

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Campus MACAÉ - PROFESSOR ALOÍSIO TEIXEIRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
CONSERVAÇÃO

Dinâmica da água, material particulado em
suspensão e hidroquímica em dois estuários de
pequeno porte no Norte Fluminense

Glenda Camila Barroso

2016

Dinâmica da água, material particulado em suspensão e hidroquímica em dois estuários de pequeno porte no Norte Fluminense

Glenda Camila Barroso

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Conservação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus Professor Aloísio Teixeira-Macaé como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais e Conservação

Orientador: Prof. Dr. Maurício Mussi Molisani

Macaé

Maio de 2016

Dinâmica da água, material particulado em suspensão e hidroquímica em dois estuários de pequeno porte no Norte Fluminense

Glenda Camila Barroso
Maurício Mussi Molisani

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Conservação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus Professor Aloísio Teixeira- Macaé como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais e Conservação

Aprovada por:

Presidente, Prof..

Prof (a).

Prof (a).

Prof (a).

Prof (a).

FICHA CATALOGRÁFICA

Barroso, Glenda Camila

Dinâmica da água, sedimentos em suspensão e hidroquímica em dois estuários de pequeno porte no Norte Fluminense/ Glenda Camila Barroso. - Macaé: UFRJ, Campus Macaé, 2016.

vii, 101.:il.

Orientador: Maurício Mussi Molisani

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ Campus Macaé/ Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Conservação, 2016.

Referências Bibliográficas: f. 75- 86.

1. Classificação de Estuários. 2. Hidroquímica estuarina. 3. Relação molar N:P. 4. Biomassa Fitoplanctônica. 5. Balanço de massa. I. Molisani, Maurício Mussi. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós- graduação em Ciências Ambientais e Conservação. III. Dinâmica da água, sedimentos em suspensão e hidroquímica em dois estuários de pequeno porte no Norte Fluminense.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Definições de estuários	1
1.2. Classificação de estuários.....	4
1.3. Tendências em estudos sobre estuários	10
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo Geral:	14
2.2. Objetivos específicos:.....	14
3. METODOLOGIA.....	14
3.1. Área de Estudo	14
3.1.1. Bacia hidrográfica e estuário do rio Macaé.....	16
3.1.2. Bacia hidrográfica e estuário do rio das Ostras.....	19
3.2. Amostragem da Água.....	23
3.3. Análises Laboratoriais.....	25
3.4. Medição de Fluxos e Balanço de materiais	26
3.5. Cálculo da Estratificação e Número de Saturação	27
3.6. Análises dos dados	28
4. RESULTADOS	28
4.1. Parâmetros Climatológicos	28
4.2. Vazão e Hidroquímica das Bacias Hidrográficas e Estuários	28

4.3. Estuário do Rio Macaé e Rio das Ostras: variação ao longo do ciclo de maré dos parâmetros hidrológicos e hidroquímicos	33
4.4. Estuário do Rio Macaé e Rio das Ostras: variação ao longo do ciclo de maré dos nutrientes dissolvidos e totais.....	38
5. DISCUSSÃO	60
6. CONCLUSÃO	74
7. REFERÊNCIAS.....	75
8. APÊNDICES	87

*Aos meus queridos filhos Ivo e Filipe, que a cada sorriso e
lágrima, estiveram ao meu lado e deram um significado
especial a esta conquista.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador pela oportunidade de estar desenvolvendo este trabalho, pelas saídas de campo inesquecíveis (inclusive a última em que o pneu furou) e obviamente por todo o conhecimento científico e de vida compartilhado à sua maneira peculiar. Obrigada por tudo! Até pelas broncas... rs.

Aos demais professores do NUPEM que se disponibilizaram a tirar as inúmeras dúvidas que foram surgindo ao longo deste percurso. Dentre eles o professor Marcos Paulo, Ana Petry e Felipe Vasconcellos.

Agradeço ao professor Gustavo Vaz de Melo do Departamento de Oceanografia. Geológica da UERJ, pela ajuda nas análises de fluxo residuais realizadas neste trabalho.

Ao meu amigo Leonardo Campaneli, que com sua paciência e experiência, ajudou a tornar este trabalho parte do que ele é hoje.

Agradeço ao apoio fornecido pela equipe do Iate Clube que cedeu gentilmente o espaço para realizamos as filtragens, bem como a equipe do barco: Daniel, João Marcelo e Marcos.

Aos meus colegas de laboratório, principalmente à Douglas e Maíra que se dispuseram a me auxiliar nas análises laboratoriais.

Aos meus amigos que me aturaram esses dois anos e me deram apoio para continuar mesmo diante das dificuldades.

Agradeço a minha família, principalmente aos meus pais pelo apoio incondicional ao longo da minha caminhada profissional e pessoal. À minha mãe, sempre presente, que se dispôs a viajar longas distâncias para que eu pudesse estar desenvolvendo minha pesquisa (e, sobretudo para preparar aquele delicioso lanche da saída de campo). Amo muito vocês!!

E a todos aqueles que direta ou indiretamente ajudaram na conclusão deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho visa comparar a dinâmica de água, material particulado em suspensão, nutrientes e clorofila *a* em dois estuários de pequeno porte do estado do Rio de Janeiro (rios Macaé e Ostras) e verificar se a diferença entre suas bacias de drenagem interferem no fluxo de água e na hidroquímica, de forma a gerar uma subclassificação de acordo com a área da bacia de drenagem. Foram realizadas campanhas durante a estação seca, abrangendo as marés de quadratura e sizígia, na porção fluvial e estuarina, durante um ciclo de maré. Amostras horárias de água e medições dos parâmetros hidrológicos como vazão, concentração de nutrientes, material particulado em suspensão e clorofila *a* foram avaliados. O estuário do rio Macaé apresentou estratificação vertical da coluna d'água apenas na maré de quadratura, em contraste com o estuário do rio das Ostras, que é homogêneo nas duas marés. A partir dos dados da ordenação foi possível confirmar que os dois sistemas estuarinos apresentam dinâmicas diferentes, sendo as variáveis amônia e salinidade determinantes neste processo. O estuário do rio Macaé, à despeito da maior influência da descarga fluvial, apresentou um padrão de retenção de materiais, que foi mais acentuado na sizígia, sendo classificado como dominado pela maré enchente (importa sedimentos). Ao passo que o estuário do rio das Ostras apresentou um padrão de exportação na maré de quadratura, com retenção apenas na sizígia, sendo caracterizado como dominado pela maré vazante na quadratura (exporta sedimentos) e dominado pela maré enchente na sizígia (importa sedimentos). Pequenos estuários, como os dos rios Macaé e das Ostras, apesar de serem agrupados e sujeitos as mesmas atividades antrópicas decorrentes do acelerado crescimento populacional e econômico, apresentaram diferenças substanciais na hidrodinâmica de materiais decorrentes do tamanho de suas bacias de drenagem, podendo gerar uma subclassificação conforme a área da bacia hidrográfica.

Palavras - chave: estuários, fluxos, nutrientes, material em suspensão, produção primária.

ABSTRACT

This work aims to compare the water and suspended matter dynamic and hydrochemistry (nitrogen, phosphorous, physical chemical parameters, chlorophyll a) of two small-sized estuaries in the State of Rio de Janeiro (Macaé and Ostras Rivers) to check if differences on contributing drainage basin areas induce different estuarine conditions since both environments are considered small estuaries under influence of small basins and such analysis may insert changes on estuarine classification. Material measurements occurred in dry season during neap and spring tides, sampling both river contribution and the estuarine fluxes hourly during a tidal cycle. Water column of the Macaé river estuary was vertically stratified in the neap tide contrasting the Ostras River Estuary that was homogenous in both tides. Principal Component Analysis shows that both estuaries are different representing mainly by ammonia and salinity. Though the Macaé river estuary received more freshwater from its basin than Ostras River estuary, the Macaé estuary presented a retention pattern of materials that was more intensified in spring tide being classified as flood-tide dominated estuary (import sediments). On the other hand, the Ostras river estuary presented a exportation pattern in neap tide, with retention of only in spring tide being classified as ebb-tide dominated estuary during neap tide (export sediments) and flood tide dominated in spring tide (import sediments). Small estuaries such as Macaé and Ostras is usually grouped and subject to the same anthropogenic influences of population and economics growth but presented important differences in the hydrodynamic of materials explained by the area of each contributing basins that can generated new sub classification according to the area of the watershed.

Keywords: estuaries, flux, nutrients, suspend matters primary production

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localização da área de estudo (modificado de Leonardo B. Campaneli da Silva - biólogo SUP-BAP/INEA).....15
- Figura 2. Imagem de satélite do estuário do rio Macaé (Fonte: Google Earth).....18
- Figura 3. Imagem de satélite do estuário do rio das Ostras (Fonte: Google Earth).....22
- Figura 4. Seqüência esquemática de medidas em função do tempo. No eixo vertical tem-se a média temporal ponderada $\langle P(Z_j) \rangle$ e no eixo horizontal a duração da amostragem (T) ao longo de um ciclo de maré.....27
- Figura 5. Distribuição temporal dos parâmetros ambientais na maré de quadratura : (a e a') MPS, (b e b') Temperatura, (c e c') Salinidade, (d e d') Condutividade . Na esquerda - estuário do rio Macaé ; na direita- estuário do rio das Ostras. Profundidade da coleta: linha escura = superfície; linha clara = fundo.34
- Figura 6. Distribuição temporal dos parâmetros ambientais na maré de sizígia : (a e a') MPS, (b e b') Temperatura, (c e c') Salinidade, (d e d') Condutividade. Na esquerda - estuário do rio Macaé ; na direita - estuário do rio das Ostras. Profundidade da coleta: linha escura = superfície; linha clara = fundo.35
- Figura 7. Faixa de variação de parâmetros físico-químicos: (a) MPS, (b) Temperatura, (c) Salinidade e (d) Condutividade, entre superfície e fundo do estuário do rio Macaé, na maré de quadratura, segundo teste t para os gráficos a e b, e segundo o teste u nos gráficos c e d.36
- Figura 8. Correlação do parâmetro estratificação $\delta S / S$ em função do número de estratificação St de acordo com Prandle (1985) para o estuário do rio Macaé em maré de quadratura.....37
- Figura 9. Distribuição temporal dos nutrientes dissolvidos, totais e razão N:P na maré de quadratura : (a e a') PO_4^{3-} , (b e b') NTD, (c e c') NH_4^+ , (d e d') NT, (e e e') PT, (f e f') Razão N:P. À esquerda - estuário do rio Macaé ; à direita- estuário do rio das Ostras. Profundidade da coleta: linha escura = superfície; linha clara = fundo.....39

- Figura 10. Distribuição temporal dos nutrientes dissolvidos, totais e razão N:P na maré de sizígia: (a e a') PO_4^{3-} , (b e b') NTD, (c e c') NH_4^+ , (d e d') NT, (e e e') PT, (f e f') Razão N:P. À esquerda - estuário do rio Macaé ; à direita - estuário do rio das Ostras. Profundidade da coleta: linha escura = superfície; linha clara = fundo.41
- Figura 11. Distribuição temporal da clorofila *a* (chl *a*): (a e a') na maré de quadratura e (b e b') na maré de sizígia. linha escura = superfície; linha clara = fundo.42
- Figura 12. Faixa de variação de concentração de parâmetros de nutrientes e clorofila *a* entre superfície e fundo no estuário do rio Macaé, na maré de quadratura, segundo teste t (gráficos b, d, e, f) e teste U (gráficos a e c).....43
- Figura 13. Faixa de variação da concentração de parâmetros: (a) MPS, (b) Temperatura, (c) Salinidade e (d) Condutividade e (e) PT, entre as marés de quadratura e sizígia na superfície do estuário do rio Macaé. Segundo teste t para os gráficos (b, d, e, f) e teste U para os gráficos (a e c).44
- Figura 14. Faixa de variação da concentração de parâmetros: (a) PO_4^{3-} , (b) Fósforo Total – PT, (c) Clorofila *a* (Chl *a*) e (d) Temperatura; entre as marés de quadratura e sizígia no fundo do estuário do rio Macaé. Segundo teste t para os gráficos (c e d) e teste U para os gráficos (a e b).....45
- Figura 15. Faixa de variação da concentração de parâmetros: (a e b) MPS, (c e d) Temperatura; entre as marés de quadratura e sizígia na superfície (a e c) e fundo (b e d) do estuário do rio das Ostras.....46
- Figura 16. Gráfico dos escores dos Componentes Principais 1 e 2 (ACP1 e ACP2) na Análise dos Componentes Principais dos parâmetros estudados nos Estuários do Rio Macaé e Rio das Ostras. (a) triângulos verdes representam o estuário de rio das Ostras e losangos vermelhos ao estuário do rio Macaé, (b) triângulos verdes representam o fundo e losangos vermelhos a superfície, (c) triângulos verdes representam a maré de sizígia e losangos vermelhos a maré de quadratura, (d) triângulos verdes representam a fase de maré vazante e losangos vermelhos a fase da maré enchente.....53

Figura 17. Medianas, quartis, mínimos e máximos dos escores da ACP1 e ACP2 dos parâmetros dos estuários: M (Macaé) e R (Rio das Ostras).....	54
Figura 18. Vazões horárias do estuário do rio Macaé e do rio das Ostras nas marés de (a e a') quadratura e (b e b') sizígia. Valores negativos (enchente); valores positivos (vazante).....	54
Figura 19 . Variação temporal dos fluxos de nutrientes no estuário do Rio Macaé e Rio das Ostras em maré de quadratura.....	57
Figura 20. Variação temporal dos fluxos de nutrientes no estuário do Rio Macaé e Rio das Ostras em maré de sizígia.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificações de estuários. *formados por falhas tectônicas, erupções vulcânicas, tremores e deslizamentos de terra.....	9
Tabela 2. Posicionamento geográfico dos pontos amostrais.....	16
Tabela 3. Amplitude de maré no Porto de Imbetiba (Macaé) nos dias das coletas realizadas no estuário do Rio Macaé (ERM) e estuário do Rio das Ostras (ERO) na maré de quadratura (Q) e sizígia (S) (Fonte: Diretoria de Hidrografia e Navegação).....	24
Tabela 4. Valores médios, desvio padrão – DP, mínimo e máximo dos parâmetros físicos, químicos e biológico na porção fluvial (n = 2) e no estuário do rio Macaé (n=52) nas marés de quadratura e sizígia, para o período de estiagem. Temperatura (Temp. °C); Vazão (m ³ /s); Material Particulado em Suspensão (MPS, mg/L); Oxigênio Dissolvido (O ₂ . mg/L), Nitrogênio Total (NT) e Total Dissolvido (NTD) (mg/L); Amônio (NH ₄ ⁺ (mg/L); Fósforo Total - PT e Ortofosfato - PO ₄ ³⁻ (mg/L); Razão Nitrogênio Total e Fósforo Total (N:P); clorofila - Chla (µg/L). Limite de detecção para o ortofosfato = LD ≤ 0,0024.....	31
Tabela 5. Valores médios, desvio padrão – DP, mínimo e máximo dos parâmetros físicos, químicos e biológico na porção fluvial (n=2) e no estuário do Rio das Ostras. Temperatura (Temp. °C); Vazão (m ³ /s); Material Particulado em Suspensão (MPS, mg/L); Oxigênio Dissolvido (O ₂ . mg/L), Nitrogênio Total (NT) e Total Dissolvido (NTD) (mg/L); Amônio - NH ₄ ⁺ (mg/L) ; Fósforo Total - PT e Ortofosfato - PO ₄ ³⁻ (mg/L); Razão Nitrogênio Total e Fósforo Total (N:P); clorofila - Chla (µg/L). Limite de Detecção para N-Amoniacal = LD ≤ 0,016.....	32
Tabela 6. Correlações estabelecidas pelo teste estatístico de Spearman entre os parâmetros estudados na campanha de coleta temporal da estação fixa no estuário do Rio Macaé, na maré de quadratura, p<0,05, n =260.....	48
Tabela 7. Correlações estabelecidas pelo teste estatístico de Spearman entre os parâmetros estudados na campanha de coleta temporal da estação fixa no estuário do Rio Macaé, na maré de sizígia, p<0,05, n =260.....	49

Tabela 8. Correlações estabelecidas pelo teste estatístico de Spearman entre os parâmetros estudados na campanha de coleta temporal da estação fixa no estuário do Rio das Ostras, na maré de quadratura, $p < 0,05$, $n = 260$	50
Tabela 9. Correlações estabelecidas pelo teste estatístico de Spearman entre os parâmetros estudados na campanha de coleta temporal da estação fixa no estuário do Rio das Ostras, na maré de sizígia, $p < 0,05$, $n = 260$	51
Tabela 10. Análise de Componentes Principais dos parâmetros estudados nos estuários dos Rios Macaé e Rio das Ostras: pesos e variância explicada pelas duas componentes principais (ACP1 e ACP2).....	52
Tabela 11. Fluxo fluvial e Transporte Total por ciclo de maré (g/s) de nutrientes e MPS nas marés de quadratura (Q) e sizígia (S) no estuário do rio Macaé. Por convenção adota-se (+) enchente (-) vazante.....	59
Tabela 12. Fluxo fluvial e Transporte Total por ciclo de maré (g/s) de nutrientes e MPS nas marés de quadratura (Q) e sizígia (S) no estuário do rio Ostras. Por convenção adota-se (+) enchente (-).....	59
Tabela 13. Comparação dos parâmetros: Área da Bacia (AB), tipo de maré, salinidade (Sal), nutrientes inorgânicos dissolvidos (NH_4^+ e PO_4^{3-} , $\mu\text{mol/L}$), Material Particulado em Suspensão (MPS, mg/L), Clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i> , $\mu\text{g/L}$) e do tipo de atividade antrópica de alguns sistemas estuarinos do Brasil com os observados neste estudo.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP = Análise de Componentes Principais

Chl *a* = Clorofila *a*

Cond = Condutividade

DHN = Diretoria de Hidrografia e Navegação

MPS = Material Particulado em Suspensão

Min = Mínimo

Max= Máximo

NT = Nitrogênio Total

NTD = Nitrogênio Total Dissolvido

NID = Nitrogênio Inorgânico Dissolvido

N- Amoniacal = Nitrogênio Amoniacal

OD = Oxigênio Dissolvido

%OD = Percentual de saturação em Oxigênio Dissolvido

PCA= Análise de Componentes Principais

PID = Fósforo Inorgânico Dissolvido

PO₄³⁻ = Ortofosfato

PT = Fósforo Total

T = Temperatura

Sal = Salinidade

YSI = Yellow Springs Instruments

1. INTRODUÇÃO

1.1. Definições de estuários

O estudo dos ambientes estuarinos está em crescimento significativo nos últimos 50 anos e isso se deve por estes ambientes serem áreas estratégicas de interface continente - oceano, altamente vulneráveis à influência antrópica, e possuem, em geral, alta produtividade primária decorrentes do aporte e fluxo de nutrientes de origem continental. Além disso, tais ambientes possuem características complexas e dinâmicas quanto aos processos de circulação das massas d'água, com retenção ou exportação de materiais dissolvidos e particulados para a zona costeira adjacente (Miranda, 2012).

Independente do crescente estudo a respeito destes ecossistemas de transição observa-se que não há um consenso sobre a definição de estuário, principalmente em relação a sua dimensão ou delimitação espacial. Conforme Perillo (1995) uma análise em dicionários e enciclopédias revela definições que delimitam os estuários a áreas que variam desde “a desembocadura de um rio, até a entrada do mar para o interior do continente”. Segundo este autor, a definição de estuários pode se estender até a plataforma continental ou até mesmo ao longo de um oceano, como o Oceano Pacífico Norte, enquanto houver a diluição da água do mar ou a presença de espécies eurialinas. Esta variedade de delimitações, em contrapartida revela uma ausência de consenso sobre uma definição geral que abranja todas as características dos estuários nas diversas áreas, com diversas abordagens contraditórias, indicando que possa haver lacunas sobre este tema.

A definição clássica de estuários adotada pela maior parte dos especialistas (Pritchard, 1952; Cameron & Pritchard, 1963) afirma que estes ambientes são corpos de água costeiros, semifechado, com uma livre ligação com o oceano aberto, no interior do qual a água do mar é mensuralmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental. No entanto, tal definição não pode ser ampliada para todos os estuários, apenas para estuários clássicos, estabelecidos em planícies costeiras (Fairbridge, 1980). Posteriormente, Day et al., (2012) ampliam o conceito de Pritchard para abranger a influência do tipo dos estuários em relação a sua conexão, que podem estar permanentemente ou periodicamente abertos para o oceano, que podem ter circulação

de massas de água e distribuição de organismos específicos de acordo com a conexão com o mar. De acordo com Herdendorf (1990), Odum (1990) e Dyer (1997), os estuários precisam estar conectados diretamente com o oceano ou com outro corpo d'água salino; podendo ser considerados estuários até lagoas costeiras que recebem a descarga fluvial e estão sujeitos à ação de maré ou ondas.

Como os estuários são caracterizados, em parte, pelo aporte de água fluvial, caso esta massa de água não seja capaz de diluir a água do mar este ambiente não é caracterizado como estuário, segundo a definição de Cameron e Pritchard (1963). A presença de água fluvial está associada a um balanço, no qual a soma dos volumes que chegam ao estuário, gerados pela precipitação e descarga fluvial, podem ser menores ou maiores que a evaporação, se menores geram condições para a formação de corpos d'água hipersalinos, conhecidos como “estuários negativos” e se maiores, permitem a diluição da água do mar pela água fluvial, nos “estuários positivos” (Miranda et al., 2012). Exemplos de estuários negativos podem ser observados na Bahia Blanca (Argentina) e Jaguaribe (Brasil) onde salinidade de 39‰ foi observada devido aos reduzidos aportes fluviais e as altas taxas de evaporação, que induzem a processos como a “lavagem de maré”. Esses padrões podem ser intensificados em um cenário de mudanças climáticas com o aumento do nível do mar e interferências humanas, como a construção de barragens ao longo de bacias hidrográficas e retirada de água subterrânea (Picollo et al., 1990; Perillo, 1995; Lacerda et al., 2008; Eschrique et al, 2007) .

As definições de Cameron e Pritchard (1963) e Day et al., (2012) não levaram em consideração a influência da maré, que é o principal mecanismo de mistura de massas de água na maioria dos estuários. Shepard (1973) não descarta esta característica costeira na definição de estuários, e enfatiza a ideia da ação de maré para o limite superior (fluvial) de um estuário. O efeito da maré deve promover modificações nos componentes de um estuário, induzindo a circulação de massas de água, a erosão e a deposição de materiais, criando gradientes de salinidade longitudinal e de profundidade, entre outros (Perillo, 1995; Miranda et al., 2012).

Outra definição que veio ampliar a de Cameron e Pritchard (1963) é a de Dionne (1963) que destaca três zonas ao longo do estuário: a) estuário inferior ou marinho, com ligação livre com o oceano aberto; b) estuário médio, sujeito à intensa mistura da água do mar com a água fluvial; c) um estuário superior ou fluvial, caracterizado por água doce, mas sujeito à influência diária da maré, em relação ao aumento de volume. Tais

fronteiras não são fixas, mas variam de acordo com a amplitude de maré (quadratura/sizígia) e a descarga fluvial (alto ou baixo escoamento). Assim como não são todos os estuários que apresentam as três zonas; o estuário da Bahia Blanca na Argentina apresenta apenas a zona marinha e o estuário do rio Amazonas é basicamente fluvial (Crossland, 2005; Miranda et al., 2012).

De forma a considerar aspectos relacionados à sedimentação, Dalrymple et al (1992) introduziram um conceito no qual estuários são definidos como aquela porção direcionada para o mar em um sistema de vales inundados que recebe tanto sedimentos de origem fluviais como marinhas, cuja sedimentologia (granulometria e estruturas sedimentares) sofre influências da maré, onda e processos fluviais. No entanto, tal definição é válida apenas para corpos d'água que são formados em vales decorrentes do aumento do nível do mar, e leva em conta somente sua caracterização geológica.

Kjerve (1987) não vislumbra apenas essa caracterização geológica, e acrescenta processos regionais, tais como: fatores climáticos, sedimentação recente e forças dinâmicas, que contribuem para a formação dos estuários e são responsáveis pela variedade de características geomorfológicas e fisiográficas observadas no ambiente. Para este autor, “estuário é um ambiente costeiro que apresenta conexão restrita com o oceano adjacente. Tal conexão permanece aberta pelo menos intermitentemente.” Ainda subdivide o estuário em três zonas distintas: Zona de Maré do Rio (ZR) que corresponde à parte fluvial com salinidade praticamente igual a zero, mas ainda sujeita a influência da maré; Zona de Mistura (ZM) que é a região onde se observa a mistura de água doce advinda da drenagem continental com a água do mar e a Zona Costeira (ZC) que corresponde à região costeira adjacente que se estende até a frente da pluma estuarina.

De acordo com Perillo (1995), as definições de estuários englobam apenas os parâmetros fisiográficos (geomorfologia e hidrologia) e não contempla parâmetros biológicos e químicos; sendo necessária a construção de uma nova definição que envolva todas as disciplinas envolvidas na pesquisa estuarina e uma classificação morfogenética que estabeleça uma interação entre as forças terrestres e marinhas na formação da morfologia do estuário. A definição proposta por Perillo (1995) não incorpora as características ou origem do estuário, presumindo a existência de estuários hierárquicos e a possibilidade de inclusão de lagoas costeiras. Segundo este conceito: “Um estuário é um corpo d'água semifechado que estende até o limite efetivo da

influência da maré, dentro dos quais a água do mar entra por uma ou mais conexões livres com o mar aberto, ou qualquer outro corpo d'água salino costeiro, sendo significativamente diluída com a água doce derivada da drenagem continental, e pode sustentar espécies eurialinas em parte ou o ciclo de vida inteiro”.

Neste estudo, foi adotada a definição proposta por Dyer (1973), considerada a mais completa dentro da oceanografia física, na qual “Estuário é um corpo de água semifechado, com ligação livre com o oceano aberto, que se estende ao longo do rio até o limite de influência da maré, no interior do qual a água do mar é mensuralmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental.

1.2. Classificação de estuários

Diante do amplo espectro de condições hidrográficas, topográficas, climáticas, químicas, biológicas de estuários, com situações por vezes conflitantes, as quais impossibilitavam um consenso geral a respeito dos estuários, tornou-se cada vez mais eminente a necessidade de analisá-los não apenas como ambientes isolados, como se fazia em décadas passadas. Assim, para comparar diferentes estuários foram propostos critérios de classificação destes ambientes costeiros, organizando-os de acordo com um conjunto de parâmetros e estabelecendo uma estrutura geral de funcionamento (Tabela 1). Isto permite prever as principais características de circulação e processos de mistura envolvidos (Miranda et al., 2012).

Um primeiro sistema de classificação foi proposto por Stommel (1951) que considerou como causas físicas preponderantes dos movimentos de mistura dentro do corpo d'água estuarino: a maré, vento e descarga fluvial. Mas com a classificação de Pritchard (1952) que se observou a primeira classificação conhecida de estuários do ponto de vista geomorfológico. Nesta, os estuários são agrupados em quatro tipos: planície costeira (vale inundado); fiorde; formado por barras; e por outros processos como falhas tectônicas, erupções vulcânicas, tremores e deslizamento de terra.

Outra classificação é a de Hayes (1975) baseada na amplitude de maré, na qual correlaciona este parâmetro físico com várias características fisiográficas, e a partir disso, define três tipos de estuários: estuários de micromarés (com amplitude de maré inferior a 2 m), estuários de mesomarés (com amplitude de maré variando de 2 a 4 m),

estuários de macromarés (com amplitude maior que 4 m) e de estuários de hipermarés (com amplitude maior que 6m).

Posteriormente, Dalrymple et al., (1992) desenvolve uma classificação intimamente relacionada com a de Hayes (1975), mas direcionada para um modelo mais complexo de fácies sedimentares, no qual estabelece a importância da drenagem fluvial, das ondas e das marés ao longo de períodos de tempo. Este modelo classificou os estuários em: dominados por drenagem fluvial, por ondas e por marés. A diferença entre as duas classificações consiste no fato de que a última aponta para uma contínua evolução entre os extremos, ou seja, um estuário caracterizado por ondas pode vir a tornar-se dominado por marés.

Ainda há a classificação morfológica de Fairbridge (1980) baseada em fatores fisiográficos e hidrodinâmicos, na qual, se propõe relacionar o relevo e a circulação restrita na desembocadura, assim como, as relações entre o nível do mar, dinâmica fluvial-estuarina e neotectonismo. Este autor descreve de forma sucinta sete categorias de estuários: 1) estuários com vales em forma de U e alto relevo (corresponde aos *ffjord*) e relevo moderado (*ffjard*) ; 2) estuários em forma de V e relevo moderado (ria) ; 3) estuários com vales em forma de funil e baixo relevo (estuários de planície costeira ou de barreira) ; 4) estuários com vales em forma de L e baixo relevo (estuários construído por barra); 5) estuários de baixo relevo sazonalmente fechado (estuários cegos); 6) Estuários de frente deltaica ou estuários de delta de rios efêmeros (estuários deltaicos); 7) estuários compostos (estuários tectônicos). Estes tipos são influenciados por fatores dinâmicos que produzem variabilidade em relação a hidrologia fluvial, energia da onda, amplitude de maré, sedimentologia e mineralogia, geotectonismos e neotectonismos.

Mais recentemente uma classificação morfogenética desenvolvida por Shepard, 1973, baseada na origem e morfologia, procura contemplar todas as categorias possíveis de estuários na qual estes são classificados primeiramente em primários (cuja forma tem sido resultado de processos tectônicos) e secundários (forma observada é produto de processos marinhos). Posteriormente os classifica em: a) formados por vales fluviais (que se subdivide em estuários de planície costeira e rias); b) formados por vales glaciais (fiordes e fiardes); c) influenciados por rios (rios de maré e estuários de frente deltáica); d) estruturais (formados por processos neotectônicos); e) lagoas costeiras (corpo d'água paralelo a costa separado do mar por uma barreira e conectado com o oceano por uma entrada que dependendo de sua natureza pode ser classificada segundo

Kjerfve (1987) em: obstruído (apenas uma entrada rasa e longa), restrita (poucas enseadas ou uma desembocadura larga) e vazada (grande número de entradas separadas por pequenas ilhas de barreiras).

Os estuários classificados geomorfologicamente apresentam diferenças significativas nos padrões de circulação, estratificação de salinidade e processos de mistura. Com base nisso, Pritchard (1955) criou uma classificação baseada na estratificação de salinidade, na qual se tornou possível estabelecer de forma qualitativa as características dominantes da circulação da Zona de Mistura. Segundo a classificação de Pritchard, posteriormente adaptada por Officer (1976) os estuários são do tipo: a) cunha salina (há uma interface distinta entre a água da descarga fluvial e marinha); b) altamente estratificado (apresenta uma acentuada estratificação vertical e diferença entre as salinidades de superfície e fundo de várias unidades); c) parcialmente misturado (estratificação da coluna d'água é moderada, com diferença entre superfície e fundo de poucas unidades); d) bem misturado ou verticalmente homogêneo (quando não há praticamente diferença entre a salinidade da superfície e fundo, ausência de haloclina).

