



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

**DINÂMICA DO MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO
NO EIXO PRINCIPAL DA BAÍA DE TODOS OS SANTOS**

WEDERSON PEREIRA OLIVEIRA

Salvador

2014

WEDERSON PEREIRA OLIVEIRA

**DINÂMICA DO MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO
NO EIXO PRINCIPAL DA BAÍA DE TODOS OS SANTOS**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Camargo Lessa

Salvador

2014

TERMO DE APROVAÇÃO

WEDERSON PEREIRA OLIVEIRA

**DINÂMICA DO MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO
NO EIXO PRINCIPAL DA BAÍA DE TODOS OS SANTOS**

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Oceanografia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

Guilherme Camargo Lessa – Orientador
Doutor em Ciências Marinhas pela Universidade de Sidney
Universidade Federal da Bahia

Ruy Kenji Papa de Kikuchi
Doutor em Geologia pela Universidade Federal da Bahia
Universidade Federal da Bahia

Juliana Leonel
Doutora em Oceanografia Química e Geológica pela Universidade de São Paulo
Universidade Federal da Bahia

Salvador

Agosto de 2014

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho à memória do meu irmão Idno, “não há celebração sem ao menos haver sua lembrança”. Agradeço à minha mãe (Elisa), pelo incentivo e dedicação dados à minha educação, ao meu pai (Zozanias), à minha irmã (Taliane), brothers (valeu PH!), tios e primos, que de alguma forma ou frequentemente colaboraram comigo. Agradeço à minha companheira Jamille, pela assistência e companheirismo vividos a cada dia. Como colaboradores diretos à minha formação profissional, agradeço ao meu orientador Guilherme Lessa, pelo ensinamento e oportunidades que recebi, e também aos professores do curso de oceanografia da UFBA, que colaboram com a minha formação. Agradeço aos meus colegas de curso, abraço especial à turma de 2008, que dividiram comigo os desafios e conhecimentos ao longo dessa jornada. Agradeço às pessoas do Grupo de Oceanografia Tropical (GOAT) em Física Nuclear Aplicada, e ao grupo de estudos do plâncton do Instituto de Biologia pelo apoio no desenvolvimento do projeto, e também ao CNPq/UFBA pela concessão da bolsa de iniciação científica.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo principal mapear a variabilidade espaço-temporal do material particulado em suspensão (MPS), entre o canal de Salvador (leste da BTS) e o canal do Paraguaçu (oeste da BTS), determinando a relação deste com a resposta do sensor de retroespalhamento ótico (SRO) e com a concentração de matéria orgânica. Para tanto, foram realizadas 33 campanhas de monitoramento longitudinal de salinidade, temperatura, turbidez e MPS, em nove estações, cobrindo dois anos hidrológicos. A temperatura e a salinidade média da coluna d'água para todas as campanhas foram de 27,7 °C e 35,9 UPS, com amplitudes de 6,1 °C e 7,4 UPS. O SRO quase sempre apresentou uma relação diretamente proporcional com o MPS, com R^2 e erro, obtidos da regressão linear, de 0,82 e 7,1 mg/L, respectivamente. As maiores concentrações de MPS (média de 15,8 mg/L para as estações #7 e #10) foram encontradas próximas ao canal do Paraguaçu, especialmente em condições de maré de sizígia. A atividade de dragagem realizada próxima ao canal do Paraguaçu elevou consideravelmente os valores de MPS durante o verão de 2013, mas esse aumento foi significativo apenas nessa região, alcançando distâncias maiores (Ilha dos Frades) em maré de sizígia, especialmente na água de fundo. O MPS foi composto principalmente por material de origem inorgânica (média de 66%), sendo que a fração orgânica apresentou menores valores quando o MPS foi maior.

Palavras chave: BTS, temperatura, salinidade, material particulado em suspensão, turbidez e sedimento.

ABSTRACT

This study aims to map the spatial and temporal variability of the total suspended matter (TSM) between Salvador Channel (east) and Paraguaçu Channel (west), and to determine its relationship with the response of the optical backscatter (OBS) signal and concentrations of organic matter. To do so, 33 field campaigns were conducted, resulting in 2 years of hydrological data. In each of the stations (9 at neap tide and 4 at spring tide), vertical profiles using a CTD collected data on depth, temperature, salinity and turbidity. Additionally, water samples were taken for laboratory analysis and determination of the TSM. The average temperature and salinity of the water column for all campaigns were 27.7 °C and 35.9 PSU range of 6.1 °C and 7.4 PSU. The OBS almost always showed a linear relationship with the TSM, with R^2 and error of 0.82 and 7.1 mg/L, respectively. The highest TSM concentrations were found near the MPS Paraguaçu Channel, especially during spring tides. Dredging of Paraguaçu Channel in the Summer 2013 increased the TSM considerably. The dredging signal was observed as far as 20 km downstream (Frades Island), and especially in the bottom waters. Inorganic particles, more abundant with higher TSM values, accounted for approximately 66% of the TSM.

Keywords: BTS, temperature, salinity, total suspended matter, turbidity and sediment.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	2
ÍNDICE DE TABELAS.....	4
1 INTRODUÇÃO	5
2 OBJETIVOS	6
3 METODOLOGIA.....	7
3.1 <i>Área de Estudo.....</i>	<i>7</i>
3.2 <i>Procedimento de Campo.....</i>	<i>8</i>
3.1 <i>Procedimento Laboratorial e Processamento dos Dados.....</i>	<i>10</i>
4 RESULTADOS	12
4.1 <i>Propriedades Físicas da Massa D'água.....</i>	<i>12</i>
4.1.1 - <i>Temperatura.....</i>	<i>12</i>
4.1.2 - <i>Salinidade</i>	<i>15</i>
4.2 <i>Conversão do Sinal de NTU em MPS para as Campanhas.....</i>	<i>19</i>
4.3 <i>Conversão do Sinal de NTU em MPS para as Estações.....</i>	<i>22</i>
4.4 <i>Material Particulado em Suspensão (MPS).....</i>	<i>27</i>
4.5 <i>Relação do MPS com as Propriedades Físicas da Massa D'água.....</i>	<i>30</i>
4.6 <i>Material Particulado Inorgânico (MPI) e Material Particulado Orgânico (MPO) ..</i>	<i>31</i>
4.7 <i>SRO e Concentração Relativa do MPO x Comunidade Planctônica.</i>	<i>34</i>
4.8 <i>Campanhas de 13 Horas.....</i>	<i>36</i>
4.9 <i>Fluxo Vertical do MPS</i>	<i>39</i>
5 DISCUSSÃO	40
6 CONCLUSÕES	43
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Posição das 9 estações de monitoramento (marcadores amarelos) distribuídas ao longo do eixo principal da BTS, entre o canal de Salvador e o canal do Paraguaçu.</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2 – Temperatura média (com desvio padrão) da coluna d'água em cada campanha.</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3 – Temperatura média (com desvio padrão) da coluna d'água em cada estação, ao longo das campanhas.</i>	<i>13</i>
<i>Figura 4 – Temperatura média (com desvio padrão) das águas de superfície e fundo em cada estação, ao longo das campanhas.</i>	<i>14</i>
<i>Figura 5 – Perfis longitudinais de temperatura no período chuvoso (a) e no período seco (b), em agosto de 2012 e em dezembro de 2013, respectivamente.</i>	<i>15</i>
<i>Figura 6 – Salinidade média (com desvio padrão) da coluna d'água em cada campanha.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 7 – Salinidade média (com desvio padrão) da coluna d'água em cada estação, ao longo das campanhas.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 8 – Salinidade média (com desvio padrão) das águas de superfície e fundo em cada estação, ao longo das campanhas.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 9 – Perfis longitudinais de salinidade no período chuvoso (a), período seco de 2012/2013 (b) e período seco de 2013/2014 (c), em agosto de 2012, março de 2013 e março de 2014, respectivamente.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 10 – Coeficientes angular e linear de cada campanha.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 11 – Relação dos coeficientes angular (a) e linear (b) com a concentração média do MPO nas campanhas.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 12 – Valores do erro e do R^2 em cada campanha.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 13 – Relação MPS x SRO em agosto de 2012 (a) e agosto de 2013 (b), com os respectivos valores de R^2 e erros obtidos da regressão linear (linha vermelha). .</i>	<i>21</i>
<i>Figura 14 – Relação entre o R^2 e o erro de cada campanha.</i>	<i>21</i>
<i>Figura 15 – Relação MPS x SRO de todas as campanhas, com a equação, o R^2 e o erro obtidos da regressão linear (linha vermelha).</i>	<i>22</i>

<i>Figura 16 – Relação do MPS (eixo y, em mg/L) e SRO (eixo x, em NTU) de cada estação, com os respectivos valores de R^2 e erros obtidos da reta de melhor ajuste (linha vermelha).</i>	24
<i>Figura 17 – Coeficientes angular e linear de cada estação.</i>	25
<i>Figura 18 – Valores do erro e do R^2 em cada estação.</i>	26
<i>Figura 19 – Relação entre o R^2 e o erro de cada estação.</i>	26
<i>Figura 20 – Concentração média (com desvio padrão) do MPS na coluna d'água em cada campanha.</i>	27
<i>Figura 21 – Concentrações médias na coluna d'água do MPS (geral), em maré de quadratura e em maré de sizígia para cada estação, ao longo das campanhas.</i>	28
<i>Figura 22 – Interpolação do MPS no tempo e espaço. Águas de superfície (a) e fundo (b) em sizígia, e água de fundo em quadratura (c).</i>	29
<i>Figura 23 – Valores médios da concentração do MPS em relação à temperatura (a) e à salinidade (b) em cada campanha, com os respectivos valores de R^2 e erro obtidos da curva de melhor ajuste (linha ciana).</i>	30
<i>Figura 24 – Concentração relativa do MPI e MPO média para cada campanha.</i>	31
<i>Figura 25 – Interpolação do MPO no tempo e espaço. Concentrações relativa (a) e absoluta (b) na água de superfície, em maré de sizígia.</i>	32
<i>Figura 26 – Interpolação do MPO no tempo e espaço. Concentrações relativa (a) e absoluta (b) na água de fundo, em maré de sizígia.</i>	33
<i>Figura 27 – Interpolação do MPO no tempo e espaço. Concentrações relativa (a) e absoluta (b) na água de fundo, em maré de quadratura.</i>	34
<i>Figura 28 – Relação do SRO e do MPO com a densidade da comunidade planctônica, com os respectivos valores de R^2 e erro obtidos da reta de melhor ajuste (linha vermelha).</i>	35
<i>Figura 29 – Relação MPS x SRO das duas campanhas de 13 horas, com seus respectivos R^2 e erros, obtidos da reta de melhor ajuste (linha vermelha).</i>	36
<i>Figura 30 – Concentração do MPS em 27-04-2013 (a) e 15-02-2014 (b) ao longo de um ciclo completo de maré de sizígia.</i>	37
<i>Figura 31 – Concentração do MPI e MPO em 27-04-2013 (a) e 15-02-2014 (b) ao longo de um ciclo completo de maré de sizígia.</i>	38
<i>Figura 32 – Fluxo vertical do MPS na região central da BTS.</i>	39

Figura 33 – Teor de lama e areia nas amostras..... 39

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Data, modulação e nível da maré e estações monitoradas em cada campanha..... 9

Tabela 2 – Local de coleta de água (S = superfície e F = fundo) em cada estação para as campanhas de quadratura e sizígia. 9

1 INTRODUÇÃO

A Baía de Todos os Santos (BTS) é um sistema estuarino com 1233 km² (Cirano e Lessa 2007) que tem como afluentes os rios Paraguaçu, Jaguaripe e Subaé. A BTS, assim como qualquer estuário, está sujeita a uma variedade de processos biogeoquímicos (Hill et al., 2000), intimamente ligados à dinâmica e natureza do material particulado em suspensão (MPS).

O material particulado é separado operacionalmente do material dissolvido através de sua retenção em filtro com porosidade $\leq 0,7 \mu\text{m}$. O MPS no ambiente estuarino é constituído de matéria orgânica (fragmentos vegetais continentais, plânctons e bactérias) e inorgânica (silte e argila), sendo normalmente encontrado na forma de microflocos (125 μm), constituídos de partículas minerais e matéria orgânica, e macroflocos (3-4 mm), formado pelos microflocos agregados (Eisma, 1986). Os flocos são a principal forma de transporte do material em suspensão (Droppo, 2001), já que estes correspondem a centenas de vezes o diâmetro de uma partícula mineral ($< 2 \mu\text{m}$) (Walling et al., 2000). No entanto, flocos e agregados estão em constante alteração de tamanho devido à concentração de partículas no meio e à turbulência do fluxo (Dyer e Manning, 1999).

A investigação do MPS é importante para a compreensão dos mecanismos de troca de substâncias entre o estuário e o oceano (Mantovanelli et al., 2004; Zaleski e Schettini, 2006 e Pereira et al., 2010) devido à capacidade de adsorção de nutrientes e contaminantes pelos sedimentos finos (Allan, 1986). Além disso, a deposição dos sedimentos pode comprometer a navegabilidade de canais portuários e forçar a realização de dragagens periódicas. Operações recentes de dragagem realizadas nos portos de Aratu e Salvador removeram um volume de aproximadamente $3 \times 10^6 \text{ m}^3$, a um custo de R\$ 89 milhões (CODEBA, 2010). A dragagem de aprofundamento do canal de São Roque (Estaleiro Enseada do Paraguaçu) iniciada em meados de dezembro de 2012 e duração de pouco mais de 100 dias, movimentou $2,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ de material de fundo, permitindo um aumento do calado do rio Paraguaçu de 6 para 13 metros de profundidade (DISRP, 2013). O processo de dragagem, por outro lado, gera a resuspensão de sedimentos com potencial de toxicidade ao ambiente. Outro fator negativo associado ao MPS é a redução, quando em altas concentrações, da penetração da luz na coluna d'água (Downing e Beach 1989), restringindo espacialmente a atividade do fitoplâncton e, dessa forma, reduzindo a produtividade primária.

Estudos sobre o material particulado em suspensão na BTS são poucos (Wolgemuth et al., 1981; Barreto e Paredes, 1995 e Moura, 1979). Wolgemuth et al. (1981) avaliaram a concentração do MPS em 3 estações localizadas no eixo principal da BTS, contemplando um intervalo pré e pós-chuva. Os valores médios da concentração do MPS foram de 1,5 mg/L, atingindo um máximo de 3,5 mg/L pós-chuva, identificando maiores concentrações junto ao fundo e em direção ao canal do Paraguaçu. Moura (1979), estudando o MPS ao longo de 3 meses (março a maio) no período chuvoso em toda a BTS, incluindo a região do eixo principal, encontrou valores menores (2,5 mg/L) da entrada ao centro da baía e valores maiores (18 mg/L) somente próximos à desembocadura do rio Paraguaçu na Baía de Iguape. Ainda pode ser citado, o trabalho de Santos (2005), realizado em três pontos (Baía de Iguape, estuário do rio Subaé e Baía da Ribeira) localizados às bordas da BTS durante um ciclo completo de maré de sizígia, objetivando compreender a variabilidade do sinal do sensor de retroespalhamento ótico (SRO) com o MPS dos diferentes ambientes, reportando valores médios para este último entre 17 mg/L e 50 mg/L.

Os trabalhos apresentados acima apresentam pequena extensão temporal e/ou espacial, existindo ainda a necessidade de um esforço de obtenção regular de dados para permitir um zoneamento do MPS, identificar ciclos intra e interanuais e avaliar a existência de tendências que venham a influenciar o transporte do material particulado, uma vez que variações sazonais e interanuais no padrão de circulação já foram detectadas na BTS (Cirano e Lessa, 2007, Lauton e Lessa, em prep.).

2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é mapear a variabilidade espaço-temporal do material particulado em suspensão no eixo principal da BTS (entre o canal de Salvador e o canal do Paraguaçu), e verificar sua relação com a concentração de matéria orgânica. Como objetivos específicos pretende:

- (i) compreender melhor a relação entre a concentração do MPS e a resposta do turbidímetro, bem como verificar se este responde à natureza do material planctônico;
- (ii) mapear a variabilidade espaço-temporal das frações orgânicas e inorgânicas do MPS;
- (iii) estabelecer a ordem de magnitude do fluxo vertical de MPS na área central da baía.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

A distribuição dos pontos de amostragem ocorreu ao longo de 9 estações fixas (fig. 1), localizadas na entrada do canal de Salvador (#1), lado leste da BTS, até o canal do Paraguaçu (#10), lado oeste da BTS. A distância entre as estações #1 à #10 foi ~50 km, trecho onde a profundidade média é de 26 metros. O espaçamento entre cada estação foi de ~8 km da #1 até a #5, passando para ~4 km da #5 até a #10, em função do aumento do gradiente espacial do campo de temperatura e salinidade próximo à saída do rio Paraguaçu, conforme indicado por Lessa et al. (2009), possibilitando maior detalhamento de informações para essa região. A partir de março de 2013 (campanha 14) a estação #3 foi aproximada em 5 km da estação #1, devido à exclusão da estação #2 (ausente nos monitoramentos).

