



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

Centro de Tecnologia e Geociências

Departamento de Oceanografia

Programa de Pós-graduação em Oceanografia

**Influência Hidrológica e Grau de Poluição dos Rios Pirapama e
Jaboatão no Estuário da Barra das Jangadas (PE-Brasil): Ciclo
Temporal.**

CARLOS ESTEBAN DELGADO NORIEGA

Recife

2004

Carlos Esteban Delgado Noriega

**Influência Hidrológica e Grau de Poluição dos Rios Pirapama e
Jaboatão no Estuário da Barra das Jangadas (PE-Brasil): Ciclo
Temporal.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências na área de Oceanografia Abiótica.

Orientadora:

Dra. Kátia Muniz Pereira da Costa.

Co-orientador:

Dr. Moacyr Cunha de Araújo.

Recife

2004

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
Centro de Tecnologia e Geociências
Departamento de Oceanografia
Programa de Pós-graduação em Oceanografia

**Influência Hidrológica e Grau de Poluição dos Rios Pirapama e
Jaboatão no Estuário da Barra das Jangadas (PE-Brasil): Ciclo Temporal.**

por:

CARLOS ESTEBAN DELGADO NORIEGA

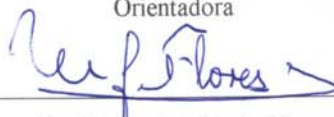
Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora em 17/08/2004.

EXAMINADORES:

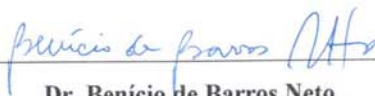


Dr.^a Kátia Muniz Pereira da Costa

Orientadora



Dr. Manuel de Jesús Flores Montes



Dr. Benício de Barros Neto



Dr. Silvio José de Macedo



Dr.^a Sirleis Rodrigues Lacerda

**Dedicado a mi madre, por el cariño
y apoyo de siempre, a mi abuela (*in
memória*), y para una mujer
maravillosa: Janaina.**

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de agradecer a todos que de uma ou outra forma contribuíram para a realização deste trabalho, e principalmente:

- Ao Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco pela oportunidade de realização do curso de mestrado e deste trabalho.
- A Dra. Kátia Muniz da Costa, pela valiosa orientação, incentivo e ensino durante a realização do presente trabalho.
- Ao Dr. Moacyr Cunha de Araújo, pela co-orientação, atenção, apoio e ensino, durante o decorrer do curso.
- Ao Dr. Silvio José de Macêdo, pelo incentivo, ensino e cooperação durante estes dois anos.
- Ao Dr. Benício de Barros Neto, pela co-orientação e ajuda no tratamento estatístico dos dados.
- À Dras Lilia Santos e Elisabeth de Araújo em nome do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, pelo apoio durante o período deste curso.
- À Dra. Tereza C. Araújo, em nome do Departamento de Oceanografia, bem como a todos os professores e funcionários.
- Ao CNPq, pela concessão da Bolsa de Mestrado, indispensável para a conclusão deste curso.
- Ao pessoal da seção de Química, Iara, Jesi (*in memória*) e Joaquim, pela colaboração nas análises das amostras e pela amizade.
- Ao Dr. Manuel de Jesús Flores Montes, pelo apoio, ensino e amizade para o desenvolvimento deste trabalho.
- À Dra. Sigrid Neumann Leitão, pela orientação no início do curso e apoio, como pela elaboração do abstract.
- À Dra Carmen Medeiros, pela atenção e ensino durante estes dois anos.
- À Dra Mônica Ferreira Costa, pela atenção e apoio durante estes dois anos.
- Ao pessoal do LOFEC, Marcus da Silva e Marcello Rollnic, pela ajuda e dúvidas tiradas no decorrer do curso.
- Ao Dr. Fernando Antonio Feitosa, pela amizade e apoio durante este período.

- A Isaac Cristiano de Freitas, Rodolfo Araújo e Silvia Rodrigues, pelo apoio durante o período de coleta, facilitando a realização deste trabalho.
- A Lourdes dos Santos e Juciene Figueiredo, pelo incentivo e amizade, assim como a ajuda na construção da dissertação.
- Ao mestrando João Marcello, pela amizade e apoio durante este período.
- À Dra. Sirleys Rodrigues Lacerda, pela valiosa ajuda no fornecimento dos dados climatológicos.
- A Mirna, secretaria do Departamento, pela atenção e ajuda durante as diferentes etapas no decorrer do curso.
- A mis amigos Luis y Adriano del Departamento de Matemáticas aquí en Recife, Fernando y Wilfredo allá en Chile por la amistad y ayuda durante los buenos y difíciles momentos vividos durante estos últimos años.
- A mis amigos de São Paulo, Claudia Liba, Fungy Chong How, Roseline y José Luis, por el apoyo y amistad desde mis primeros días aquí en Brasil.

“A natureza segue seu curso, e tudo que nos parece uma exceção está realmente dentro da ordem, seguindo seu rumo”.