Para avaliar quantitativamente este tipo de classificação, é utilizada a razão de fluxo (R/P), onde R corresponde ao volume de água fluvial (Q_f) descarregado no estuário durante o período de maré (T) ($R = Q_f \times T$); e P é o prisma de maré, ou seja, a diferença entre o volume de maré enchente e vazante (Simmons, 1955; Hansen e Ratray, 1966). Assim, quando a razão $R/P > 1$, o estuário será altamente estratificado (presença de cunha salina, observando-se a presença de haloclina, separando a camada superficial de água doce da água salgada de fundo); $R/P \approx 0,25$ será parcialmente estratificado (com gradiente crescente de salinidade na vertical e para a jusante); e $R/P < 0,1$ será bem misturado ou verticalmente homogêneo (gradiente de salinidade é apenas longitudinal). No entanto, como essa classificação, cujos critérios são padrões de circulação, não se leva em conta a geometria do estuário (a largura, topografia e natureza do fundo), que podem exercer influência sobre a intensidade da turbulência gerada na coluna d'água pela amplitude de maré. Isto pode gerar dados contraditórios ao se comparar a razão de fluxo (R/P) com os critérios de estratificação de Pritchard (1955) (Martins, 2008; Miranda et al., 2012).

Outra classificação de estuários se baseia no Diagrama de Estratificação-circulação, proposto por Hansen & Ratray (1966) descrita por Miranda et al., (2012) cujos parâmetros utilizados são a salinidade e velocidade, tendo em vista que os

critérios desta classificação consistem na análise dos parâmetros de estratificação salina e circulação. A estratificação é definida pela razão $\delta S / S$, onde $\delta S = S_f - S_s$ é a diferença entre os valores de salinidade de fundo (S_f) e de superfície (S_s) e S é o valor médio da salinidade na coluna d'água. Enquanto que a circulação é determinada pela razão U_s / \bar{u} , onde U_s é o valor médio do componente longitudinal de velocidade na superfície e \bar{u} é a média da velocidade na coluna de água, utilizada quando não se tem o conhecimento adequado da descarga fluvial. Com base no diagrama Hansen & Ratray (1966), a classificação com base na estratificação/circulação de cada estuário irá variar de acordo com cada zona e situação hidrológica estuarina no momento em que as observações foram realizadas.

A partir disso, Jay & Smith (1988) desenvolveram uma classificação na qual os critérios são a presença ou ausência de água salina, com base em características morfológicas. Esta classificação associa a cada estuário ou porção deste, processos hidrodinâmicos de transporte dominantes em cada caso, tais como os fluxos oscilatórios de maré, fluxos devido à circulação interna, associadas à presença de água de diferentes densidades, caudal fluvial entre outros.

A relevância da classificação quanto à estrutura salina do corpo d'água é devido ao fato de o tipo de estuário ser condicionante dos esquemas de amostragem a ser adotado nos estudos de caracterização da qualidade da água e de modelos matemáticos que visam a gestão destes ambientes. Sorensen (2004) propõe que os estuários sejam agrupados em classes semelhantes com base na salinidade, no tempo de retenção e no grau de fecho da embocadura, caso o estudo tenha como objetivo a gestão.

Os diversos critérios de classificação morfodinâmicos e de salinidade apresentados anteriormente não contemplam aspectos relacionados com a qualidade da água e as pressões antrópicas que tais ambientes suportam. A classificação ambiental de um estuário poderá ser inferida a partir da análise do tipo morfodinâmico, da estrutura salina e da qualidade da água. Esta última, por sua vez, pode ser inferida a partir da qualidade estética, critério sanitário, estado trófico e substâncias tóxicas (CONAMA 357, 2005).

Diante das diversas metodologias descritas torna-se possível definir classes de semelhanças e/ou evidenciar diferenças entre estuários, de forma a tornar tais indicadores ferramentas útil para a gestão (Silva, 2000).

A classificação adotada no presente estudo se baseou na classificação de Pritchard (1955) adaptada por Officer e no Diagrama Estratificação-Circulação deduzido por Hansen & Rattray (1966), parâmetros alternativos por Prandle (1985). No entanto, como o parâmetro circulação (u_s/u_f) não era conhecido, adotou-se a correlação do parâmetro estratificação ($\delta S/S$) de acordo com o Prandle (1985) descrito por Miranda et al., (2012).

Tabela 1. Classificações de estuários. *formados por falhas tectônicas, erupções vulcânicas, tremores e deslizamentos de terra.

Classificações	Critérios	Proponentes
Forçado por maré, vento e descarga fluvial	Causas físicas predominantes da circulação e mistura: maré, vento, descarga fluvial	Stommel, 1951
Planície costeira, fiorde, formado por barras, estuários restantes*	Baseado nas características geomorfológicas	Pritchard, 1952
Cunha salina, parcialmente misturado, verticalmente bem misturado e bem misturado	De acordo com a estratificação de salinidade	Pritchard, 1955
Altamente estratificado, parcialmente e bem misturados	Razão de fluxo (R/P), onde R corresponde a descarga fluvial e P ao prisma de maré	Simmons, 1955
Cunha salina, altamente estratificado, parcialmente misturado e bem misturado	Valor do gradiente da haloclina	Officer, 1977
Estratificado, parcialmente estratificado e bem misturado	Estratificação e circulação	Hansen & Hatray, 1966
Estratificado, parcialmente estratificado e bem misturado	Correlação entre o parâmetro estratificação ($\delta S / S$) e o número de estratificação (St)	Prandle, 1985
Micromaré, mesomaré, macromaré e hipermaré	Amplitude da maré	Hayes, 1975
Dominado por drenagem fluvial, por ondas e marés	Fácies sedimentares	Dalrymple et al, 1992
Fiorde, ria, de planície costeira ou de barreira, construído por barra, cegos, deltáicos e tectônicos	Fatores fisiográficos e hidrodinâmicos	Fairbridge, 1980
Estuários primários e secundários; formados por vales fluviais, vales glaciais, influenciados por rios, estruturais, lagoas costeiras	Origem e morfologia	Shepard, 1973

1.3. Tendências em estudos sobre estuários

Diante do histórico sobre a definição e classificação de estuários é constatado que a morfologia dos estuários e suas características são definidas pela interação de uma variedade de fatores relativos às características dos ambientes continentais e marinhos e das forças atuantes nos estuários, como o clima, a precipitação, os impactos humanos, entre outros. Porém, atualmente o que se observa são esforços para a obtenção de dados sobre uma diversidade global de estuários e de seus fatores condicionantes (área de bacia hidrográfica contribuinte, relevo, descarga de água e sedimentos, ocupação humana, distribuição de organismos, entre outros) visando ampliar estas classificações. Tais estudos estão voltados para a busca de informações sobre a ontogenia de estuários e o entendimento da variação no tempo e espaço de fatores condicionantes (climáticos, geomorfológicos), bem como a influência antrópica modificando estes ambientes e a quantificação dos fluxos continentais para os estuários e zona costeira (Turner et al., 2003; Syvitsky et al., 2005; Syvitski & Saito, 2007; Pasquaud et al., 2015).

A ocupação humana dos estuários é um importante aspecto contemplado nestes estudos, em face de crescente emissão de nutrientes e a indução de cenários de eutrofização e deterioração ambiental dos estuários. Em relação aos fluxos de nutrientes, o transporte global de nitrogênio (N) e fósforo (P) pelos rios nos estuários tem aumentado cerca de seis a nove vezes em relação aos valores pré-industriais em virtude do crescimento populacional e de suas atividades como agricultura, urbanização e pecuária. Este cenário vem induzindo a alterações nos estuários como florações de algas, depleção de oxigênio, mortalidade de organismos, mudança de composição de espécies e perda dos serviços ecossistêmicos (Boyer et al., 2009; Bricker et al., 2008; Meybeck, 1993; Smith, 2003).

O conjunto de informações armazenadas em bancos de dados globais fornecem relações estatísticas que são importantes para produzir modelos numéricos que apontem a evolução recente destes ambientes, bem como a influência de processos naturais e dos impactos humanos nestas regiões. Syvitski & Saito (2007) utilizaram variáveis chave de 51 deltas - como a descarga média (Q_{av}), área (A), amplitude de maré (T_i) e rendimento

(*Yield*) - a partir dos quais foram capazes de caracterizar os fatores ambientais que controlavam a morfologia destes. Porém, limitações sempre são observadas em relação à abrangência de estuários inseridos na criação destes bancos de dados, principalmente referente aos estuários de reduzida dimensão; o que pode ser observado nos inventários globais de Milliman e Syvitsky (1992) que embora tenham contemplado 280 pequenos rios montanhosos que drenam para a costa, considerou apenas o Rio São Francisco e seu estuário como representantes do Brasil a despeito da extensa zona costeira brasileira (4°N a 34°S de latitude) e da grande diversidade geomorfológica e oceanográfica deste país (Bernardes et al., 2012).

Segundo Milliman e Syvitski (1992), estuários de rios de bacias de drenagem de reduzida área (<10.000km²), embora drenem apenas cerca de 20% da área global, o grande número destes ambientes podem conferir a eles, coletivamente, uma importante parcela de contribuição de sedimentos e outros materiais para os oceanos. Portanto estudos que visem estimar o fluxo global de materiais e a descarga global média para o oceano utilizando a quantidade proveniente dos grandes e médios rios e estuários (Holeman,1980; Milliman e Meade, 1983) podem subestimar estas estimativas se não contemplarem a contribuição dos rios e estuários de pequeno porte gerando conclusões errôneas em relação às descargas de materiais para o oceano.

Alguns estudos têm sido realizados em estuários de bacia de pequeno porte no Brasil. Noriega & Araújo (2011) estimaram o balanço de nutrientes e dinâmicas trófica no estuário de Barra das Jangadas (PE); Signorin et al., (2010) analisaram a hidrodinâmica e nutrientes inorgânicos dissolvidos no estuário do rio Perequê (SC), cuja área da bacia é de 65km²; Silva & Schettini (2003) analisaram a dinâmica e os mecanismos de transporte no estuário do rio Camboriú (SC) com área de drenagem de 200km²; entre outros trabalhos. A literatura encontrada na região sudeste aborda estuários de médio porte, tais como o de Kruger et al., (2006), que avaliaram o papel do Rio Paraíba do Sul no transporte de nutrientes dissolvidos e os regimes de ciclo de maré em seu respectivo estuário. Mas observa-se uma carência de dados no que concerne ao estudo de fluxos de materiais e sua ligação com a bacia de drenagem e zona costeira nos estuários tropicais de pequeno porte (Knoppers et al., 2005).

O cenário descrito sugere reduzida gama de informações sobre pequenos estuários localizados nas bacias do Atlântico Leste (22°S - 29°S) que são compostas por bacias de área entre 1.0 e 10.000km², delimitada pela Serra do Mar e que deságuam no Oceano

Atlântico. Estas bacias estão localizadas em uma área em franco desenvolvimento social e econômico (ex. cidade do Rio de Janeiro que é a maior cidade costeira do Brasil) ao mesmo tempo em que há reduzidas informações sobre suas características físicas, químicas e biológicas e de como a interferência humana modifica as condições do estuário e da região costeira adjacente. Parte destes estudos está concentrada na região de São Paulo, como o complexo estuarino Cananéia - Iguape (Chiozzini et al., 2010; Eschrique, 2011).

Em relação a pequenos estuários da região norte do Estado do Rio de Janeiro pode-se observar reduzida disponibilidade de informações sobre suas características. Há uma lacuna de conhecimento no que concerne as variáveis hidrodinâmicas do estuário do rio Macaé e rio das Ostras, com alguns poucos trabalhos de modelagem (Amaral, 2003) e estudo de vazões máximas no estuário do rio Macaé (Barboza, 2014) e alguns estudos da bacia hidrográfica do rio das Ostras voltado para a gestão ambiental (Prioste, 2007) e monitoramento (SEMADS/GTZ, 1999). Os estuários dos rios Macaé e das Ostras vêm sofrendo alterações devido ao cenário de crescimento socioeconômico induzido pelas atividades de exploração de petróleo e gás na Bacia de Campos ao longo dos últimos 30 anos, resultando em um rápido crescimento demográfico em Macaé e Rio das Ostras, cuja população estimada em 2015 é de 234.628 e 131.976, respectivamente (IBGE, 2014).

Mesmo considerando que estes estuários são influenciados por rios de pequenas áreas de bacias, pode-se esperar diferentes classificações nos estuários do rio Macaé e das Ostras devido a diferenças nas suas bacias contribuintes, 1765 km² e 157 km², respectivamente, devido a diferentes aportes fluviais. Outra questão sobre a interferência humana nas bacias e nos estuários é a mudança no uso dos solos, por exemplo, pela urbanização e retirada da cobertura florestal, que podem alterar o fluxo de materiais, como sedimentos, e espécies químicas para os estuários. Embora estes fluxos não constem nos inventários internacionais, do ponto de vista regional é primordial estabelecer seus aportes no Norte Fluminense, por exemplo, os sedimentos de origem fluvial vem sendo detectados em recifes de corais localizados na região de Búzios (região dos Lagos) localizados a 44 km da desembocadura do estuário do rio Macaé (Godiva et al., 2010). Este transporte pode refletir uma influência da bacia hidrográfica no estuário, por exemplo, devido à fisiografia da bacia que associada a intervenções humanas como retificação do rio e intensificação da erosão dos solos

pode induzir ao aumento do transporte fluvial para o estuário e zona costeira adjacente (Molisani et al., 2015). Associado a este contexto, estudos mostram alterações na emissão de espécies químicas na bacia hidrográfica do rio Macaé devido a intervenção humana (Molisani et al., 2013), com reflexos na qualidade das águas e nos organismos estuarinos (Pinheiro, 2008; Molisani et al., 2013; Santiago et al., 2016) sendo imprescindível o estudo dos processos que afetam o aporte de água, nutrientes, particulados em suspensão e o metabolismo associados a aspectos hidrodinâmicos costeiros e continentais destes ambientes de transição.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral:

- Comparar dois estuários de pequeno porte e verificar se as diferenças entre os tamanhos de suas respectivas bacias de drenagem interferem em suas dinâmicas estuarinas.

2.2. Objetivos específicos:

- Comparar a vazão e concentrações hidroquímicas da porção fluvial e estuarina dos rios Macaé e das Ostras na estação seca, durante as marés de quadratura e sizígia, ao longo de um ciclo de maré.
- Calcular através das concentrações e fluxos de água, material particulado em suspensão e nutrientes, o balanço de massa destes materiais entre as bacias hidrográficas e estuários, estimando os fluxos resultantes para a zona costeira.
- Conhecer a biomassa fitoplanctônica de cada sistema estuarino

3. METODOLOGIA

3.1. Área de Estudo

As áreas abrangidas no presente estudo compreendem os estuários do Rio Macaé e Rio das Ostras e suas respectivas bacias, que fazem parte da Região Hidrográfica VIII (RH-VIII), localizadas na região norte fluminense, sudeste do Brasil (Figura 1). O posicionamento geográfico dos pontos amostrais está identificado na tabela 2.

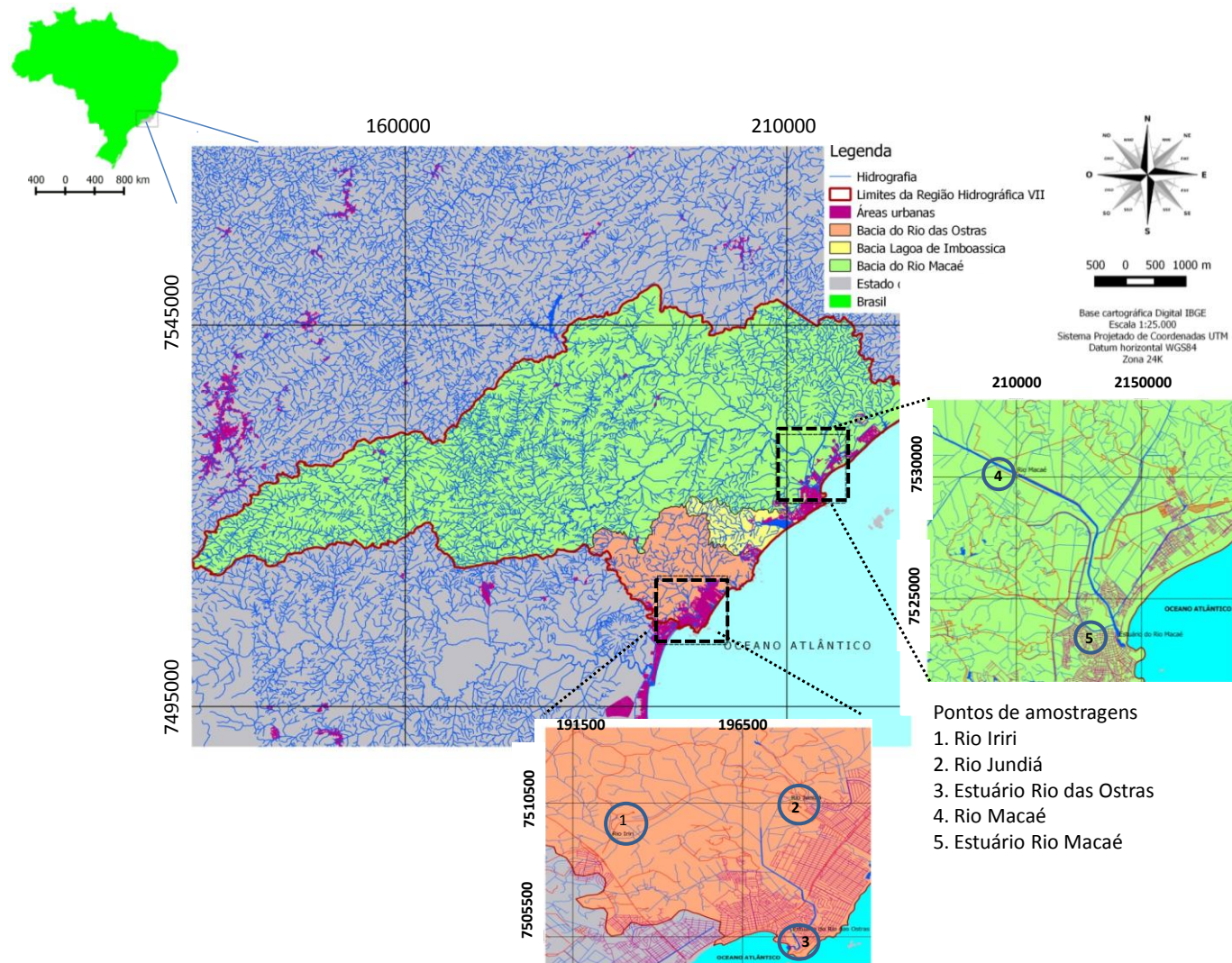


Figura 1. Localização da área de estudo (modificado de Leonardo B. Campaneli da Silva - biólogo SUPBAP/INEA).

Tabela 2. Posicionamento geográfico dos pontos amostrais

Ponto Amostral	Latitude	Longitude
Rio Macaé	22° 18' 36,19" S	41° 48' 52,22" W
Estuário Rio Macaé	22° 22' 18,36" S	41° 46' 34,31" W
Rio Iriri	22° 29' 44,29" S	41° 59' 13,35" W
Rio Jundiá	22° 29,03' 79" S	41° 56' 07,89" W
Estuário Rio das Ostras	22° 31' 43,50" S	41° 56' 09,91" W

3.1.1. Bacia hidrográfica e estuário do rio Macaé

O rio Macaé é considerado um rio de pequeno porte, cuja extensão é de cerca de 130km² e apresenta uma bacia de drenagem de 1.765 km² cuja área abrange parte dos municípios de Macaé (1.448 km²), Rio das Ostras (11 km²), Carapebus (11 km²), Casimiro de Abreu (83 km²), Conceição de Macabu (70 km²) e Nova Friburgo (142 km²). Sua nascente está localizada no Pico do Tinguá a cerca de 1.660 m de altitude, no interior do Parque Nacional dos Três Picos e do município de Nova Friburgo, compreendendo extensos remanescentes relativamente bem preservados de Mata Atlântica (Reserva de Macaé de Cima) (Pinheiro, 2008; Catelani, 2014; Freitas., 2015).

O clima na bacia é tropical úmido e varia de acordo com a altitude, da disposição do relevo em relação as massas de ar e da proximidade com o oceano. Apresenta diferentes condições em cada parte da bacia, com um clima mais frio e úmido e maior pluviosidade média anual (2.119 mm) devido a chuvas orográficas em seu alto curso, e menor pluviosidade e maior temperatura em seu baixo curso (Freitas et al., 2015). Para este trecho da bacia, a precipitação média anual fica entre 1.500 a 2.000 mm e temperaturas oscilando entre 17,5 a 25°C. A estação chuvosa se estende de novembro a abril, e a estação seca de maio a outubro (Beltrão, 2003).

A calha principal percorre o sentido leste-oeste, com uma vazão média de 45,4 m³/s (Amaral, 2003), e deságua no Oceano Atlântico, junto à cidade de Macaé como um rio de sétima ordem (SEMADS 2001; Amaral, 2003). Sendo assim, o perfil longitudinal do rio Macaé mostra que o rio nasce em áreas altas, sofre um grande desnível na sua

porção média e segue plano em seu trecho inferior (Freitas et al., 2015). Este rio apresenta como principais afluentes o rio Bonito, Sana e São Pedro, que lançam suas águas, respectivamente, nos alto, médio e baixo curso do rio Macaé. Deve-se destacar que o rio Macaé recebe águas de áreas que não fazem parte de sua bacia, através de canais artificiais, como a transposição do rio Macabu para o rio São Pedro, principal afluente do rio Macaé, com o objetivo de auxiliar no abastecimento de água da cidade de Macaé e produção de energia elétrica (Freitas et al., 2015).

Ao longo de sua bacia, há diferentes usos do solo, que variam de áreas de cobertura florestal (40,7%) no seu alto curso, até áreas de pastagens (34,1%), agricultura (19,1%) e zonas urbanas (3,7%) em seu baixo curso (Pinheiro, 2008).

O relevo da bacia do rio Macaé caracteriza-se pela presença de montanhas (parte integrante da Serra do Mar) encostas íngremes e por uma extensa planície litorânea localizadas à leste. Estas diferentes formas de relevo são resultado da ação da erosão e sedimentação no decorrer dos anos, e, sobretudo, do material que está presente nas rochas. Os cursos alto e médio da bacia do rio Macaé (área montanhosa da Serra do Mar) apresentam rochas intrusivas e metamórficas de idades pré-cambrianas (mais de 1,8 bilhão de anos) e se caracterizam por apresentarem vales profundos e escarpados escavados pelos rios e sujeitos a intensos processos erosivos e movimentos de massa (deslizamentos de terra). Já a parte baixa da bacia do rio Macaé tem origem sedimentar (formada por acúmulo de sedimentos holocênicos) (Freitas et al., 2015). Este padrão geomorfológico, no qual se diferenciam as partes mais altas e baixas da bacia, pode ser observado também em relação aos solos. As encostas apresentam solos mais rasos e pobres em nutrientes (Neossolos Câmbicos e Litólicos) ao passo que as porções baixas possuem solos mais profundos (Argissolos e Latossolos) (Freitas et al., 2015).

Em relação à cobertura vegetal, a bacia do rio Macaé caracteriza-se pelo predomínio de formações florestais tropicais, diferenciadas pela variação de altitude e drenagem das áreas. A cobertura anterior às alterações humanas era de: (a) florestas ombrófilas nas montanhas e nas áreas de baixada não alagáveis; (b) florestas paludosas em áreas alagáveis das planícies de inundação; (c) campo nas porções de planície; (d) brejos (alagamento constante); (e) restingas onde o solo era arenoso e (f) mangues com solo argiloso (Freitas et al., 2015).

O estuário está localizado na porção mais urbanizada da bacia, Seu canal estuarino principal possui largura máxima de 130 m e profundidade máxima de 3,8 m (Figura 2). É influenciado por maré semidiurna do tipo micromaré, cujas amplitudes médias variam de 0,5 a 1,3 m nas marés de quadratura e sizígia, respectivamente (Weber, 2001). O entorno há fragmento de manguezais embora a ocupação desordenada seja a principal paisagem observada na foz. Análises de modelagem hidrodinâmica sugerem que a intrusão da cunha salina pode atingir 11 km a montante da desembocadura (Amaral, 2003).

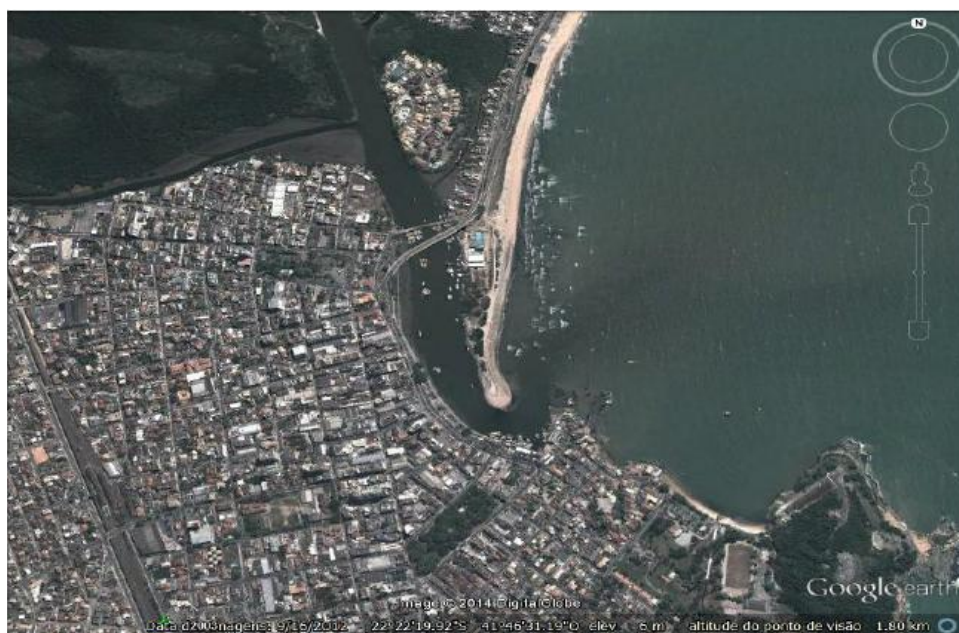


Figura 2. Imagem de satélite do estuário do rio Macaé (Fonte: Google Earth)

Os impactos ambientais na região estuarina tiveram início no século XVIII, quando nas proximidades desta se instalou a sede do município de Macaé. As margens do estuário que até então eram pouco povoadas e apresentavam extensas áreas de várzea, ao longo dos anos e devido ao crescimento urbano sofrem inúmeras alterações. Dentre elas, destacam-se obras de dragagem, retificação e alargamento nos 26km de extensão do baixo curso do rio Macaé, no final da década de 60 pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) (Freitas et al., 2015). Com a retificação, observou-se além da eliminação das lagoas marginais e redução do estoque pesqueiro, maior volume de água no estuário deste rio durante o período de

chuvas, resultando em assoreamento do leito, causa de intensas e freqüentes inundações (Assumpção & Marçal, 2012).

A partir da década de 70, com a exploração *offshore* de petróleo e gás da Bacia de Campos se observou um intenso crescimento populacional e econômico, que gerou uma pressão cada vez maior sobre os recursos naturais alterando as condições ambientais do baixo curso do rio (Costa & Ferreira, 2010; Ressiguiet, 2011). A ocupação urbana do entorno do estuário do rio Macaé tem desencadeado um intenso processo de supressão de manguezais, sendo aterradas as áreas de mangues, brejos e corpos hídricos a despeito da evidente relevância destas áreas para a conservação e manutenção dos ecossistemas e dinâmica estuarina (Freitas et al., 2015).

Assim, o poder municipal criou o Parque Municipal do Estuário do Rio Macaé, sendo os limites desta Unidade de Conservação inseridos na ilha fluvial “Colônia Leocádia” com fragmentos de mangues e brejos (SEMADS, 2001). No entanto, conforme Ferreira & Herculano, (2011) há uma série de lacunas: 1) parte expressiva da Faixa Marginal de Proteção (FMP) do parque e sua Zona de Amortecimento não se encontram conservadas, com forte ocupação urbana da área demarcada; 2) o parque não abrange parte considerável da extensão do estuário, contemplando apenas um pequeno trecho próximo a foz do rio; 3) faltam fiscalização, ações de manejo e ordenamento do poder público.

O estuário do rio Macaé apesar dos diversos impactos existentes em seu entorno apresenta grande importância econômica e histórica para a região. Além disso, suas águas à montante abastecem os municípios de Macaé e Rio das Ostras, além de serem utilizadas por indústrias termelétricas e empresas petrolíferas. Tendo em vista sua importância ambiental, econômica e social, é fundamental o estudo da dinâmica de materiais (água, material particulado em suspensão e nutrientes) neste ambiente para análise da qualidade de suas águas.

3.1.2. Bacia hidrográfica e estuário do rio das Ostras

A bacia de drenagem do rio das Ostras é limitada a oeste com a bacia do Rio São João, ao norte com a bacia do Rio Macaé e a leste com a bacia da lagoa de Imboassica. Os municípios que fazem parte da bacia do Rio das Ostras são Casimiro de Abreu e Rio das Ostras, sendo que este último apresenta maior participação territorial (92,5% da

bacia). A bacia hidrográfica drena uma área de 157km² sendo formado por dois afluentes principais: os rios Iriry e Jundiá. Embora sejam ambientes de baixa energia, transportam água e sedimentos finos para o estuário (SEMADS/GTZ, 1999). A bacia hidrográfica do rio das Ostras, devido as suas características fisiográficas, com reduzida declividade do relevo (declividade média de 0,0207 m/m) é caracterizada por apresentar várias áreas de inundação e forte influência do regime de marés sobre o rio, com entrada da língua salina até o trecho onde o Valão das Corujas desemboca no rio das Ostras (6 km a partir da foz) (Prioste, 2007).

Ao longo dessa bacia, o rio atravessa pastagens e alagados e apresenta um manguezal extenso em sua foz, sendo protegido por lei federal e estadual, com uma área de preservação de pelo menos 30 metros a partir de suas margens, assim como a margem do rio Jundiá e Iriry (PMRO, 2004). No entanto, tal fato não é observado, uma vez que se pode observar plantações e pastos que avançam até as margens do rio, o que favorece o assoreamento do canal. O Rio das Ostras também sofreu impactos da retificação da sua calha, com modificações no regime de descargas, aumento da velocidade de escoamento e aumento da quantidade de sedimentos provenientes da erosão dos bancos de areia devido às passagens de dragas (Prioste, 2007).

