diminuição da energia do sistema. Comparativamente com o experimento anterior de quadratura, as concentrações de MPS na sizígia foram consideravelmente superiores. A concentração média ao longo de todo experimento de quadratura foi de  $8,8 \text{ mg.l}^{-1}$ , já na sizígia a concentração media foi cerca de 10X maior, com média de  $87 \text{ mg.l}^{-1}$ . Estas maiores concentrações estão associadas às correntes mais intensas que ocorreram no experimento de sizígia. Em relação ao fluxo instantâneo de MPS os valores variaram entre  $-153,6$  e  $86,1 \text{ kg.s}^{-1}$  com sentido estuário abaixo e acima respectivamente (Figura 7D). O estuário atuou como exportador de MPS para o sistema costeiro, o transporte resultante foi de  $-708,3 \text{ kg/ciclo de maré}$ , com sentido estuário afora.

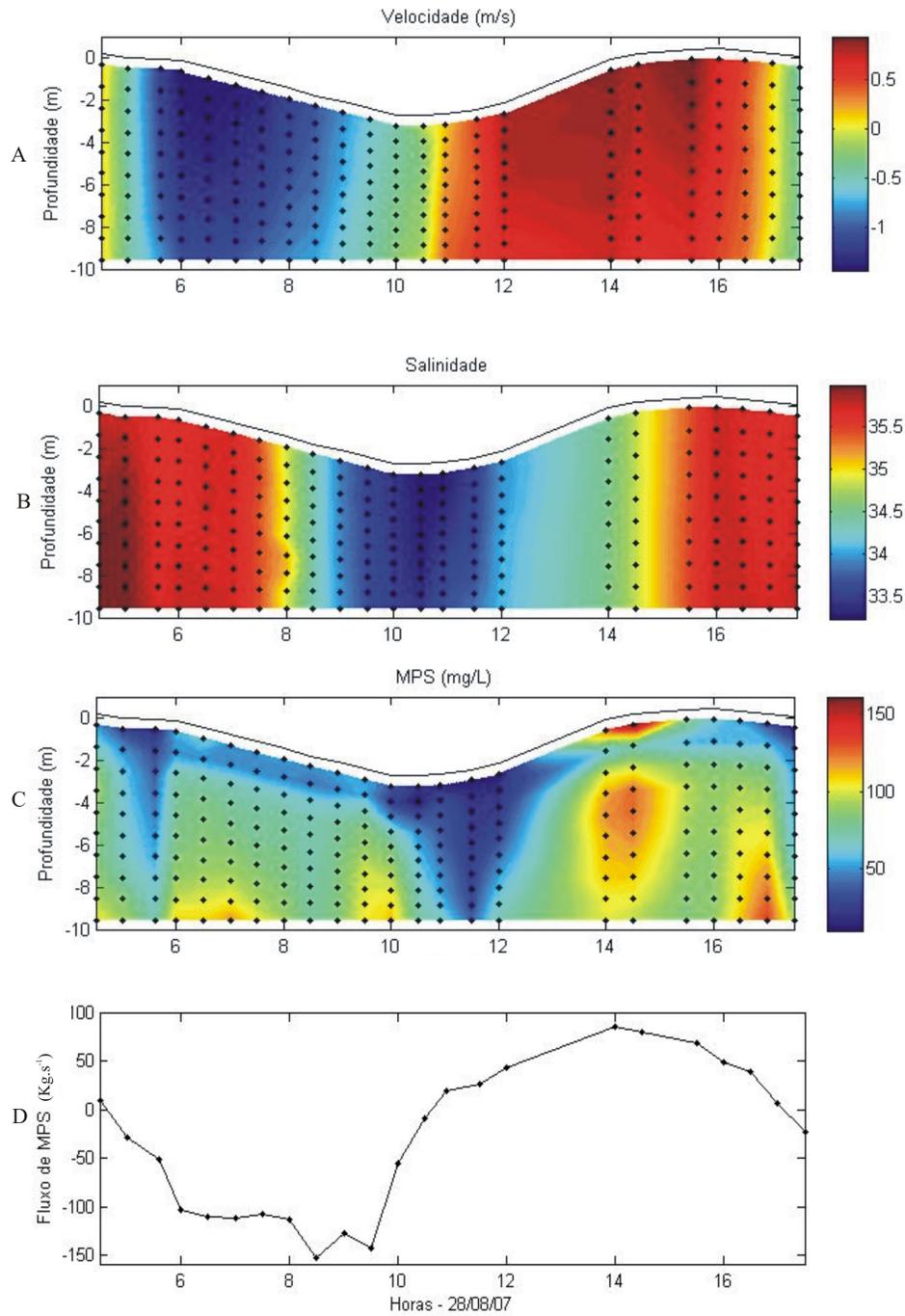


Figura 7: Variação vertical e temporal de velocidade de corrente (A), salinidade (B) concentração de MPS (C) e fluxo de MPS (D) para a campanha de sizígia do período seco (28 de agosto de 2007).

O regime de maré na campanha chuvosa de quadratura apresentou amplitude de 1,28 m durante as 13 horas da campanha, que iniciou na baixa-mar. A preamar ocorreu as 10:30 h com a segunda baixa-mar ocorrendo em torno das 16:30 h (Figura 8). As velocidades máximas de enchente e vazante foram respectivamente 0,4 m/s e -0,65 m/s, as correntes foram verticalmente homogêneas (Figura 8A), não apresentando o comportamento bidirecional, que caracteriza a circulação gravitacional como na primeira campanha de quadratura. Esta maior homogeneidade das correntes pode ser explicada pela maior amplitude de maré que ocorreu no segundo experimento de quadratura (1,28 m) em relação à primeira campanha (0,58 m), já que a maré tem tendência a homogeneização do sistema, atuando como fator antagônico a vazão que age como uma forçante de estratificação (Miranda *et al.*, 2002). Os valores de salinidade tiveram pouca variação com mínimo e máximo entre 32,7 e 35,7 respectivamente. Os menores valores de salinidade ocorreram próximos da superfície associados as baixa mares (Figura 8B). A concentração de MPS manteve-se predominantemente abaixo de 20 mg.l<sup>-1</sup>, com um pico de aproximadamente 60 mg.l<sup>-1</sup> entre as 8h e 9h, associado às correntes de enchente mais intensas (Figura 8C). O estuário atuou como importador de MPS ao longo do ciclo completo da maré, o transporte resultante foi de 31 kg/ciclo de maré com sentido estuário acima. Os fluxos instantâneo de MPS variaram entre -7,2 e 14 kg.s<sup>-1</sup> com sentido estuário abaixo e acima respectivamente (Figura 9D).

