

onde, através da técnica de cromatografia frontal, há a retenção seletiva dos gases, de maneira a produzir um cromatograma de sinal estável, para cada elemento, através da detecção por infravermelho.

A precisão das determinações foi assegurada pela análise em conjunto com as amostras do padrão certificado PAC-2 e do padrão Cistina, ao longo da leitura das amostras. A curva de calibração foi feita com o último composto, com massas entre 0,05 mg a 5 mg. Os resultados foram expressos em percentual de carbono e nitrogênio por massa de material em suspensão antes da descarbonatação.

3.4 Amostragens e análises de dados termohalinos e hidrodinâmicos

Aquisição de dados físicos no mesmo período de amostragem dos dados biogeoquímicos (2013-2014), bem como os tratamentos dos mesmos, foi de responsabilidade da equipe do Laboratório de Oceanografia Física da UERJ (LABOFIS), coordenado pelos professores Alessandro Filippo e Alexandre Fernandes.

A determinação das propriedades físicas da coluna d'água (temperatura, salinidade e pressão) foi obtida com dados do equipamento CTD (*Conductivity, Temperature, and Depth*) da marca SeaBird modelo Micro-Cat SBE 37-SM, programado para aquisição de dados a cada 5 segundos. A perfilagem com o CTD foi realizada a cada 1 hora durante 13 horas, gerando 14 perfis verticais em cada coleta. Os perfis foram plotados e inspecionados para a remoção de dados contendo valores negativos de pressão (indicativos de instrumento fora d'água) e valores de temperatura e condutividade extremos, considerados espúrios.

A variação da altura coluna d'água foi monitorada através de uma régua graduada próxima ao local de coleta com leituras a cada 15 minutos. Os dados obtidos com o uso da régua permitiram o acompanhamento da oscilação da altura da coluna d'água durante as 13 horas e foram posteriormente comparados aos dados da variação da altura também medidos por meio dos instrumentos ecobatímetro e ADCP, conforme descrito a seguir.

A altura da coluna d'água, a direção e velocidade da corrente de maré, foram medidas com o uso do correntômetro Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) modelo Aquadopp da empresa Nortek S.A. O equipamento foi programado para realizar medições a cada 1 segundo, com resolução vertical de 10 cm para um total de 50 células (bins). O “*blanking distance*”, que corresponde a distância “cega” entre o sensor e a primeira célula de velocidade medida (bin) foi de 20 cm. A correção das velocidades quanto a declinação magnética foi feita a partir da calibração direcional do ADCP antes de cada coleta.

O ADCP, acoplado em uma estrutura fixa, foi fundeado no leito do estuário com transdutores para cima (“*up-look*”), próximo à estação de amostragem. Embora utilizado em modo “*up-look*” o instrumento foi configurado como se utilizado em modo “*downlook*” (transdutores virados para baixo), pois esta configuração apresentou melhores resultados na resolução de velocidades próximas a superfície. A altura total da coluna d'água, medida pelo instrumento ADCP, foi corrigida adicionando-se o valor de 10 cm ao seu registro. Essa correção foi necessária, pois o sensor de pressão situava-se sobre uma estrutura de suporte que o elevava a 10 cm acima do fundo.

Os dados armazenados no ADCP foram baixados e armazenados para tratamento com o *software* MATLAB® versão R2012b. A componente zonal da velocidade (*u*) foi utilizada como a velocidade paralela ao canal pois a orientação do mesmo, no ponto de medição, apresentou uma variação inferior a 3 graus em relação a direção zonal (oeste-leste).

Os dados da componente zonal da velocidade medida foram então filtrados para remoção de desvios associados a processos de pequena escala espaço-temporal. A filtragem consistiu, inicialmente, na decomposição das componentes relativas ao efeito da descarga fluvial, ao efeito cíclico da corrente de maré e ao efeito estacionário da circulação gravitacional (MIRANDA et al., 2002). Estas 3 parcelas foram então removidas da velocidade medida determinando-se assim os desvios associados aos processos de pequena escala. Por fim, removendo-se da velocidade medida apenas esta última parcela, associada aos desvios, obteve-se a velocidade filtrada usada nos cálculos do transporte de volume e demais propriedades.

Por apresentar, aproximadamente, características de um canal longo e estreito com 50 m de largura e 4 m de profundidade da coluna d'água, foi assumida a condição de homogeneidade lateral dos perfis de velocidade medidos. Esses perfis foram então divididos em duas camadas representativas da superfície e do fundo para a realização do cálculo do transporte de volume. Essa divisão em 2 camadas permitiu a realização das estimativas de importação e exportação das quantidades biogeoquímicas de forma correspondente com a profundidade de coleta das mesmas.

A divisão em camadas foi feita a partir da plotagem individual dos 13 perfis verticais horários de velocidade medidos em cada campanha. Quando um dado perfil de velocidade apresenta uma inversão no sentido, a profundidade da inversão é tomada como interface entre as duas camadas. Quando nenhuma inversão é observada no perfil, a interface é tomada na metade da altura da coluna de água.

3.4.1 Seção transversal do canal

Para a determinação da área da seção transversal do canal se realizou uma sondagem com ecobatímetro analógico/digital Syquest, modelo Bathy 500 com precisão de 0,5 % e resolução de 10 cm. O posicionamento se obteve com DGPS Hemisphere, modelo R130, com precisão submétrica e correção diferencial por satélite (banda L) acoplado a um notebook equipado com software Hypack 2012 de navegação e armazenamento de dados. Essa sondagem percorreu perfis transversais e longitudinais permitindo uma aproximação mais exata da declividade do fundo do canal estuarino no ponto de amostragem.

O perfil batimétrico próximo a estação de coleta do canal da Joatinga permitiu o cálculo da área transversal do canal, empregando-se o programa Geosoft v.8.3. Essa área foi denominada como área de referência (AR). As alturas da maré obtidas na régua de maré nos dias das campanhas foram referenciadas utilizando-se o mesmo referencial da batimetria, posicionando-se a régua de maré exatamente no mesmo lugar. Assim, no dia do levantamento da batimetria (20 de fevereiro de 2014), uma medida de altura do nível d'água (H_i) foi feita com a régua de maré.

Considerou-se a variação da área da seção transversal igual a área de um retângulo, ajustando as coordenadas das margens do canal com o programa Google Earth. A área do retângulo foi adicionada ou subtraída da AR, de acordo com o nível de água (Hm). Assim, obteve-se uma área, denominada área inicial (AI), que corresponde à área da seção transversal no dia da campanha (Equação 5). Esse cálculo foi feito automaticamente pelo programa GEOSOFT. Foi encontrada a menor área (baixa-mar) e maior área (preamar) utilizando o contorno da seção transversal para cada campanha. A área final, para cada altura da régua de maré medida (cada 1 hora de amostragem) foi então determinada, segundo a regra de três simples, considerando amplitude e área da seção transversal em baixa-mar (ou preamar).

$$AI = AR + D(Hm - Hi) \quad (5)$$

Onde:

AI: área da seção transversal do canal no dia da coleta (m²);

AR: área da seção transversal do canal no levantamento batimétrico (m²);

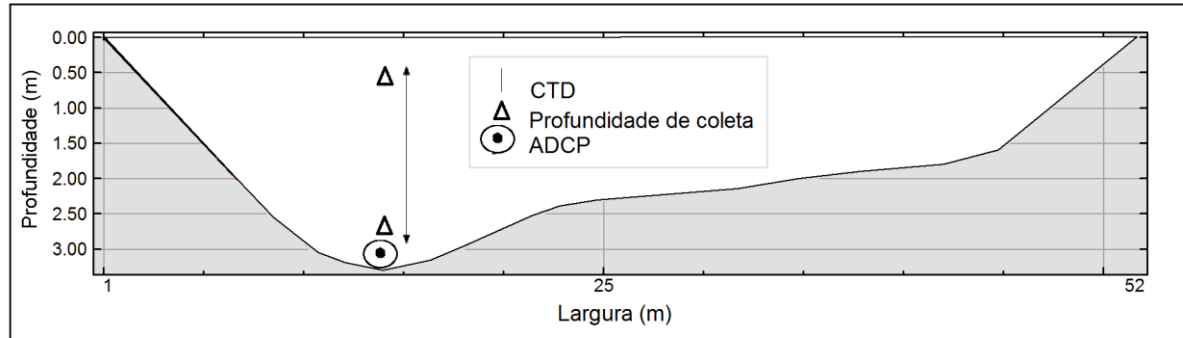
D: largura do canal;

Hm: altura do nível da água medida na régua de maré no dia da coleta (m);

Hi: altura do nível da água medida na régua de maré no dia do levantamento batimétrico (m).

Como este estudo considerou dois estratos da coluna d'água, foi então dividida a seção transversal na interface superfície e fundo de acordo como perfil da velocidade da corrente, em camada de superfície e camada de fundo. Na Figura 8 está a demonstração da seção transversal com o posicionamento dos instrumentos de medição e a profundidade de coleta de água nas camadas de superfície e fundo.

Figura 8 - Representação da seção transversal do canal da Joatinga, posicionamento dos equipamentos e profundidade de coleta de água



Fonte: A autora, 2016.

3.4.2 Transporte de volume

Conforme já mencionado, foi assumida a condição de homogeneidade lateral das velocidades medidas na direção paralela ao canal (componente zonal).

O transporte de volume (T_v) (Equação 6) foi calculado numericamente como:

$$\langle T_v \rangle \geq \frac{1}{n} [\sum u(t_k) A] \quad (6)$$

onde $u(t)$ e $A(t)$ são, respectivamente, a velocidade paralela ao canal e a área da seção transversal, $n=13$ é o número de horas lunares contidas no ciclo de maré considerado e $k=1, 2, \dots, n$.

As áreas das camadas de superfície e fundo, A_s e A_f , foram determinadas numericamente com o auxílio do software GEOSOFTE tendo sido tomada o valor médio das duas sondagens, preamar e baixa-mar, realizadas em cada campanha. A partir da Equação 6, os transportes de volume para essas camadas T_{vs} e T_{vf} foram calculados nas Equações 7 e 8 como:

$$\langle T_{vs} \rangle = \frac{1}{n} [\sum u_s(t_k) A_s] \quad (7)$$

$$\langle T_{vf} \rangle = \frac{1}{n} [\sum u_f(t_k) A_f] \quad (8)$$

onde os símbolos < > indicam médias verticais ao longo de cada camada.

3.4.3 Fluxo de materiais

Os fluxos de nutrientes e carbono orgânico foram obtidos multiplicando-se a vazão pela concentração e pelo tempo, em segundos, entre uma medida e outra de acordo com a Equação 9 e 10:

$$F_{(60\text{min})} = 3600 (F_{i(s)}) (C_{i(s)}) \quad (9)$$

$$F_{(60\text{min})} = 3600 (F_{i(f)}) (C_{i(f)}) \quad (10)$$

Onde:

$F_{(60\text{ min})}$: fluxo líquido a cada 60 minutos (3600 s);

C_i : concentração de determinado constituinte no tempo i considerando a concentração em unidades Kg m^{-3} .

O fluxo líquido total para cada material é dado pelo somatório dos fluxos a cada 1 hora, ao longo do ciclo de maré. Definiu-se a duração de um ciclo de maré (13 horas), para o posterior cálculo de fluxo. Este mesmo método foi adotado por Wattayakorn et al. (1990) em canais estuarinos de manguezais.

O fluxo líquido médio é dado pela Equação 11:

$$F_{(t)i} = \sum 3600 (F_i) (C_i) \quad (11)$$

onde t é o tempo, em horas de duração de cada ciclo de maré.

O balanço de massa para cada constituinte foi obtido através da soma dos fluxos líquidos entre as coletas horárias, em uma dada amostragem.

3.5 Tratamento estatístico

As análises estatísticas foram realizadas com as ferramentas do programa Statistic versão 7.0.0. da Vince Stat Software e pelo programa R Statistic versão 2.14.0 (The R Foundation for Statistical Computing). A primeira etapa dos testes estatísticos seguiu com a verificação da normalidade dos dados medidos in situ e dos processados em laboratório. Para esta etapa foi aplicado o teste estatístico de Shapiro-Wilk, ideal aplicação quando a dimensão das amostras é menor que 30. O p-valor para a distribuição ser considerada normal deve ser $p > 0,05$ (ROYSTON, 1982).

Devido à não-normalidade do teste anterior para os dados (APÊNDICE A), analisou-se os dados aplicando-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney-Wilcoxon para amostras de superfície e fundo e maré enchente e vazante. O teste é apropriado para averiguar se são iguais as medianas de duas populações contínuas e independentes. Este teste apresenta a hipótese nula H_0 onde duas amostras são de populações idênticas. Assim, quando os valores de p menores que 0,05, sugere-se diferença entre populações. Foram realizadas as comparações entre as amostragens de quadratura e sizígia aplicando o teste Kruskal Wallis, análogo ao Mann-Whitney-Wilcoxon porém se tratando da comparação de mais de duas populações.

O coeficiente de correlação de Spearman (ρ) foi calculado entre todas as variáveis físico-químicas e químicas. O coeficiente de correlação ρ varia entre os valores -1 e 1. Quanto mais próximo estiver de 1 ou -1, mais forte é a associação linear entre as duas variáveis, o valor -1 indica uma forte relação, porém inversa. O valor de $p < 0,05$ indica uma correlação entre as variáveis (BEST; ROBERTS, 1975).