Os índices de precipitação da região de Rio das Ostras são considerados os mais baixos entre as regiões do Estado. A pluviosidade média anual está em torno dos 1300 a 1500 mm, com picos de até 100 mm no verão, segundo as normais climatológicas do estado do Rio de Janeiro. A temperatura média anual na região fica entre 20° e 25°(PMRO, 2004).

Em relação à geomorfologia da bacia hidrográfica do rio das Ostras, pode-se observar dois tipos de sistemas de relevo: os relevos de agradação e de degradação. Os primeiros podem ser divididos em: a) planícies aluviais (formada por sedimentos argilo-arenosos, padrão de drenagem varia de bem drenado a mal drenado), b) colúvio-aluviais (formada por sedimento argilo-arenosos, mal drenados) e flúvio-lagunar (depósitos de sedimentos argilosos orgânicos de paleolagunas, muito mal drenados). Quanto aos relevos de degradação, tem-se: a) colinas isoladas (amplitude topográfica inferior a 100 m), b) domínio suave colinoso (amplitude topográfica inferior a 50 m), c) domínio colinoso (inferior a 100 m) d) alinhamentos serranos e degraus estruturais (apresenta

grande amplitude topográfica – 300 a 700 m) e e) escarpas serranas (amplitude topográfica superior a 500 m). A geologia da região da bacia hidrográfica do rio das Ostras é formada por rochas do embasamento cristalino (os gnaisses-granitóides e migmatíticas) no alto e médio vale, e depósitos Colúvio-Aluvionar e Fluvio-Lagunares, de Restinga, Eólicos e Marinheiros no baixo vale (PMRO, 2004, Prioste, 2007).

De acordo com estudos do levantamento semidetalhado dos solos do município (PMRO, 2004) com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), os solos encontrados no alto vale da região são: Latossolos, Argilossolos e Neossolos Litólicos. No médio e baixo vale são: Gleissolos, Latossolos, Argissolos, Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos (correspondem aos solos da Planície Marinha com sedimentos arenosos do Quaternário, baixa capacidade de retenção de água e inaptos para uso agrícola). A planície é formada tanto por sedimentos quaternários arenosos quanto por aterros artificiais para a construção civil. Os solos da planície costeira são arenosos, podzol e hidromórfico, e nas elevações e pequenos morros, assim como nos costões rochosos na região da praia, são caracterizados por residual e pelo afloramento do gnaisse. O relevo da bacia de drenagem de Rio das Ostras é bastante recente, não representando a formação clímax e cujas condições gerais ainda estão em processo de evolução. Em relação ao uso e ocupação do solo, pode-se destacar a pecuária, que em relação ao total das terras disponíveis na área rural no município de Rio das Ostras (17.993 ha) apresenta 66,5% (11.975 ha) ocupadas por pastagens, sendo que apenas 2,46% (442 ha) do total é representado por terras produtivas utilizadas na lavoura (permanente e temporária). Em relação às matas naturais e plantadas tem-se 27% (4.858 ha) (Prioste, 2007).

A porção estuarina do rio das Ostras está localizada na porção mais urbanizada da bacia. O canal estuarino principal possui largura aproximada de 33 m e profundidade máxima de 1,5 m (Figura 3). É influenciado por maré semidiurna do tipo micromaré e apresenta em seu entorno manguezal bastante fragmentado próximo a foz do rio em decorrência da ocupação de suas margens para fins de construção e urbanização. (PMRO, 2003). Estudos realizados na porção inferior da bacia de drenagem do rio das Ostras mostram a presença da intrusão salina até o trecho onde o Valão das Corujas desemboca no rio das Ostras (Prioste, 2007).



Figura 3. Imagem de satélite do estuário do rio das Ostras (Fonte: Google Earth)

O acelerado crescimento demográfico, considerado o maior do interior do estado, cerca de 10% ao ano, e econômico tem como vetor principal a exploração turística e imobiliária. A cidade de Rio das Ostras entre 1991 até 2015 teve uma taxa de crescimento de 720%, passando de 18.195 habitantes para uma população estimada de 131.976 (IBGE, 2014). Segundo dados do Censo de 2000, a urbanização na área de estudo é bastante elevada (95% de pessoas vivem em áreas urbanas) e pode-se observar uma tendência de adensamento e verticalização, forte crescimento urbano e reservas de terras para especulação urbana, nas áreas já consolidadas, em expansão e rurais (Prioste, 2007). O turismo, acentuado no verão, leva a um aumento expressivo da população da região da bacia, e esta população sazonal promove um aumento no aporte de nutrientes e matéria orgânica na forma de efluentes, podendo resultar em eutrofização e perda da qualidade da água, particularmente nesta época (Sekovski et al., 2012). Isso já é observado, por exemplo, no estuário do Rio Camboriú (SC), cuja bacia de drenagem é de 200 km², cuja população de 60.000 habitantes passa a ser 10 vezes maior no verão (Pereira - Filho, 2001).

A bacia hidrográfica do rio das Ostras tem sofrido interferências antrópicas por muitas décadas, das quais se destacam a intensa erosão em antigas áreas de exploração de saibro e devido a processos pluviais em áreas de pasto (áreas de colinas) (PMRO, 2004). Além disso, observa-se o arraste de materiais naturais e antrópicos nas áreas

urbanas, assoreamento de canais (em virtude da baixa energia e grande aporte de sedimentos), riscos de enchentes em áreas urbanas (nas proximidades do valão de Medeiros e do rio Jundiá), ocupação urbana sobre planícies alagáveis e ocorrência de lençol freático subaflorante (PMRO, 2004, Prioste, 2007).

3.2. Amostragem da Água

Este trabalho envolveu análises realizadas nos Laboratório de Química e Laboratório de Ecologia Aquática do NUPEM/UFRJ. A partir dos dados gerados pelas estratégias de amostragem da água, análises laboratoriais, medição de fluxos e balanços de materiais e análises estatísticas referentes aos resultados encontrados, obteve-se uma caracterização temporal dos estuários no que concerne as concentrações de material particulado em suspensão, nutrientes e clorofila *a* bem como o transporte residual (total) de materiais para a zona costeira adjacente.

A amostragem contemplou a estação seca (outubro de 2014), na qual foram realizadas 4 campanhas, sendo duas no rio Macaé e duas no rio das Ostras. As campanhas foram realizadas visando caracterizar a vazão, as concentrações de material particulado em suspensão, nutrientes e clorofila *a*, bem como os fluxos destes materiais da bacia hidrográfica para o estuário, representado pelo trecho mais a jusante da bacia, sem influência da salinidade ou do volume da maré. Este ponto foi determinado através de medição de salinidade através de sonda multiparâmetros YSI 550, sendo fixo para todas as campanhas. As mesmas variáveis e fluxos foram obtidos nos estuários em coletas periódicas ao longo de um ciclo de maré de quadratura e sizígia, sendo a estação fixa, localizada a aproximadamente 200 m da desembocadura dos estuários.

As campanhas ocorreram nos dias: 01/10/14 e 07/10/14 no Rio Macaé e nos dias 16/10/14 e 24/10/14 no Rio das Ostras, sendo as coletas relativas às marés de quadratura e sizígia, respectivamente. A Tabela 3 apresenta os dados da amplitude de maré obtidos na Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) relativas ao terminal Marítimo de Imbetiba (estação de medição mais próxima das áreas de estudo) para os dias de coleta.

Tabela 3. Amplitude de maré no Porto de Imbetiba (Macaé) nos dias das coletas realizadas no Estuário do rio Macaé e Estuário do rio das Ostras na maré de quadratura (Q) e sizígia (S) (Fonte: Diretoria de Hidrografia e Navegação).

Estuário do rio Macaé				Estuário do rio das Ostras			
01/10/14 (Q)		07/10/14 (S)		16/10/14 (Q)		24/10/14 (S)	
Hora	Alt.(m)	Hora	Alt.(m)	Hora	Alt.(m)	Hora	Alt.(m)
1:45	0.4	1:45	1.4	3:02	0.5	2:51	1.3
7:58	0.9	8:08	0.0	10:41	0.9	9:11	0.2
14:38	0.6	14:11	1.3	16:11	0.7	15:00	1.3
19:36	0.9	20:23	0.1	21:43	0.8	21:26	0.1

Na porção fluvial e estuarina foram realizadas medições *in situ* de temperatura, salinidade, condutividade, pH e oxigênio dissolvido utilizando uma sonda multiparâmetros YSI 550. Na porção fluvial, a vazão (m^3/s) do rio Macaé e dos rios Iriry e Jundiá foi medida através da obtenção da área da seção transversal (comprimento e a profundidade de cada seção transversal) e a velocidade da corrente de água medida por um correntômetro mecânico (General Oceanics). No estuário do rio Macaé as medições dos fluxos de água nas marés de enchente de vazante ao longo de cada ciclo de maré de sizígia e quadratura foram realizadas utilizando um correntômetro de efeito Doppler (ADCP – Acoustic Doppler Current Meter Profiler marca Sontek de 1,5 MHz) ancorado a um barco que percorreu a seção transversal do estuário. Devido à reduzida profundidade e a limitação do uso do ADCP, no estuário do Rio das Ostras os fluxos de água foram medidos através da medição da área da seção transversal e da velocidade da corrente utilizando o correntômetro mecânico.

Amostras de água foram coletadas na porção fluvial e nos estuários utilizando uma garrafa do tipo Van Dorn e transferidas para frascos de polietileno (5 litros). Devido à reduzida profundidade na porção fluvial de ambas as bacias e no estuário do rio das Ostras, as amostras foram coletadas somente em uma profundidade (sub - superfície) enquanto que no estuário do rio Macaé foram coletadas amostras na sub-superfície e no fundo da coluna d'água. As amostras de água foram filtradas imediatamente em filtro de acetato de celulose (poro $0,45 \mu\text{m}$) previamente pesados

para análises do material particulado em suspensão (MPS), e armazenadas em frascos de polietileno para as análises de nutrientes dissolvidos. As amostras que não foram filtradas foram armazenadas para as análises de nutrientes na fração total. Ambas as amostras foram armazenadas mantidas refrigeradas e no escuro. Assim que foi realizada cada campanha as amostras foram transportadas para o laboratório para a realização das análises. Outras alíquotas foram filtradas em filtros de fibra de vidro GF/F (poro 0,8 μm) e o material retido nos filtros utilizados para análise de chl *a*.

3.3. Análises Laboratoriais

3.3.1. Material Particulado em Suspensão

Para a determinação do MPS, alíquotas de volumes conhecidos das amostras de água foram filtradas em filtros pré-pesados de membrana de éster de celulose de porosidade 0,45 μm , através do método gravimétrico (Strickland & Parsons, 1972). Após a filtração, os filtros foram secos em estufa a 60°C por 24 horas, sendo novamente pesados. As concentrações do MPS (mg/L) foram obtidas a partir da diferença de peso dos filtros antes e após a filtração em relação ao volume filtrado.

3.3.2. Nutrientes

Os nutrientes dissolvidos (NH_4^+ , NTD e PO_4^{3-}) e totais (PT e NT) foram determinados através de processos colorimétricos clássicos, com leitura feita em espectrofotômetro duplo-feixe Shimadzu UV 160 A, conforme metodologia descrita abaixo.

- NH_4^+ : método do azul do indofenol, corrigido pelo efeito da salinidade, adaptado de Strickland & Parsons (1972). O complexo colorido foi lido por espectrofotômetro em cubeta de 5 cm de trajeto óptico. Os resultados foram expressos em mg/L.
- NTD: Combustão pirolítica a 450 °C em equipamento TOC-Vcpn Analyzer – Shimadzu. Os resultados foram expressos em mg/L.
- PO_4^{3-} : os íons fosfato foram determinados pela formação do complexo colorido após reação com molibdato de amônio segundo método adaptado de Strickland

& Parsons (1972). O complexo colorido foi lido em cubeta de 5 cm de trajeto óptico. Os resultados foram expressos em mg/L.

- PT: as amostras foram digeridas com persulfato de potássio em autoclave, a 120°C por 45 min. Após a digestão o fósforo foi determinado colorimetricamente após reação com o molibdato de amônio, conforme Carmouze (1994). Os resultados foram expressos em mg/L.
- NT: as amostras são digeridas com persulfato de potássio em autoclave, a 120°C por 45 min e analisadas por combustão pirolítica a 450°C em equipamento TOC-Vcpn Analyzer – Shimadzu. Os resultados foram expressos em mg/L.

3.3.3. Clorofila *a*

Para a determinação de clorofila *a*, alíquotas de volume conhecido das amostras foram filtradas em filtro de fibra de vidro GF/F com 25 mm de diâmetro, sendo os filtros extraídos com 10 ml de etanol 90% (v/v) aquecido (Nusche & Palme, 1975) por 24 horas no escuro dentro de congelador. As amostras assim extraídas foram lidas em espectrofotômetro em cubeta de 1 cm de trajeto óptico. Os resultados foram expressos em µg/L.

3.4. Medição de Fluxos e Balanço de materiais

Assume-se neste estudo como transporte residual (instantâneo) o transporte de massa (g/s) obtido pelo produto da concentração (mg/L) de nutrientes e MPS pela respectiva vazão da água (m³/s). O transporte total por ciclo de maré (g/s por ciclo de maré) foi calculado através da integração do transporte residual pelo tempo total da campanha, sendo os valores ponderados nos instantes inicial (t_0) e final (t_n) pelo fator $\frac{1}{2}$, pois pressupõe-se que cada um desses valores sejam representativos somente intervalos de tempo $(\frac{1}{2}) \Delta t$ (figura 4) (Signorin et al., 2010; Miranda et al., 2012). Foram utilizadas médias temporais a partir dos dados horários dos perfilamentos na coluna de água, adotando por convenção os balanços de exportação (-) e de retenção (+).

O procedimento de obtenção dos valores médios assume que a duração da amostragem é igual ao de um período de maré T , obtido pela fórmula $T = n \cdot \Delta t$, de forma a obter n intervalos iguais de amostragem (“ n ” representa o número de medidas ao longo de um ciclo de maré, por exemplo, $n = 13$). O “ k ” representa um instante qualquer

para designar e exemplificar qual o intervalo de tempo considerado no cálculo da média temporal. Sendo Δt o intervalo de amostragem, é necessário um número $n+1$ de medidas que no presente estudo é referente a estuários com regime semidiurno equivalente a 13h. Onde $P(Z, t)$ corresponde ao valor do fluxo residual em função da profundidade (Z) e do tempo (t) e símbolo $\langle P(Z_j) \rangle$ corresponde à média temporal.

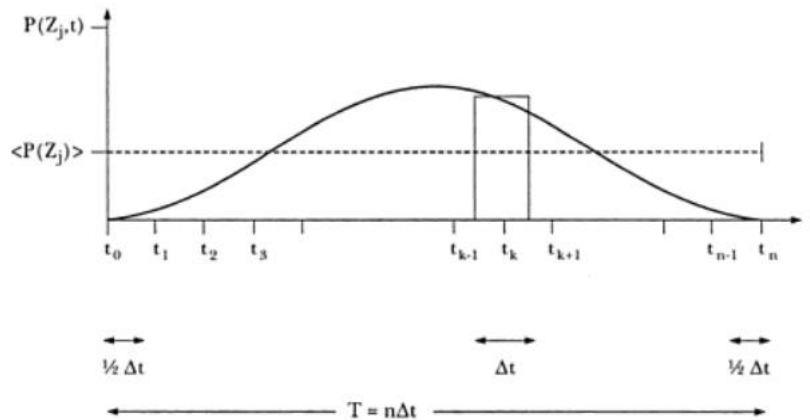


Figura 4. Seqüência esquemática de medidas em função do tempo. No eixo vertical tem-se a média temporal ponderada $\langle P(Z_j) \rangle$ e no eixo horizontal a duração da amostragem (T) ao longo de um ciclo de maré (Miranda et al, 2012)

3.5. Cálculo da Estratificação e Número de Saturação

A classificação adotada no presente estudo se baseou na classificação de Pritchard (1955) e no Diagrama Estratificação-Circulação deduzido por Hansen & Rattray (1965), cujos fundamentos teóricos foram confirmados com a introdução dos parâmetros alternativos por Prandle (1985). A estratificação é definida pela razão $\delta S / S$, onde $\delta S = S_f - S_s$ é a diferença entre os valores de salinidade de fundo (S_f) e de superfície (S_s) e S é o valor médio da salinidade na coluna d'água. Enquanto que a circulação é determinada pela razão U_s / \bar{u} , onde U_s é o valor médio do componente longitudinal de velocidade na superfície e \bar{u} é a média da velocidade na coluna de água, utilizada quando não se tem o conhecimento adequado da descarga fluvial. No entanto, como o parâmetro circulação (u_s/u_f) não era conhecido, adotou-se a correlação do parâmetro estratificação ($\delta S/S$) de acordo com o Prandle (1985) descrito por Miranda et al., (2012). Cujo número de estratificação (S_f) foi obtido através da equação:

$$\delta s/\bar{s} = 4 S_t^{-0.55}$$

3.6. Análises dos dados

As variáveis foram expressas na forma de médias, desvio padrão e valores máximos e mínimos. A correlação de Spearman foi utilizada para avaliar a relação entre as variáveis, sendo significativas ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$). A Análise de Componentes Principais (PCA) foi realizada para avaliar quais variáveis tiveram maior importância na variação das características de cada estuário. A diferença dos parâmetros analisados entre a superfície e fundo da coluna d'água, entre as marés e entre os estuários foram obtidas através do teste t Student. Os testes foram realizados utilizando o programa Statistica Versão 7.0 (StatSoft Inc.; 2007).

4. RESULTADOS

4.1. Parâmetros Climatológicos

Em relação à pluviosidade, o ano de 2014 destacou-se por ser um ano extremamente seco. Tal irregularidade pode ser identificada através dos registros de médias históricas anuais dos índices pluviométricos referentes a todo o país. Através do mapa de desvio da precipitação acumulada para o mês de outubro de 2014, referente à estação meteorológica do Município de Macaé (localizada em Iguaba Grande – longitude: $41^{\circ}49'W$; latitude: $22^{\circ}23'S$) destacou-se que neste mês as chuvas observadas situaram-se abaixo da Normal Climatológica (anomalias negativas) (Anexo 1 e 2) (INMET, 2016).

4.2. Vazão e Hidroquímica das Bacias Hidrográficas e Estuários

Os parâmetros físicos, químicos e biológicos analisados nas campanhas realizadas na estação seca, relativo ao aporte fluvial e à dinâmica do estuário do rio Macaé e Rio das Ostras durante as marés de quadratura e sizígia são apresentados nas tabelas 3 e 4. Quando comparado à vazão de ambas as porções fluviais podem-se observar maiores vazões do rio Macaé ($10 - 14 \text{ m}^3/\text{s}$) em relação aos aportes dos rios

Iriry (0,68 – 0,77 m³/s) e Jundiá (2,21 – 2,56 m³/s) refletindo a diferença da área de drenagem entre as duas bacias no período de estiagem. Quando comparado ao aporte de água da bacia com os fluxos de água transportados no estuário, pode-se observar maiores fluxos de água nos estuários do rio Macaé (média de cada ciclo de maré: 21 – 46 m³/s) e rio das Ostras (0,9 – 7,2 m³/s), com maiores fluxos ocorrendo na maré de sizígia.

Quando comparados os parâmetros físico-químicos, podemos observar águas fluviais com razoável oxigenação (>5mg/L; ANA, 2004), embora com menores valores na quadratura nos rios Iriry e Jundiá que tiveram águas mais ácidas em relação às águas neutras do rio Macaé. As concentrações médias de oxigênio dissolvidos no presente estudo se mantiveram no intervalo entre 4,6 a 10mg/L, para a extremidade fluvial e estuários, acima dos valores de hipóxia. Estudos anteriores realizados no estuário do rio Macaé, revelam cenários nos quais os valores de OD variam desde < 5 mg/L (Pinheiro, 2008) até 6,27 a 9,52 mg/L (Catelani, 2014) para o período de seca.

Os valores de pH nos estuários do rio Macaé e rio das Ostras mantiveram-se dentro dos limites efetivos da vida marinha de acordo com ANZECC (2000) segundo o qual estes valores devem ser compreendidos na faixa de 6,5 a 9,0. O estuário do rio das Ostras apresentou maior variação no pH (6,9-8,4) em virtude do sistema “tampão” natural de águas salinas, mais pronunciado na maré de quadratura, apresentando na sizígia valor tipicamente marinho (7,4 a 8,5) (Dickson & Millero, 1987, apud Eschrique 2011).

As concentrações de MPS foram similares nos rios amostrados. Quando comparado às porções estuarinas pode-se observar que rio das Ostras tem águas com salinidade típica do mar, enquanto que em Macaé o estuário variou de águas salobras a salinas (2,6 – 31). As concentrações de oxigênio dissolvido mostram águas razoavelmente bem oxigenadas, embora no rio das Ostras podem-se observar menores valores deste parâmetro. O mesmo padrão foi observado para o MPS com valores médios similares nos rios analisados. Comparando a porção fluvial e estuarina das duas áreas, pode-se observar um aumento da concentração de oxigênio e MPS no estuário do rio Macaé em relação ao rio, enquanto que no rio das Ostras as concentrações de oxigênio foram similares entre as áreas na coleta de quadratura e menores no estuário na coleta de sizígia. Em relação ao MPS, também foi observado um aumento na concentração no estuário em relação aos rios.

Apesar da concentração de nutrientes não ter apresentado diferenças em relação à maré nas amostras fluviais em estudo, verificou-se maiores concentrações de nutrientes (com destaque para os nitrogenados) nos rios Jundiá e Iriry em comparação com o rio Macaé. Isso explica as altas razões N: P observadas nos rios Iriry (59:1 e 82:1) e Jundiá (39:1 e 53:1) na quadratura e sizígia, respectivamente. A razão N: P média para o rio Macaé na quadratura (6:1) e sizígia (4:1) foi menor que a razão de Redfield (16:1) e seu respectivo estuário (9:1); o que o difere dos tributários do rio das Ostras, que apresentaram relações molares superiores as estabelecidas por Redfield e ao seu estuário (11:1 e 15:1 na quadratura e sizígia, respectivamente). O maior aporte fluvial no estuário do rio Macaé se estendeu para demais parâmetros (MPS, nutrientes e Chl *a*). Em contraste, o estuário do rio das Ostras apresentou menores concentrações de nutrientes (com exceção do PO_4^{3-} cujos valores foram superiores no estuário) e chl *a* (2,53 $\mu\text{g/L}$ e 1,68 $\mu\text{g/L}$) que os rios tributários em estudo. Embora não existam dados sobre o Rio Iriry para uma possível comparação, pode-se constatar que o Rio Jundiá, nesta maré, apresentou valores médios superiores de chl *a* (21,6 $\mu\text{g/L}$) aos encontrados no Rio Macaé (2,95 $\mu\text{g/L}$) e estuários do Rio Macaé (5,5 $\mu\text{g/L}$) e Rio das Ostras (2,1 $\mu\text{g/L}$), sendo classificado de acordo com o índice de estado trófico de Lamparelli (2004), como supereutrofizado (65,42).

Tabela 4. Valores médios, desvio padrão – DP, mínimo e máximo dos parâmetros físicos, químicos e biológico na porção fluvial (n=2) e no estuário do Rio Macaé (n=52) nas marés de quadratura e sizígia, para o período de seca. Temperatura (Temp. °C); Vazão (m³/s); Material Particulado em Suspensão (MPS, mg/L); Oxigênio Dissolvido (O₂. mg/L), Nitrogênio Total (NT) e Total Dissolvido (NTD) (mg/L); Amônio (NH₄⁺ (mg/L); Fósforo Total - PT e Ortofosfato - PO₄³⁻ (mg/L); Razão Nitrogênio Total e Fósforo Total (N:P); clorofila - Chla (µg/L). Limite de detecção para o ortofosfato = LD ≤ 0,0024 mg/L.

	Temp.	Vazão	Sal	pH	O ₂	MPS	NT	NTD	NH ₄ ⁺	PT	PO ₄ ³⁻	N:P	Chla
Quadratura													
Rio	25,8	14,0	0	7,0	6,2	6,5	0,39	0,20	0,020	0,070	0,030	5,5	3,21
Estuário													
Média	23,9	21,8	18	8,1	7,1	24,9	0,87	0,68	0,30	0,19	0,06	9,81	6,95
DP	1,92	22,9	10	0,3	1,1	13,2	0,30	0,30	0,26	0,06	0,06	3,00	2,88
Min.	21,1	1,28	5,8	7,6	4,5	9,5	0,41	0,32	0,01	0,13	<LD	5,04	1,70
Max.	26,8	56,1	31	8,5	8,8	48,4	1,70	1,34	0,82	0,39	0,26	16,63	12,42
Sizígia													
Rio	21,1	10,2	0	6,0	6,1	5,1	0,27	0,20	0,050	0,070	0,020	3,9	2,69
Estuário													
Média	21,6	46,7	19	7,9	7,9	39,7	0,95	0,69	0,40	0,30	0,11	7,28	3,96
DP	0,8	22,4	11	0,3	0,8	19	0,39	0,36	0,50	0,10	0,06	2,85	4,28
Min.	20,1	1,58	2,6	7,6	6,7	16,5	0,37	0,16	0,01	0,16	0,06	3,28	2,63
Max.	22,9	68,7	31	8,4	10	83,8	1,84	1,51	1,59	0,56	0,27	14,32	16,54

Tabela 5. Valores médios, desvio padrão – DP, mínimo e máximo dos parâmetros físicos, químicos e biológico na porção fluvial (n=2) e no estuário do Rio das Ostras (n= 52) nas marés de quadratura e sizígia, para o período de seca. Temperatura (Temp. °C); Vazão (m³/s); Material Particulado em Suspensão (MPS, mg/L); Oxigênio Dissolvido (O₂ . mg/L), Nitrogênio Total (NT) e Total Dissolvido (NTD) (mg/L); Amônio - NH₄⁺ (mg/L) ; Fósforo Total - PT e Ortofosfato - PO₄³⁻ (mg/L); Razão Nitrogênio Total e Fósforo Total (N:P); clorofila - Chla (µg/L). Limite de Detecção para N-Amoniacal = LD ≤ 0,016 mg/L.

	Temp.	Vazão	Sal	pH	O ₂	MPS	NT	NTD	NH ₄ ⁺	PT	PO ₄ ³⁻	N:P	Chla
Quadratura													
Rio Iriry	25	0,68	0,3	6,5	5,0	5,1	3,26	2,71	0,74	0,09	0,05	59	-
Rio Jundiá	27	2,21	0,1	5,0	4,6	5,1	3,85	3,2	1,76	0,10	0,06	39	-
Estuário													
Média	25,1	0,90	35	6,9	5,4	28	0,78	0,70	0,050	0,18	0,13	10,6	2,53
DP	0,98	1,39	0,9	0,33	0,57	5,6	0,37	0,31	0,050	0,09	0,04	4,56	1,75
Min.	23,5	0,06	33,3	6,3	4,2	20,6	0,23	0,27	0,010	0,09	0,09	2,46	0,05
Max.	26,5	4,54	36,2	7,3	6,6	46,2	1,67	1,49	0,16	0,46	0,22	20,94	6,08
Sizígia													
Rio Iriry	23,9	0,77	0,4	4,2	7,0	5,1	2,17	1,83	0,99	0,10	0,02	82	-
Rio Jundiá	25,5	2,56	19	5,6	10	-	4,39	3,4	1,73	0,08	0,08	53	21,6
Estuário ^o													
Média	23,2	7,2	34	8,4	5,5	39	1,13	0,84	0,080	0,018	0,12	14,93	1,68
DP	0,7	3,38	2,2	0,4	1,6	7,4	0,80	0,68	0,1	0,07	0,02	10,04	1,72
Min.	22,3	2,12	31,1	7,8	2,7	26	0,15	0,17	<LD	0,09	0,09	1,32	0,10
Max.	24,6	11,1	36,7	8,8	7,5	55	2,60	2,06	0,2	0,35	0,14	39,84	5,98

4.3. Estuário do Rio Macaé e Rio das Ostras: variação ao longo do ciclo de maré dos parâmetros hidrológicos e hidroquímicos

Os estuários do rio Macaé e rio das Ostras apresentam baixa profundidade (máxima de 3,8 e 2,5 m, respectivamente) sendo caracterizados como tipo micromaré e alto regime de ondas com predominância semidiurna (Amaral, 2003; Knoppers et al., 2009; Prioste, 2007). A coleta de dados foi distribuída de forma horária ao longo de um ciclo de maré (13 h) que abrangeu momentos de maré (preamar/baixa-mar) na quadratura e sizígia.

Na campanha realizada no estuário do rio Macaé, na maré de quadratura, este apresentou uma preamar às 8 h, seguida de baixa-mar às 14 h, com nova preamar próxima às 18 h. Na sizígia este cenário se inverteu com a baixa-mar no início da campanha às 8 h e a preamar às 14 h. Em relação à campanha realizada no estuário do Rio das Ostras, na quadratura, observou-se uma preamar às 11 h, seguida de baixa-mar às 16 h. Na sizígia se observou uma baixa-mar às 9 h, seguida de preamar às 15 h.

A velocidade máxima das correntes de enchente e vazante foi semelhante para o estuário do rio Macaé, em torno de $+0,4 \text{ m.s}^{-1}$ e $-0,4 \text{ m.s}^{-1}$ (na quadratura) e de $+0,6 \text{ m.s}^{-1}$ e $-0,6 \text{ m.s}^{-1}$ (na sizígia), em contraste com o de rio das Ostras cujas velocidades máximas de corrente foram de $+0,1 \text{ m.s}^{-1}$ e $-9,0 \text{ cm.s}^{-1}$ (na quadratura) e de $+0,3 \text{ m.s}^{-1}$ e de $-0,3 \text{ m.s}^{-1}$ na enchente e vazante, respectivamente.

Em relação a maré de quadratura, o padrão observado neste estudo para estuário do rio Macaé foi estratificação da coluna d'água, com diferenciação no gradiente dos parâmetros ambientais entre superfície e fundo com maiores valores de salinidade, condutividade e MPS no fundo da coluna d'água ($p < 0,05$). Em contraste com o padrão observado para o estuário do Rio das Ostras, no qual se podem observar, na mesma maré, altos valores de salinidade (33-36) sem apresentar diferenças entre superfície e fundo da coluna d'água ($p > 0,05$) (Figura 5).