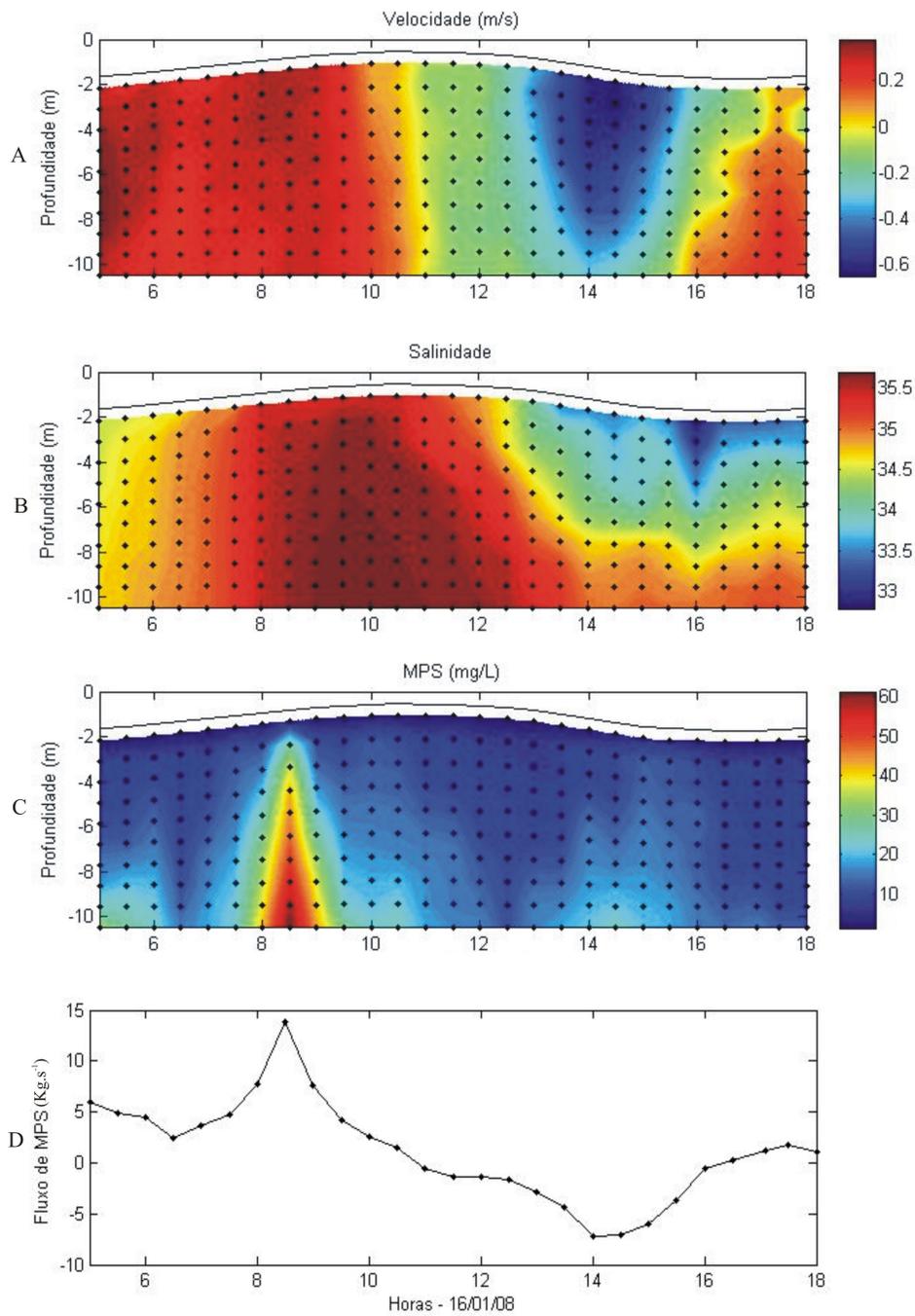


Figura 8: Variação vertical e temporal de velocidade de corrente (A), salinidade (B) concentração de MPS (C) e fluxo de MPS (D) para a campanha de quadratura do período chuvoso (16 de janeiro de 2008).

Na campanha do período chuvoso de sizígia a maré apresentou amplitude de 2,5 m durante a campanha, com a primeira preamar ocorrendo as 6 h e a segunda no final da campanha as 17 h, a baixa-mar ocorreu as 11:30h (Figura 9). As correntes apresentaram um comportamento verticalmente homogêneo, com valores máximos de  $0,80 \text{ m.s}^{-1}$  e  $-1,24 \text{ m.s}^{-1}$  para enchente e vazante respectivamente (Figura 9A). O que evidenciou a dominância das correntes de vazante durante a campanha. A salinidade teve pouca variação novamente, com valores que oscilaram entre 33,5 e 36. Os menores valores de salinidade ocorreram simultaneamente com os níveis de maré mais baixos (Figura 9B). A concentração de MPS foi inferior a  $50 \text{ mg.l}^{-1}$ , durante toda a campanha nas profundidades menores do que 2 m. O pico de MPS ocorreu na metade inferior da coluna de água, entre as 15:30h e 17h, associado às correntes de enchente mais intensas. A concentração média de MPS ao longo do experimento foi de  $108 \text{ mg.l}^{-1}$ . O fluxo instantâneo de MPS variou entre  $-114,3$  e  $223,5 \text{ kg.s}^{-1}$  com sentido estuário abaixo e acima respectivamente (Figura 9D). O transporte resultante de MPS foi de  $386,5 \text{ kg/ciclo}$  de maré com sentido estuário adentro.