Goethe

RESUMO

O sistema tropical estuarino de Barra das Jangadas (8°14'S e 34°55'W) representa um importante corpo d'água da Região Metropolitana do Recife que vem sofrendo uma forte pressão do desenvolvimento urbano e industrial. O objetivo do presente trabalho foi determinar a influência dos rios Jaboatão e Pirapama no estuário de Barra das Jangadas em relação aos parâmetros físicos e químicos, importação e exportação de nutrientes e grau de poluição, detectados em ciclos nictemerais nas duas estações do ano, desde uma maré de sizígia a uma de quadratura. Foram analisados parâmetros climatológicos (pluviometria, evaporação, intensidade e direção dos ventos), hidrológicos (transparência da água, coef. extinção da luz, temperatura, salinidade, pH, oxigênio dissolvido e sua taxa de saturação, demanda bioquímica de oxigênio, sais nutrientes (NH_3+NH_4 , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SiO_2)) e físicos (batimetria, intensidade e direção das correntes). Para a análise hidrológica, amostras foram coletadas em uma estação fixa (confluência dos dois rios) durante sete dias (de 3 em 3 horas) no período de janeiro/2001 e julho/2001. Para a determinação do fluxo dos nutrientes foram coletadas amostras (de 3 em 3 horas) em uma seção transversal (3 estações) na confluência dos rios durante 24 horas (julho/2003). Foi realizada uma Análise dos Componentes Principais (ACP), que explicou aproximadamente 70% da variância total quando foram utilizados todos os parâmetros abióticos (nas duas estações do ano e com os estágios de baixa e preamar), mostrando um contraste entre o oxigênio dissolvido e sua taxa de saturação, salinidade, pH e temperatura, com os sais nutrientes. Esta análise indicou principalmente a correlação entre o estágio de baixa-mar e nutrientes, indicativo de poluição de origem doméstica e industrial. De acordo com os resultados hidrológicos a temperatura da água variou pouco sazonalmente (28,18 – verão a 26,36 - inverno), com maiores concentrações de sal no verão e sem apresentar estratificação vertical (menores a 5 unidades). Valores de oxigênio dissolvido indicam teores acima mais elevados durante o verão, e menores durante o inverno, sendo classificado tanto como zona supersaturada quanto poluída, respectivamente. A demanda bioquímica de oxigênio apresentou teores baixos durante os dois períodos; o pH manteve-se sempre alcalino, excetuando uma leve diminuição durante o estágio de baixa-mar durante o inverno; os nutrientes inorgânicos dissolvidos apresentaram uma marcada sazonalidade principalmente, NH_4 , NO_2 , PO_4 e SiO_2 , com maiores teores durante o inverno no estágio de baixa-mar relacionado à maior influência limnética do período. A relação N:P média variou de 25:1 durante o verão a 8,5:1 durante o inverno. O ACQUA_M, calculado evidenciou uma qualidade da água não aceitável para os estágios de baixa-mar no inverno. As concentrações dos nutrientes para o ano de 2003 mostraram um incremento principalmente da amônia, evidenciando um aumento de concentração de 100% em comparação a estudos realizados a dois anos atrás. Esta diferença pode ser atribuída ao aumento da densidade populacional e industrial na zona ribeirinhas dos rios, bem como ao crescimento da vazão continental entre os dois períodos. O estuário caracterizou-se como um exportador de nutrientes e importador de sal durante o período estudado (24 horas), com velocidades absolutas médias de 0,38 m.s⁻¹ e fluxos altos principalmente de silicato (1653,11kg.d⁻¹), amônia (174,81 kg.d⁻¹), e sal (3198,13 kg.s⁻¹). O sistema se comportou como um estuário bem misturado do tipo 1, de acordo com a classificação de Hansen & Rattray (1966).

ABSTRACT

The estuarine tropical system of Barra das Jangadas (8°14'S and 34°55'W) is an important water body to the Recife metropolitan region and is under strong urban and industrial stress. This research was carried out to assess the Jaboatão and Pirapama rivers influence in the Barra das Jangadas in relation to the physico-chemical parameters, nutrients importation/exportation and pollution grade, during a nyctemeral cycle in two annual seasons, from a spring to a neap tide. It was analyzed the climate (rainfall, evaporation, wind intensity and direction), hydrology (water transparency, light extinction coefficient, temperature, salinity, dissolved oxygen, and oxygen saturation tax, biochemical oxygen demand, nutrients: $\text{NH}_3+\text{NH}_4^+$, NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SiO_2O) and physics (batimetry, currents intensity and direction). To assess the hydrological data samples were collected every three hours, in one fixed station at the confluence of the rivers, during 7 consecutive days, in January/2001 and July/2001. To obtain the nutrients flux dynamics samples were collected each three hours during 24 hours in the rivers confluence in July/2003. The Principal Component Analysis explained 70% of the total data variance when it was used all the abiotic parameters (both annual seasons and the tide stages high and low), showing a contrast between the dissolved oxygen and its saturation tax, salinity, pH and temperature with the nutrients. This analysis showed a correlation between low-tide and nutrients, indicating pollution of domestic and industrial origin. The water temperature presented a small variation (28.18 – summer to 26.36 - winter); higher salinity concentrations were registered during the summer and no vertical stratification were observed. Dissolved oxygen values presented higher values during the summer, and lower in the winter, being the environment being classified as supersaturated and polluted, respectively. The Biochemical Oxygen Demand presented low values during both seasons. The pH was always alkaline, except for a small decrease during the low tide of the winter. The inorganic dissolved nutrients presented a strong seasonality, mainly the NH_4 , NO_2 , PO_4 and SiO_2 , with higher values during the winter at low tide related to a higher limnetic influence. The relation of N:P varied from 25:1 during summer to 8.5:1 during the winter. The ACQUA_M, showed a non acceptable water quality during the low tide of the winter season. The nutrients concentration increased 100% in 2003 (mainly ammonium), when compared with two years before. This difference may be caused by the population increase at the river border, as due to the increase in the continental flux during the two periods. The estuary showed to be a nutrient export to the coastal area and salt import upstream during the studied period (24 hours), with absolute average velocities of 0.38 m.s⁻¹ and high fluxes, mainly silicate (1653.11kg.d⁻¹), ammonium (174.81 kg.d⁻¹) and salt (3198.13 kg.s⁻¹). The system presented as a well mixed estuary, type 1, according to Hansen & Rattray (1966).