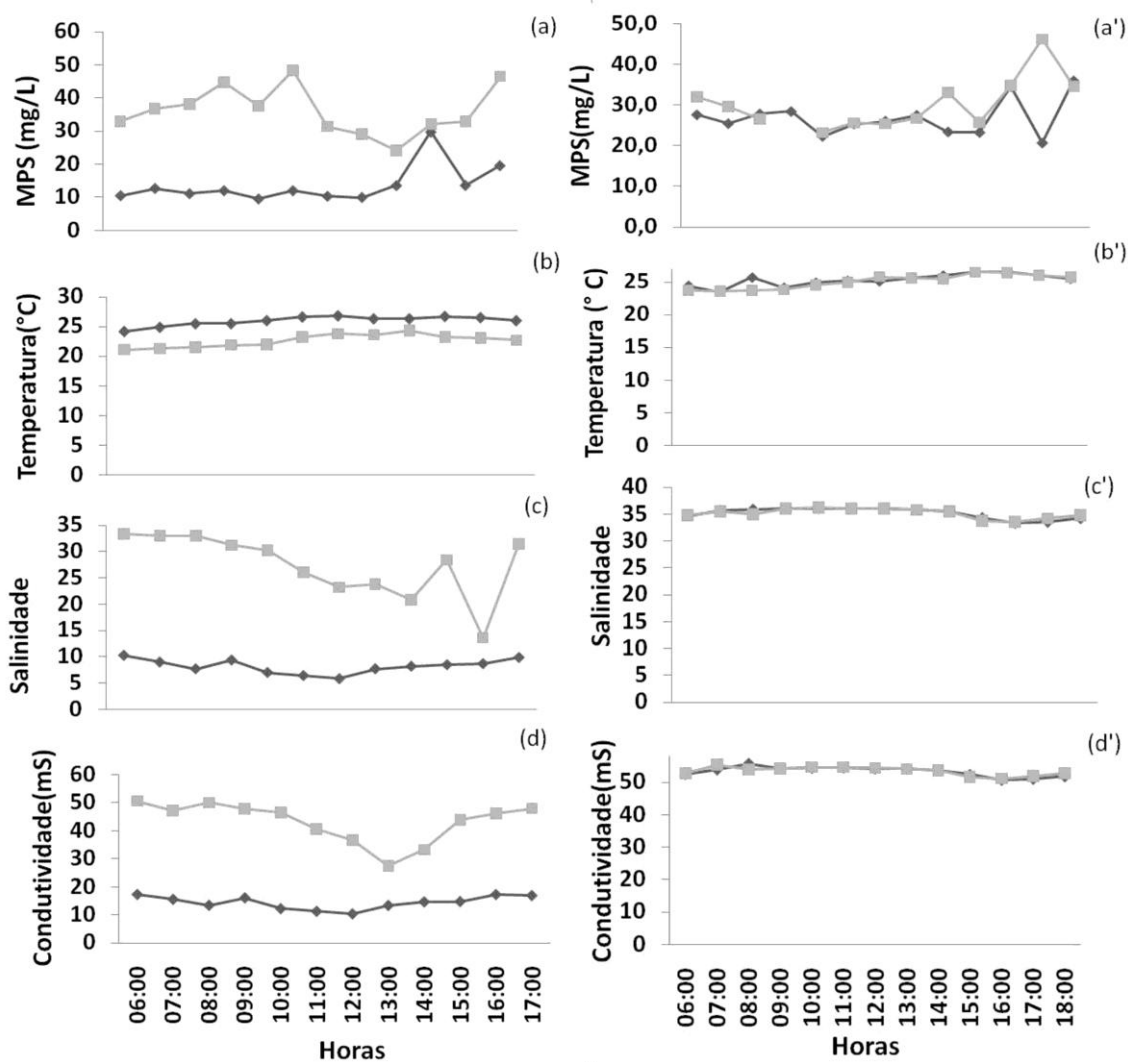


Figura 5. Distribuição temporal dos parâmetros ambientais na maré de quadratura : (a e a') MPS, (b e b') Temperatura, (c e c') Salinidade, (d e d') Condutividade Na esquerda - estuário do rio Macaé ; na direita- estuário do rio das Ostras. Profundidade da coleta: linha escura =superfície; linha clara= fundo.

Na maré de sizígia, o estuário do rio Macaé mostrou um padrão de distribuição homogênea da coluna d'água, com forte controle de maré sobre a variação da salinidade com valores máximos durante a enchente (31) e mínimos na vazante (2,6). O mesmo padrão da salinidade se repete para os demais parâmetros (MPS, temperatura e condutividade). Apenas no intervalo entre 8 e 10 h foi possível observar uma pequena estratificação química na coluna d'água que durante o restante do experimento manteve comportamento vertical homogêneo. Já em relação ao estuário do rio das Ostras foi

observado ao longo da distribuição temporal um comportamento similar ao da quadratura em relação a ausência de estratificação da coluna d'água com pequena variação nas concentrações de salinidade (31 a 36,5) (Figura 6).

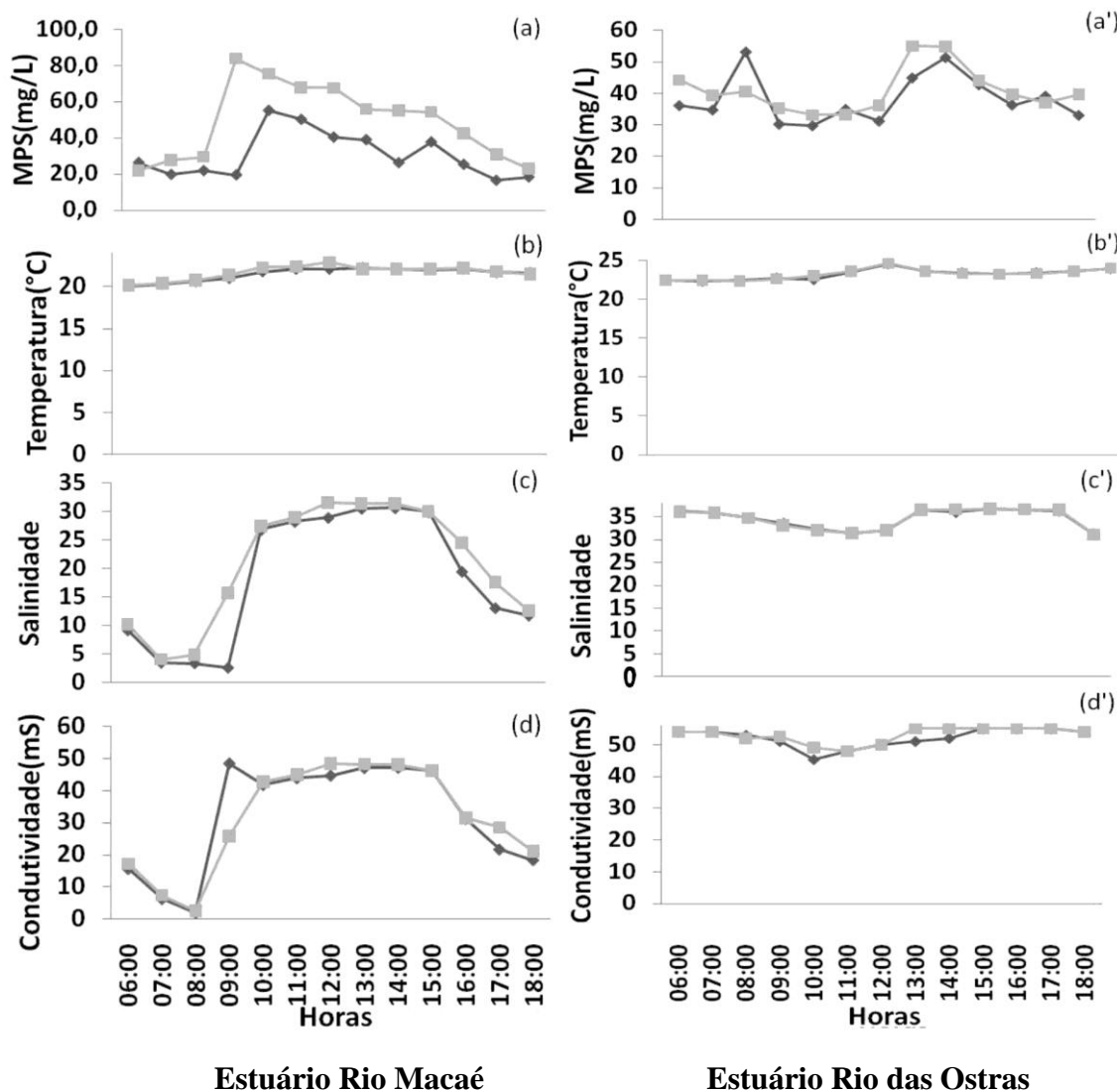


Figura 6. Distribuição temporal dos parâmetros ambientais na maré de sizígia : (a e a') MPS, (b e b') Temperatura, (c e c') Salinidade, (d e d') Condutividade Na esquerda - estuário do rio Macaé ; na direita- estuário do rio das Ostras. Profundidade da coleta: linha escura =superfície; linha clara= fundo.

Com o intuito de evidenciar diferenças significativas dos parâmetros analisados entre a superfície e fundo da coluna d'água entre os estuários do rio Macaé e rio das Ostras foram realizados Test t Student/ Many Whitney (Anexo 3, 4, 5 e 6). Segundo estes testes, apenas o estuário do rio Macaé, na maré de quadratura, apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre superfície e fundo em relação aos parâmetros analisados (Figura 7).

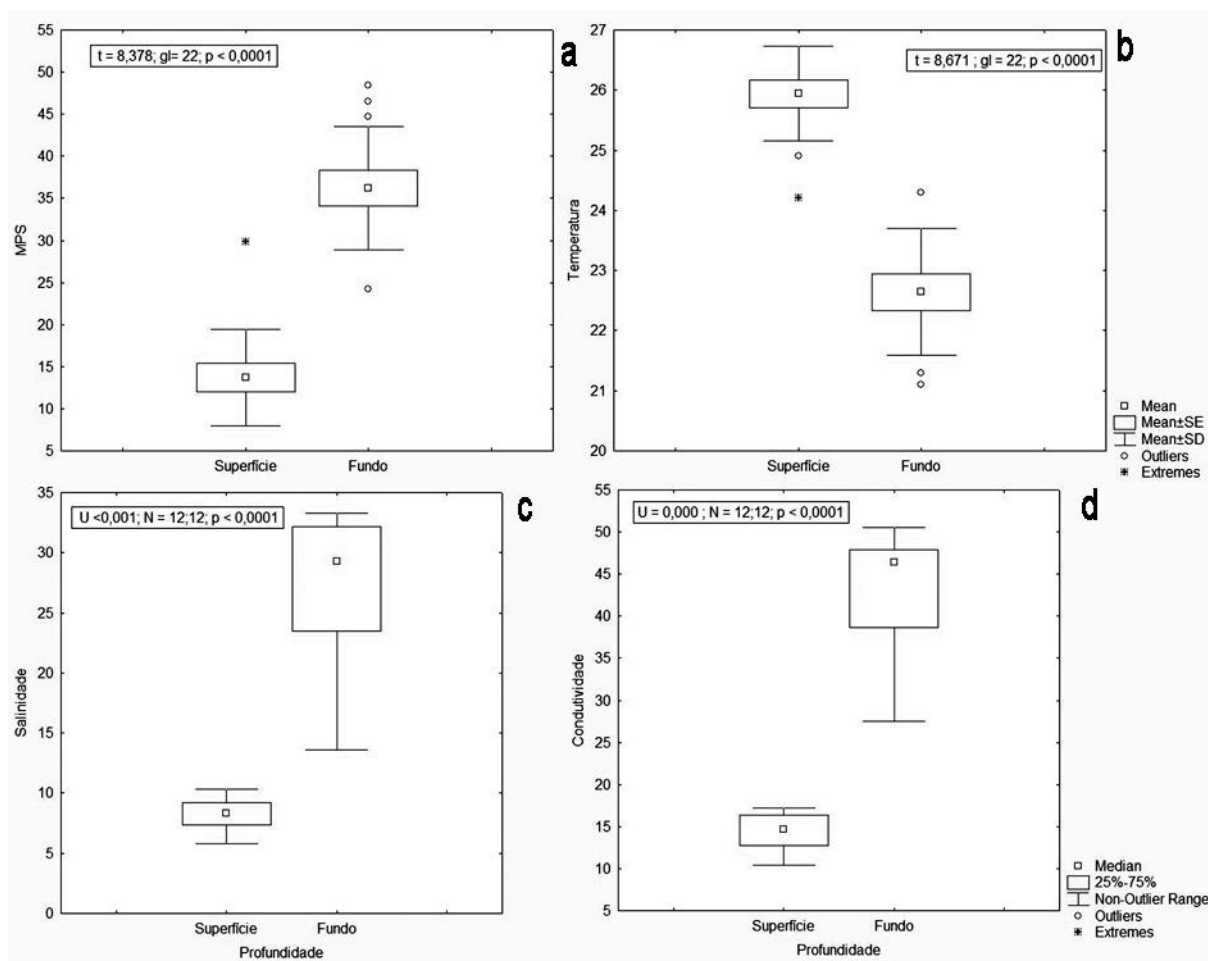


Figura 7. Faixa de variação de parâmetros físico-químicos: (a) MPS, (b) Temperatura, (c) Salinidade e (d) Condutividade, entre superfície e fundo do estuário do rio Macaé, na maré de quadratura, segundo teste t para os gráficos a e b, e segundo o teste u nos gráficos c e d.

Com base na razão de fluxo (R/P) a hidráulica estuarina do rio Macaé no período amostrado foi caracterizada como altamente estratificada na quadratura (R/P = 2,50) e parcialmente misturada na sizígia (R/P = 0,81). Já o estuário do rio das Ostras apresentou discrepâncias entre a razão R/P (3,66 e 11,28, na quadratura e sizígia, respectivamente) e o padrão de distribuição temporal observado. Com base na classificação de Hansen & Rattray (1966) descrita por Miranda et al., (2012) foi possível observar condições hidrodinâmicas distintas no que concerne a estratificação em relação ao estuário do rio Macaé, cujos valores da razão $\delta S / S$ foram superiores a 1 na maré de quadratura ($\delta S = 1,06$) e inferiores a 0,25 na sizígia ($\delta S = 0,12$) indicando a condição de altamente estratificado e verticalmente homogêneo na quadratura e sizígia, respectivamente. O que não se observou em relação ao estuário do rio das Ostras, que apresentou um comportamento muito semelhante nas duas marés consecutivas com valores da razão $\delta S / S$ inferiores a 0,1 ($\delta S = -0,0079$ e 0) na quadratura e sizígia, respectivamente, sendo classificado como verticalmente homogêneo. O diagrama de Prandle (1985) (figura 8) descrito por Miranda et al., (2012) mostrou a estratificação ao longo de um ciclo de maré (13 h) somente para o estuário do rio Macaé na quadratura, confirmando as observações obtidas através dos padrões temporais.

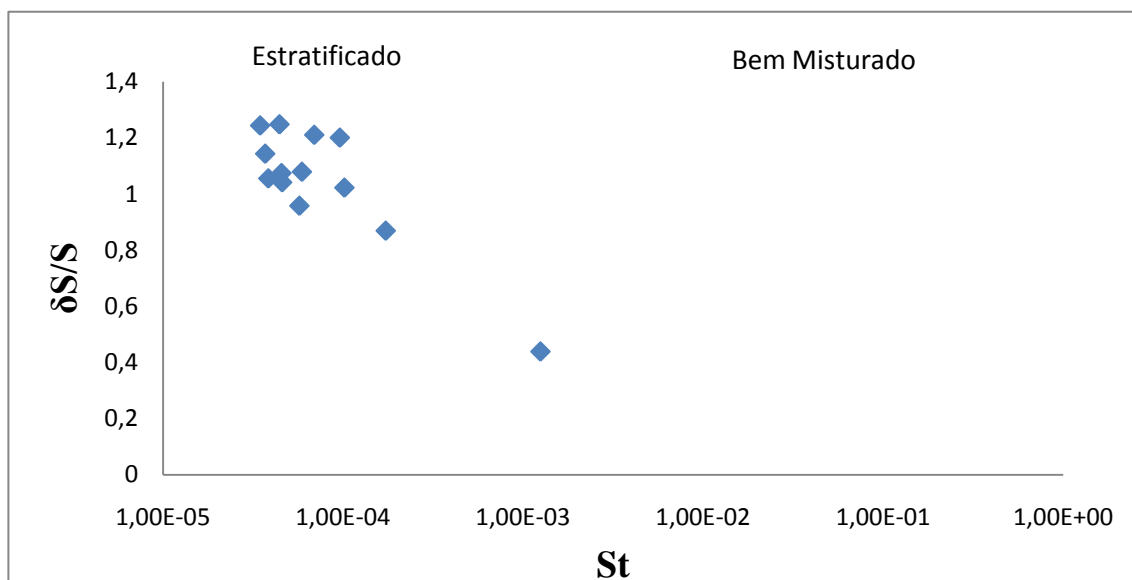
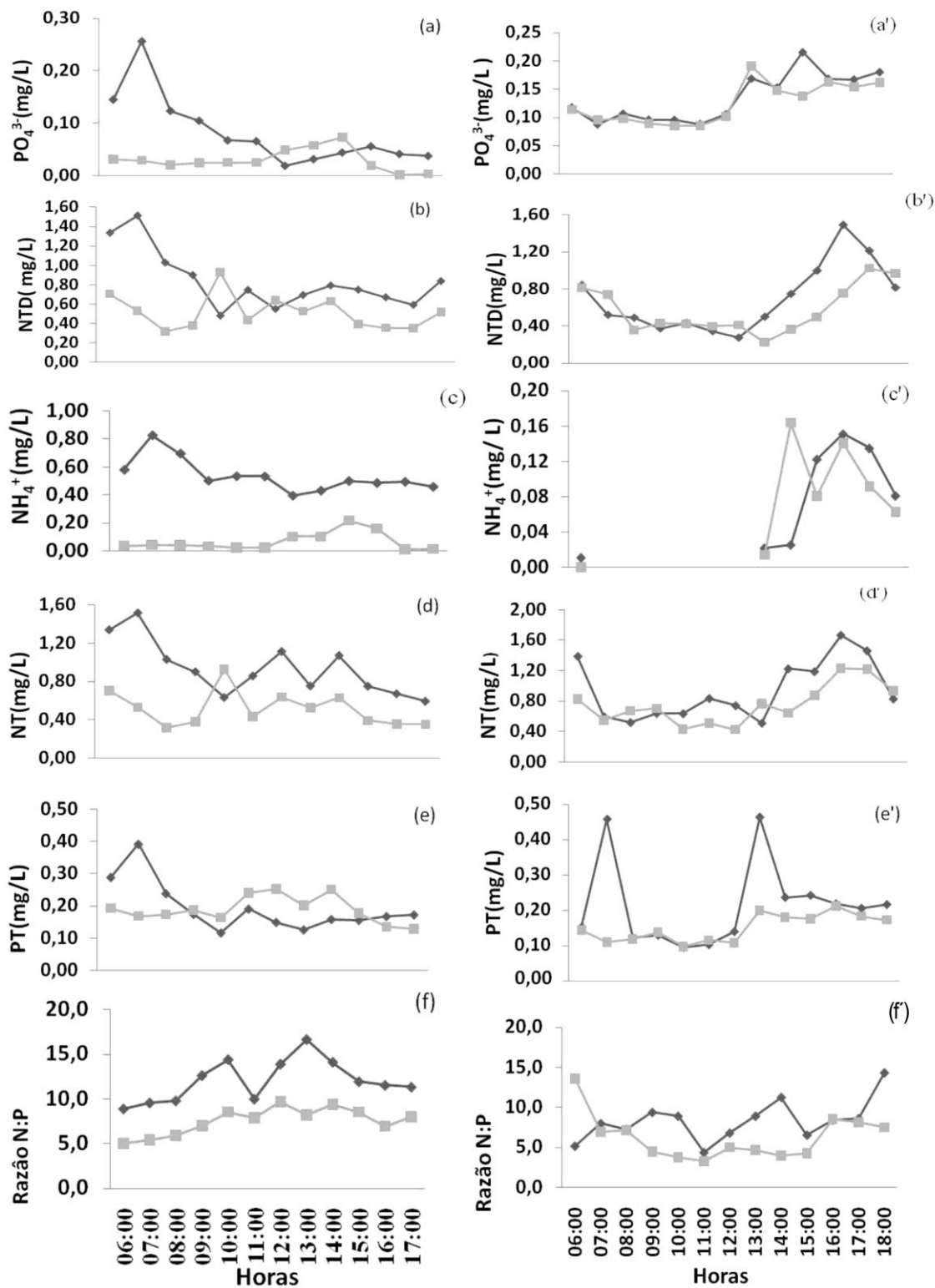


Figura 8. Diagrama de classificação de Prandle do parâmetro estratificação $\delta S / S$ em função do número de estratificação St para o estuário do rio Macaé em maré de quadratura.

4.4. Estuário do Rio Macaé e Rio das Ostras: variação ao longo do ciclo de maré dos nutrientes dissolvidos e totais

As concentrações dos nutrientes (PO_4^{3-} , PT, NTD, NT e NH_4^+) e a razão N:P, ao longo do ciclo de maré de quadratura e sizígia, na superfície e fundo da coluna d'água são apresentadas nas figuras 9 e 10. Em relação ao estuário do rio Macaé, na maré de quadratura, pode-se observar um pico de nutrientes entre 6 h e 8 h, na superfície da coluna d'água, durante a enchente, com uma tendência de queda na concentração na vazante. Em relação ao estuário do rio das Ostras observou-se um padrão inverso ao descrito acima, com menores concentrações de nutrientes durante a maré enchente e uma tendência de aumento nas concentrações no intervalo entre 13 h e 16 h, durante a vazante, com pico de nutrientes próximo à baixa-mar. Destacam-se os valores de NH_4^+ , que ficaram abaixo do limite de detecção na enchente, apresentando uma tendência de aumento durante a vazante.

Ao se analisar a razão N: P, como estimativa do grau de fertilização do sistema estuarino, verificou-se para o estuário do rio Macaé, na maré de quadratura (Fig. 8f), maiores valores na superfície (10:1) que no fundo da coluna d'água (7:1), com uma maior razão (16:1) na vazante, o que pode estar associado com a descarga de água doce no sistema. Em relação ao estuário do rio das Ostras (Fig. 8f) este padrão só se observou no período de 9 às 15 h, sendo as razões médias N:P referentes ao período amostrado menores que as estabelecidas por Redfield (11:1), com valores oscilando entre 3:1 a 21:1.



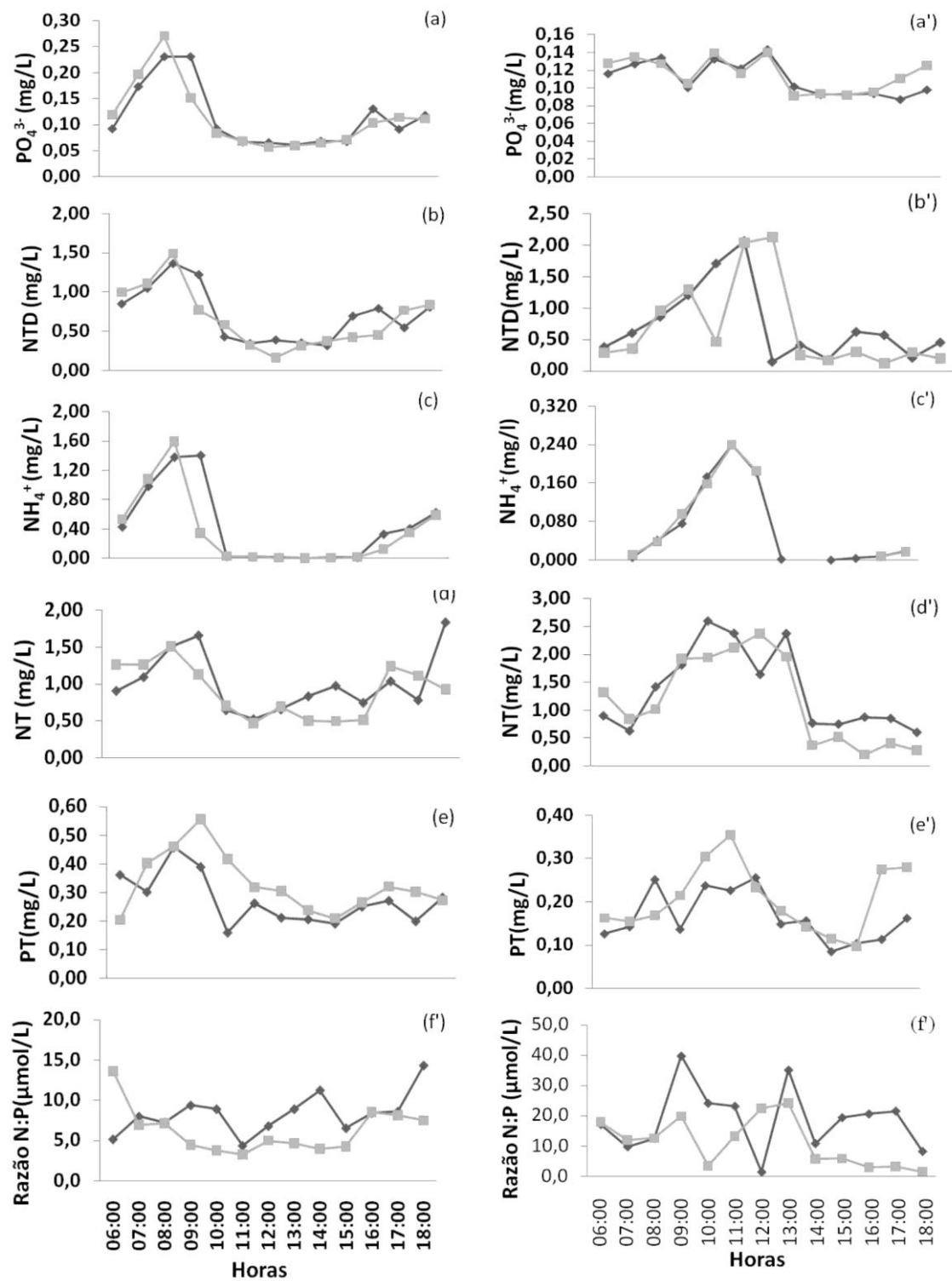
Estuário Rio Macaé

Estuário Rio das Ostras

Figura 9. Distribuição temporal dos nutrientes dissolvidos, totais e razão N:P na maré de quadratura : (a e a') PO_4^{3-} , (b e b') NTD, (c e c') NH_4^+ , (d e d') NT, (e e e') PT, (f e f') Razão N:P. À esquerda - estuário do rio Macaé ; à direita- estuário do rio das Ostras. Profundidade da coleta: linha escura =superfície; linha clara= fundo.

Na maré de sizígia, em relação ao estuário do rio Macaé se observou um padrão no qual há um pico de nutrientes dissolvidos e totais na baixa-mar, com subsequente queda durante enchente. Por sua vez, para o estuário do rio das Ostras as maiores concentrações de nutrientes nitrogenados ocorreram entre 10 h e 12 h, durante a enchente. Enquanto que as menores concentrações foram observadas a partir das 13 h, na preamar; com os valores de NH_4^+ abaixo do limite de detecção do aparelho. Em relação aos nutrientes fosfatados pode-se observar que enquanto os valores de PO_4^{3-} (fig.9 a') se mantiveram entre o intervalo de 0,12 a 014 mg/L até as 12 h, início da preamar; os valores de PT (fig.9e') oscilaram entre 0,10 à 0,35 mg/L com suas concentrações ligeiramente maiores no fundo da coluna d'água, exceto às 17h que apresentou uma diferença expressiva entre superfície (0,09 mg/L) e fundo (0,28 mg/L).

A razão média N:P para os estuários do Rio Macaé (7:1) e Rio das Ostras (15:1) foi menor que a estabelecida por Redfield (N:P <16:1), o que sugere ser o nitrogênio limitante nestes sistemas estuarinos. Ao se analisar a superfície e fundo destes dois sistemas estuarinos (Figuras 9f e 9f') pode-se destacar pequenas oscilações (3:1 a 14:1) em relação ao estuário do Rio Macaé mantendo sempre a razão <16:1, em contraste com o padrão observado para o estuário do Rio das Ostras no qual as razões oscilaram entre 2:1 a 40:1 com maiores valores observados na superfície da coluna d'água, destacando que na sizígia, os valores foram em média (19:1) superiores aos valores na quadratura (12:1) e às relações estabelecidas por Redfield (N: P>16:1).



Estuário Rio Macaé

Estuário Rio das Ostras

Figura 10. Distribuição temporal dos nutrientes dissolvidos, totais e razão N:P na maré de sizígia: (a e a') PO_4^{3-} , (b e b') NTD, (c e c') NH_4^+ , (d e d') NT, (e e e') PT, (f e f') Razão N:P. À esquerda - estuário do rio Macaé ; à direita- estuário do rio das Ostras. Profundidade da coleta: linha escura = superfície; linha clara = fundo.

4.5. Estuário do rio Macaé e rio das Ostras: Clorofila *a*

Os padrões de distribuição temporal da concentração de chl *a* no estuário do Rio Macaé e Rio das Ostras, na maré de quadratura e sizígia, estão representados na figura 8. Em relação ao estuário do Rio Macaé os valores variaram de 1,70 a 12,4 $\mu\text{g/L}$ na quadratura, com valores máximos na vazante. Esta tendência também foi observada na sizígia, na qual as concentrações de chl *a* variaram de 2,64 a 16,54 $\mu\text{g/L}$. Em contraste com a distribuição temporal da chl *a* no estuário do Rio das Ostras, que apresentou na maré de quadratura as maiores concentrações (3,65 à 6,08 $\mu\text{g/L}$) entre 8h e 11 h, na preamar. Na sizígia, embora não foi possível definir um padrão, também se observou um pico de concentração de chl *a* as 15h na preamar. Nos dois estuários não se observou diferenças significativas entre superfície e fundo para este parâmetro nas duas marés em estudo (Anexo 3, 4, 5 e 6).

Nos dois estuários em estudo os maiores valores de chl *a* corresponderam com as maiores concentrações de oxigênio dissolvido, conforme as tabelas 3 e 4. O que não se observa em relação às concentrações de nutrientes inorgânicos, cuja distribuição temporal (figuras 9 e 10) revela uma maior concentração de nutrientes no período no qual a clorofila *a* apresentou as menores concentrações (figura 11).