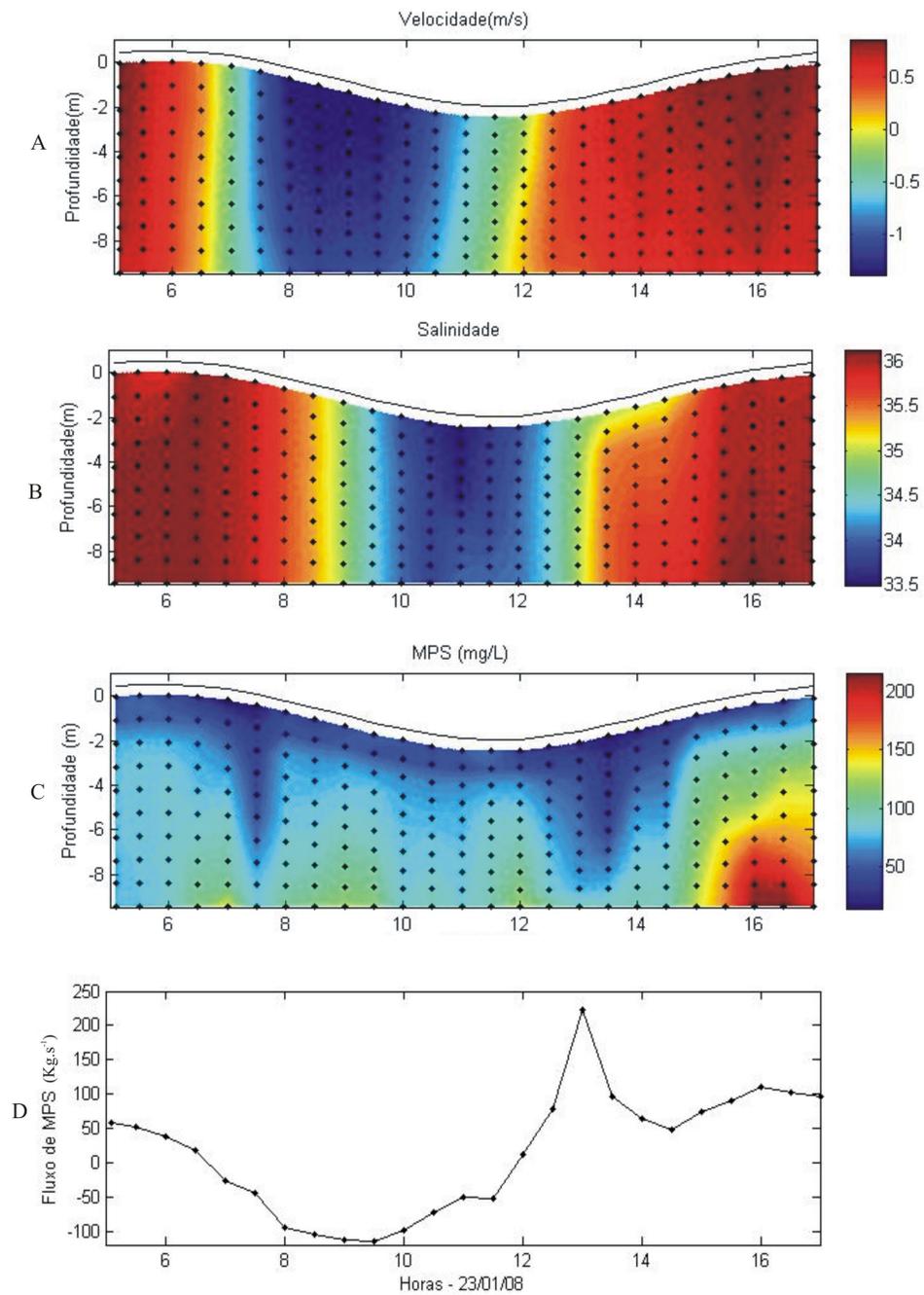


Figura 9: Variação vertical e temporal de velocidade de corrente (A), salinidade (B) concentração de MPS (C) e fluxo de MPS (D) para a campanha de sizígia do período chuvoso (23 de janeiro de 2008).

### Classificação dos sistemas

Os valores dos parâmetros de estratificação ( $\frac{\delta S}{S}$ ) e circulação ( $\frac{U_s}{\langle \bar{u} \rangle}$ ) calculados para os quatro experimentos estão apresentados na Tabela 3. Os valores sobre o diagrama Estratificação-circulação estão representados na Figura 10. Durante as quatro condições amostrais o estuário foi classificado como bem misturado e fracamente estratificado (Tipo 1a). Segundo Hansen & Rattray (1966) nos estuários do Tipo 1 o fluxo residual é estuário abaixo em todas as profundidades, e o transporte de sal estuário acima é devido somente ao processo de difusão turbulenta. É possível observar que apesar do estuário ser classificado da mesma forma nas quatro campanhas, nas duas campanhas de quadratura o parâmetro estratificação foi superior, mostrando um padrão mais estratificado em relação aos dois experimentos de sizígia.