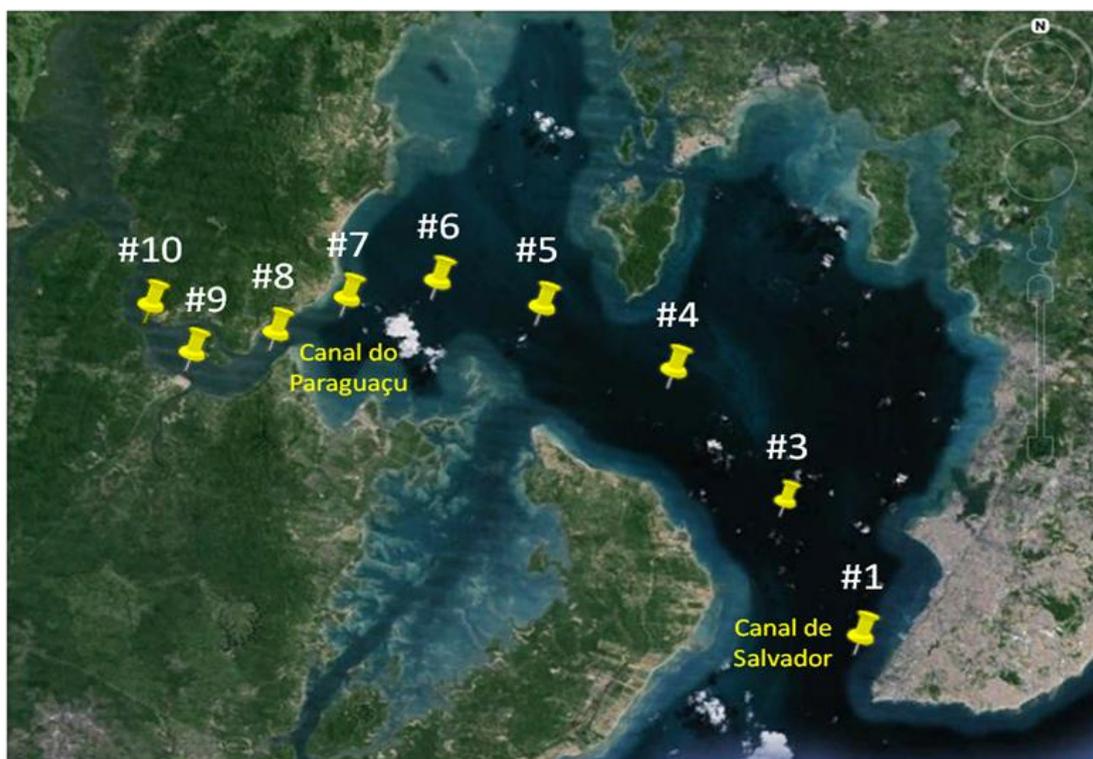


Figura 1 – Posição das 9 estações de monitoramento (marcadores amarelos) distribuídas ao longo do eixo principal da BTS, entre o canal de Salvador e o canal do Paraguaçu.

3.2 Procedimento de Campo

Foram realizadas 33 campanhas (tab. 1), com início em maio de 2012 e término em maio de 2014, resultando 2 anos de dados hidrológicos. Desse total, 25 campanhas foram realizadas em preamares de quadratura, 7 campanhas em baixa-mares de sizígia e 1 campanha em baixa-mar de quadratura. As campanhas de quadratura ocorreram mensalmente, acompanhando a progressão da estufa de maré de enchente nas 9 estações baía adentro, de modo a encontrar as mesmas condições dinâmicas em todas as estações (sinoticidade dinâmica). As campanhas de sizígia, iniciadas a partir da campanha 11 (janeiro de 2013), ocorreram bimensalmente apenas nas estações #1, #4, #7 e #10, mesmas estações visitadas na única campanha realizada em baixa-mar de quadratura (campanha 31 - abril de 2014). O menor número de estações visitadas em sizígia foi devido à realização de um maior número de atividades de coleta (medições de concentração de gases e filtragem de amostras *in situ*), as quais requereram um tempo maior de visita em cada estação.

Em cada estação foi realizado um perfil vertical da coluna d'água com um CTD *Seacat Profiler*, modelo SBE 19 *Plus*, que registrou dados de temperatura (°C) e turbidez (NTU), este último com um SRO *Seapoint*, e derivou (com base na pressão e condutividade) dados de profundidade (m) e salinidade (UPS - Unidade Prática de Salinidade). Em cada estação foram coletadas amostras de água para determinação do MPS através do método gravimétrico, de modo a gerar equações (para cada campanha) de conversão da turbidez para concentração de sólidos (NTU → mg/L). As amostras de água foram coletadas tanto na superfície, com garrafas comuns (2 litros), no mesmo instante de registro do SRO junto à superfície, como no fundo (~1 m), com garrafa *Go-Flo* (3 litros) acoplada ao CTD. Os locais (superfície e fundo) de coleta de água alternaram entre as campanhas de quadratura e sizígia (tab. 2), em função da necessidade de acomodação de amostras de plâncton (#1, #4, #7 e #10) e redução de custo de processamento em laboratório.

Foram também executadas duas campanhas de monitoramento de 13 horas ao longo de ciclos completos de marés de sizígia, nos dias 27/04/2013 e 15/02/2014, em um ponto fixo (estação #4 - próximo à Ilha dos Frades). Durante esta oportunidade foram realizados perfis verticais da coluna d'água com CTD em intervalos horários (total de 13 amostragens), com coletas de água feitas em superfície e fundo (para conversão NTU → mg/L).

Tabela 1 – Data, modulação e nível da maré e estações monitoradas em cada campanha.

Campanha	Data	Modulação	Nível	Estações monitoradas											
				#1	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10			
1	11/5/2012	quadratura	preamar	x		x									x
2	27/5/2012	quadratura	preamar	x		x		x	x	x	x	x	x	x	x
3	2/7/2012	quadratura	preamar	x	x	x		x	x				x	x	x
4	26/7/2012	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
5	24/8/2012	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
6	22/9/2012	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
7	20/10/2012	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
8	21/11/2012	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
9	18/12/2012	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
10	18/1/2013	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
11	25/1/2013	sizígia	baixa-mar	x		x				x					x
12	19/2/2013	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
13	28/2/2013	sizígia	baixa-mar	x		x				x					x
14	21/3/2013	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
15	19/4/2013	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
16	25/4/2013	sizígia	baixa-mar	x		x				x					x
17	18/5/2013	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
18	16/6/2013	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
19	21/6/2013	sizígia	baixa-mar	x		x				x					x
20	17/7/2013	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
21	16/8/2013	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
22	22/8/2013	sizígia	baixa-mar	x		x				x					x
23	13/10/2013	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
24	18/10/2013	sizígia	baixa-mar	x		x				x					x
25	11/11/2013	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
26	3/12/2013	sizígia	baixa-mar	x		x				x					x
27	11/12/2013	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
28	8/2/2014	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
29	14/2/2014	sizígia	baixa-mar	x		x				x					x
30	24/3/2014	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
31	13/4/2014	quadratura	baixa-mar	x		x				x					x
32	13/4/2014	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
33	6/5/2014	quadratura	preamar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabela 2 – Local de coleta de água (S = superfície e F = fundo) em cada estação para as campanhas de quadratura e sizígia.

	#1	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
Quad	S	F	S	F	F	S	F	S e F	S
Siz	S e F		S e F			S e F			S e F

Para determinar a ordem de magnitude do fluxo vertical do MPS, foi fundeado em dezembro de 2013 um sistema com três armadilhas (análise em triplicata) próximo à estação #4. As armadilhas foram feitas de tubo PVC cilíndrico, medindo 75 milímetros de diâmetro e 40 centímetros de altura. A razão altura/diâmetro dos tubos coletores foi de 5,3, valor bem acima do (2,3) sugerido por Gardner (1980) para garantir que a turbulência gerada na boca do tubo (local de entrada do MPS) retire o material já decantado. A boca das armadilhas esteve a 1 metro acima do fundo, e sua disposição representou um triângulo equilátero com 1,5 metros de lado. As armadilhas foram trocadas em intervalos mensais e durante o transporte ao laboratório foram mantidas na posição vertical.

3.1 Procedimento Laboratorial e Processamento dos Dados

As amostras de água foram filtradas em laboratório utilizando filtros de microfibras de vidro (diâmetro de 47 mm e porosidade de 0,7 μm), pré-calcinados a uma temperatura de 500 °C por 3 horas e pré-pesados em balança analítica, com precisão de 10^{-5} g. A filtração foi feita em sistema de bomba a vácuo, e em seguida os filtros foram levados à estufa para secar a uma temperatura de 45 °C durante 4 horas. Após a secagem os filtros foram novamente pesados e a concentração do MPS pode ser obtida pela diferença de peso do filtro antes e após a filtração, em relação ao volume filtrado.

Para determinar as frações da matéria particulada orgânica (MPO) e inorgânica (MPI) do MPS, o processo de calcinação foi repetido (com o MPS retido), utilizando-se cadinhos de cerâmica individuais para cada filtro. Após a calcinação, os filtros foram levados ao dessecador para resfriar, e então, novamente pesados. O MPO foi obtido pela diferença de peso do filtro antes e após a calcinação, enquanto que o MPI foi obtido pela diferença entre o MPS e o MPO.

Na análise do fluxo vertical do MPS, o material retido foi submetido a três lavagens com água destilada, intercaladas com pausas para decantação e retirada do excesso de água por sifonamento. Nesse processo, também foi realizado o peneiramento úmido das amostras, com peneira de 63 μm , para separação das frações lama e areia. Só então as amostras foram levadas à estufa, à temperatura de 80 °C. Por fim, cada amostra foi pesada, e após subtrair o peso do becker foi calculado o fluxo vertical do MPS em gramas, em razão da superfície de coleta (cm^2) e do número de dias amostrados.

No procedimento de extração, conversão e tratamento dos dados obtidos pelo CTD, foram utilizados os *softwares* do próprio sensor (dois primeiros procedimentos) e também o Microsoft Excel 2007 e o Matlab. Depois de extraídos e convertidos, os dados foram

tabulados no Excel, e então exportados para o Matlab para remoção de dados espúrios (valores excedentes a média ± 3 vezes o desvio padrão de valores adjacentes) e representação gráfica.

Em cada campanha foi gerada uma equação linear para conversão dos dados de turbidez medidos pelo SRO (NTU) em concentração do MPS (mg/L). Para tanto, em cada estação monitorada, o valor obtido na filtração da amostra de água foi cruzado com o valor médio da turbidez (SRO) a até 1 metro da superfície (água coletada na superfície) e 1 metro acima do fundo (água coletada no fundo).

Para identificar a relação entre os dados foram utilizados os coeficientes R^2 e uma medida de erro (erro quadrático médio), definida pela raiz quadrada do somatório dos resíduos ao quadrado dividido pelo n-amostral

$$eqm = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (Ob_k - F_k)^2}{n}}$$

sendo Ob o dado observado e F o valor resultante do polinômio de melhor ajuste da distribuição dos pontos.

Com intuito de compreender melhor a relação entre a concentração de material planctônico e a resposta do turbidímetro, foi feita a integração de dados quantitativos do plâncton (fitoplâncton, zooplâncton e ictioplâncton) na BTS, desenvolvidos paralelamente pelo grupo de pesquisa ligado ao plâncton do Instituto de Biologia – UFBA, em cooperação conjunta ao presente projeto. Estes dados foram coletados nas estações #1, #4, #7 e #10, tanto em quadratura (10-11 campanhas) quanto em sizígia (1-2 campanhas), em arrastos feitos na superfície utilizando-se duas redes: uma para coleta de fitoplâncton (2 μ m) e outra para zooplâncton e ictioplâncton (200 μ m), esta última acompanhada de um fluxômetro para quantificação da vazão d'água.

Para interpolação dos dados do MPO e MPS de quadratura no tempo e espaço, foi necessário preencher as lacunas geradas pela ausência de amostras de fundo nas estações #1, #4, #7 e #10. Para tanto, foi obtido do valor médio das razões (VMR) entre os dados de superfície e fundo coletados nas campanhas de sizígia. Dessa forma, o valor estimado para o fundo (V_f) foi obtido pela razão do valor de superfície (V_s) pelo VMR específico de cada estação, conforme a seguinte equação:

$$V_f = \frac{V_s}{VMR}$$

usada apenas nas campanhas que houveram coleta regular de amostras de água.

Na campanha 4 (julho 2012) não houve coleta de dados do CTD devido à problemas na configuração do sensor. Com isso, alguns gráficos apresentaram um “gap” nessa campanha. Já na campanha 26 (dezembro 2013) ocorreu falha técnica do turbidímetro.

4 RESULTADOS

4.1 Propriedades Físicas da Massa D'água

4.1.1 - Temperatura

A temperatura média da coluna d'água para todas as campanhas foi de 27,7 °C, com amplitude de 6,1 °C. A temperatura média em cada campanha (fig. 2) variou sazonalmente, com valores menores no período chuvoso (outono/inverno), média de 26,6 °C, e maiores no período seco (primavera/verão), média de 28,7 °C. O período que a temperatura média das campanhas atingiu os valores mínimo e máximo foi em agosto de 2012, com 25,0 °C, e em fevereiro de 2013, com 29,5 °C, respectivamente. O desvio padrão da temperatura (barras em torno dos valores médios na figura 2) indica a variação desta entre as estações. Dessa forma, quanto menor a variação da temperatura entre as estações (coluna d'água mais homogênea), menor o desvio padrão. No período de temperaturas maiores, a água apresentou menor homogeneidade, com desvio médio de 0,12 °C, enquanto que no período mais frio a água apresentou maior homogeneidade, desvio médio de 0,06 °C.

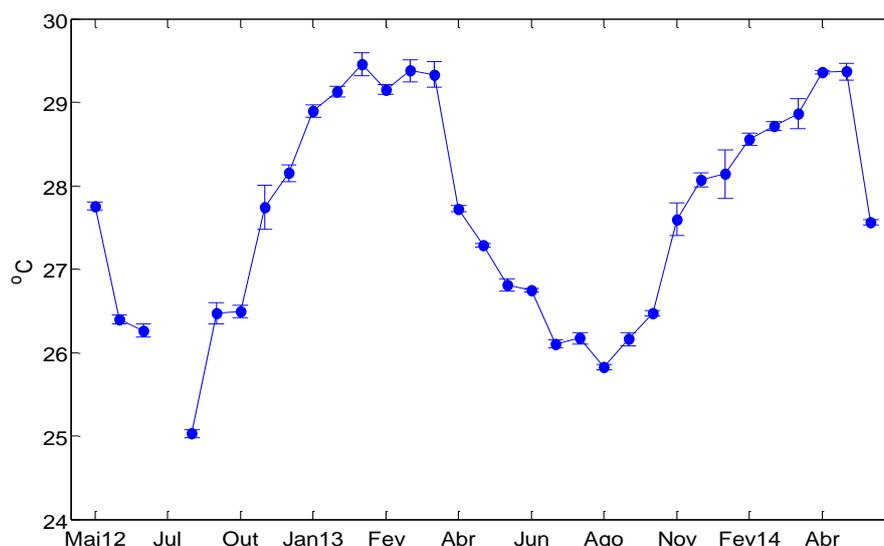


Figura 2 – Temperatura média (com desvio padrão) da coluna d'água em cada campanha.

A temperatura média da coluna d'água em cada estação, ao longo das campanhas (fig. 3), apresentou uma tendência de crescimento de 1,3 °C da estação #1 (26,8 °C) à #10 (28,1 °C). A maior diferença de temperatura ocorreu entre as estações #1 e #5 (0,9 °C), com menores diferenças entre #5 e #8 (0,3 °C), e entre #8 e #10 (0,06 °C). Houve uma tendência à diminuição no desvio padrão dos valores de temperatura das estações #1 à #10, com maiores valores entre #1 e #6, média de 0,12 °C, e menores entre #7 e #10, média de 0,09 °C. Dessa forma, a temperatura nas estações mais próximas ao canal de Salvador apresentou menor homogeneidade ao longo do tempo.

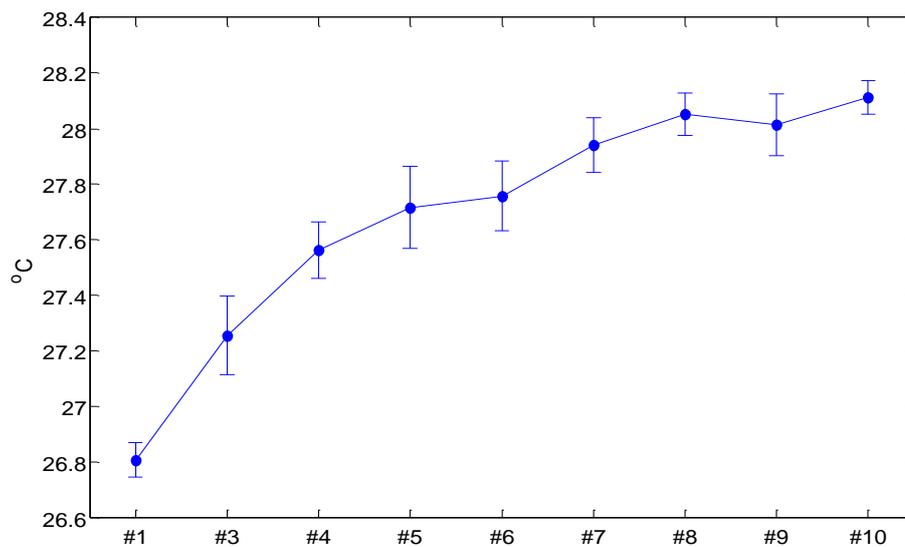


Figura 3 – Temperatura média (com desvio padrão) da coluna d'água em cada estação, ao longo das campanhas.

A temperatura da água de superfície foi maior que a temperatura da água de fundo (fig. 4), com média de 27,9 °C e 27,6 °C, respectivamente. A diferença vertical de temperatura foi menor na estação #1 (0,16 °C) e maior na estação #3 (0,43 °C). O desvio padrão foi maior na água de superfície (1,22 °C) do que na água de fundo (1,18 °C) apenas nas estações próximas ao canal de Salvador e apresentou o mesmo valor (1,54 °C) nas estações próximas ao canal de São Roque.