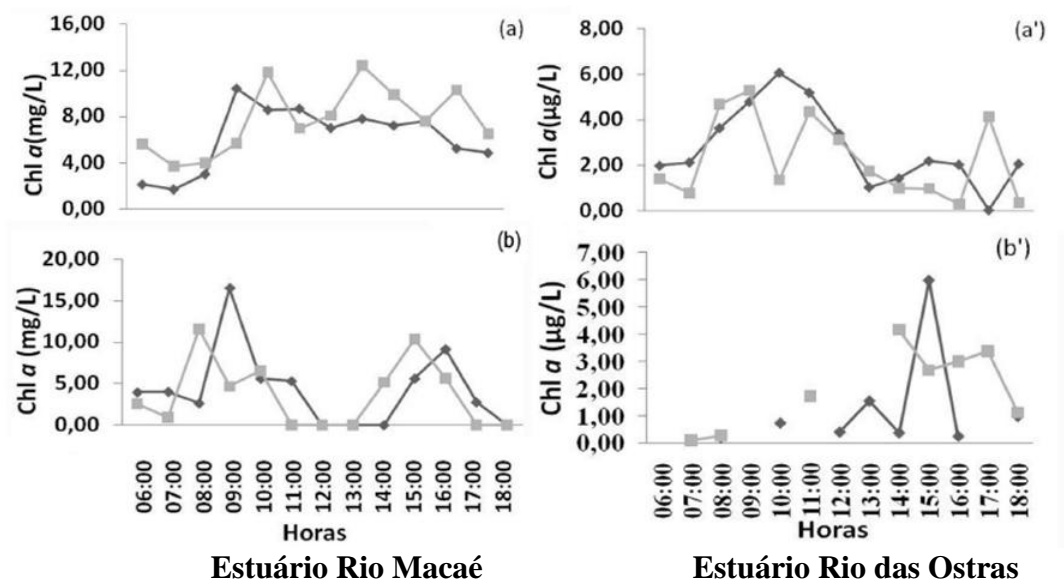


Figura 11. Distribuição temporal da clorofila *a* (chl *a*): (a e a') na maré de quadratura e (b e b') na maré de sizígia. linha escura = superfície; linha clara = fundo.

Segundo os testes teste t Student/ Many Whitney, apenas o estuário do rio Macaé, na maré de quadratura, apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre superfície e fundo em relação aos nutrientes dissolvidos e totais (exceto PT e Chl *a*) (Figura 12).

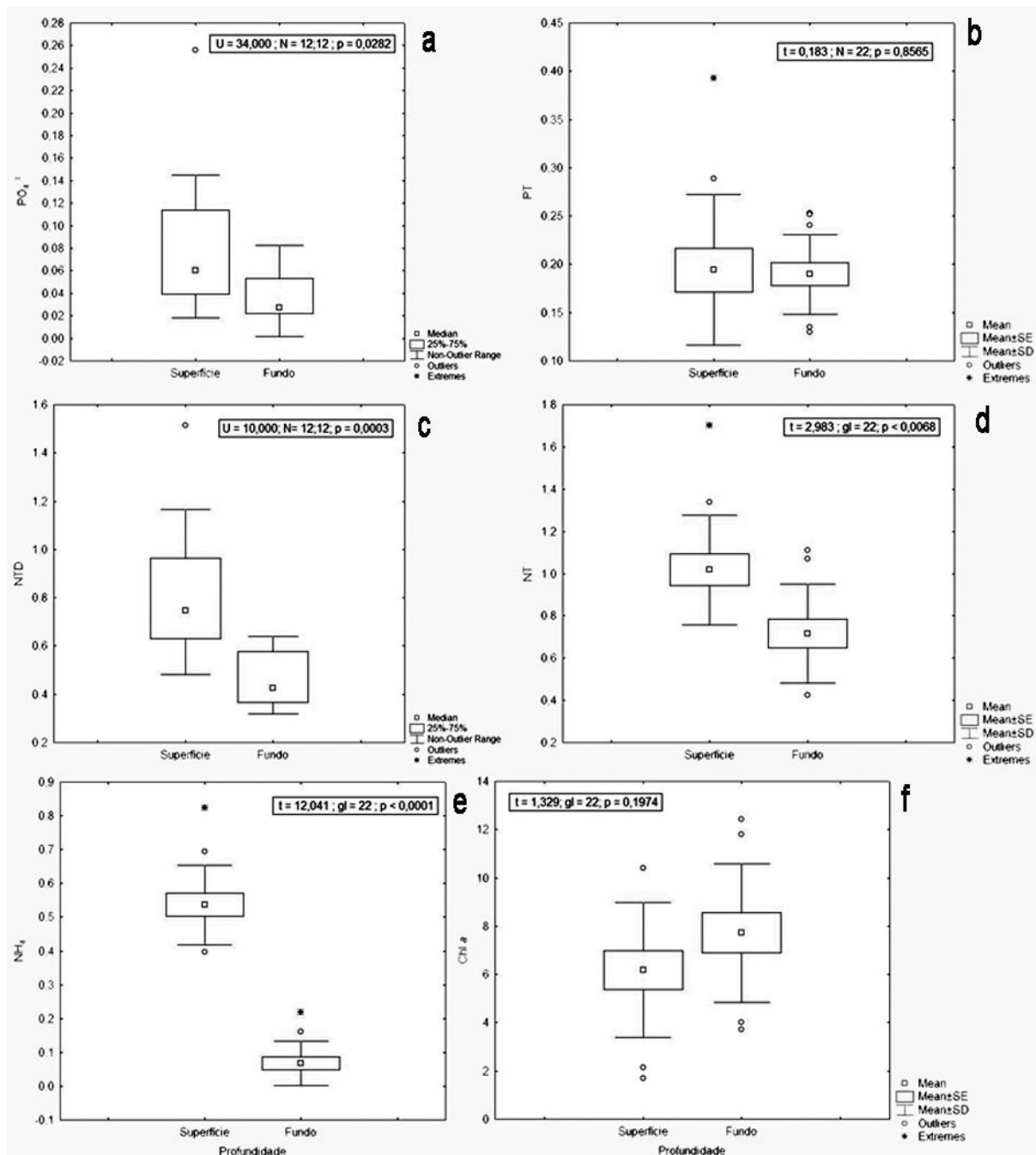


Figura 12. Faixa de variação de concentração de parâmetros de nutrientes e clorofila *a* entre superfície e fundo no estuário do rio Macaé, na maré de quadratura, segundo teste t (gráficos b, d, e, f) e teste U (gráficos a e c).

Em relação às marés (Anexo 7, 8, 9 e 10), observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) para o estuário do rio Macaé em relação à superfície da coluna d'água para os parâmetros MPS, salinidade, condutividade e PT que foram maiores na sizígia; e temperatura, cujos maiores valores observados foram na quadratura (Figura 13). Em relação ao fundo, os parâmetros que apresentaram diferença significativa foram os nutrientes fosfatados, com maior concentração na sizígia, e chl *a* e temperatura com maiores concentrações na quadratura. (Figura 14).

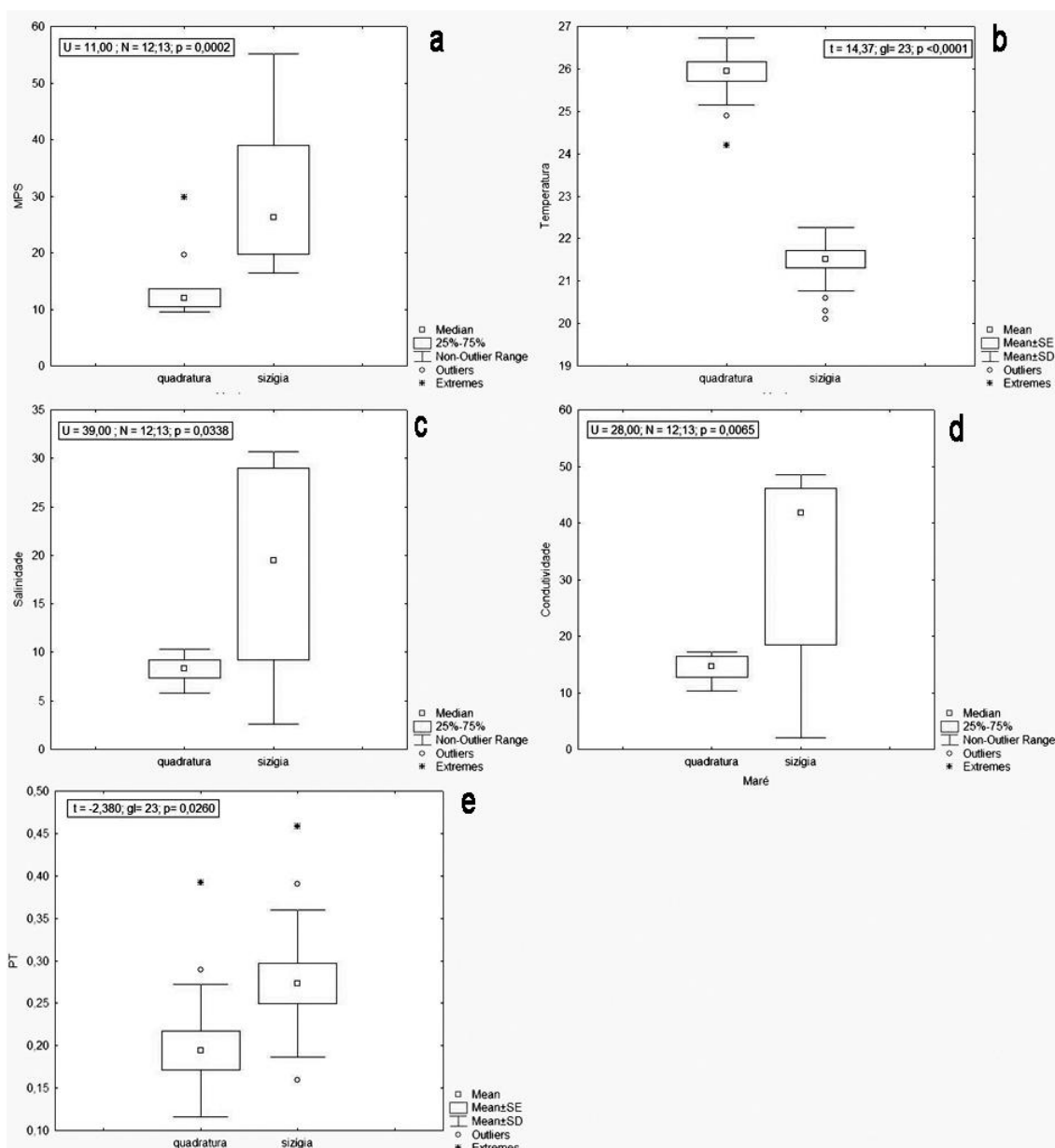


Figura 13. Faixa de variação da concentração de parâmetros: (a) MPS, (b) Temperatura, (c) Salinidade e (d) Condutividade e (e) PT, entre as marés de quadratura e sizígia na superfície do estuário do rio Macaé. Segundo teste t para os gráficos (b, d, e, f) e teste U para os gráficos (a e c).

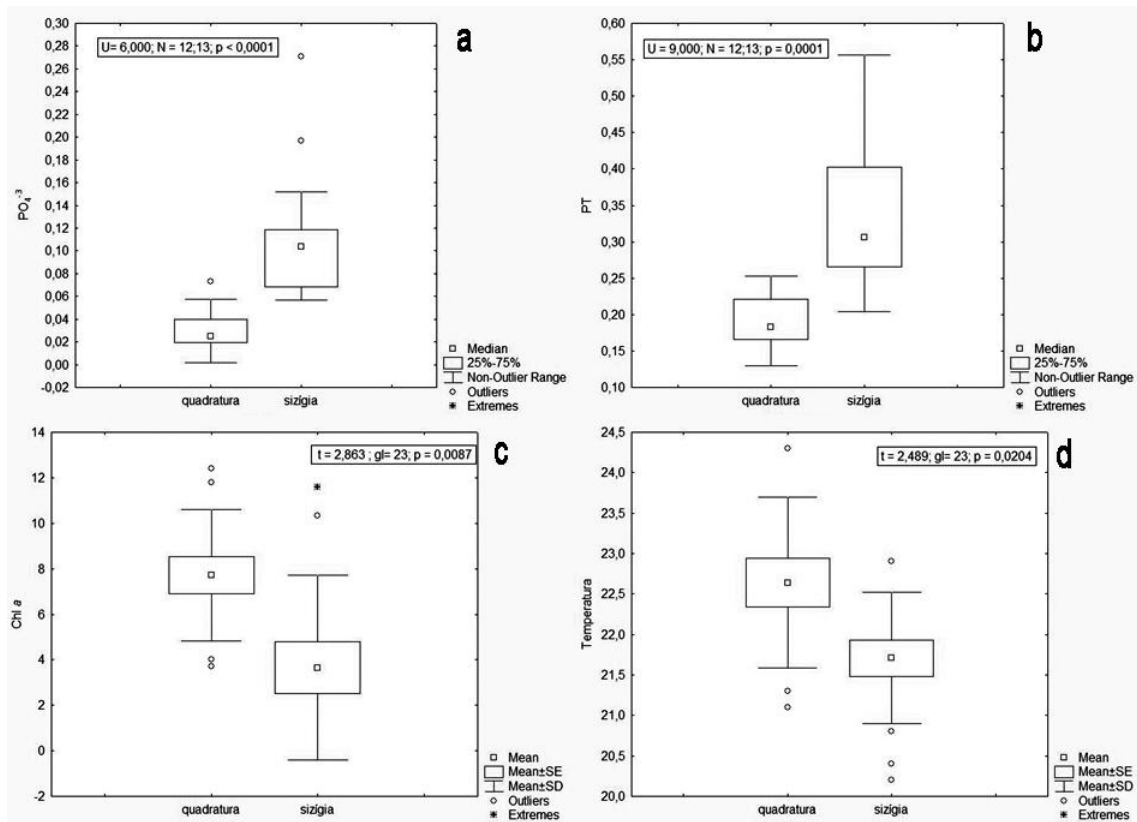


Figura 14. Faixa de variação da concentração de parâmetros: (a) PO_4^{3-} , (b) Fósforo Total – PT, (c) Clorofila *a* (Chl *a*) e (d) Temperatura; entre as marés de quadratura e sizígia no fundo do estuário do rio Macaé. Segundo teste t para os gráficos (c e d) e teste U para os gráficos (a e b) .

No que concerne às marés, observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) para o estuário do rio das Ostras, entre a superfície e fundo da coluna d'água para os parâmetros MPS, com maiores concentrações na sizígia; e temperatura, cujos maiores valores observados foram na quadratura (Figura 15).

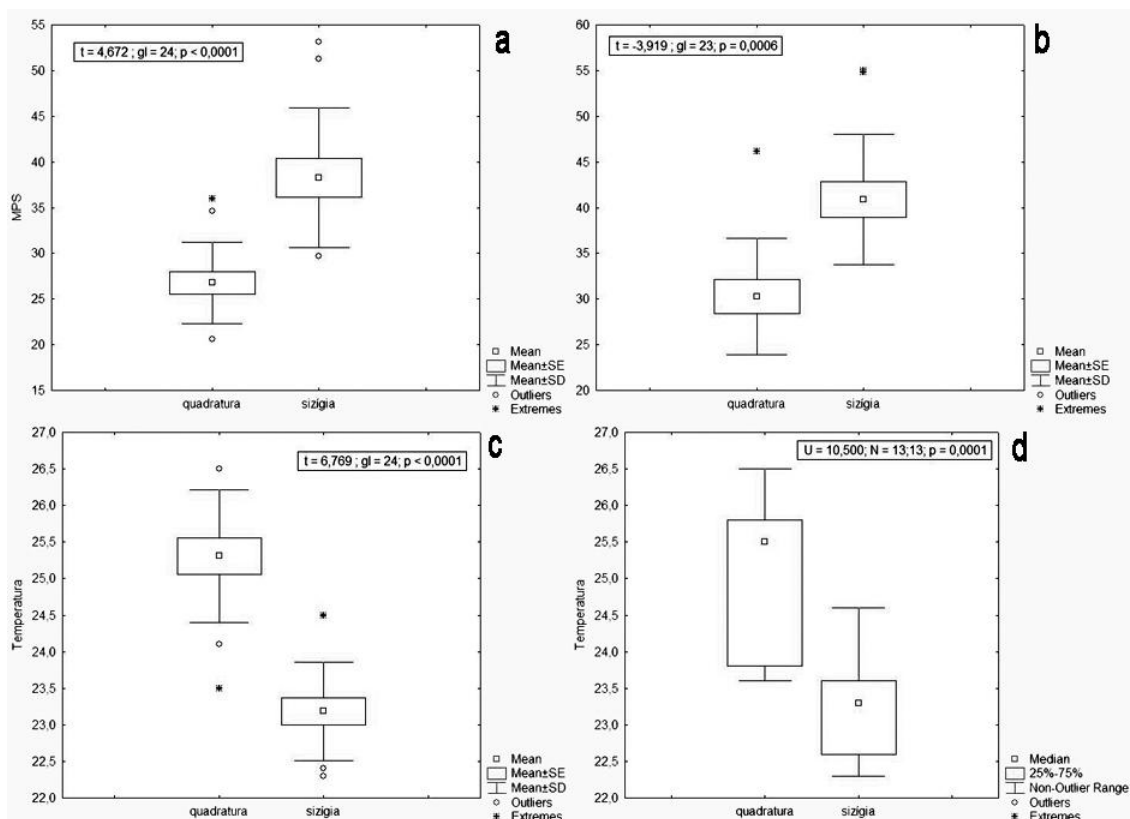


Figura 15. Faixa de variação da concentração de parâmetros: (a e b) MPS, (c e d) Temperatura; entre as marés de quadratura e sizígia na superfície (a e c) e fundo (b e d) do estuário do rio das Ostras.

Com o intuito de evidenciar as particularidades em cada sistema estuarino no que concerne a maré, foi aplicado o teste estatístico de correlação de Spearman. Os resultados desta correlação estão presentes nas tabelas 5, 6, 7 e 8. Segundo os resultados deste teste estatístico, o padrão observado para o estuário do rio Macaé, nas duas marés foi de correlação positiva para os nutrientes entre si e negativa com os parâmetros físico-químicos e sedimentológicos (temperatura, salinidade, condutividade e MPS). Apenas a clorofila *a* não apresentou correlação com nenhum parâmetro. Pode-se sugerir que, devido à forte correlação positiva entre NH_4^+ e PO_4^{-3} ($r = 0,928$ e $r = 0,818$, $p > 0,05$) na quadratura e sizígia, respectivamente, somada à correlação negativa de tais nutrientes com a salinidade, estes nutrientes tenham uma fonte em comum de origem continental.

Em relação ao estuário do rio das Ostras só se observou correlação positiva entre os nutrientes na maré de quadratura (exceto o íon NH_4^+ que apenas correlacionou na sizígia) mantendo o mesmo padrão de correlação inversa entre nutrientes e salinidade

observado para o estuário do rio Macaé. Na quadratura, a chl *a* apresentou correlação negativa com os nutrientes fosfatados e NTD e correlação positiva com a salinidade e condutividade. O MPS apresentou correlação negativa com nutrientes NH_4^+ e PO_4^{-3} e correlação positiva com salinidade/condutividade. A clorofila *a* não apresentou correlação com os demais parâmetros.

As correlações evidenciam que o estuário do rio Macaé se caracteriza por correlações altamente significativas entre os nutrientes em contraste com o estuário do rio das Ostras, que apresentou fracas correlações entre os nutrientes na quadratura e ausência de correlação na sizígia. Em relação a Chl *a* observou-se correlação apenas na maré de quadratura no estuário do rio das Ostras. Nota-se em ambos os sistemas estuarinos uma correlação inversa dos nutrientes com a salinidade o que sugere o efeito depurador destes ambientes e uma provável fonte continental de nutrientes.

Tabela 6. Correlações estabelecidas pelo teste estatístico de Spearman entre os parâmetros estudados na campanha de coleta temporal da estação fixa no estuário do Rio Macaé, na maré de quadratura, $p < 0,05$, $n = 260$. Números em vermelho indicam as correlações significativas ($p < 0,05$); amostras em preto indicam correlações não significativas ($p > 0,05$).

	NH_4^+	PO_4^{3-}	PT	NT	NTD	Chl α	Sal	Temp	Cond	MPS
NH_4^+	1,000									
PO_4^{3-}	0,818	1,000								
PT	0,190	0,495	1,000							
NT	0,633	0,686	0,419	1,000						
NTD	0,791	0,766	0,259	0,857	1,000					
Chl α	-0,234	-0,058	-0,256	-0,122	-0,165	1,000				
Sal	-0,742	-0,454	0,224	-0,492	-0,607	-0,121	1,000			
Temp	0,704	0,419	-0,221	0,509	0,641	0,116	-0,936	1,000		
Cond	-0,785	-0,524	0,153	-0,533	-0,648	-0,117	0,975	-0,929	1,000	
MPS	-0,852	-0,625	0,066	-0,566	-0,649	-0,019	0,856	-0,768	0,877	1,000

Tabela 7. Correlações estabelecidas pelo teste estatístico de Spearman entre os parâmetros estudados na campanha de coleta temporal da estação fixa no estuário do Rio Macaé, na maré de sizígia, $p < 0,05$, $n = 260$. Números em vermelho indicam as correlações significativas ($p < 0,05$); amostras em preto indicam correlações não significativas ($p > 0,05$).

	NH_4^+	PO_4^{3-}	PT	NT	NTD	Chl α	Sal	Temp	Cond	MPS
NH_4^+	1,000									
PO_4^{3-}	0,928	1,000								
PT	0,539	0,544	1,000							
NT	0,789	0,831	0,465	1,000						
NTD	0,922	0,904	0,525	0,782	1,000					
Chl α	0,260	0,358	0,259	0,104	0,350	1,000				
Sal	-0,977	-0,909	-0,503	-0,778	-0,932	-0,247	1,000			
Temp	-0,792	-0,738	-0,229	-0,627	-0,837	-0,117	0,835	1,000		
Cond	-0,776	-0,726	-0,375	-0,581	-0,751	-0,037	0,776	0,718	1,000	
MPS	-0,644	-0,538	0,103	-0,645	-0,609	0,035	0,660	0,634	0,470	1,000

Tabela 8. Correlações estabelecidas pelo teste estatístico de Spearman entre os parâmetros estudados na campanha de coleta temporal da estação fixa no estuário do Rio das Ostras, na maré de quadratura, $p < 0,05$, $n = 260$. Números em vermelho indicam as correlações significativas ($p < 0,05$); amostras em preto indicam correlações não significativas ($p > 0,05$).

	NH_4^+	PO_4^{3-}	PT	NT	NTD	Chl α	Temp	Sal	Cond	MPS
NH_4^+	1,000									
PO_4^{3-}	0,052	1,000								
PT	0,138	0,737	1,000							
NT	0,256	0,592	0,508	1,000						
NTD	0,355	0,503	0,518	0,615	1,000					
Chl α	-0,135	-0,489	-0,427	-0,283	-0,418	1,000				
Temp	0,453	0,686	0,455	0,512	0,407	-0,315	1,000			
Sal	-0,604	-0,707	-0,650	-0,751	-0,763	0,546	-0,504	1,000		
Cond	-0,573	-0,707	-0,715	-0,827	-0,679	0,446	-0,537	0,901	1,000	
MPS	0,179	0,342	0,229	0,216	0,259	-0,193	0,038	-0,442	-0,309	1,000

Tabela 9. Correlações estabelecidas pelo teste estatístico de Spearman entre os parâmetros estudados na campanha de coleta temporal da estação fixa no estuário do Rio das Ostras, na maré de sizígia, $p < 0,05$, $n = 260$. Números em vermelho indicam as correlações significativas ($p < 0,05$); amostras em preto indicam correlações não significativas ($p > 0,05$).

	NH_4^+	PO_4^{3-}	PT	NT	NTD	Chl α	Temp	Sal	Cond	MPS
NH_4^+	1,000									
PO_4^{3-}	0,548	1,000								
PT	0,647	0,639	1,000							
NT	0,655	0,390	0,424	1,000						
NTD	0,537	0,331	0,240	0,636	1,000					
Chl α	-0,259	-0,558	-0,226	-0,479	-0,256	1,000				
Temp	0,162	-0,188	0,249	0,028	-0,222	0,256	1,000			
Sal	-0,769	-0,621	-0,728	-0,416	-0,414	0,420	-0,207	1,000		
Cond	-0,831	-0,643	-0,609	-0,753	-0,568	0,431	-0,009	0,751	1,000	
MPS	-0,566	-0,407	-0,273	-0,325	-0,450	0,159	-0,064	0,611	0,537	1,000

A Análise dos Componentes Principais (PCA, do termo em inglês *Principal Components Analysis*) foi aplicada para os dois estuários, nos quais foram analisados os nutrientes (PO_4^{3-} , NH_4^+ , PT, NT e NTD), clorofila *a* (Chl *a*) material particulado em suspensão (MPS) e parâmetros físico-químicos (temperatura, salinidade e condutividade) sendo que os dois primeiros eixos da ordenação (ACP 1 e ACP 2) explicaram juntos 58,7% da variância total dos dados (Tab. 10). A primeira componente (ACP1) explicou 35,7% da variância total, onde a salinidade está correlacionada negativamente (-0,4655) e o íon NH_4^+ (0,5184) correlacionado positivamente. A segunda componente principal (ACP2) explicou 23,02% da variância total, sendo que a chl *a* (0,4722) está correlacionada positivamente e o PO_4^{3-} (-0,4074) e NID (-0,3914) correlacionado negativamente.

Tabela 10. Análise de Componentes Principais dos parâmetros estudados nos estuários dos Rios Macaé e Rio das Ostras: autovalores e variância explicada pelas duas componentes principais (ACP1 e ACP2).

Parâmetros	ACP 1	ACP2
PO_4^{3-}	0,2741	-0,4074
NH_4^+	0,5184	0,0554
Chl <i>a</i>	0,1657	0,4722
PT	0,3764	0,3835
NT	0,2895	-0,3486
NTD	0,3376	-0,3914
Temperatura	-0,1119	-0,3001
Salinidade	-0,4655	-0,2349
MPS	-0,2449	0,2024
Autovalores	3,213	2,072
Percentual de variância explicada	35,699	23,023

Através da ordenação das amostras é possível identificar dois agrupamentos distintos em ACP1 e ACP2 relacionados aos estuários do rio Macaé e rio das Ostras (Figura 16a). Um agrupamento com escores mais negativos, formados pelas amostras com maiores salinidades e PO_4^{3-} e menores valores de amônio, representado pelo estuário de rio das Ostras, e o segundo agrupamento marcado por escores mais positivos, formado pelas amostras de maiores valores de amônio e chl *a* e menores valores de salinidade, representado pelo estuário do Rio Macaé; esta separação foi significativa entre os parâmetros dos escores ACP1 ($t = 5,57$; $p < 0,0001$) e ACP2 ($t = 11,10$; $p < 0,0001$) (Figura 17). Ao longo desses dois primeiros eixos foram identificadas as segregações entre a superfície e fundo (Figura 16 b), as marés de quadratura e sizígia (Figura 16 c), e as fases da maré (Figura 16 d).

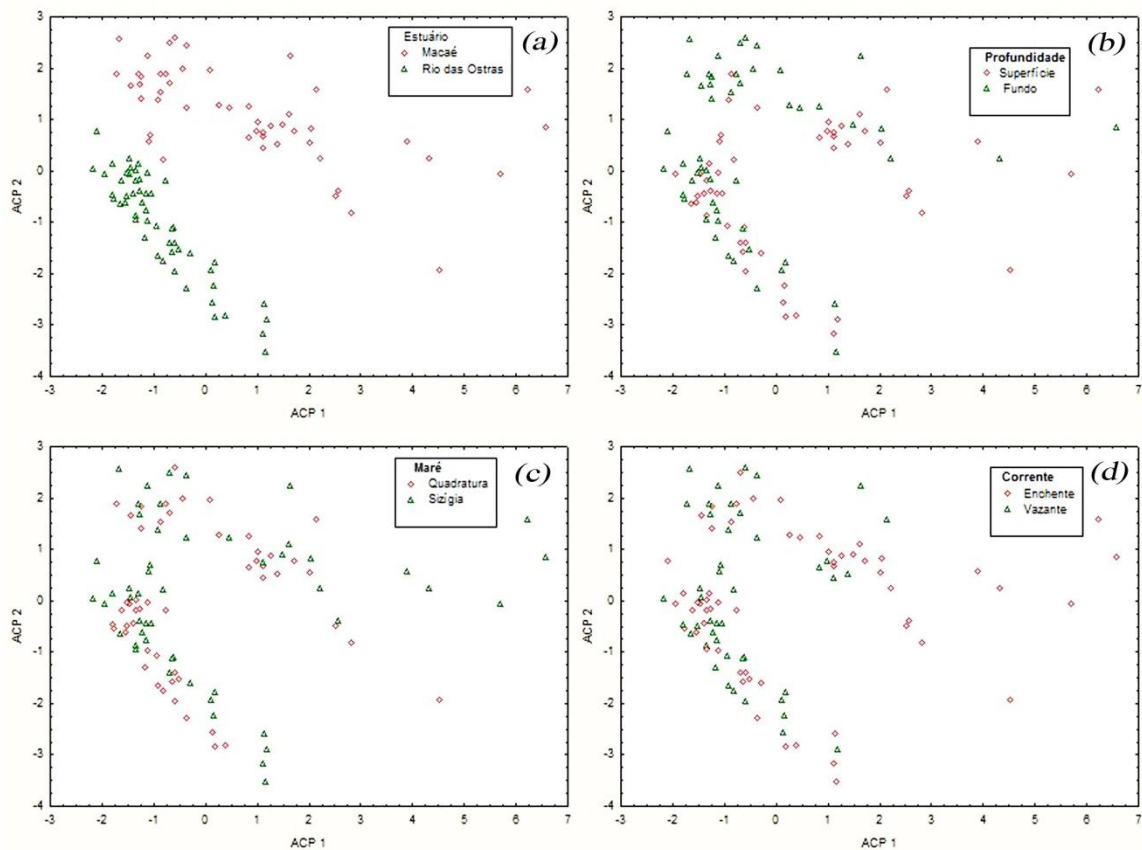


Figura 16. Ordenação das amostras ao longo dos dois Componentes Principais 1 e 2 (ACP1 e ACP2) na Análise dos Componentes Principais dos parâmetros estudados nos Estuários do Rio Macaé e Rio das Ostras. (a) triângulos verdes representam o estuário de rio das Ostras e losangos vermelhos ao estuário do rio Macaé, (b) triângulos verdes representam o fundo e losangos vermelhos a superfície, (c) triângulos verdes representam a maré de sizígia e losangos vermelhos a maré de quadratura, (d) triângulos verdes representam a fase de maré vazante e losangos vermelhos a fase da maré enchente.

