

MACRO-AGREGADOS EM  
SUSPENSÃO NA BAÍA DE  
TODOS OS SANTOS:  
COMPOSIÇÃO, DISTRIBUIÇÃO E  
COMPORTAMENTO  
HIDRODINÂMICO





**Macro-agregados em suspensão na Baía de Todos os Santos:  
composição, distribuição e comportamento hidrodinâmico**

por

WEDERSON PEREIRA OLIVEIRA

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Camargo Lessa

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Submetida em satisfação parcial dos requisitos ao grau de

MESTRE EM CIÊNCIAS

EM

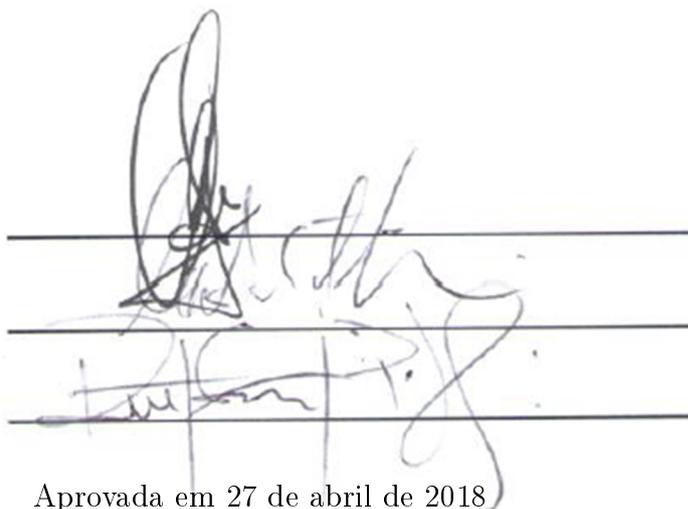
GEOFÍSICA

ao

Conselho Acadêmico de Ensino

da

Universidade Federal da Bahia



Comissão Examinadora

Dr. Guilherme Camargo Lessa

Dr. Carlos Augusto França Schettini

Dr. Ruy Kenji Papa de Kikuchi

Aprovada em 27 de abril de 2018

Oliveira, Wederson Pereira

Macro-agregados em suspensão na Baía de Todos os Santos: composição, distribuição e comportamento hidrodinâmico / Wederson Pereira Oliveira. -- Salvador, 2018.

67 f. : il

Orientador: Guilherme Camargo Lessa.

Dissertação (Mestrado - Pós-Graduação em Geofísica) -- Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, 2018.

1. Estuário. 2. Baía de Todos os Santos. 3. Sedimentos. 4. Agregados. 5. Velocidade de Decantação. I. Lessa, Guilherme Camargo. II. Título.

*Dedico a todos aqueles que estiveram  
ao meu lado nessa jornada.*

# Resumo

O material particulado em suspensão no meio marinho ocorre na forma de flocos e agregados de flocos, sendo que sua velocidade de decantação é diretamente proporcional ao tamanho. Como o tamanho dos agregados é inversamente proporcional à velocidade do fluxo, suas dimensões tendem a ser menores em regiões costeiras confinadas onde a energia do escoamento é maior, como em estuários, onde seu tamanho é limitado a alguns milímetros. Ao longo de atividades de monitoramento oceanográfico na Baía de Todos os Santos (BTS), foram observadas concentrações muito elevadas de agregados filamentosos com proporções decimétricas, excessivamente grandes para este tipo de ambiente. O objetivo deste trabalho é documentar a existência destes agregados na BTS, e determinar suas características físicas, hidrodinâmicas e composicionais. Para tanto, mapeou-se diferentes setores da BTS para obter dados referentes à morfometria, distribuição e composição; mediu-se o fluxo vertical do material em suspensão e a velocidade média de decantação dos filamentos em 14 campanhas ocorridas entre 2015-2017. Os resultados mostraram que a maior concentração deste particulado ocorre na região central da baía, especialmente na água de fundo. Sua morfologia é caracterizada por distribuição de massa irregular ao longo de sua estrutura, que é constituída majoritariamente de material inorgânico (>80 %), e exibe presença de fitoplânctons, especialmente diatomáceas, bem como o meio em que é encontrado. A medição do fluxo vertical de sedimentos e da concentração de agregados em suspensão (CAS) em paralelo, demonstra o papel que este particulado tem no processo de deposição do sedimento dentro da baía, especialmente quando considerado à sua velocidade média de decantação ( $\sim 20 \text{ mm s}^{-1}$ ), que é acima dos valores médios para flocos tipicamente grandes de região estuarina. Dada a elevada velocidade de decantação e comum alta concentração junto ao fundo, a possibilidade de dispersão dos macro-agregados para fora da BTS se torna reduzida. Os altos valores de fluxos verticais de sedimento podem indicar o potencial deste particulado na retenção de sedimentos finos dentro da baía.

# Abstract

Ocean monitoring activities at Baía de Todos os Santos (BTS) allowed for the observation of very high concentrations of large filamentous aggregates (macro-aggregates) for this type of environment, whose strong hydrodynamic regime promotes particle disintegration. Knowing the importance of larger flocs in the transport of sediment to the bottom, this work aims to document the existence of suspended aggregates in the BTS, and to determine their physical, hydrodynamic and compositional characteristics. For this, different sectors of the BTS were mapped to investigate the aggregate's concentration, their morphometry (size, area and volume) and composition. The vertical flow of the suspended particulate matter (SPM) and the average settling velocity of macro-aggregates were quantified. The results showed that the highest concentration of macro-aggregates occurs in the central region of the bay, especially close to the bottom. Their morphology is characterized by irregular mass concentration along its structure, which is constituted mostly of inorganic material (>80 %) encompassing diatom shells and mineral particles. The aggregate's settling speed (mean settling velocity  $\sim 20 \text{ mm s}^{-1}$ ) and concentration indicate they have an important role in speeding sediment deposition inside the bay. High values of vertical sediment fluxes hinder the dispersion of the SPM out of the BTS.

# Índice

<b>Resumo</b> . . . . .	4
<b>Abstract</b> . . . . .	5
<b>Índice</b> . . . . .	6
<b>Índice de Tabelas</b> . . . . .	8
<b>Índice de Figuras</b> . . . . .	9
<b>1 Introdução</b> . . . . .	18
1.1 Caracterização da Área de Estudo . . . . .	21
<b>2 Metodologia</b> . . . . .	24
2.1 Medição do Fluxo Vertical de Sedimentos . . . . .	27
2.2 Determinação da Concentração de Agregados em Suspensão . . . . .	28
2.3 Morfometria, Velocidade de Queda e Densidade dos Agregados . . . . .	30
2.4 Processamento das Imagens . . . . .	32
2.5 Monitoramento do Campo Termohalino . . . . .	33
2.6 Perfis Longitudinais do Campo Termohalino e MPS (2012-2015) . . . . .	34
<b>3 Resultados</b> . . . . .	36
3.1 Características dos Macro-agregados . . . . .	36
3.2 Campo Termohalino (Campanhas 2012-2015) . . . . .	38
3.3 Campo Termohalino (Campanhas 2015-2017) . . . . .	41
3.4 MPS (Campanhas 2012-2015) . . . . .	42
3.5 MPS (Campanhas 2015-2017) . . . . .	46
3.6 Fluxo Vertical de Sedimentos . . . . .	48
3.7 Concentração e Teor Inorgânico dos Agregados em Suspensão . . . . .	50
3.8 Velocidade de Queda e Densidade Efetiva dos Macro-agregados . . . . .	54
<b>4 Discussão</b> . . . . .	57

---

<b>5 Conclusão</b> . . . . .	62
<b>Agradecimentos</b> . . . . .	64
<b>Referências Bibliográficas</b> . . . . .	65

# Índice de Tabelas

2.1	Relação das campanhas de 2015-2017, com discriminação da data, hora, condição de maré, precipitação acumulada nas 24 horas (7 dias) anteriores à campanha, radiação solar média dos 2 dias anteriores à campanha, descarga média da barragem de Pedra do Cavalo na semana anterior à campanha. . . . .	25
2.2	Dados obtidos nas 14 campanhas realizadas entre 2015-2017. Temperatura, salinidade e densidade da água, concentração de sedimento em suspensão (CSS), fluxo vertical de sedimentos, gravações de vídeo de decantação de partículas in situ (+campanha extra realizada em fevereiro de 2017) e mapeamento da concentração de agregados em suspensão (CAS). . . . .	26
2.3	Ordem de visitação dos pontos monitorados em cada campanha para estudo de CAS. A quantidade de asterisco representa o número de amostras coletadas (1 a 3), referentes às profundidades 5, 12,5 e 20 m. . . . .	29
2.4	Mês e condição de maré referente às campanhas feitas em 2012-2015. . . . .	35
3.1	Valor da densidade efetiva dos macro-agregados calculados a partir do valor médio, mínimo e máximo de densidade da água. Na última coluna, a porcentagem de variação entre os valores obtidos. . . . .	56

# Índice de Figuras

1.1	Localização da Baía de Todos os Santos, seus contornos batimétricos e linhas de drenagem continental. Triângulos amarelos indicam os pontos monitorados entre 2012-2015. Triângulos pretos indicam os pontos monitorados entre 2015-2017. . . . .	23
2.1	Trajeto percorrido pelos derivadores a partir do ponto inicial (círculos) nas campanhas 1 a 6 e 10, realizadas entre 2015-2017. . . . .	26
2.2	Esquema do posicionamento (A) e fotografia (B) das armadilhas de sedimento associadas aos derivadores, utilizadas para quantificar o fluxo vertical de sedimentos. . . . .	28
2.3	Esquema do posicionamento (A) e fotografia (B) do coletor de agregados em suspensão em operação, e estrutura utilizada para remoção do material retido com o uso de vaporizador de água (C). . . . .	30
2.4	Modelos de câmara de decantação desenvolvidos para obter os dados morfométricos e a velocidade de queda dos macro-agregados. Em A, a câmara não foi fixada para permitir mobilidade, em B, a câmara esteve presa a boias na superfície. Em C, a câmara era fixada ao fundo, sua extensão (1 m) e capacidade de controle do fluxo pelas portas corredeiras permitiram sucesso no controle da turbulência, diferentemente dos modelos anteriores. . . . .	31
2.5	Câmara de decantação (esquerda). Câmara de decantação fixada no fundo (direita), direcionada contra a corrente e acompanhada de perto por um mergulhador para operacionalizar seu funcionamento. . . . .	32
2.6	Evolução da decantação de um macro-agregado (A e B), e seu contorno (C) feito com a ferramenta <i>Polygon Selection</i> para medição de área e volume. . .	33
2.7	CTD + garrafa de Niskin (A), sensor HOBO (B) e refratômetro ATC (C) . .	34
3.1	Macro-agregados exibindo diferentes tamanhos e formas. . . . .	37

3.2	Imagens de macro-agregados encontrados em suspensão (A) e no assoalho (I). Presença de fitoplânctons (diatomáceas) na estrutura dos macro-agregados em imagens feitas por microscópio (C, D e E), e também de partículas orgânicas (E) e minerais (F) na estrutura dos macro-agregados pós-calcinados. Macro-agregados aglomerados em recipiente de armazenamento (G), e exibindo diferentes colorações (H). . . . .	38
3.3	Perfis longitudinais médios de temperatura (A e B), salinidade (C e D) e densidade (E e F) entre 2012-2015, para maré de quadratura (esquerda) e sizígia (direita). O perfil se estende da estação #1 (0 km) até a estação #10 (46 km). . . . .	40
3.4	Desvio padrão médio dos perfis de temperatura (A e B), salinidade (C e D) e densidade (E e F) entre 2012-2015, para maré de quadratura (esquerda) e sizígia (direita). O perfil se estende da estação #1 (0 km) até a estação #10 (46 km). . . . .	41
3.5	Valor médio e desvio padrão da temperatura, salinidade e densidade da água nas 14 campanhas realizadas em 2015-2017. . . . .	42
3.6	Relação do SRO (NTU) e CSS ( $\text{mg l}^{-1}$ ) para as estações #1, #4, #7 e #10, em superfície (S) e fundo (F), com as respectivas equações de conversão e coeficientes de correlação ( $R^2$ ). . . . .	44
3.7	Perfis longitudinais médios de CSS entre 2012-2015, para maré de quadratura (A) e sizígia (B), e o desvio padrão médio para as respectivas condições de maré (C e D). O perfil se estende da estação #1 (0 km) até a estação #10 (46 km). . . . .	45
3.8	Interpolação do teor do material inorgânico (MI) no tempo e espaço de amostras de MPS coletados em superfície (A) e fundo (B) em maré de quadratura, e superfície (C) e fundo (D) em maré de sizígia. . . . .	46
3.9	Momento inicial e final (marcados com x) das amostragens nas 6 primeiras campanhas (C1 – C6) de 2015-2017, em relação à altura da maré. . . . .	47
3.10	CSS (A) e MI (B) das amostras de água nas 6 primeiras campanhas de 2015-2017. . . . .	48
3.11	Fluxo vertical de sedimentos (A) e MI associado (B) em cada profundidade, nas campanhas 1 a 6 e 10 de 2015-2017. . . . .	49
3.12	Fluxo vertical de sedimentos versus CSS. . . . .	49
3.13	Teor de MI dos macro-agregados coletados por mergulho nas 6 primeiras campanhas de 2015-2017. . . . .	50

---

3.14	CAS (A) e MI (B) médio (e desvio padrão) dos pontos monitorados entre 2015-2017. Cada profundidade está referenciada por S (5 m), M (12,5 m) e F (20 m). . . . .	51
3.15	Mapa ilustrando os valores médios de CAS (círculos azuis) e MI associado (círculos brancos) de cada região, acompanhados dos valores mínimos e máximos como referência, nas profundidades de 5 m (A), 12,5 m (B) e 20 m (C). . . .	52
3.16	Dados de CAS (A) e MI (B) da campanha 10 (3/8/17) realizada próxima ao ponto 3 (Fig. 1.1). Os dados foram coletados em intervalos horários durante maré de enchente (C) nos momentos indicados pelos marcadores (x). . . . .	53
3.17	Relação da área (esquerda) e volume (direita) com o comprimento dos agregados.	54
3.18	Relação do comprimento total (A), comprimento do eixo menor (B), área (C) e volume (C) com a velocidade de decantação dos agregados. . . . .	55
3.19	Densidade efetiva dos 18 macro-agregados estudados (A). Relação da densidade efetiva e do comprimento dos macro-agregados (B). . . . .	56

# 1

## Introdução

Estuários em todo o mundo recebem de seus afluentes fluviais cerca de 20 bilhões de toneladas de material particulado e dissolvido por ano (Milliman, 2001). Parte do material tende a ser transportado para os oceanos por processos dispersivos associados às correntes de maré e processos advectivos associados a um fluxo médio (Monsen et al., 2002), este último também chamado de circulação não-mareal, que é dependente do fluxo de água doce e da dinâmica das marés (Hansen e Rattray, 1966). Durante o deslocamento, o material particulado experimenta ciclos de deposição e ressuspensão decorrentes da mudança da magnitude média das correntes, com deposição de partículas maiores nos curtos momentos de estufa de maré, e ressuspensão do material de fundo pela ação de fluxos mais velozes e turbulentos (Bass et al., 2007; Manning e Schoellhamer, 2013). A circulação não-mareal em estuários geralmente se estrutura em duas camadas, como consequência da circulação gravitacional promovida por gradientes longitudinais de densidade. Neste caso, fluxos médios em direção ao interior do estuário se estabelecem na metade inferior da lâmina d'água, e fluxos médios direcionados para o oceano se estabelecem próximo à superfície (Geyer, 2010; Valle-Levinson, 2010). Como consequência, o sedimento em suspensão pode manter-se retido dentro do estuário caso sua velocidade de decantação seja elevada, e sua distribuição ocorra preferencialmente na porção inferior da coluna d'água.

O material particulado em suspensão (MPS) incorpora sedimentos de tamanho silte e argila, a partir de fontes minerais proveniente da erosão de rochas, e fontes orgânicas relacionadas a detritos vegetais (marinhos ou autóctones e continentais ou alóctones), plâncton e bactérias (Moura, 1979; Eisma, 1986; Panpenmeier et al., 2014). Partículas minerais e

orgânicas se aglutinam, ou floculam, nos estuários devido à redução da magnitude das forças repulsivas entre partículas e pela contribuição de polímeros orgânicos atuando como material adesivo (Van der Lee, 2000; Hogg, 2005). Como resultado, são formados os flocos, que em função do tamanho, podem ser classificados em microflocos e macroflocos. Microflocos são as partículas com tamanho máximo de  $160 \mu\text{m}$  (Manning et al., 2006), apresentam maior densidade, menor porosidade e estrutura mais resistente à quebra. Macroflocos são agregados de microflocos, apresentam menor densidade, maior porosidade e estrutura menos resistente à ruptura do que os flocos menores (Eisma, 1986; Van der Lee, 2000; Markussen e Andersen, 2014).

O tamanho dos flocos e agregados é influenciado tanto por processos de agregação (promovidos por decantação diferencial, movimento browniano, alimentação animal e metabolismo de algas) como desagregação (Dyer e Manning, 1999). Esses processos dependem largamente da hidrodinâmica, pois fluxos com baixo (alto) grau de cisalhamento promovem floculação (desagregação) (Dyer e Manning, 1999; Maggi, 2005; Markussen e Andersen, 2014). Em estuários, onde o hidrodinamismo é muito acentuado quando comparado às regiões de mar aberto, o tamanho dos flocos tende a ser menor, e normalmente não alcançam 1 mm no seu maior eixo (Dyer e Manning, 1999; Manning e Bass, 2006; Van Leussen, 2011). Já em mar aberto, agregados conhecidos como ‘neve marinha’ são encontrados variando de milímetros a centímetros. Registros de ‘neve marinha’ medindo alguns decímetros em água superficial podem ser encontrados no trabalho de Passow et al. (2012), após um episódio de derramamento de óleo que ocorreu no Golfo do México. E em situação particular em mares na Itália, Giani et al. (2005) encontraram ‘neve marinha’ com diâmetro acima de 3 metros. Eisma (1986) relata a presença de macroflocos com 10 a 15 cm de comprimento na forma de frágeis filamentos facilmente destruídos pela turbulência, presentes em regiões de baixo hidrodinamismo (velocidades do fluxo =  $0,2 \text{ m s}^{-1}$ ) na plataforma continental da Nova Escócia (Canadá).

Os flocos apresentam grande importância no transporte de material particulado para o fundo, uma vez que decantam mais rapidamente que suas partículas constituintes (Hill et al., 2000; Van der Lee, 2000), podendo ser até 4 ordens de magnitude superior ao de uma partícula individual (Dyer e Manning, 1999). Como a maior parte do MPS que é transportado verticalmente está na forma de macroflocos (Van Leussen, 2011), estes assumem grande importância no processo de sedimentação, já que apresentam velocidades médias de decantação superiores às dos microflocos (Dyer e Manning, 1999; Manning e Bass, 2006; Manning et al., 2007; Van Leussen, 2011).

A velocidade de decantação dos flocos está relacionada ao seu tamanho, o qual é hidro-

dinamicamente limitado pela microescala de Kolmogorov (Soulsby et al., 2013). Esta é inversamente proporcional ao cubo da velocidade média do fluxo, e desta forma o tamanho dos flocos em suspensão é reduzido em partes menores sob fluxos mais turbulentos, já que vórtices de pequena escala geram cisalhamento ao longo de sua estrutura (Dyer e Manning, 1999). De acordo com Eisma (1986), a microescala de Kolmogorov em estuários tem valores inferiores a  $10^{-3}$  m, o qual é também o diâmetro máximo dos macroflocos em suspensão nestes ambientes. Maiores velocidades de decantação do MPS diminuem os níveis de turbidez da água, aumentam a extensão da zona fótica e produção primária, diminuem os níveis de eutrofização e concentração de nutrientes e contaminantes (Allan, 1986; McNally e Mehta, 2004). Altas velocidades de decantação causam também maiores taxas de sedimentação e sequestro de nutrientes e poluentes que se aderem aos sedimentos finos (Allan, 1986). Por outro lado, processos de sedimentação mais ativos elevam as taxas de assoreamento e aumentam a necessidade de operações de dragagens em regiões com tráfego náutico.

Atividades de monitoramento oceanográfico realizadas durante 3 anos (2012-2015) na Baía de Todos os Santos (BTS – Fig. 1.1) permitiram a observação de concentrações muito elevadas de agregados filamentosos em sua porção central. A BTS apresenta fortes correntes de maré (cerca de  $1 \text{ m s}^{-1}$ ) e circulação gravitacional bem estabelecida (Cirano e Lessa, 2007; Lessa et al., 2009; Pereira e Lessa, 2009; Lessa et al., 2018; Santana et al., 2018). Apesar do intenso hidrodinamismo, os agregados observados possuem comprimentos que alcançam alguns decímetros, sendo pelo menos 1 ordem de magnitude superior às comuns dimensões de macroflocos citadas na bibliografia para ambientes estuarinos.