Tabela 3: Valores dos parâmetros de estratificação e circulação

	$\frac{\delta S}{S}$	$\frac{U_s}{\langle \bar{u} \rangle}$
1 (seco_quad.)	0,059	0,809
2 (seco_siz)	0,004	1,146
3 (chuvoso_quad.)	0,025	1,084
4 (chuvoso_siz.)	0,007	1,140

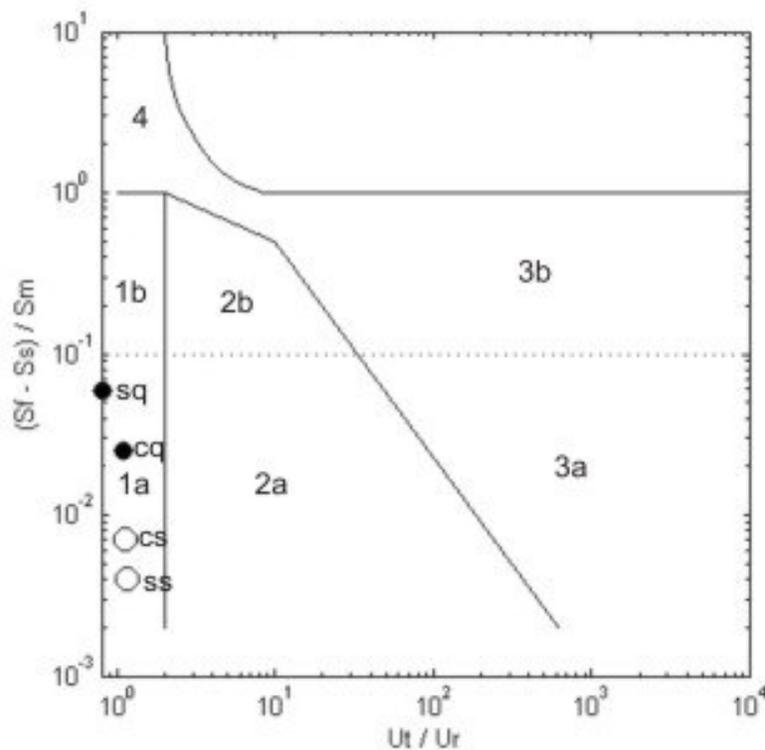


Figura 10: Diagrama Estratificação-circulação, onde sq=seco-quadratura, ss=seco-sizígia, cq=chuvoso-quadratura, cs=chuvoso-sizígia.

### Transporte advectivo de sal e MPS

Os valores numéricos correspondentes à decomposição do transporte advectivo de sal e MPS nos quatro experimentos encontram-se listados nas Tabelas (4) e (5) respectivamente.

Na primeira campanha de quadratura do período seco os termos dominantes no transporte de sal foram o transporte advectivo gerado pela descarga fluvial com intensidade de  $1,95 \text{ g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  e o transporte dispersivo gerado pela circulação gravitacional estuário acima, com valor de  $0,47 \text{ g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ . O transporte de MPS foi dominado por mecanismos dispersivos que transportam o MPS no sentido estuário acima. A circulação gravitacional alcançou valor de  $1,81 \text{ mg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ , apesar de este termo ser comumente pequeno em estuários bem misturados (Miranda *et al.*, 2002), seguido do bombeamento da maré com  $0,56 \text{ mg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ .

O transporte de sal e MPS na campanha de sizígia no período seco foi muito superior em relação à campanha de quadratura. O transporte total de sal foi da ordem de  $-86,51 \text{ g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  e de MPS foi de  $-322,14 \text{ mg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ , ambos com sentido estuário afora. Este grande incremento em relação à campanha de quadratura mostra a grande influencia que a amplitude de maré ocasiona no sistema. Na campanha de quadratura a amplitude foi de 0,58 m, já na campanha de sizígia foi de 3,2 metros. O maior responsável pelo transporte tanto de sal como de MPS foi o termo 1, associado à descarga continental, com valores de  $-81 \text{ mg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  e  $-244,9 \text{ mg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  respectivamente. Durante este experimento ficou evidente o importante papel como exportador de propriedades que o estuário exerceu, pois os mecanismos advectivos (descarga fluvial + transporte de Stokes) foram responsáveis por mais de 80% do transporte total de sal e MPS.

No experimento de quadratura realizado durante o período chuvoso o transporte total de sal e de MPS foi de  $11,64 \text{ g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  e  $13,8 \text{ mg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  respectivamente. O transporte de sal foi principalmente associado à descarga continental com  $10,74 \text{ g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ , as demais parcelas foram comparativamente muito pequenas. O principal responsável pelo transporte de MPS foi o movimento dispersivo (estuário acima) associado à correlação com a maré, com valor de  $8,01 \text{ mg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ , seguido pelo transporte advectivo da descarga fluvial ( $4,68 \text{ mg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ) e pela circulação gravitacional ( $2,38 \text{ mg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ).

Na campanha de sizígia do período chuvoso o transporte total de sal durante um ciclo completo de maré foi de  $-1,77 \text{ g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  e de MPS foi de  $153,05 \text{ mg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ . O termo dominante no transporte de sal foi o transporte advectivo de Stokes ( $-7,97 \text{ g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ), que corresponde ao transporte de massa gerado pela propagação da onda de maré no estuário, seguido pelos termos associados com a correlação de maré ( $3,38 \text{ g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ) e o transporte gerado pela descarga fluvial ( $2,77 \text{ g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ). O transporte de MPS foi dominado pelo transporte associado à correlação de maré dos valores médios de velocidade e salinidade na coluna de água, com intensidade de  $154,43 \text{ mg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ . Neste experimento foi evidenciado que o estuário comportou-se como um importador de MPS, pois cerca de 90% do transporte de MPS resultou de transporte difusivo (componentes: 3,4,5,6,7).

Tabela 4: Termos do transporte advectivo de sal nas quatro campanhas no estuário do rio Caravelas durante um ciclo completo de maré.