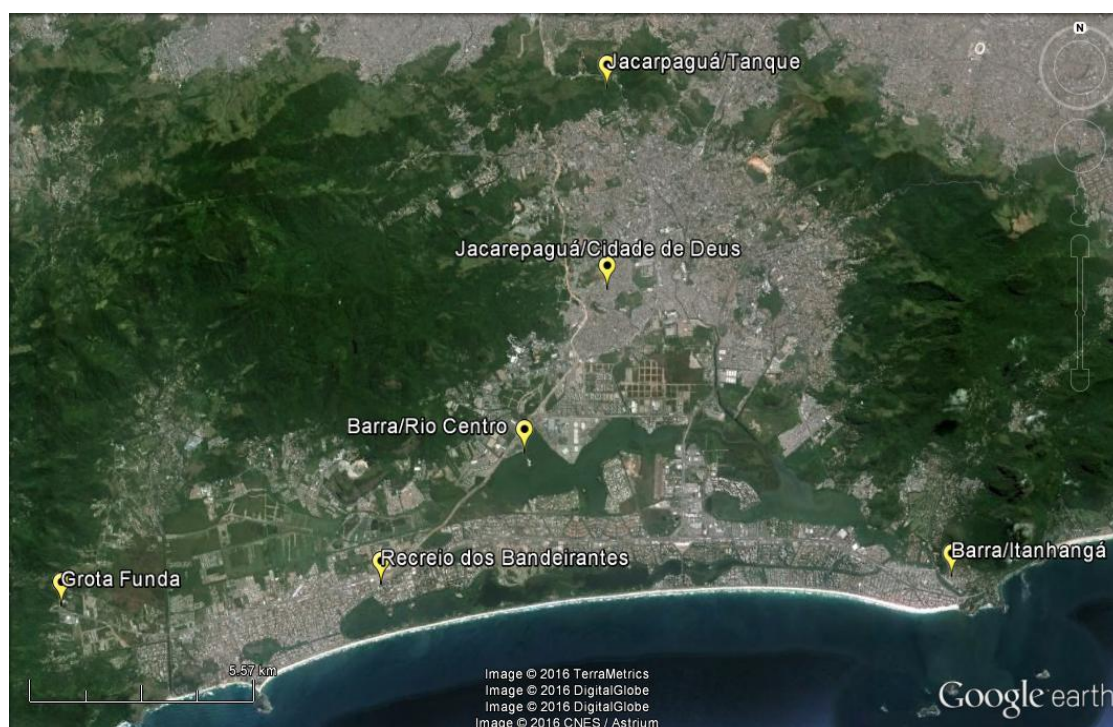
Por último foi aplicado o teste de Análise de componente principal (ACP) para testar a correlação dos constituintes depois de serem normalizados, além disso, verificar a distribuição das campanhas utilizando a mesma técnica estatística.

3.6 Avaliação dos dados meteorológicos

Foram adquiridos do INMET entre 2013 e 2014 as temperaturas absolutas do ar durante o período das campanhas de maré de quadratura e sizígia referentes a estação A652 do Forte de Copacabana. Esta estação apresentou o banco de dados mais completo e mais próxima do ponto de coleta.

Consideraram-se os dados de precipitação das seis estações pluviométricas automáticas da Prefeitura do Rio de Janeiro compreendidas na bacia hidrográfica de Jacarepaguá na Figura 9.

Figura 9 - Estações pluviométricas automáticas situadas na área da bacia hidrográfica de Jacarepaguá



Nota: Estações telepluviométricas do Sistema de Alerta de Deslizamentos - Alerta Rio - da Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro (GEORIO).

Fonte: GOOGLE EARTH, 2016.

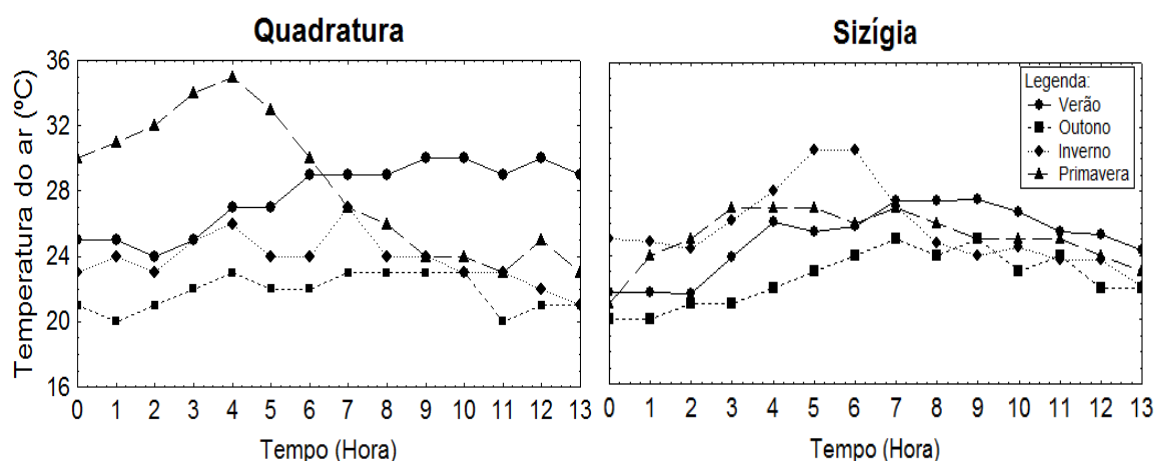
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação de dados meteorológicos

4.1.1 Temperatura do ar

Durante as campanhas de maré de quadratura foram registrados os maiores valores médios de temperatura do ar, atingindo 28,4 °C na primavera e 27,7 °C no verão. No outono e inverno os valores foram de 21,8 e 23,8 °C, respectivamente. Já no período das campanhas de sizígia, observa-se temperaturas altas no inverno, chegando até 30 °C e média de 25,7 °C, temperatura atípica de inverno na cidade do Rio de Janeiro para este período (Gráfico 1). No verão, outono e primavera as médias foram 25,0, 22,6 e 25,1 °C, respectivamente.

Gráfico 1 - Temperatura do ar da estação meteorológica A652 (Forte de Copacabana) durante as amostragens das campanhas de maré de quadratura e maré de sizígia no canal da Joatinga



Legenda: Representação das estações com linha pontilhada e (●) verão, (■) outono, (◆) inverno, e (▲) primavera. Tempo (Hora) referente a primeira à última hora de cada coleta e hora 13 a última hora de coleta, exemplo quadratura: verão intervalo de 06h50-19h50; outono de 07h00-20h00; inverno de 06h40-19h40 e primavera de 07h40-20h40. Exemplo sizígia: verão intervalo de 08h10-21h10; outono de 07h20-20h20; inverno de 07h05-20h05 e primavera de 06h50-19h50.

Fonte: A autora, 2016.

É possível observar também no Gráfico 1 na primavera e verão há uma maior amplitude dos valores de temperatura do ar, tanto na maré de quadratura quanto sizígia, em comparação com outono e inverno. Apesar de ter sido avaliado um curto período de tempo, as temperaturas do ar são um fator importante para interpretação dos dados no canal da Joatinga, pois elas vão influenciar diretamente na temperatura da água uma vez que este é um ambiente bastante raso.

4.1.2 Pluviometria na bacia hidrográfica de Jacarepaguá

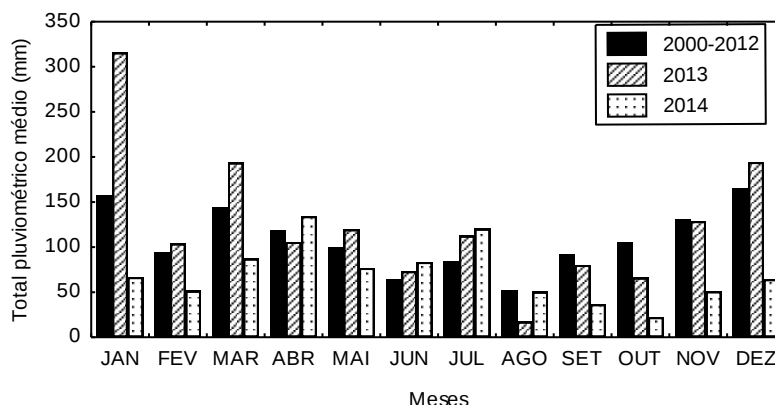
Entre os anos de 2000 e 2012 a precipitação média anual foi 1304,9 mm. Os eventos de maior precipitação ocorreram durante a primavera e a menor pluviosidade média no inverno, respectivamente iguais a 133,6 e 75,9 mm nestes trimestres. O verão foi a segunda estação do ano mais chuvosa com 131,6 mm, seguida pelo outono com 93,8 mm.

No Gráfico 2 observa-se que, em média, os meses de novembro a janeiro são os mais chuvosos e os de junho a agosto os de menor precipitação. Em destaque no Gráfico 2, os totais pluviométricos médios mensais dos anos 2013 e 2014 que correspondem ao período que foram realizadas as amostragens do presente estudo.

O ano de 2013 foi o que apresentou a maior intensidade pluviométrica quando comparado às médias históricas entre 2000 a 2012 (Gráfico 2). No mês de janeiro de 2013 teve uma precipitação 101 % maior que a média histórica. No mesmo ano, agosto foi o mês de menor precipitação com 17,1 mm medidos, aproximadamente 70 % abaixo da média histórica da GEORIO.

Nos trimestres referentes ao verão e primavera foram determinadas elevadas intensidades de precipitação em 2013, com 204,4 mm e 129,7 mm respectivamente. No mesmo ano, o inverno e o outono foram estações bem mais secas, com precipitações iguais, respectivamente, a 66,9 e 99,4 mm.

Gráfico 2 - Totais pluviométricos médios mensais das estações pluviométricas automáticas na área da bacia hidrográfica de Jacarepaguá entre o período de 2000 a 2012 e do ano de 2013 e 2014



Nota: Dados de precipitação medidos pela rede de pluviômetros automáticos do sistema Alerta Rio – GEORIO. Para este estudo foram utilizadas as médias mensais das estações compreendidas na região da Bacia Hidrográfica de Jacarepaguá.

Fonte: GEORIO, 2014a, 2014b, 2015. Adaptado pela autora, 2016

Entre as médias pluviométricas mensais registradas em 2014 (Gráfico 2), na região da bacia hidrográfica de Jacarepaguá, notam-se valores bem abaixo da média nos meses que compreendem o verão, de janeiro a março e nos meses de setembro a dezembro. A média pluviométrica do verão foi 68,4 mm, 50 % abaixo da média histórica para o trimestre janeiro, fevereiro e março. Durante o outono a média pluviométrica trimestral foi 98,1 mm, no inverno 69,0 mm e na primavera 45,7 mm. Os meses de abril, junho e julho apresentaram os maiores totais pluviométricos médios durante 2014, destacando-se julho com pluviometria média mensal 41 % maior em relação à média histórica da GEORIO entre 2000 e 2012 (GEORIO, 2014a).

Na Tabela 6 pode se observar a pluviometria das estações na região da bacia hidrográfica de Jacarepaguá e a pluviometria média medida uma semana antes das campanhas que foram realizadas.

Nota-se que períodos de maré quadratura, no outono e primavera, houve maiores volumes de precipitação em uma semana, 71,7 e 70,6 mm, respectivamente. Enquanto que no verão (fevereiro 2013) e inverno (setembro 2014) não ocorreram episódios de precipitação anteriores à amostragem. Já no outono, a estação Barra/Itanhangá, mais próxima do canal da Joatinga, registrou 84,8 mm de

chuvas, evento que pode estar relacionado a chuva orográfica com a influência do maciço da Tijuca.

No período de maré sizígia o maior índice médio pluviométrico foi na campanha de verão (fevereiro 2014), com 50,7 mm. Na campanha de outono e primavera choveu 21,5 e 4,7 mm, respectivamente, enquanto que não ocorreu chuva no inverno.

Tabela 6 - Dados pluviométricos 7 dias anteriores às campanhas e médias das estações meteorológicas localizadas no entorno do sistema lagunar de Jacarepaguá

Estação	Quadratura				Sizígia			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Barra/Itanhangá	0,00	84,8	0,00	52,8	29,9	25,2	0,00	1,6
Barra/Riocentro	0,00	79,8	0,00	58,8	78,4	40,8	0,00	8,4
Grota Funda	0,00	112,0	0,00	65,0	30,4	22,4	0,00	5,4
Jacarepaguá/Tanque	0,00	34,8	0,00	118,6	49,6	13,8	0,00	3,8
Jacarepaguá/Cidade de Deus	0,00	52,4	0,00	82,4	64,6	12,8	0,00	6,4
Recreio dos Bandeirantes	0,00	66,4	0,00	46,2	51,0	13,8	0,00	2,6
Pluviometria Média:	0,00	71,7	0,00	70,6	50,7	21,5	0,00	4,7

Legenda: Valores em mm.

Fonte: GEORIO, 2014a. Adaptado pela autora, 2016

4.1.3 Direção e intensidade do vento local

Um levantamento da direção e intensidade do vento próxima à área de coleta foi realizado para auxiliar na interpretação dos dados. Os dados de vento da estação SBJR localizada no Aeroporto de Jacarepaguá (a 8 km de distância do ponto de coleta) foram consultados no REDEMET (2015).

Durante as 13 horas de coleta nas campanhas de quadratura o vento predominante no verão foi SSO e S com velocidade média de 4,2 nós ($2,2 \text{ m s}^{-1}$); no outono ventos do quadrante norte e oeste (N e ONO) prevaleceram no período da manhã a 2,8 nós ($1,4 \text{ m s}^{-1}$) e do quadrante sul (SSO e SSE) à tarde com velocidade média de 3,5 nós ($1,8 \text{ m s}^{-1}$); no inverno ventos de SO predominante com 6,4 nós ($3,3 \text{ m s}^{-1}$); e na primavera ventos de N e NNO no período da manhã com velocidade de 6,5 nós ($3,3 \text{ m s}^{-1}$) e à tarde ventos de S e SSO de menos intensidade, a 2,6 nós

(1,3 m s⁻¹). Nas campanhas de sizígia a predominância dos ventos SE e SSE no verão ocorreram durante todo o dia com velocidade média de 6,2 nós (3,2 m s⁻¹); no outono ocorreram velocidades menos intensas que no verão durante a coleta com 3,1 nós (1,6 m s⁻¹), prevalecendo ventos de S e SO; na campanha de inverno foram registradas as maiores velocidades do vento com média de 7,2 nós (3,7 m s⁻¹) e direção SO; e na primavera ventos do quadrante sul (S e SO) predominaram durante toda a campanha com velocidade média de 4 nós (2,05 m s⁻¹).