Os estudos sobre o material particulado em suspensão na BTS (Moura, 1979; Wolgemuth et al., 1981; Barreto e Paredes, 1995; Santos, 2005; Oliveira, 2014) abordaram aspectos gerais como a distribuição e composição destes na coluna d'água. Uma breve avaliação da estrutura dos agregados observados indica se tratar de um aglomerado sustentado por substância gelatinosa, o que estaria permitindo atingir tamanhos extraordinários, ainda não reportados para a região. Por esta razão, estes aglomerados serão aqui chamados de macro-agregados. Sabendo-se da importância de macroflocos no transporte vertical de sedimento, estabeleceu-se a hipótese de que esses macro-agregados causam um acentuado aumento da taxa de decantação do material particulado na Baía de Todos os Santos. Diante disso, o objetivo principal deste estudo é documentar a existência de macro-agregados encontrados em suspensão na Baía de Todos os Santos, e estudar suas características físicas, hidrodinâmicas e composicionais.

Como objetivos específicos são listados:

- Mapear a distribuição dos macro-agregados e identificar sua potencial área de formação;
- Mapear a concentração e o fluxo vertical de sedimentos em diferentes profundidades, e estudar sua composição (teor inorgânico/orgânico);
- Determinar a velocidade de decantação e densidade dos macro-agregados, e verificar as correlações destas com os dados morfométricos.

## 1.1 Caracterização da Área de Estudo

A Baía de Todos os Santos (Fig. 1.1), com uma área de 1223 km<sup>2</sup> e profundidade média aproximada de 10 metros, é considerada um sistema estuarino bem misturado, com gradientes longitudinais de densidade capazes de estabelecer uma circulação gravitacional com velocidades superiores a 0,2 m s<sup>-1</sup> (Cirano e Lessa, 2007; Santana et al., 2018; Lessa et al., 2018). Lessa et al. (2001) mostram que a BTS possui características oceanográficas marinhas, com maré semi-diurna e correntes mais fortes durante maré de vazante, que podem alcançar 1 m s<sup>-1</sup> no canal de Salvador.

Trabalhos pretéritos mostraram que a temperatura e salinidade média no eixo de escoamento principal da BTS (entre o canal de Salvador e o canal de São Roque) é cerca de 27,5 °C e 36 PSU, variando para mais e para menos em 3 °C e 3,5 PSU (Wolgemuth et al., 1981; Cirano e Lessa, 2007; Oliveira, 2014; Rodrigues, 2016). Em situação normal, a densidade da água na BTS é de aproximadamente 1023 kg m<sup>-3</sup>, mas alcançou valores de 1025 kg m<sup>-3</sup> durante o verão de 2013, quando o centro da baía se tornou hipersalino (Rodrigues, 2016). A variação espacial dessas propriedades é diferente ao longo do eixo central, com maiores valores de salinidade e densidade a leste (canal de Salvador) e menores a oeste (canal de São Roque), enquanto a temperatura apresenta o padrão oposto.

Com base em Dominguez e Bittencourt (2009), que levantaram trabalhos a respeito dos sedimentos de fundo na BTS, a entrada da baía é caracterizada por fácies de areia quartzosa com predominância de quartzo e biodetritos. Uma litofácies mista ocorre na porção central da baía, composta de areia quartzosa, lama e biodetritos, e uma litofácies silto-argilosa é observada na metade norte da BTS. Uma litofácies de areia com cascalho biodetrítico é mapeada nas bordas das principais ilhas e margem oeste da BTS. De acordo com Lima e Lessa (2001), a BTS possui 3 principais bacias de drenagem: o rio Paraguaçu, rio Jaguaripe e rio Subaé. O rio Paraguaçu, localizado ao noroeste da BTS, possui a maior área de drenagem

em relação aos demais cursos d'água, com total de 92,1 %, e tem sua descarga controlada pela barragem de Pedra do Cavalo, situada à montante da Baía de Iguape. O rio Jaguaripe, localizado ao sudoeste da BTS, possui uma área de drenagem equivalente a 3,6 %, enquanto que o rio Subaé, situado ao norte, possui uma área de drenagem igual a 1,1 %. Além dos citados, uma série de pequenos cursos d'água completam o aporte de água doce na baía via continente, e somados, representam uma área de drenagem de 3,2 % (Lessa et al., 2009). Em função da sazonalidade climática da região, os picos de descarga dos rios Jaguaripe, Subaé e dos pequenos cursos d'água ocorre durante o outono, enquanto que os picos de descarga do rio Paraguaçu acontecem no verão (Lessa et al., 2009), apesar deste último ter seu fluxo controlado pela barragem.

Estudos da distribuição do MPS na BTS foram feitos por Moura (1979), Wolgemuth et al. (1981), Barreto e Paredes (1995), Santos (2005) e Oliveira (2014). Foi identificado que as maiores concentrações de sedimento em suspensão (CSS) ocorrem na parte interna da baía (oeste) e as menores na entrada da baía (leste). Moura (1979), estudando a CSS durante 3 meses do período chuvoso, encontrou valores entre  $2,5 \text{ mg l}^{-1}$ , da entrada ao centro da baía, e  $>18 \text{ mg l}^{-1}$  no setor mais interno da baía, na desembocadura do rio Paraguaçu, na Baía de Iguape. Wolgemuth et al. (1981) avaliaram a CSS em 3 estações localizadas no eixo central da BTS. Os valores médios encontrados foram entre  $1,5 \text{ mg l}^{-1}$  e  $3,5 \text{ mg l}^{-1}$ , enquanto que no canal de São Roque, Barreto e Paredes (1995) identificaram valores entre  $10 \text{ mg l}^{-1}$  e  $70 \text{ mg l}^{-1}$ . Os estudos feitos por Santos (2005) ocorreram em três pontos na borda da BTS (Baías de Iguape, estuário do rio Subaé e Baía da Ribeira), para um ciclo completo de maré de sizígia, reportando valores entre  $17 \text{ mg l}^{-1}$  e  $50 \text{ mg l}^{-1}$ . Considerando a série temporal mais extensa entre os trabalhos citados, feita por Oliveira (2014) ao longo de 33 campanhas feitas no período de 2 anos, verifica-se que a variação longitudinal leste/oeste é de  $3 \text{ mg l}^{-1}$  a  $10 \text{ mg l}^{-1}$  em quadratura, e  $5 \text{ mg l}^{-1}$  a  $>25 \text{ mg l}^{-1}$  em sizígia.

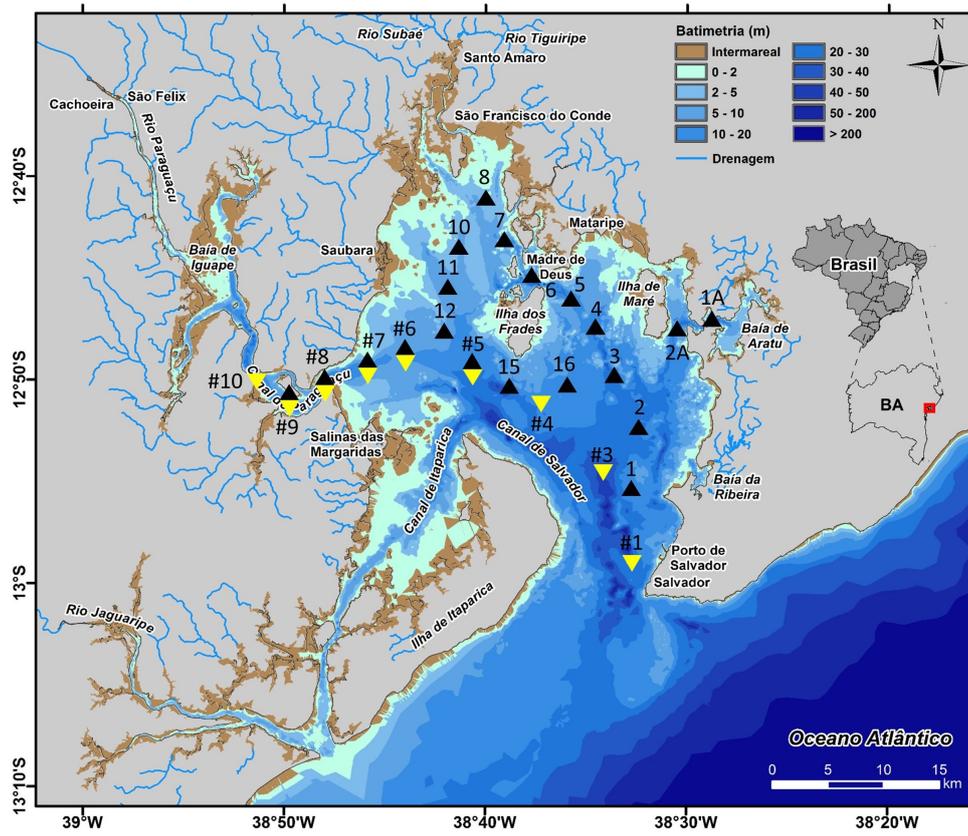


Figure 1.1: Localização da Baía de Todos os Santos, seus contornos batimétricos e linhas de drenagem continental. Triângulos amarelos indicam os pontos monitorados entre 2012-2015. Triângulos pretos indicam os pontos monitorados entre 2015-2017.

# 2

## Metodologia

Para investigação dos macro-agregados foram executadas 14 campanhas entre maio de 2015 e outubro de 2017. Para conhecer as condições ambientais das campanhas, foram utilizados como referência: as condições de maré previstas pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM); a precipitação acumulada em 24 horas na semana anterior à campanha, medida pela estação de Salvador do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Ondina; a radiação solar média dos últimos 2 dias, também obtida no INMET; e finalmente a descarga média da represa de Pedra do Cavalo na semana que antecedeu à campanha, fornecida pela Votorantim Energia (Tab. 2.1).

As campanhas incluíram testes para desenvolvimento de aparatos para instalação de armadilhas para medir o fluxo vertical de sedimentos, mapeamento da concentração de agregados em suspensão (CAS), documentação da morfometria e medição da velocidade de decantação dos macro-agregados, além do monitoramento dos campos termohalino e MPS. Com base em observações feitas em campo, definiu-se dois métodos de coleta, um priorizando as medições do fluxo vertical de sedimentos e outro para o mapeamento da CAS. No primeiro caso, priorizou-se a região central da baía para lançamento das armadilhas de sedimento (Fig. 2.1), já que a maior parte dos agregados haviam sido avistados nessa a região. No segundo caso, definiu-se diversos pontos de coleta em toda a baía para visitação (Fig. 1.1). A relação dos dados coletados em cada campanha encontra-se na Tabela 2.2. Os procedimentos para a coleta de dados em campo e processamento das amostras em laboratório serão detalhados a seguir.

Campanha	Data e Hora	Maré	Prec. (mm)	Rad. Solar (kJ m <sup>-2</sup> )	P. do Cavalo (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )
1	29 Mai 15 8:25 - 12:30	Quad/Siz (enchente)	6,6 (69,0)	1400	11,6
2	20 Ago 15 6:55 - 12:50	Siz/Quad (vazante)	0,4 (31,4)	1142	96,3
3	2 Dez 15 8:40 - 14:00	Quadratura (vazante)	0 (2,0)	1943	3,2
4	29 Mar 16 7:30 - 13:05	Quadratura (vazante)	6,4 (19,8)	1461	19,2
5	31 Mar 16 9:35 - 15:20	Quadratura (vazante)	0 (15,2)	1528	10,7
6	15 Abr 16 8:40 - 14:40	Quadratura (enc/vaz)	37,0 (49,0)	1306	7,1
7	1 Jul 17 11:00 - 15:30	Quadratura (vazante)	0 (49,6)	1180	3,2
8	19 Jul 17 9:20 - 16:15	Quad/Siz (vazante)	12 (54,6)	1302	3,2
9	2 Ago 17 9:00 - 15:30	Quadratura (enchente)	0 (51,4)	1220	3,2
10	3 Ago 17 9:00 - 14:20	Quadratura (enchente)	0 (50,0)	1279	3,2
11	4 Ago 17 8:20 - 14:00	Quad/Siz (enchente)	0 (39,4)	1318	3,2
12	28 Set 17 7:50 - 13:00	Quadratura (enc/vaz)	0,2 (23,4)	1751	3,2
13	30 Set 17 7:30 - 11:30	Quadratura (enchente)	0 (9,8)	1689	3,2
14	02 Out 17 7:30 - 13:30	Quad/Siz (enchente)	0 (2,4)	1605	3,2

Table 2.1: Relação das campanhas de 2015-2017, com discriminação da data, hora, condição de maré, precipitação acumulada nas 24 horas (7 dias) anteriores à campanha, radiação solar média dos 2 dias anteriores à campanha, descarga média da barragem de Pedra do Cavalo na semana anterior à campanha.

	C1 Mai 15	C2 Ago	C3 Dez	C4 Mar 16	C5 Mar	C6 Abr	C7 Jul 17	C8 Jul	C9 Ago	C10 Ago	C11 Ago	C12 Set	C13 Set	C14 Out
Temp.	X	X	X			X		X	X	X	X	X	X	X
Sal.	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X
Dens.	X	X	X											
CSS	X	X	X	X	X	X								
Fluxo	X	X	X	X	X	X				X				
Vídeo <sup>+</sup>		X	X	X		X								
CAS							X	X	X	X	X	X	X	X

Table 2.2: Dados obtidos nas 14 campanhas realizadas entre 2015-2017. Temperatura, salinidade e densidade da água, concentração de sedimento em suspensão (CSS), fluxo vertical de sedimentos, gravações de vídeo de decantação de partículas in situ (<sup>+</sup>campanha extra realizada em fevereiro de 2017) e mapeamento da concentração de agregados em suspensão (CAS).

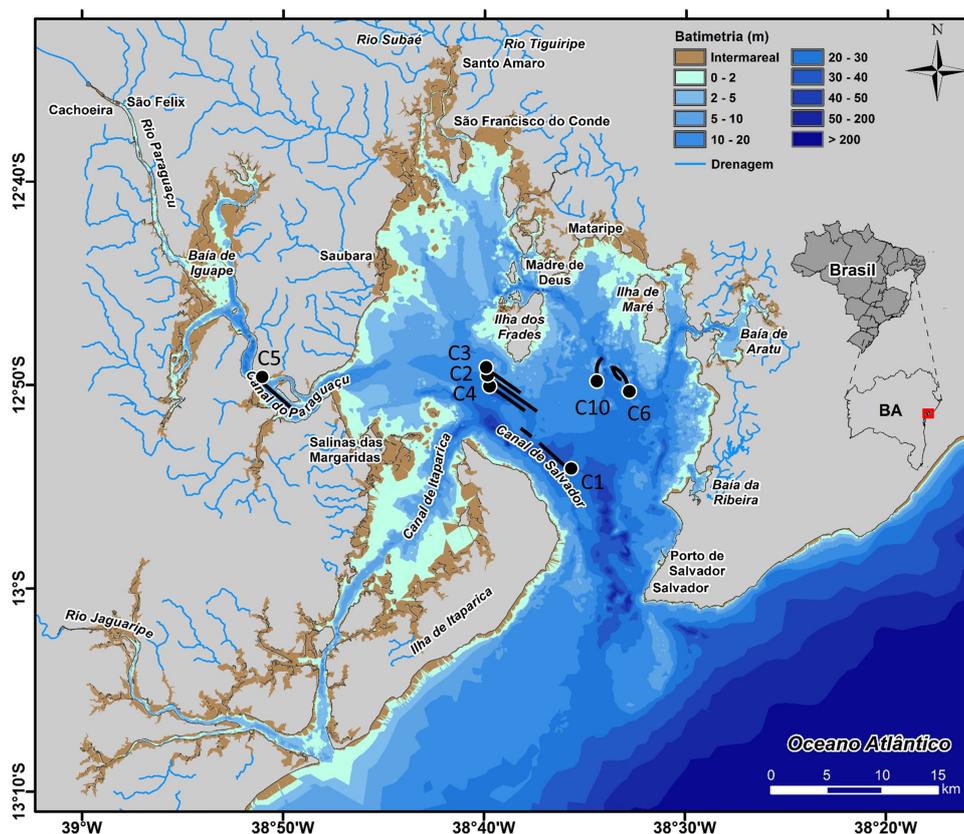


Figure 2.1: Trajeto percorrido pelos derivadores a partir do ponto inicial (círculos) nas campanhas 1 a 6 e 10, realizadas entre 2015-2017.

## 2.1 Medição do Fluxo Vertical de Sedimentos

Armadilhas de sedimento foram desenvolvidas (Fig. 2.2) para medição do fluxo vertical de sedimentos *in situ*, que ocorreu nas campanhas 1 a 6 e na campanha 10. Como explicado, a maior parte das amostragens ocorreu na região central da baía, exceto a campanha 5 que ocorreu no canal de São Roque. Foram utilizados dois conjuntos de coletores idênticos (réplicas) que ficaram à deriva por 6 horas (meio ciclo de maré), mantidos sustentados por boias na superfície e espaçados a 10 metros por cabo. O deslocamento das armadilhas (derivadores) foi registrado em intervalos horários com GPS. Em cada conjunto, 2 tubos coletores com 7,5 cm de diâmetro e 30 cm de comprimento foram posicionados em 3 profundidades (5 m, 12,5 m e 20 m), exceto na campanha 5 (5 m e 12,5 m), devido a menor profundidade da região (extremo oeste da baía). A razão altura/diâmetro dos tubos coletores, igual a 4, é superior ao mínimo (2,3) sugerido por Gardner (1980) para evitar perda de material pela turbulência gerada na boca dos tubos. Ao final do período de coleta as armadilhas eram tampadas por um mergulhador, erguidas à superfície, e transportadas na posição vertical para processamento em laboratório.

Nas campanhas 1 a 6, junto às amostragens por derivadores, amostras de água foram coletadas para a determinação da CSS nas profundidades de 5 m e 20 m (C5 em 5 m e 12,5 m), utilizando uma garrafa de Niskin (Fig. 2.7A) como auxílio. Em laboratório, as amostras foram filtradas em sistema de bomba a vácuo, utilizando filtros de microfibras de vidro (diâmetro de 47 mm e porosidade de 0,7  $\mu\text{m}$ ), pré-calcinados em mufla a uma temperatura de 500 °C por 3 horas. Em cada filtro, após processar a amostra integralmente, foi despejada água deionizada para remoção de sais. Após a filtração, os filtros foram levados à estufa para secar a 45 °C, e então pesados para obtenção da massa. Para determinação do teor inorgânico repetiu-se o processo de calcinação, agora com o material retido nos filtros. Após a calcinação, os filtros foram resfriados no dessecador, para então ser pesados. O teor inorgânico foi obtido pela diferença de peso do filtro antes e após a calcinação. Para controle de qualidade utilizou-se 3 filtros ‘brancos’ nas calcinações.

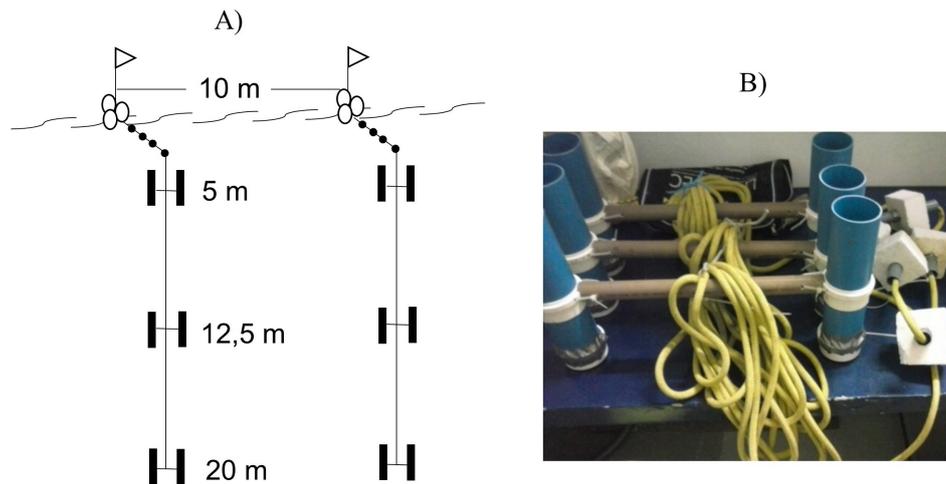


Figure 2.2: Esquema do posicionamento (A) e fotografia (B) das armadilhas de sedimento associadas aos derivadores, utilizadas para quantificar o fluxo vertical de sedimentos.