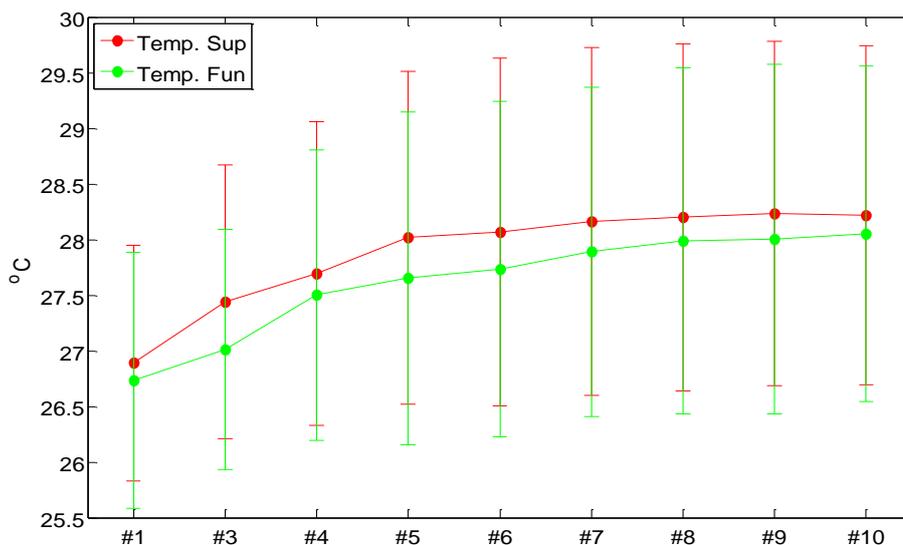
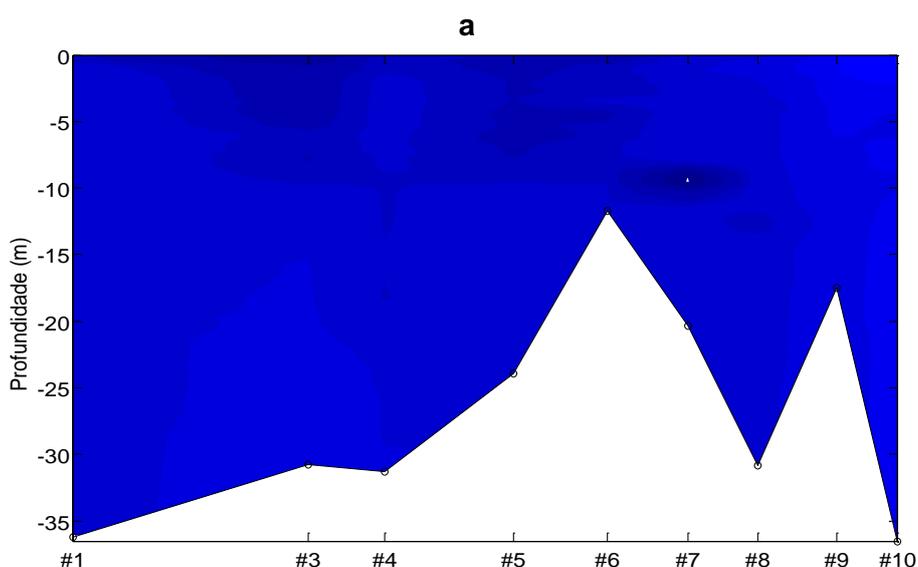


Figura 4 – Temperatura média (com desvio padrão) das águas de superfície e fundo em cada estação, ao longo das campanhas.

Os gradientes longitudinal e vertical de temperatura variaram sazonalmente, apresentando dois padrões distintos. No primeiro, durante o período chuvoso, a coluna d'água apresentou maior homogeneidade longitudinal (diferenças de $\sim 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), enquanto que no período seco as diferenças foram maiores ($\sim 3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$), como exemplificado na figura 5. A diferença entre as temperaturas de superfície e fundo foi maior na passagem do período chuvoso para o período seco. O valor médio do gradiente vertical de temperatura entre as campanhas foi de $0,01\text{ }^{\circ}\text{C/m}$, com máximo em dezembro de 2013, na estação #6, com $0,18\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ (fig. 5b).



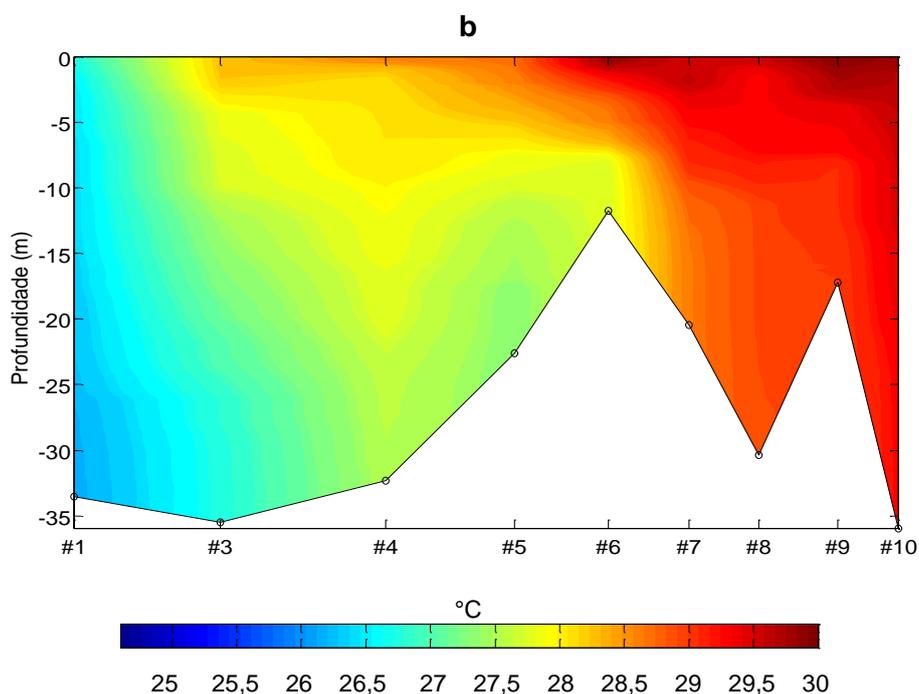


Figura 5 – Perfis longitudinais de temperatura no período chuvoso (a) e no período seco (b), em agosto de 2012 e em dezembro de 2013, respectivamente.

4.1.2 - Salinidade

A salinidade média da coluna d'água entre as campanhas foi de 35,9 UPS, com amplitude de 7,4 UPS. A salinidade média em cada campanha (fig. 6) acompanhou, em intensidade, a variação da temperatura até o período seco de 2013/2014. A partir desse momento o valor máximo da salinidade foi 36,2 UPS, valor menor do que a média do período anterior (37,3 UPS), como pode ser visto pelos baixos valores da salinidade a partir do mês junho de 2013 na figura 6. O período que a salinidade média das campanhas atingiu os valores mínimo e máximo foi em junho de 2013, com 33,9 UPS, e em março de 2013, com 38,0 UPS, respectivamente. O desvio padrão no período seco foi menor (média de 0,23 UPS) do que no período chuvoso (média de 0,38 UPS). Dessa forma, no período seco a coluna d'água apresentou menor variação de salinidade entre as estações.

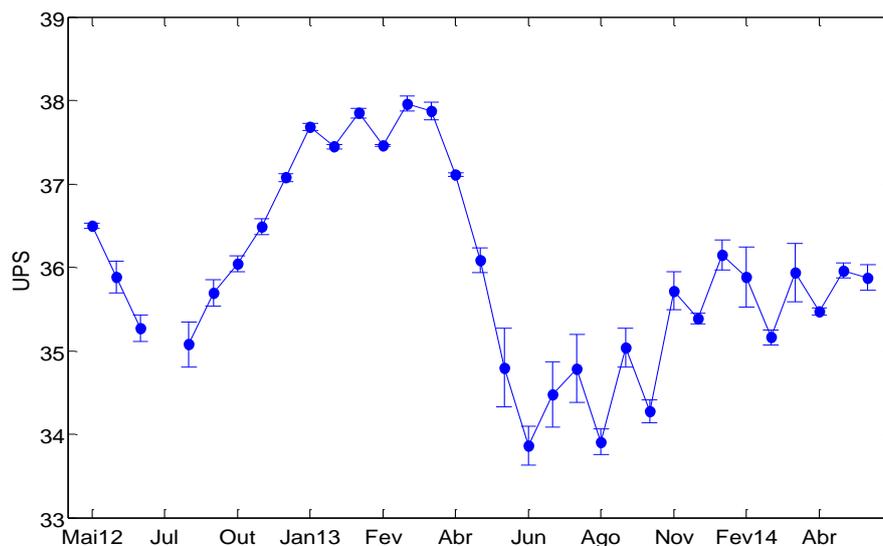


Figura 6 – Salinidade média (com desvio padrão) da coluna d’água em cada campanha.

A salinidade média da coluna d’água em cada estação, ao longo das campanhas (fig. 7), apresentou uma tendência de queda de 2,1 unidades da estação #1 (36,8 UPS) à #10 (34,7 UPS). As maiores diferenças ocorreram entre #9 e #10 (1,0 UPS), #5 e #7 (0,8 UPS) e entre a #1 e a #4 (0,4 UPS), com tendência de crescimento entre #4 e #5 (0,1 UPS) e #7 e #8 (0,03 UPS). Houve aumento no desvio padrão da estação #1 à #10, com menores valores entre #1 e #6, média de 0,11 UPS, e maiores entre #7 e #10, média de 0,26 UPS. Dessa forma, a salinidade nas estações mais próximas ao canal de São Roque apresentou menor homogeneidade ao longo do tempo.

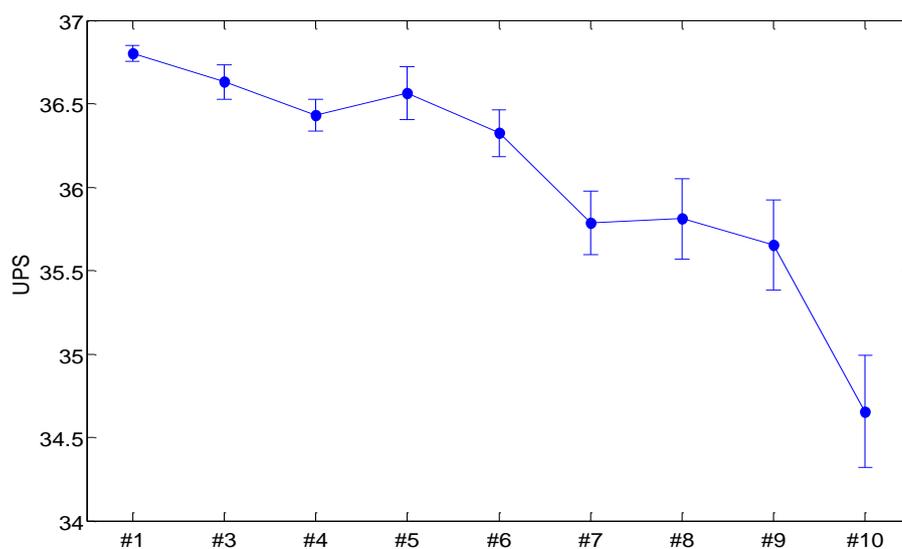


Figura 7 – Salinidade média (com desvio padrão) da coluna d’água em cada estação, ao longo das campanhas.

A salinidade da água de superfície foi menor que a salinidade da água de fundo (fig. 8), com média de 35,6 UPS e 36,2 UPS, respectivamente. A diferença vertical de salinidade foi menor na estação #1 (0,1 UPS) e maior na estação #10 (1,1 UPS). O desvio padrão foi maior na água de superfície do que na água de fundo, com média de 0,78 UPS e 0,62 UPS, respectivamente, para as estações próximas ao canal de Salvador, e média de 1,93 UPS e 1,52 UPS, respectivamente, para as estações próximas ao canal de São Roque. Desta forma, houve menor homogeneidade na água de superfície e também nesta última região.

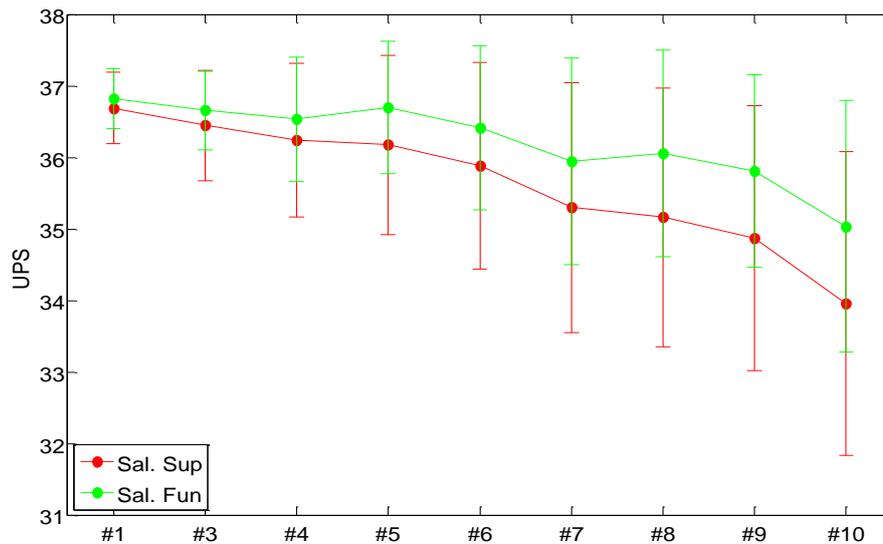


Figura 8 – Salinidade média (com desvio padrão) das águas de superfície e fundo em cada estação, ao longo das campanhas.

Assim como a temperatura, o gradiente longitudinal e vertical da salinidade variou sazonalmente (fig. 9), mas se comportando de maneira inversa, ou seja, no período chuvoso (fig. 9a), a salinidade apresentou alto gradiente longitudinal (0,09 UPS/km) e no período seco de 2012/2013 (fig. 9b) a salinidade apresentou baixo gradiente longitudinal (0,01 UPS/km). Curiosamente, no período seco de 2013/2014 (fig. 9c), o gradiente longitudinal foi similar ao do período chuvoso, com água menos salina próxima ao canal do Paraguaçu e gradiente longitudinal de 0,07 UPS/km. O valor médio do gradiente vertical de salinidade entre as campanhas foi de 0,02 UPS/m, com máximo em março de 2014, na estação #10, com 0,09 UPS/m (fig. 9c).

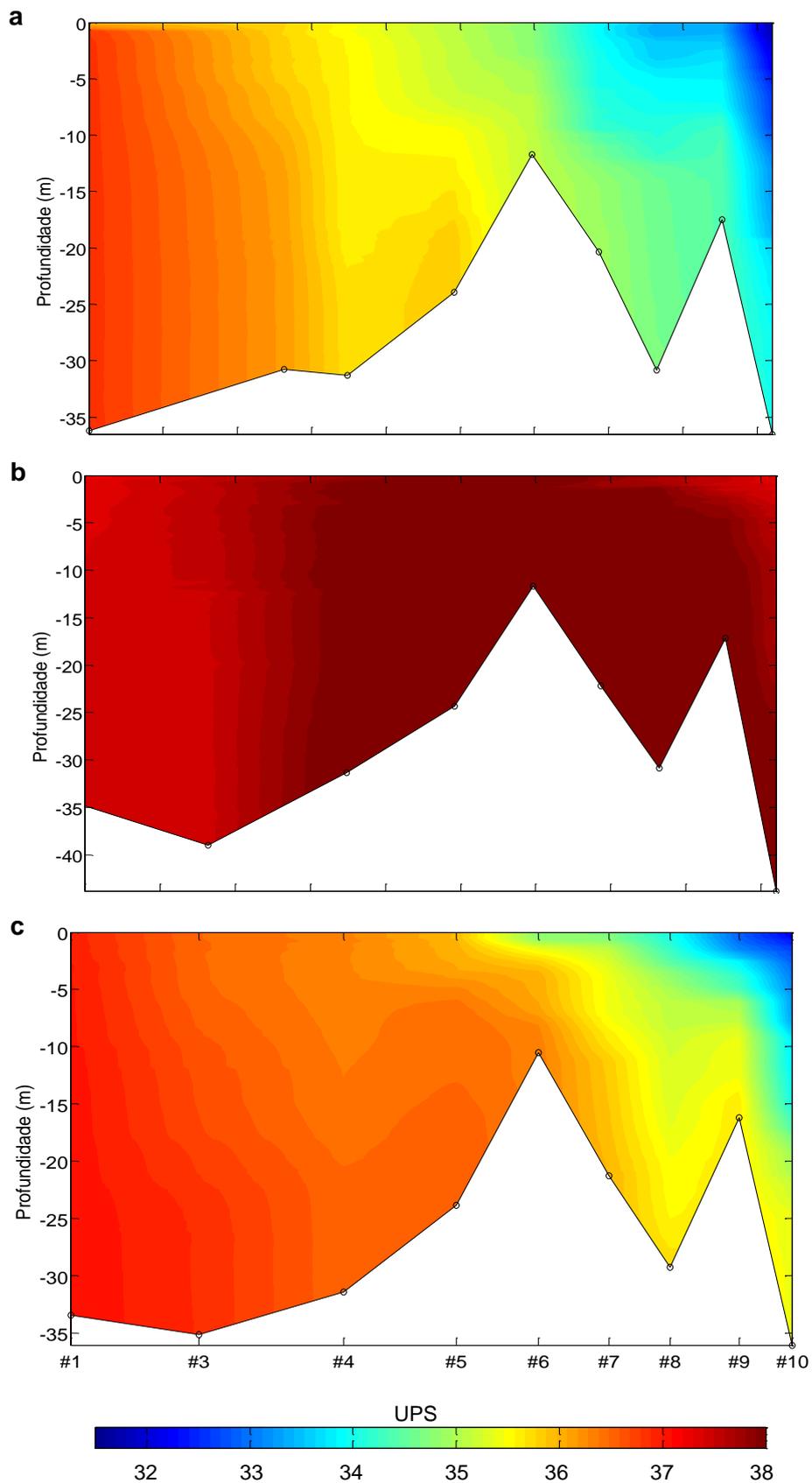


Figura 9 – Perfis longitudinais de salinidade no período chuvoso (a), período seco de 2012/2013 (b) e período seco de 2013/2014 (c), em agosto de 2012, março de 2013 e março de 2014, respectivamente.

4.2 Conversão do Sinal de NTU em MPS para as Campanhas

Os coeficientes angular e linear das equações lineares da relação MPS e SRO, em cada campanha (fig. 10), apresentaram valores médios de 1,27 e 1,90, respectivamente, com valores mínimos e máximos de 0,21 e 2,89 (amplitude de 2,68), para o coeficiente angular, e -4,73 e 7,32 (amplitude de 12,05), para o coeficiente linear. Durante o período de agosto de 2012 a fevereiro de 2013 o valor do coeficiente linear apresentou grande variação, com valor mínimo e máximo de -1,27 (setembro 2012) e 7,32 (janeiro de 2013), respectivamente. Nenhum coeficiente angular apresentou valor negativo, no entanto, o coeficiente linear apresentou valor negativo em três momentos; setembro de 2012 (-1,27), abril de 2013 (-0,32) e fevereiro de 2014 (-4,73), sendo essas duas últimas campanhas relativas à maré de sizígia.