LISTA DE FIGURAS

1.	Mapa da área de estudo com a estação de coleta (E), e seção transversal mostrando as estações e profundidades.	26
2abcd	Interpolações lineares das curvas de variação dos parâmetros (constituintes) do Índice ACQUA a partir da discretização das curvas do IQA	33
3.	a) Precipitação diária mês de janeiro/2001; b) Precipitação diária mês de julho/2001; c) Relação entre as médias mensais de precipitação, evaporação e temperatura do ar.	40
4.	Pesos nas duas Primeiras Componentes (PC1 e PC2), na análise feita com todos os parâmetros abióticos.	42
5.	Escores nas duas Primeiras Componentes (PC1 e PC2), na análise feita com todos os parâmetros abióticos.	42
6.	Escores nas duas Primeiras Componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos e as estações do ano.	43
7ab.	Escores nas duas Primeiras Componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos e os níveis (a:Sizígia; b:Quadratura).	
8.	Pesos nas duas Primeiras Componentes (PC1 e PC2), na análise feita com todos os parâmetros abióticos com um nível de maré (baixa-mar).	44
9.	Escores nas duas Primeiras Componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos com um nível de maré (baixa-mar).	46
10.	Pesos nas duas Primeiras Componentes (PC1 e PC2), na análise feita com todos os parâmetros abióticos com um nível de maré (preamar).	47
11.	Escores nas duas Primeiras Componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos com um nível de maré (preamar).	48
12.	Média, mínimo, máximo e desvio padrão da temperatura no verão e inverno.	50
13.	Média, mínimo, máximo e desvio padrão da salinidade no verão e inverno.	52
14.	Variação temporal da salinidade na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (janeiro) (09-16/2001).	53

15.	Variação temporal da salinidade na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (julho) (04-11/2001).	54
16.	Média, mínimo, máximo e desvio padrão da salinidade entre os regimes de marés.	55
17.	Média, mínimo, máximo e desvio padrão do oxigênio dissolvido no verão e inverno.	56
18	Variação temporal do oxigênio dissolvido na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (janeiro) (09-16/2001).	57
19	Variação temporal do oxigênio dissolvido na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (julho) (04-11/2001).	58
20	Média, mínimo, máximo e desvio padrão do oxigênio dissolvido entre os regimes de marés.	59
21	Média, mínimo, máximo e desvio padrão do percentual de saturação do oxigênio dissolvido no verão e inverno.	59
22	Média, mínimo, máximo e desvio padrão do percentual de saturação do oxigênio dissolvido entre os regimes de marés.	60
23	Média, mínimo, máximo e desvio padrão da demanda bioquímica de oxigênio no verão e inverno.	61
24	Média, mínimo, máximo e desvio padrão da demanda bioquímica de oxigênio entre os regimes de marés.	61
25	Média, mínimo, máximo e desvio padrão do pH no verão e inverno.	62
26	Média, mínimo, máximo e desvio padrão do pH entre os regimes de marés.	63
27	Média, mínimo, máximo e desvio padrão da amônia no verão e inverno.	64
28	Variação temporal da amônia na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (janeiro) (09-16/2001).	65
29	Variação temporal da amônia na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (julho) (04-11/2001).	66
30	Média, mínimo, máximo e desvio padrão da amônia entre os regimes de marés.	66
31	Média, mínimo, máximo e desvio padrão do nitrito no verão e inverno.	68
32	Variação temporal do nitrito na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (janeiro) (09-16/2001).	68

33	Variação temporal do nitrito na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (julho) (04-11/2001).	69
34	Média, mínimo, máximo e desvio padrão do nitrito entre os regimes de marés.	69
35	Média, mínimo, máximo e desvio padrão do nitrato no verão e inverno.	71
36	Variação temporal do nitrato na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (janeiro) (09-16/2001).	71
37	Variação temporal do nitrato na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (julho) (04-11/2001).	72
38	Média, mínimo, máximo e desvio padrão do nitrato entre os regimes de marés.	72
39	Média, mínimo, máximo e desvio padrão do fosfato no verão e inverno.	74
40	Variação temporal do fosfato na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (janeiro) (09-16/2001).	74
41	Variação temporal do fosfato na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (julho) (04-11/2001).	75
42	Média, mínimo, máximo e desvio padrão do fosfato entre os regimes de marés.	75
43	Média, mínimo, máximo e desvio padrão do silicato no verão e inverno.	78
44	Variação temporal do silicato na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (janeiro) (09-16/2001).	78
45	Variação temporal do silicato na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (julho) (04-11/2001).	79
46	Média, mínimo, máximo e desvio padrão do silicato entre os regimes de marés.	79
47	Variação do Índice ACQUA_M durante os dois períodos estudados na confluência da Barra das Jangadas.	80
48	Batimetria da seção transversal na confluência dos rios Pirapama e Jaboatão.	83
49	Marés no Porto do Recife e no estuário de Barra das Jangadas.	83

50	Distribuição da amônia ($\mu\text{M.L}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de sizígia no inverno (julho, 2003).	86
51	Distribuição do nitrito ($\mu\text{M.L}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de sizígia no inverno (julho, 2003).	88
52	Distribuição do nitrato ($\mu\text{M.L}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de sizígia no inverno (julho, 2003).	90
53	Distribuição do fosfato ($\mu\text{M.L}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de sizígia no inverno (julho, 2003).	91
54	Distribuição do silicato ($\mu\text{M.L}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de sizígia no inverno (julho, 2003).	93
55	Distribuição do sal na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de sizígia no inverno (julho, 2003).	95
56	Distribuição dos fluxos instantâneos de amônia (T_c , $\text{moles.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).	97
57	Distribuição temporal do transporte de amônia (Φ , kg) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).	98
56.	Distribuição dos fluxos instantâneos do nitrito ($\text{moles.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de sizígia no inverno (julho, 2003).	19
58	Distribuição dos fluxos instantâneos de amônia (T_c , $\text{moles.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).	99
59	Distribuição temporal do transporte de nitrito (Φ , kg) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).	100
60	Distribuição dos fluxos instantâneos de nitrato (T_c , $\text{moles.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).	101
61	Distribuição temporal do transporte de nitrato (Φ , kg) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).	102