## 2.2 Determinação da Concentração de Agregados em Suspensão

Foram desenvolvidas perneiras de arrasto para captura de agregados em suspensão em monitoramentos feitos nas campanhas 7 a 14. As estações monitoradas e o número de amostras coletadas (limitado pela profundidade) em cada campanha está exibido na Tabela 2.3. A maioria das campanhas ocorreram num percurso circundando a Ilha dos frades no sentido anti-horário, com diferença das campanhas 11 e 14 que seguiram o sentido inverso. Em duas campanhas o monitoramento envolveu a região nordeste e extremo oeste da BTS, campanhas 7 e 13, respectivamente. Na campanha 10 o monitoramento foi feito próximo ao ponto 3, seguindo o deslocamento das armadilhas de sedimento. Para proceder a amostragem foram desenvolvidas peneiras com diâmetro de 40 cm e abertura de malha de 1 mm, com um leme associado a cada coletor e uma poita ao fundo para manter a posição transversal ao fluxo, estrutura essa que ficou presa ao barco por cabo (Fig. 2.3A). Para certificação da eficiência da malha utilizada, testes com diferentes aberturas de malha foram realizados com auxílio de registros de vídeos feitas por mergulho. As 3 malhas testadas possuíam aberturas de 8x5 mm, 5x3 mm e 1x1 mm, sendo que esta última mostrou maior eficácia na coleta, pela maior retenção de agregados. Assim como os derivadores, as peneiras ocuparam as profundidades de 5, 12,5 e 20 metros, porém, com apenas um coletor em cada profundidade (sem réplicas). A quantificação do fluxo foi feita com um fluxômetro *Hydro-Bios* preso ao coletor de 5 m (e também em 12,5 m nas campanhas 12 a 14). O fluxo de água através do coletor foi calculado pela expressão:

Campanha	Pontos visitados e n° de amostras coletadas (1 a 3)										
C7 1 Jul 17	2	1A	2A								
	***	***	***								
C8 19 Jul 17	1	4	6	8	11	#5	15				
	***	**	***	*	*	**	*				
C9 2 Ago 17	2	3	4	5	6	7	10	11	12	#5	15
	***	***	**	**	***	*	*	*	**	**	**
C11 4 Ago 17	15	#5	12	11	10	7	6	5	4	3	2
	**	**	**	*	*	*	***	**	**	**	***
C12 28 Set 17	2	3	4	5	6	7	10	11	12	#5	15
	***	***	**	**	***	*	*	*	**	**	**
C13 30 Set 17	2	15	#5	#6	#7	#8	#9				
	***	**	**	***	***	**	***				
C14 2 Out 17	1	2	16	15	#5	12	10	7	6	5	4
	***	***	**	**	**	**	*	*	*	**	**

Table 2.3: Ordem de visitação dos pontos monitorados em cada campanha para estudo de CAS. A quantidade de asterisco representa o número de amostras coletadas (1 a 3), referentes às profundidades 5, 12,5 e 20 m.

$$V = A \times R \times C \quad (2.1)$$

Onde  $V$  é o volume de água filtrado,  $A$  é a área da rede ( $0,1256 \text{ m}^2$ ),  $R$  é o número de rotações do fluxômetro e  $C$  é o fator de calibração do fluxômetro (metro por rotação). O fator de calibração ( $\sim 0,3 \text{ m rot}^{-1}$  para ambos) foi determinado a partir de 15 percursos realizados em piscina com distância fixa e tempo cronometrado. Nas 6 primeiras campanhas que antecederam a confecção dos coletores, amostras de macro-agregados estavam sendo coletadas por mergulhadores utilizando seringas para sucção, o que permitiu extrair informações sobre o teor inorgânico. Para remoção do material retido na malha foi utilizado um vaporizador de água (água salgada), com um funil apoiado a um tripé para escoamento da amostra (Fig. 2.3C). O material retido no fundo do funil foi drenado e armazenado em potes plásticos e mantidos à sombra até a chegada em laboratório. Amostras de macro-agregados, tanto em estado natural como calcinadas, foram encaminhadas para análise em microscópio de sua composição. As amostras em estado natural foram conservadas em formol.

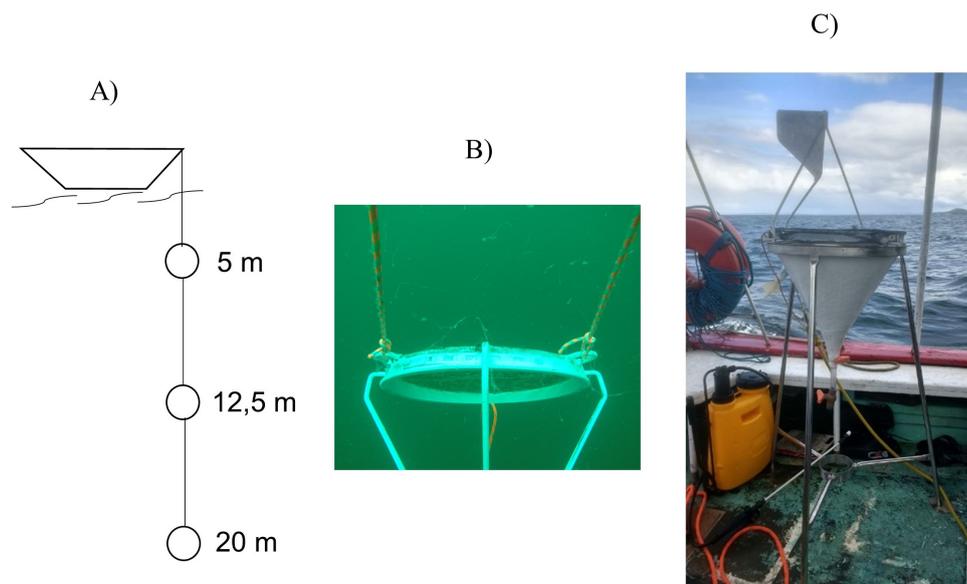


Figure 2.3: Esquema do posicionamento (A) e fotografia (B) do coletor de agregados em suspensão em operação, e estrutura utilizada para remoção do material retido com o uso de vaporizador de água (C).

## 2.3 Morfometria, Velocidade de Queda e Densidade dos Agregados

Três modelos de câmara de decantação (Fig. 2.4) foram desenvolvidos a fim de se obter os dados morfométricos (comprimento, área e volume) e velocidade de queda dos macro-agregados. Os dois primeiros modelos, experimentados nas campanhas 2 e 3, não conseguiram isolar eficientemente o espaço interno da câmara, provocando interferência na queda livre das partículas. Somente o terceiro modelo, desenvolvido na campanha 4, teve sucesso na vedação da turbulência, devido ao seu extenso segmento vertical e capacidade de barrar o fluxo dentro da câmara. As gravações de vídeo in situ ocorreram também na campanha 6, e numa campanha extra realizada em fevereiro de 2017. Construída em formato cilíndrico e em acrílico, a câmara mediu em seu segmento vertical 1 m de altura por 10 cm de diâmetro, e em seu segmento horizontal (primeiro modelo acoplado) 0,5 m de comprimento. Toda essa estrutura de acrílico foi contornada por uma armação de metal para facilitar a fixação junto ao fundo (Fig. 2.5). Seu segmento vertical é mais longo que os 0,11 m necessários para que a velocidade terminal seja alcançada, de acordo com formulações de Allen (1975) e Fennessy et al. (1994). A passagem de fluxo de água ocorreu na parte superior da câmara, através de portas corrediças que permitiram regular o fluxo dentro da câmara e forçar a queda do agregado ao longo do segmento vertical. Na base do segmento foi instalada uma câmera

digital (*GoPro Hero 4*) para registro da queda dos agregados, tendo uma escala milimétrica na parede oposta como referência. A densidade efetiva dos agregados foi estimada com base na equação para determinação da velocidade de queda de partícula em regime turbulento (número de Reynolds  $>2000$ ), segundo a equação proposta por Allen (2001)

$$V_t = 1,74 \sqrt{\frac{gD_p(\rho_p - \rho_f)}{\rho_f}} \quad (2.2)$$

Onde  $V_t$  é a velocidade terminal de queda,  $g$  é a gravidade,  $D_p$  é o diâmetro da partícula,  $\rho_f$  é a densidade do fluido e  $\rho_p$  é a densidade da partícula. Rearranjando a equação acima para extrair a densidade efetiva, correspondente à diferença entre a densidade do fluido e a densidade da partícula, conhecida também como densidade aparente ou densidade excesso, temos

$$(\rho_p - \rho_f) = \left(\frac{V_t}{1,74}\right)^2 \frac{\rho_f}{gD_p} \quad (2.3)$$

A equação acima pressupõe que as partículas tenham formato esférico, o que não é o caso dos macro-agregados. Dessa forma, considerou-se para o cálculo da densidade efetiva o comprimento do eixo menor referente à extremidade inferior do filamento que atravessa a água durante a queda.

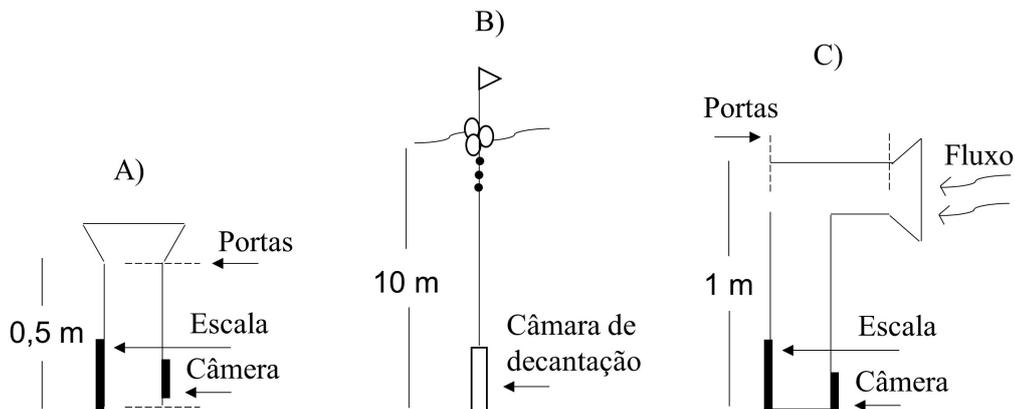


Figure 2.4: Modelos de câmara de decantação desenvolvidos para obter os dados morfométricos e a velocidade de queda dos macro-agregados. Em A, a câmara não foi fixada para permitir mobilidade, em B, a câmara esteve presa a boias na superfície. Em C, a câmara era fixada ao fundo, sua extensão (1 m) e capacidade de controle do fluxo pelas portas corrediças permitiram sucesso no controle da turbulência, diferentemente dos modelos anteriores.

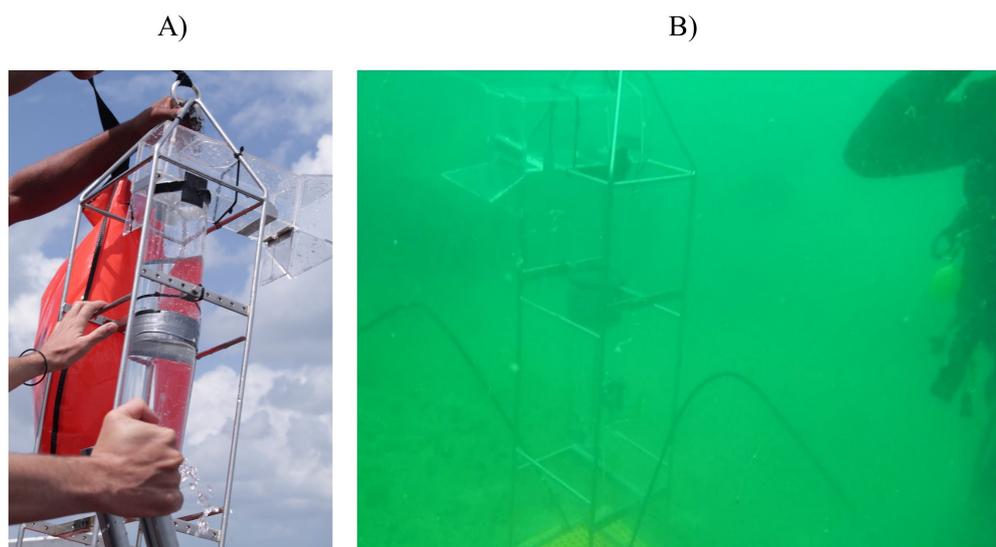


Figure 2.5: Câmara de decantação (esquerda). Câmara de decantação fixada no fundo (direita), direcionada contra a corrente e acompanhada de perto por um mergulhador para operacionalizar seu funcionamento.

## 2.4 Processamento das Imagens

Foram selecionadas imagens com partículas de formato filamentoso (o mais comum) e com contraste adequado para permitir visualização das bordas. A velocidade de decantação foi extraída usando o software Reprodutor de Mídias VLC, a partir do deslocamento médio do filamento a cada segundo (Fig. 2.6). Os dados morfométricos foram obtidos através do software *ImageJ*, com base em imagens congeladas dos filamentos nos vídeos, da seguinte forma: definição da escala através do menu *Analyse > Set Scale*; medição do comprimento do filamento através da ferramenta *Straight*; contorno do filamento através da ferramenta *Polygon Selection* (Fig. 2.6C) para obter a área via *Plugins > Stack > Measure Stack*, e volume via *Image > Stacks > Statistics*.

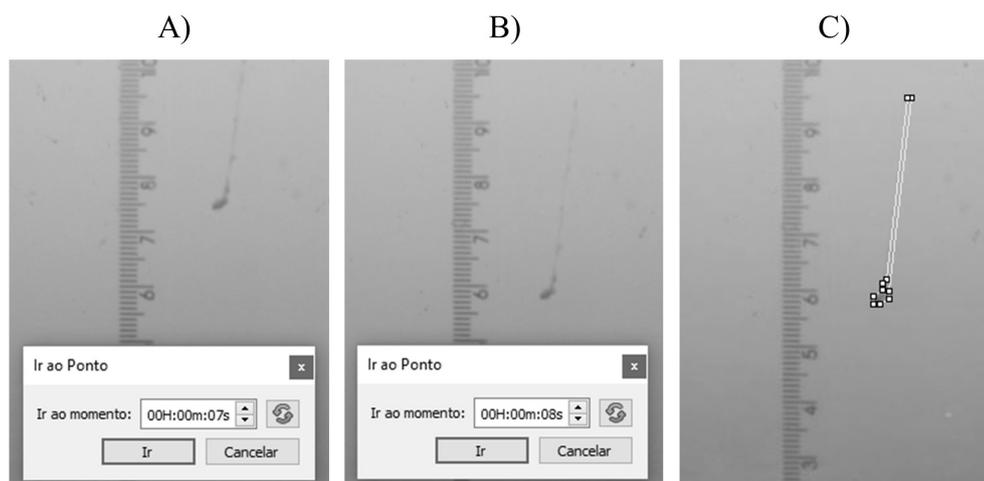


Figure 2.6: Evolução da decantação de um macro-agregado (A e B), e seu contorno (C) feito com a ferramenta *Polygon Selection* para medição de área e volume.

## 2.5 Monitoramento do Campo Termohalino

A temperatura, salinidade e densidade da água, nas 3 primeiras campanhas, foram medidas com CTD *Sea Bird*, modelo SBE 19 *Plus* (Fig. 2.7A). Lançado próximo aos derivadores em intervalos horários (momento de registro da posição destes com GPS), o CTD foi programado para coletar dados a uma frequência de 4 Hz. O CTD esteve inoperante a partir de então, e nas campanhas 4 e 5, dados do campo termohalino não foram obtidos. A temperatura voltou a ser medida a partir da campanha 6 com um sensor HOBO (Fig. 2.7B) posicionado a 5 m de profundidade, registrando dados em intervalos de 1 minuto. A salinidade voltou a ser medida com refratômetro ATC (Fig. 2.7C) a partir da campanha 8. Para suprir a ausência de dados não coletados *in situ*, os gráficos do campo termohalino de 2015-2017 foram preenchidos com valores médios para o período e região, com base em dados de perfis longitudinais feitos entre 2012 e 2015 (descrição a seguir).

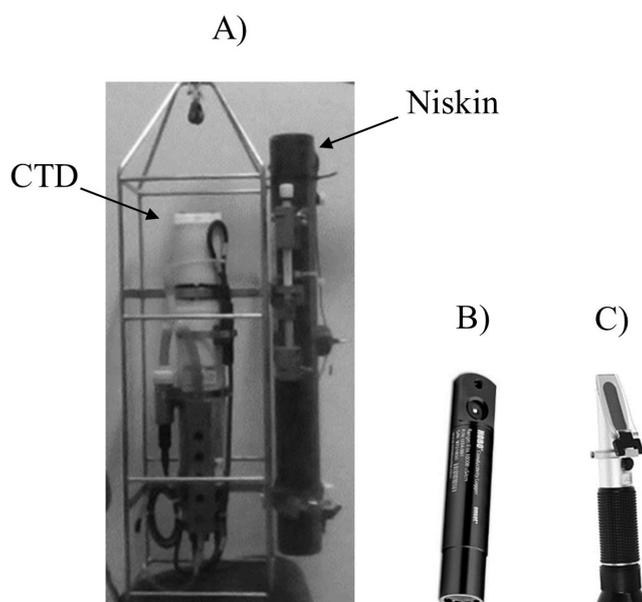


Figure 2.7: CTD + garrafa de Niskin (A), sensor HOBO (B) e refratômetro ATC (C)

## 2.6 Perfis Longitudinais do Campo Termohalino e MPS (2012-2015)

Foram realizadas 41 campanhas, entre maio de 2012 a abril 2015, de perfilagem vertical da coluna d'água com CTD, através de 9 estações distribuídas no eixo central da BTS (Fig. 1.1). Desse total, 29 campanhas foram executadas acompanhando a progressão da preamar (estofa de enchente) de quadratura, e 12 campanhas acompanhando a progressão da baixamar (estofa de vazante) de sizígia, nesta última condição foram visitadas apenas as estações #1, #4, #7 e #10. As datas e as condições de maré das campanhas estão contidas na Tabela 2.4. A turbidez foi medida com um sensor de retroespalhamento ótico (SRO) acoplado ao CTD. A conversão dos dados do SRO (NTU - unidade nefelométrica de turbidez) em CSS ( $\text{mg l}^{-1}$ ), foi feita a partir de amostras de água obtidas nas estações visitadas em cada campanha. Foi ainda calculado o teor inorgânico das amostras de MPS via calcinação dos filtros, seguindo a metodologia descrita anteriormente.

A análise preliminar dos perfis longitudinais foi feita por Oliveira (2014), com os dados obtidos nas 33 primeiras campanhas. O presente trabalho inclui dados de mais 8 campanhas que ocorreram posteriormente, totalizando as 41 campanhas. Além disso, para validar algumas relações no conjunto de dados, o presente trabalho inclui análise estatística para testar a diferença entre médias de dois grupos (teste t), utilizando o software SPSS *Statistics* em intervalo de confiança de 95 %.

Quadratura		Sizígia	
Campanha	Mês	Campanha	Mês
1	Mai/12	11	Jan/13
2	Mai/12	13	Fev/13
3	Jul/12	16	Abr/13
4	Jul/12	19	Jun/13
5	Ago/12	22	Ago/13
6	Set/12	24	Out/13
7	Out/12	26	Dez/13
8	Nov/12	29	Fev/14
9	Dez/12	35	Jun/14
10	Jan/13	38	Ago/14
12	Fev/13	39	Dez/14
14	Mar/13	40	Abr/15
15	Abr/13		
17	Mai/13		
18	Jun/13		
20	Jul/13		
21	Ago/13		
23	Out/13		
25	Nov/13		
27	Dez/13		
28	Fev/14		
30	Mar/14		
31	Abr/14		
32	Abr/14		
33	Mai/14		
34	Jun/14		
36	Jul/14		
37	Ago/14		
41	Abr/15		

Table 2.4: Mês e condição de maré referente às campanhas feitas em 2012-2015.

# 3

## Resultados

### 3.1 Características dos Macro-agregados

Imagens de macro-agregados feitas *in situ* mostram que estes apresentam ampla variação de tamanho e forma (Fig. 3.1). O formato alongado é o mais comumente encontrado, e nota-se que ao longo da estrutura existem pontos de aglomeração de massa que causam irregularidade nos filamentos (Figs. 3.1A, 3.1B e 3.1C). Os exemplares menores (Figs. 3.1D, 3.1E e 3.1F) muitas vezes aparentam ser fragmentos dos filamentos maiores, porém, é muito provável que a dinâmica do ambiente produza continuamente agregação e desagregação do material, interagindo no tamanho e forma. A Figura 3.2A mostra a alta capacidade de agregação dos macro-agregados ainda em suspensão. E quando depositado no assoalho, facilitado pela menor hidrodinâmica próximo ao fundo, podem formar enormes cordões de decímetros (Fig. 3.2I).

A observação e manipulação das amostras em laboratório expressaram a tendência de agregação de filamentos individuais para formar estruturas maiores (Fig. 3.2G), e ao mesmo tempo mostrou que para um certo grau cisalhamento sua estrutura pode ser rompida, especialmente em relação aos filamentos individuais mais finos. A coloração das amostras variou de marrom claro a marrom escuro (Fig. 3.2H). A observação em microscópio de amostras de macro-agregados exibiu a presença de organismos fitoplanctônicos em sua estrutura, com dominância de diatomáceas (Figs. 3.2B, 3.2C e 3.2D), além de uma série de pequenas partículas minerais e pequenos aglomerados orgânicos em meio à uma matriz de granulação muito fina integrante de sua estrutura. Após a calcinação das amostras, observou-se estruturas originalmente orgânicas (Fig. 3.2E) e partículas minerais (Fig. 3.2F) junto à matriz remanescente.

A origem dos macro-agregados e os mecanismos de agregação não serão estudados no presente trabalho. Apesar disso, dados a respeito da velocidade de decantação e densidade de diferentes indivíduos de macro-agregados fazem parte do objeto de estudo, além das informações sobre a distribuição e teor inorgânico dos macro-agregados em diferentes campanhas, diferentes regiões e diferentes profundidades na coluna d'água.