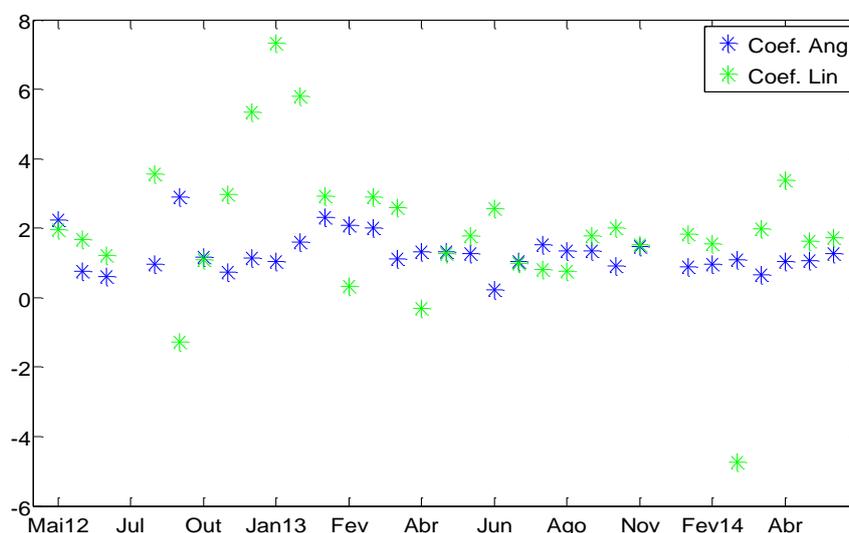


Figura 10 – Coeficientes angular e linear de cada campanha.

A relação entre os valores dos coeficientes angular (fig. 11a) e linear (fig. 11b) de cada campanha com a concentração relativa do material particulado orgânico (a ser discutido posteriormente) foi baixa. As correlações entre estas variáveis apresentaram R^2 iguais a 0,03 e erro de 0,54 e 2,04, para o coeficiente angular e linear, respectivamente. Ambas as relações parecem apresentar uma pequena tendência de diminuição dos coeficientes com aumento da quantidade de material particulado orgânico.

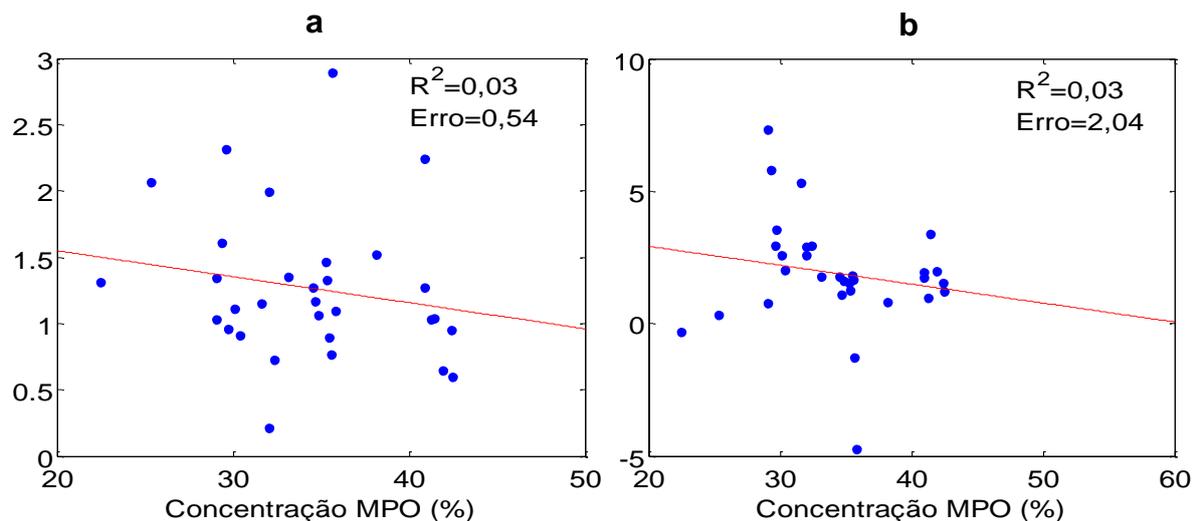


Figura 11 – Relação dos coeficientes angular (a) e linear (b) com a concentração média do MPO nas campanhas.

A figura 12 apresenta a magnitude do erro e o coeficiente de correlação de cada campanha, obtidos da relação MPS e SRO. O valor do erro apresentou bastante variação até abril de 2013, com valor médio para as campanhas de 1,4 mg/L, mínimo de 0,2 mg/L (junho de 2013), e máximo de 7,7 mg/L (abril de 2013). Este último dado foi obtido em uma maré de sizígia 6 dias após uma campanha de quadratura, quando o erro foi de apenas 0,3 mg/L. O valor médio do R^2 para as campanhas foi de 0,79, com valores mínimo e máximo de 0,20 (agosto de 2012) e 0,99 (fevereiro de 2013 e agosto de 2013), respectivamente. A distribuição dos pares de MPS e SRO para as campanhas de quadratura em agosto de 2012, e em agosto de 2013 estão mostrados na figura 13.

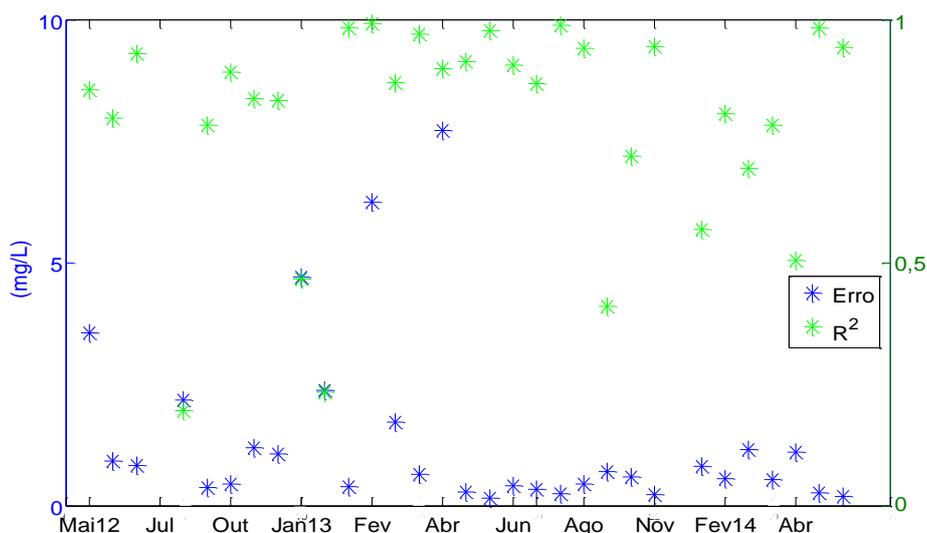


Figura 12 – Valores do erro e do R^2 em cada campanha.

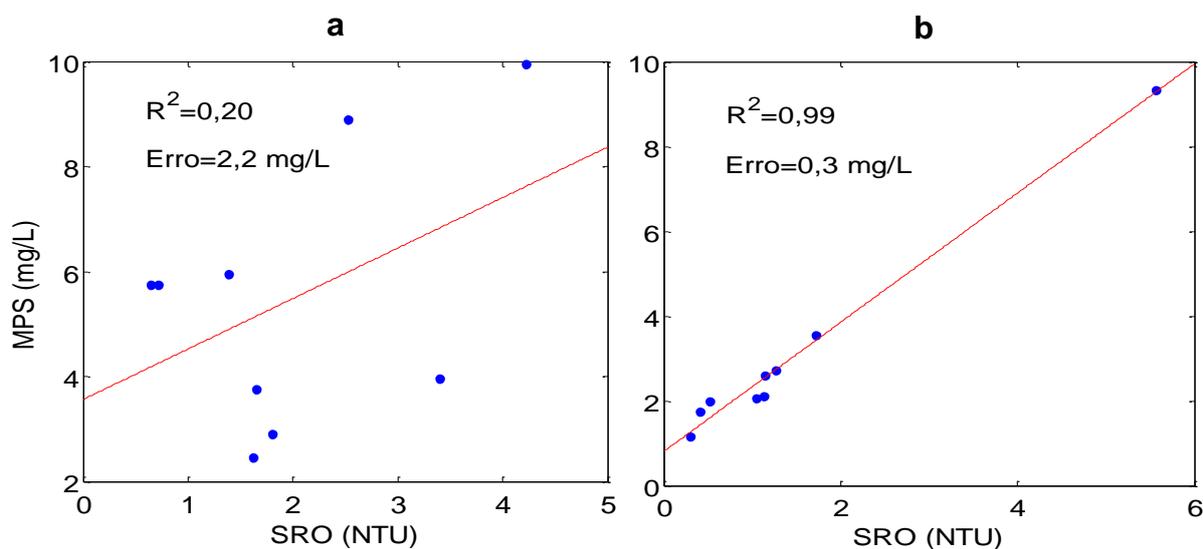


Figura 13 – Relação MPS x SRO em agosto de 2012 (a) e agosto de 2013 (b), com os respectivos valores de R^2 e erros obtidos da regressão linear (linha vermelha).

A distribuição dos pontos que relaciona o R^2 e o erro de cada campanha (fig. 14) ocupou principalmente a região $>0,75$ e $<1,5$ mg/L de cada variável, respectivamente. Os pontos mais dispersos dessa região estão relacionados às primeiras campanhas e ao período em torno de fevereiro de 2013 (quando ocorreu a dragagem próxima ao canal do Paraguaçu). As campanhas que apresentaram as melhores relações (pequenos erros e altos índices de correlação) ocorreram em junho, julho e agosto de 2013 e em abril e maio de 2014.

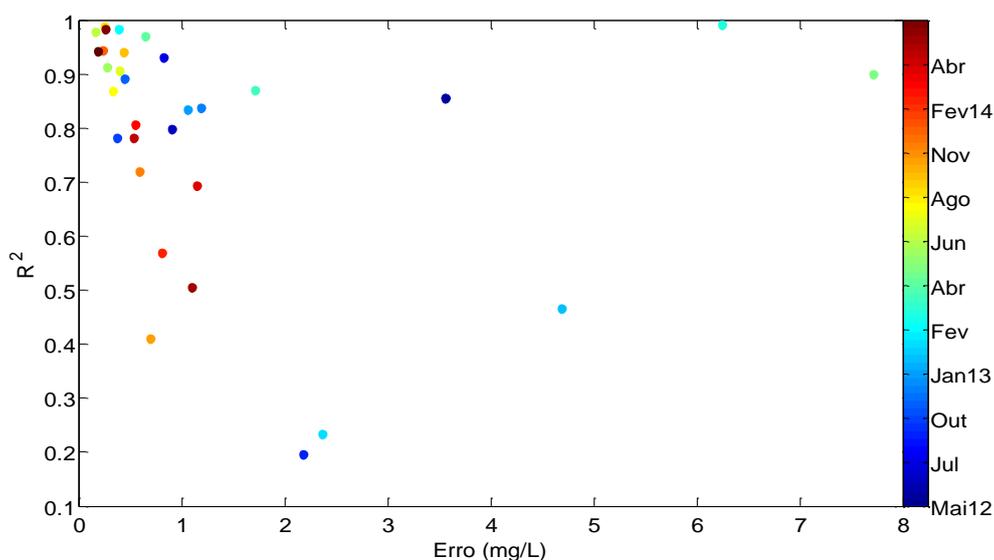


Figura 14 – Relação entre o R^2 e o erro de cada campanha.

A relação do MPS e SRO de todas as campanhas (fig. 15) mostra que existe uma tendência linear de crescimento, regida pela equação exibida no gráfico, com $R^2=0,82$ e erro=7,1 mg/L. A maior parte dos valores do MPS e SRO foram menores que 20 mg/L e 15 NTU, respectivamente. Os valores mais altos de MPS e SRO, em geral, apresentaram pontos mais distantes em relação à reta de melhor ajuste.

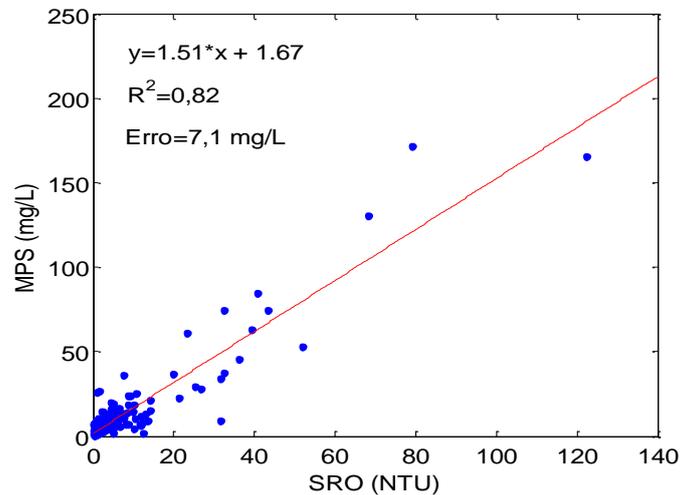
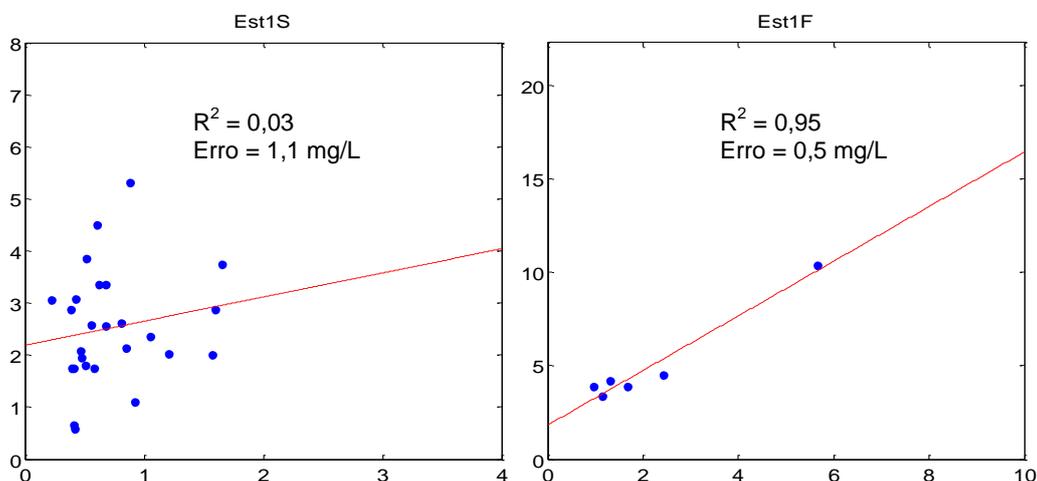
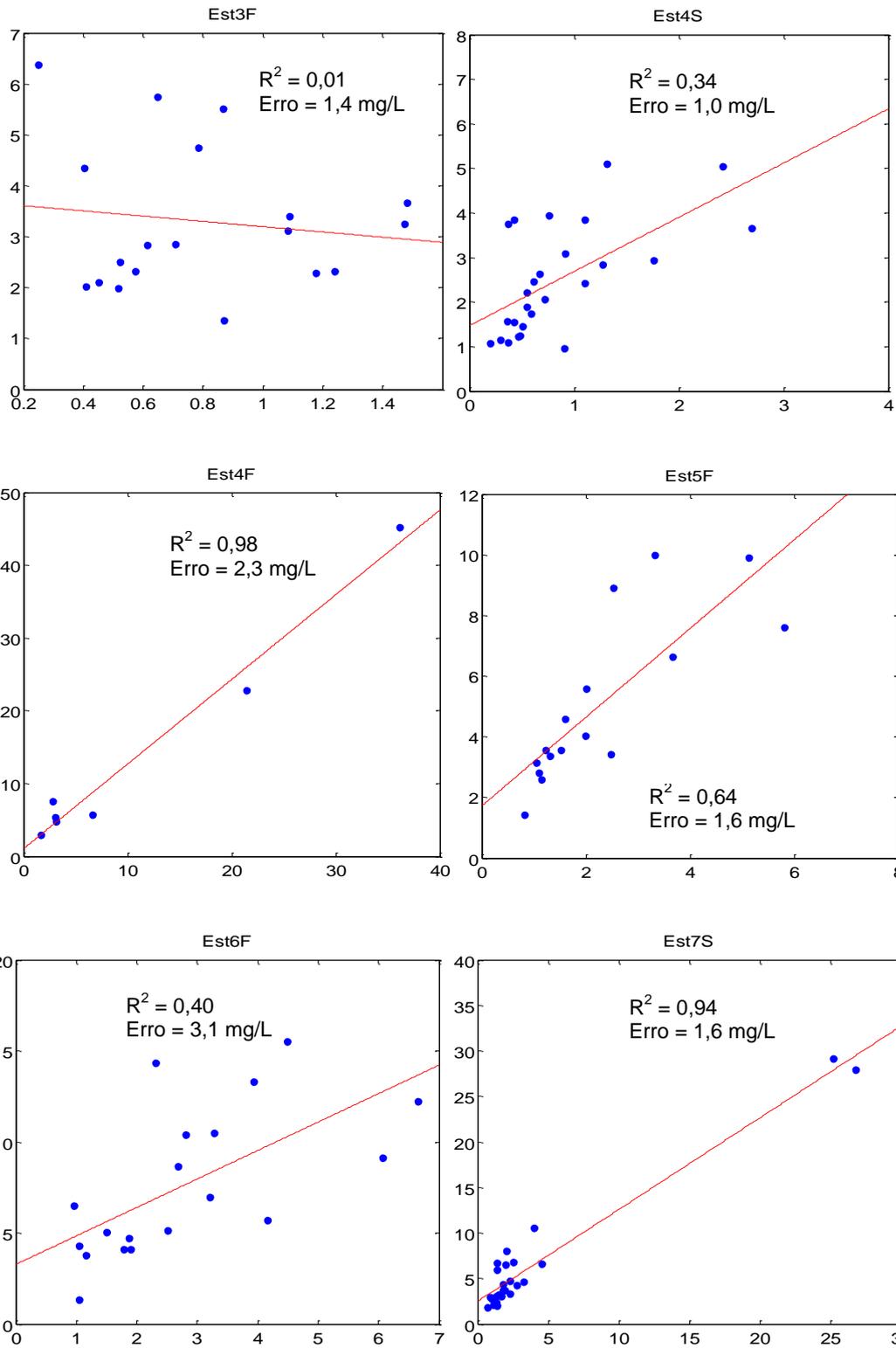


Figura 15 – Relação MPS x SRO de todas as campanhas, com a equação, o R^2 e o erro obtidos da regressão linear (linha vermelha).