De acordo com os dados, ventos característicos de entrada de frente fria, com intensidades relativamente elevadas e do quadrante sul e sudoeste, estiveram presentes em grande parte das campanhas de sizígia.

4.2 Amplitude de maré

À exceção da amostragem de outono, foi observada uma amplitude de maré maior em condições de maré de sizígia. A maior amplitude de maré observada foi no outono (78 cm), em maré de sizígia, e, a menor em quadratura no inverno (14 cm). A amplitude de maré, baseada na previsão de maré da estação do Porto do Rio de Janeiro – Ilha Fiscal do Banco Nacional de Dados Oceanográficos - BNDO (DHN, 2013, 2014), foi comparada aos valores medidos pela régua de maré na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores da amplitude de maré baseada na previsão de maré do Porto do Rio de Janeiro – Ilha Fiscal e da amplitude de maré medida no canal da Joatinga nas campanhas de quadratura e sizígia

Local	Quadratura				Sizígia			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Ilha Fiscal	40	120	40	60	70	120	120	50
Canal da Joatinga	22	74	14	18	42	78	74	34

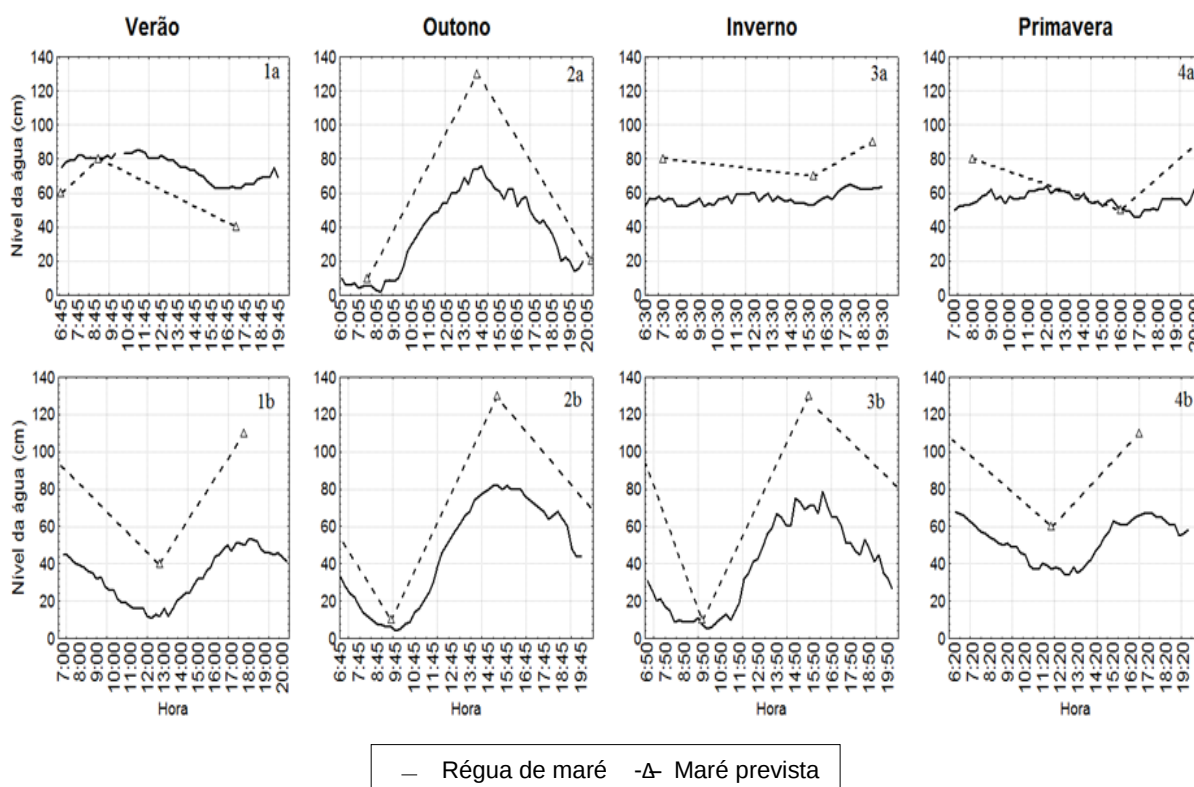
Legenda: Valores em cm.

Fonte: A autora, 2016.

São notáveis as diferenças da amplitude de maré entre a Ilha Fiscal e o canal da Joatinga. A amplitude de maré mais próxima foi verificada na campanha de verão

em maré de quadratura e primavera em maré de sizígia com diferença de 18 e 16 cm, respectivamente. O comportamento da altura da maré observada durante as amostragens apresentou um padrão similar de variação prevista pela Tábua de Maré editada pela DHN (2013 e 2014) (Gráfico 3). Contudo, houve uma defasagem (adiantamento) em relação ao fluxo de águas de aproximadamente 2 horas nas amostragens, na transição de maré vazante para maré enchente, fato que pode ser justificado pelos pontos amostrados estarem em localidades diferentes da estação maregráfica, distantes aproximadamente 30 km.

Gráfico 3 - Variação do nível da água ao longo do período estudado



Nota: Alturas medidas na régua de maré e a maré prevista na Tábua de maré para o Porto do Rio de Janeiro (Ilha Fiscal).

Fonte: A autora, 2016.

A campanha de outono em maré de quadratura se destaca das demais, com uma maior amplitude de maré, 74 cm. Este valor pode ser resultado da proximidade da data da campanha (23/05/13) e a virada de fase da Lua minguante para nova, já refletindo efeitos de maré sizígia nesta amostragem. Outro fator possível é a interferência das condições meteorológicas sobre a dinâmica da zona costeira.

Através de consultas às cartas sinóticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, 2015), foi constatado que no dia anterior e o dia da coleta houve um cavado, que representa uma região alongada com pressão atmosférica baixa, associado a frentes.

4.3 Velocidades da corrente e transporte de volume

Resultados das velocidades das correntes no canal podem ser visualizados na Tabela 8 e no Gráfico 4, no qual valores positivos indicam a entrada de água pelo canal em direção a montante do estuário e valores negativos, por convenção, a saída de água do estuário.

Contrastes entre as velocidades de corrente de maré foram encontradas entre condições de quadratura e sizígia. Em geral, correntes de maré de quadratura foram mais fracas que maré de sizígia. As baixas velocidades ocorreram em função da baixa amplitude de maré, característica da condição de quadratura. Contudo foi encontrada uma exceção no caso de outono (maio 2013), onde a mediana foi acima dos valores medianos comparados as demais estações de quadratura, o que corrobora a elevada amplitude observada nesta campanha.

Na quadratura, velocidades de correntes na enchente foram maiores no período seco, outono e inverno. Cerca de 50% do tempo as velocidades apresentaram valores com pouca diferença entre as profundidades. Assim, segundo o teste de Wilcoxon Man Whitney aplicado, não ocorreram diferenças significativas entre velocidades em ambas as profundidades na quadratura e sizígia ($p > 0,05$).

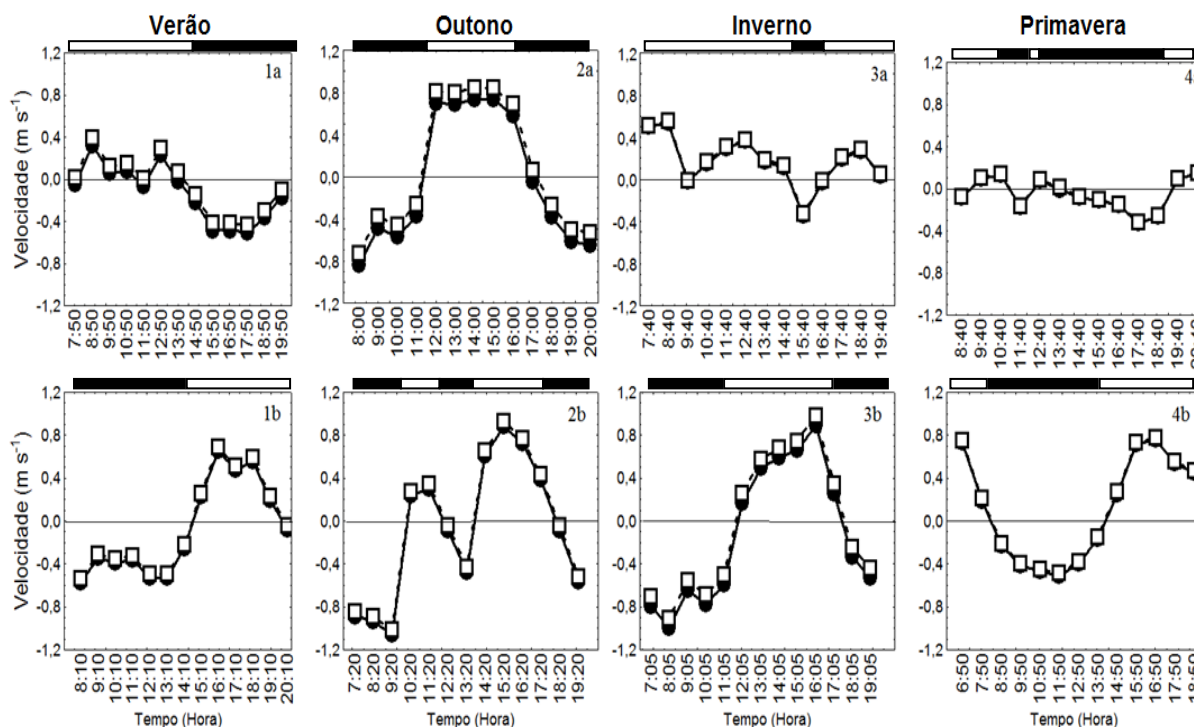
Tabela 8 - Velocidades mediana (med), mínima (mín) e máxima (máx) no canal da Joatinga em condições de maré quadratura e sizígia por campanha

		Verão		Outono		Inverno		Primavera	
		S	F	S	F	S	F	S	F
Quadratura	med	0,15	0,12	0,70	0,80	0,23	0,25	0,10	0,10
	mín	0,055	0,0076	0,58	0,060	0,033	0,047	0,079	0,010
	máx	0,32	0,39	0,73	0,84	0,54	0,55	0,14	0,15
	med	-0,21	-0,36	-0,53	-0,46	-0,027	-0,013	-0,13	-0,15
	mín	-0,019	-0,10	-0,049	-0,26	-0,023	-0,0092	-0,0079	-0,076
	máx	-0,51	-0,44	-0,84	-0,73	-0,34	-0,33	-0,33	-0,32
Sizígia	med	0,48	0,51	0,35	0,39	0,54	0,63	0,54	0,56
	mín	0,20	0,23	0,23	0,28	0,17	0,26	0,19	0,21
	máx	0,66	0,69	0,88	0,92	0,90	0,98	0,76	0,78
	med	-0,38	-0,34	-0,89	-0,84	-0,65	-0,56	-0,41	-0,39
	mín	-0,08	-0,05	-0,084	-0,040	-0,34	-0,25	-0,17	-0,15
	máx	-0,58	-0,54	-1,06	-1,02	-1,00	-0,91	-0,51	-0,49

Legenda: Camada de superfície (S) e fundo (F) são consideradas. Valores em m s^{-1}

Fonte: A autora, 2016.

Gráfico 4 - Variação temporal da velocidade da corrente no canal da Joatinga nas campanhas de maré de quadratura e sizígia



Legenda: Amostras de maré de quadratura (1a-4a) e maré de sizígia (1b-4b). Amostras de superfície (● - círculos fechados com linha inteira) e amostras de fundo (□ - quadrados abertos com linha pontilhada). Barras brancas e pretas no topo do gráfico indicam período de maré enchente e vazante, respectivamente.

Fonte: A autora, 2016.

Segundo os resultados foi possível observar, em campanhas de sizígia, menores velocidades de vazante em relação à enchente, no verão e na primavera (período chuvoso). Como em quadratura, no outono e inverno (sizígia) também foram medidas maiores velocidades de correntes, porém com valores mais altos na maré vazante. Na camada de superfície, em sizígia, ocorreram velocidades ligeiramente maiores que no fundo. A campanha de primavera (quadratura) teve as menores velocidades de corrente entre todas as campanhas.

O teste Kruskal Wallis, aplicado para os dados de corrente das campanhas de sizígia, não apontou diferença entre os grupos. Já entre as campanhas de quadratura foi detectada diferença significativa. A aplicação do teste Post Hoc determinou similaridade entre as velocidades de corrente do verão e inverno ($H: 3, N = 104, 13,52, p = 0,002$).