62	Distribuição temporal do transporte de NID (Φ , kg) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).	102
63	Distribuição temporal do transporte de fosfato (Φ , kg) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).	103
64	Distribuição dos fluxos instantâneos de fosfato (T_c , moles.m ⁻² .s ⁻¹) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).	104
65	Distribuição temporal do transporte de silicato (Φ , kg) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).	105
66	Distribuição dos fluxos instantâneos de silicato (T_c , moles.m ⁻² .s ⁻¹) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).	106
67	Distribuição temporal do transporte de sal (Φ , kg.s ⁻¹) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).	107
68	Distribuição dos fluxos instantâneos de sal (T_c , kg.m ⁻² .s ⁻¹) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).	108
69	Distribuição espacial da velocidade longitudinal absoluta u_A (m.s ⁻¹) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).	110
70	Distribuição temporal da velocidade longitudinal u (m.s ⁻¹) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).	111
71	Diagrama de Estratificação / Circulação na confluência da Barra das Jangadas durante períodos de maré de sizígia e quadratura (anos 2001 e 2003).	112

LISTA DE TABELAS

01.	Índice ACQUA _M : pesos relativos dos constituintes	32
02.	Classificação da qualidade da água segundo o Índice ACQUAM	35
03.	Método dos Trapézios	37
04.	Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais, na análise realizada com todos os parâmetros abióticos e com dois níveis de maré (baixa-mar e preamar).	41
05	Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais, na análise realizada com todos os parâmetros abióticos e com um nível de maré (baixa-mar).	44
06	Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais, na análise realizada com todos os parâmetros abióticos e com um nível de maré (preamar).	47
07.	Estatística descritiva da temperatura.	50
08.	Estatística descritiva da salinidade.	52
09.	Estatística descritiva do oxigênio dissolvido.	56
10.	Estatística descritiva da demanda bioquímica de oxigênio.	62
11.	Estatística descritiva do pH.	63
12.	Estatística descritiva da amônia.	67
13.	Estatística descritiva do nitrito.	70
14.	Estatística descritiva do nitrato.	73
15.	Estatística descritiva do fosfato.	76
16.	Estatística descritiva do silicato.	80
17.	Índices da qualidade da água na estação de confluência da Barra das Jangadas para o ano 2001.	81
18.	Altura (m) e fase relativa ao instante de preamar (PM) e baixa-mar (BM) no Porto do Recife e na estação da Barra das Jangadas.	82

- | | | |
|------------|--|-----------|
| 19. | Média, desvio padrão (s.d.), e valores mínimo (Min) e máximo (Máx.) dos nutrientes inorgânicos dissolvidos, sal, densidade (ρ), e velocidade absoluta (u_A). N: número de amostras. | 84 |
| 20. | Variação temporal dos transportes de nutrientes inorgânicos dissolvidos e sal no ciclo de 24 horas na seção transversal da confluência do estuário da Barra das Jangadas. | 96 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Hidrologia.

Símbolos Arábicos Identificação

BM	Baixa-mar
EN	Enchente
PM	Preamar
VZ	Vazante
k	Coeficiente de Extinção da luz
N:P	Nitrogênio Inorgânico : Fosfato Inorgânico (Relação de Redfield)
O.D.	Oxigênio Dissolvido
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
pH	Potencial Hidrogeniônico
Sup.	Superfície
Lim. Det.	Limite de Detecção
mm	milímetros, micromoles
NID	Nitrogênio Inorgânico Dissolvido
ACQUA _M	Avaliação por Constituintes de Qualidade da Água Modificado

Estatística descritiva.

Símbolo Arábicos Identificação

N	Número de casos ou Número de casos validos
C.V.	Coeficiente de Variação
SD, s.d., Sx	Desvio Padrão
Mean	Média

Análise Multivariada.

Símbolos Arábicos Identificação

ACP	Análise de Componentes Principais
PC1	Primeira Componente
PC2	Segunda Componente

Fluxo

Símbolos Arábicos Identificação

A	Área da seção transversal
a	Subárea da seção transversal

C	Concentração do elemento x.
cos	Coseno do ângulo
L	Longitude, litro
M	massa
S	salinidade
sen	seno do ângulo
T_c	Transporte instantâneo do constituinte
T, t	tempo
T_s	Transporte instantâneo de sal
V	Velocidade.
dd	Direção da velocidade
D	Ângulo de declinação magnética
X	Eixo longitudinal

Símbolos Gregos

Θ	ângulo
ρ	densidade
Φ	Fluxo
μ	micromoles
γ	Orientação do eixo longitudinal

Subscritos

i	Relativo ao índice da posição lateral
j	Relativo ao índice da posição em profundidade
k	Relativo ao índice no tempo
u	Componente da velocidade na direção x.
v	Componente da velocidade na direção y.
u_A	Velocidade absoluta
w_i	Peso relativo correspondente ao i-ésimo parâmetro
q_i	Qualidade do i-ésimo parâmetro

SUMARIO

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS	xv
SUMARIO	xvii
1. INTRODUÇÃO	20
2. OBJETIVOS	24
2.1. Objetivo Geral	24
2.2. Objetivos Específicos	24
3. DESCRIÇÃO DA ÁREA	24
4. MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1. Métodos de Análises	28
4.2. Análise Estatística	28
4.3. Dados Climáticos	31
4.4. Índice ACQUA _M	31
4.5. Fluxo de Nutrientes	36
4.6. Batimetria e Marés	37
4.7. Tratamento e Análise dos Dados	37
4.8. Normalização do Texto	39

5.	RESULTADOS	40
5.1.	Climatologia	40
5.2.	Tratamento dos Dados dos Parâmetros Hidrológicos	42
5.3.	Parâmetros Hidrológicos	50
5.3.1.	Coeficiente de Extinção da Luz	50
5.3.2.	Temperatura	50
5.3.3.	Salinidade	52
5.3.4.	Oxigênio Dissolvido e Taxa de Saturação	56
5.3.5.	Demanda Bioquímica de Oxigênio	61
5.3.6.	Potencial Hidrogeniônico	63
5.3.7.	Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos	64
5.3.7.1.	Amônia	64
5.3.7.2.	Nítrito	68
5.3.7.3.	Nitrato	71
5.3.7.4.	Fosfato	74
5.3.7.5.	Relação N:P	77
5.3.7.6.	Silicato	78
5.3.7.7.	Índice ACQUA _M	81
5.4.	Hidrologia e Fluxo de Nutrientes no Ciclo de 24 Horas (2003)	82
5.4.1.	Batimetria e Marés	82
5.4.1.	Batimetria	82
5.4.1.	Marés	82
5.4.2.	Variabilidade espacial e temporal dos nutrientes inorgânicos e sal	85
5.4.2.1.	Nutrientes Inorgânicos	85
5.4.2.2.	Sal	95