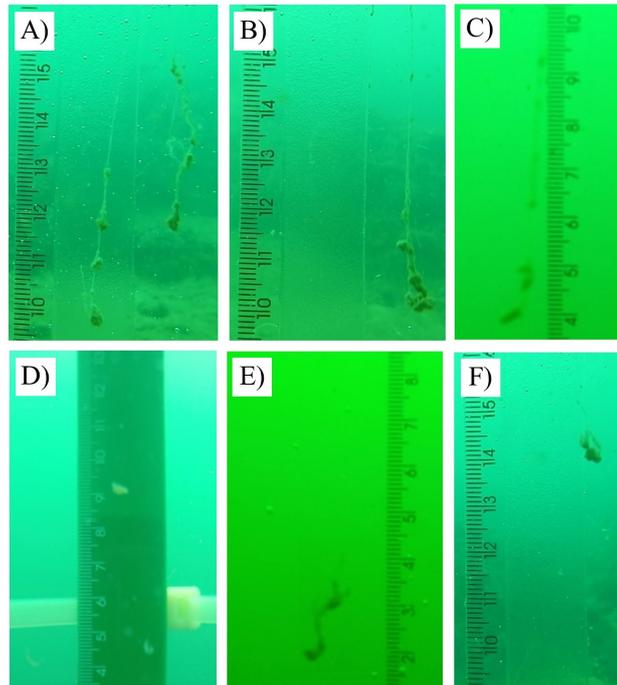


Figure 3.1: Macro-agregados exibindo diferentes tamanhos e formas.

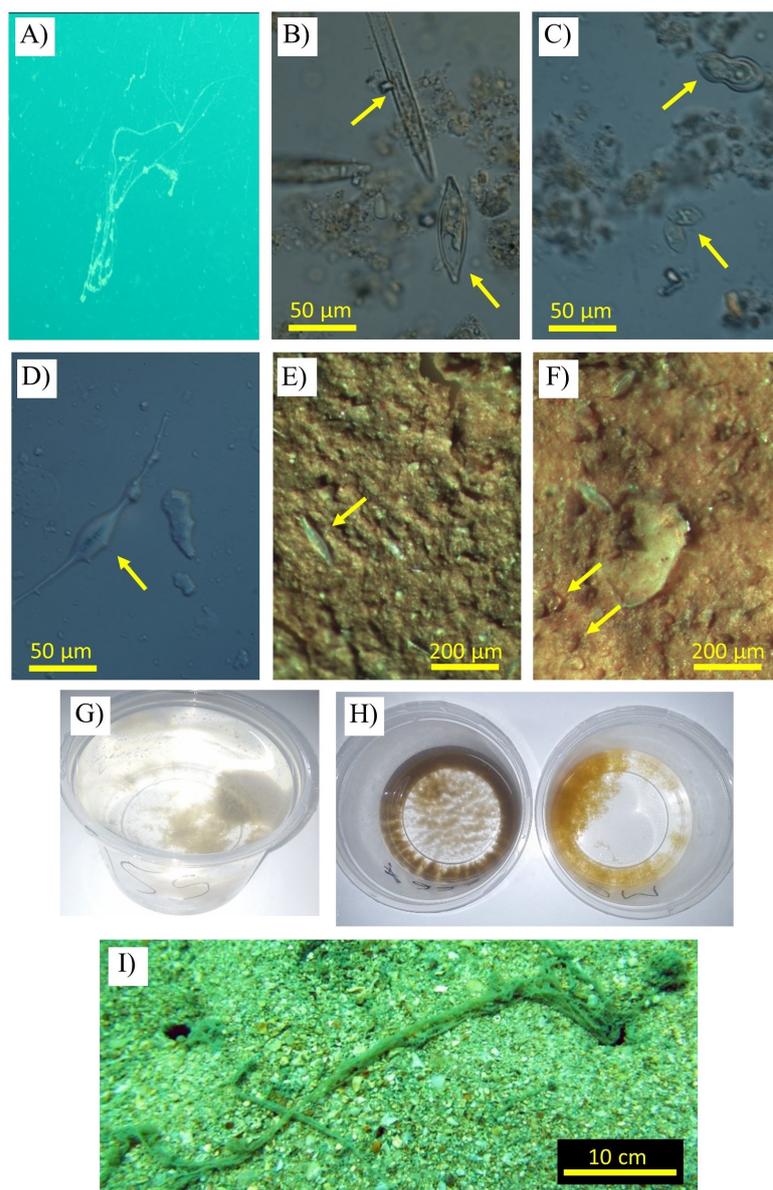


Figure 3.2: Imagens de macro-agregados encontrados em suspensão (A) e no assoalho (I). Presença de fitoplânctons (diatomáceas) na estrutura dos macro-agregados em imagens feitas por microscópio (C, D e E), e também de partículas orgânicas (E) e minerais (F) na estrutura dos macro-agregados pós-calcinados. Macro-agregados aglomerados em recipiente de armazenamento (G), e exibindo diferentes colorações (H).

## 3.2 Campo Termohalino (Campanhas 2012-2015)

Os perfis longitudinais de temperatura, salinidade e densidade para condição de maré de quadratura e sizígia são mostrados na Figura 3.3. O valor médio da temperatura em quadratura e sizígia foi aproximadamente o mesmo, respectivamente 27,7 °C e 27,5 °C,

já a variação longitudinal média (estação #1 a #10) para as mesmas condições foi 1,4 °C e 0,9 °C. Os valores mais baixos de temperatura estiveram na entrada da baía (leste - 0 km), com tendência de aumento em direção ao interior da baía (oeste - 46 km). As diferenças de temperatura entre a superfície e fundo foram sempre inferiores a 0,3 °C, para ambos os perfis.

O valor médio da salinidade em quadratura e sizígia foi de 35,9 PSU e 35,2 PSU, enquanto que a variação longitudinal média foi 2,0 PSU e 3,2 PSU. Ao contrário da temperatura, os maiores valores de salinidade foram encontrados na metade leste da BTS (<30 km). A salinidade variou verticalmente em quadratura (sizígia) em 0,7 (0,5) PSU, com mínimo de 0,2 (0,1) PSU na entrada da baía (estação #1), e máximo de 1,6 (0,7) PSU no canal de São Roque (estação #10).

O valor médio da densidade em quadratura e sizígia foi respectivamente 1023,3 kg m<sup>-3</sup> e 1022,7 kg m<sup>-3</sup>, e a variação longitudinal média foi de 0,9 kg m<sup>-3</sup> e 2,7 kg m<sup>-3</sup>. Acompanhando a salinidade, a densidade apresentou maiores valores a oeste e menores a leste da baía. A densidade variou verticalmente em quadratura (sizígia) em 0,8 (0,5) kg m<sup>-3</sup>, com mínimo de 0,4 (0,2) kg m<sup>-3</sup> na entrada da baía e máximo de 1,4 (0,6) kg m<sup>-3</sup> no canal de São Roque.

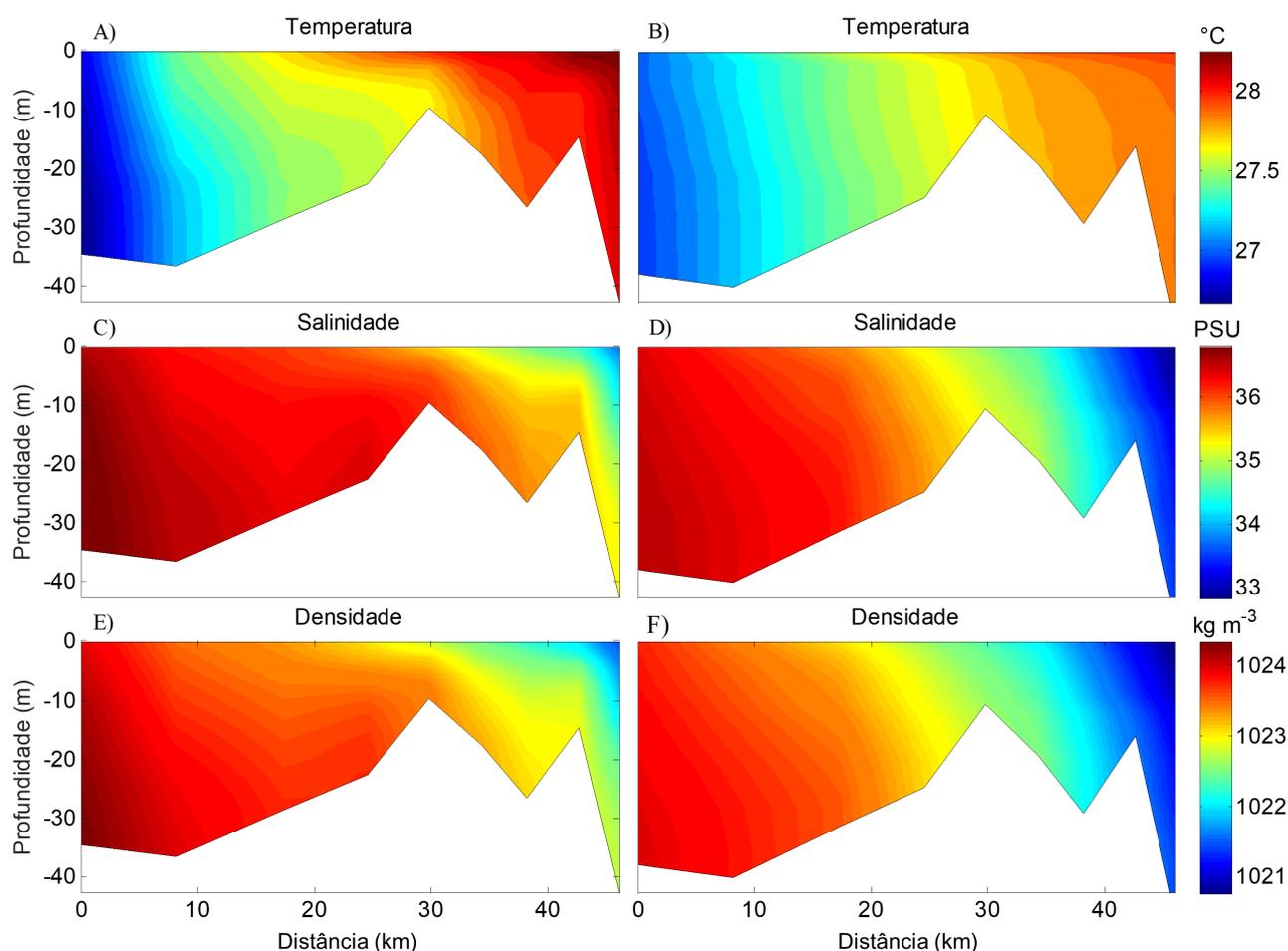


Figure 3.3: Perfis longitudinais médios de temperatura (A e B), salinidade (C e D) e densidade (E e F) entre 2012-2015, para maré de quadratura (esquerda) e sizígia (direita). O perfil se estende da estação #1 (0 km) até a estação #10 (46 km).

A distribuição dos valores de desvio padrão médio da temperatura, salinidade e densidade para quadratura e sizígia é visto na Figura 3.4. Em todas as variáveis, os valores de desvio padrão aumentam em direção ao interior da baía, ou em direção aos locais mais rasos (maiores variações de temperatura devido ao menor volume de água) e mais próximos ao curso fluvial (maiores variações de salinidade e densidade). Desvios semelhantes da temperatura são observados em quadratura e sizígia, com médias respectivas de 1,4 °C e 1,3 °C para todo o perfil. O perfil dos valores dos desvios de salinidade e densidade se assemelharam, e as médias respectivas para quadratura e sizígia foram de 1,2 PSU e 1,5 PSU, e 0,7 kg m<sup>-3</sup> e 0,9 kg m<sup>-3</sup>.

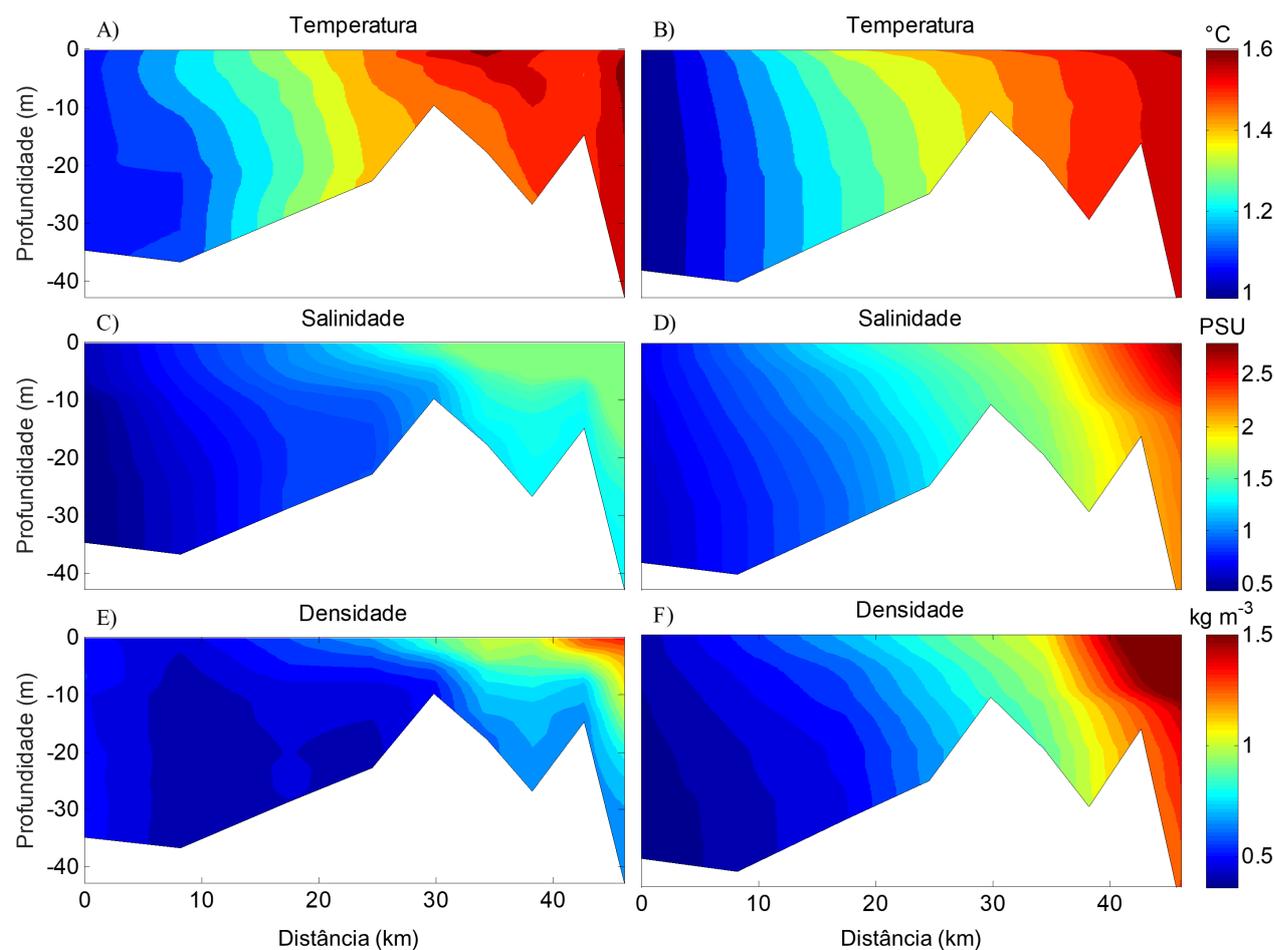


Figure 3.4: Desvio padrão médio dos perfis de temperatura (A e B), salinidade (C e D) e densidade (E e F) entre 2012-2015, para maré de quadratura (esquerda) e sizígia (direita). O perfil se estende da estação #1 (0 km) até a estação #10 (46 km).

### 3.3 Campo Termohalino (Campanhas 2015-2017)

Os registros de temperatura, salinidade e densidade observados durante as campanhas (Fig. 3.5) mostram valores médios de  $26,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $34,5\text{ PSU}$  e  $1023,0\text{ kg m}^{-3}$ , com valores mais elevados no período seco (dezembro a março). A taxa média de radiação solar (Tab. 2.1) nesse período ( $1644\text{ kJ m}^{-2}$ ) foi superior à média de todas as campanhas juntas ( $1437\text{ kJ m}^{-2}$ ). Além disso, a precipitação acumulada da semana anterior à campanha foi de  $12\text{ mm}$ , enquanto que a média geral foi de  $33\text{ mm}$ . Essas condições colaboraram para que o campo termohalino alcançasse valores mais elevados no período seco, quando a temperatura, salinidade e densidade foi  $2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $2,3\text{ PSU}$  e  $0,4\text{ kg m}^{-3}$  acima da média geral.

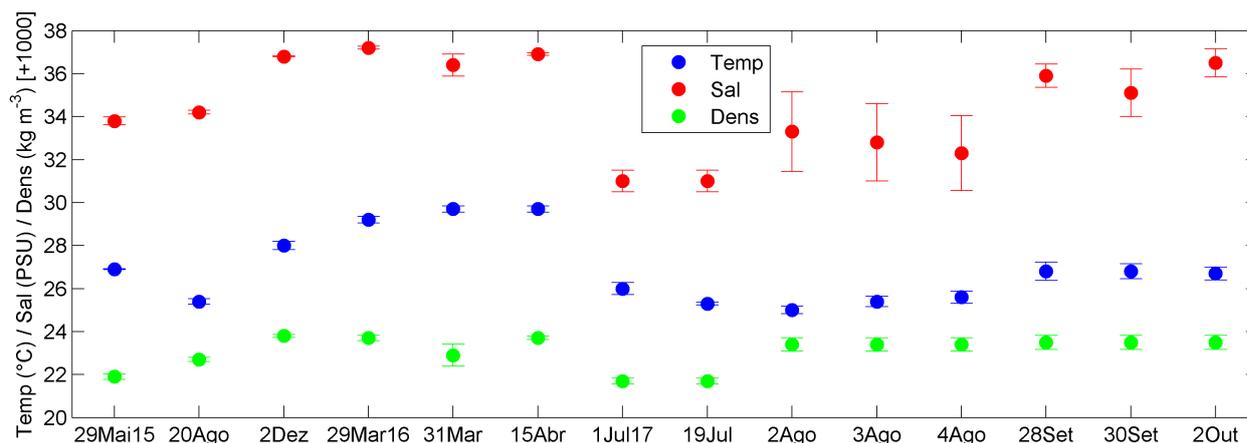


Figure 3.5: Valor médio e desvio padrão da temperatura, salinidade e densidade da água nas 14 campanhas realizadas em 2015-2017.

### 3.4 MPS (Campanhas 2012-2015)

A correlação entre o SRO e a CSS para as amostras de águas coletadas em superfície e fundo das estações #1, #4, #7 e #10, é mostrada na Figura 3.6. Em todas as situações as correlações foram positivas. Os menores coeficientes ( $R^2$ ) foram encontrados nas amostras de superfície das estações #1 e #4, situadas próximas ao canal de Salvador. Já as amostras de fundo dessas mesmas estações, e demais estações próximas ao canal de São Roque (#7 a #10) tiveram coeficientes  $\geq 0,8$ , exceto as amostras de fundo da estação #7 ( $R^2=0,61$ ).

A CSS média no perfil estudado (eixo central da BTS) para as campanhas de quadratura foi de  $6 \text{ mg l}^{-1}$  (Fig. 3.7A). Mesmo com pouca variação longitudinal ( $6,4 \text{ mg l}^{-1}$ ), nota-se que as maiores concentrações estão no setor interno da baía. Já as variações verticais são mais acentuadas, com concentrações de fundo no canal de São Roque alcançando quase o triplo do valor médio ( $15 \text{ mg l}^{-1}$ ). O desvio padrão da CSS em quadratura (Fig. 3.7C) mostra um perfil muito similar ao perfil médio. O valor médio do desvio padrão foi de  $5,6 \text{ mg l}^{-1}$ , com valores mínimo e máximo variando de  $< 2 \text{ mg l}^{-1}$  na entrada da baía, a  $20,5 \text{ mg l}^{-1}$  na estação #9.

A CSS média para maré de sizígia (Fig. 3.7B) foi de  $20 \text{ mg l}^{-1}$ , valor  $> 3$  vezes ao encontrado em quadratura. As variações longitudinais e verticais foram mais evidentes em sizígia. A variação longitudinal média foi  $30 \text{ mg l}^{-1}$ , enquanto que a variação vertical média foi  $\sim 20 \text{ mg l}^{-1}$ . Notadamente, as maiores concentrações estiveram localizadas no setor interno da BTS, especialmente na água de fundo. O valor médio do desvio padrão foi de  $24 \text{ mg l}^{-1}$ , alcançando até  $55 \text{ mg l}^{-1}$  (Fig. 3.7D) na água de fundo da estação #4 (20

km), resultante do processo de dragagem realizada no canal de São Roque, quando a CSS alcançou  $190 \text{ mg l}^{-1}$  em fevereiro de 2013.