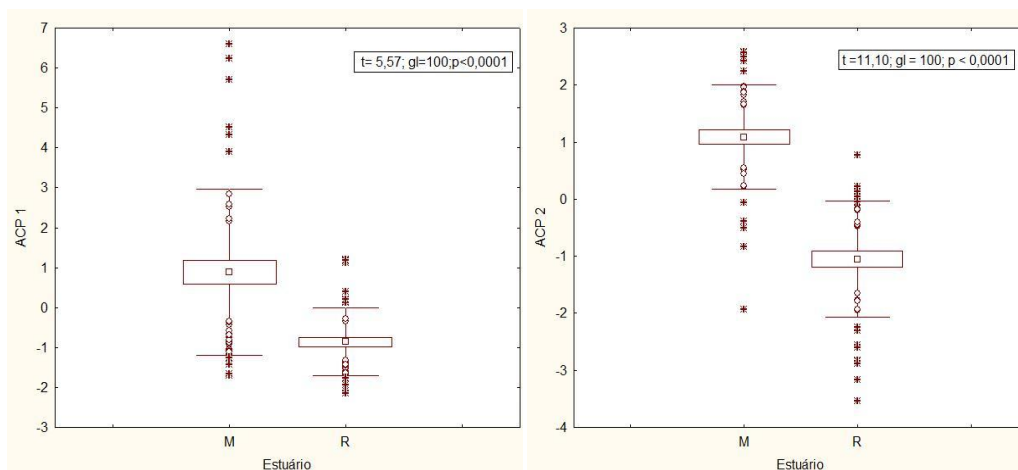


Figura 17. Medianas, quartis, mínimos e máximos dos escores da ACP1 e ACP2 dos parâmetros dos estuários: M (Macaé) e R (Rio das Ostras).

4.6. Estuário do Rio Macaé e Rio das Ostras: Fluxos e Balanços de Água, Nutrientes e MPS

Através da análise gráfica da variação temporal das vazões (figura 18) podem-se observar assimetrias nos padrões de enchente/vazante na maré de quadratura para os dois sistemas estuarinos em estudo. As maiores vazões no estuário do rio Macaé, nas duas marés, ocorreram na vazante, ao passo que no estuário do rio das Ostras as maiores vazões ocorreram na enchente, na maré de quadratura e na vazante na maré de sizígia.

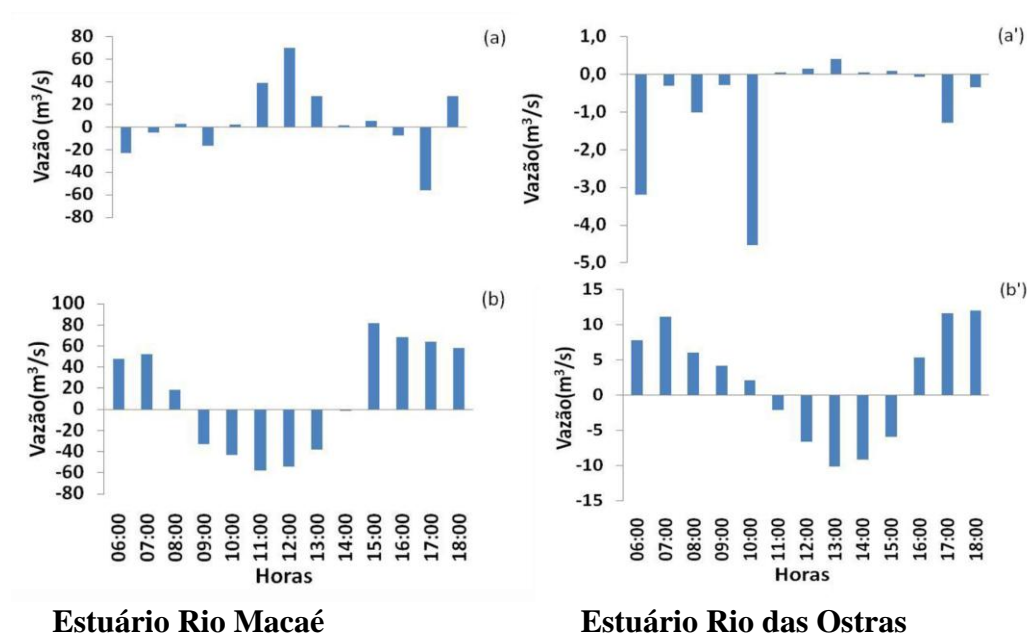


Figura 18. Vazões horárias do estuário do rio Macaé e do rio das Ostras nas marés de (a e a') quadratura e (b e b') sizígia. Valores negativos (enchente); valores positivos (vazante).

Em relação ao período da maré (preamar/baixa-mar) na maré de quadratura (figura 19) observou-se em relação ao estuário do Rio Macaé um maior fluxo de nutrientes nitrogenados NH_4^+ , NT e NID (17,5 g/s, 71,7 g/s e 41,6 g/s) e fosfatados PT e PO_4^{3-} (14,1 g/s e 2,3 g/s) às 12h, na vazante, e menor fluxo (0,5 g/s, 1,3 g/s e 0,9 g/s) às 14 h, próximo a baixa-mar, e às 10 h em relação aos menores fluxos de PT (0,3 g/s) e PO_4^{3-} (0,1g/s). O MPS segue o mesmo padrão dos nutrientes nitrogenados, observando-se um fluxo elevado (+1460 g/s) às 12h e reduzido (+24 g/s) às 14 h. Os maiores fluxos de nutrientes foram associados à maior vazão que ocorreu às 12 h (70 g/s), ao passo que os maiores fluxos de MPS estiveram associados às maiores concentrações deste. Em relação ao estuário do Rio das Ostras, observou-se um maior fluxo de nutrientes: NT (3,4 g/s), NTD (2,7 g/s), PO_4^{3-} (0,04 g/s), PT (0,48 g/s) às 6 h, na enchente e menor fluxo (0,1 g/s) para NT e NTD (0,01g/s) para PO_4^{3-} e PT, no período entre 14 h às 16 h na inversão da maré vazante para enchente. Em contraste com os demais nutrientes, o íon NH_4^+ , apresentou maior fluxo (0,14 g/s) às 17 h, na enchente, sendo semelhante apenas em relação aos menores fluxos (0,01 g/s) que ocorreram no mesmo período mencionado acima. Em relação ao fluxo de MPS, o maior fluxo (-103 g/s) ocorreu às 10h, próximo à preamar e o menor fluxo (2 g/s) no período de 14 h às 16 h, na vazante. Os maiores fluxos de nutrientes e MPS foram associados às maiores vazões.

Na maré de sizígia (figura 20) os maiores fluxos observados para o estuário do Rio Macaé em relação aos nutrientes dissolvidos NH_4^+ , NTD e PO_4^{3-} (54,4 g/s, 56,91 g/s e 9,7 g/s) ocorreram às 7 h, próximo à baixamar, e os menores (0,01 g/s, 0,64 g/s e 0,1 g/s), às 14 h na preamar. Os maiores fluxos observados para MPS (3773 g/s) e nutrientes totais (PT - 21,2 g/s e NT - 78,13 g/s) ocorreram no intervalo de 15 e 16 h após a preamar, com os menores valores (64 g/s; 0,3 g/s 1,07 g/s, respectivamente) às 14 h, similar aos nutrientes dissolvidos. Em relação aos nutrientes dissolvidos, observou-se que os maiores fluxos estão associados a maior concentração destes na coluna d'água, ao passo que em relação aos nutrientes totais e MPS decorre da maior vazão (82 m³/s). Quanto aos fluxos observados para o estuário do Rio das Ostras, observa-se um maior fluxo de NH_4^+ , NT e NID (1,21 g/s, 22,02 g/s e 12,37 g/s) no intervalo entre 11 h e 13 h, na enchente, e menor fluxo (0,02 g/s, 2,66 g/s e 1,61 g/s) entre 13 h e 16 h, durante a inversão de maré enchente para vazante. Em relação aos nutrientes fosfatados, PT e PO_4^{3-} pode-se observar que os maiores valores 2,65 g/s e 1,34 g/s, respectivamente, ocorreram às 18 h, na vazante. Os menores fluxos de PT

(0,59 g/s) e PO_4^{3-} (0,25 g/s) ocorreram entre 10 h e 11 h, na inversão da maré vazante para enchente. Os maiores e menores fluxos de MPS (508 g/s e 68 g/s) ocorreram próximos à preamar (13 h) e após a baixamar (10 h), respectivamente. Os maiores fluxos de nutrientes nitrogenados estiveram associados as maiores concentrações destes, enquanto que em relação ao MPS e nutrientes fosfatados, essa associação esteve relacionada com as maiores valores de concentração e maiores vazões.

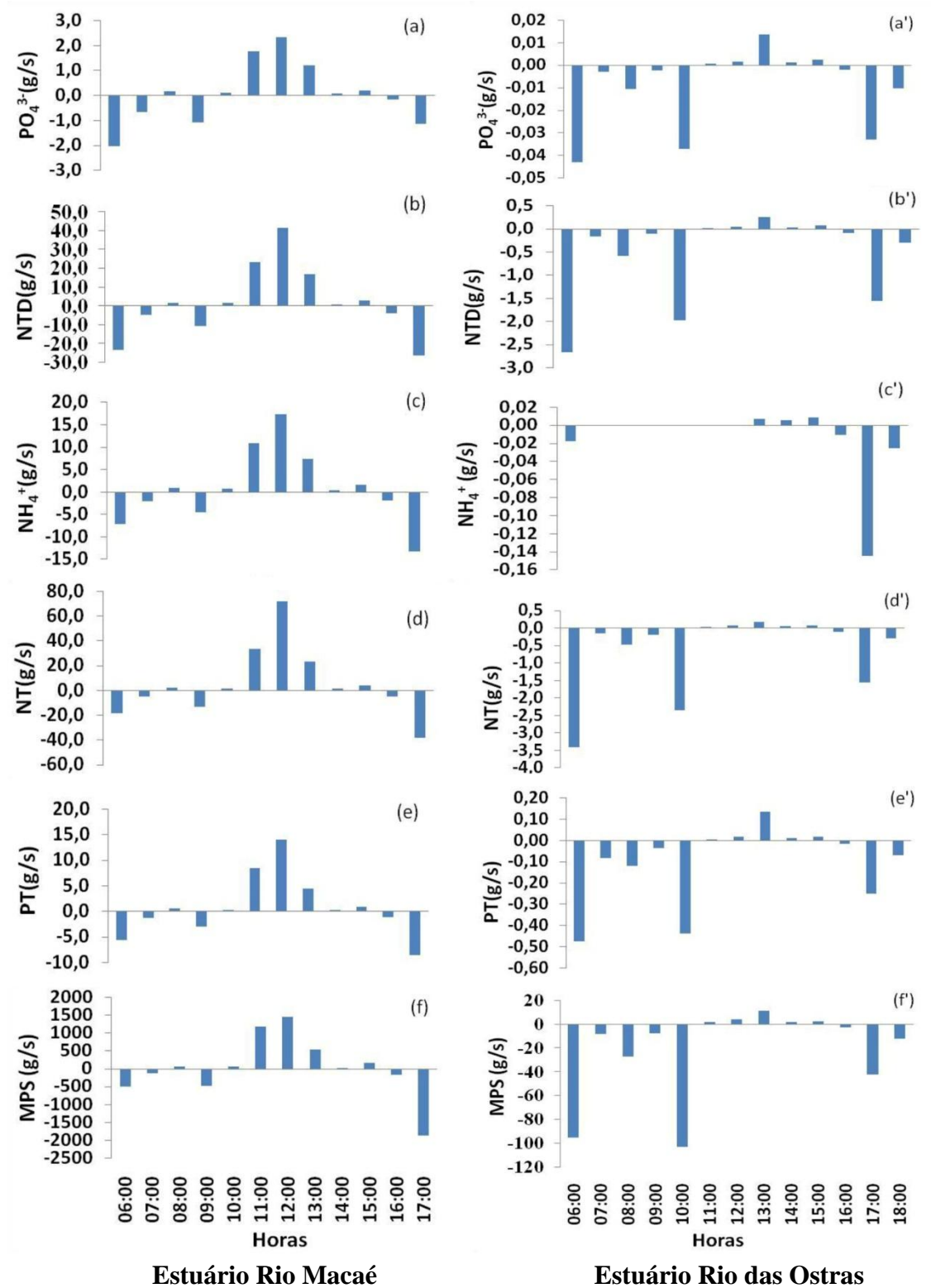


Figura 19. Variação temporal dos fluxos de nutrientes no estuário do Rio Macaé e Rio das Ostras em maré de quadratura.

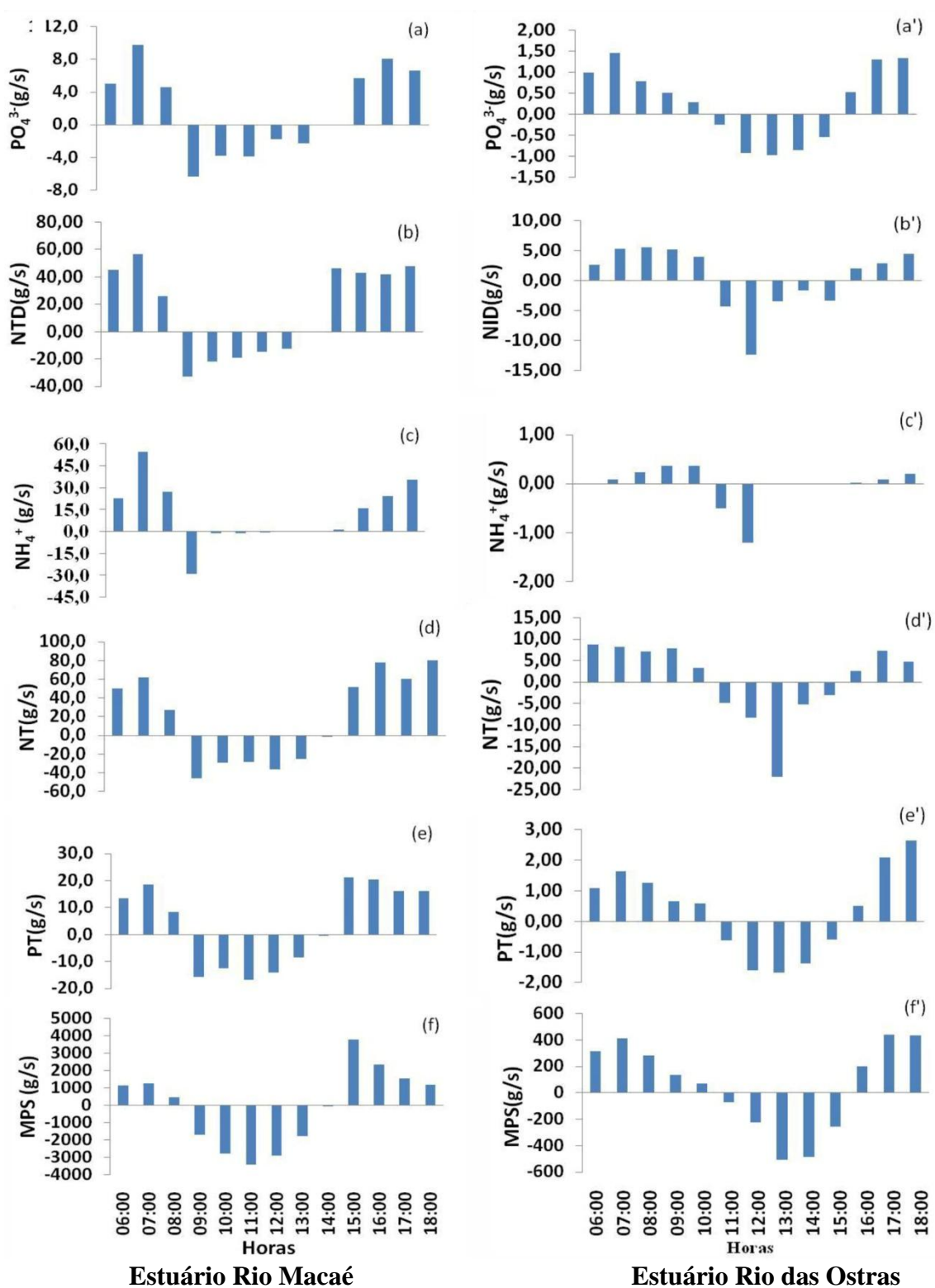


Figura 20. Variação temporal dos fluxos de nutrientes no estuário do Rio Macaé e Rio das Ostras em maré de sizígia.

As tabelas 11 e 12 apresentam os valores dos fluxos de nutrientes e MPS, nas marés de quadratura e sizígia, na extremidade mais a jusante da bacia (fluxo fluvial) e no estuário (transporte total integrado por ciclo de maré).

Tabela 11. Fluxo fluvial e Transporte Total por ciclo de maré (g/s) de nutrientes e MPS nas marés de quadratura (Q) e sizígia (S) no estuário do rio Macaé. Por convenção adota-se (+) enchente (-) vazante

	Fluxo Fluvial		Transporte Total	
	Q	S	Q	S
NH ₄ ⁺	0,33	0,57	+1,9	+103,6
NT	5,60	2,78	+7,8	+141,5
NTD	2,83	2,05	+4,0	+136,4
PT	1,03	0,74	+1,5	+24,3
PO ₄ ³⁻	0,53	0,24	+0,2	+18,9
MPS	91,13	51,71	+140	-2749

Tabela 12. Fluxo fluvial e Transporte Total por ciclo de maré (g/s) de nutrientes e MPS nas marés de quadratura (Q) e sizígia (S) no estuário do rio Ostras. Por convenção adota-se (+) enchente (-)

	Fluxo Fluvial		Transporte Total	
	Q	S	Q	S
NH ₄ ⁺	4,41	5,21	-0,01	-0,04
NT	10,73	12,92	-0,52	-0,03
NTD	8,91	10,07	-0,46	+0,30
PT	0,28	0,29	-0,09	+0,23
PO ₄ ³⁻	0,17	0,23	-0,01	+0,21
MPS	14,67	3,94	-18,79	+30,78

Em relação ao estuário do Rio Macaé (Tabela 11), na maré de quadratura, o transporte total revelou um padrão de retenção de nutrientes e MPS, ao passo que na sizígia, embora tenha sido observada a retenção de nutrientes, houve exportação expressiva de MPS (-2749g/s). Em contraste com o estuário do rio das Ostras (Tabela 12) no qual o padrão observado na quadratura foi o inverso, com um transporte total de

exportação de nutrientes e MPS. Mantendo o mesmo padrão observado na sizígia para o estuário do rio Macaé de retenção de MPS e nutrientes - com exceção do íon NH_4^+ (-0,04 g/s) e NT (-0,03 g/s).

No decorrer do ciclo de maré há um transporte de volume estuário acima (enchente) e estuário abaixo (vazante) desigual, ou seja, os intervalos de tempo de enchente e vazante são diferentes. Com base nos intervalos de tempo desiguais de maré, o transporte total por ciclo de maré (balanço final) correspondeu ao produto do fluxo residual pelo período total (de enchentes ou vazantes) calculado a partir de média ponderada.

5. DISCUSSÃO

Considerando a estação de estiagem, os resultados mostraram dinâmicas de água, MPS e nutrientes diferentes para os dois estuários nos diferentes regimes de marés, sugerindo que fatores como área da bacia hidrográfica, fluxo fluvial e interação com processos oceanográficos influenciam de forma diferenciada as características de cada estuário.

No que concerne a porção mais a jusante da bacia, pode-se observar uma diferença expressiva em relação aos rios, com maior descarga fluvial no rio Macaé ($Q = 12,1 \text{ m}^3/\text{s}$) em comparação aos rios Iriry ($Q = 0,72 \text{ m}^3/\text{s}$) e Jundiá ($Q = 2,38 \text{ m}^3/\text{s}$) decorrente de sua maior bacia de drenagem. Em contraste com o MPS, cuja concentração foi similar entre os rios em estudo, sugerindo que suas bacias tendem a sofrer impactos antrópicos similares no que concerne ao uso do solo e retirada de cobertura vegetal (Wolanski, 2007; Medeiros et al., 2011).

Em relação aos parâmetros físico-químicos, a temperatura mensurada nos rios em estudo apresentou grande estabilidade temporal típica de regiões tropicais, cujas condicionantes de possíveis variações estiveram relacionadas ao período e grau de insolação e variações meteorológicas tendo em vista as coletas terem sido efetuadas em um período de tempo curto, que não abrangeu variações sazonais e anuais (Noriega et al., 2005). No caso dos estuários, o fato de serem pouco profundos fez com que parte considerável do sedimento ficasse exposta e as variações de temperatura, ainda que

baixas, foram superiores as observadas em regiões costeiras e oceânicas (Tundisi, 1970 apud Noriega, 2005).

Em relação ao aporte de materiais advindos da bacia hidrográfica podem-se destacar elevadas concentrações de nutrientes nitrogenados nos rios Iriry e Jundiá; este aumento de nitrogênio observado em rios e estuários está diretamente relacionado as altas taxas de crescimento populacional, que na cidade de Rio das Ostras, entre 1991 à 2015, apresentou uma taxa de crescimento de 720%, passando de 18.195 habitantes para uma população estimada de 131.976, superando a taxa de crescimento de Macaé (PMRO, 2004; Nixon, 1982; Tappin, 2002; Sekovski et al., 2012; Milliman et al., 2008). Embora a bacia do rio Macaé seja maior, a densidade populacional por área da bacia (132,9 pop/ área da bacia) é menor que a de Rio das Ostras (840,6 pop/área da bacia) (IBGE, 2014).

No presente estudo observou-se que o nitrogênio é o nutriente limitante para o rio Macaé em contraste com tributários do rio das Ostras, que apresentaram relações molares superiores as estabelecidas por Redfield, sendo fósforo o fator limitante nestes rios, embora os nutrientes raramente tornem-se limitantes para a produção fitoplanctônica em rios (devido às várias fontes adicionais de nutrientes e ao curto tempo de residência de suas massas de água) (Roegner & Seaton, 2010). A relação N:P elevada é um indicativo de ações antrópicas (poluição doméstica/industrial) e remoção biológica ou sedimentação de compostos fosfatados (Noriega et al., 2005). Segundo Beynton et al., (1982, apud EPA, 2001), o intervalo de 10 a 20 da razão é considerado balanceado, indicando limitação por nitrogênio (<10:1) e por fósforo (>20:1). Destaca-se o fato de áreas estuarinas apresentarem grandes flutuações em relação às frações inorgânicas de nitrogênio, sendo menor sua disponibilidade no estuário do rio das Ostras, provavelmente devido à maior influência marinha como observado em estudos realizados por Eschrique (2011) no estuário do rio Jaguaribe (CE).

Diferenças podem ser observadas comparando o aporte de água pela bacia, que é maior (22,75 m³/s¹) no rio Macaé em relação a rio das Ostras (4,05 m³/s¹). Essa maior presença fluvial no primeiro, está de acordo com o estudo de Amaral (2003) que observou no baixo curso e estuário do rio Macaé pouca influência marinha (salinidade e variações de marés) direta na dinâmica fluvial. Em contraste com o estuário do rio das

¹ Média obtida durante levantamento de dados desta dissertação.

Ostras, cuja influência marinha - também observada em estudos prévios realizados por Prioste (2007) - ficou evidenciada através dos elevados valores de salinidade, sendo classificado como polihalino (30-35) de acordo com Day (2012). Tal comportamento diferenciado em relação às forçantes fluvial e marinha entre os dois estuários está associado ao tamanho da bacia de drenagem (cuja ordem de grandeza é 10 vezes maior no estuário do Rio Macaé) bem como à topografia mais inclinada deste (Assumpção & Marçal, 2012).

As diferenças nos parâmetros hidroquímicos ao longo da coluna d'água dos dois estuários sugerem que a reduzida profundidade do rio das Ostras (máxima de 1,5 m) somada a maior influência marinha induz a uma coluna d'água homogênea, enquanto que a maior profundidade do rio Macaé e maior aporte fluvial proporcionam estratificação química com a ocorrência de uma cunha salina caracterizada pela maior salinidade e menor temperatura no fundo (33,3 e 21,2°C). Este cenário condiz com estudos que afirmam ser o fluxo de água doce o principal dirigente da hidrologia e responsável por mudanças nas características do sistema estuarino (Abrantes & Sheaves, 2010; Palmer et al., 2011; Hitchcock et al., 2015).

Ao se analisar as interações entre a descarga fluvial e amplitude de maré pode-se observar para o estuário do rio Macaé (apesar da aparente simetria observada em relação a componente longitudinal da velocidade nas duas marés) um perfil vertical estratificado nas condições de baixa amplitude de maré (quadratura). Isso demonstra que embora a descarga fluvial seja baixa no período de estiagem, a forçante fluvial foi dominante em relação a maré tendo em vista o tipo de maré da área de estudo (micromaré) e o fato de, na quadratura, as correntes serem menos intensas. Em relação ao estuário do rio das Ostras a descarga fluvial é baixa, sendo a energia da maré a forçante que domina o mecanismo de transporte neste estuário, fato que pode ser comprovado pela pouca oscilação na altura da maré e na concentração de sal do sistema conforme se observa nas figuras 3c' e 4c'. Este comportamento está em conformidade com estudos conduzidos em estuários tropicais nos quais se observaram alta influência de maré durante período seco (Medeiros e Kjerfve, 2003; Nicolite et al., 2009; Dias et al., 2009; Miranda et al., 2005).

Este cenário é considerado uma aproximação para o comportamento do estuário na estação seca, embora seja esperado que na maior parte do tempo a vazão do rio das Ostras seja baixa aumentando somente durante períodos de precipitação, similarmemente

ao que ocorre em outros estuários de pequeno porte (Chiozzini et al., 2012; Signorin et al., 2012). Desta forma, recomenda-se que estudos adotem em seu delineamento amostral as variações sazonais de forma a confirmar tais suposições.

Através das distribuições temporais realizadas ao longo de um ciclo de maré foi possível caracterizar o estuário do rio Macaé como estratificado na quadratura e verticalmente homogêneo na sizígia, padrão semelhante ao observado no estuário do rio Camboriú (Silva et al., 2003). A condição estratificada é típica de estuários forçados por descarga fluvial moderada com amplitude de maré pequena, presume-se que o entranhamento seja o mecanismo predominante de transferência de água diante do perfil vertical de salinidade e velocidade característico deste tipo de estuário (Miranda et al., 2012). Em estuários bem misturados como o estuário do rio das Ostras, que foi caracterizado como verticalmente homogêneo nas duas marés consecutivas, os mecanismos de mistura preponderantes são de natureza advectiva e difusão turbulenta que permitem a homogeneização vertical com o aumento da salinidade na superfície da coluna d'água e a onda de maré se estendendo por longas distâncias estuário acima (Dyer, 1977).

A estratificação foi corroborada pela classificação de Hansen & Rattray (1966) descrita por Miranda et al., (2012) na qual ficou evidenciado padrões distintos em relação ao estuário do rio Macaé ($\delta S/S = 1,06$ e $0,12$) na maré de quadratura e sizígia respectivamente; o que não se observou em relação ao estuário do rio das Ostras que apresentou um comportamento semelhante nas duas marés consecutivas ($\delta S/S = -0,0079$ e 0) na quadratura e sizígia. Com base nesta razão, a hidráulica estuarina do rio Macaé está associada à descarga de água doce mais proeminente, cujo grau de mistura é reduzido e as isosalinas tendem a se inclinar. Em contrapartida, o estuário do rio das Ostras apresenta pequena influência do aporte de água doce no sistema, que pode ser explicado pela pequena área de drenagem (157 km^2) associada à baixa declividade, e tende a ser bem misturado verticalmente com isosalinas verticais (Martins, 2008). A razão do fluxo (R/P) foi coerente com a classificação de Hansen & Rattray (1996) apenas para o estuário do rio Macaé, apresentando discrepâncias em relação ao estuário do rio das Ostras. No entanto, como tal classificação se baseia apenas em padrões de circulação, sem considerar a geometria do estuário (a largura, topografia e natureza do fundo) presume-se que tais características exerceram influência sobre a intensidade da

turbulência gerada na coluna d'água pela amplitude de maré no estuário do rio das Ostras (Miranda et al., 2012).

Através da análise gráfica da variação temporal das vazões (figura 16) podem-se observar assimetrias nos padrões de enchente/vazante na maré de quadratura para os dois sistemas estuarinos em estudo. Como os estuários em estudo são relativamente estreitos e rasos, e a maré é caracterizada pela baixa amplitude, as discontinuidades observadas podem estar relacionadas à batimetria do estuário que afeta a circulação da água estuarina.

Em relação às características hidroquímicas observou-se um padrão no estuário do rio Macaé no qual a concentração de MPS mantém-se elevada no fundo da coluna d'água na maré de quadratura (Figuras 3b e 3d) sendo sua concentração reduzida na sizígia, durante a enchente, devido ao maior volume de água no estuário conforme McLusky & Elliott (2004) descreve para a maioria dos estuários, nos quais a máxima concentração de MPS é encontrada na vazante, sendo reduzida na enchente. Pode-se observar uma alta correlação entre MPS e salinidade na maré de quadratura ($r = 0,856$, $p < 0,05$) com maiores valores associados a ressuspensão devido a entrada da cunha salina. Já na maré de sizígia, embora possa se observar um pico de MPS associado a intrusão salina às 9h, essa correlação ($r = 0,660$, $p < 0,05$) é menor tendo em vista a maior homogeneização da coluna d'água provocada por processos advectivos e de difusão turbulenta. No estuário do rio das Ostras, este padrão de picos associados entre MPS e salinidade não foi observado na maré de quadratura, apresentando correlação positiva ($r = 0,611$, $p < 0,05$) apenas na maré de sizígia, o que sugere que quase não há fluxo para ressuspender devido a baixa velocidade máxima de $0,1 \text{ m.s}^{-1}$ e $0,4 \text{ m.s}^{-1}$ na quadratura e sizígia, respectivamente neste sistema estuarino. De acordo com Day et al., (2012) a ressuspensão irá depender, entre outros fatores, do agente velocidade da corrente. O fato de que as maiores concentrações médias ocorrerem associadas às campanhas de sizígia (39,7 mg/L e 39 mg/L) nos estuários do rio Macaé e rio das Ostras, respectivamente, mostra a pequena influência do regime de maré na intensidade das correntes e na concentração de MPS.

Nos dois sistemas estuarinos em estudo, o fato de serem pouco profundos fez com que parte considerável do sedimento ficasse exposta e as variações de temperatura, ainda que baixas, foram superiores as observadas em regiões costeiras e oceânicas (Tundisi, 1970 apud Noriega, 2005). A maior amplitude de variação ($6 \text{ }^\circ\text{C}$) observada

no estuário do rio Macaé, na quadratura, é verificada pela maior temperatura na superfície da coluna d'água ($p < 0,0001$) e alta correlação negativa com a salinidade ($r = -0,936$, $p < 0,05$) sugerindo que a descarga fluvial (menor densidade e maior temperatura) move-se na superfície em direção ao oceano.