5.4.3.	Fluxo de Nutrientes Inorgânicos e Sal	97
5.4.3.1.	Nutrientes Inorgânicos	97
5.4.3.2.	Sal	108
5.5.	Circulação e Mistura	110
6.	DISCUSSÃO	114
6.1.	Hidrologia (ano 2001)	114
6.2.	Hidrologia e Fluxos (ano 2003)	137
7.	CONCLUSÕES	142
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145
9.	ANEXOS	159

1. INTRODUÇÃO

Os estuários têm representado através da história, importante papel no desenvolvimento cultural e econômico do homem. Essas áreas concentram cerca de 60% dos desenvolvimentos urbanos do globo, são locais ideais para instalação de portos, de grande importância para o comércio e a navegação, para a pesca, receptáculo para descarga de esgotos costeiros e industriais, áreas de lazer, recreação e turismo.

A ocupação populacional nos estuários é intensa, provocando uma grande diversidade de atividades, ocasionando significativas alterações morfológicas e diversas formas de poluição.

Um estuário é uma interface complexa de corpos de água distintos, onde ocorre a transição entre um sistema eminentemente fluvial e um outro puramente marinho. Modernamente, tem-se preferido definir os estuários levando-se em consideração sua funcionalidade, ou seja, considerar como estuários àqueles sistemas que apresentam processos típicos de estuários, independentemente do número de conexões com o mar que eles apresentam, ou se sua conexão com o oceano é feita livremente, através de ilhotas, barragem de areia, etc. Nessa linha, as lagoas costeiras, algumas enseadas e baías e muitos dos ditos braços de mar, seriam considerados como estuários, como é o caso do Canal de Santa Cruz, em Itamaracá (Medeiros, 1991; Medeiros & Kjerfve, 1993).

As principais características hidrográficas de um estuário são: (1) morfologia e batimetria; (2) hidrologia; (3) marés; (4) meteorologia; (5) correntes de densidade. Podendo estas características hidrográficas ser usualmente definidas a partir da determinação das influências relativas desses fatores (Ward e Montague, 1996).

Assim, um estuário pode ser definido de várias maneiras e de acordo com o ponto de vista imediato. Entretanto, essas definições devem abranger as características e processos essenciais, bem como o contexto no qual o estuário está inserido, permitindo a aplicação de critérios adequados de classificação (Dyer, 1997).

Possivelmente a definição mais satisfatória poderia ser obtida com a adaptação da clássica definição de Pritchard (Dyer, *loc.cit.*): Estuário é um corpo de água costeiro semifechado com ligação livre com o oceano aberto, estendendo-se rio acima até o limite da confluência da maré, sendo que em seu interior a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental.

De acordo com essa definição, o estuário se compõe das zonas de mistura e de maré do rio (Miranda *et al*, 2002).

O ambiente estuarino pode ser subdividido em três zonas distintas:

- Zona Fluvial (ZF): parte fluvial que está fora da influência das marés, com salinidades menores que 1.
- Zona de Mistura (ZM): região onde ocorre a mistura de água doce da drenagem continental com a água do mar, e que caracteriza-se pela grande variabilidade espaço-temporal de suas propriedades;
- Zona Costeira (ZC): região costeira adjacente que recebe influência direta do estuário e é delimitada por uma fronteira bem definida do lado do oceano.

Segundo Macedo *et. al.*, (2000), as áreas estuarinas estão entre as mais afetadas pelos impactos antropogênicos, representando locais de transição entre as águas continentais e marinhas, sofrem de uma forte agressão ambiental, devido à exploração pesqueira não racional, destruição de manguezais, poluição por efluentes e resíduos industriais ou domésticos, etc. Estas alterações aumentam a carga de nutrientes podendo ter consequências que vão desde o aumento na produtividade primária até a eutrofização excessiva.

Ambientes marinhos costeiros, principalmente os estuários, são bem conhecidos pela grande produção de biomassa e capacidade de sustentar importantes pescarias por todo o mundo. Acredita-se que a manutenção do balanço ecológico e alta produtividade nestes ambientes, está diretamente relacionada com os nutrientes fornecidos por várias fontes, incluindo trocas fluviais-estuarinas-costeiras, ressurgências, precipitação, fixação de nitrogênio, regeneração de nutrientes que conduzem à dinâmica da produção costeira, que repõem esses nutrientes perdidos por morte ou degradação (Flint, 1985).

O estudo do ecossistema marinho requer análises simultâneas das mudanças nos componentes físicos, químicos e biológicos. Utilizando-se registros contínuos, podem ser observados os diferentes estágios de um sistema dinâmico, no tempo (variação temporal) e espaço (variação espacial), cada estágio sendo definido por uma série de medições físicas, químicas e biológicas (Ibañez, 1981).

Os sais nutrientes estão presentes em todos os processos de mistura e circulação de um estuário. Suas fontes são controladas pela precipitação atmosférica, fluxo da água doce, produção dos alagados circundantes, regeneração e ressuspensão dos nutrientes sedimentados dentro do estuário; enquanto que a distribuição dentro do ecossistema, é controlada pelos processos físicos, topográficos, químicos, biológicos e sedimentológicos. Os mais importantes, geralmente ocorrem nas interfaces atmosfera-mar, rio-mar, alagados-

mar e sedimentos-mar (Fan & Jin, 1989).

Segundo Braga (1989), o estudo da dinâmica dos sais nutrientes serve como um bom indicador das relações abióticas e bióticas que ocorrem em águas marinhas tropicais.