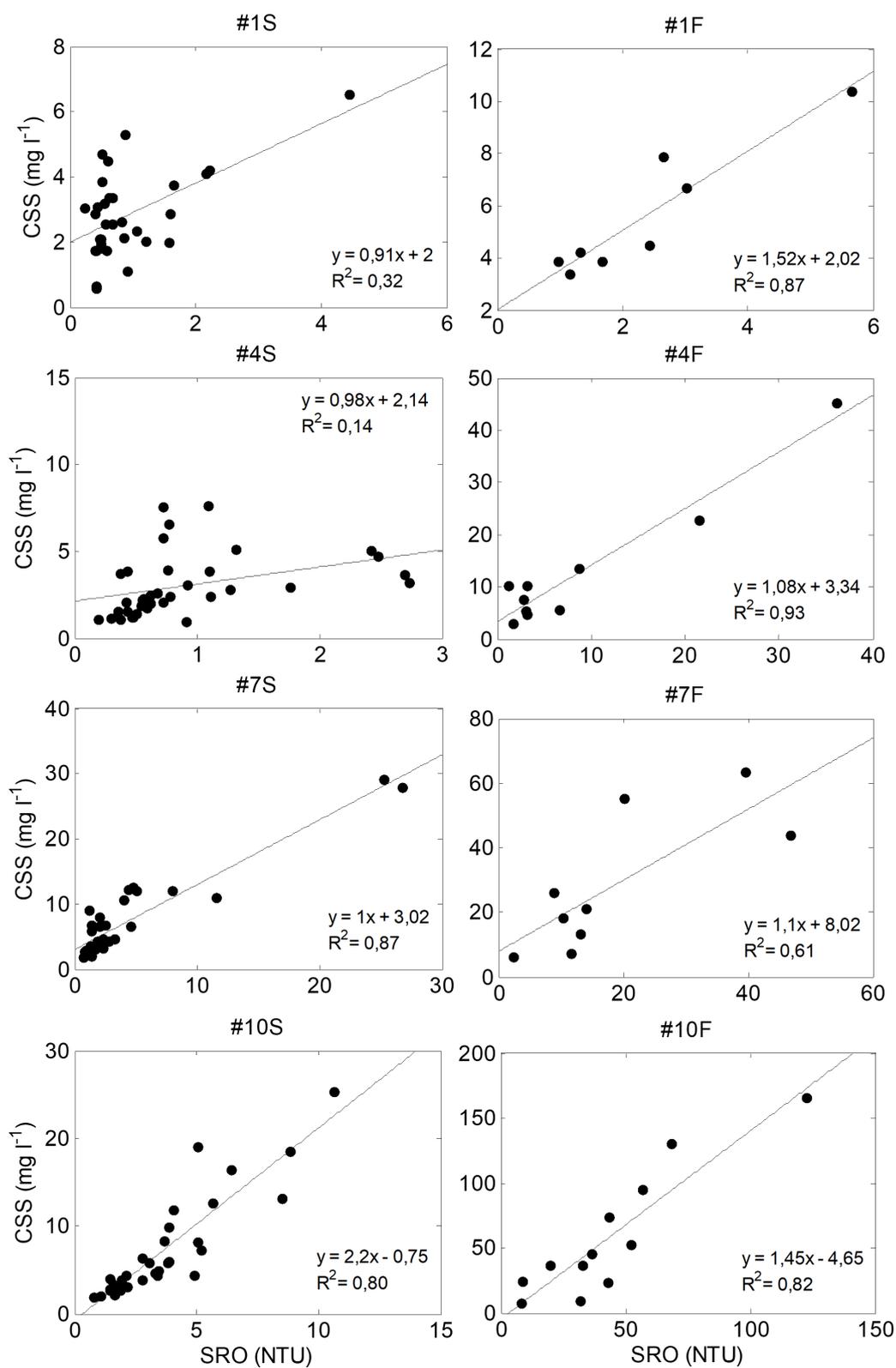


Figure 3.6: Relação do SRO (NTU) e CSS (mg l<sup>-1</sup>) para as estações #1, #4, #7 e #10, em superfície (S) e fundo (F), com as respectivas equações de conversão e coeficientes de correlação (R<sup>2</sup>).

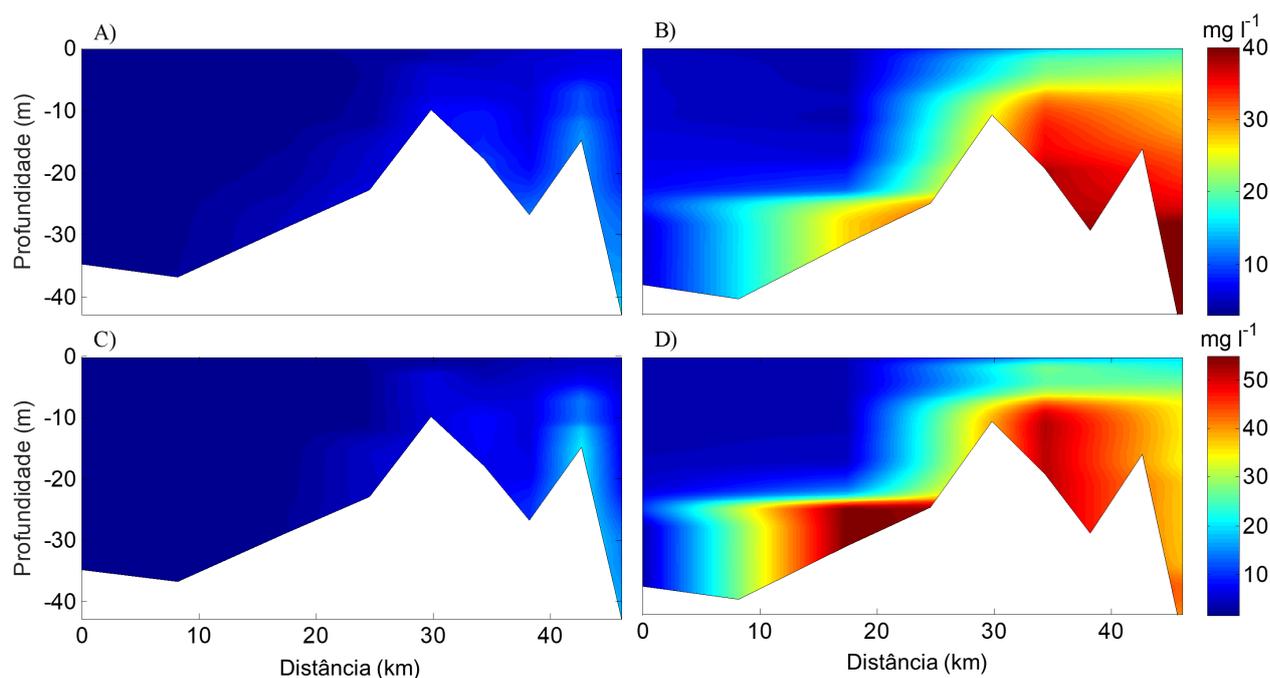


Figure 3.7: Perfis longitudinais médios de CSS entre 2012-2015, para maré de quadratura (A) e sizígia (B), e o desvio padrão médio para as respectivas condições de maré (C e D). O perfil se estende da estação #1 (0 km) até a estação #10 (46 km).

O teor de material inorgânico (MI) nas amostras de sedimento em suspensão tende a ser maior durante maré de sizígia, junto ao fundo, e em direção ao interior da baía (Fig. 3.8). Essas evidências foram consideradas significativas ( $p < 0,05$ ) de acordo com as análises estatísticas realizadas. O valor médio do MI em quadratura foi de 60 % para amostras de superfície e de 68 % para amostras de fundo. Já em sizígia estes valores foram respectivamente 69 % e 74 %. Na entrada da baía o MI médio foi de 59 %, enquanto que no canal de São Roque alcançou 75 %. Entre os meses de janeiro e fevereiro de 2013 foram verificados altos valores de MI, coincidentes com a dragagem ocorrida no canal de São Roque. Curiosamente, os menores valores de MI em quadratura foram identificados na estação #3 ( $\sim 10$  km), com média de 51 %.

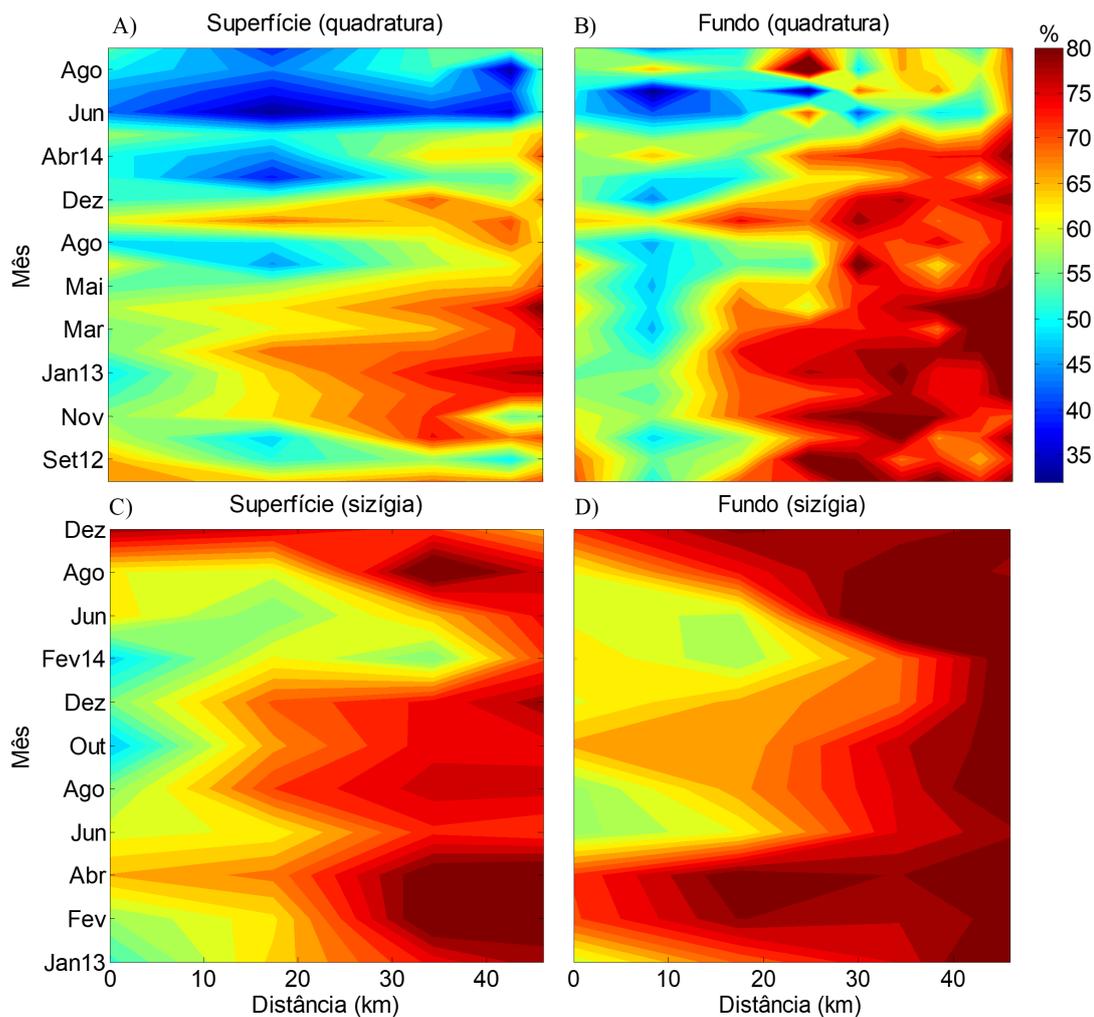


Figure 3.8: Interpolação do teor do material inorgânico (MI) no tempo e espaço de amostras de MPS coletados em superfície (A) e fundo (B) em maré de quadratura, e superfície (C) e fundo (D) em maré de sizígia.

### 3.5 MPS (Campanhas 2015-2017)

A Figura 3.9 exhibe as condições de maré para investigação do MPS. A maior parte das campanhas ocorreram em maré vazante, com exceção da campanha 1, realizada com maré enchente, e da campanha 6, com início e término entre maré enchente e vazante.

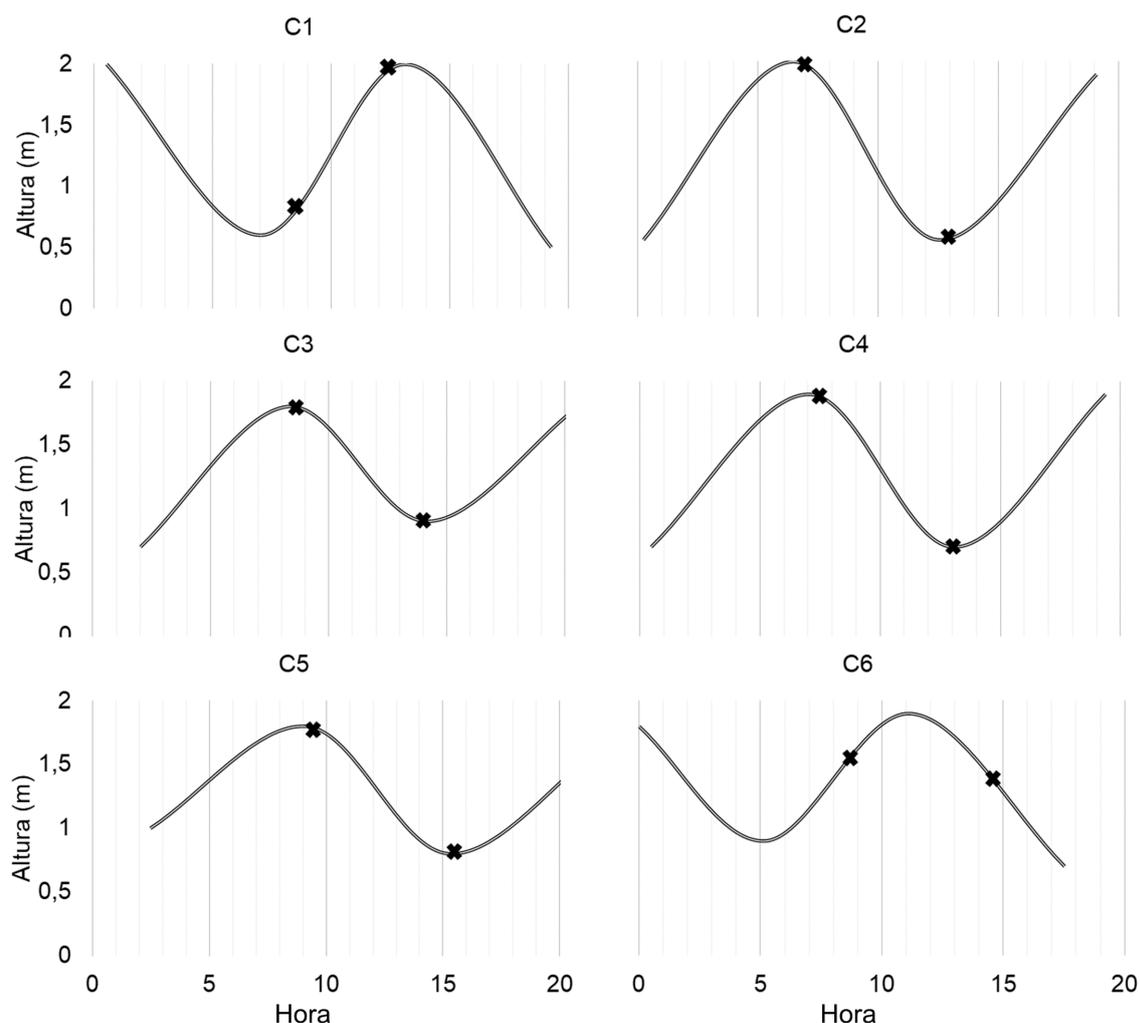


Figure 3.9: Momento inicial e final (marcados com x) das amostragens nas 6 primeiras campanhas (C1 – C6) de 2015-2017, em relação à altura da maré.

O valor médio da CSS para essas campanhas foi de  $4,1 \text{ mg l}^{-1}$ , com diferenças muito pequenas entre as duas profundidades analisadas (5 m e 20 m), aumentando em média somente  $0,4 \text{ mg l}^{-1}$  (Fig. 3.10A). Essa diferença foi estatisticamente não significativa ( $p=0,53$ ). As campanhas 1 e 2 registraram o valor mais baixo e mais alto de CSS, respectivamente  $2,7 \text{ mg l}^{-1}$  e  $6,0 \text{ mg l}^{-1}$ . As alturas de maré (Fig. 3.9) semelhantes ( $\sim 1,5 \text{ m}$ ) sugerem que estas campanhas encontraram condições similares de energia de fluxo. No entanto, a maior turbidez observada na campanha 2 pode ser fruto da alta descarga da barragem de Pedra do Cavalo (Tab. 2.1) ocorrida durante a semana que antecedeu a campanha, quando alcançou valor médio de  $96,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , enquanto que a média geral foi de  $12,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

O teor médio do MI para o MPS foi de 63 % (Fig. 3.10B). As amostras coletadas a 5 m apresentam valores de MI ligeiramente inferiores às amostras de 20 m, com médias respectivas de 61 % e 65 %, apesar dessa diferença não ter sido significativa ( $p=0,13$ ). Os

dados mostram que as campanhas realizadas no centro do eixo principal de escoamento (C1 a C4) apresentaram valores de MI significativamente ( $p < 0,05$ ) mais baixos que as campanhas 5 e 6, realizadas respectivamente no extremo oeste e nordeste da baía, a média para cada agrupamento foi de 61 % e 67 %. Essa diferença deve estar ligada naturalmente à própria região de coleta.

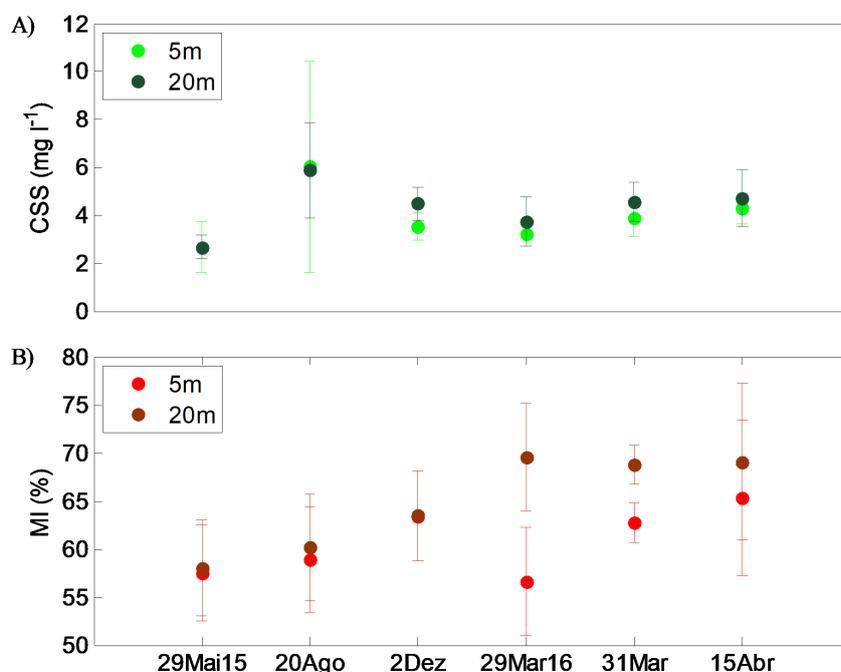


Figure 3.10: CSS (A) e MI (B) das amostras de água nas 6 primeiras campanhas de 2015-2017.

### 3.6 Fluxo Vertical de Sedimentos

O fluxo vertical (Fig. 3.11A) medido em 7 campanhas de 2015-2017, apresentou valor médio de  $51,5 \pm 7,0 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (gramas por metro quadrado por dia), aumentando com a profundidade, médias em 5 m, 12,5 m e 20 m respectivamente de  $25,8 \pm 5,6 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ,  $35,3 \pm 5,4 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  e  $93,5 \pm 10,0 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . O fluxo medido no primeiro segmento vertical (5 m e 12,5 m) foi 6 vezes menor do que no segundo segmento (12,5 m e 20 m), com diferenças respectivas de  $10,5 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  e  $62,5 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Apenas na campanha 5 o maior fluxo foi observado na profundidade mais rasa (5 m). Nas demais campanhas o maior fluxo ocorreu a 20 m de profundidade, especialmente as campanhas 1, 4 e 10, quando as diferenças em relação à profundidade acima (12,5 m) chegaram a atingir  $143 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (C10).

O MI médio do sedimento capturado pelas armadilhas foi de 77 % (Fig. 3.11B), e assim como o fluxo, seu valor aumentou ligeiramente com a profundidade, com médias de 72 % a 5 m, 76 % a 12,5 m, e 82 % a 20 m, mas as diferenças só foram significativas ( $p < 0,05$ ) quando

considerada a profundidade total (5 m a 20 m). O menor valor médio de MI foi encontrado na campanha 1, realizada na região central da BTS, com 71 %, e o maior valor na campanha 5, realizada no canal de São Roque, com 82 %, ainda que essa última campanha não tenha contado com amostragem a 20 m.