4.3 Conversão do Sinal de NTU em MPS para as Estações

A relação entre o MPS e SRO em cada estação (fig. 16) foi diretamente proporcional, exceto na estação #3. As estações #1S, #3F, #4S, #5F e #6F (S=superfície e F=fundo) apresentaram maior dispersão dos pontos e conseqüentemente maior erro, diferentemente das estações localizadas mais a oeste da baía. As campanhas que apresentaram dados espúrios (ausentes nos gráficos) foram, em ordem decrescente, 10 e 12 (6 dados), 16 (4 dados), 5, 9 e 11 (3 dados), 13, 19 e 29 (2 dados) e 1, 2, 3, 6, 8, 14 e 20 (1 dado).





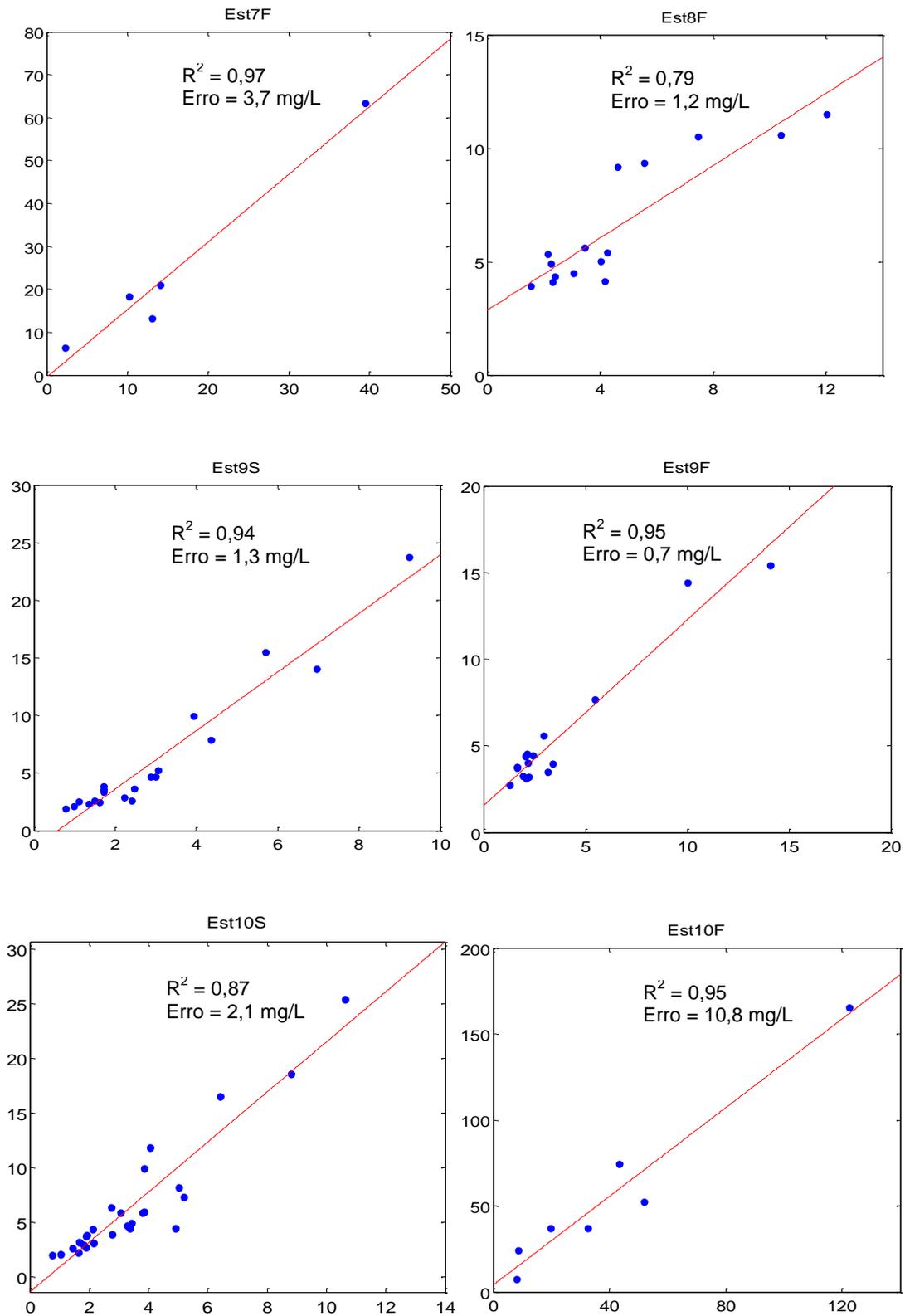


Figura 16 – Relação do MPS (eixo y, em mg/L) e SRO (eixo x, em NTU) de cada estação, com os respectivos valores de R^2 e erros obtidos da reta de melhor ajuste (linha vermelha).

Os coeficientes angular e linear de cada estação (fig. 17) apresentaram valores médios de 1,24 e 1,63, respectivamente, com mínimo e máximo de -0,52 e 2,54 (amplitude de 3,06) para o coeficiente angular e -1,49 e 4,04 (amplitude de 5,53) para o coeficiente linear. Como visto anteriormente, apenas na estação #3F a relação MPS x SRO foi inversamente proporcional, com coeficiente angular negativo de -0,52. Já o coeficiente linear foi negativo nas estações #7F, #9S e #10S.

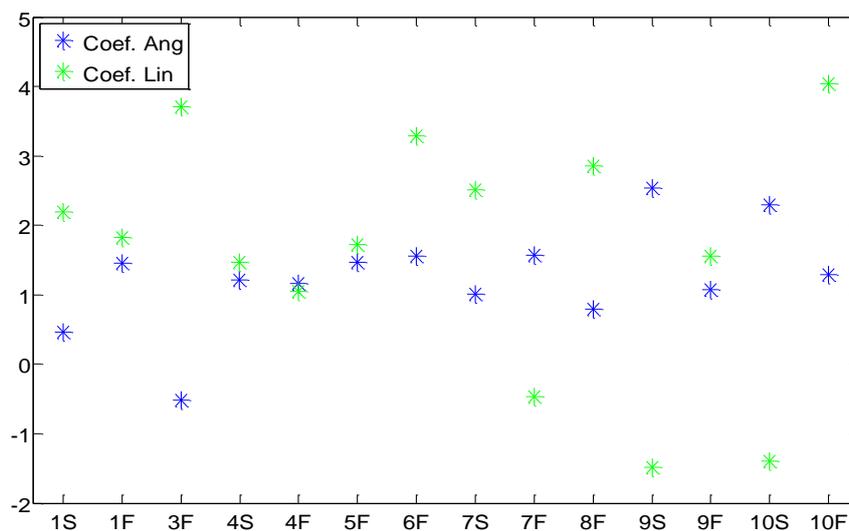


Figura 17 – Coeficientes angular e linear de cada estação.

A figura 18 apresenta os valores médios do erro e do R^2 em cada estação, obtidos da relação MPS e SRO. O valor médio do erro para as estações foi de 2,3 mg/L, com mínimo de 0,5 mg/L (#1F) e máximo de 10,8 mg/L (#10F). O valor médio do R^2 para as estações foi de 0,70, com mínimo de 0,02 (#3F) e máximo de 0,98 (#4F). As estações mais próximas ao canal de Salvador apresentaram valores de R^2 mais baixos (média de 0,47) do que as estações próximas ao canal do Paraguaçu (média de 0,90).

A distribuição dos pontos que relaciona o R^2 e o erro de cada estação (fig. 19) ocupou principalmente a região $>0,75$ e <4 mg/L de cada variável, respectivamente. Os pontos mais dispersos dessa região ocorreram ao longo de toda baía, sendo algumas próximas ao canal de Salvador (#1S e #3F), região central (#4S, #5F e #6F) e no canal do Paraguaçu (#10F). As estações que apresentaram melhores relações foram #1F, #4F, #7F e #9F, apesar destas apresentarem um pequeno n-amostal (entre 5 e 7), com exceção de #9F (24).

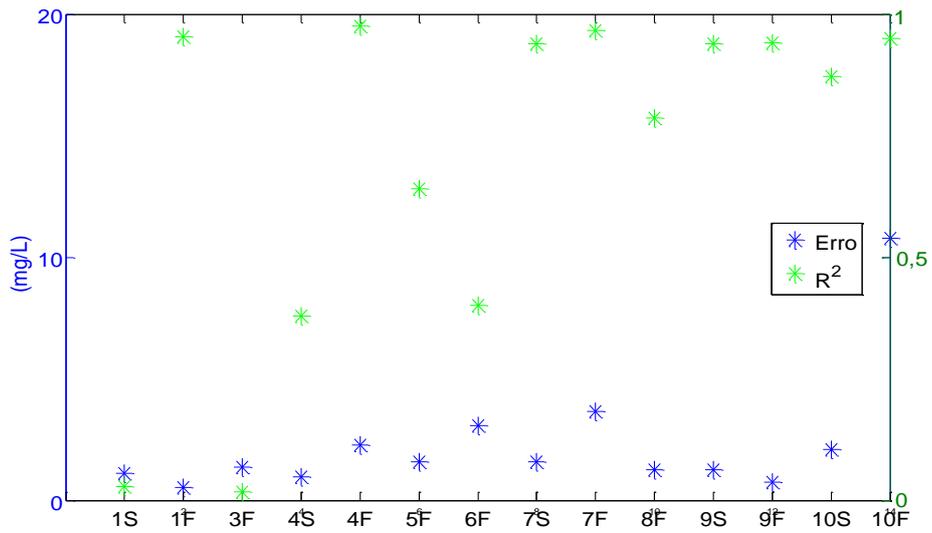


Figura 18 – Valores do erro e do R² em cada estação.

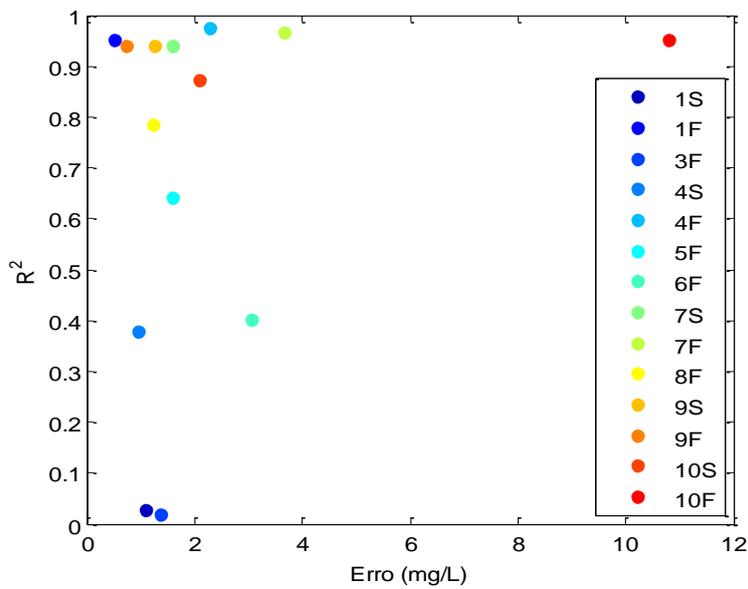


Figura 19 – Relação entre o R² e o erro de cada estação.

4.4 Material Particulado em Suspensão (MPS)

Excluindo o período da atividade de dragagem, iniciada em meados de dezembro de 2012 e término no final de março de 2013, o valor médio da concentração do MPS na coluna d'água para as campanhas foi de 6,9 mg/L, com amplitude de 186,3 mg/L. Se forem consideradas todas as campanhas, a concentração média do MPS aumenta em quase 68%, indo para 10,2 mg/L, com amplitude de 189,8 mg/L. A concentração média do MPS em cada campanha (fig. 20) atingiu os valores mínimo e máximo em junho de 2013, com 2,3 mg/L, e em fevereiro de 2013, com 80,6 mg/L, respectivamente. No período de janeiro a abril de 2013, houve um notável aumento da concentração do MPS, com média de 26,3 mg/L. A partir desse período, os momentos em que a concentração do MPS atingiu valores mais elevados foram registrados em campanhas de sizígia, destacadas pelos picos elevados no gráfico (fig. 20). Os desvios padrões mensais mostram que no período entre fevereiro a abril de 2013, além de agosto do mesmo ano, houve uma maior variação da concentração do MPS entre as estações, quando o desvio médio foi de 11,5 mg/L. Já nos outros períodos, a média do desvio foi de apenas 1,1 mg/L.

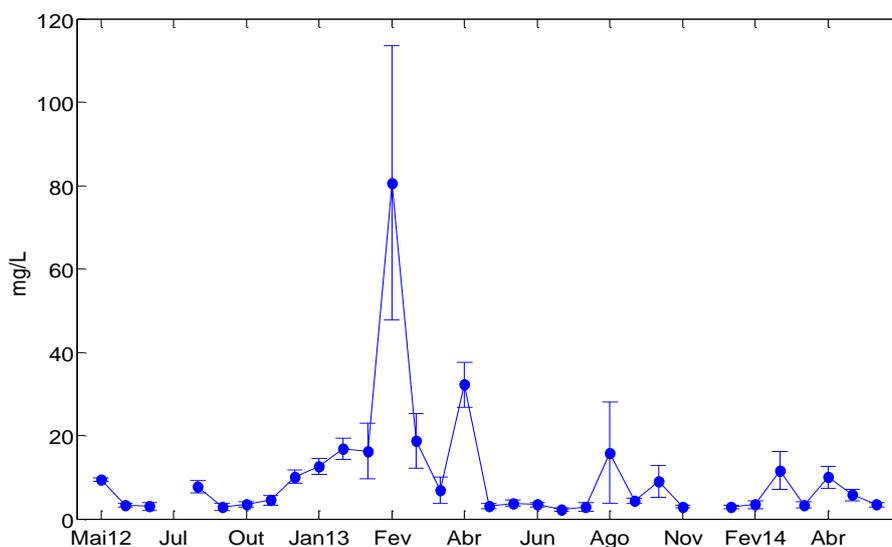


Figura 20 – Concentração média (com desvio padrão) do MPS na coluna d'água em cada campanha.

As concentrações médias do MPS (geral), em maré de quadratura e em maré de sizígia para cada estação (fig. 21) apresentaram tendência de aumento da estação #1 em direção à estação #10. Em quadratura, a concentração média do MPS foi de 6,0 mg/L, com gradiente longitudinal de 0,2 mg/L por km. Em sizígia, a concentração média do MPS foi de 24,2 mg/L, com baixo gradiente entre #1 e #4 e entre #7 e #10 (0,4 mg/L por km, em ambos os trechos) e elevado gradiente entre #4 e #7 (1,6 mg/L por km).

A diferença de concentração do MPS entre as campanhas de quadratura e sizígia foi de 1,8 mg/L na estação #1, aumentando continuamente para 7,2 mg/L (#4), 31,0 mg/L (#7) e 33,3 mg/L (#10). A média geral da concentração do MPS foi mais próxima à média em quadratura devido ao maior número de monitoramentos em relação à sizígia.

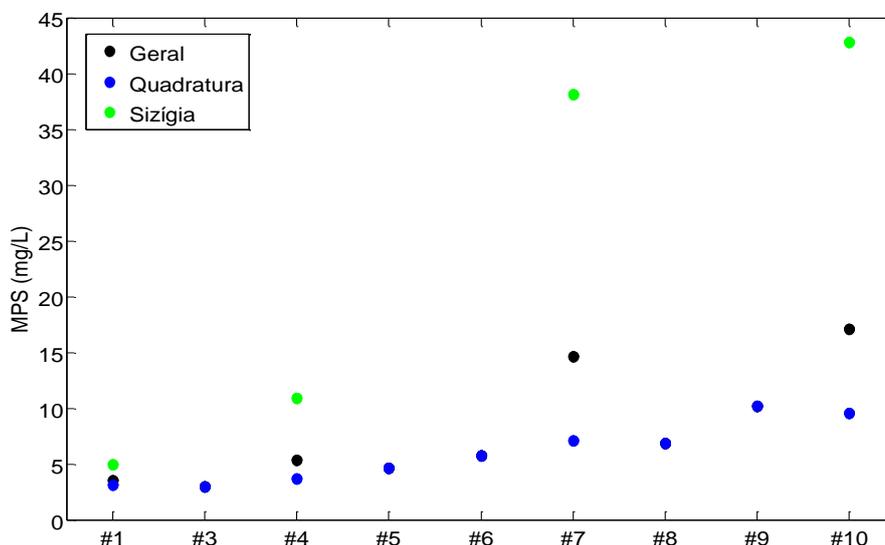


Figura 21 – Concentrações médias na coluna d’água do MPS (geral), em maré de quadratura e em maré de sizígia para cada estação, ao longo das campanhas.

A figura 22 apresenta as concentrações do MPS de superfície e fundo em maré de sizígia (figura 22a e 22b), e de fundo em maré de quadratura (figura 22c), interpoladas no tempo e espaço. Elevadas concentrações do MPS foram verificadas na superfície em sizígia, no período de janeiro a abril de 2013, entre as estações #7 e #10. Junto ao fundo, a elevada turbidez neste período é observada até a estação #4. Outro período em que foi registrado elevadas concentrações do MPS na água de fundo em sizígia, foi entre junho de 2013 a fevereiro de 2014 nas estações #7 e especialmente em #10. Na água de fundo em quadratura, as maiores concentrações de MPS foram em setembro de 2012, na estação #5, novembro de 2012 a março de 2013, principalmente nas estações #5, #7, #9 e #10, também em junho de 2013 (#6), e em abril de 2014 (#10).