O sistema estuarino da Barra das Jangadas representa um importante corpo de água destinado, em parte à recreação de contato primário como esqui aquático, área de lazer, fonte para criação natural de cultivos em aquicultura de espécies de importância comercial destinadas à alimentação humana, e também águas destinadas à navegação comercial. Por outro lado, é uma área que sofre forte pressão do desenvolvimento urbano e industrial. Todos estes usos fazem com que este sistema estuarino seja considerado como uma área de importância, na preservação dentro dos corpos de água existentes no estado de Pernambuco.

Devido à localização (ao sul da cidade do Recife-PE) e à importância que o sistema estuarino da Barra de Jangadas representa para o litoral, pesquisadores vêm desenvolvendo trabalhos desde a década de 60, destacando-se o de Okuda & Nóbrega (1960), que determinaram a variação da clorinidade e medidas de corrente; Okuda *et al.*, (1960a) pesquisaram sobre a variação do pH, oxigênio dissolvido e o consumo de permanganato; Okuda *et al.*, (1960b) observaram a variação de nitrogênio e fosfato; Ottmann & Ottmann (1960) estudaram os sedimentos e Carneiro & Coelho (1960) realizaram um estudo ecológico no referido estuário; Ottmann *et al.*, (1965/6) estudaram os efeitos da poluição e a ecologia do estuário; Coutinho (1997) analisou a erosão marinha no estuário e nas praias de Piedade e Candeias; Silva (1997) relacionou a dinâmica costeira com meiofauna de um ambiente impactado (Estuário do Rio Jaboatão); Cunha *et al* (1997) estudaram a morfodinâmica da foz do estuário do Rio Jaboatão e praias adjacentes; Araujo (1998) estudou a hidrodinâmica de sistemas estuarinos com aplicação ao sistema de Jaboatão; Araujo *et al.*, (1999) analisou o balanço energético do sistema estuarino do Jaboatão; Branco (2000) realizou estudos ecológicos da comunidade fitoplantônica e com fatores abióticos da Barra das Jangadas e recentemente Falcão (2002), realizou um estudo utilizando dados físicos e biogeoquímicos, afim de determinar as alterações na hidrodinâmica e na qualidade da água do rio Pirapama através de modelos numéricos.

Por mais de três décadas, este estuário não foi investigado, e somente a partir de 1998, o departamento de Oceanografia voltou a desenvolver alguns estudos isolados na área, abordando principalmente aspectos abióticos, devido às constantes descargas de poluentes principalmente orgânico a que está sendo submetido.

Desta maneira, o presente trabalho visa determinar a influência dos dois principais

rios (Pirapama e Jaboatão) que desembocam no estuário da Barra das Jangadas, em relação à matéria orgânica, fluxo de nutrientes e déficit de oxigênio dissolvido, focalizando principalmente a zona de mistura.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL:

O presente trabalho tem como objetivo determinar a influência dos rios Jaboatão e Pirapama no estuário da Barra das Jangadas em relação aos parâmetros físicos e químicos, importação e exportação de nutrientes e grau de poluição, detectados em ciclos nictemerais nas duas estações do ano, em marés de sizígia e quadratura.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Quantificar os fluxos de nutrientes na confluência dos rios Pirapama e Jaboatão, a fim de estimar sua importação e exportação no estuário da Barra das Jangadas.
- Detectar possível grau de poluição provocada pela matéria orgânica (DBO), nos rios Pirapama e Jaboatão em ciclos nictemerais.
- De acordo com o fluxo, refluxo e intensidade de maré e a variação dos parâmetros hidrológicos nos período seco e chuvoso, evidenciar as épocas mais críticas e as mais favoráveis em relação à poluição e disponibilidade de nutrientes.

3. DESCRIÇÃO DA ÁREA

O estuário da Barra das Jangadas formado pelos rios Jaboatão e Pirapama e fica situado à cerca de 20 km ao sul da cidade do Recife (Figura 1). Este sistema estuarino localiza-se no município de Jaboatão dos Guararapes ao sul da cidade do Recife (8°14'2''S e 34° 55'10''W).

O sistema está formado pelos Rios Pirapama e Jaboatão e por seus efluentes. Apresenta-se na forma de um “S” alongado, pouco profundo e de pequeno porte, possuindo uma largura variando entre 200m a 250m de comprimento, em linha reta de 3000 m aproximadamente. Estes rios drenam uma área de 1.002,3 km² até a desembocadura no Oceano Atlântico (Carneiro & Coelho, 1960).

O rio Jaboatão é um rio tropical raso (1-4m de profundidade), percorrendo 75 km de extensão, localizado a 20 km do sul da cidade do Recife - PE. Seus efluentes drenam uma bacia de 413 km² incluindo áreas urbanas (446.426 habitantes) como os municípios de Cabo de Santo Agostinho (parte), Jaboatão (sede), Moreno (sede), Recife (parte), São Lourenço da Mata (parte) e Vitória de Santo Antão (parte), além de áreas cobertas pela Floresta Atlântica original e plantações de cana-de-açúcar.

Este rio recebe grandes cargas de dejetos industriais e domésticos, assim como uma entrada sazonal de altos níveis de matéria orgânica de usinas de cana-de-açúcar no médio curso, enquanto sua parte final é contornada por uma bem preservada franja de floresta de manguezal. Dentre as atividades industriais na bacia destacam-se: Química produtos alimentares, metalúrgica, têxtil, bebidas, papel / papelão, matéria plástica, material elétrico / comunicação, sucroalcooleira, vestuário / artefatos, tecidos, calçados, mecânica, produtos farmacêuticos / veterinário e material de transporte (CPRH *apud* Araújo *et al.*, 1999).

Os usos da água na bacia limita-se ao abastecimento público, recepção de efluentes domésticos e recepção de efluentes industrial e agro-industrial.

Segundo, a CPRH (1998) a carga poluidora orgânica equivale a 56,23 ton. de $\text{DBO}_{5,20}$ / dia, sendo 70% de origem doméstica, 18% industrial e 12% de origem agro-industrial.