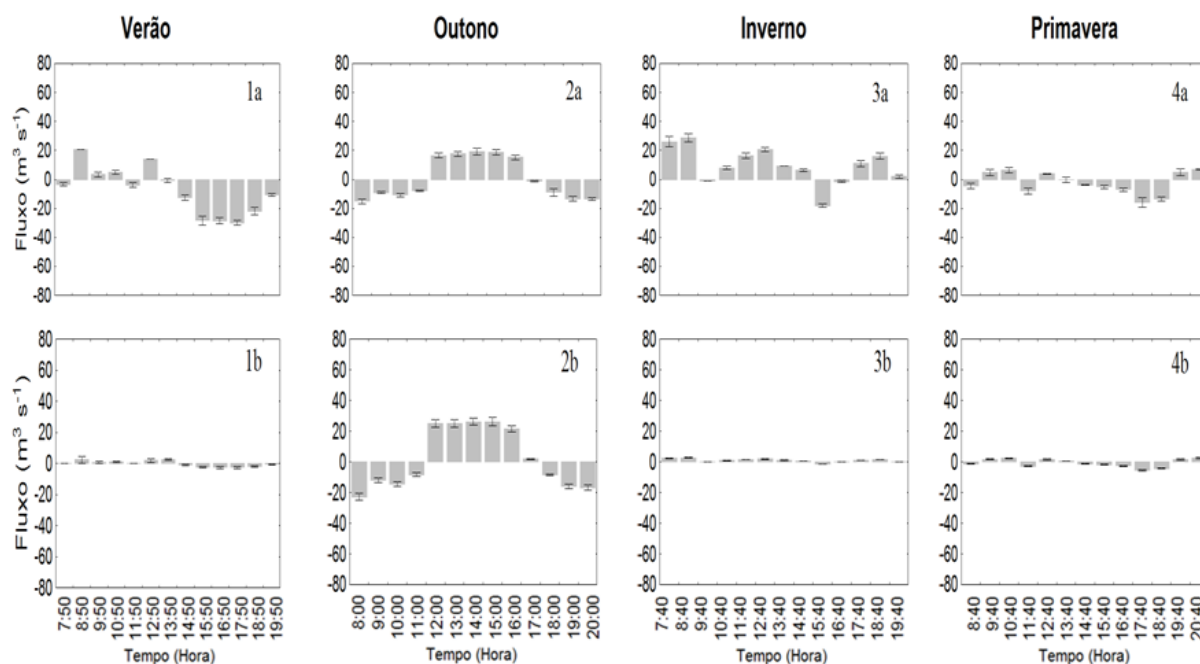
Na maré de sizígia, as áreas médias da seção transversal para a baixa-mar e preamar variaram de 102,8 a 142,2 m². Enquanto que em maré de quadratura as áreas para a baixa-mar e preamar foram de 103,0 a 140,2 m². Foi considerado que a cada hora a área da seção transversal do canal se alterava com o desnível da maré ao longo do tempo, e assim foi calculado uma área para cada hora correspondente à amostragem de água.

Nos Gráficos 5 e 6 observam-se a vazão de água, em m³ s⁻¹, no canal da Joatinga. A vazão é controlada pela maré e o fluxo de água das lagoas, contudo pode ter sido afetado pelas condições meteorológicas. O acúmulo de chuva anterior ao período da coleta pode ser responsável por um gradiente de pressão maior dentro das lagoas durante os períodos chuvosos. Outro fator que pode influenciar a região costeira e a vazão no canal é o regime de vento, que provoca o empilhamento de água no estuário.

A vazão nas campanhas de maré sizígia teve valores expressivamente maiores comparados aos valores em maré de quadratura. Na sizígia a vazão mediana foi 10,3 m³ s⁻¹ (mín-máx: 0,31-59,4 m³ s⁻¹) enquanto que na quadratura foi calculado 4,8 m³ s⁻¹ (mín-máx: 0,046-29,8 m³ s⁻¹).

Em geral, nas campanhas de quadratura (Gráfico 5), os maiores fluxos de água ocorreram pela superfície. Só no outono maiores vazões ocorreram no fundo. Em maré sizígia as maiores vazões também foram em superfície (Gráfico 6).

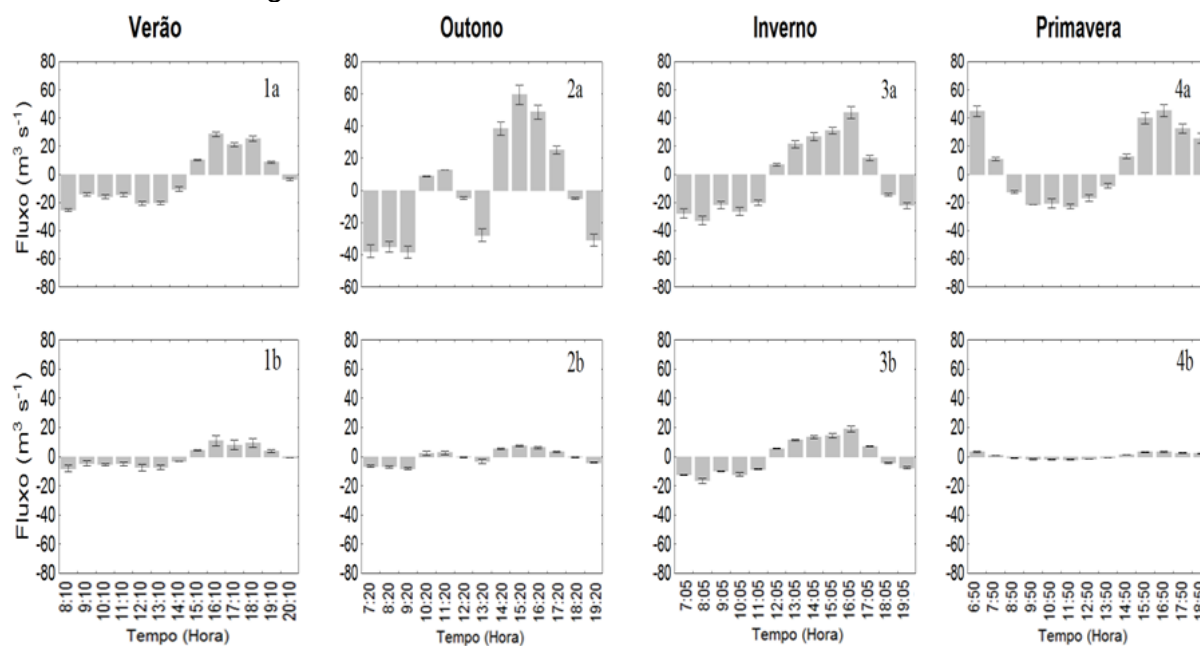
Gráfico 5 - Variação temporal do fluxo de água no canal da Joatinga nas campanhas de quadratura



Legenda: Amostras de superfície (1a-4a) e fundo (1b-4b). Sinal positivo e negativo se referem a importação e exportação de água, respectivamente.

Fonte: A autora, 2016.

Gráfico 6 - Variação temporal do fluxo de água no canal da Joatinga nas campanhas de sizígia



Legenda: Amostras de superfície (1a-4a) e fundo (1b-4b). Sinal positivo e negativo se referem a importação e exportação de água, respectivamente.

Fonte: A autora, 2016.

Vazões mais elevadas podem provocar um aumento na quantidade de material exportado que sofrem influência pelos aportes continentais. De outra forma, também geram diluição dos compostos pelo processo de mistura com águas marinhas e, por fim, podem ocasionar a atenuação dos compostos que são consumidos e/ou produzidos no ambiente estuarino, pois diminui o tempo de residência destas águas, diminuindo assim, o tempo para que os processos bioquímicos e físico-químicos possam ocorrer (DYER et al., 1992).

4.4 Transparência da água

O campo de luz é muito variável, tanto espacialmente (NYBAKKEN et al., 1977 apud CAFFREY et al., 2007), quanto temporalmente (ZIMMERMAN et al., 1994). Na coluna d'água, diversos são os fatores que podem influenciar na penetração da luz na zona eufótica, tais como elevada concentração de material particulado em suspensão, tanto na forma orgânica, como organismos ou detritos de plantas e na forma inorgânica, como sedimentos finos. De forma geral, a absorção e redução da luz ao longo da coluna d'água são os principais fatores que controlam a temperatura e a fotossíntese na mesma (ESTEVES, 1998).

Na Tabela 9 podem ser observadas as profundidades da zona eufótica considerando a irradiância ótima (sem nebulosidade). Em períodos mais chuvosos (campanha de verão e primavera) foi determinada uma menor transparência na coluna d'água (disco de Secchi).

Na primavera, em maré de sizígia, o céu estava nublado e não foi avaliada a profundidade da zona eufótica. O mesmo ocorreu com a campanha de inverno em quadratura. No período seco, as campanhas de outono quadratura e sizígia apresentaram maior visibilidade da coluna d'água, variando entre 50 a 350 cm. Em sizígia, a campanha de inverno apresentou mediana 50 cm, com profundidades mínima e máxima 45 cm e 400 cm, respectivamente.

Através dessas considerações acima, pode-se notar que no ambiente a intensidade da luz solar na coluna d'água variou com a estação do ano. Possível

fator está relacionado ao maior aporte de material por águas continentais em períodos de maior precipitação.

Tabela 9 - Valores mínimo, máximo e mediana da profundidade do disco de Secchi

	Quadratura				Sizígia			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Mínimo	30	50	...	45	30	60	45	...
Máximo	45	290	...	50	50	350	400	...
Mediana	35	170	...	50	45	190	50	...

Legenda: Valores em cm.

Nota: ... valores não determinados

Fonte: A autora, 2016.

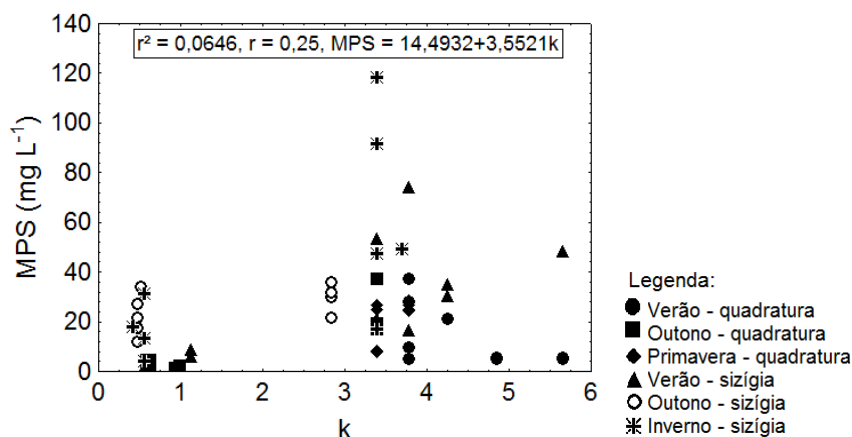
A profundidade do disco de Secchi não fornece dados sobre a qualidade e a quantidade de radiação solar, no entanto pode-se utilizá-la para o cálculo indireto do coeficiente vertical de atenuação (k). De acordo com Poole e Atkins (1929), a profundidade de Secchi, em metros, é aproximadamente o inverso de k , seguindo a Equação 12 abaixo:

$$k = \frac{1,7}{Z_{ds}} \quad (12)$$

onde k é o coeficiente e Z_{ds} é a profundidade de Secchi.

Na área de estudo, foram determinadas concentrações parecidas de MPS com coeficientes de atenuação diferentes (Gráfico 7). Este fator pode estar relacionado ao tipo e tamanho de material em suspensão na coluna d'água que vai interferir mais ou menos na transparência da água, bem como à cor e o estado da superfície da água, que são outros dois fatores que podem influenciar muito a atenuação da luz. Apesar disso, não foi encontrado correlação significativa entre MPS e k .

Gráfico 7 - Material particulado em suspensão (MPS) em função do coeficiente de atenuação (k)



Fonte: A autora, 2016.

A concentração de MPS em estuários turvos em geral excede 50 mg L^{-1} (CLOERN, 1987) e a luz pode ser atenuada rapidamente na coluna d'água (GUINDER et al., 2009). Os resultados de MPS (APÊNDICE B e C) indicam um estuário turvo, como nas campanhas em período úmido (verão e primavera). No verão e primavera ocorrem condições sazonais mais favoráveis para ocorrência da atividade biológica, assim, pode ocorrer uma grande produção fitoplânctonica, o que também justifica, ao menos em parte, uma coluna d'água com menor penetração de luz.

Os valores de k determinados no canal da Joatinga foram semelhantes as características de estuários turvos e rasos como o estuário Bahía Blanca (GUINDER et al., 2009), estuário Ems-Dollar (COLIJN, 1982) e estuário Colne (KOCUM et al., 2002). As mudanças significativas da penetração da luz na coluna d'água podem produzir uma variedade de efeitos diretos e indiretos, químicos e biológicos.

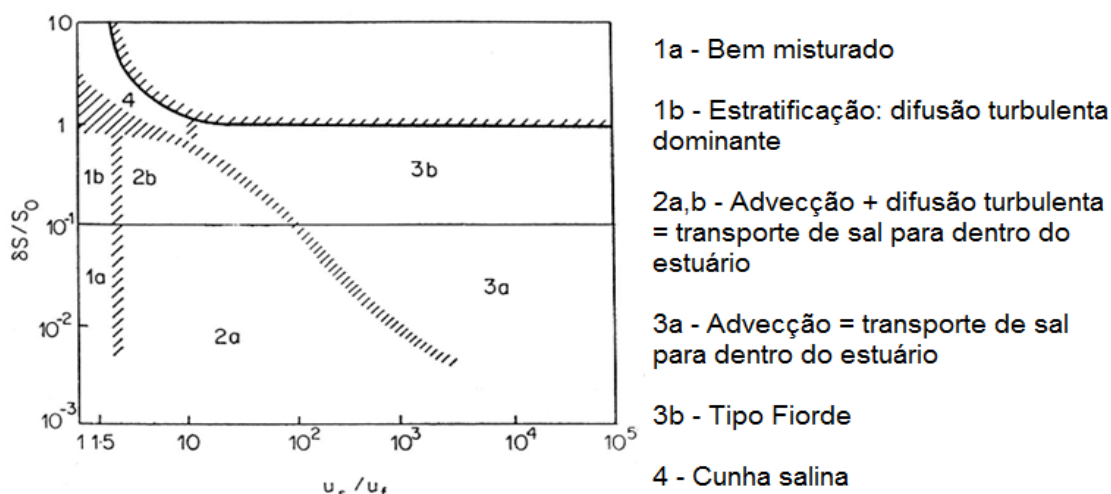
4.5 Classificação do estuário do canal da Joatinga

O levantamento batimétrico da seção transversal do canal encontrou uma distância de 48,9 m de uma margem a outra e uma área da seção de $95,05 \text{ m}^2$ relativa ao nível do mar médio.

Baseando-se nas informações da estrutura salina da coluna d'água, bem como de correntes de maré, foi possível classificar o estuário, segundo os parâmetros de estratificação e circulação propostos por Hansen e Rattray (1966). Esta classificação é baseada em um diagrama cartesiano onde a abscissa é o parâmetro de circulação, e a ordenada o parâmetro de estratificação.