<b>Componentes do transporte advectivo</b>	<b>Campanha seca quadratura</b>	<b>Campanha seca sizígia</b>	<b>Campanha chuvosa quadratura</b>	<b>Campanha chuvosa sizígia</b>
	$(g.m^{-1}.s^{-1})$			
1-Descarga fluvial	1,9521	-80,9997	10,7423	2,775
2-Transporte de Stokes	0,2208	-4,0038	-0,0235	-7,9702
3-Correlação de maré	-0,1338	-1,5979	0,6667	3,3762
4-Circulação gravitacional	0,4675	0,0191	0,124	0,0139
5-Bombeamento de maré	0,0145	-0,0016	0,1362	-0,005
6-Cisalhamento de maré	-0,0002	-0,1289	-0,0047	0,0457
7-Flutuação do vento	-0,0002	0,2045	-0,0052	-0,005
Transporte total	2,5207	-86,5083	11,6359	-1,7695

Tabela 5: Termos do transporte advectivo de MPS nas quatro campanhas no estuário do rio Caravelas durante um ciclo completo de maré.

<b>Componentes do transporte advectivo</b>	<b>Campanha seca quadratura</b>	<b>Campanha seca sizígia</b>	<b>Campanha chuvosa quadratura</b>	<b>Campanha chuvosa sizígia</b>
	$(mg.m^{-1}.s^{-1})$			
1-Descarga fluvial	0,4769	-244,8947	4,6793	9,7923
2-Transporte de Stokes	0,0539	-12,1051	-0,0102	-28,1248
3-Correlação de maré	-0,3091	-95,7902	8,0492	154,4276
4-Circulação gravitacional	1,8075	27,3069	2,3837	18,6282
5-Bombeamento de maré	-0,5593	22,9976	-0,9628	-13,4378
6-Cisalhamento de maré	-0,0265	-14,3774	-0,2661	11,5167
7-Flutuação do vento	-0,0031	-5,2788	-0,0171	0,2512
Transporte total	1,4403	-322,1417	13,856	153,0534

A vazão do rio Alcobaça é monitorada pela Agência Nacional das Águas (ANA) na estação fluviométrica denominada Fazenda Cascata (Cod. 55490000) que abrange uma área de drenagem de 5084 km<sup>2</sup>, e a vazão do rio Peruípe é monitorada na estação denominada Helvécia (Cod. 55510000) com área de drenagem de 2841 km<sup>2</sup>. Os valores de vazão foram extrapolados para toda área de drenagem dos rios Alcobaça (5215 km<sup>2</sup>) e Peruípe (4600 km<sup>2</sup>). Na campanha do período seco a vazão média entre os dias de coleta (22 a 28/08/2007) foi de 21 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e 18 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> para os rios Alcobaça e Peruípe respectivamente. No período chuvoso as vazões médias (entre os dias 16 e 21/01/08) foram 23,4 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e 27,8 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> para o rio Alcobaça e Peruípe respectivamente. O rio Peruípe apresentou comportamento sazonal típico de acordo com os dados históricos de vazão, que caracterizam o período entre dezembro-fevereiro como chuvoso e agosto-setembro como seco (Tabela 2). Não há monitoramento da vazão no rio Caravelas, por estar localizado próximo do rio Peruípe é possível adotar comportamento sazonal semelhante. Considerando os valores de vazão do rio Peruípe proporcionais à área de drenagem do rio Caravelas, é possível estimar a vazão do Caravelas em 2,4 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e 3,6 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> para as campanhas do período seco e chuvoso respectivamente.

## DISCUSSÃO E SUMÁRIO

Com a realização das quatro campanhas amostrais em diferentes condições de maré e regime pluviométrico foi possível caracterizar sazonalmente o estuário do rio Caravelas quanto às condições hidrodinâmicas e transporte de material particulado em suspensão. O regime de maré local é caracterizado como de mesomaré, puramente semi-diurno, com número de forma de 0,12 (Lessa & Cirano, 2006), o que justifica amostragens de 13 horas para caracterizar um ciclo completo de maré. O prisma de maré (P) corresponde ao volume de água que entra no estuário durante a maré enchente e está intimamente relacionado com a altura da maré (H), pois  $P = H \times A_s$ , onde  $A_s$  é a área superficial do estuário. A importância da altura da maré no ambiente estuarino está relacionada à capacidade de renovação da massa de água durante um ciclo completo de maré (Miranda *et al.*, 2002). O prisma de maré foi calculado para os quatro experimentos, considerando a amplitude máxima da maré (Tabela 2) e a área superficial do estuário 66 km<sup>2</sup> (Herz, 1991). Para a campanha do período seco o prisma de maré foi

de 38280 m<sup>3</sup> e 211200 m<sup>3</sup> para quadratura e sizígia respectivamente. Na campanha do período chuvoso o prisma de maré variou entre 84480 m<sup>3</sup> e 165000 m<sup>3</sup> para quadratura e sizígia respectivamente.

O estuário foi caracterizado como bem misturado e fracamente estratificado (Tipo 1a) em todas as condições amostrais. Esta classificação é típica de estuários forçados por descarga fluvial pequena com altura de maré moderada ou grande (Miranda *et al.*, 2002). Segundo Dyer (1977) em estuários bem misturados a amplitude de maré é grande o suficiente para proporcionar a homogeneização vertical, e a onda de maré se propaga por grandes distâncias estuário acima. Apesar da aparente similaridade das condições hidrodinâmicas, levando em consideração a classificação de Hansen & Rattray (1966), foi possível observar comportamentos distintos do estuário entre as condições amostrais. Esta variabilidade ocorreu nos parâmetros de velocidade e MPS, em relação à salinidade o estuário teve comportamento muito semelhante nos experimentos associada à pequena influência do aporte de água doce no sistema, o que é explicado pela pequena área de drenagem do rio Caravelas (600 km<sup>2</sup>).