A partir dos dados de qualidade das águas de acordo com a CPRH (2001), a bacia do rio Jaboatão, encontrou-se na maior parte do ano de 2001 fora da classe estabelecida no enquadramento deste corpo d'água (classes 2 e 3), em acordo à resolução do CONAMA (1986), apresentando valores críticos de coliformes fecais, oxigênio dissolvido, DBO, amônia, pH e fósforo.

Com base nas análises do monitoramento a CPRH (Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos) concluiu que o trecho mais comprometido da bacia é aquele inserido na área urbana de Jaboatão (CPRH, 2002).

O rio Pirapama localiza-se na região sul da Zona da Mata, com nascente no município de Pombos. Sua bacia hidrográfica é de 589,2 km², apresentando-se bastante acidentada. Ao longo de seu percurso (71,5 km), nota-se a presença de um desenvolvido distrito industrial nas áreas de química, sucroalcooleira, bebidas, minerais não metálicos, mecânica, produtos alimentares, têxtil, matéria plástica e borracha, destacando-se engenhos de água ardente (Destilaria J.B., Destilaria Sibéria, Destilaria Liberdade) e usinas de açúcar (Bom Jesus). Seu leito percorre os municípios de Cabo de Santo Agostinho (sede), Escada (parte), Ipojuca (parte), Jaboatão dos Guararapes (parte), Moreno (parte), Pombos (parte), Vitória de Santo Antão (parte), com uma população total aproximada de 900.627 habitantes (CPRH, *loc.cit.*).

Os usos da água na bacia incluem o abastecimento público, recepção de efluentes domésticos e recepção de efluentes industrial e agro-industrial. A carga poluidora orgânica equivale a 256,84 ton. de $\text{DBO}_{5,20}$ / dia, sendo um 88,78% de origem agro-industrial, 9,12% doméstica e 2,10 % de origem industrial.

A partir dos dados de qualidade da água do monitoramento feito pela CPRH no ano 2002 a bacia do rio Pirapama apresenta-se comprometida desde a jusante da Destilaria J.B., até a jusante das Refinações de milho, comprovadas por valores de $0,0 \text{ mL.L}^{-1}$ de oxigênio dissolvido e de até $35,9 \text{ mg/L}$ de DBO, com altos níveis de coliformes fecais e baixo pH. No período da safra da agroindústria canavieira, os resultados das análises nas estações de amostragem, indicaram que a carga orgânica que afeta a bacia do rio Pirapama excede a capacidade de autodepuração da mesma (CPRH, 2001)

Os dois rios quando formam o sistema estuarino de Barra das Jangadas apresentam correntes que podem atingir valores de até $1,0$ a $1,2 \text{ m.s}^{-1}$ em maré de sizígia, principalmente no estágio de vazante (Coutinho, 1997). Em geral, as velocidades máximas de enchente e vazante são as mesmas sendo os picos registrados um pouco antes da preamar e no início da vazante. A descarga total dos rios durante um ciclo de maré é de $1,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, sendo a quantidade de água que desce do rio para o mar na maré vazante, aproximadamente a mesma que sobe do mar para o rio na maré enchente (Okuda & Nobrega, 1960).

As marés são do tipo semidiurna, como se apresenta toda a costa pernambucana, com duas preamares e duas baixa-mares por dia lunar. Sendo considerada meso-maré, de acordo com a classificação de Amplitude, dominada por ondas e sob a ação constante dos ventos alísios, com velocidades médias que variam entre $3,1 - 4,7 \text{ m.s}^{-1}$ vindos principalmente de E-SE do período de abril a setembro, e de E-NE, de outubro a março. A ação dos ventos tem influência nas ondas, correntes litorâneas, transporte de sedimentos e as condições climáticas da região (Rollnic, 2002).

As marés no estuário apresentam variações médias de altura de $1,3\text{m}$ nos períodos de Quadratura, e $1,8\text{m}$, nos períodos de sizígia (Falcão, 2002).

A Barra das Jangadas, assim como todo litoral pernambucano, possui clima tropical quente e úmido do tipo As', com chuvas de outono-inverno segundo a terminologia de Köppen, caracterizada por apresentar temperatura anual elevada de aproximadamente $25,5^\circ\text{C}$ e precipitação anual superior a 2.000mm em duas estações distintas: a seca determinada pela evaporação superior à precipitação e a chuvosa onde a evaporação é inferior à precipitação (Carneiro & Coelho, 1960).

A atividade econômica predominante é caracterizada pela pesca artesanal baseada na colheita de moluscos e crustáceos. Nas margens dos rios encontram-se também bares, hotéis, residências, marinhas e viveiros de cultivos de peixes marinhos e estuarinos.

As atividades industriais são responsáveis pelo lançamento de resíduos sólidos e

líquidos que geram impactos ambientais negativos em toda a bacia do estuário. Dentre estas atividades, destaca-se a agroindústria canavieira e um de seus efluentes, o vinhoto através das descargas de usinas existentes nas margens dos rios. Este subproduto é usado na fertilização das próprias lavadouras de cana-de-açúcar, o que certamente irá influenciar de forma negativa no corpo de água receptor.