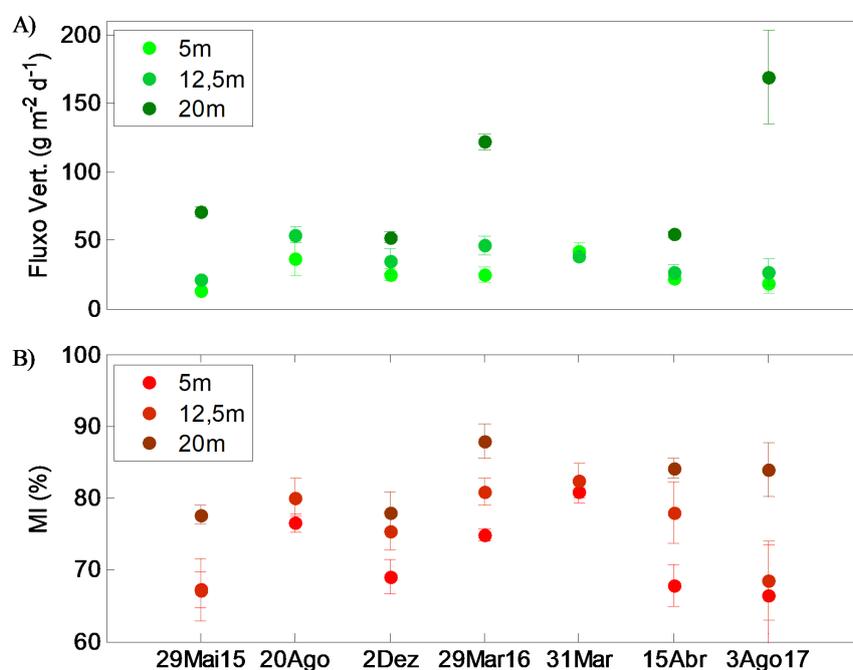


Figure 3.11: Fluxo vertical de sedimentos (A) e MI associado (B) em cada profundidade, nas campanhas 1 a 6 e 10 de 2015-2017.

O fluxo vertical de sedimentos apresentou correlação positiva com a CSS, e o valor do coeficiente de correlação foi 0,57 (Fig. 3.12).

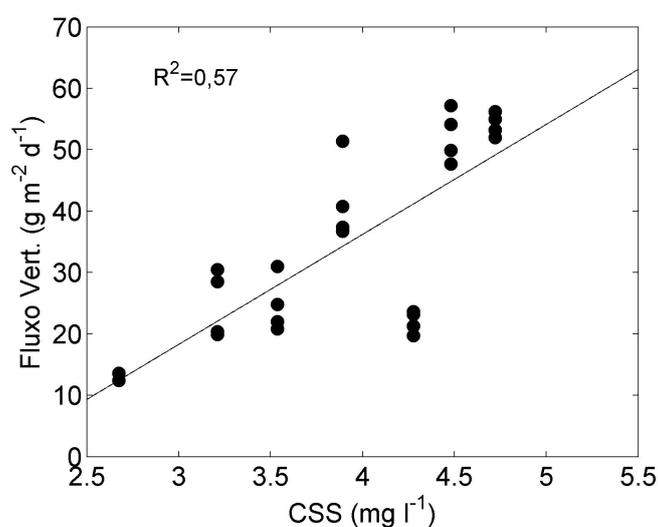


Figure 3.12: Fluxo vertical de sedimentos versus CSS.

### 3.7 Concentração e Teor Inorgânico dos Agregados em Suspensão

O resultado do teor inorgânico para as amostras de macro-agregados coletados por mergulho é exibido na Figura 3.13. As amostras apresentaram valor médio de MI de 83 %. Os valores mínimos e máximos foram encontrados na campanha 1 e 4, com respectivos 79 % e 86 %. Valores relativamente mais elevados de MI, na campanha 4, já foram vistos entre as amostras capturadas pelas armadilhas (Fig. 3.11B).

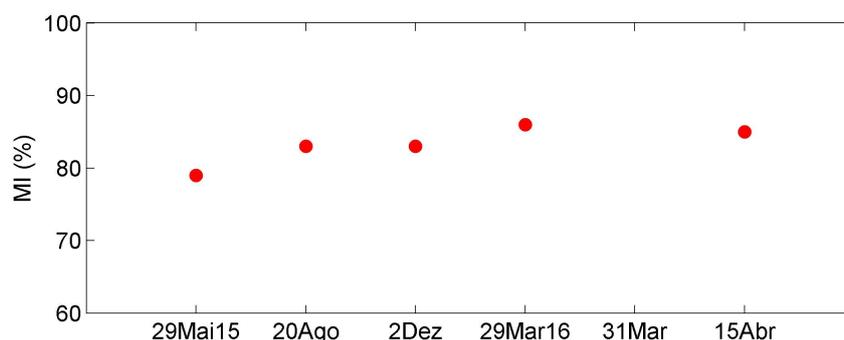


Figure 3.13: Teor de MI dos macro-agregados coletados por mergulho nas 6 primeiras campanhas de 2015-2017.

A concentração média de agregados em suspensão relacionada a cada ponto, a partir do mapeamento feito nas campanhas 7 a 14, é exibida na Figura 3.14A. O valor médio, mínimo e máximo da CAS foi de  $52,0 \text{ mg m}^{-3}$ ,  $7,4 \text{ mg m}^{-3}$  e  $230,6 \text{ mg m}^{-3}$ , estes últimos referentes os pontos 1AF e 4M, respectivamente, localizados na baía de Aratu (nordeste da BTS) e leste da ilha dos Frades (centro da BTS). Na grande maioria dos pontos houve tendência de aumento dos valores de CAS com a profundidade, exceto em 1A, 2A, #7 e #9, sendo que nos três primeiros a queda na concentração ocorreu somente na amostra de fundo, enquanto que no ponto #9 a queda foi contínua com a profundidade. Analisando somente os valores médios em 5, 12,5 e 20 m, igual a 40,7, 70,3 e  $44,4 \text{ mg m}^{-3}$ , nota-se um considerável aumento destes no primeiro segmento vertical, seguido de uma forte queda no segundo segmento. Esse resultado é facilmente explicado pela ausência de amostras em 20 m nos locais onde a CAS foi mais alta, no centro da BTS.

A Figura 3.14B mostra os valores de MI para todos os pontos visitados. O valor médio do MI encontrado nos macro-agregados foi de 82 %, com mínimo e máximo de 69 % (2S) e 90 % (7F). Novamente, a maioria dos pontos apresentaram aumento de MI com a profundidade, exceto mais claramente nos pontos 1A, 2A, 1 e #9. O valor médio do MI para cada profundidade foi de 80 % em 5 m, e 84 % em 12,5 m e 20 m. Apesar do aumento do

teor verificado no primeiro segmento, onde a diferença foi significativa ( $p=0,015$ ), o teor foi o mesmo no segundo segmento, o que diferencia dos dados de CAS.

A Figura 3.15 apresenta o panorama espacial da CAS e de MI para as diferentes profundidades. Para a profundidade de 5 m (Fig. 3.15A), ainda que a diferença seja pequena, nota-se maiores valores de CAS na área central da BTS, em torno da Ilha dos Frades, exceto ao norte. Já os maiores valores de MI encontram-se nas bordas da BTS, ou próximo a alguma formação geológica, como o caso da região da Baía de Aratu, Ilha dos Frades e canal de São Roque. Na profundidade de 12,5 m (Fig. 3.15B) fica claro as elevadas concentrações de macro-agregados na região central da BTS, ao redor da Ilha dos Frades. Com relação ao MI o perfil é similar ao encontrado a 5 m, mas dessa vez sobressaindo a influência do canal de São Roque, com maior carga de sedimentos inorgânicos. Na profundidade de 20 m (Fig. 3.15C) nota-se uma queda nos valores de CAS da região central, leste e oeste, contrastando com o aumento nos valores ao sul da BTS. Já o MI não apresentou mudanças, mantendo maiores valores no setor interno da baía.

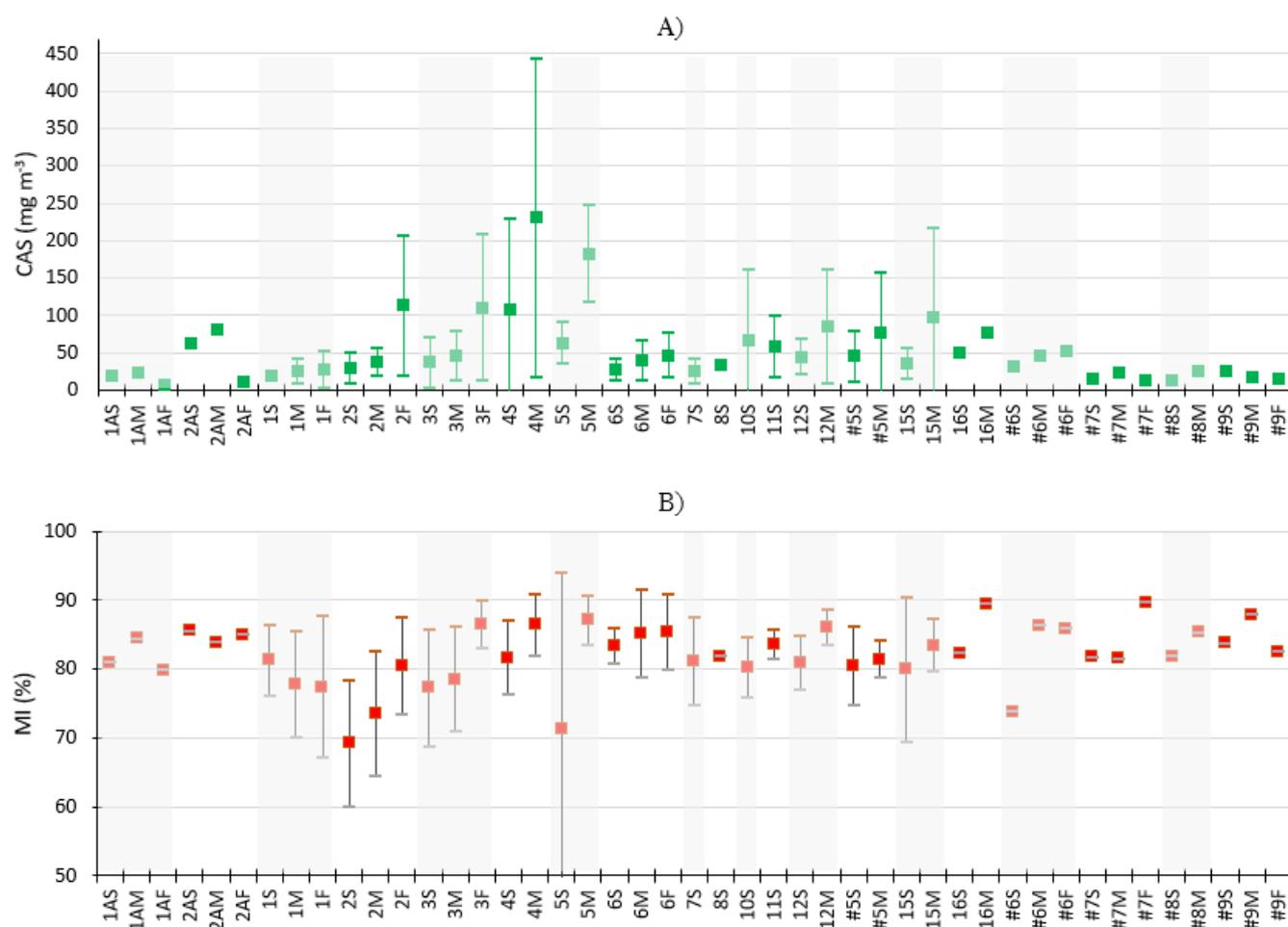


Figure 3.14: CAS (A) e MI (B) médio (e desvio padrão) dos pontos monitorados entre 2015-2017. Cada profundidade está referenciada por S (5 m), M (12,5 m) e F (20 m).

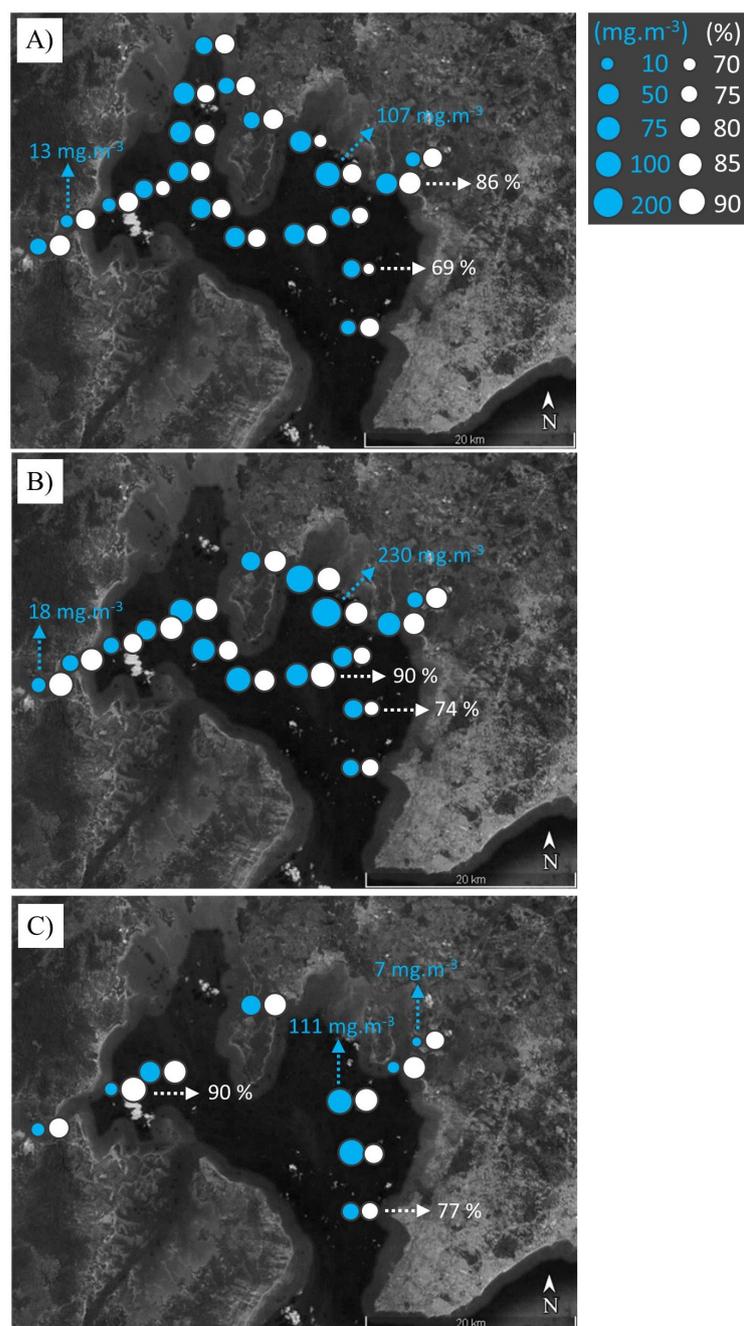


Figure 3.15: Mapa ilustrando os valores médios de CAS (círculos azuis) e MI associado (círculos brancos) de cada região, acompanhados dos valores mínimos e máximos como referência, nas profundidades de 5 m (A), 12,5 m (B) e 20 m (C).

Na campanha 10 (03/08/17), a CAS foi medida durante 5 horas (1 amostragem por hora) junto com o deslocamento dos derivadores na região próxima ao ponto 3 (Fig. 1.1), durante uma maré de enchente. Os gráficos de CAS e MI (Fig. 3.16) apresentaram duas similaridades, a de aumento dos valores com o tempo e com a profundidade, apesar dessa tendência não ocorrer para todos os momentos. O valor médio da CAS nesta campanha foi

118  $\text{mg m}^{-3}$ , variando entre 19  $\text{mg m}^{-3}$  e 692  $\text{mg m}^{-3}$ , sendo este último o maior valor de CAS dentre todas as campanhas, e ocorreu 2 horas após a estofa de baixamar, na primeira amostragem (Fig. 3.16C). Na última amostragem ocorrida algumas horas depois, durante a estofa de maré, foi detectado o segundo maior valor de CAS (311  $\text{mg m}^{-3}$ ). O crescimento exponencial nos valores CAS se relacionam com os dados de fluxo vertical de sedimentos verificados na campanha 10 (Fig. 3.11A). O MI médio desta campanha foi de 81 %, variando entre 48 % (12,5 m às 10 h) e 98 % (12,5 m às 13 h), representando a maior amplitude de valores de MI dentre todas as campanhas de investigação dos agregados. Essas amostras exibem uma situação onde a matéria orgânica chega a superar à inorgânica (primeiro caso), fato que raramente ocorreu, e uma situação em que a matéria inorgânica representa quase todo o material contido nos agregados (segundo caso).

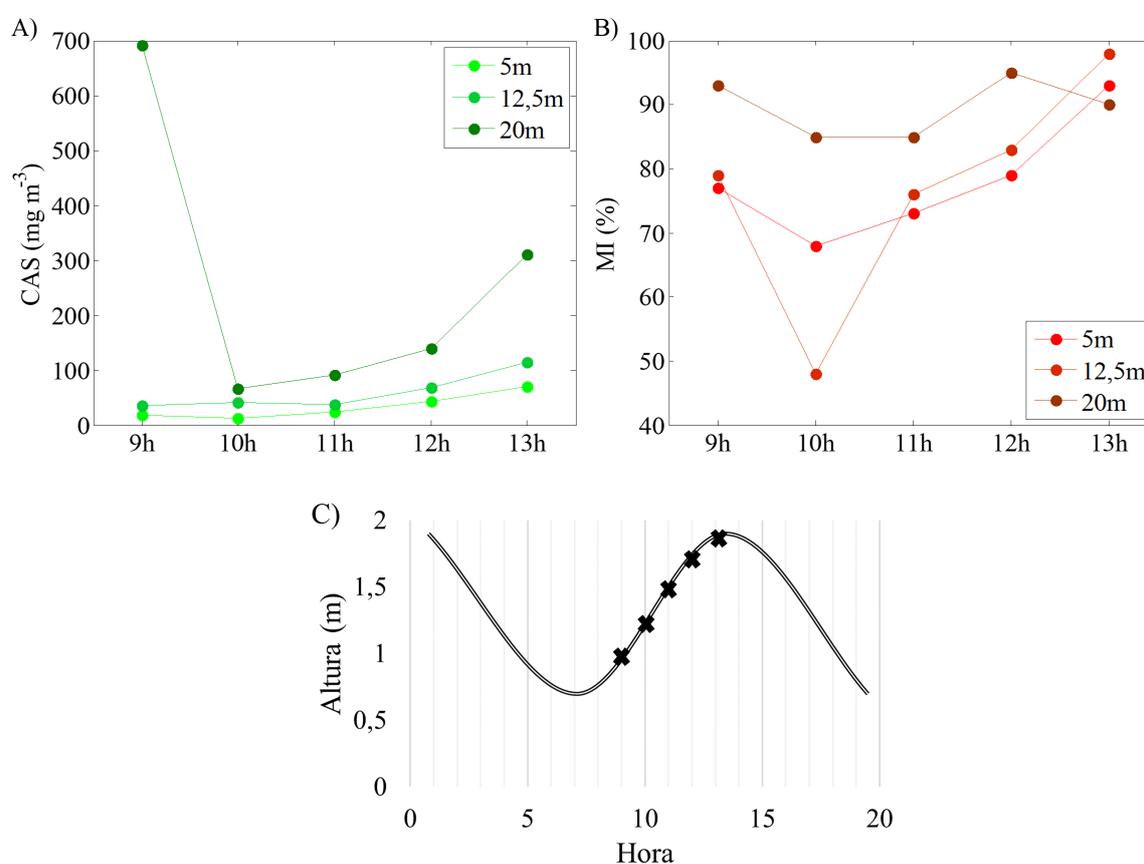


Figure 3.16: Dados de CAS (A) e MI (B) da campanha 10 (3/8/17) realizada próxima ao ponto 3 (Fig. 1.1). Os dados foram coletados em intervalos horários durante maré de enchente (C) nos momentos indicados pelos marcadores (x).

### 3.8 Velocidade de Queda e Densidade Efetiva dos Macroagregados

O comprimento, área e volume médio dos agregados analisados foi respectivamente de 45 mm, 37,3 mm<sup>2</sup> e 6,2 mm<sup>3</sup>. A relação do comprimento com a área e com o volume foi positiva (Fig. 3.17), com coeficiente de correlação ( $R^2$ ) igual a 0,85 e 0,62, respectivamente. A velocidade média de queda dos agregados analisados foi de  $\sim 20 \pm 6$  mm s<sup>-1</sup>, com mínimo e máximo de 12 mm s<sup>-1</sup> e 34 mm s<sup>-1</sup>, em indivíduos com comprimentos de 30 mm e 98 mm, respectivamente. A Figura 3.18 apresenta a relação da velocidade de queda com as características morfológicas dos agregados. Em todos os casos, a relação foi pequena, seja para o comprimento ( $R^2=0,11$ ), área ( $R^2=0,19$ ) ou volume ( $R^2=0,20$ ). A relação foi um pouco melhor com o comprimento do eixo menor do agregado (Fig. 3.18B), ou o comprimento utilizado no cálculo da densidade efetiva dos agregados, com  $R^2=0,55$ . Esses baixos valores podem indicar variações importantes na densidade dos agregados, a exemplo do que ocorreu com dois indivíduos documentados na campanha 6, que apresentaram o mesmo volume (2,6 mm<sup>3</sup>), mas velocidades de queda completamente distintas, 13 mm s<sup>-1</sup> e 29 mm s<sup>-1</sup>.