O diagrama apresentado na Figura 10 é subdividido em áreas que definem a influência desses parâmetros que, por sua vez, está associada aos processos advectivos e difusivos atuantes no transporte de sal estuário acima. O parâmetro de estratificação consiste da razão da diferença entre a salinidade residual de fundo e a da superfície pela salinidade residual média da coluna de água.

Figura 10 - Diagrama de estratificação-circulação



Fonte: HANSEN e RATTRAY, 1966. Adaptado pela autora, 2016

Os parâmetros de classificação básica de Hansen e Rattray (1966) são: estratificação, é definida por $\delta S/S_0$, onde δS é a diferença da salinidade entre superfície e o fundo e S_0 é a salinidade média da profundidade; e U_s/U_f , onde U_s é a velocidade de superfície (média ao longo de um ciclo de maré) e U_f é a média do fluxo de descarga na vertical. As subdivisões "a" e "b" no Figura 10 representam valores em que $\delta S/S_0 < 0,1$ e $\delta S/S_0 > 0,1$, respectivamente.

No Gráfico 8 (1a e 1c), pode-se verificar que as coletas de verão e primavera em maré de quadratura apresentaram características de estuário tipo 2b, ou seja, parcialmente misturado com forte estratificação. Já nas coletas de outono em quadratura (Gráfico 8, 1b), inverno (Gráfico 35, 1c), bem como a de primavera em

sizígia, o estuário se mostrou como do tipo 1a (bem misturado com fraca estratificação).

Na campanha de inverno em quadratura (Gráfico 8) e primavera em sizígia, o parâmetro de circulação apresentou valor um pouco abaixo do mínimo teórico do diagrama de Hansen e Rattray (1966). A avaliação do parâmetro de estratificação resultou em valores da ordem de 10^{-3} , indicando fraca estratificação. As demais campanhas de sizígia se comportaram como parcialmente misturado, do tipo 1a.

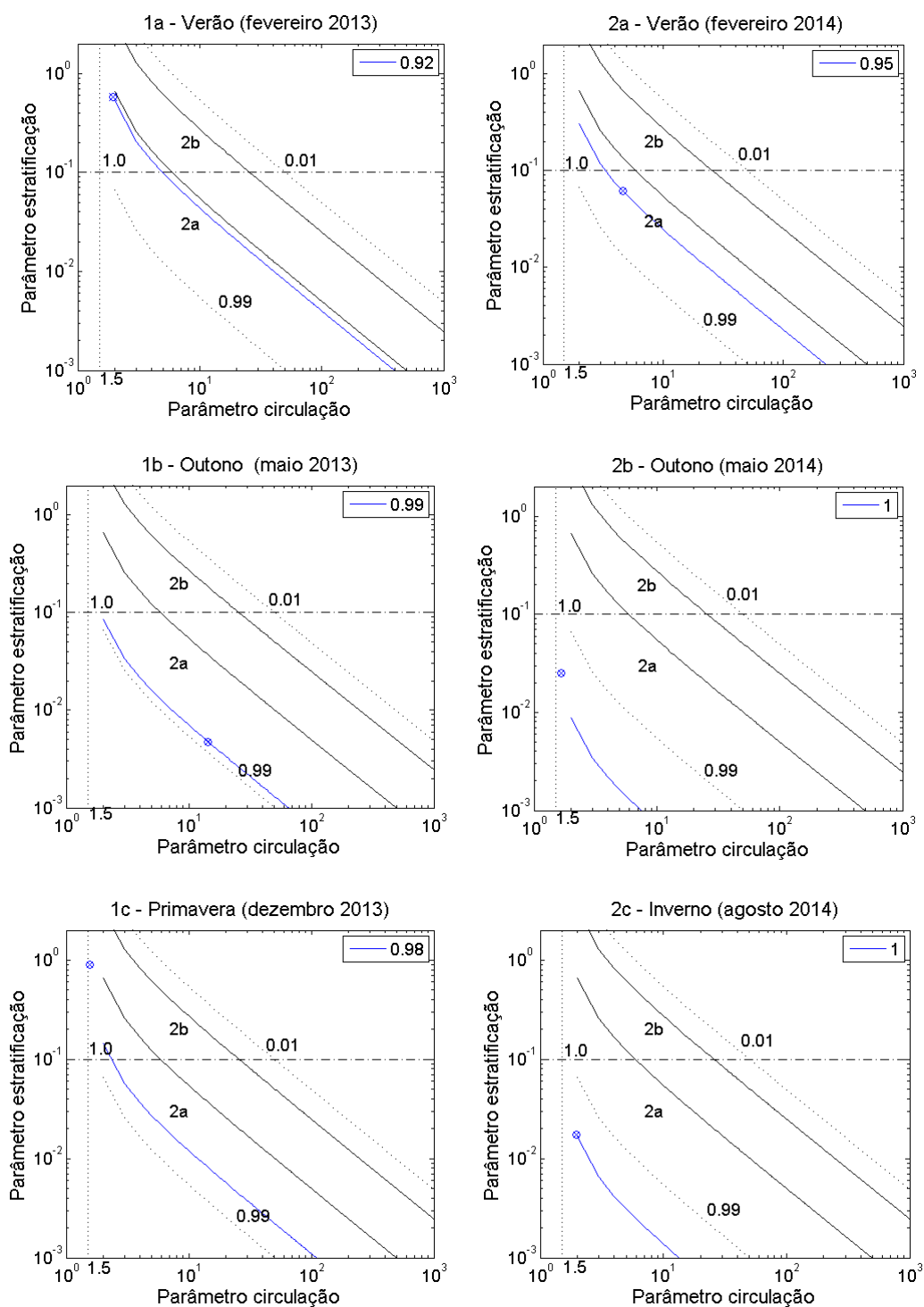
O parâmetro v que corresponde à linha azul nos Gráfico 8, e cujo valor é indicado na legenda, é determinado matematicamente pelos parâmetros de circulação e estratificação. Quando v é igual a 1 não existe circulação gravitacional e o transporte de sal estuário acima é realizado totalmente pela difusão turbulenta. Quando v tende a zero, a difusão turbulenta é desprezível e o processo advectivo é integralmente responsável por esse transporte de sal estuário acima.

A partir do Gráfico 8, observa-se que a difusão turbulenta foi dominante em praticamente todas as campanhas de sizígia. Tal fato é esperado pois a maior intensidade das correntes nesse regime gera maior turbulência ao longo da coluna d'água, favorecendo assim os processos de entranhamento e de difusão vertical turbulenta de sal da camada inferior para a camada superior. Esse cenário é característico da classificação 1a.

Mesmo na campanha de verão em maré de sizígia (Gráfico 8, 2a), onde o parâmetro de estratificação apresentou seus maiores valores entre as campanhas, a maior estabilidade da coluna d'água não foi suficiente para se opor à turbulência. Assim, a campanha de verão em maré de sizígia apresentou classificação 2a, parcialmente misturado com fraca estratificação.

Nota-se que a dominância do processo de difusão turbulenta também foi verificada na campanha de outono, em quadratura. Embora esta campanha seja classificada como de quadratura, sua realização se deu apenas dois dias antes do início da maré sizígia quando a previsão da maré já indicava um comportamento misto.

Gráfico 8 - Diagrama de classificação estuarina para o canal da Joatinga baseado em Hansen e Rattray (1966)



Legenda: Sugestão de indicação da condição estuarina (círculo azul) do canal da Joatinga a partir de dados coletados em diferentes campanhas de quadratura (1a, 1b e 1c) e sizígia (2a, 2b e 2c). Constante v representada pela linha azul e classificação do estuário pelo círculo azul.

Fonte: A autora, 2016.

Nas campanhas de verão e primavera (quadratura) observou-se uma maior influência do processo advectivo com $v = 0,92$ e $0,98$ (Gráfico 8, 1a e 1c), respectivamente, indicando presença de circulação gravitacional, embora muito fraca.

Como é de se esperar, essa influência tende a ser maior em regime de quadratura nos períodos de verão e primavera onde a estratificação tende a oferecer mais resistência frente à turbulência, no que se refere a estabilidade da coluna d'água e, conseqüentemente, a magnitude relativa dos processos advectivo e difusivo descritos. Entretanto, essa influência do processo advectivo foi de apenas 8 % na campanha de verão e de 2 % na de primavera (quadratura).

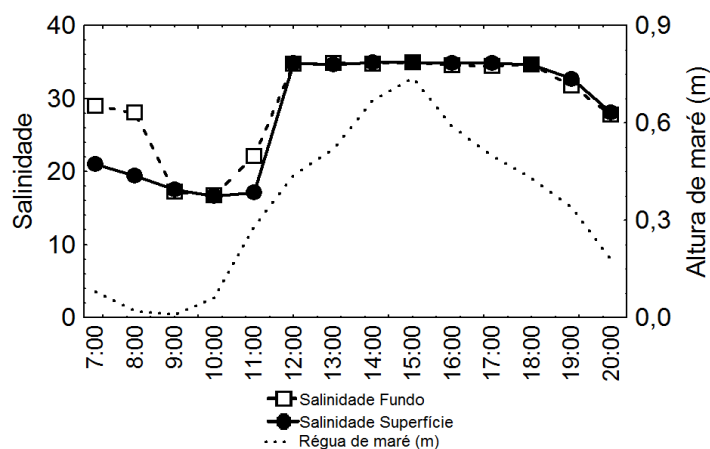
A classificação do canal da Joatinga, realizada com base no diagrama de Hansen e Rattray (1966), evidencia um padrão típico de estuários rasos em latitudes tropicais onde o ciclo sizígia-quadratura é, em geral, a principal escala de variabilidade controladora do sistema estuarino, porém os efeitos associados às escalas sazonais e sinótica são notados, mas com menor relevância.

No canal da Joatinga pode-se observar que ocorreram correntes de maré enchente mais intensas com a aproximação de frente fria ou durante a frente fria, como por exemplo, nas campanhas de outono e inverno (quadratura) e primavera (sizígia). Do mesmo modo, correntes de vazantes mais fortes foram medidas logo após a passagem de uma frente fria, por exemplo, no inverno, em sizígia. As cartas sinóticas foram consultadas no site da Diretoria de Hidrografia e Navegação.

4.6 Temperatura e salinidade

As distribuições de salinidade apresentaram padrões similares à variação do nível de maré, o que ressalta que estes parâmetros são fortemente dependentes da maré. Este comportamento pode ser exemplificado na campanha de outono em maré de quadratura (Gráfico 9). As temperaturas tiveram uma distribuição sazonal, com temperaturas medianas nas amostragens de verão e primavera bem superiores às de outono e inverno, tanto em quadratura como em sizígia (Gráfico 10).

Gráfico 9 - Variação da salinidade x altura medida na régua de maré na campanha de outono em maré de quadratura



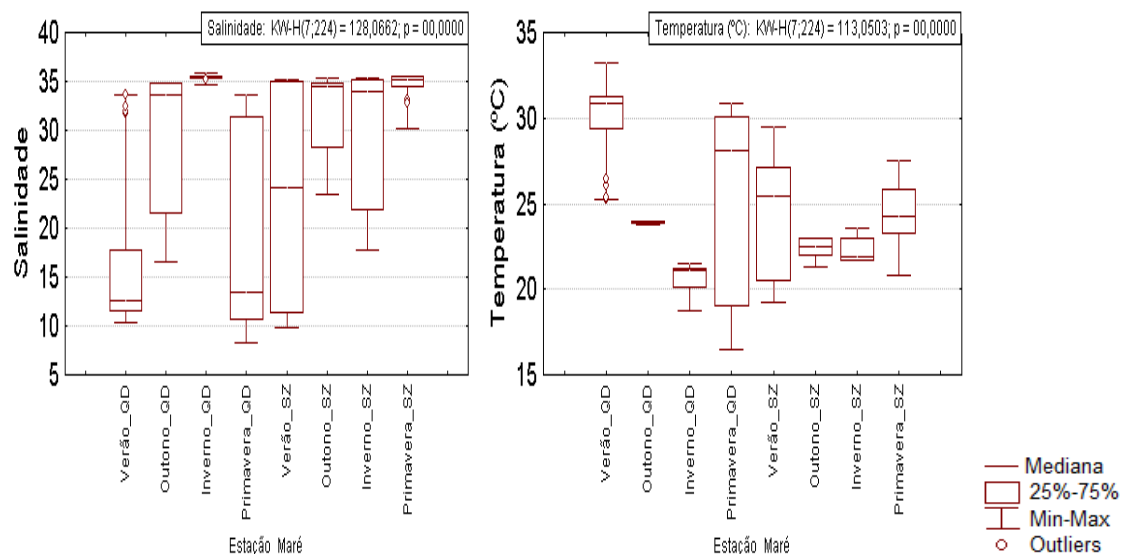
Fonte: A autora, 2016.

De maneira geral, embora a distribuição de temperatura apresente padrões interessantes, a variação geral foi bastante inferior ao apresentado pela salinidade tanto em campanhas em período chuvoso (fevereiro e dezembro) como em período seco (maio, agosto e setembro).

O teste Kruskal Wallis permitiu constatar as diferenças significativas de salinidade e temperatura entre as campanhas. As campanhas de período mais seco apresentaram menor amplitude de temperatura, com temperaturas entre 19 e 24 °C. As temperaturas mais altas ocorreram na campanha de verão e de primavera em maré de quadratura (Gráfico 10).

Em geral, os valores de salinidade variaram entre água salobra a salina, 8 a 35, o que evidencia a entrada da água do mar pelo canal ao longo do ciclo e a saída de água da lagoa, já misturada à água do mar. Durante as campanhas de inverno (quadratura) e primavera (sizígia) foram determinados elevados valores de salinidade, ao redor de 35, por todo o período de amostragem. Novamente um fator meteorológico pode ter influenciado, já que em setembro (2014) referente a amostragem de inverno (quadratura) havia sobre a cidade do Rio de Janeiro uma frente fria no dia anterior (15) e no próprio dia da coleta (16), de acordo com carta sinótica da DHN, o que pode ter causado um empilhamento de água no estuário.