Em relação à velocidade das correntes na campanha de quadratura do período seco o estuário apresentou intensidade máxima de correntes de enchente e vazante semelhantes, 0,3 m.s<sup>-1</sup> e -0,3 m.s<sup>-1</sup> respectivamente. Nesta condição em que as correntes são simétricas não ocorre fluxo residual de sedimentos sem que existam correntes residuais (Dyer, 1997). Neste caso o transporte residual de sedimentos durante um ciclo completo de maré foi de apenas 3kg/ciclo de maré, com sentido estuário acima. Nas demais campanhas o estuário teve comportamento assimétrico de correntes com dominância das correntes de vazante. A assimetria das correntes de maré com dominância das correntes de vazante foi reportado no estudo anterior realizado no mesmo estuário em condições de maré de sizígia (Schettini & Miranda, submetido). Segundo os autores a assimetria de correntes de maré pode ser visto como uma regra geral para estuários ao invés de uma exceção. Geralmente os estuários dominados pela maré vazante atuam principalmente como exportadores de sedimento para o ambiente costeiro (French, 1997). No caso do estuário de Caravelas, apesar de ser dominado pelas correntes de vazante, o estuário atuou como importador de MPS em três das quatro campanhas realizadas. Apenas na campanha de sizígia do período seco o transporte resultante de MPS teve sentido estuário afora, no valor de -708,3 kg/ciclo de maré. Segundo Dyer (1977), estuários com características semelhantes ao de Caravelas como verticalmente bem misturado, pequena descarga fluvial, com regime de meso ou macro-

maré, geralmente são caracterizados por dominância das correntes de vazante que resulta em grande fluxo residual com sentido estuário afora de sal e MPS.

A concentração de MPS apresentou grande variação comparativamente entre os experimentos. As maiores concentrações médias ocorreram associadas às duas campanhas de sizígia com concentrações de  $106 \text{ mg.l}^{-1}$  e  $127 \text{ mg.l}^{-1}$  nas campanhas do período seco e chuvoso respectivamente. Já nas duas campanhas de quadratura as concentrações médias ao longo dos experimentos foram bem inferiores, da ordem de  $9 \text{ mg.l}^{-1}$  e  $15 \text{ mg.l}^{-1}$  nas campanhas do período seco e chuvoso respectivamente. Este fato mostra a grande influencia do regime de maré na intensidade das correntes e na concentração do MPS.

Os principais mecanismos de transporte de MPS e sal foram os termos advectivos da descarga fluvial e o transporte de Stokes, seguido pelo transporte dispersivo da correlação de maré. A intensidade destes mecanismos de transporte foi modulado pela altura da maré. Nas duas campanhas de sizígia o estuário apresentou comportamentos antagônicos. Na campanha do período seco atuou como exportador de material particulado em suspensão e sal, onde o principal mecanismo foi o transporte advectivo da descarga continental. Já na campanha do período chuvoso o estuário importou material particulado em suspensão do sistema costeiro adjacente, e o principal mecanismo de transporte foi a correlação de maré. O termo de correlação de maré entre a velocidade e a propriedade em questão (sal ou MPS) tende a ser pequeno quando o regime de correntes é periódico e simétrico, com diferença de fase de  $90^\circ$  em relação à variação da propriedade (Miranda *et al.*, 2002). Porém em condições em que há assimetria do regime de correntes em termos de tempo e/ou intensidade este termo pode assumir grande importância no mecanismo de transporte (Siegle *et al.*, 2009).

Um fato que merece destaque foi a intensidade do transporte associado ao componente 1-descarga fluvial nos quatro experimentos, quando o esperado seria uma contribuição praticamente irrelevante no mecanismo de transporte associado à descarga continental, conforme descrito anteriormente o aporte de água doce é pequeno. Isto pode ser explicado pela conexão existente com o rio Peruípe, através da qual o fluxo de troca não foi avaliado, mas deve ser significativo. No estudo anterior realizado no estuário de Caravelas (Schettini & Miranda, submetido) foi encontrado um valor residual de fluxo estuário abaixo da ordem de  $600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , o que não pode ser explicado pelas características do aporte fluvial no estuário. Este fato foi associado ao aporte

através da conexão com o estuário do rio Peruípe, que atuaria como um importante mecanismo no transporte de sal e material particulado no estuário de Caravelas.

Os mecanismos de transporte de MPS tiveram comportamento mais complexo, os sedimentos em suspensão, diferente da salinidade, não é uma propriedade conservativa, pois participam de um ciclo contínuo composto por erosão, sedimentação, deposição e consolidação (Wright e Nittrouer, 1995). Os maiores valores de transporte total ocorreram durante os experimentos de sizígia, com valores de  $-322 \text{ mg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  e  $153 \text{ mg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  nas campanhas seca e chuvosa respectivamente. Na campanha de sizígia do período seco o estuário comportou-se como exportador de MPS, pois os mecanismos advectivos de transporte (estuário abaixo) foram responsáveis por 80% do transporte total. Já na campanha de sizígia do período chuvoso o estuário foi caracterizado por comportamento oposto, como importador de MPS, pois o termo que dominou o transporte foi o mecanismo dispersivo (estuário acima) de correlação de maré. Nas duas campanhas de quadratura o transporte total de MPS foi praticamente insignificante, de  $1,44 \text{ mg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  e  $13,8 \text{ mg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  para o período seco e chuvoso respectivamente.

Outro fato que deve ser comentado é em relação às vantagens e limitações da metodologia empregada neste trabalho em relação à obtenção de MPS a partir do sinal acústico obtido pelo PACD. A principal vantagem associada a esta técnica é a possibilidade de se estimar perfis de MPS com alta resolução espacial e temporal. Entre as limitações estão que a maioria dos PACDs convencionais é mono frequência, o que segundo Gartner (2002) impossibilita a distinção entre a variação no tamanho das partículas e a concentração de MPS e também que para certo tamanho de partícula, frequências acústicas distintas apresentam diferentes sensibilidades. Estas características podem ocasionar os seguintes problemas: (a) um aumento no tamanho das partículas pode ser interpretado como um aumento na concentração de MPS, (b) PACD com certa frequência de operação são apropriados para trabalhar em certo intervalo de tamanho de partículas. Outra limitação é a formação de bolhas nas camadas superficiais, que refletem o sinal acústico gerando informações incertas sobre o MPS nestas camadas (Zaleski e Schettini, 2006). Para evitar este fenômeno normalmente são desconsideradas as medições das primeiras camadas superficiais, como no presente estudo a primeira célula de medição foi definida em 1,5 m abaixo da superfície.