Em relação à concentração de nutrientes observou-se um padrão inverso entre os estuários do rio Macaé e das Ostras, cujas maiores concentrações de nutrientes, na maré de quadratura ocorreram durante a maré enchente e vazante, respectivamente. Na campanha de quadratura do estuário do rio Macaé, a maior concentração de nutrientes (e particularmente de NH_4^+) ocorrida durante a enchente está associada ao aporte fluvial; pois os maiores valores foram observados sempre na superfície que no fundo, sugerindo que este tipo de nutriente seja proveniente do rio; tendo em vista que o fluxo de água doce tende a fluir acima da água salgada por ser menos densa e este íon tende a se diluir na água do rio (Meybeck, 1982; Day et al., 2012-). Os demais nutrientes da coluna d'água tendem a se igualar quando comparando as concentrações de superfície e fundo na subida da maré. Por sua vez, a menor concentração de nutrientes nitrogenados observada no estuário do rio das Ostras, na mesma maré, durante a enchente, pode sugerir: 1) o efeito da diluição decorrente da “lavagem de maré”, fato este observado no estuário do rio Paraíba do Sul (Krüger et al., 2006) tendo em vista as menores concentrações de nutrientes na enchente e a correlação inversa entre salinidade e nutrientes (Tabela 11 e 11); 2) os baixos valores observados podem estar associados à reduzida descarga fluvial, que diminui o aporte de nutrientes de origem difusa e a capacidade do rio de transportar o efluente de origem pontual devido ao período de estiagem (Pinheiro, 2008); 3) desnitrificação, que representa uma das principais formas de perda de nitrogênio em estuários rasos (Day et al., 2012).

Em relação ao íon NH_4^+ , os maiores valores foram observados no estuário do rio Macaé em contraste com o estuário do rio das Ostras, na quadratura e sizígia, respectivamente. Este fato ficou evidenciado pela ordenação indicando uma forte influência da salinidade, e menor concentração de NH_4^+ no estuário do Rio das Ostras, o que ficou demonstrado pelo agrupamento das variáveis mais à esquerda do gráfico, onde a salinidade tem um peso maior no eixo 1 (ACP1). Já no estuário do Rio Macaé, se observa o inverso, um espalhamento das variáveis em direção ao lado direito do gráfico, que corresponde ao lado mais positivo, no qual a variável NH_4^+ possui um peso maior.

Conforme trabalhos prévios de qualidade de água e de fatores de emissões de elementos químicos no rio Macaé a liberação de águas servidas (esgoto doméstico) foi apontada como principal responsável pelo incremento antrópico de nutrientes (Baruqui, 2004; Paganoto, 2008; Pinheiro, 2008; Ressiguiet, 2011; Molisani et al., (2013) somado ao maior aporte de água que chega ao estuário (recebe descarga fluvial de outra bacia através da transposição do rio Macabu para o rio São Pedro, afluente do rio Macaé) (Freitas et al., 2015). Tal comportamento sugere uma maior descarga fluvial no estuário do Rio Macaé devido a sua maior área de drenagem e maior vazão fluvial, em contraste com o estuário de Rio das Ostras, cuja diluição da água do mar parece ser o principal responsável na concentração mais baixa de NH_4^+ , devido à expressiva influência da salinidade sobre este sistema estuarino, estando em conformidade com outros trabalhos em estuários tropicais, como da África do sul e sudoeste da Austrália (Scharler e Baird, 2000). Ainda assim, outros fatores envolvidos, tais como a distância das fontes de aporte de nutrientes e sua remoção por processos como adsorção ao material particulado e assimilação biológica devem ser investigados (Eschrique, 2011).

A concentração média de NH_4^+ encontrada no estuário do rio Macaé (19,45 $\mu\text{mol/L}$) foi superior aos valores encontrados no estuário do rio das Ostras (5 $\mu\text{mol/L}$) e aqueles referentes a estuários não poluídos ($\leq 5 \mu\text{mol/L}$, Day et al., 2012). Concentrações elevadas de amônio também foram observadas em outros estuários de pequeno porte, como os do rio Perequê (27,18 $\mu\text{mol/L}$, Signorini et al., 2010) e do rio Tavares ($>35,5 \mu\text{mol/L}$, Schettini et al., 2000). Importante salientar que as menores concentrações de NH_4^+ no estuário do rio das Ostras, podem estar relacionadas ao fato de que parte do esgoto em Rio das Ostras é lançado diretamente no mar, através do emissário na região de Costa Azul, em contraste com o esgoto de Macaé que é lançado em sua maior parte na foz.

Em relação a maior concentração de fósforo no estuário do rio das Ostras, presume-se que a contaminação por esgoto doméstico seja a principal fonte, pelo fato deste rio ser utilizado como exultório dos sistemas de esgotamento sanitário e de drenagem urbana, e apresentar alta concentração de coliformes fecais como apontado por Prioste (2007). A ciclagem de fósforo neste sistema prevalece sobre a chegada deste nutriente através de seus tributários, que são limitados por fósforo, o que é enfatizado por Berner & Berner, 1996, segundo o qual a incorporação de fósforo na matéria

orgânica (ciclagem em sistemas naturais) é superior a quantidade advinda do continente e transportada pelos rios. Em muitos sistemas temperados, por exemplo, muito da regeneração de fósforo em sedimentos ocorre via processos microbianos, tipicamente altos no verão. De forma similar, a perda de fósforo de sedimentos diminui com o aumento da salinidade (Day et al., 2012).

Os valores médios de PO_4^{3-} observados para o estuário do rio Macaé (0,59 - 1,20 $\mu\text{mol/L}$ e do rio das Ostras (1,38 - 1,23 $\mu\text{mol/L}$) na quadratura e sizígia, respectivamente, foram similares aos observados em sistemas estuarinos pouco impactados ($< 0,99 \mu\text{mol/L}$, Coelho, 2011; $< 2,25 \mu\text{mol/L}$, Eschrique et al., 2008; $< 1,19 \mu\text{mol/L}$, Krüger et al., 2006) e estão dentro da faixa de concentração reportada para sistemas estuarinos em equilíbrio (0,5 a 2,0 $\mu\text{mol/L}$) segundo Day et al., (2012). Os valores obtidos para fosfato também estão distantes daqueles apresentados em sistemas eutrofizados ($< 16,30 \mu\text{mol/L}$ - Santos (SP), Eschrique et al., 2009; $< 24,52 \mu\text{mol/L}$ - Braga et al., 2000) (Tabela 13).

Em relação a razão N:P, como estimativa do grau de fertilização (estado trófico) do sistema estuarino, verificou-se uma razão média para o estuário do rio Macaé (8:1) e para o ponto amostral do rio (5:1) menor que a estabelecida por Redfield (N:P>16:1), sugerindo que o nitrogênio é limitante, o que condiz com a literatura, nas quais, a maioria dos estuários possuem relação N:P menor que a relatada por Redfield (Cloern, 2001; Noriega et al., 2005; Smith, 2006; Painting, 2007; Bricker, 2008, Knoppers et al., 2009). Ao se analisar a variação temporal nas duas marés, verificou-se maiores valores na maré de quadratura na superfície da coluna d'água devido a maior influência fluvial. Conforme observado na maioria dos ecossistemas estuarinos, embora a entrada de NID seja superior a de PID, os processos biogeoquímicos ocorridos no interior do estuário tendem a reduzir a concentração de N dissolvido em relação ao de P dissolvido (embora ambos desempenhem um comportamento não conservativo, o P é menos reativo) modificando as concentrações e fluxos de nutrientes (Boynton & Kemp, 2008; Jickells et al., 2014).

A razão média N:P no estuário do rio das Ostras (11:1 e 15:1), no rio Iriry (59:1-82:1) e rio Jundiá (39:1-53:1) na quadratura e sizígia, respectivamente, sugere ser o nitrogênio o nutriente limitante para o estuário e o fósforo para seus rios tributários. No entanto, ao se analisar a razão N:P em relação a variações horárias de superfície e

fundo, observou-se que não há um padrão claro, nem são observadas flutuações da razão N:P em função da maré. O volume de água do estuário do rio das Ostras é tão pequeno que qualquer perturbação por menor que seja quebra qualquer possibilidade que poderia haver naturalmente na dinâmica química ou de nutrientes, por exemplo, movimentação de embarcações, rajadas de vento e *input* de esgoto.

Embora o estuário do rio das Ostras também tenha apresentado uma relação molar média menor que a de Redfield, ao se analisar separadamente as duas marés, o estuário apresentou maiores oscilações (entre 2:1 a 40:1) e uma taxa média (19:1) superior a de Redfield na sizígia. Este fato pode ser explicado pelos valores extremamente altos nos rios Iriry (59:1 e 82:1) e Jundiá (39:1 e 53:1), na quadratura e sizígia, respectivamente. Isso indica que a excessiva carga de nitrogênio para as águas estuarinas podem tornar estes sistemas que são considerados nitrogênio limitantes, limitados por fósforo, tornando tais regiões suscetíveis a processos de eutrofização (Day et al., 2012).

Isso demonstra que esta razão deve ser usada com cautela em ambientes costeiros, pois são ambientes sujeitos ao efeito combinado de fatores que incluem das marés e fluxos de água doce, tornando-os altamente dinâmicos quanto à disponibilidade de nutrientes (Rodrigues et al., 2012). Dependendo da maior, ou menor ressuspensão, suas águas superficiais se tornaram ricas ou não em nutrientes, que por sua vez poderão interferir na produtividade do sistema estuarino. Deve-se considerar também o uso do solo, que no caso do estuário do rio das Ostras e de Macaé, o incremento antrópico nos aportes de nitrogênio (N) e fósforo (P) decorre principalmente de pastagens e lançamento de esgoto, sendo a contribuição antrópica calculada para a bacia média e inferior do rio Macaé de 90% e 99% para o nitrogênio e fósforo, respectivamente (Molisani, 2013).

No estuário do Rio Macaé os valores máximos de chl *a* foram associados ao período de inversão de maré (início da maré vazante e início da maré enchente) como observado por Pereira-Filho et al., (2001) para o estuário do Rio Camboriú (SC) com picos associados com o MPS período no qual ocorre a ressuspensão, o que sugere que a Chl *a* não reflete o fitoplâncton marinho, mas sim o material biológico presente no MPS contribuindo com uma fração significativa no conteúdo total deste. Isso sugere que a biomassa fitoplanctônica presente neste sistema estuarino tenha origem fluvial.

Somando-se a este raciocínio pode-se inferir que devido a baixa concentração de nitrogênio, provavelmente as espécies que ali crescem são fixadoras de nitrogênio, tendo em vista que, no estuário este elemento é apontado como limitante do crescimento do fitoplâncton. Sendo necessários maiores estudos a respeito da composição fitoplanctônica para confirmar tais pressupostos.

Enquanto que, no estuário do Rio das Ostras as maiores concentrações de Chl *a* estão associadas aos eventos de preamar, o que indica que a biomassa fitoplanctônica mensurada seja de origem marinha, visto que os picos do fitoplâncton que ocorrem são relacionados a incursão de água marinha carreados para dentro do estuário (Mc Lusky & Elliott, 2004). Sua origem marinha é sugerida pela correlação positiva com a salinidade observada na quadratura ($r = 0,546$; $p < 0,05$). Durante as condições de baixo fluxo que são típicas do período amostrado (estiagem) a intrusão salina e o tempo de residência são maximizados e os nutrientes e fitoplâncton derivados do oceano podem ser transportados para o estuário (Roegner, 2010).

Partindo do fato de que os rios são a principal fonte de fósforo para o oceano via estuários, e que por sua vez o fósforo dos rios advém do intemperismo das rochas e principalmente pela entrada antrópica via esgotos domésticos e industriais, (Day, 2012; Esteves, 2011) nos momentos em que a água doce prevalecer sobre a salina haverá um aumento da biomassa fitoplanctônica neste sistema estuarino.

Os valores de Chl *a*, no estuário do rio Macaé (1,7 - 12,4 $\mu\text{g/L}$ e 2,6 - 16,54 $\mu\text{g/L}$) e rio das Ostras (0,1 - 6,1 $\mu\text{g/L}$ e 0,1 - 6,0 $\mu\text{g/L}$) na quadratura e sizígia respectivamente, foram menores que estuários impactados pelo aporte humano de nutrientes como o Rio Paraíba do Sul (3,0 - 37 $\mu\text{g/L}$, Kruger et al., 2004), Camboriú (5,1 - 22 $\mu\text{g/L}$, Pereira Filho et al., 2001). Os baixos valores de clorofila *a* encontrados nestes sistemas estuarinos podem estar associados: 1) a diluição de nutrientes decorrente da entrada de massas de água marinha, rica em oxigênio e oligotrófica em comparação a água estuarina, o que ocasionou a redução da concentração dos nutrientes amônio e fosfato (Chiozzini et al., 2010; Krüger et al., 2006) 2) a limitação de luz devido à ressuspensão e baixa profundidade, embora não se tenha dados da turbidez e o estuário ser do tipo micromaré (nos quais é comum haver menos ressuspensão de sedimento), 3) ao tempo de descarga do estuário ser superior a taxa de crescimento do fitoplâncton, o que limita a produção fitoplanctônica. Nestes casos a produção primária será limitada a

despeito das entradas de nutrientes inorgânicos nestes ambientes (Jickells et al., 2014; Mc Lusky & Elliott, 2004). São necessários estudos a respeito do tempo de descarga e distribuição longitudinal de salinidade dos estuários analisados neste estudo, para um maior conhecimento da possibilidade de ocorrência de *blooms* de algas, que funcionam pelo menos temporariamente como sumidouro de nitrogênio dentro do estuário removendo nutrientes da coluna d'água e impedindo que alcancem a zona costeira (Jickells et al., 2014; Miranda et al., 2012).

Em relação aos pontos amostrais fluviais destes dois estuários, destaca-se o rio Jundiá que apresentou uma concentração elevada de clorofila *a* (21,6µg/L) evidenciando uma elevada produtividade primária provavelmente em virtude das atividades agropecuárias à montante (Prioste, 2007). A menor concentração de fosfato verificada nos rios Macaé e das Ostras pode ser um indicativo de um maior consumo da biomassa fitoplanctônica, tendo em vista a menor quantidade de material em suspensão observada nos rios (5,8mg/L e 5,1mg/L) em comparação aos respectivos estuários (32,3mg/L e 33,5mg/L), o que permitiu melhores condições de transparência e favoreceu a assimilação biológica (Eschrique, 2011). Segundo Silva (2007) essa assimilação é evidenciada em regiões de elevada salinidade, como no caso do estuário do rio das Ostras, onde os nutrientes são deplecionados devido à atividade do fitoplâncton, conforme evidenciado pela comparação dos padrões temporais entre clorofila *a* e demais nutrientes nas marés de quadratura (figuras 8 e 10a') e sizígia (figuras 9 e 10b').

Quanto ao fluxo de sedimentos em suspensão pode-se observar que os estuários do rio Macaé e rio das Ostras apresentam comportamentos diferentes. De acordo com o Princípio da Conservação do Volume descrito por Miranda et al., (2012) em relação ao evento de menor duração, como por exemplo na maré enchente observada no estuário do rio Macaé, na quadratura e sizígia, a velocidade do movimento será mais intensa e em consequência disto, o transporte de sedimentos será maior na enchente em comparação à vazante. Em relação ao estuário do rio das Ostras, o evento de menor duração foi na vazante (na quadratura) e enchente (na sizígia), desta forma, o transporte de sedimentos será maior durante a vazante, na quadratura e o inverso na sizígia. Em virtude dos efeitos da retilinização ocorrida no trecho superior destes estuários, como ausência de mata ciliar e ocupação da planície adjacente por lavouras e pastagens, o

MPS gerado resulta em regiões de erosão e deposição alterando a morfologia do estuário desencadeando um assoreamento expressivo com possibilidades de fechar a desembocadura. Apesar da extração de areia no trecho superior do estuário do rio Macaé que proporciona um aumento momentâneo da profundidade, parte expressiva do volume d'água é extraído do rio Macaé para abastecer empresas e os municípios de Barra de São João, Rio das Ostras e Macaé (Pinheiro, 2008; Catelani, 2014).

Em relação ao fluxo de nutrientes, o estuário do rio Macaé apresentou um padrão de retenção nas duas marés (Tabela 11). Isso sugere que este estuário atue como sumidouro de nutrientes, portanto, em conformidade com a ideia de que estuários atuem como filtros, nos quais os nutrientes são consumidos e incorporados a biomassa (Palmer et al, 2011; Wolanski, 2007). De acordo com Jickells., (2014), estuários que possuem grandes áreas e pequenas bacias de drenagem são provavelmente mais efetivos como sumidouros de nutrientes sendo sua efetividade dependente do tempo de retenção do fluxo fluvial. Maiores estudos são necessários a respeito do tempo de retenção e dos processos biogeoquímicos envolvidos, por exemplo, nos sedimentos dos manguezais (eficientes compartimentos na retenção e acúmulo de fósforo) de forma a esclarecer tais suposições (Noriega et al., 2005; Jickells et al., 2014). No entanto, outros mecanismos devem ser investigados como o efeito de barreira hidráulica neste sistema estuarino. O cenário de retenção observado pode sugerir depreciação da qualidade das águas estuarinas. Quando comparados a outros sistemas estuarinos, como os estuários do Iguape (Chiozzini et al., 2010), Barra das Jangadas (Noriega & Araujo, 2010), rio Camboriú (Silva & Schettini, 2003), Jaguaribe (Eschrique et al., 2007) as concentrações de nutrientes observadas nos estuários são típicas de ambientes de moderada contaminação por nutrientes nitrogenados (Tabela 13).

Quanto à hidrodinâmica de nutrientes do estuário do rio das Ostras, apesar da maior influência marinha e menor fluxo, a condição de retenção de materiais só foi observada na maré de sizígia para nutrientes fosfatados, NTD e MPS, com exportação na maré de quadratura para a zona costeira adjacente (Tabela 12). Pressume-se que a retenção de PO_4^{3-} possa ser devido a processos de dessorção (remoção do DIP da fase particulada) e consequente aumento da concentração deste na coluna d'água, comum em estuários que recebem baixo aporte continental de DIP (Jickells et al., 2014). O cenário de contaminação foi menor devido à diluição pela massa de água marinha, no entanto

observou-se um aporte expressivo de nutrientes nitrogenados fluviais, os quais podem resultar em exportação de DIN para estuários e zona costeira adjacente, ocasionando um aumento da produção primária, já observado em muitos estuários limitados por nitrogênio (Day et al., 2012). Tal fato explica a maior susceptibilidade à contaminação por nutrientes (ex. esgotos domésticos) com risco de indução do processo de eutrofização, embora a diluição devido a mistura de massas d'água e limitação por luz decorrente da ressuspensão possam limitar o *bloom* de algas.

Assim, as diferenças na hidrodinâmica estuarina de materiais sugerem que, a despeito da similar geomorfologia, clima e impactos antrópicos nas respectivas bacias de drenagem, tais ambientes de transição, agrupados como estuários de pequeno porte, possam estar sendo subclassificados segundo o critério tamanho da bacia de drenagem. No entanto, diante das limitações do presente estudo no que concerne a amostragem (variedade de estuários e parâmetros), apenas limita-se a sugerir para trabalhos futuros, uma análise baseada não apenas na topografia/geomorfologia (Pritchard, 1952; Dyer, 1973) e hidrodinâmica/circulação (Stommel, 1951; Pritchard, 1955; Hansen e Rattray, 1966), mas também no tamanho da bacia de drenagem.

Tabela 13. Comparação dos parâmetros: Área da Bacia (AB), tipo de maré, salinidade (Sal), nutrientes inorgânicos dissolvidos (NH₄⁺ e PO₄³⁻, µmol/L), Material Particulado em Suspensão (MPS, mg/L), Clorofila *a* (Chl *a*, µg/L) e do tipo de atividade antrópica de alguns sistemas estuarinos do Brasil com os observados neste estudo

Estuários	AB	Maré	Sal	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	MPS	Chl <i>a</i>	Notas Adicionais	Referência
Cocó (CE)	530	mesomaré	3,7- 34,4	-	-	18,9-46	-	Urbanização	Schettini, et al.(2011)
Pacoti (CE)	1200	mesomaré	37,7	-	0,1-0,9	-	-	Barragens	Fonseca (2009)
Pirangi (CE)	4.250	mesomaré	39,6	-	-	-	-	Barragens	Schettini, et al.(2011)
Camboriú (SC)	200	micromaré	25	29,7	0,71	-	5,1-22,8	Turismo, Agricultura (arroz), Esgoto	Pereira - Filho, et al.(2001)
Caravelas (BA)	600	mesomaré	33-36	-	-	8,8 -100	-	Turismo, Especulação imobiliária, Indústria (celulose)	Pereira (2009)
Curimataú (RN)	3.589	mesomaré	30,4 - 36,7	-	-	-	-		Miranda et al. (2005)
Tavares (SC)	28	micromaré	30,1	14,6	0,58	11 - 111	-	Reserva extrativista	Schettini, et al.(2000)
Defuntos (SC)	3,5	micromaré	27,5	13,6	0,67	8 - 173	-	Reserva extrativista	Schettini, et al.(2000)
Barra das Jangadas (PE)	1000	mesomaré	1,69 - 23,8	0,64 - 2,15	0,01- 2,13	37,2- 42,8	46-61	Esgoto doméstico e industrial, Agricultura (cana)	Noriega et al.(2005)
Cananéia - Iguapé (SP)	600	micromaré	10 a 35	0,48- 7,70	0,23- 3,47	-	2-20	Eutrofização, Agricultura, Canal artificial, Esgoto	Chiozzini et al.(2010)
Perequê (SC)	65	micromaré	25,4	27,2	0,97	-	0,76-3,34	Urbanização, Esgoto	Signorin et al (2010)
Jaguaribe (PE)	72.000	mesomaré	3,4 - 29,6	0,85- 21,1	0,08- 2,24	11,2- 32,3	1,83 - 37,59	Barragens, Carcinocultura	Eschrique (2011)
Santos - São Vicente (SP)	-	micromaré	15 - 34	0,32-39	0,83- 8,67	-	-	Urbanização, Esgoto	Berbel, et al.(2015)
Rio Macaé (RJ)	1765	micromaré	4,2-31	0,45- 67,15	0,31- 2,77	13,0- 66,1	2,16- 14,46	Urbanização, Esgoto, Pecuária, Agricultura	neste estudo
Rio das Ostras (RJ)	157	micromaré	32,2- 36,5	1,55- 11,2	0,93- 1,89	23,3- 50,6	0,07-6,03	Urbanização, Esgoto, Pecuária, Agricultura	neste estudo

6. CONCLUSÃO

O principal agente regulador e determinante da hidrodinâmica nos sistemas estuarinos investigados foi a descarga fluvial, que no período de amostragem (estiagem) caracterizou o estuário do rio Macaé como dominado pela forçante fluvial, cuja hidrografia e balanço sedimentar foram modulados pelo aporte de água doce em comparação com o estuário do rio das Ostras, dominado pela forçante marinha e modulado pela altura de maré.

O estuário do rio Macaé, apresentou um padrão estratificado na maré de quadratura, e bem misturado ou homogêneo, na sizígia. Enquanto que o estuário do rio das Ostras foi caracterizado por apresentar um padrão verticalmente homogêneo nas duas marés devido à menor descarga fluvial decorrente da menor bacia de drenagem e menor declividade, associada ao período de estiagem que determinou uma maior forçante marinha, caracterizando-o como verticalmente homogêneo.

Os dois sistemas estuarinos apresentam dinâmicas diferentes, sendo as variáveis NH_4^+ e salinidade determinantes neste processo, sugerindo uma dinâmica intensa (heterogênea) com amostras horárias muito diferentes entre si para o estuário do rio Macaé, cujos escores estavam relacionados às maiores concentrações de amônio, em contraste com o estuário do rio das Ostras, cuja dinâmica temporal não variou muito (homogênea) e cujas amostras ficaram deslocadas próximo aos parâmetros da salinidade.

O estuário do rio Macaé a despeito da maior influência da descarga fluvial, maior fluxo e capacidade de exportação de materiais para a costa, apresentou um cenário de retenção de materiais, mais acentuado na sizígia. Foi caracterizado como dominado pela maré enchente, sendo importador de sedimentos nas duas marés. Também apresentou maior biomassa fitoplanctônica devido ao maior aporte de nutrientes da bacia e de atividades humanas, como urbanização (esgoto). Ao passo que o estuário do rio das Ostras apresentou maior influência marinha e menor fluxo; no entanto, a condição de retenção de materiais reduzindo a dispersão para a costa só se observou na maré de sizígia. Foi caracterizado como dominado pela maré vazante na quadratura (exportando sedimentos) e dominado pela maré enchente na sizígia (importando sedimentos). Um cenário de menor concentração de nutrientes foi observado devido à diluição pela massa de água marinha e reduzido aporte de materiais

fluviais (exceto para nutrientes nitrogenados). Embora a biomassa fitoplanctônica tenha sido menor que a do estuário do rio Macaé, há susceptibilidade à contaminação por nutrientes (ex. esgotos domésticos) com risco de indução do processo de eutrofização. De forma a esclarecer a susceptibilidade à contaminação, recomendam-se estudos a respeito do tempo de retenção destes ambientes.

Portanto, pequenos estuários, como os do rio Macaé e rio das Ostras, apesar de serem agrupados e sujeitos as mesmas atividades antrópicas decorrentes do acelerado crescimento populacional e econômico, apresentaram diferenças substanciais na hidrodinâmica de materiais decorrentes do tamanho de suas bacias de drenagem, podendo gerar uma subclassificação baseada no critério do tamanho da bacia.

7. REFERÊNCIAS

- Abrantes, K. G., Sheaves, M., 2010. Importance of freshwater flow in terrestrial-aquatic energetic connectivity in intermittently connected estuaries of tropical Australia. *Mar Biol* 157: 2071-2086.
- Amaral, K. J., 2003. Estuário do Rio Macaé: Modelagem Computacional como Ferramenta para o Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- ANA, Agência Nacional de Águas, 2004. Indicadores de qualidade – Índice de Qualidade das Águas (IQA). Disponível < <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx> > acesso em: 18 março de 2016.
- ANZECC., 2000. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality. Vol. 1: The Guidelines. Papers 4. Australia and New Zealand Environment and Conservation Council of Australia and New Zealand, Canberra, Australia.
- APHA. American Public Health Association., 2005. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (21^a ed). Washington, DC: American Public Association.
- Assumpção, AP., Marçal, M., 2012. Retificação dos canais fluviais e mudanças geomorfológicas na planície do rio Macaé (RJ). *Revista de Geografia*, 29:18–36 .

- Barboza, A. P., 2014. Estudo Hidrológico de Vazões Máximas na Bacia do Rio Macaé. Projeto de Graduação. Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- Baruqui, S. S. C., 2004. A cidade Formal e a Cidade Informal, em Macaé: Uma Análise do Crescimento Habitacional na Década de 90. Dissertação de Mestrado. UCAM-Campos dos Goytacazes, RJ.
- Beltrão, R., 2003. Zooplâncton do estuário do rio Macaé (RJ)-Inverno de 2001 e Verão de 2002. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Bernardes, M. C., Knoppers, B. A., Rezende, C. E., Souza, W. F. L., Ovalle, A. R. C., 2012. Land-sea interface features of four estuaries on the South America Atlantic coast. *Braz. J. Biol.*, vol. 72, no. 3, p. 761-774.
- Berner, R. A., 1996. *Global Environment: Water, Air, and Geochemical Cycles*, New York: Prentice Hall.
- Borges, P.S.P., 2014. Índices e modelos Biogeoquímicos para a definição do estado trófico, suscetibilidade, à eutrofização e metabolismo do estuário do Paraíba do Sul, RJ. Dissertação Mestrado. Universidade Federal Fluminense, Niterói –RJ, p.143.
- Boyer, J.N., Kelble, C. R., Ortner, P. B., Rudnick, D. T., 2009. Phytoplankton bloom status: Chlorophyll a biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, USA. *Ecological Indicators*. Volume 9, pp: 550-57
- Boynton, W. R., Kemp, M., 2008. Nitrogen in the Marine Environment. Chapter 18: Estuaries. Elsevier DOI:10.1016/B978-0-12-372522-6.00018-9.
- Bricker, S. B., Longstaff, B., Dennison, W., Jones, A., Boicourt, K., Wicks, C., Woerner, J., (2008). Effects of nutrient enrichment in the nation's estuaries: A decade of change. *Harmful Algae*, volume 8, pp: 21-32.
- Cameron, W. M. & Pritchard, D. W., 1963. Estuaries. In: Hill, M. N. (ed). *The Sea. Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas*. New York, Interscience, pp. 306-324.
- Carmouze, J. P., 1994. O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. Editora Edgard Blucher/FAPESP, São Paulo, 254p.

- Carter, G.W. R., 1988. Coastal environments: an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. Academic Press, London, 617p.
- Catelani, P. A., 2014. A Influência do Gradiente Ambiental do Estuário do Rio Macaé, RJ, na composição da ictiofauna: uma abordagem de Guildas Ecológicas. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Conservação. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Chiozzini, V. G., Agostinho, K. L., Delfim, R., Braga, E. S., 2010. Tide influence on hydrochemical parameters in two coastal regions of São Paulo (Brazil) under different environmental occupations. Safety, Health and Environment World Congress, July 25-28.
- Cloern, J. E., 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. Marine Ecology Progress Series, vol. 10: 223-253.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente., 2005. Resolução nº357. Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Brasília, SEMA.
- Costa, R.N. & Ferreira, M.I.P., 2010. A conferência da Terra: Aquecimento global, sociedade e biodiversidade. O impacto secundário da atividade petrolífera na cidade de Macaé com base na fotointerpretação de imagens aéreas. João Pessoa, Editora Universitária da UFPB, 2: 142-150.
- Costlow, J. D., 1967. Fertility of the seas. Vol 1-2, Gordon & Breach.
- Crossland, C. J., Kremer, H. H., Lindeboom, H.J., Marshall Crossland, J. I., Le Tissier., 2005. Coastal Fluxes in the Antropocene. The Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone Project of the International Geosphere-Biosphere Programme. Séries: Global Change The IGBP . 232 p. Hardcover. ISBN: 978-3-540-25450-8.
- Dalrymple, R. W., Zaitlin, B. B. & Boyd, R. 1992. A Conceptual Model of Estuarine Sedimentation. J. Sedim. Petrology, 62:1130-1146.
- Day, J. W., Crump, B. C., Kemp, W. M., Yanez-Arancibia., 2012. Estuarine Ecology. Second Edition, Wiley-Blackwell, Hoboken, New Jersey, 554p.
- Delgado, C. F., Baldo, F., Vilas, C., Gonzalez, D. G., Cuesta, J., A; Ortegon, E. G., Drake, P., 2007. Effects of the river discharge management on the nursery function of the Guadalquivir river estuary (SW Spain). Hydrobiologia, 587:125-136.
- Dionne, J. C. 1963. Towards a more Adequate Definition of the St. Lawrence Estuary. Geomorphology, 7:36-44.