Gráfico 10 - Variação de salinidade e temperatura no canal da Joatinga por campanha

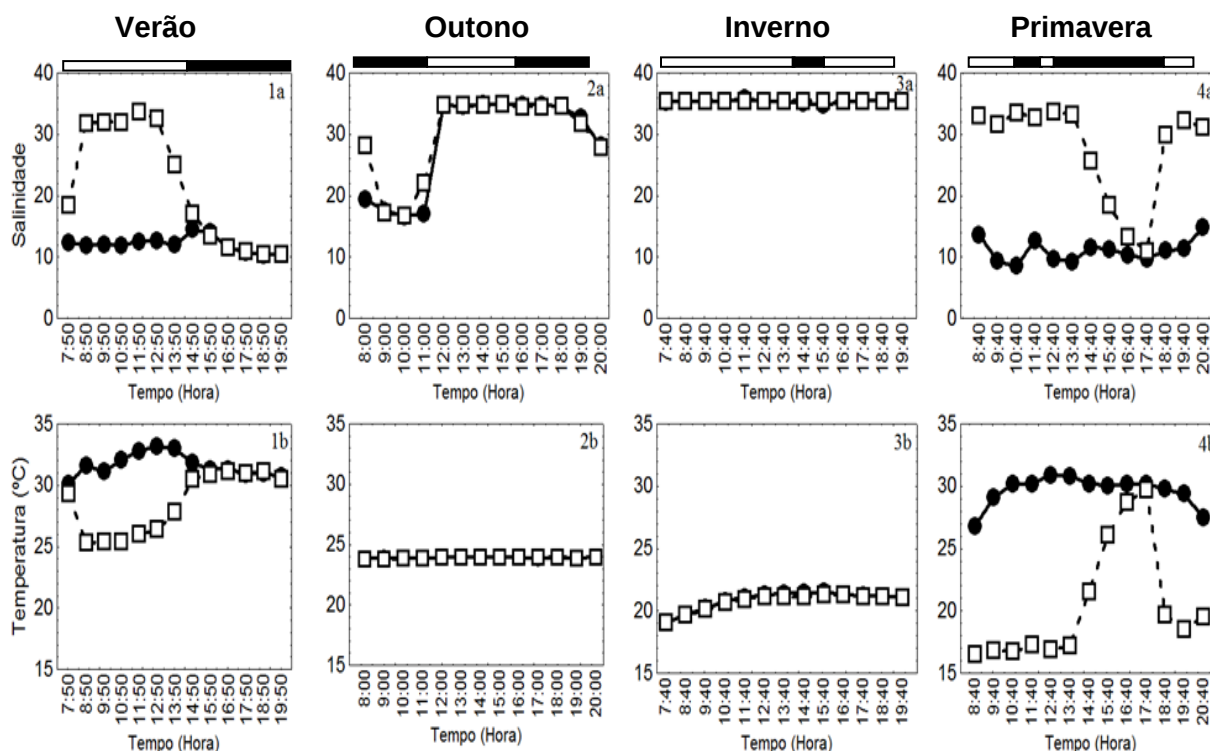


Legenda: Condição de maré de quadratura (QD) e sizígia (SZ).

Fonte: A autora, 2016.

A variação diurna de temperatura e salinidade pode ser observada no Gráfico 11 (1a-4a e 1b-4b), em maré de quadratura. É notável no Gráfico 11 (Gráficos 1a, 1b e 4a e 4b referentes às coletas de verão e primavera), a estratificação de salinidade e temperatura em parte do ciclo. Resultado que se dá pela entrada da água salina e mais fria pelo fundo do canal somada à saída de água salobra mais quente, pela superfície. A correlação entre salinidade e temperatura no Gráfico 12 exemplifica este fato. Nas coletas de outono e inverno em quadratura, sobretudo nesta última, a coluna d'água se manteve homogênea ao longo de todo o período amostrado.

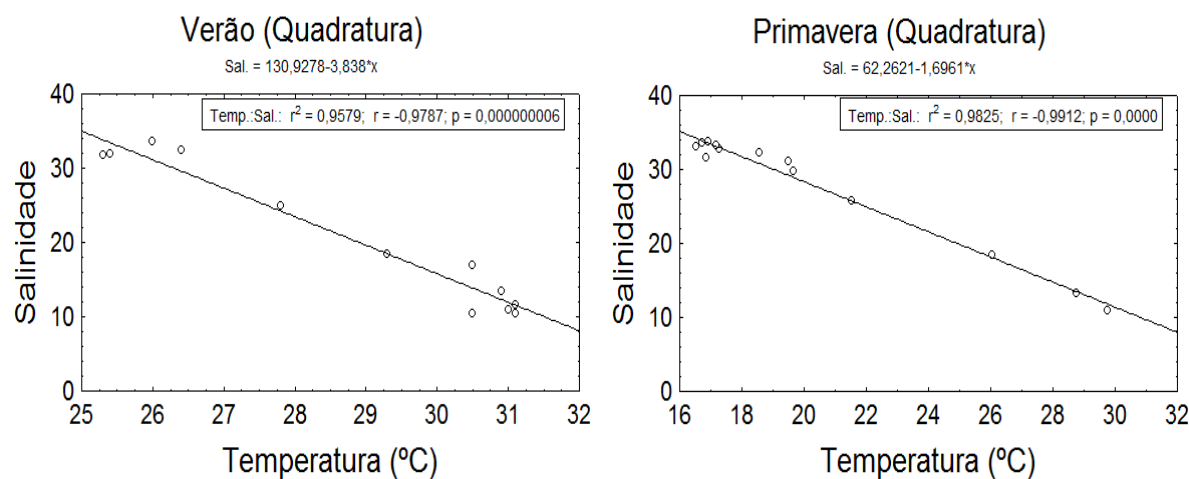
Gráfico 11 - Variação temporal da salinidade e temperatura em campanhas de maré de quadratura no verão, outono, inverno e primavera no estuário canal da Joatinga



Legenda: Amostras de salinidade (1a-4a) e temperatura (1b-4b). Amostras de superfície (● - círculos fechados com linha inteira) e amostras de fundo (□ - quadrados abertos com linha pontilhada). Barras brancas e pretas no topo do gráfico indicam período de maré enchente e vazante, respectivamente.

Fonte: A autora, 2016.

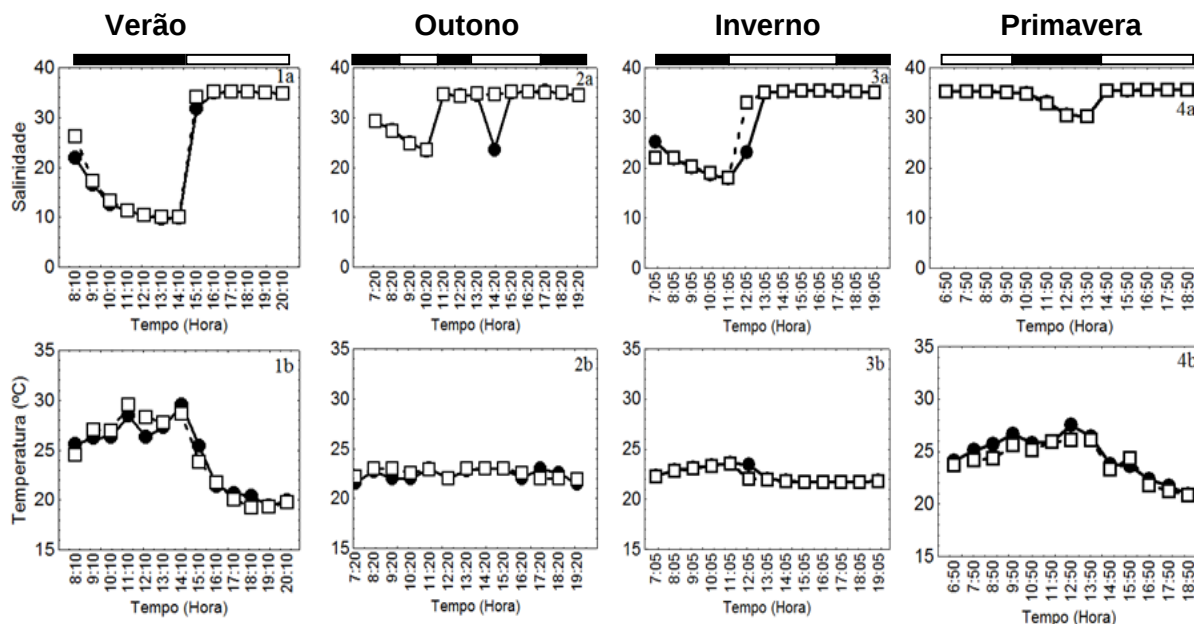
Gráfico 12 - Correlação entre as amostras de fundo de salinidade e temperatura nas campanhas de verão e primavera em maré de quadratura



Fonte: A autora, 2016.

No Gráfico 13 (1a-4a e 1b-4b) é mostrado que nas campanhas de maré de sizígia também não houve estratificação na coluna d'água, permanecendo uma coluna d'água homogênea durante todas as campanhas em função da mistura vertical promovida pela ação da maré. As maiores variações de temperaturas da coluna d'água (Gráfico 13, 1b) foram determinadas na campanha de verão (sizígia), com mínima de 19 °C e máxima de 29,5 °C, correspondendo a maré enchente e vazante, respectivamente. As águas com baixas temperaturas e com alta salinidade (>35) detectadas no verão no canal da Joatinga (Gráfico 13, 1a e 1b) devem estar relacionadas a intrusão da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), frequente na plataforma continental do Rio de Janeiro nessa época do ano. A passagem da ACAS já foi relatada na plataforma continental do Rio de Janeiro por alguns autores (CERDA; CASTRO, 2014; MOSER et al., 2016), dentro da Baía de Guanabara (BÉRGAMO, 2006), e também na região da Baía de Sepetiba (COELHO, 2010; GUTIERREZ, 2012).

Gráfico 13 - Variação temporal da salinidade e temperatura em campanhas de maré de sizígia no verão, outono, inverno e primavera no estuário canal da Joatinga



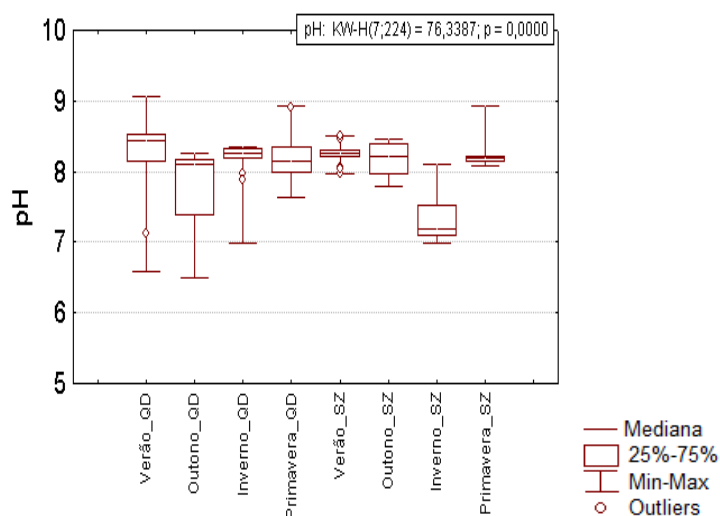
Legenda: Amostras de salinidade (1a-4a) e temperatura (1b-4b). Amostras de superfície (● - círculos fechados com linha inteira) e amostras de fundo (□ - quadrados abertos com linha pontilhada). Barras brancas e pretas no topo do gráfico indicam período de maré enchente e vazante, respectivamente.

Fonte: A autora, 2016.

4.7 pH

Considerando-se todas as campanhas, no canal da Joatinga foram detectados valores de pH entre 6,4 a 9,0 (Tabela 10, APÊNDICE B e C). Não houve diferença significativa entre os dados de pH das campanhas de quadratura e sizígia (Gráfico 14), assim como não foi determinada diferença entre as profundidades de coleta. Faixa semelhante de variação do valor de pH foi determinada no sistema lagunar de Maricá, também no estado do Rio de Janeiro (MOREIRA; KNOPPERS, 1990). Na superfície do canal da Ponta Negra, ligação deste sistema com o oceano, foi observado valor máximo de 9,3, já no interior da lagoa de Guarapina, valores de pH entorno de 7.

Gráfico 14 - Variação de pH no canal da Joatinga por campanha



Legenda: Condição de maré de quadratura (QD) e sizígia (SZ).

Fonte: A autora, 2016.

Observou-se que ao longo das coletas foram registrados em geral valores de pH superiores a 8 na coluna d'água (mediana 8,1). No período chuvoso, comparando os períodos de maré enchente e vazante, foi observada uma diferença significativa no pH medido ($p < 0,05$), onde os maiores valores de pH estavam associados à evasão das águas e podem ser fruto da alta produtividade primária no interior das lagoas, sabidamente eutrofizadas.