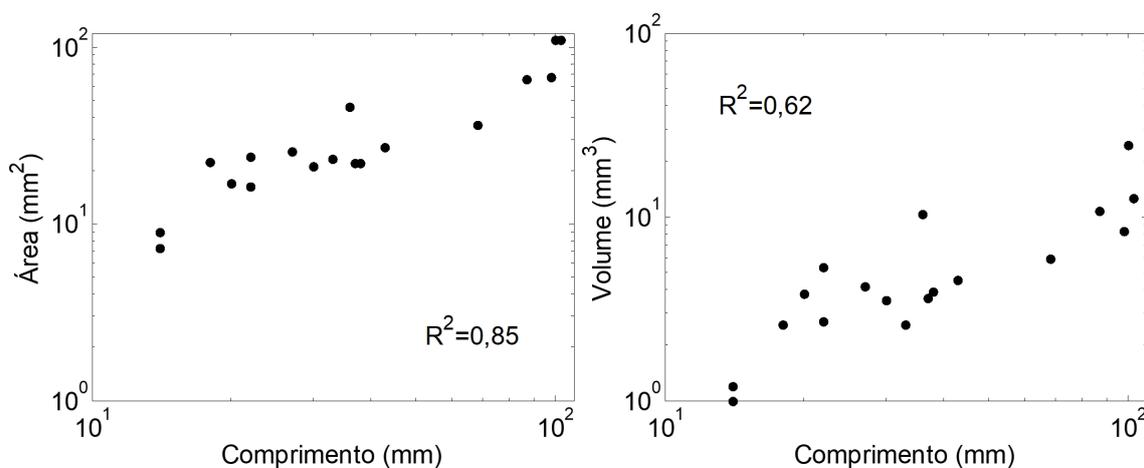


Figure 3.17: Relação da área (esquerda) e volume (direita) com o comprimento dos agregados.

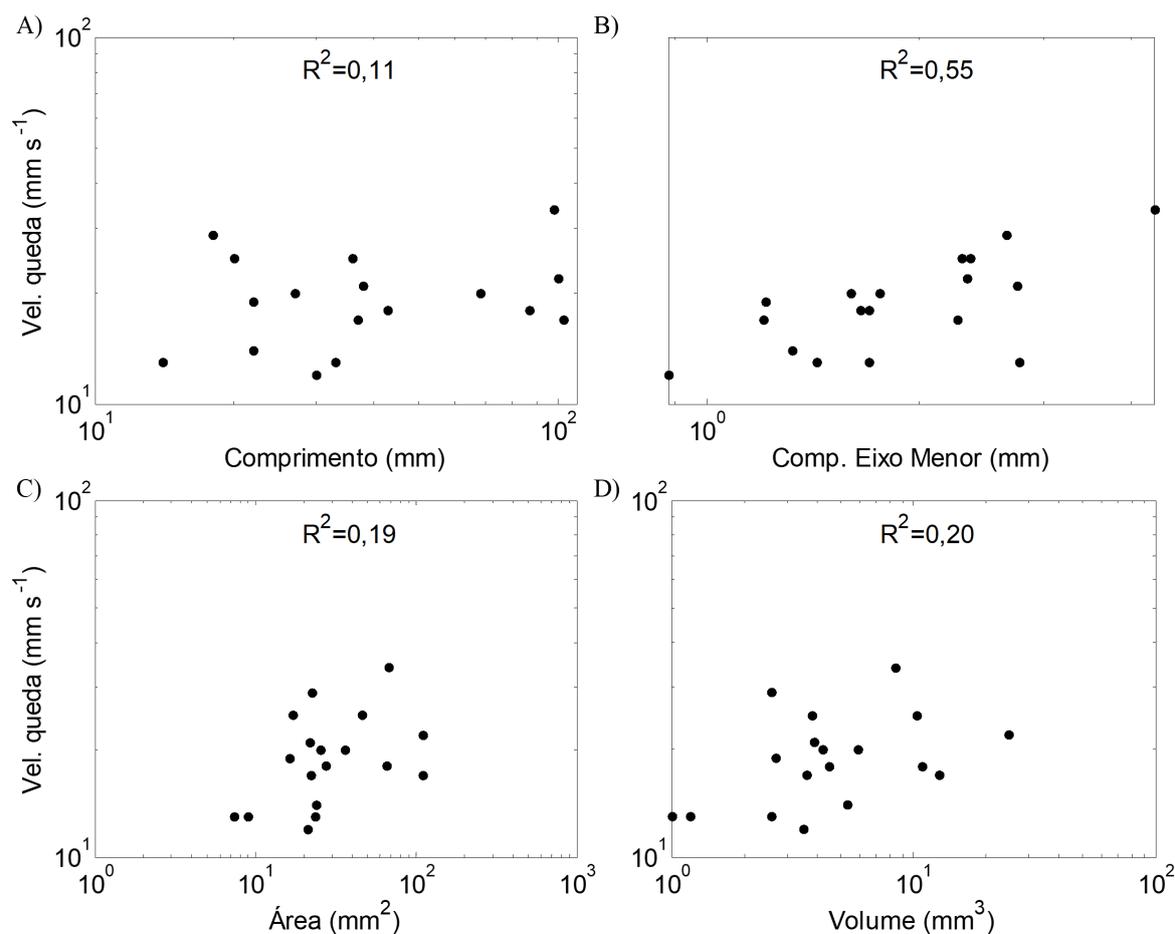


Figure 3.18: Relação do comprimento total (A), comprimento do eixo menor (B), área (C) e volume (C) com a velocidade de decantação dos agregados.

A densidade efetiva média dos macro-agregados foi de  $6,9 \text{ kg m}^{-3}$ , variando de  $2,1 \text{ kg m}^{-3}$  a  $10,9 \text{ kg m}^{-3}$  (Fig. 3.19A). Os cálculos levaram em consideração a densidade da água de  $1023,0 \text{ kg m}^{-3}$  relativa ao monitoramento feito em 2012-2015. Não houve clara relação entre a densidade efetiva e o comprimento (eixo maior) dos macro-agregados, como mostra a Figura 3.19B. Para avaliar o possível impacto da variação da densidade da água no cálculo da densidade dos agregados, considerou-se os valores máximos e mínimos de  $\rho_f$  existente para a região central da BTS. Observa-se (Tab. 3.1) que os valores de densidade efetiva dos agregados alteraram de 0,2 a 0,5 %, o que mostra que as variáveis mais relevantes no cálculo da densidade efetiva dos agregados são o comprimento e a velocidade de queda.

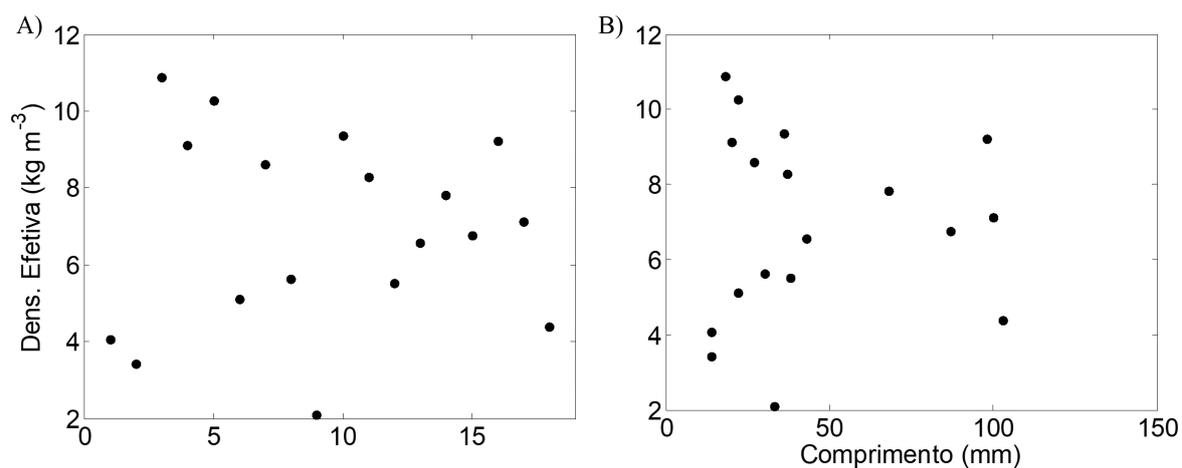


Figure 3.19: Densidade efetiva dos 18 macro-agregados estudados (A). Relação da densidade efetiva e do comprimento dos macro-agregados (B).

Campanha / Amostra	$\rho_f = 1023,0$ ( $\text{kg m}^{-3}$ )	$\rho_f = 1020,8$ ( $\text{kg m}^{-3}$ )	$\rho_f = 1024,4$ ( $\text{kg m}^{-3}$ )	Variação (%)
C4 / 1	8,29	8,27	8,30	0,4
C4 / 2	6,56	6,55	6,57	0,3
C4 / 3	7,82	7,81	7,83	0,3
C4 / 4	6,76	6,74	6,77	0,4
C4 / 5	8,61	8,59	8,62	0,3
C4 / 6	4,07	4,06	4,07	0,2
C4 / 7	5,52	5,51	5,53	0,4
C4 / 8	10,27	10,25	10,29	0,4
C4 / 9	5,63	5,62	5,64	0,4
C6 / 10	4,38	4,37	4,39	0,5
C6 / 11	10,88	10,86	10,90	0,4
C6 / 12	2,10	2,09	2,10	0,5
C6 / 13	3,42	3,41	3,42	0,3
C6 / 14	9,23	9,21	9,25	0,4
C+ / 15	9,12	9,10	9,13	0,3
C+ / 16	5,11	5,10	5,12	0,4
C+ / 17	9,35	9,33	9,37	0,4
C+ / 18	7,12	7,10	7,13	0,4

Table 3.1: Valor da densidade efetiva dos macro-agregados calculados a partir do valor médio, mínimo e máximo de densidade da água. Na última coluna, a porcentagem de variação entre os valores obtidos.

# 4

## Discussão

O valor médio da densidade para as campanhas de 2012-2015 foi  $1023,0 \text{ kg m}^{-3}$ . Em 2015-2017, a densidade só foi obtida in situ nas 3 primeiras campanhas, e os valores médios em ordem cronológica foram 1021,9, 1022,7 e  $1023,8 \text{ kg m}^{-3}$ . A menor densidade está relacionada às maiores taxas de precipitação ocorrida na semana anterior à campanha (69,0 mm acumulados), bem como no próprio dia da campanha (6,6 mm), formando as maiores taxas de precipitação encontradas, e causando não apenas uma maior descarga atmosférica sobre a BTS mas também deve ter incrementado a descarga das pequenas bacias marginais. Já na segunda campanha ocorreu uma alta descarga da barragem de Pedra do Cavalo na semana anterior à campanha (média de  $96,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). Hatje et al. (2017) mostram que um período próximo de 10 dias seria suficiente para a descarga de água que sai da barragem de Pedra do Cavalo alcançar a região central da BTS. A maior densidade da campanha 3 se relaciona aos baixos valores de precipitação na semana anterior à campanha (2 mm acumulados), e à pequena descarga de Pedra do Cavalo ( $3,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). O impacto da alta descarga verificada na campanha 2 causou um sinal mais claro na CSS, como será mostrado adiante.

Os valores de CSS dos dois períodos de coleta foram muito próximos, computando  $4,1 \text{ mg l}^{-1}$  (2015-2017) e  $4,3 \text{ mg l}^{-1}$  (2012-2015), considerando neste último período o valor médio das estações centrais e em maré de quadratura (situação comum às campanhas 2015-2017). A campanha 2 do segundo período (agosto/15) apresentou o maior valor de CSS, com  $\sim 6 \text{ mg l}^{-1}$ . Como já falado, essa foi a campanha com maior registro da descarga de Pedra do Cavalo ( $96,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), e deve ser o fator responsável pelo aumento verificado. A presença de

partículas advindas do canal de São Roque para o centro da baía (local da campanha 2) já havia sido reportada por Oliveira (2014) durante o período de dragagem ocorrida no canal de São Roque.

A CSS média da BTS incluindo todas as estações e das campanhas de 2012-2015 foi de  $13 \text{ mg l}^{-1}$ . Este valor está próximo ao encontrado em algumas baías brasileiras, como a Baía de Guanabara, com  $4,5 \text{ mg l}^{-1}$  (Melo, 2004), a Baía de Florianópolis, com  $12 \text{ mg l}^{-1}$  (Alves Júnior, 2011), e a Baía de Paranaguá, com  $21 \text{ mg l}^{-1}$  (Mantovanelli, 1999). Valores entre 5 e  $50 \text{ mg l}^{-1}$  foram encontrados em águas centrais na Baía da Tijuca por Schettini et al. (2010). Estuários com forte influência fluvial apresentam concentrações bastante superiores, como por exemplo o estuário do rio Sena (França) com  $100 \text{ mg l}^{-1}$  (Verney et al., 2009) e o estuário Dollard (Holanda) com valores acima de  $200 \text{ mg l}^{-1}$  (Van der Lee, 2000). Comparativamente às outras baías brasileiras, a BTS apresenta elevada descarga de sedimento de origem fluvial, entre 1,75 e 3,5 milhões de toneladas por ano, mas sua extensa área ( $1233 \text{ km}^2$ ) ajuda a diluir essa carga, o que reflete nos valores não muito altos de MPS (Lessa et al., 2018).

O teor médio de componentes inorgânicos das amostras de MPS nos dois períodos estudados foi praticamente o mesmo, 62 % e 63 %, campanhas 2012-2015 (estações centrais) e 2015-2017, respectivamente. As campanhas 5 e 6 do segundo período, apresentaram conjuntamente o maior valor de MI (67 %), justamente as campanhas mais afastadas do centro da baía. Apesar dos valores de desvio padrão encontrados no segundo período não indicarem diferenças pronunciadas, esse resultado da campanha 5 está coerente com os dados de 2012-2015, os quais expressam maiores valores de MI a oeste da baía. Houve diferenças importantes também relacionadas às condições de maré. Nas campanhas 2012-2015, o valor médio do MI para amostras de superfície (60 %) e fundo (67 %) em quadratura, e superfície (69 %) e fundo (74 %) em sizígia, indica claramente que zona próxima ao fundo e a condição de maré de sizígia se relacionam com maior proporção de material inorgânico na coluna d'água.

Os maiores valores de MI em todas as amostras, seja de MPS, de sedimentos capturados pelo fluxo vertical ou de macro-agregados, estiveram associados às amostras de fundo. Relatos da literatura (Eisma, 1986; Bass et al., 2007; Smith e Friedrichs, 2011; Papenmeier et al., 2014) mostram que a composição dos flocos é diferenciada em função de sua posição na coluna d'água, com flocos encontrados próximos ao fundo tendendo a ser mais densos devido ao consumo e mineralização de material orgânico e pela ressuspensão de partículas minerais (Eisma, 1986; Papenmeier et al., 2014).

O teor de MI no MPS mínimo e máximo dentre todas as amostras analisadas foi 46 % (C4 - março/16) e 83 % (C6 - abril/16). A dominância inorgânica no material particulado

também foi verificada por Xi et al. (2014) na Baía de Hudson, onde estes compõem 68 % do MPS. Valores mais elevados foram encontrados por Chen e Eisma (1995) no estuário do rio Elba e Mar do Norte, e por Wolfstein e Kies (1999) para o mesmo estuário, onde os teores médios foram por volta de 85 %.

O fluxo vertical do material particulado aumentou consideravelmente com a profundidade, e os valores médios em 5 m ( $25,8 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), 12,5 m ( $35,3 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) e 20 m ( $93,5 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) mostram que o fluxo é cerca de 3,6 vezes mais alto numa camada d'água de 15 metros (entre 5 e 20 m). Os valores máximos registrados ocorreram em amostras da campanha 2, para as profundidades de 5 m ( $50,0 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) e 12,5 ( $60,0 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), e da campanha 10 para a profundidade de 20 m ( $193,1 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), este último esteve fortemente relacionado com o valor médio da CAS na mesma profundidade ( $261 \text{ mg m}^{-3}$ ), que foi 7,6 vezes superior ao valor em 5 m ( $34 \text{ mg m}^{-3}$ ). É importante salientar que o material retido pelas armadilhas certamente estaria passível ainda de remobilização pela ação das correntes mesmo que depositasse no fundo, e seriam então novamente trazidos à suspensão e transportados horizontalmente. Ainda assim, os valores de fluxo não podem ser entendidos como taxas de sedimentação. Taxas de sedimentação na BTS foram estimadas entre 3,8 a 15 milímetros por ano (Argollo, 2001; Andrade et al., 2017). Estas taxas de sedimentação correspondem a fluxos entre 10 e  $20 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , de acordo com Argollo (2001).

Experimentos utilizando derivadores foram feitos por Baker et al. (1988) em Puget Sound (EUA), e obtiveram fluxo médio entre  $1,9 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  e  $18,7 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , com picos de até  $85,6 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , em região de CSS da ordem de  $1 \text{ mg l}^{-1}$ . Em oceano aberto, Noriki e Tsunogai (1986) encontraram fluxos variando entre  $6 \times 10^{-3} \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  e  $1,2 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Medições de fluxos próximas ao assoalho ( $<1 \text{ m}$ ) foram feitas em estuários temperados de meso e macro marés por Manning e Dyer (2007), que relataram fluxos superiores a  $10^3 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  durante momento de máxima turbidez resultante da dinâmica das marés, e por Manning e Schoellhamer (2013), que relataram fluxos superiores a  $5 \times 10^4 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  na zona de máxima turbidez do estuário, onde, em ambas as situações, as concentrações de sedimento variam de  $10^2$  a  $10^3 \text{ mg l}^{-1}$ . Estes valores de fluxos são até  $10^3$  vezes superiores aos fluxos medidos na BTS, que por outro lado apresentou CSS média de  $13 \text{ mg l}^{-1}$  ( $<10 \text{ mg l}^{-1}$  em maré de quadratura), ou até  $10^3$  vezes menor que as concentrações de sedimento nos estuários temperados investigados.

Usando armadilhas de sedimento fundeadas em diferentes setores da Baía de Sepetiba, Barcelos et al. (1997) encontraram taxas de deposição variando entre 5 e  $50 \text{ mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , equivalente a 50 e  $500 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Em experimento parecido feito na BTS ao sul da Ilha dos Frades, Oliveira (2014) encontrou taxas de deposição variando entre 1000 e  $2000 \text{ g m}^{-2}$

$d^{-1}$ . Os dados de fluxo vertical encontrados sugerem a capacidade dos macro-agregados de potencializar as taxas de fluxo dentro da BTS.

Macro-agregados foram observados em todos os pontos visitados na BTS, mas suas dimensões ficam reduzidas com o aumento da distância em relação ao centro da baía. Os maiores valores de CAS foram observados na região central da BTS, especialmente no lado leste da Ilha dos Frades. Os valores de MI para as amostras de agregados mostram que afastados do centro da baía, já próximo às bordas, tendem a ser maiores. Na situação mais comum, houve aumento de CAS com a profundidade, mesmo comportamento verificado com o percentual de material inorgânico. Essa situação está de acordo com as encontradas nos estudos do MPS e do fluxo vertical de sedimentos. Pode assim ser sugerido que a zona de formação dos macro-agregados se situa ao redor da Ilha dos Frades, particularmente entre a Ilha dos Frades e Ilha de Maré.

As análises feitas no microscópio permitiram identificar alguns grupos de fitoplâncton aderidos aos agregados, sendo as diatomáceas o grupo dominante. Diatomáceas são dominantes nas águas BTS (Almeida, 2016; Soares, 2016), assim como em outros locais da costa brasileira, no norte (Paiva et al., 2006), nordeste (Aquino, 2012) e sul (Torgan e Biancamano, 1991) do país.

Apesar do aspecto filamentosos dos macro-agregados sugerir uma composição basicamente orgânica, os valores de MI apontaram o contrário, ocorrendo forte retenção de sedimentos inorgânicos em sua estrutura. O valor médio do teor inorgânico das amostras de macro-agregados (83 %) supera o valor das amostras de MPS (63 %) e o das amostras do material decantado nos derivadores (77 %). Este último mostrou grande presença de macro-agregados nas amostras, e a causa para o teor não ser comparativamente alto provavelmente é devido à decantação de partículas orgânicas desassociadas aos macro-agregados que ocorre dentro das armadilhas, ou ainda alguma influência do material orgânico presente no volume de água filtrado no processamento das amostras.

A estação mais interna ao canal de São Roque (#10), apresentou teor inorgânico médio no MPS de 76 % durante as campanhas de 2012-2015. Mesmo sendo essa a estação com maior presença de partículas inorgânicas, devido à sua proximidade com o rio Paraguaçu, ainda assim o teor encontrado é abaixo da média contida nos macro-agregados, o que demonstra a forte capacidade destes em reter inorgânicos.