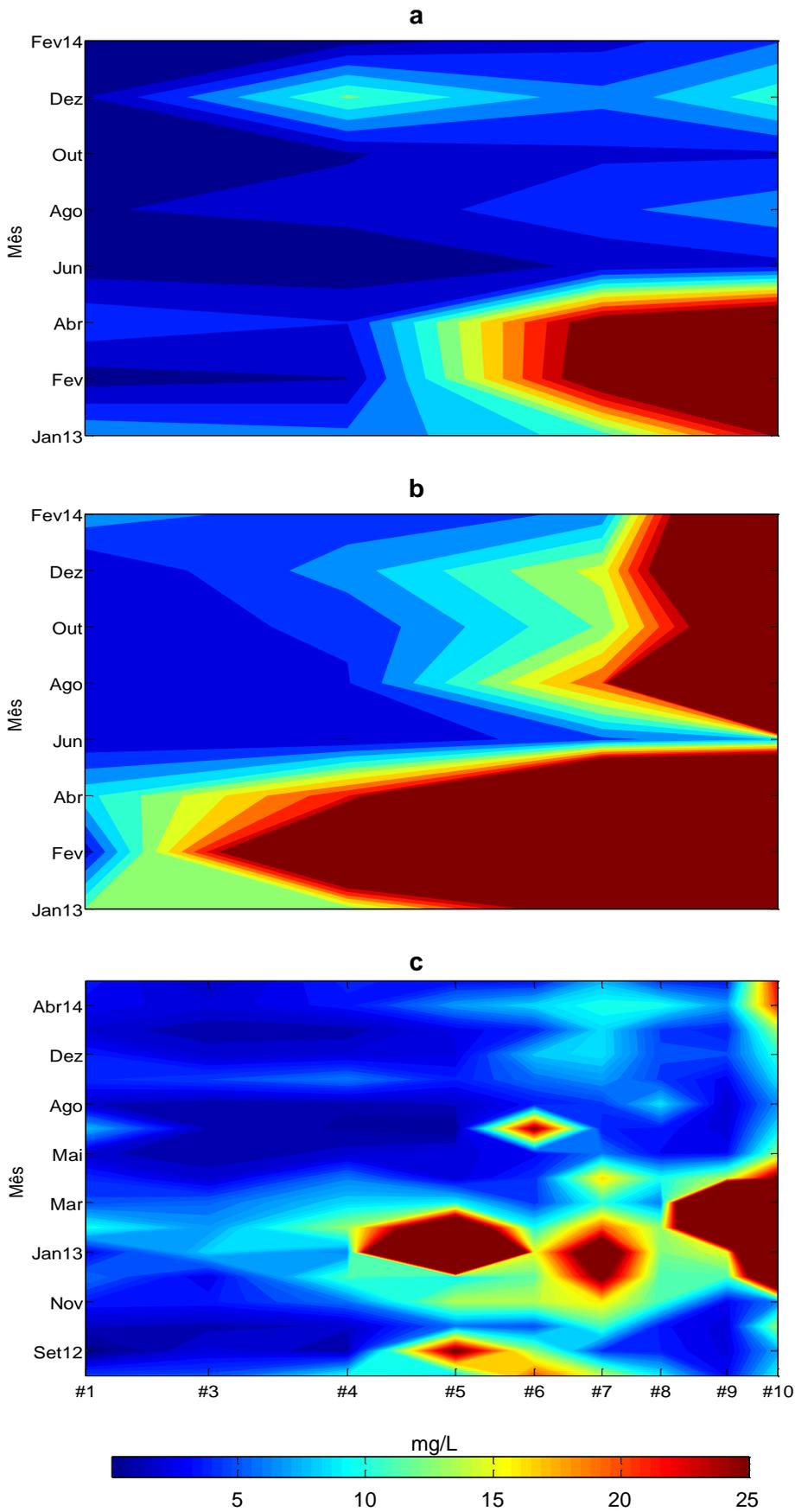


Figura 22 – Interpolação do MPS no tempo e espaço. Águas de superfície (a) e fundo (b) em sizígia, e água de fundo em quadratura (c).

4.5 Relação do MPS com as Propriedades Físicas da Massa D'água

Os valores médios da temperatura e da salinidade com a concentração do MPS em cada campanha (fig. 23) apresentaram tendência de crescimento cuja curva de melhor ajuste foi a polinomial de 2ª ordem. A melhor relação foi verificada entre o MPS e a salinidade, com R^2 maior (0,67) e erro menor (2,8 mg/L) do que em relação à temperatura.

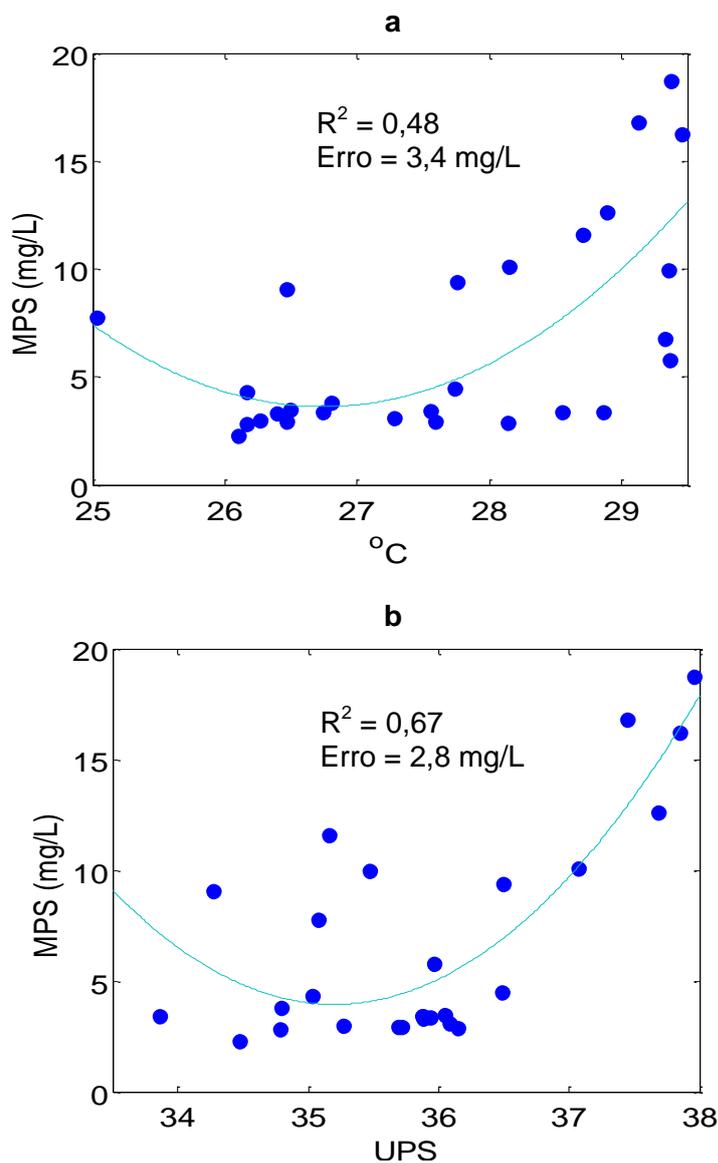
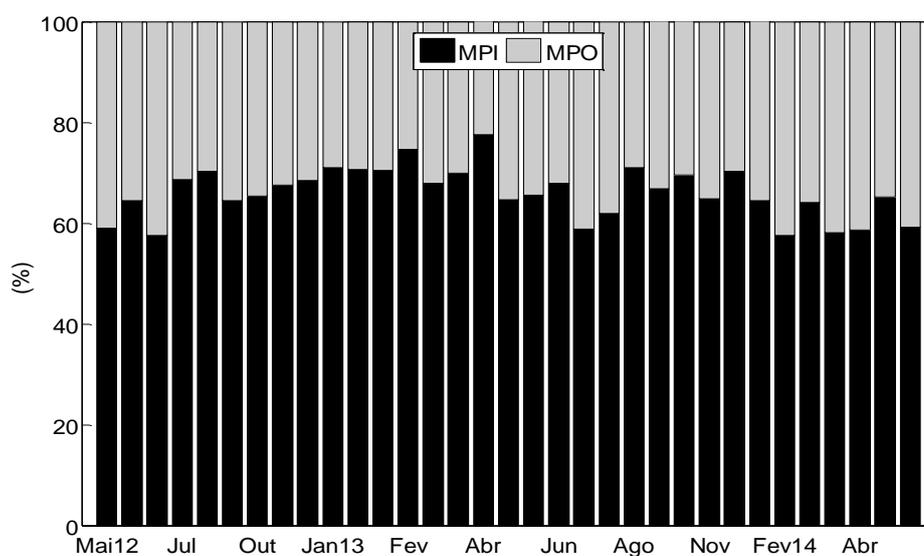


Figura 23 – Valores médios da concentração do MPS em relação à temperatura (a) e à salinidade (b) em cada campanha, com os respectivos valores de R^2 e erro obtidos da curva de melhor ajuste (linha ciana).

4.6 Material Particulado Inorgânico (MPI) e Material Particulado Orgânico (MPO)

As concentrações médias das frações inorgânicas (MPI) e orgânicas (MPO) do MPS não apresentaram padrões de variações específicos ao longo do tempo (fig. 24). A concentração média do MPI sempre foi maior do que a concentração média do MPO, com valores médios para as campanhas de 66% e 34%, respectivamente. Os valores mínimo e máximo do MPO ocorreram em abril de 2013 (22,5%) e julho de 2012 (44,5%).



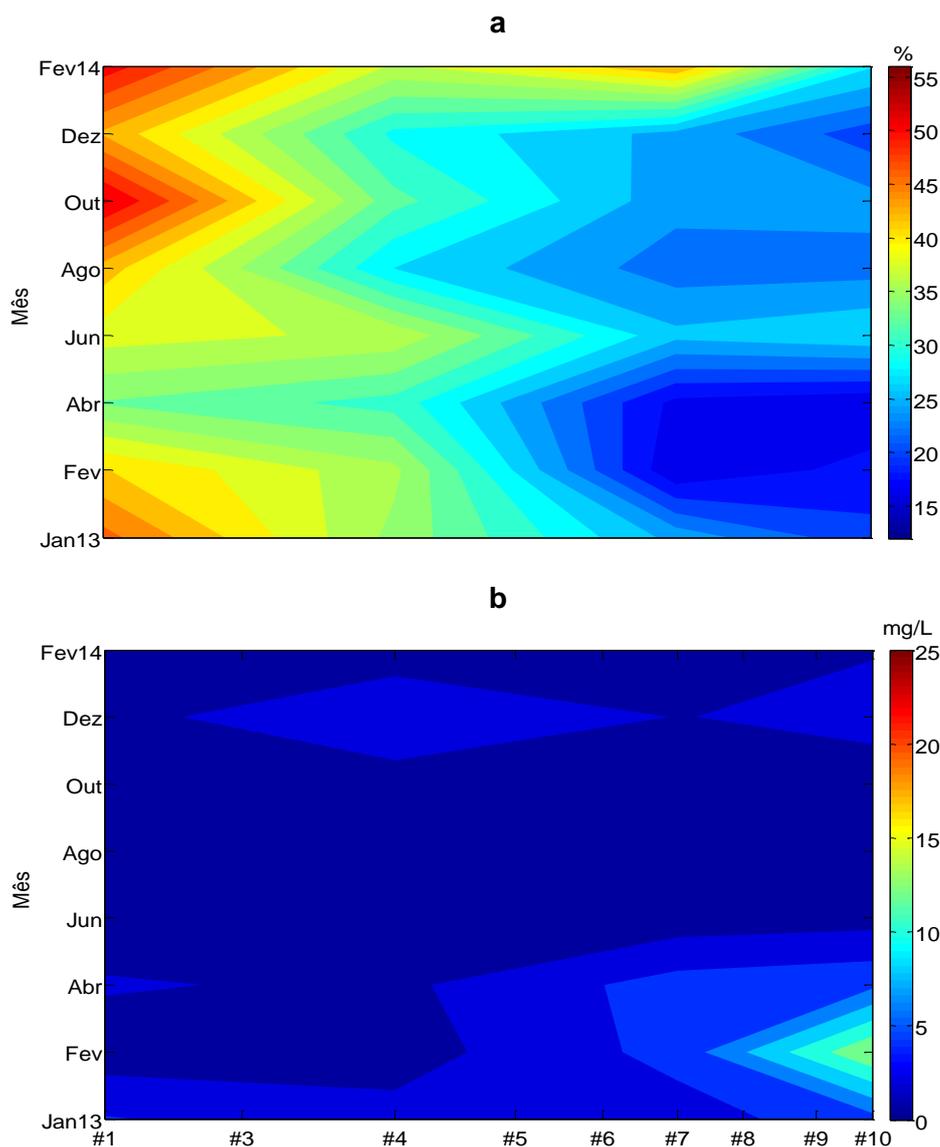


Figura 25 – Interpolação do MPO no tempo e espaço. Concentrações relativa (a) e absoluta (b) na água de superfície, em maré de sizígia.

A concentração relativa do MPO na água de fundo, em maré de sizígia (fig. 26a), foi similar à concentração na água de superfície, contudo, apresentando menores gradientes espaciais. Nas estações #1 e #10 os valores médios da concentração relativa do MPO foram de 36% e 17%, respectivamente, com maiores variações na estação #1, atingindo valor mínimo de 28% no período de fevereiro a abril de 2013, e máximo de 43% no período de junho a agosto de 2013. A concentração absoluta do MPO (fig. 26b) foi bastante elevada (>25 mg/L) entre janeiro e abril de 2013, na estação #7 e em menor grau (14 mg/L) em agosto de 2013, na estação #10.

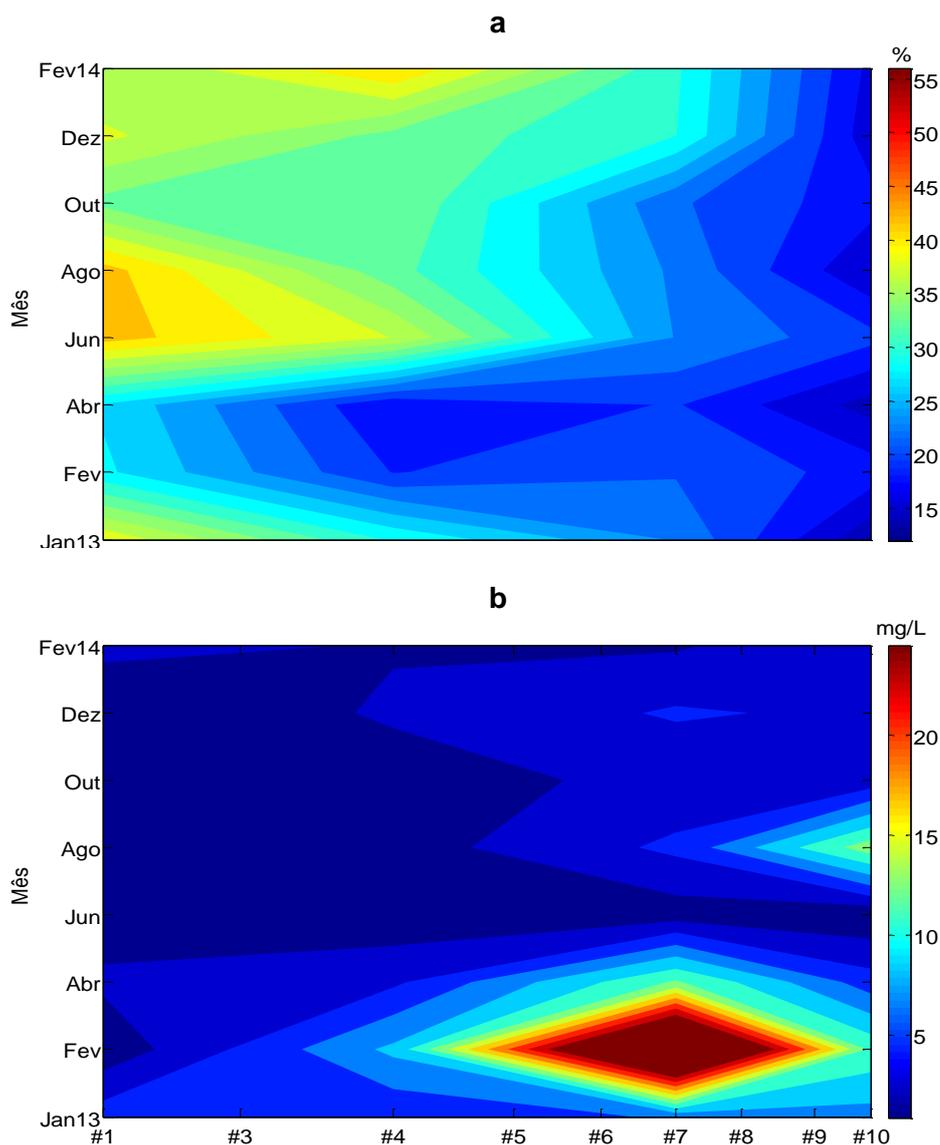


Figura 26 – Interpolação do MPO no tempo e espaço. Concentrações relativa (a) e absoluta (b) na água de fundo, em maré de sizígia.

A concentração relativa do MPO na água de fundo em quadratura (fig. 27a), também foi maior nas estações próximas ao canal de Salvador (média de 40%), do que naquelas próximas ao canal do Paraguaçu (média de 25%). A concentração absoluta do MPO (fig. 27b) quase sempre foi <3 mg/L, com valores máximos ocorrendo em janeiro de 2013 (>25 mg/L), na estação #5, e no mês seguinte (12 mg/L), na estação #9.