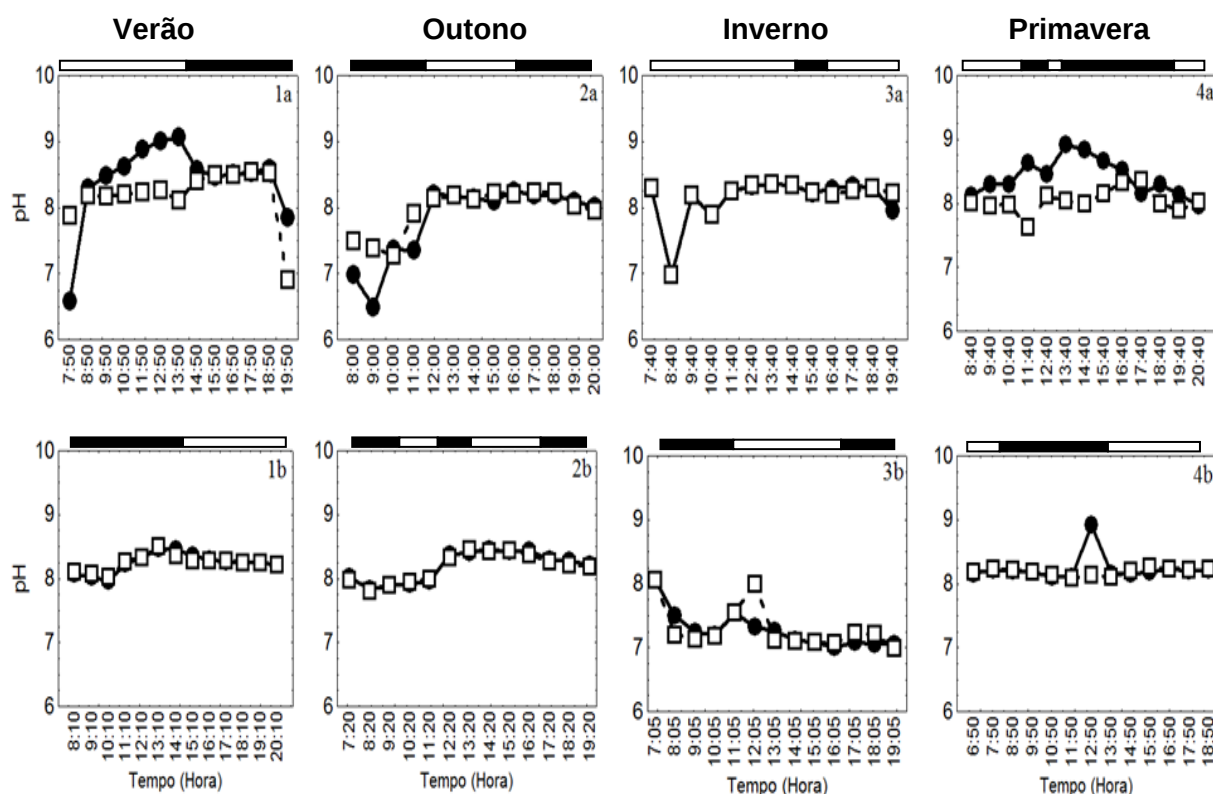
Tabela 10 – Valores de mediana (med), mínimo (mín) e máximo (máx) das variáveis biogeoquímicas no canal da Joatinga por campanha e profundidade em maré de quadratura e sizígia

Estação	Variável	Superfície			Fundo			Superfície			Fundo		
		Quadratura						Sizígia					
		Med	Mín	Máx	Med	Mín	Máx	Med	Mín	Máx	Med	Mín	Máx
Verão	Temperatura (°C)	31,3	29,8	33,2	29,4	25,3	31,1	25,5	19,4	29,5	25,0	19,2	29,5
	pH	8,5	6,6	9,1	8,2	6,9	8,5	8,3	8,0	8,5	8,3	8,0	8,5
	Salinidade	12,0	10,3	14,5	17,8	10,4	33,6	22,0	9,8	35,1	30,1	10,0	35,1
	O ₂ sat(%)	112,0	6,4	174,7	106,9	11,3	170,9	90,8	65,3	113,5	104,2	63,6	111,9
	OD (mg L ⁻¹)	7,7	0,45	11,8	8,1	0,78	11,7	7,3	4,9	8,3	6,7	4,7	8,0
	Clorofila a (mg L ⁻¹)	0,18	0,13	0,30	0,081	0,009	0,22	0,12	0,0054	0,25	0,083	0,0055	0,21
	MPS (mg L ⁻¹)	28,5	20,2	35,9	15,8	4,7	37,1	17,5	4,5	57,9	12,3	5,4	73,9
	Nitrito (µM)	1,3	0,61	2,04	0,76	0,41	2,2	0,62	0,12	2,1	0,70	0,10	2,4
	Nitrato (µM)	1,6	0,23	3,9	1,8	0,31	5,8	3,0	0,40	8,1	1,1	0,23	3,8
	Amônia (µM)	4,8	2,8	16,2	3,5	0,54	17,3	71,1	0,50	184,4	58,3	0,50	194,1
	Fosfato (µM)	6,5	0,67	8,01	5,8	1,7	8,3	5,7	0,21	26,7	21,3	0,21	53,2
	Silica reativa (µM)	184,5	105,6	217,8	90,0	15,4	210,2	99,8	3,1	197,6	82,5	4,1	170,1
	COD (mg L ⁻¹)	15,1	13,6	16,6	12,7	4,9	15,6	10,6	3,6	29,9	9,4	3,6	25,7
	COP (mg L ⁻¹)	2,2	0,48	10,4	1,5	0,087	2,9	0,50	0,021	1,7	0,30	2,40	0,030
Outono	Temperatura (°C)	23,9	23,8	24,0	23,9	23,8	24,0	22,3	21,5	23,0	22,5	21,3	23,0
	pH	8,1	6,5	8,3	8,1	7,3	8,2	8,2	7,8	8,5	8,2	7,8	8,5
	Salinidade	33,7	16,6	34,9	33,1	16,7	34,9	34,4	23,4	35,4	34,5	23,6	35,2
	O ₂ sat(%)	86,5	28,0	107,7	83,1	29,4	102,6	68,3	52,7	109,5	64,4	49,8	120,7
	OD (mg L ⁻¹)	6,0	2,2	7,6	5,8	2,3	7,1	4,8	4,0	8,5	4,8	3,5	8,2
	Clorofila a (mg L ⁻¹)	0,061	0,0049	0,29	0,082	0,017	0,14	0,013	0,00087	0,10	0,0076	0,0017	0,10
	MPS (mg L ⁻¹)	5,3	1,2	37,3	7,5	2,3	18,6	25,8	12,3	38,1	27,6	11,6	37,6
	Nitrito (µM)	0,85	0,046	4,4	0,89	0,050	4,2	1,2	0,17	3,0	1,1	0,085	3,3
	Nitrato (µM)	2,2	0,12	169,9	2,6	<0,05	101,6	1,5	0,15	13,5	1,2	0,54	15,8
	Amônia (µM)	8,2	1,8	151,2	10,4	0,94	154,8	13,8	<0,05	382,4	15,4	<0,05	384,9
	Fosfato (µM)	0,79	0,16	8,1	1,2	0,20	8,5	0,94	0,00	5,3	0,85	0,079	6,3
	Silica reativa (µM)	10,4	4,6	86,3	12,3	4,1	83,9	18,6	8,0	37,3	19,1	8,4	42,3
	COD (mg L ⁻¹)	6,5	2,9	25,2	5,4	0,45	21,5	5,2	2,5	12,1	4,8	2,6	15,1
	COP (mg L ⁻¹)	0,64	0,14	4,8	1,6	0,083	3,8	0,33	0,14	1,5	0,35	0,11	1,4
Inverno	Temperatura (°C)	21,1	18,8	21,5	21,1	18,8	21,3	21,9	21,7	23,6	21,9	21,7	23,6
	pH	8,3	7,0	8,4	8,3	7,0	8,4	7,2	7,0	8,1	7,2	7,0	8,1
	Salinidade	35,4	34,7	35,8	35,4	35,0	35,5	32,2	17,8	35,4	34,1	18,0	35,4
	O ₂ sat(%)	74,1	54,3	96,4	70,9	57,2	90,6	64,2	22,7	87,1	60,1	23,7	94,9
	OD (mg L ⁻¹)	5,6	4,3	7,3	5,0	4,0	6,1	4,6	1,8	5,9	4,5	1,7	6,8
	Clorofila a (mg L ⁻¹)	0,0033	0,0020	0,0072	0,0029	0,0014	0,011	0,032	0,0020	0,24	0,010	0,0027	0,23
	MPS (mg L ⁻¹)	5,3	2,9	16,9	9,5	1,5	31,8	25,7	3,0	130,2	23,9	3,9	118,4
	Nitrito (µM)	0,69	0,56	1,0	0,64	0,23	4,6	2,5	0,20	7,2	0,74	0,17	7,2
	Nitrato (µM)	0,51	<0,05	1,7	0,28	<0,05	10,8	0,82	<0,05	3,7	0,88	<0,05	4,5
	Amônia (µM)	3,2	1,1	74,5	2,3	0,81	7,8	68,5	<0,05	210,9	16,5	<0,05	286,5
	Fosfato (µM)	2,1	1,6	11,7	2,2	0,50	3,5	2,3	0,18	6,0	0,76	0,079	6,7
	Silica reativa (µM)	3,6	<2,0	5,1	3,3	<2,0	6,6	11,0	<2,0	37,1	4,8	2,7	37,7
	COD (mg L ⁻¹)	2,7	1,6	9,7	1,7	1,1	8,2	6,3	3,6	10,9	4,0	2,3	15,0
	COP (mg L ⁻¹)	0,014	0,010	0,047	0,031	0,0036	0,16	0,12	0,012	2,0	0,14	0,016	1,40
Primavera	Temperatura (°C)	30,1	26,8	30,9	19,0	16,5	29,8	24,6	20,9	27,5	24,3	20,8	26,1
	pH	8,3	8,0	8,9	8,0	7,6	8,4	8,2	8,1	8,9	8,2	8,1	8,3
	Salinidade	10,7	8,3	14,9	31,3	10,9	33,7	35,2	30,4	35,6	35,2	30,3	35,6
	O ₂ sat(%)	77,2	33,2	97,8	77,2	33,2	97,8	64,9	51,8	108,8	77,0	55,3	109,5
	OD (mg L ⁻¹)	6,2	2,5	10,0	5,7	2,5	7,4	5,3	3,7	7,8	4,5	3,5	8,0
	Clorofila a (mg L ⁻¹)	0,077	0,025	0,16	0,030	0,010	0,12	0,0036	0,0019	0,078	0,0031	0,00	0,089
	MPS (mg L ⁻¹)	14,5	3,1	37,2	24,4	7,4	28,4	23,5	11,8	58,3	26,0	13,7	49,6
	Nitrito (µM)	1,4	1,3	3,2	1,8	1,2	2,3	0,63	0,12	3,7	0,75	0,22	3,9
	Nitrato (µM)	3,1	1,8	5,7	3,9	2,0	34,9	0,84	<0,05	6,1	0,039	<0,05	5,3
	Amônia (µM)	130,6	54,8	149,1	43,0	12,3	142,4	2,0	<0,05	81,3	1,4	<0,05	79,6
	Fosfato (µM)	8,5	5,4	9,7	3,0	1,5	9,5	0,51	0,052	3,0	0,33	<0,05	6,3
	Silica reativa (µM)	151,4	95,9	209,0	53,0	29,3	180,4	3,6	<2,0	7,3	3,0	<2,0	4,9
	COD (mg L ⁻¹)	9,0	5,7	17,9	13,3	11,4	14,4	7,0	3,8	11,7	6,5	3,6	10,1
	COP (mg L ⁻¹)	0,31	0,070	1,64	0,070	0,014	0,43	0,052	0,033	0,73	0,077	0,034	0,72

Fonte: A autora, 2016.

Ao contrário da salinidade, o pH, de uma forma geral, não descreveu claramente a presença e mistura das distintas massas d'água no canal (Gráfico 15), fruto, provavelmente, de não haver uma assinatura nítida e diferente entre os valores de pH da água oriunda das lagoas e da água do mar.

Gráfico 15 - Variação temporal do pH na maré de quadratura e maré de sizígia referente a campanha de verão, outono, inverno e primavera no estuário canal da Joatinga



Legenda: Amostras de maré de quadratura (1a-4a) e maré de sizígia (1b-4b). Amostras de superfície (● - círculos fechados com linha inteira) e amostras de fundo (□ - quadrados abertos com linha pontilhada). Barras brancas e pretas no topo do gráfico indicam período de maré enchente e vazante, respectivamente.

Fonte: A autora, 2016.

4.8 Oxigênio Dissolvido

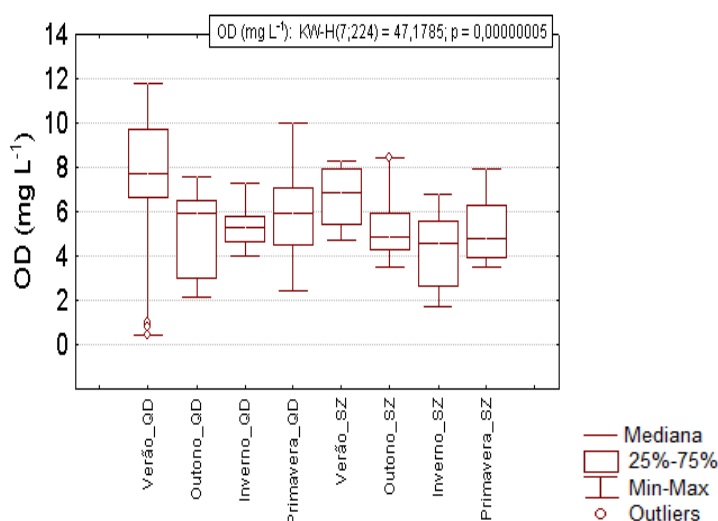
Ao longo das amostragens os valores de oxigênio dissolvido (OD) variaram de 0,45 a 11,7 mg L⁻¹, sendo que as maiores concentrações foram determinadas nas coletas de verão, tanto na quadratura, quanto na de sizígia (medianas > 7,0 mg L⁻¹ –

Tabela 10). A maior amplitude nos valores de OD foi obtida na campanha de verão, em maré de quadratura ($0,45$ a $11,7 \text{ mg L}^{-1}$). Esta grande variação da concentração de OD no verão deve estar relacionada a dois processos concorrentes: aumento do consumo de OD pela degradação da matéria orgânica e grande taxas de fotossíntese, ambos os processos influenciados pelas elevadas temperaturas observadas nesta época do ano.

Hipoxia (valores de OD inferiores a 2 mg L^{-1}) é um dos principais problemas da eutrofização. Ela não só provoca uma mortalidade de organismos, mas também alterações no habitat (DIAZ; SOLOW, 1999). Além disso, pode alterar o fluxo de energia do ecossistema ao longo da cadeia alimentar através de alterações nas interações presa-predador relacionadas às espécies com baixa tolerância aos baixos valores de OD (DIAZ et al., 1992; KEISTER et al., 2000). Depleção de oxigênio também pode resultar em mudanças no ciclo biogeoquímico de diversos elementos (NAQVI et al., 2000).