Os agregados encontrados *in situ* apresentaram ampla variação de comprimento, muitos alcançando decímetros, tamanho esse excessivamente grande para região estuarina. Uma possível fonte do material formador dessas estruturas pode ter origem antrópica, através da influência de atividades industriais da região de Madre de Deus, a qual é rica em indústrias,

uma vez que já foi identificado que formação de ‘neve marinha’ de grandes dimensões ocorreu após um episódio de derramamento de óleo no Golfo do México (Passow et al., 2012). Existem elementos que aproximam os macro-agregados encontrados na BTS da ‘neve marinha’ descrita na literatura, entre eles o crescimento por agregação, alto teor inorgânico e microcosmo de organismos planctônicos (Alldredge e Silver, 1988), porém é indicado mais estudos para estabelecer melhor essa relação.

A relação entre as características morfológicas e a velocidade de queda dos agregados estudados no presente trabalho foi pequena ( $R^2 \leq 0,2$ ), o que mostra que a velocidade de queda dos agregados varia muito independente das dimensões. De acordo com Manning et al. (2013), em ambiente estuarino, caso a floculação envolva sedimentos mistos, as velocidades de decantação entre microflocos e macroflocos podem ser niveladas.

Assim como ocorrido na análise de sensibilidade da densidade efetiva dos macro-agregados, a alteração do valor médio da densidade da água para valores mínimo e máximo não representou efeito importante na velocidade de queda. Como já mostrado em alguns trabalhos (Dyer e Manning, 1999; Manning e Schoellhamer, 2013) a densidade efetiva do floco diminui com o crescimento do floco, efeito causado pela maior porosidade e agregação de partículas mais leves (Van de Lee, 2000). Dessa forma, os baixos valores de densidade efetiva encontrados no presente trabalho deve ser fruto de uma alta porosidade existente nos macro-agregados, que conduziu os valores de densidade dos macro-agregados para valores próximos ao do meio em que se encontram.

A velocidade média de decantação dos macro-agregados foi de  $20 \pm 6 \text{ mm s}^{-1}$  e variou com mínimo de  $12 \text{ mm s}^{-1}$  e máximo de  $34 \text{ mm s}^{-1}$ . Se comparado aos diferentes estudos sobre a velocidade de decantação de partículas no ambiente estuarino, os valores encontrados no presente trabalho são claramente superiores aos de partículas típica desse tipo de ambiente (estuário ou baía). Macroflocos de região estuarina de diâmetro correspondente a  $< 1 \text{ mm}$ , normalmente decantam em velocidades de até  $8 \text{ mm s}^{-1}$  (Fennessy et al., 1994; Wolfstein e Kies, 1999; Manning e Bass, 2006; Bass et al., 2007; Van Leussen, 2011; Manning e Schoellhamer, 2013). Dado a elevada velocidade de decantação e comumente alta concentração junto ao fundo, a possibilidade de dispersão dos macro-agregados para fora da BTS se torna reduzida, uma vez que os fluxos médios na metade inferior da camada d’água ocorre em direção ao interior da baía (Cirano e Lessa, 2007; Lessa et al., 2009; Pereira e Lessa, 2009; Lessa et al., 2018; Santana et al., 2018).

# 5

## Conclusão

Através dos métodos aplicados e dados obtidos no presente trabalho, as seguintes conclusões podem ser feitas:

A presença dos macro-agregados foi registrada em todos os pontos visitados dentro da BTS. Foi verificada ampla variação de comprimento deste particulado, variando desde poucos milímetros a alguns decímetros. O formato alongado foi predominante entre os agregados, com presença de pontos de aglomeração de massa ao longo da estrutura, gerando irregularidade no aspecto dos filamentos, algo bem notado nos indivíduos maiores (alguns centímetros). Já os indivíduos menores aparentam ser fragmentos dos filamentos maiores, porém, devido à hidrodinâmica do ambiente, é provável que exista continuamente agregação e desagregação do material, interagindo no tamanho e forma. Sua estrutura é relativamente frágil e passível de fragmentação após a coleta, sendo indicado que certos tipos de análises ocorram *in situ*, como o caso da avaliação da velocidade de decantação. Apesar de possuir aparência de composto orgânico, a presença de material inorgânico em sua estrutura é muito elevada (>80 %), superior ao do material em suspensão do meio em que se encontram (63 %). Apesar da alta concentração de inorgânicos, a alta porosidade deste particulado faz com que sua densidade seja reduzida a valores próximos ao da água, o que explicaria o fato de muitas vezes terem sido encontrados boiando nos recipientes de armazenamento.

A região da BTS onde os macro-agregados mais estiveram concentrados foi em torno da Ilha dos frades, principalmente no lado leste, setor onde possivelmente oferece condições necessárias para a formação dessas estruturas, e que pode ser decorrente do produto de atividades industriais que ocorrem próximas à essa região.

Os dados de concentração e do fluxo vertical de sedimentos mostrou estreita relação com a concertação de agregados em suspensão, não só pelo aumento do gradiente com a profundidade, mas também pelo considerável aumento que existe nas camadas mais profundas. O mesmo aumento foi verificado em relação à presença de material inorgânico, mas com aumento dos valores com a profundidade ocorrendo de modo mais moderado.

Quando isolados na câmara de decantação, os macro-agregados davam início à decantação, cuja velocidade média de deslocamento foi em torno de  $20 \text{ mm s}^{-1}$ , pouco mais de 2 vezes superior às velocidades de decantação comuns encontradas para os macroflocos ( $<1 \text{ mm}$ ) relatados na literatura. A velocidade não pareceu depender muito das dimensões dos mesmos, e considerando a facilidade de rompimento de sua estrutura, é possível que fragmentos maiores ou menores sejam constantemente produzidos, e assim haja grande mescla de composição. Dada sua ampla distribuição, concentração, composição e velocidade de decantação, pode-se afirmar que esses agregados apresentam grande importância no transporte de material inorgânico para o fundo, com provável impacto no aumento da taxa de sedimentação dentro da baía, uma vez que sua dispersão para fora da BTS é dificultada.

# Agradecimentos

Agradeço à minha família por todo o apoio dado antes e durante o curso, especialmente à minha mãe pela enorme dedicação. Ao meu orientador Guilherme Lessa pela fundamental contribuição na construção de ideias, nas atividades de campo, além de todo o incentivo e ensinamentos dados a mim. E aos meus colegas de curso: Geoff, Mariana e Átila, parceiros na busca do melhor.

Aos professores do Curso de Pós-graduação em Geofísica (CPGG) Clemente Tanajura, Janini Pereira, Guilherme Lessa e Carlos Lentini pela valiosa dedicação, atenção e apoio.

Ao pessoal que dedicou horas e até dias de trabalho de campo comigo. Lucas, e seu imensurável esforço em várias oportunidades. Rafael, André e o comandante Carlinhos que também ajudaram muito, além de vários outros amigos do curso de oceanografia e do Grupo de Oceanografia Tropical (GOAT) da UFBA que participaram. Muito obrigado, turma!

Agradecimentos especiais a Zé Roberto e Saulo do Laboratório de Física Nuclear e Aplicada (LFNA) da UFBA, que desde minha graduação contribuíram de diversas formas com minhas atividades desenvolvidas no LFNA.

Aos profs. Ana Cecília (Dep. de Oceanografia), Doriedson Ferreira (Dep. de Botânica) e Paulo Mafalda (Dep. de Zoologia) da UFBA pela colaboração direta com o andamento do projeto, todos sempre muito gentis disponibilizando parte de seu tempo, equipamentos e laboratório.

Aos amigos que estiveram comigo em laboratório; Loreane e Marcos, muito obrigado pela valorosa colaboração para o avanço do projeto.

E à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pela concessão da Bolsa de estudos e financiamento do projeto de pesquisa, e ao Projeto Kirimurê pela infraestrutura de campo nas campanhas de 2012-2015.

# Referências Bibliográficas

Allan, R. J. (1986) The role of particulate matter in the fate of contaminants in aquatic ecosystems. Scientific Series, Inland Waters Directorate, National Water Research Institute: Burlington, Ontario, pp. 86-142.

Allen, J. R. L. (2001) Principles of Physical Sedimentology. The Blackburn Press, Caldwell, Nova Jersey, 272p.

Allen, T. (1975) Particle size measurement. Chapman and Hall, London, 454p.

Almeida, A. S. C. (2016) Variação espaço-temporal da comunidade fitoplanctônica na Baía de Todos-os-Santos, em diferentes condições hidrológicas. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Oceanografia). Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 75p.

Alves Júnior, L. A. (2011) Caracterização hidrográfica da Baía de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 68p.

Andrade, L. S. (2016) Variação espaço-temporal do fitoplâncton em marés de sizígia na Baía de Todos os Santos, Salvador, Bahia, Brasil. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Oceanografia). Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 37p.

Andrade, R. L. B.; Hatje, V.; Masqué, P.; Zurbrick, C. M.; Boyle, E. A. e Santos, W. P. C. (2017) Chronology of anthropogenic impacts reconstructed from sediment records of trace metals and Pb isotopes in Todos os Santos Bay (NE Brazil). Marine Pollution Bulletin, 125(1-2):459-471.

Aquino, E. P. (2012) Fitoplâncton do estuário do Rio dos Passos (Rio Formoso, Pernambuco, Brasil). Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Oceanografia). Universidade Federal de Pernambuco. 87p.

Argollo, R. M. (2001) Cronologias de sedimentação recente e de deposição de metais pesados na Baía de Todos os Santos usando Pb210 e Cs137. PhD Thesis. Programa de

Pós-Graduação em Geologia. Universidade Federal da Bahia, Salvador. 119p.

Baker, E. T.; Milburn, H. B. e Tennant, D. A. (1988) Field assessment of sediment trap efficiency under varying flow conditions. *Journal of Marine Research*, 46(3):573-592.

Barcellos, C.; De Lacerda, L. D. e Ceradini, S. (1997) Sediment origin and budget in Sepetiba Bay (Brazil) - an approach based on multielemental analysis. *Environmental Geology*, 32(3):203-209.

Barreto, M. A. S. e Paredes, J. F. (1995) Estudos hidrodinâmicos no estuário do Rio Paraguaçu. *Ciência e Tecnologia*, Brasília, CPRM, 5:46-51.

Bass, S. J.; Manning, A. J.; e Dyer, K. R. (2006) Preliminary findings from a study of the upper reaches of the Tamar Estuary, UK, throughout a complete tidal cycle: Part I. Linking sediment and hydrodynamic cycles. *Coastal and Estuarine Fine Sediment Processes-Proc. in Marine Science*, 8:1-14.

Chen, S. e Eisma, D. (1995) Fractal geometry of in situ flocs in the estuarine and coastal environments. *Netherlands Journal of Sea Research*, 33(2):173-182.

Cirano, M. e Lessa, G. C. (2007) Oceanographic characteristics of Baía de Todos os Santos. Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, 25:363-387.

Dominguez, J. M. L. e Bittencourt, A. C. S. P. (2009) Geologia. In: Vanessa Hatje e Jailson B. de Andrade. (Org). Baía de Todos os Santos: Aspectos Oceanográficos. Ed. Salvador: EDUFBA, v.1 pp. 27-66.

Dyer, K. R. e Manning, A. J. (1999) Observation of the size, settling velocity and effective density of flocs, and their fractal dimensions. *Journal of Sea Research*, 41:87-95.

Eisma, D. (1986) Flocculation and de-flocculation of suspended matter in estuaries. *Netherlands Journal of Sea Research*, 20(2-3):183-199.

Fennessy, M. J.; Dyer, K. R. e Huntley, D. A. (1994) INSSEV: An instrument to measure the size and settling velocity of flocs in situ. *Marine Geology*, 117(1-4):107-117.

Gardner, W. D. (1980) Sediment trap dynamics and calibration: a laboratory evaluation. *Journal of Marine Research*, 38:17-39.

Geyer, W. R. (2010) Estuarine salinity structure and circulation. In: Valle-Levinson A. (Ed.), *Contemporary issues in estuarine physics chapter 2*, Cambridge University Press, pp. 12-26.

Giani, M.; Rinaldi, A. e Degobbis D. (2005) Mucilages in the Adriatic and Tyrrhenian Sea: an introduction. *Sci. Total Environ*, 353(1-3):3-9. Hansen, D. V. e Rattray, M. J.

(1966) Gravitational circulation in straits and estuaries. *J. Mar. Res.*, 23(2):104-122.

Hatje, V.; Attisano, K. K.; de Souza, M. F. L.; Mazzilli, B.; de Oliveira, J.; de Araújo Mora, T. e Burnett, W. C. (2017) Applications of radon and radium isotopes to determine submarine groundwater discharge and flushing times in Todos os Santos Bay, Brazil. *Journal of environmental radioactivity*, 178:136-146.

Hill, P. S.; Milligan, T. G. e Geyer W. R. (2000) Controls on effective settling velocity of suspended sediment in the Eel River food plume. *Continental Shelf Research*, 20:2095-2111.

Hogg, R. (2005) Flocculation and dewatering of fine particle suspensions. In: Hansjoachin Stecemesser e Bohulav Dobias (Eds), *Coagulation and Flocculation*. CRC Press, 865p.

Lessa, G. C.; Cirano M.; Tanajura C. A. S. e Silva R. R. (2009) Oceanografia Física. In: Vanessa Hatje e Jailson B. de Andrade. (Org). *Baía de Todos os Santos: Aspectos Oceanográficos*. Ed. Salvador: EDUFBA, v.1 pp. 69-119.

Lessa, G. C.; Dominguez, J. M.; Bittencourt, A. C. e Brichta, A. (2001) The tides and tidal circulation of Todos os Santos Bay, Northeast Brazil: a general characterization. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 73(2):245-261.

Lessa, G. C.; Santos, F. M.; Souza Filho, P. W. e Corrêa-Gomes, L. C. (2018) A geomorphologic and oceanographic perspective. In: Lana, P. C. and Bernardino, A. F. *Brazilian Estuaries*. Springer; 1st ed. 57p.

Lima, G. M. P. e Lessa, G. C. (2001) The fresh-water discharge in Todos os Santos Bay (BA) and its significance to the general water circulation. *Pesquisas em Geociências*, 28(2):85-98.

Maggi, F. (2005) Flocculation dynamics of cohesive sediment. PhD Thesis, Universiteit Delft, 154p.

Manning, A. J. e Dyer, K. R. (2007) Mass settling flux of fine sediments in Northern European estuaries: measurements and predictions. *Marine Geology*, 245(1-4):107-122.

Manning, A. J. e Bass, S. J. (2006) Variability in cohesive sediment settling fluxes: Observations under different estuarine tidal conditions. *Marine Geology*, 235:177-192.

Manning, A. J. e Schoellhamer, D. H. (2013) Factors controlling floc settling velocity along a longitudinal estuarine transect. *Marine Geology*, 345:266-280.

Manning, A. J.; Bass, S. J. e Dyer, K. R. (2007) Preliminary findings of a study of the upper reaches of the Tamar Estuary, UK, throughout a complete tidal cycle: part II: in-situ floc spectra observations. *Proceedings in Marine Science*, 8:15-33.

Manning, A. J.; Spearman, J. R.; Whitehouse, R. J. S.; Pidduck, E. L.; Baugh, J. V. e Spencer, K. L. (2013) Laboratory assessments of the flocculation dynamics of mixed mud: sand suspensions. In: Manning, A. J. (Ed.), *Sediment Transport Processes and their Modelling Applications*. Intech, Rijeka, Croatia. ISBN: 978-953-51-1039-2, pp. 119-164.

Mantovanelli, A. (1999) *Caracterização da Dinâmica Hídrica e do Material Particulado em Suspensão na Baía de Paranaguá e em sua Bacia de Drenagem*. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental). Departamento de Geologia. Universidade Federal do Paraná. 169p.

Markussen, T. N. e Andersen, T. J. (2014) Flocculation and floc break-up related to tidally induced turbulent shear in a low-turbidity, microtidal estuary. *Journal of Sea Research*, 89:1-11.

McNally, W. H. e Mehta, A. J. (2009) *Sediment transport in estuaries*. Coastal zones and estuaries, 106p.

Melo, G. V. (2004) *Transporte de metais pesados no sedimento em suspensão na Baía de Guanabara, em um ciclo de maré*. Dissertação (Mestre em Ciências). Instituto de Geociências. Universidade Federal Fluminense. 102p.

Milliman, J. (2001) River Inputs, in Steele, J. H.; Thorpe, S. A. e Turekian, K. K. *Encyclopedia of Ocean Sciences*, 2nd ed., Academic Press, New York pp. 2419-2427.

Monsen, N. E.; Cloern, J. E.; Lucas, L. V. e Monismith, S. G. (2002) A comment on the use of flushing time, residence time, and age as transport time Scales. *Limnol. Oceanogr.*, 47(5):1545-1553.

Moura, P. L. *Material em suspensão na Baía de Todos os Santos*. (1979) Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia. 49p.

Noriki, S. e Tsunogai, S. (1986) Particulate fluxes and major components of settling particles from sediment trap experiments in the Pacific Ocean. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 33(7):903-912.

Oliveira, W. P. (2014) *Dinâmica do material particulado em suspensão no eixo principal da Baía de Todos os Santos*. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Oceanografia). Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 52p.

Paiva, R. S; Eskinazi-Leça, E.; Passavante, J. Z. O; Silva-Cunha, M. G. G. e Melo, N. F. A. C. (2006) Considerações ecológicas sobre o fitoplâncton da baía do Guajará e foz do rio Guamá, Pará, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências naturais* 1(2):133-146.

Panpenmeier, S.; Schrottke, K. e Bartholomä, A. (2014) Over time and space changing characteristics of estuarine suspended particles in the German Weser and Elbe estuaries. *Journal of Sea Research*, 85:104-115.

Passow, U.; Ziervogel, K.; Asper, V. e Diercks, A. (2012) Marine snow formation in the aftermath of the Deepwater Horizon oil spill in the Gulf of Mexico. *Environmental Research Letters*, 7(3):035301.

Pereira, M. G. e Lessa, G. C. (2009) Varying patterns of water circulation in Canal de Cotegipe, Baía de Todos os Santos, *Revista Brasileira de Geofísica*, 27(1):1-17.

Rodrigues, R. M. (2016) Análise da variabilidade do campo termohalino e suas forçantes no eixo central da Baía de Todos os Santos. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Oceanografia). Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 67p.

Santana, R.; Texeira, C. e Lessa, G. C. (2018) The impact of different forcing agents on the residual circulation in a tropical well mixed estuary: Baía de Todos os Santos, Brazil 13S. Submitted to *Ocean Dynamics*.

Santos, C. B. (2005) Contribuição aos estudos da carga sedimentar em suspensão na Baía de Todos os Santos. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Oceanografia). Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 47p.

Schettini, C. A. F.; de Almeida, D. C. e Siegle, E. (2010) A snapshot of suspended sediment and fluid mud occurrence in a mixed-energy embayment, Tijucas Bay, Brazil. *Geo-Marine Letters*, 30(1):47-62.

Smith, S. J. e Friedrichs, C. T. (2011) Size and settling velocities of cohesive flocs and suspended sediment aggregates in a trailing suction hopper dredge plume. *Continental Shelf Research*, 31:50-63.

Soulsby, R. L.; Manning, A. J.; Spearman, J. e Whitehouse, R. J. S. (2013) Settling velocity and mass settling flux of flocculated estuarine sediments. *Marine Geology*, 339: 1-12.

Torgan, L. C. e Biancamano, M. E. (1991) Catálogo das diatomáceas (Bacillariophyceae) referidas para o Estado do Rio Grande do Sul, no período de 1973 a 1990. *Caderno de Pesquisa - Série Botânica*, Santa Cruz do Sul, 3(1):1-201.

Valle-Levinson, A. (2010) Definition and classification of estuaries. In: Valle-Levinson, A. (Ed.). *Contemporary issues in estuarine physics*. Cambridge University Press. p. 1-11.

Van der Lee, W. T. B. (2000) Temporal variation of floc size and settling velocity in the

Dollard estuary. *Continental Shelf*, p. 77-93.

Van Leussen, W. (2011) Macroflocs, fine-grained sediment transports, and their longitudinal variations in the Ems Estuary. *Ocean Dynamics*, 61(2-3):387-401.

Verney, R.; Lafite, R. e Brun-Cottan, J. C. (2009) Flocculation potential of estuarine particles: The importance of environmental factors and of the spatial and seasonal variability of suspended particulate matter. *Estuaries and coasts*, 32(4):678-693.

Wolfstein, K. e Kies, L. (1999) Composition of suspended particulate matter in the Elbe estuary: implications for biological and transportation processes. *German Journal of Hydrography*, 51(4):453-463.

Wolgemuth, K.; Burnett, W. e Moura, P. L. (1981) Oceanography and suspended materials in Todos os Santos Bay. *Revista Brasileira de Geociências*, 11:172-178.

Xi, H.; Larouche, P.; Tang S. e Michel, C. (2014) Characterization and variability of particle size distributions in Hudson Bay, Canada. *J. Geophys. Res. Oceans*, 119:3392-3406.