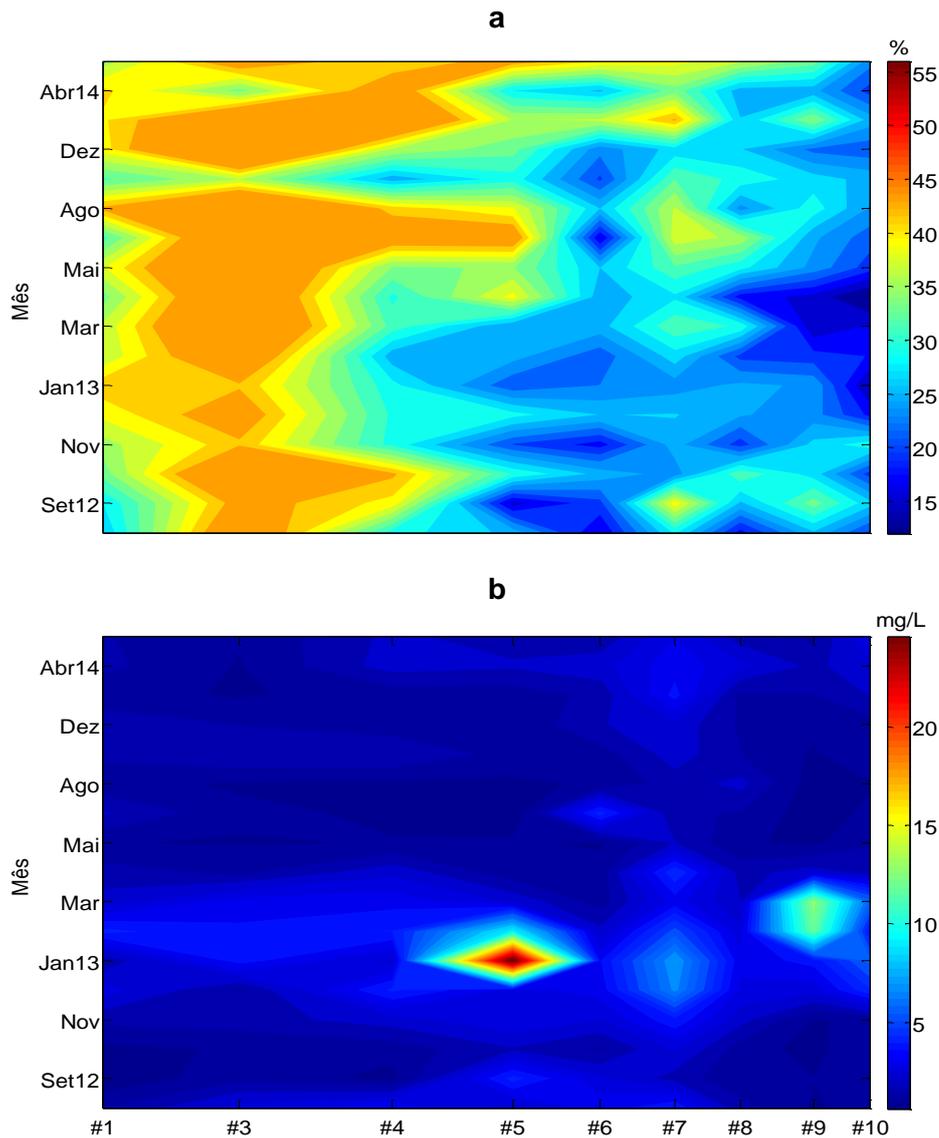


Figura 27 – Interpolação do MPO no tempo e espaço. Concentrações relativa (a) e absoluta (b) na água de fundo, em maré de quadratura.

4.7 SRO e Concentração Relativa do MPO x Comunidade Planctônica.

O SRO apresentou uma relação diretamente proporcional com a densidade de organismos planctônicos (fig. 28). A correlação entre o SRO e os organismos planctônicos foi baixa, com R^2 de 0,57, 0,24 e 0,01, e erros, em NTU, de 0,5, 0,8 e 0,8, para o fitoplâncton, zooplâncton e ictioplâncton, respectivamente. Já o MPO apresentou uma relação inversamente proporcional com a densidade de organismos planctônicos (fig. 28). A correlação entre o MPO e os organismos planctônicos foi ainda mais baixa, com R^2 de 0,19, 0,01 e 0,06, e erros, em %, de 8, 10 e 10, para o fitoplâncton, zooplâncton e ictioplâncton, respectivamente.

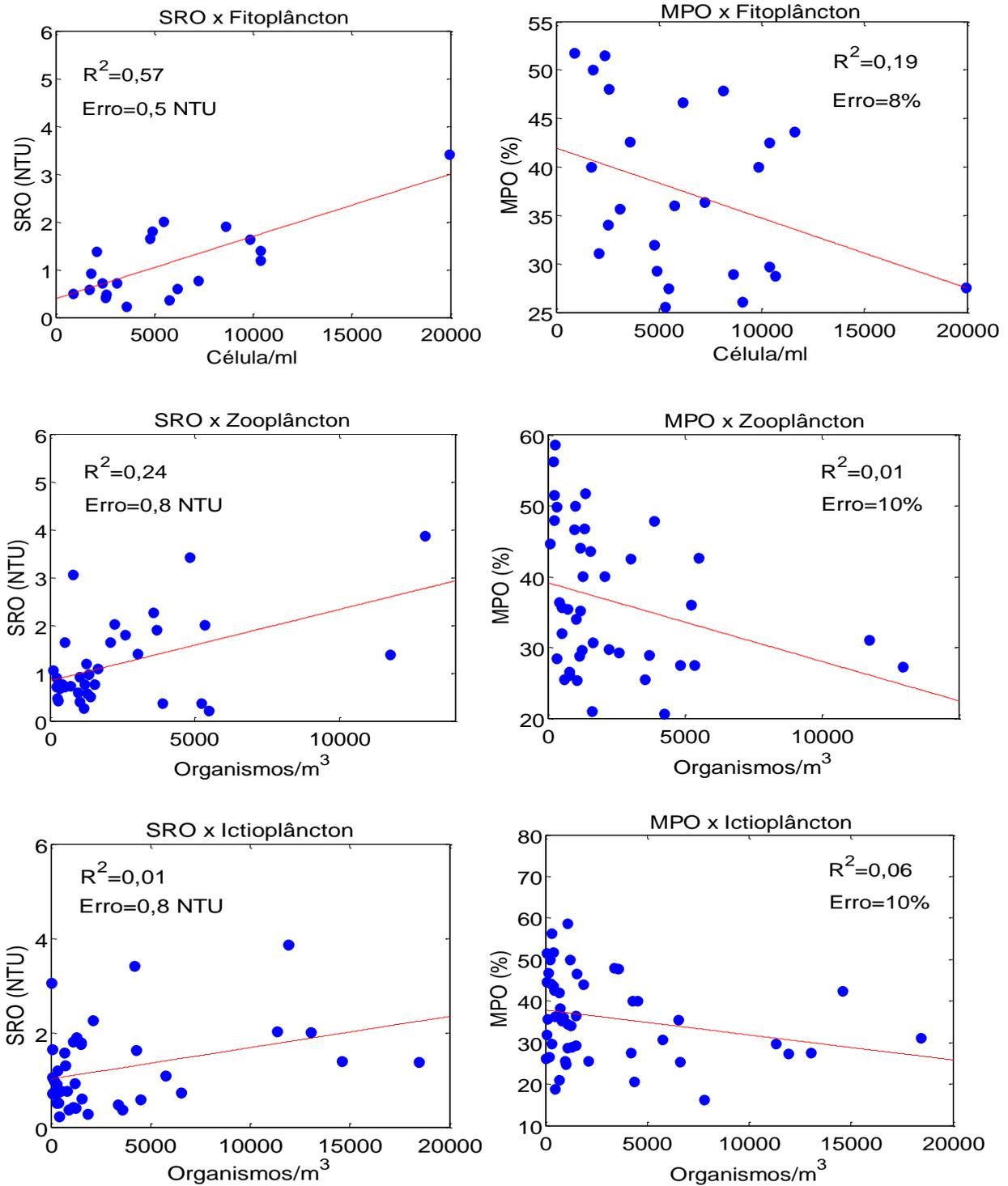


Figura 28 – Relação do SRO e do MPO com a densidade da comunidade planctônica, com os respectivos valores de R^2 e erro obtidos da reta de melhor ajuste (linha vermelha).

4.8 Campanhas de 13 Horas

A variação do MPS apresentou um bom ajuste linear ao SRO durante a primeira e a segunda campanha de 13 horas (fig. 29), com R^2 de 0,92 e 0,94 e erros de 1,8 mg/L e 1,7 mg/L, respectivamente.

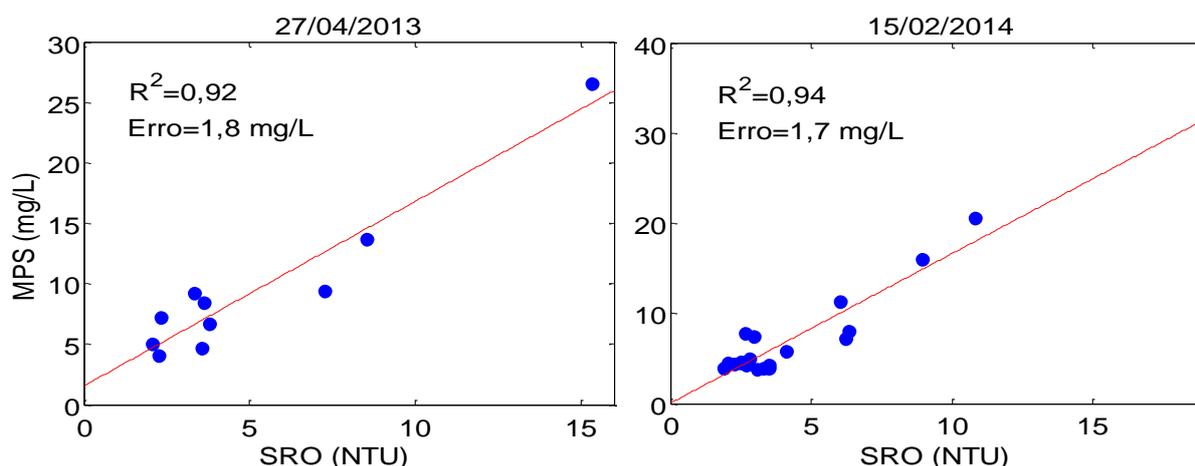


Figura 29 – Relação MPS x SRO das duas campanhas de 13 horas, com seus respectivos R^2 e erros, obtidos da reta de melhor ajuste (linha vermelha).

A profundidade máxima da coluna d'água para as duas campanhas de 13 horas foi de aproximadamente 30 metros, com variação máxima de 5 metros. A primeira e a segunda metade do ciclo de maré nas duas campanhas de 13 horas representaram a maré vazante e enchente, respectivamente. A concentração média do MPS em ambas as campanhas (fig. 30) aumentou na metade inferior da coluna d'água (>15 metros de profundidade), indo de 4,7 mg/L para 5,5 mg/L, na primeira campanha e de 4,9 mg/L para 6,2 mg/L, na segunda campanha. Na primeira campanha, a vazante apresentou maior concentração de MPS em relação à enchente, médias de 7,6 mg/L e 6,2 mg/L, respectivamente. Já na segunda campanha, a enchente apresentou uma concentração de MPS ligeiramente maior em relação à vazante, médias de 6,4 mg/L e 6,0 mg/L, respectivamente.

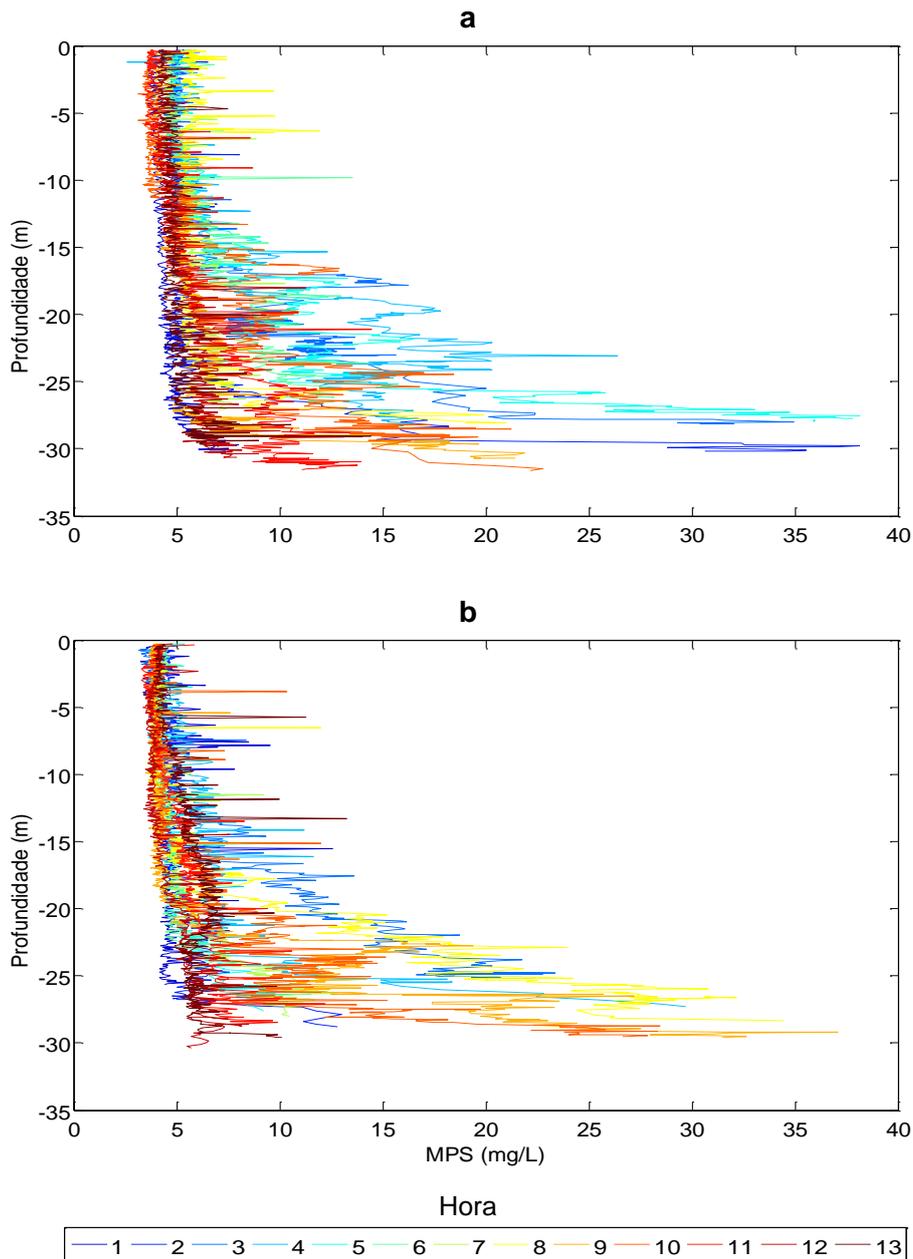


Figura 30 – Concentração do MPS em 27-04-2013 (a) e 15-02-2014 (b) ao longo de um ciclo completo de maré de sizígia.

As concentrações médias relativas do MPI (MPO) em abril de 2013 (fig. 31a) e em fevereiro de 2014 (fig. 31b) foram de 74% (26%) e 63% (37%), respectivamente. Em abril de 2013 e fevereiro de 2014, as concentrações médias do MPO na maré de vazante foram de 27% e 39%, respectivamente, enquanto que na enchente elas foram de 24% e 35%. Para as amostras coletadas na água superfície (S na figura 31), em abril de 2013 e em fevereiro de 2014, o MPO médio foi de 29% e 40%, respectivamente. Para as amostras coletadas na água de fundo (F na figura 31), os respectivos valores foram menores (25% e 33%). Em abril de 2013, a concentração do MPO na superfície foi maior do que no fundo em 2 das 4

oportunidades. Já em fevereiro de 2014 a concentração do MPO na superfície foi maior em 8 das 12 oportunidades.

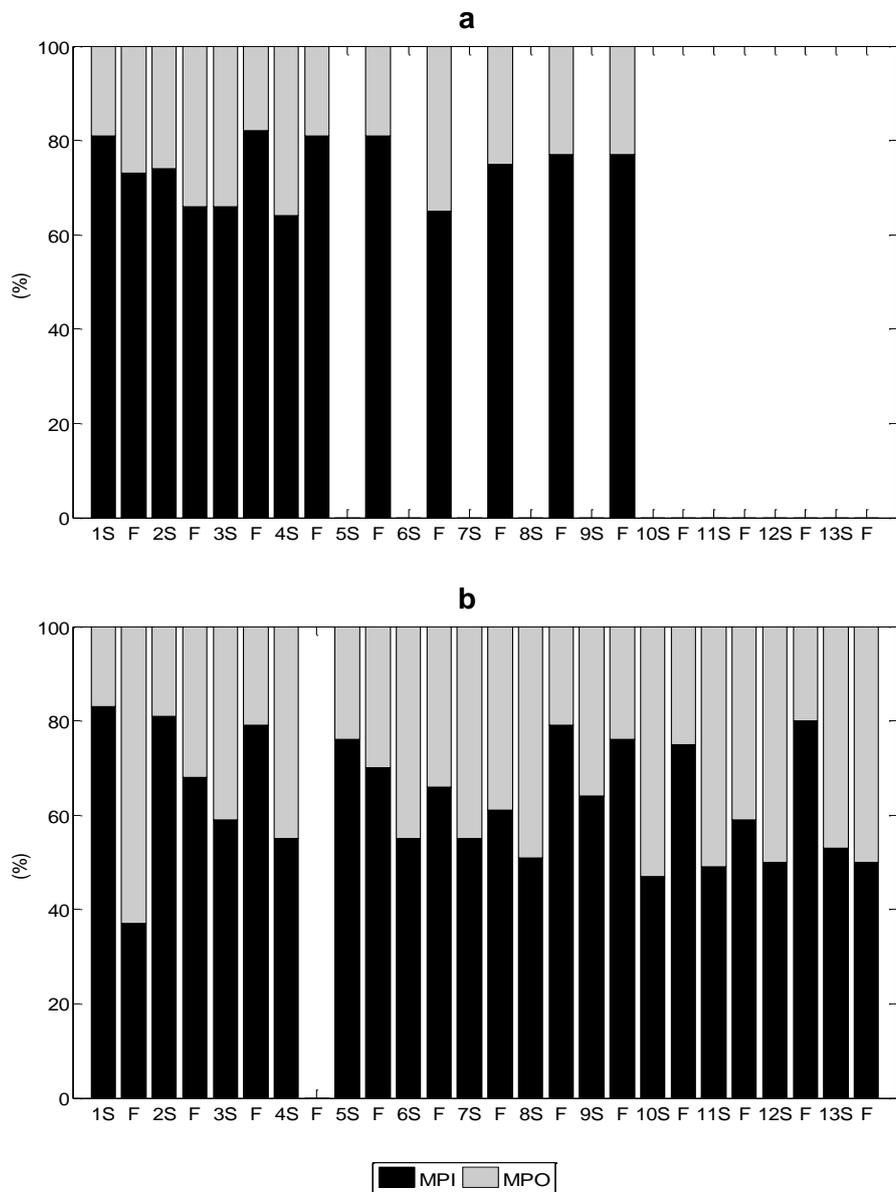


Figura 31 – Concentração do MPI e MPO em 27-04-2013 (a) e 15-02-2014 (b) ao longo de um ciclo completo de maré de sizígia.