Em geral as campanhas de inverno e de outono foram as que apresentaram menores valores medianos de OD (Gráfico 16), em provável resposta ao ciclo sazonal.

Gráfico 16 - Variação de oxigênio dissolvido (OD) no canal da Joatinga por campanha

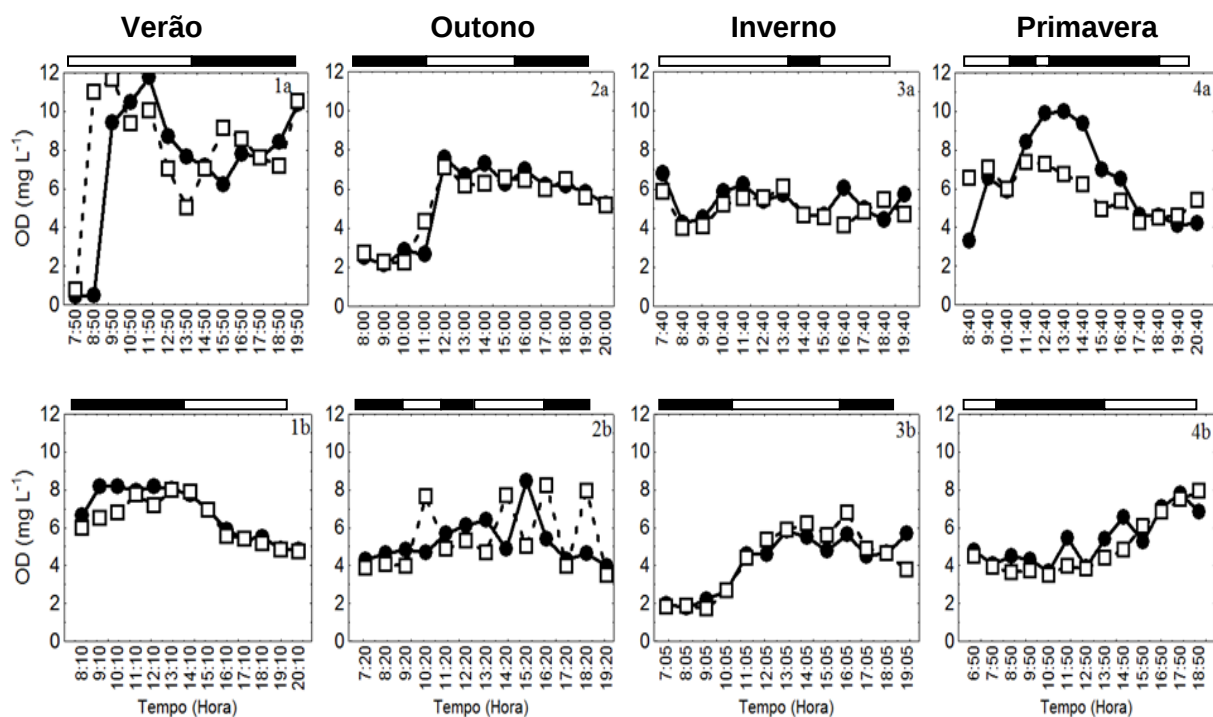


Legenda: Condição de maré de quadratura (QD) e sizígia (SZ).
Fonte: A autora, 2016.

A elevação da concentração de OD no canal da Joatinga é possivelmente o reflexo de dois efeitos: a entrada de água do mar; apresentando maior supersaturação do oxigênio no fundo do canal durante a maré enchente; e elevada atividade fitoplanctônica durante o verão (quadratura e sizígia). Os momentos de baixas concentrações de OD na maré vazante, em todas as amostragens, devem ser resultantes da decomposição da matéria orgânica por bactérias aeróbicas, material este originado nas lagoas internas.

A relação entre OD e o sentido da maré no canal é claramente visualizada a partir do Gráfico 17. Foi encontrada uma diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$), entre os valores de OD em função da direção da maré, vazante e enchente. Na maior parte das campanhas também foi possível notar correlação significativa positiva de OD com a salinidade ($p > 0,5$) exceto para as de verão e inverno (quadratura) e no outono (sizígia) (APÊNDICE F e G).

Gráfico 17 - Variação temporal do oxigênio dissolvido na maré de quadratura e maré de sizígia referente a campanha de verão, outono, inverno e primavera no estuário canal da Joatinga



Legenda: Amostras de maré de quadratura (1a-4a) e maré de sizígia (1b-4b). Amostras de superfície (● - círculos fechados com linha inteira) e amostras de fundo (□ - quadrados abertos com linha pontilhada). Barras brancas e pretas no topo do gráfico indicam período de maré enchente e vazante, respectivamente.

Fonte: A autora, 2016.

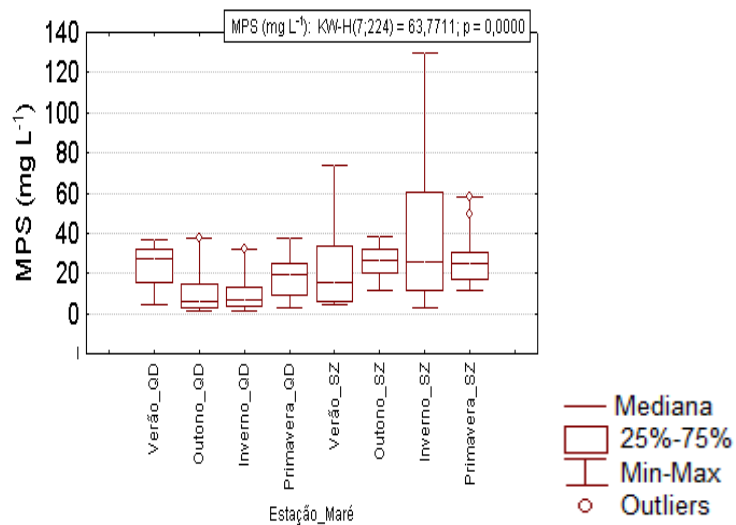
Com forte estratificação da salinidade, nas amostragens de primavera e verão, ambas de quadratura, foram determinados valores de OD próximos a zero. Em contraste, nas amostragens onde as águas de superfície e fundo foram mais homogêneas quanto à salinidade, as concentrações de OD ficaram também mais homogêneas na coluna d'água. Segundo Lin et al. (2006), a correlação entre salinidade e OD indica que a força da mistura vertical é talvez o fator mais dominante que controla a distribuição vertical de OD.

4.9 Material particulado em suspensão

A concentração de material particulado em suspensão foi bastante variável ao longo das campanhas, com valores entre 1,2 a 130,2 mg L⁻¹ (Gráfico 18, APÊNDICE B e C), com as maiores concentrações sendo observadas em maré de sizígia. No inverno, foi determinada a maior amplitude dos valores de MPS (de 3,0 a 130,2 mg L⁻¹), além de medianas mais elevadas (respectivamente iguais a 25,7 em superfície e 23,9 mg L⁻¹ no fundo – Tabela 10). Além disso, em geral as elevadas concentrações de MPS apresentaram clara relação com a evasão das águas do canal (exemplo Gráfico 19), com correlações negativas entre salinidade e MPS (APÊNDICE F e G). As correlações entre as variáveis biogeoquímicas deste estudo podem ser consultadas no APÊNDICE F e G.

Nas amostragens do período seco (outono e inverno), em maré de quadratura, foram obtidas as menores concentrações medianas de MPS (Tabela 10). A diferença de concentração de MPS entre superfície e fundo (Gráfico 20) foi mais evidente no verão, inverno e primavera (quadratura) e para as demais campanhas não foi quantificada diferença significativa entre profundidades, mas sim entre preamar e baixa-mar (Teste Mann Whitney Wilcoxon, $p < 0,05$).

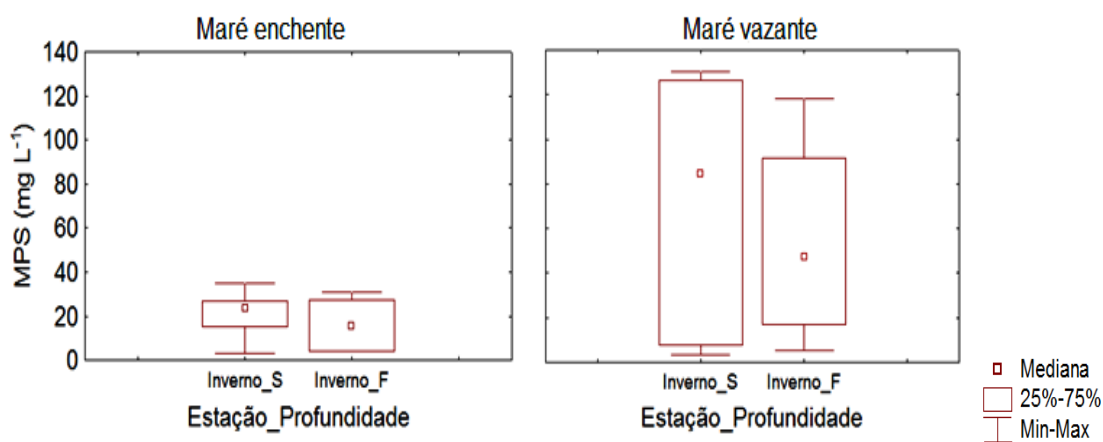
Gráfico 18 - Variação de MPS no canal da Joatinga por campanha



Legenda: Condição de maré de quadratura (QD) e sizígia (SZ).

Fonte: A autora, 2016.

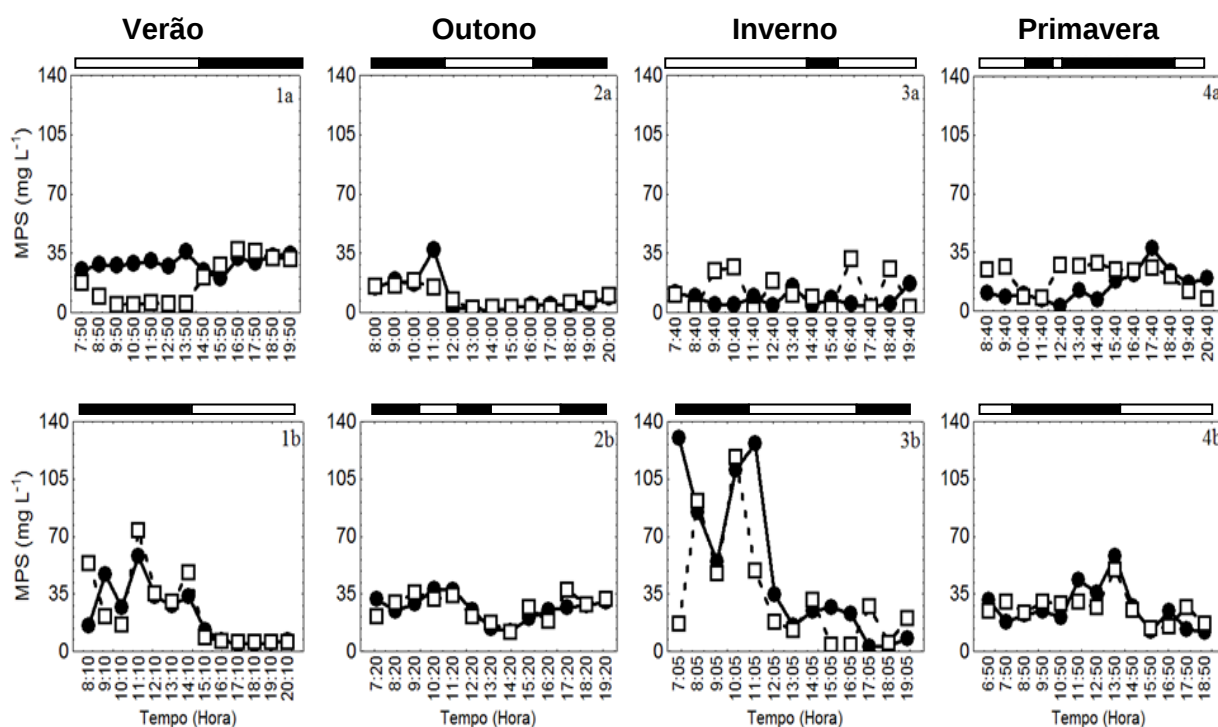
Gráfico 19 - Variação de MPS na amostragem de inverno (quadratura) em maré enchente e vazante nas profundidades de coleta



Legenda: Superfície (S) e fundo (F).

Fonte: A autora, 2016.

Gráfico 20 - Variação temporal do MPS na maré de quadratura e maré de sizígia referente a campanha de verão, outono, inverno e primavera no estuário canal da Joatinga



Legenda: Amostras de maré de quadratura (1a-4a) e maré de sizígia (1b-4b). Amostras de superfície (● - círculos fechados com linha inteira) e amostras de fundo (□ - quadrados abertos com linha pontilhada). Barras brancas e pretas no topo do gráfico indicam período de maré enchente e vazante, respectivamente.

Fonte: A autora, 2016.

O aporte continental normalmente é caracterizado por concentrações relativamente elevadas de nutrientes e material particulado em suspensão. A entrada desses materiais junto à costa produz uma região com características bem distintas das águas de plataforma externa (TRUCCOLO; SCHETTINI, 2009). Frequentemente gera uma maior turbidez no corpo d'água receptor que afeta a entrada de luz na coluna d'água. Em estuários há, em geral, um aumento da concentração de MPS em função da batimetria local, principalmente em estuários rasos; ventos fortes, que remobilizam a coluna d'água até o fundo, a partir do atrito com a superfície da água; fluxo de rios e lagunas; e amplitude de maré (BIANCHI, 2007, PARKER, 1991). Além disso, fatores meteorológicos, como grandes eventos pluviais podem trazer maiores volumes de MPS para o estuário, como observado nos períodos chuvosos de maré de sizígia no canal da Joatinga.