## CONCLUSÕES

O estuário do rio Caravelas é um estuário bem misturado e fracamente estratificado (Tipo 1A). A hidrografia e o balanço sedimentar são principalmente modulados pela altura da maré e o aporte de água doce é irrelevante.

Os principais mecanismos de transporte de sal e MPS foram os termos advectivos da descarga fluvial e o transporte de Stokes, contrabalanceados pela correlação de maré. A importância destes mecanismos de transporte varia ao longo do tempo em resposta à variação das condições de maré. Em condições de maré de quadratura o transporte resultante de MPS é com sentido estuário acima, porém de pequena intensidade, nas campanhas de quadratura foi importado 3 e 31kg/ciclo de maré para o período seco e chuvoso respectivamente. Em condições de sizígia o estuário é caracterizado por correntes mais intensas e assimétricas, com dominância de vazante. Durante a condição de sizígia o estuário pode atuar como importador ou exportador de MPS. Na primeira condição predomina o mecanismo de transporte da correlação de maré responsável pelo transporte estuário acima. Já na segunda situação o principal mecanismo de transporte é assumido pela descarga fluvial, porém não devido ao aporte de água doce no sistema e sim à conexão existente com o estuário do rio Peruípe.

Como o aporte de água doce no sistema é muito pequeno, a principal fonte de MPS é alóctone e tem duas origens: o sistema costeiro adjacente e o rio Peruípe através da conexão existente entre os sistemas. As campanhas caracterizaram o comportamento sazonal dos estuários durante os períodos chuvoso e seco na região. A pequena área de drenagem do rio Caravelas (597 km<sup>2</sup>) não tem influência significativa no aporte de água doce para o sistema, sem distinção entre o período seco e chuvoso. O fluxo através da conexão com o rio Peruípe parece ser o principal responsável pelo aporte de sal e MPS no estuário de Caravelas. A caracterização dos fluxos existentes entre o estuário de Caravelas e o estuário do rio Peruípe faz-se necessária para quantificar a contribuição desta conexão na hidrografia e no transporte de MPS em ambos os estuários, principalmente sob diferentes condições de maré (quadratura e sizígia).

**BIBLIOGRAFIA**

ANA – Agência Nacional das Águas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 01/08/07.

ANDRADE, A. C. S. e DOMINGUEZ, J. M. L. 2002. Informações Geológico-Geomorfológicas como Subsídios à Análise Ambiental: o Exemplo da Planície Costeira de Caravelas. *Boletim Paranaense de Geociências*, Paraná - Editora UFPR, v. 51, p. 9-17.

BOWDEN, K. F. 1963. The mixing processes in a tidal estuary. *J. Air Wat. Pollut.* 7:343-356.

CAMERON, W. M. & PRITCHARD, D. W. 1963. "Estuaries". In Hill, M. N. (ed). *The Sea. Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas*. New York, Interscience, pp. 306-324.

CASTRO, C. B. 1994. Corals of Southern Bahia. Pages 160-176 in B. Hetzel and C. B. Castro. **Corals of Southern Bahia**. Nova Fronteira, Rio de Janeiro.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO - *Agenda 21*. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: [www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br). Acesso em: 05/10/08.

COUTINHO, R., VILLAÇA, R. C., MAGALHÃE, C. A., GUIMARÃES, M. A., APOLINÁRIO, M. & MURICY, G. 1993. Influência antrópica nos ecossistemas corálinos da região de Abrolhos, Bahia, Brasil. *Acta Biol. Leopoldensia* 15 (1):133-144.

DNAEE, Divisão de controle dos Recursos Hídricos. 1987. Inventário das estações fluviométricas, Tech. Rep., DNAEE, Brasília.

DODGE, R.E. & VAISNYS, J.R. 1977. Coral populations and growth patterns: responses to sedimentation and turbidity associated with dredging. *Journal Mar.Res.* 35:715-730.

DUTRA, L. X. C. Os Efeitos do aporte de sedimentos na Vitalidade dos Recifes de Corais de Abrolhos, Bahia. 2003. 91p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geologia) - Universidade Federal da Bahia, Salvador.

DYER, K. R. 1974. The salt balance in stratified estuaries. *Estuar. Coast Mar. Sci.* 2:273-281.

- DYER, K.R. 1977. Lateral circulation effects in estuaries. In: Estuaries, geophysics and the environment. Nacional Academic Press, 595 Washington, D.C. pp.22-29.
- DYER, K.R. 1995. "Sediment transport processes in estuaries". In Geomorphology and Sedimentology of Estuaries, G.M.E. Perillo (ed.). Developments in Sedimentology, 53. Elsevier Science, pp. 423-449.
- 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, Cato I (eds) Chemistry and biogeochemistry of estuaries. Wiley
- FISCHER, H. B.1976. Mixing and dispersion in estuaries. *Annual Review of Fluid Mechanics*. 8:107-133.
- FRENCH, PW 1997. Coastal and Estuarine Management. London, Routledge. 251 p.
- GARTNER, J. W. 2002. Estimation of suspended solids concentrations based on acoustic backscatter intensity: Theoretical background. *Turbidity and Others Surrogates Workshop*, april30 - may2nd , 2002, Reno, NV.
- HANSEN, D.V. & RATTRAY, M. 1966. New dimensions on estuarine classification. *Limnology and Oceanography*, 11:319-326.
- HERZ, R, 1991. Manguezais do Brasil. Ed. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- HODGSON, G. & DIXON, J.A. 2000. El Nido revisited: Ecotourism, logging and fisheries, pp. 55-67. In: Collected essays on the economics of coral reefs. CORDIO. Herman S.J. Cesar Editor, 244p.
- HUNKINS, K.1981. Salt dispersion in the Hudson estuary. *J. physl oceanogr*. 11:729-738.
- KJERFVE, B. 1986. Circulation and salt flux in a well mixed estuary. In: Van de Kjerfve, J. (Ed). *Physics of Shallow Estuaries and Bays*. Berlin, Spring-Verlag. p.22-29.
- LABOREL, J. 1970. Les peuplements de madréporaires des cotes tropicales du Brésil. **Ann. Univ. Abidjan**. (série E) 2 (3): 1-260.
- LEÃO, Z. M. A. N. 1996. The coral reefs of Bahia: morphology, distribution and the

major environmental impacts. **An. Acad. bras. Ci.** **68** (3): 339-452.