4.9 Fluxo Vertical do MPS

O fluxo vertical médio do MPS, na estação localizada ao centro da baía foi de $0,13 \pm 0,01$ g/cm²/dia, apresentando um valor bastante superior na última coleta ($0,22 \pm 0,02$ g/cm²/dia) em relação às demais (fig. 32).

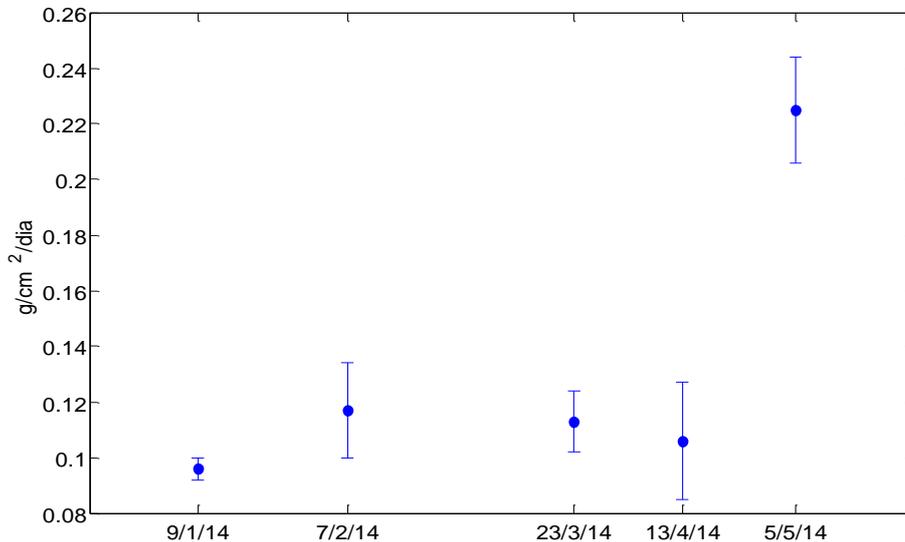


Figura 32 – Fluxo vertical do MPS na região central da BTS.

O teor de lama nas amostras (fig. 33) foi majoritariamente superior ao teor de areia, suas respectivas médias foram de 98,7% e 1,3%. Nas coletas 9/1/14 e 13/4/14 o teor de areia apresentou a menor e a maior concentração encontrada, com 0,6% e 1,9%, respectivamente. A partir da comparação ótica da fração areia encontrada nas amostras com um modelo prático de escala granulométrica, é possível dizer que esta fração foi composta por granulação fina a muito fina.

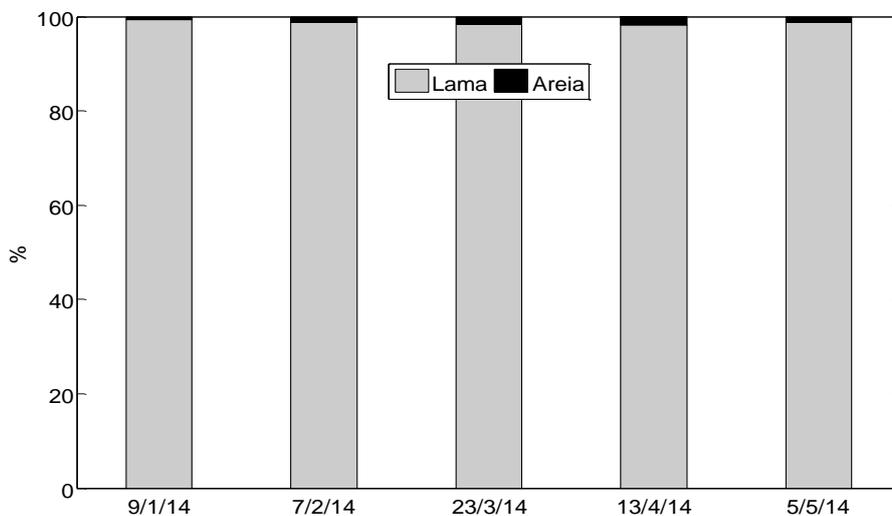


Figura 33 – Teor de lama e areia nas amostras.

5 DISCUSSÃO

A temperatura média da coluna d'água para todas as campanhas foi de 27,7 °C, com mínimo de 25,0 °C e máximo de 29,5 °C, valores estes maiores que as médias climatológicas verificadas por Lessa et al. (2009). A diferença de temperatura da água de superfície e da água de fundo foi pequena (média de 0,3 °C), especialmente no período chuvoso, como verificado por Moura (1979). Houve uma tendência de aumento da temperatura média da entrada (26,8 °C) para o interior da baía (28,1 °C), verificado também por Xavier (2002) e Cirano e Lessa (2007).

A salinidade média da coluna d'água para todas as campanhas foi de 35,9 UPS, com mínimo de 33,9 UPS e máximo de 38,0 UPS. Maiores valores de salinidade foram encontrados próximos ao canal de Salvador (36,8 UPS) e menores próximos ao canal de São Roque (34,7 UPS), como verificado por Moura (1979), Xavier (2002) e Cirano e Lessa (2007), fato este em decorrência da diluição da água dessa região pela descarga do rio Paraguaçu. De acordo com Pritchard (1952), a coluna d'água da BTS pode ser classificada como bem misturada devido a pouca diferença vertical de salinidade (média de 0,6 UPS).

Os maiores gradientes longitudinais e verticais de temperatura ocorreram no período seco, com baixos gradientes no período chuvoso. Já a salinidade se comportou de forma inversa, com baixos gradientes no período seco e altos gradientes no período chuvoso. Esse resultado está de acordo com os trabalhos de Xavier (2002) e Cirano e Lessa (2007).

A distribuição dos pares da relação entre a temperatura e a salinidade com a concentração do MPS apresentou um comportamento polinomial de 2ª ordem, com pontos de inflexão em ~27 °C para a temperatura e em ~35 UPS para salinidade. Esse comportamento já tinha sido reportado por Moura (1979), com valores de MPS diminuindo sensivelmente à medida que a salinidade aumenta, já que os minerais de argila (principais constituintes do material terrígeno) precipitam ao passar do ambiente de água doce para o salino, ou seja, da desembocadura do rio Paraguaçu para o interior da baía. O crescimento da curva de tendência (a partir dos pontos de inflexão citados acima) observado no presente estudo, deve-se ao fato do período de dragagem ter sido realizado exatamente no período quente e seco de 2012/2013. Dessa forma, houve simultaneamente o aumento do MPS, temperatura e salinidade.

A conversão do sinal do SRO em MPS quase sempre apresentou uma variação diretamente proporcional e apresentou melhores relações nas estações mais próximas ao canal do Paraguaçu. Estas apresentam menores concentrações de matéria orgânica, o que parece interferir na resposta do SRO, uma vez que a estação #3 (monitorada apenas em

maré de quadratura) apresentou as maiores concentrações de matéria orgânica e foi a única a apresentar uma relação inversamente proporcional entre o SRO e o MPS. Santos (2005) sugeriu a provável presença de fitoplâncton (um dos constituintes na matéria orgânica) como fator influenciador na baixa correlação entre o SRO e o MPS. Os resultados aqui obtidos mostram a correlação positiva entre a concentração de plâncton e o sinal do SRO.

Os resultados indicam que as maiores concentrações de MPS estiveram relacionadas às condições de maré de sizígia, na água de fundo e especialmente nas estações próximas ao canal do Paraguaçu. Esses resultados talvez sejam decorrentes da circulação mais intensa da maré vazante em sizígia, de acordo com Lessa et al. (2001), quando a turbulência é mais elevada e a erosão do substrato ocorre. As menores concentrações em quadratura estariam assim relacionadas à deposição do material, de acordo com modelo clássico de sedimentação estuarina proposto por Dyer (1974).

A dragagem ocorrida próximo ao canal do Paraguaçu elevou a média da concentração do MPS na coluna d'água da BTS em cerca de 68%, indo de 6,9 mg/L para 10,2 mg/L. Esse aumento foi significativo só até a região central da BTS, quando, próximo ao fundo, alcançou a Ilha dos Frades em maré de sizígia. Tais concentrações de MPS são próximas às das baías de Guanabara e Florianópolis. Na Guanabara Melo (2004) registrou MPS médio de 4,5 mg/L e na Florianópolis Alves (2011) registrou MPS médio de 12 mg/L. Valor bem superior foi encontrado na Baía de Paranaguá por Mantovanelli (1999), onde as concentrações foram superiores a 30,0 mg/L.

O MPI é o principal componente do material em suspensão encontrado na BTS, representando em média 66% do MPS. O MPO apresentou maiores concentrações na água de superfície e nas estações mais próximas ao canal de Salvador, como verificado por Moura (1979), que indicou a turbidez próxima ao canal do Paraguaçu como fator desfavorável à produção planctônica.

Ao comparar a concentração do MPO com a concentração do MPS nota-se que estes apresentam um crescimento inverso, ou seja, no período em que o MPS apresentou elevada concentração, a concentração relativa do MPO foi reduzida. No que se refere à concentração absoluta (mg/L), o MPO aumentou de forma bem menos intensa em relação ao MPS, como no período de dragagem, que certamente deve ter resuspendido muito material inorgânico.

O fluxo vertical médio do MPS no centro da baía foi de $0,13 \pm 0,01$ g/cm²/dia, valor bastante superior ao encontrado por Lacerda et al. (2007) para Baía de Sepetiba, que no período de 1970 a 2000 identificou uma taxa de sedimentação, baseada em perfis de sedimento, de $0,87 \times 10^{-3}$ g/cm²/dia, apesar dos autores mostrarem que há um considerável

aumento na taxa a cada década. A elevada deposição (~2 vezes acima a média) do MPS encontrada na última coleta está relacionada ao aumento da concentração do MPS na coluna d'água, incluindo a estação #4, identificado na campanha realizada no mês de abril, com média para esta estação de 5,7 mg/L. Já as campanhas precedentes tiveram valor médio para esta estação de 2,1 mg/L. A presença da fração areia no material retido nas armadilhas sugere a possibilidade de resuspensão desta fração do material de fundo próximo ao local de fundeio, onde ocorre o predomínio de lama com cascalho carbonático.

Como ajustes à metodologia aplicada no presente trabalho, seguem as seguintes recomendações:

- (i) Durante a etapa de determinação do MPS (filtração) e suas frações orgânicas e inorgânicas (calcinação), não foram utilizados filtros brancos para correção das variações de peso em função da umidade. No entanto, recomenda-se o uso destes para garantir maior confiabilidade nos resultados, uma vez que os valores manipulados são muito próximos uns dos outros e usualmente ocupam casas decimais da ordem de 10^{-3} g.
- (ii) A temperatura utilizada para secagem das amostras para determinar o fluxo vertical (80 °C) pode não ser ideal devido às prováveis perdas de alguns elementos orgânicos e inorgânicos. Tal procedimento foi adotado no presente trabalho em função da elevada quantidade de sedimento coletado, e apesar de não ser possível estimar as perdas, pode ser sugerido o uso de alíquotas para conseguir eficácia na secagem das amostras a partir de temperaturas mais baixas. Outro detalhe não considerado na metodologia foi o uso de conservantes dentro dos tubos coletores, para garantir que o material decantado durante o período de coleta não sofra decomposição.

6 CONCLUSÕES

A conversão do sinal do SRO em MPS foi melhor nas regiões onde a turbidez foi maior e a presença de matéria orgânica foi menor. A baixa relação entre a resposta do SRO e a densidade de organismos planctônicos pode estar ligada ao fato do MPS ser composto principalmente por material inorgânico.

A concentração média do MPS foi de 10,2 mg/L (6,9 mg/L se excluído o período da dragagem). A concentração na coluna d'água apresentou três padrões distintos. No primeiro, em maré de quadratura, com baixas concentrações e pequenas diferenças entre as estações, aumentando da estação #1 à #10; no segundo, também em quadratura, a água de fundo de algumas estações próximas ao canal de São Roque apresentaram maiores concentrações do MPS em relação às estações vizinhas, sugerindo ocorrências episódicas de zona de máxima turbidez; e no terceiro padrão, com alto gradiente longitudinal, comum à maré sizígia e no período da dragagem, com altas concentrações encontradas especialmente nas estações mais próximas ao canal do Paraguaçu.

A concentração média do MPO (34%) foi inferior à do MPI (66%), atingindo valores mais elevados na água de superfície e em estações mais próximas ao canal de Salvador, mas sem padrão de variação específico ao longo do tempo. Em situações de aumento da concentração do MPS, o MPO tendeu a apresentar menores valores, evidenciado nas amostras de água de fundo e após o início das atividades de dragagem.

A magnitude do fluxo vertical do MPS ($0,13 \pm 0,01 \text{ g/cm}^2/\text{dia}$) na área central da baía pareceu ser bastante elevada quando comparado às taxas de sedimentação em outros locais, porém esse fluxo vertical representa uma taxa potencial de sedimentação, uma vez que parte do sedimento retido no tubo coletor certamente seria resuspendido pelas correntes de fundo, caso este estivesse disperso no substrato.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ALVES JR. L. A. **Caracterização hidrográfica da Baía de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

BARRETO M. A. S.; PAREDES, J. F. Estudos hidrodinâmicos no Estuário do Rio Paraguaçu. **A Água em Revista**, Ano III n. 5, 1995.

CIRANO, M.; LESSA, G. C. Oceanographic characteristics of Baía de Todos os Santos. Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, p. 363-387, 2007.

CODEBA. **Dragagem de portos vai custar R\$ 89 milhões**. Companhia das Docas do Estado da Bahia. 2010. Disponível em: <<http://www.codeba.com.br>>. Acesso em: 31 jul. 2014.

DISRP. **Estaleiro inicia nova etapa da construção de moderno empreendimento baiano**. Distrito Industrial de São Roque do Paraguaçu. 2013. Disponível em: <<http://www.saoroquedoparaguacu.wordpress.com>>. Acesso em: 31 jul. 2014.

DOWNING J. P.; BEACH R. A. Laboratory apparatus for calibrating optical suspended solids sensors. **Marine Geology**, v. 86, p. 243-249, 1989.

DROPPO I. G. Rethinking what constitutes suspended sediment. **Hydrological Processes**, v. 15, p. 1551-1564, 2001.

DYER K. R. The salt balance in stratified estuaries. **Estuarine and Coastal Marine Science**. v. 2, p. 273-281, 1974.

DYER, K. R.; MANNING, A. J. Observation of the size, settling velocity and effective density of flocs, and their fractal dimensions. **Journal of Sea Research**, v. 41, p. 87-95, 1999.

EISMA, D. Flocculations and de-flocculation of suspended matter in estuaries. **Netherlands Journal of Sea Research**, p. 183-199, 1986.

GARDNER, W. D. Sediment trap dynamics and calibration: a laboratory evaluation. **Journal of Marine Research**, v. 38, p. 17-39, 1980.

HILL, P. S.; MILLIGAN, T. G.; GEYER, W. R. Controls on effective settling velocity of suspended sediment in the Eel River food plume. **Continental Shelf Research**, v. 20 p. 2095-2111, 2000.

LACERDA, L. D.; PARAQUETI, H. H. M.; MOLISANI, M. M. e BERNARDES, M. C. (2007). Transporte de materiais na interface continente-mar na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro. In: Anais do XII Congresso Latino Americano de Ciências do Mar, Florianópolis, 4 p.

LESSA, G. C.; CIRANO, M.; TANAJURA, C. A. S.; SILVA, R. R. Oceanografia Física. In: Vanessa Hatje; Jailson B. de Andrade. (Org). **Baía de Todos os Santos: Aspectos Oceanográficos**. Ed. Salvador: EDUFBA, 2009, p. 68-119.

LESSA, G. C., DOMINGUES, J. M. L., BITTENCOURT, A. C. S. P. e BRICHTA, A. The tides and tidal circulation of Todos os Santos Bay, Northeast Brazil, a general characterization. **An. Acad. Bras. Cienc.**, v. 73, n. 2, p. 245-261, 2001.

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

MANTOVANELLI, A.; MARONE, E.; DA SILVA, E. T.; LAUTERT, L. F.; KLINGENFUSS, M. S.; PRATA, V. P.; NOERNBERG, M. A.; KNOPPERS, B. A.; ANGULO, R. J. Combined tidal velocity and duration asymmetries as a determinant of water transport and residual flow in Paranaguá Bay estuary. **Estuar. Coast. Shelf Sci**, v. 59 n. 4, p. 523-537, 2004.

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

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

PEREIRA, M. D.; SIEGLE, E.; MIRANDA, L. B.; SCHETTINI, C. A. F. Hidrodinâmica e transporte de material particulado em suspensão sazonal em um estuário dominado por maré: estuário de Caravelas (BA). **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 28, p. 427-444, 2010.

PRITCHARD, D. W. Estuarine hydrography. **Advances in geophysics**, v. 1, p. 243, 1952. 1. (H.E. Landsberg, ed.). Academic Press, New York.

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

WALLING, D. E.; OWENS, P. N.; WATERFALL, B. D.; LEEKS, G. J. L.; WASS, P. D. The particle size characteristics of fluvial suspended sediment in the Humber and Tweed catchments, UK. **The Science of the Total Environment**, 251/252 p. 205-222, 2000.

WOLGEMUTH, K.; BURNETT, W.; MOURA, P. L. Oceanography and suspended materials in Todos os Santos Bay. **Revista Brasileira de Geociências**, v.11, p. 172-178, 1981.

XAVIER, A. G. **Análise hidrodinâmica da Baía de Todos os Santos**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 222 p.

ZALESKI, A. R.; SCHETTINI, C. A. F. Procedimentos para calibração de perfiladores acústicos de corrente por efeito Doppler para a determinação da concentração de material particulado em suspensão na água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 3, p. 191-200, 2006.