- Dyer, K. R., 1973. *Estuaries: A Physical Introduction*. 2ed. New York. John Wiley & Sons.
- Elliott, M., Mc Lusky, D. S., 2002. The Need for Definitions in Understanding Estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55: 815-827.
- Elliott, M., Burdon, D., Hemingway, K.L., Apitz, E, S., 2007. Estuarine, coastal and marine ecosystem restoration: Confusing management and science – A revision of concepts. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 74: 349-366.
- Eschrique, S.A., Marins, R. V., Moreira, M.O.P., Almeida, M.D., 2007. *Hidrogeoquímica do Fósforo no Estuário do Jaguaribe (CE)*. Instituto de Ciências do Mar, Fortaleza, CE.
- Eschrique, S. A., 2011. *Estudo do Balanço Biogeoquímico dos Nutrientes Dissolvidos Principais como Indicador da Influência Antrópica em Sistemas Estuarinos do Nordeste e Sudeste do Brasil*. Dissertação (Doutorado). Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 231p.
- Esteves, F. A., 2011. *Fundamentos de Limnologia*. Editora Interciência. 3ª edição. Rio de Janeiro.
- Fairbridge, R. W., 1980. “The Estuary: Its Definition and Geodynamic Cycle”. In: Olausson, E. & Cato, I. (eds.). *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. New York, Wiley, pp. 1-35.
- Ferreira, M. I. P & Herculano, S., 2011. *Impactos Sociais, Ambientais e Urbanos das Atividades Petrolíferas: o caso de Macaé (RJ)*. PPGSD/UFF. 2011. Capítulos 2-3 pp 169.
- Flemer, D. A., Champ, M. A., 2006. What is the future fate of estuaries given nutrient over-enrichment, freshwater diversion and low flows? *Marine Pollution Bulletin*, 52: 247-258.
- Freitas, L. E., Nunes, F. S. B., Cruz, J. C. H. O., Vilela, C., Mendes, S., Silva, A. C., Borges, G., 2015. *Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé*. 1ª Ed. Editora nova Tríade do Brasil Ltda, Rio de Janeiro.
- Godiva, D., Evangelista, H., Kampel, M. Licinio, M.V., Munita, C., 2010. Combined use of aerogammaspectrometry and geochemistry to access sediment sources in a shallow coral site at Armação dos Búzios, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87: 526-534.

- Hansen, D. V., Rattray, M., 1966. New Dimensions in Estuary Classification. *Limnology and Oceanography*. Department Oceanography, University of Washington, Seattle. Volume XI. Number 3, pp 319
- Hayes, M. O., 1975. Morphology of sand accumulation in estuaries: an introduction to the symposium. *Geology and Engineering*, pp: 3-22.
- Herdendorf, S. E., 1990. Great lakes estuaries. *Estuaries*, 13:493-503
- Hitchcock, J. N., Mitrovic, S. M., 2015. Highs and Lows: The effect of differently sized freshwater inflows on estuarine carbon, nitrogen, phosphorus, bacteria and chlorophyll a dynamics. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 156: 71-82.
- Holeman, J. N., 1980. The sediment yield of major rivers of the world: *Water Resources Res.*, volume 4:737-747.
- IBGE 2014. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contagem da população de 2015. Disponível <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=330240>> Acesso em: 15 fevereiro 2016.
- IGBP 1990. Coastal ocean fluxes and resources. Holligan, P (ed.) *International Geosphere – Biosphere Program Report 14*.
- INMET 2016. Instituto Nacional de Meteorologia. Rede de Estações e Previsão Climática do ano de 2014. Disponível em www.inmet.gov.br. Acesso em 18 fevereiro 2016.
- Jay, D. A., Smith, J. D., 1988. Residual Circulation and Classification of Shallow, Stratified Estuaries. In: Dronkers, J. & Van Leussen, W. (eds.). *Physical Processes in Estuaries*. Berlin, Springer-Verlag, pp. 22-41.
- Jennerjahn, T. C., 2012. Biogeochemical response of tropical coastal systems to present and past environmental change. *Earth- Science Reviews*, 114: 19-41.
- Jennerjahn, T.C., 2013. Pressures, stresses, shocks and trends in estuarine ecosystems – An introduction and synthesis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 130. 1-8.
- Jickells, T, D., 2014. Small estuaries: Ecology, environmental drivers and management challenges. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 150: 193-195.
- Jickells, T.D., Andrews, J.E., Parkers, D.J., Suratman, S. Aziz, A.A., Hee, Y.Y., 2014. Nutrient transport through estuaries: The importance of the estuarine geography. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 150: 215-229.

- Knoppers, B., Medeiros, P. R. P., Souza, W. F. L., 2005. The São Francisco Estuary, Brazil. *Environmental Chemistry*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Volume 5. DOI 10.1007/698_5_026.
- Krüger G. C. T., Carvalho, C. E. V., Suzuki, M. S., 2006. Dissolved Nutrient, Chlorophyll a and DOC dynamic under distinct riverine discharges and tidal cycles regimes at the Paraíba do Sul River Estuary, RJ. *Journal of Coastal Research*, 39: 724-730.
- Lacerda, L. D., Menezes, M. O. T., Molisani, M. M., 2007. Changes in mangrove extension at the Pacoti River estuary, CE, NE Brazil due to regional environmental changes between 1958 and 2004. *Biota Neotropica*, v7(n3).
- Lacerda, L.D., Molisani, M.M., Maia, L.P., 2008. Estimating the importance of natural and anthropogenic sources on N and P emission to estuaries along the Ceará State Coast Ne Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 141: 149-164.
- Lemley, D. A., Adams, J. B., Taljaard, S., Strydom, N. A., 2015. Towards the classification of eutrophic condition in estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 164: 221-232.
- Luz, L. M., 2003. Suscetibilidade de Paisagem na Zona Costeira do Município de Macaé e Indicadores de Qualidade Ambiental da Orla Marítima - Litoral Norte Fluminense. (Dissertação de Mestrado) Programa de Pós Graduação em Geologia, UFRJ, 141p.
- Marçal, M. S., Luz, L. M., 2003. Planejamento e Gestão da Bacia do Rio Macaé- Litoral Norte Fluminense, com base em estudos integrados de Geomorfologia e Uso do Solo. In: IX Congresso da Associação Brasileira do Quaternário (ABEQUA), Recife. CD-ROM.
- Martins, J., R, S., 2008. Decaimento e Mistura de Poluentes no Meio Ambiente. Capítulo 5: Processos em Estuários. EPUSP-PHD- 2450, São Paulo, SP.
- McLusky, D.S., M. Elliott., 2004. *The Estuarine Ecosystem: Ecology, Threats and Management*. Oxford: Oxford University Press. 214 p.
- Medeiros, P. R. P., Knoppers, B., Souza, W. F. L., Oliveira, E. N., 2011. Aporte de material em suspensão no Baixo Rio São Francisco (SE/AL) em diferentes condições hidrológicas. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 15(1):42-53.

- Meeuwig, J.J., 1999. Predicting coastal Eutrophication from land-use: an empirical approach to small non-stratified estuaries. *Marine Ecology Progress and Series*, 176:231-241.
- Meybeck., 1993. C, N, P and Si in Rivers: from sources to global inputs. In: R. Wollast, FT, Mackenzie, L, Chou (Eds) *Interactions of C, N, P and Si biogeochemical cycles and global change*, NATO ASI Series, 14: 163-193.
- Milliman, J. D., Meade, R. H., 1983. World-wide delivery of river sediment to the oceans. *Journal of Geology*, 100: 525-544.
- Milliman, J.D., Syvitski, P. M., 1992. Geomorphic/ Tectonic Control of Sediment Discharge to the Ocean: The Importance of Small Mountainous Rivers. *The Journal of Geology*, volume 100: 525-544.
- Milliman, J. D., Farnsworth, K. L., Jones, P. D., Xu, K. H., Smith, L.C., 2008. Climatic and anthropogenic factors affecting river discharge to the global ocean, 1951–2000. *Global and Planetary Change* 62 (2008) 187–194.
- Ministério do Meio Ambiente – MMA., 2008. *Macrodiagnóstico da Zona Costeira do Brasil*. Brasília-DF. 225p
- Miranda, L. B., Bergamo, A. L., Castro. B.M., 2005. Interactions of river discharge and tidal modulation in a tropical estuary, NE Brazil. *Ocean Dynamics*, 55: 430-440.
- Miranda, L.B., Castro, B.M., Kjerfve, B., 2012. *Princípios de Oceanografia física de estuários*. Edusp, São Paulo, 414p.
- Molisani, M.M., 2005. Caracterização das condições físico-químicas dos estuários do Estado do Ceará. Programa Zoneamento Ecológico e Econômico da Zona Costeira do Estado do Ceará. Governo do Estado do Ceará e Universidade Federal do Ceará. 32p.
- Molisani, M. M., Kjerfve, B., Lacerda, L. D., 2006. Water discharge and sediment load from an anthropogenically-altered drainage basin. *Journal of Hydrology*, 331:425-433.
- Molisani, M. M., Esteves, F. A., Rezende, C. E., Lacerda L. D., 2013. Emissões naturais e antrópicas de nitrogênio, fósforo e metais para a Bacia do Rio Macaé (Macaé, RJ, Brasil) sob influencia das atividades de exploração de petróleo e gás na Bacia de Campos. *Química Nova*, 36: 27-33.
- Molisani, M. M., Noronha Jr, F. R. C., Schultz, M. S., Rezende, C. E., Almeida, M. G., Silveira, C. S., 2015. Mismatch Between Sediment Metal Distribution and Pollution

- Source Gradient: A Case Study of a Small-Size Drainage Basin (Southeastern Brazil). *Bull Environmental Contamination Toxicology*, 94: 770-776.
- Moté, F.O., Marçal, M.S., Bonato, G., 2006. Uso e cobertura da terra associado às unidades de relevo e problemas ambientais na Bacia Rio Macaé. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/ Regional Conference on Geomorphology.
- Mulder T., Syvitsky, P.M., 1996. Climatic and morphologic relationship of rivers. Implication of sea level fluctuation on river loads. *Journal of Geology*, 104: 509-523.
- Noriega, C. D., Muniz, K., Feitosa, F. A.N., Flores-Montes, M. T., Grego, C.K.S., Soares, G.S.S & Silva, H. P., 2005. Distribuição Espacial da biomassa fitoplanctônica e sua relação com sais nutrientes, no sistema estuarino de Barra das Jangadas (Pernambuco,- Brasil). *Arquivos de Ciências do Mar*, 38: 5-18.
- Noriega, C. E. D., Araujo, M., 2011. Nutrient budgets (C, N and P) and trophic dynamics of a Brazilian tropical estuary: Barra das Jangadas. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 83(2): 441-456.
- Nixon, S.W., 1982. Nutrient Dynamics, Primary production and Fisheries yield of Lagoons. *Oceanologica Acta. Supply*, 4: 357-371.
- Nixon S.W., 1996. The fate of nitrogen and phosphorous at the land-sea margin of the North Atlantic Ocean. *Biogeochemistry*, 35: 141-180.
- Odum, W. E., 1990. The lacustrine estuary might be a useful concept. *Estuaries*, 13:506-507.
- Officer, C. B., 1976. Longitudinal Circulation and Mixing Relations in Estuaries. *Estuaries, Geophysics, and the Environment*. Washington, D. C., National Academy of Sciences, pp.13-21.
- Paganoto, F., 2008. Mobilidade e Trabalho em Macaé/RJ, a “Capital do Petróleo”. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Painting, S. J., Devlin, M. J., Malcolm, S. J., Parker, E. R., Mills, D. K., Mills, C., Tett, P., Wither, A., Burt, J., Jones, R., Winpenny, K., 2007. Assessing the impact of nutrient enrichment in estuaries: Susceptibility to Eutrophication. *Marine Pollution Bulletin*, 55: 74-90.
- Palmer, T. A., Montagna, P. A., Pollack, J. B., Kalke, R.D., DeYoe, H. R., 2011. The role of freshwater inflow in lagoons, rivers, and bays. *Hydrobiologia*, 667: 49-67.

- Pasquaud, S., Vasconcelos, R. P., França, S., Henriques, S., Costa, M. J., Cabral, H., 2015. Worldwide patterns of fish biodiversity in estuaries: Effect of global vs. local factors. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. Volume 154, pp: 122-128.
- Pereira Filho, J., Schettini, C.A.F., Rörig, L., Siegle, E., 2001. Intratidal variation and net Transport of Dissolved Inorganic Nutrients, POC and Chlorophyll a in the Camboriú River Estuary, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53: 249-257.
- Perillo, G. M. E., 1995. Definitions and Geomorphologic Classifications of Estuaries. *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Elsevier Science B. V. Berlin, pp. 17-49.
- Piccolo, M. C., Perillo, G. M. E., Arango, J. M. 1990. Hidrografía del estuario del río Sauce Chico (Bahia Blanca). *Geoacta*, 13:13-23.
- Pinheiro, M. R. C., 2008. Avaliação de usos preponderantes e qualidade da água com subsídios para os instrumentos de gestão dos recursos hídricos aplicada à bacia hidrográfica do rio Macaé. Dissertação de mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Instituto Federal Fluminense.
- Potter, I. C., Chuwen, B. M., Hoeksema S. D., Elliott, M., 2010. The concept of an estuary: A definition that incorporates systems which can become closed to the ocean and hypersaline. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87: 497-500.
- Prandle, D., 1985. On Salinity Regimes and the Vertical Structure of Residual Flows in Narrow Tidal Estuaries. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 20 : 615-635.
- Prefeitura Municipal de Rio das Ostras 2004. Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio das Ostras. Rio das Ostras: Prefeitura Municipal, 147p.
- Prefeitura Municipal de Rio das Ostras, 2004. Levantamento semidetalhado de solos do município de Rio das Ostras. Rio de Janeiro: GERA Consultoria e Empreendimentos Ltda.
- Prioste, M. A. O., 2007. Bacia Hidrográfica do rio das Ostras: proposta para gestão ambiental sustentável. Dissertação (Mestrado) - PEAMB/UERJ, Rio de Janeiro - RJ. 193p.
- Pritchard, D., 1952. "Salinity Distribution and Circulation in the Chesapeake Bay Estuarine System". *J. Mar. Res.*, 11(1):106-123.
- Pritchard, D., 1955. "Estuarine Circulation Patterns". *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.*, 81:717.
- Pritchard, D. W., 1967. What is a estuary: a physical view point. Pp. 3-5 in Laug GG.

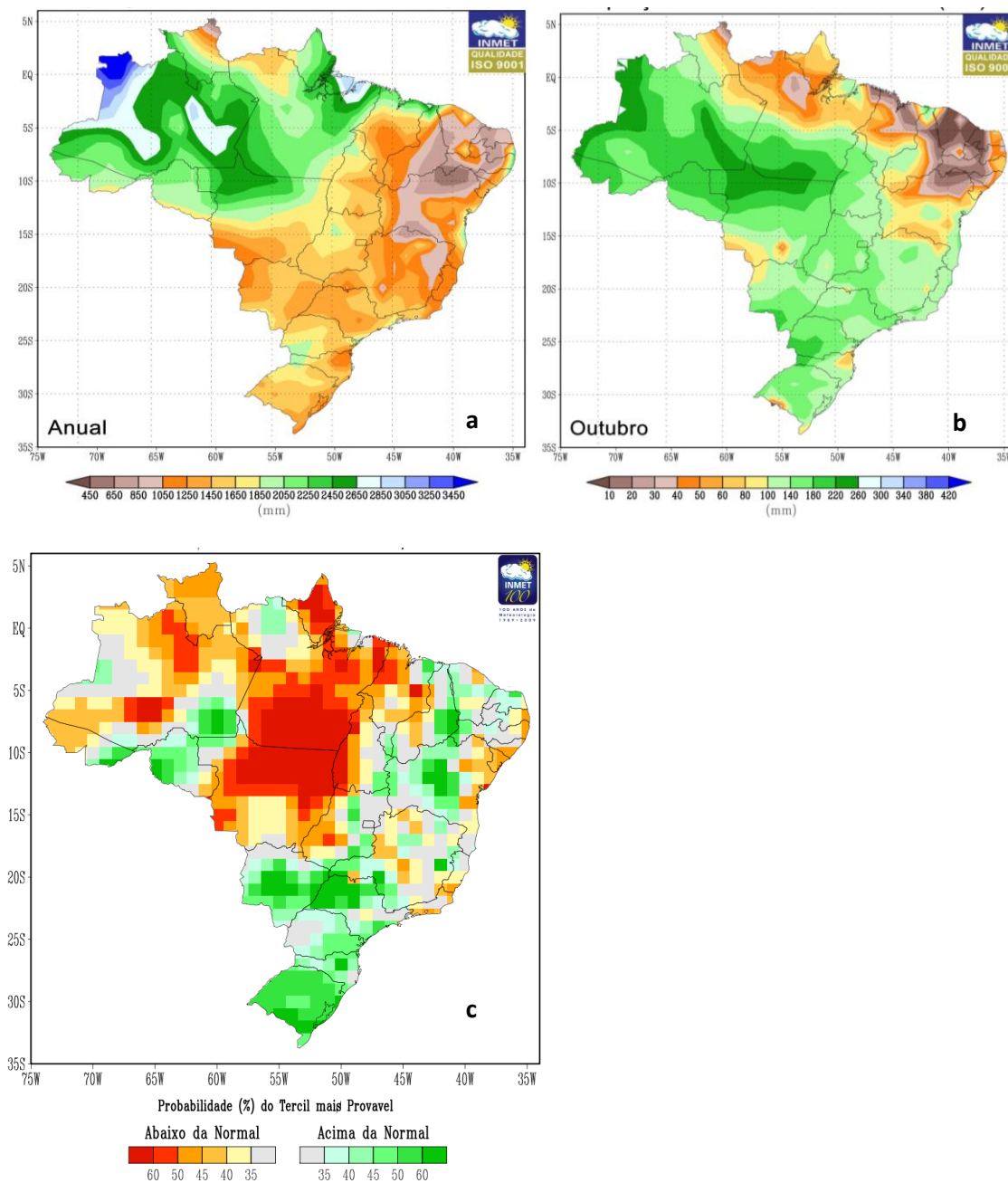
- (Ed.) Estuaries publication n. 83, American Association for the Advancement of Science. Washington DC.
- Kjerfve, B. 1987. "Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography. In: Day Jr., J. w., C.H. A.S. Hall, Kemp, W. M. & Yañez- Aranciba, A. (eds). Estuarine Ecology. New York, Wiley, pp. 47-48.
- Knoppers, B., Souza, W. F. L., Ekau, W., Figueiredo, A. G., Gomes, A. S., 2009. *Biologia Marinha*. Capítulo 22: A interface Terra – Mar do Brasil. Editora Interciência. 2ª Ed. Rio de Janeiro, RJ.
- Kruger, G. C. T., Carvalho, C. E. V., Suzuki, M. S., 2006. Dissolved Nutrient, Chlorophyll a and DOC Dynamic Under Distinct Riverine Discharges and Tidal Cycles Regimes at the Paraíba do Sul River Estuary, R.J. *Journal of Coastal Research*, 724-730.
- Ressigui, J. H. P., 2011. *Atividade Petrolífera e Impactos no Espaço Urbano do Município de Macaé- 1970-2010*. Dissertação de Mestrado em Planejamento Regional e Gestão de Cidades. Universidade Candido Mendes, UCAM. Campos de Goytacazes, RJ.
- Rodrigues, M., Oliveira, A., Queiroga, H., Brotas, V., 2012. Seasonal and diurnal water quality and ecological dynamics along a salinity gradient (Mira channel, Aveiro Lagoon, Portugal). *Procedia Environmental Sciences*, 13: 899-918.
- Roegner, G. C., Seaton, C., Baptista A, M., 2010. Climate and Tidal Forcing of Hydrography and Chlorophyll Concentrations in the Columbia River Estuary. *Estuaries and Coasts*, DOI 10.1007/s 12237-010-9340-z.
- Santiago, I.U., Molisani, M. M., Nudi, A. H., Scofield, A. L., Wagener, L. R., Filho, A. M. L., 2016. Hydrocarbons and trace metals in mussels in the Macaé coast: Preliminary assessment for a coastal zone under influence of offshore oil field exploration in southeastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 103: 349-353.
- Scharler, U. & Baird, D., 2000. The effect of a single freshwater release into the Kromme Estuary. 1: General description of the study area and physico-chemical responses. *Water S. A.*, 26: 291-300.2000.
- Schettini, C. A. F; Pereira F; Spillere, L., 2000. Caracterização oceanográfica e biogeoquímica dos estuários dos rios Tavares e Defuntos, Reserva Extrativista de Pirajubaé, Florianópolis, SC. *Notas Técnicas Facimar*, 4:11-28.

- Sekovski, I.; Newton, A.; Dennison, W., 2012. Megacities in the coastal zone: Using a driver-pressure-state-impact-response framework to address complex environmental problems. *Marine Pollution Bulletin*, 96: 48-59.
- SEMADS/GTZ.,1999. Subsídios para Gestão dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos rios Macacu, São João, Macaé e Macabu, in: Projeto PLANÁGUA-SEMADS/GTZ de Cooperação Técnica Brasil-Alemanha. Rio de Janeiro, RJ.
- SEMADS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável., 2001. Bacias Hidrográficas e rios fluminenses. Síntese Informativa por Macrorregião Ambiental. Projeto PLANÁGUA SEMADS/GTZ de Cooperação Técnica Brasil- Alemanha. Rio de Janeiro, RJ.
- Shepard, F. P.,1973. *Submarine Geology*. Harper and Row, New York, 517p.
- Signorin, M., Pereira-Filho, J., Delfim, R., Schettini, C. A. F., 2010. Hidrodinâmica e nutrientes inorgânicos dissolvidos no estuário do rio Perequê, SC. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 14 (2): 11-19.
- Silva, M.C., 2000. Estuários: Critérios para uma Classificação Ambiental. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 5, n.1 Jan/Mar, 25-35.
- Silva, F., Schettini, C. A. F., 2003. Avaliação da dinâmica lateral e dos mecanismos de transporte no estuário do Rio Camboriú. *Notas Técnicas da Facimar*, 7: 97-108.
- Silva, C.A.R., 2004. *Análises Físico-Químicas de Sistemas Marginais Marinhos*. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 115p.
- Silva, M.A.M., 2007. Biogeoquímica dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e biomassa fitoplanctônica no estuário do rio cachoeira, Ilhéus- BA. Dissertação de Mestrado em Sistemas Aquáticos Tropicais. Universidade Estadual de Santa Cruz- UESC. Ilhéus, BA.
- Smith, V.H., Tilman, G.D., Nekola, J.C., 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100 : 179-196.
- Smith,V.H ., 2003. Responses of estuarine and coastal marine phytoplankton to nitrogen and phosphorus enrichment. *American Society of Limnology and Oceanography*, 51: 377-384.
- Simmons, H. B. 1955. Some Effects of Upland Discharge on Estuarine Hydraulics. *Proc.Am.Soc.Civ. Engrs.*, 81(792).

- Sorensen, J.Sydor, M., Huls, H., Costello, M., 2004. Analyses of Lake Superior Seiche Activity for Estimating Effects on Pollution Transport in the St. Louis River Estuary under Extreme Conditions. *Journal of Great Lakes Research*, Volume 30, 293-300.
- StatSoft, INC., 2007, Statistica (data analysis software system). Version 7.0. Available at://www.statsoft.com.
- Stommel, H., 1951. Recent Development in the Study of Tidal Estuaries. Tech. Rept., Massachusetts, Woods Hole Oceanographic Institution, n. 51-33.18p.
- Strickland, J. D. H & Parsons, T. R., 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Bulletin 167. 2ª edição. 167p.
- Syvitski, JP; Vörösmarty, CJ; Kettner, AJ; Green, P., 2005. Impact of Humans on the Flux of Terrestrial Sediment to the Global Coastal Ocean. *Science* 308: 376-380.
- Syvitski, J. P. M. & Saito, Yoshiki., 2007. Morphodynamics of Deltas under the influence of humans. *Global and Planetary Change* 57: 261-282.
- Tappin, A.D., 2002. An examination of the fluxes of nitrogen and phosphorus in temperate and tropical estuaries: current estimates and uncertainties. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55: 885-901.
- Turner, R. E., Rabalais, N. N., Justic, D., Dortch, Q., 2003. Global Patterns of dissolved N, P and Si in Large Rivers. *Biogeochemistry*, 64: 297-317.
- Walsh, J. J., 1998. On the nature of continental shelves. Academic Press Inc, 520p.
- Weber, W., 2001. Ambiente das Águas No estado do Rio e Janeiro, SEMADS.
- Whitall, D., Bricker, S., Ferreira, J., Nobre, A. M., 2007. Assessment of Eutrophication in Estuaries: Pressure-State-Response and Nitrogen Source Apportionment. *Environ Manage*, 40:678-690.
- Wolanski, E., 2007. *Estuarine Ecohydrology*. Elsevier, 155p.

8. APÊNDICES

Anexo 1. Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990: a) Precipitação acumulada anual (mm), b) mensal (Outubro) (mm) e c) previsão probabilística de precipitação para o mês de outubro de 2014.



Anexo 2. Precipitação anual e mensal (mm) na estação A608 Macaé para o ano de 2014



Anexo 3: Análise estatística entre superfície e fundo na maré de quadratura do estuário do rio Macaé para amostras independentes (a) Teste t Student e (b) teste Manny Whitney para $p < 0,05$

Variável	Teste t^a/U^b	gl/N	p
NH ₄ ⁺	12,041 ^a	22	< 0,0001
PO ₄ ³⁻	34,000 ^b	12;12	0,0282
PT	0,183 ^a	22	0,8565
NT	2,983 ^a	22	0,0068
NTD	10,000 ^b	12;12	0,0003
Chl a	1,329 ^a	22	0,1974
Sal	<0,001 ^b	12;12	< 0,0001
Temp	8,671 ^a	22	< 0,0001
Cond	0,000 ^b	12;12	< 0,0001
MPS	8,378 ^a	22	< 0,0001

Anexo 4: Análise estatística entre superfície e fundo na maré de sizígia do estuário do rio Macaé para amostras independentes (a) Teste t Student e (b) teste Manny Whitney para $p < 0,05$

Variável	Teste t^a/U^b	gl/N	p
NH ₄ ⁺	0,376 ^a	24	0,7099
PO ₄ ³⁻	0,059 ^a	24	0,953
PT	1,489 ^a	24	0,1494
NT	0,694 ^a	24	0,4942
NTD	0,294 ^a	24	0,7711
Chl a	0,366 ^a	15	0,7173
Sal	0,579 ^a	24	0,5679
Temp	0,627 ^a	24	0,5367
Cond	0,026 ^a	24	0,9795
MPS	36,000 ^b	13; 13	0,0129

Anexo 5: Análise estatística entre superfície e fundo na maré de quadratura do estuário do rio das Ostras para amostras independentes (a) Teste t Student e (b) teste Manny

Whitney para $p < 0,05$

Variável	Teste t ^a /U ^b	gl/N	p
NH ₄ ⁺	0,032 ^a	12	0,9748
PO ₄ ³⁻	0,622 ^a	24	0,5397
PT	55,000 ^b	13;13	0,1303
NT	64,000 ^b	13;13	0,2931
NTD	1,000 ^a	24	0,3273
Chl a	0,730 ^a	24	0,4724
Sal	0,020 ^a	24	0,9838
Temp	0,649 ^a	24	0,5219
Cond	0,235 ^a	24	0,8158
MPS	1,606 ^a	23	0,1217

Anexo 6: Análise estatística entre superfície e fundo na maré de sizígia do estuário do rio das Ostras para amostras independentes (a) Teste t Student e (b) teste Manny

Whitney para $p < 0,05$

Variável	Teste t ^a /U ^b	gl/N	p
NH ₄ ⁺	0,626 ^a	17	0,5392
PO ₄ ³⁻	0,608 ^a	24	0,5488
PT	1,511 ^a	24	0,1437
NT	0,587 ^a	24	0,5624
NTD	0,173 ^a	24	0,8639
Chl a	0,871 ^a	14	0,3981
Sal	0,00a	24	1,0000
Temp	0,144 ^a	24	0,8864
Cond	0,803 ^a	24	0,4293
MPS	0,919 ^a	24	0,3668

Anexo 7: Análise estatística entre marés na superfície do estuário do rio Macaé para amostras independentes (a) Teste t Student e (b) teste Manny Whitney para $p < 0,05$

Variável	Teste t ^a /U ^b	gl/N	p<0,05
NH ₄ ⁺	48,000 ^b	12;13	0,1027
PO ₄ ³⁻	1,270 ^a	23	0,2165
PT	2,380 ^a	23	0,0260
NT	0,086 ^a	12;13	0,9324
NTD	1,089 ^a	23	0,2872
Chl <i>a</i>	1,232 ^a	23	0,2303
Sal	39,000 ^b	12;13	0,0338
Temp	14,375 ^a	23	<0,0001
Cond	28,000 ^b	12;13	0,0065
MPS	11,000 ^b	12;13	0,0003

Anexo 8: Análise estatística entre marés no fundo do estuário do rio Macaé para amostras independentes (a) Teste t Student e (b) teste Manny Whitney para $p < 0,05$

Variável	Teste t ^a /U ^b	gl/N	p<0,05
NH ₄ ⁺	66,000 ^b	12;13	0,5139
PO ₄ ³⁻	6,000 ^b	12;13	0,0001
PT	9,000 ^b	12;13	0,0002
NT	56,000 ^b	12;13	0,2314
NTD	60,000 ^b	12;13	0,3275
Chl <i>a</i>	2,863 ^a	23	0,0088
Sal	49,500 ^b	12;13	0,1211
Temp	2,489 ^a	23	0,0205
Cond	47,000 ^b	12;13	0,0918
MPS	58,000 ^b	12;13	0,2767

Anexo 9: Análise estatística entre marés na superfície do estuário do rio das Ostras para amostras independentes (a) Teste t Student e (b) teste Manny Whitney para $p < 0,05$

Variável	Teste t ^a /U ^b	gl/N	p
NH ₄ ⁺	0,270 ^a	16	0,7901
PO ₄ ³⁻	59,000 ^b	13;13	0,1909
PT	1,315 ^b	24	0,2009
NT	52,000 ^b	13;13	0,0955
NTD	0,171 ^a	24	0,8655
Chl a	1,804 ^a	19	0,0870
Sal	80,500 ^b	13;13	0,8374
Temp	6,769 ^a	24	<0,0001
Cond	65,500 ^b	13;13	0,3298
MPS	4,672 ^a	24	<0,0001

Anexo 10: Análise estatística entre marés no fundo do estuário do rio das Ostras para amostras independentes (a) Teste t Student e (b) teste Manny Whitney para $p < 0,05$

Variável	Teste t ^a /U ^b	gl/N	p
NH ₄ ⁺	0,362 ^a	13	0,7230
PO ₄ ³⁻	75,000 ^b	13;13	0,6260
PT	51,000 ^b	13;13	0,0858
NT	68,000 ^b	13;13	0,3975
NTD	63,000 ^b	13;13	0,2702
Chl a	0,289 ^a	19	0,7757
Sal	80,500 ^b	13;13	0,8375
Temp	10,500 ^b	13;13	0,0001
Cond	84,000 ^b	13;13	0,9795
MPS	3,919 ^a	23	0,0007