LEÃO, Z.M.A.N. & GINSBURG, R.N. 1997. Living reefs surrounded by siliciclastic sediments: The Abrolhos coastal reefs, Bahia, Brazil. Proceedings of 8<sup>th</sup> Int. Coral Reef Sym. 2:1767-1772.

LEIPE, T.; KNOPPERS, B.; MARONE, E. & CAMARGO, R. 1999. Suspended matter transport in coral reef waters of the Abrolhos bank Brazil. *Geo-Marine Letters*, 19:186-195.

LESSA, G.C. & CIRANO, M. 2006. On the circulation of a coastal channel within the Abrolhos Coral-Reef system-Southern Bahia, Brazil. *J. Coast. Res.*, 39(SI):450-453.

LOPES, R. & DUTZ, J. 1996. Zooplankton. Pages 38-39 in: W. Ekau and B. Knoppers, comps. **Sedimentation processes and productivity in the continental shelf waters of East and Northeast Brazil. Joint Oceanographic Projects. JOPS II. Cruise report and first results.** Center for tropical marine ecology, Bremen.

LOYA, Y. 1976. Effects of water turbidity and sedimentation on the community structure of Puerto Rican corals. *Bull. Mar. Sci.*, 26(4):450-466.

MARONE, E. & CAMARGO, R. 1996. Leg 3: physical oceanography. Pages 35-36 in W. Ekau and B. Knoppers, comps. **Sedimentation processes and productivity in the continental shelf waters of East and Northeast Brazil. Joint Oceanographic Projects. JOPS II. Cruise report and first results.** Center for tropical marine ecology, Bremen.

MAIDA, M. & FERREIRA, B. P. 1997. Coral reefs of Brazil: an overview. **Proc. 8th Int. Coral Reef Symp.**, Panama 1: 263-274.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. 2002. Princípios de oceanografia física de estuários. São Paulo, Edusp. 414p.

MORAES, A. C. R. 2007. Contribuições para a Gestão da Zona Costeira do Brasil. Elementos para uma Geografia do Litoral Brasileiro. 2<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Annablume. 232 p.

NORTEK TECHNICAL NOTES, 2001. Monitoring Sediment Concentration with Acoustic Backscattering Instruments. *Nortek technical note* No. 003. 5p.

ONU. As Situações das Cidades no Mundo. Relatório Global sobre as Aglomerações Humanas. Nações Unidas, 1996.

- PERILLO, G.M.E. 1995. Definitions and geomorphologic classifications of estuaries. In: PERILLO, G.M.E. (Ed.) **Geomorphology and sedimentology of estuaries**. New York, Elsevier, pp. 17-47.
- PRITCHARD, D.W. 1955. Estuarine Circulation Patterns. Proc. Amer. Soc. Civil Eng., 81 (Separate 717), p. 1-11.
- ROGERS, C.S. 1990. Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. Marine Ecol. Prog. Series, 62:185-202.
- SCHETTINI, C. A. F. & MIRANDA, L. B. Circulation and suspended particulate matter transport in a tidally dominated estuary: Caravelas estuary, Bahia, Brazil. (submetido).
- SIEGLE, E. ; SCHETTINI, C. A. F. ; KLEIN, A. H. F. ; TOLDO JR, E. E. . Hydrodynamics and suspended sediment transport in the Camboriú estuary - Brazil: pre jetty conditions. Brazilian Journal of Oceanography, v. 57, p. 123-135, 2009.
- SRHSH - Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação. Bahia. 1997. **Plano Diretor de Recursos Hídricos: Bacias Hidrográficas do Extremo Sul; documento síntese**. Salvador: HYDROS. 432 p
- SUMMERHAYES, C.; MELO, U.D.; BARRETO, H. 1976. The influence of upwelling on suspended matter and shelf sediments off southeastern Brazil. J. Sedimentary Petrology, 46(4):819-828.
- TEIXEIRA, C.E.P. 2006. Caracterização e Variabilidade da Hidrodinâmica da Zona Costeira Adjacente ao Banco de Abrolhos. São Paulo, MSc Dissertação. Instituto Oceanográfico da USP, SP, 93 p.
- Van KATWIJK, M.M.; MEIER, N.F.; van LOON, R.; HOVE, E.M.; GIESEN, W.B.J.T.; van der VELDE, G. & den HARTOG, C. 1993. Sabaki river sediment load and coral stress: correlation between sediments and condition of the Malindi-Watamu reefs in Kenya (Indian Ocean). Mar Biol 117, 675-683.
- WRIGHT, L.D. & NITTROUER, C.A. 1995 Dispersal of river sediments in coastal seas: six contrasting cases. *Estuaries*, 18(3):494-508.
- ZALESKI, A. R., SCHETTINI, C. A. F. 2006. Procedimentos para Calibração de Perfiladores Acústicos de Corrente por efeito Doppler na Determinação da Concentração de Material Particulado em Suspensão na Água. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre, v. 11, p. 201-208.

**ANEXO 1: Carta de submissão do artigo para Revista Brasileira de Geofísica (RBGF)**