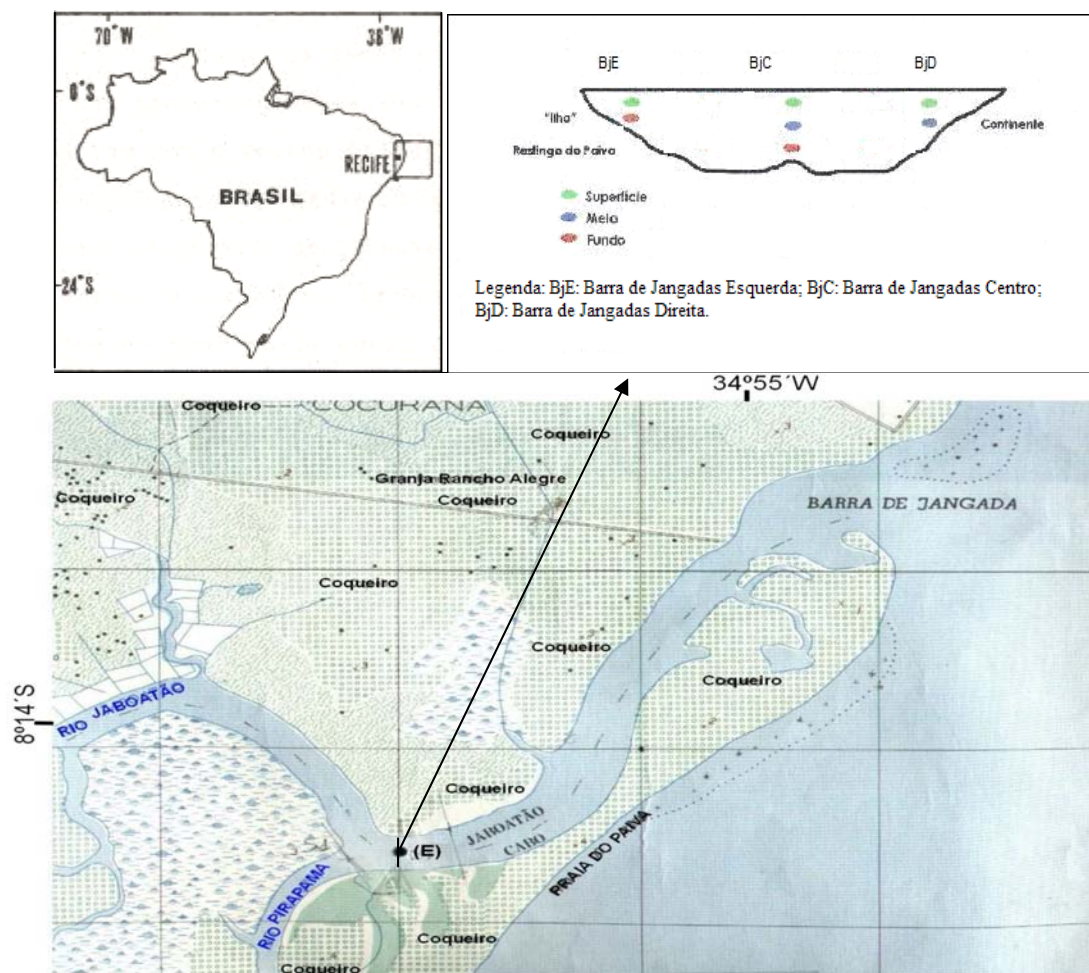


FIGURA 1: Mapa da área de estudo com a estação de coleta (E), e seção transversal mostrando as estações e profundidades.

FONTE : Carta da SUDENE, folha SC.25-V-A-III-1-50, 1:25.000, 1988.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Na área estuarina de Barra das Jangadas foi demarcada uma estação fixa na confluência dos rios Jaboatão e Pirapama e coletada amostras hidrológicas durante uma semana, englobando uma série temporal seqüenciada, desde uma maré de sizígia a uma de quadratura, em intervalos de 3 em 3 horas (maré alta, vazante, maré baixa, e enchente) (Figura 1). As amostras foram coletadas em três profundidades (superfície, meio e fundo), no período seco (janeiro, 2001), e no período chuvoso (julho, 2001), através de uma garrafa de Nansen para a determinação do oxigênio dissolvido, salinidade, pH, DBO e os sais nutrientes (nitrito, nitrato, amônia, fosfato, silicato). A DBO e os sais nutrientes foram coletados de 6 em 6 horas na maré baixa e preamar.

Para a determinação do fluxo de nutrientes foi fixado 1 perfil na confluência dos rios Pirapama e Jaboatão (Figura 1). Nessa seção, foram estabelecidos um total de três estações com 7 pontos de coleta. Nestes pontos demarcados, foram coletadas amostras de nutrientes (nitrito, nitrato, amônia, fosfato e silicato), velocidade e direção de correntes, na superfície, meio e fundo (quando a profundidade assim o permitiu), de 3 em 3 horas, em uma variação nictemeral (24 horas) na maré de sizígia, no inverno de 2003 (julho).

4.1. MÉTODOS DE ANÁLISES.

PROFUNDIDADE LOCAL (m) - Obtidos através de um ecobatímetro.

TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA (m) - Determinada através de um disco de Secchi com 30 cm. de diâmetro.

COEFICIENTE DE EXTINÇÃO DA LUZ (m) – Foi calculado a partir das informações do disco de Secchi, em metros, através da fórmula de Poole & Atkins *apud* Branco (2001).

$$k = \frac{1.7}{d} \quad (1)$$

Onde **k** é o coeficiente de extinção da luz, e **d** é a leitura do disco de Secchi.

TEMPERATURA DA ÁGUA (°C) - Obtida através de um termômetro de mercúrio.

SALINIDADE - Medida através do método de Mohr-Knudsen, descrito por Strickland & Parsons (1972).

POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH) - Determinado através do pH-metro Beckman, tipo Zeromatic II.

OXIGÊNIO DISSOLVIDO (mL.L^{-1}) - Medido através do método de Winkler, descrito por Strickland & Parsons (1972) e Grasshoff et al. (1983).

TAXA DE SATURAÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (%) - Obtida, utilizando-se a Internacional Oceanographic Tables (UNESCO, 1973), correlacionando-se com os valores de temperatura e salinidade.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO) (mg.L^{-1}) - Medida através do método descrito no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1985), utilizando-se uma incubadora a uma temperatura em torno de 20 graus celsius, durante cinco dias.

SAIS NUTRIENTES ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) - O nitrito (Lim. Det: $0,01\mu\text{mol}$) , nitrato (Lim. Det: $0,05\mu\text{mol}$), amônia (Lim. Det.: $0,05\mu\text{mol}$), e fosfato (Lim. Det: $0,02\mu\text{mol}$) foram analisados de acordo com as técnicas descritas por Strickland & Parsons (1972) e o silicato (Lim. Det: $0,1\mu\text{mol}$) de acordo com Grasshoff et al (1983).

4.2 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.

ANÁLISE MULTIVARIADA.

Para o tratamento dos dados foi usado a análise dos componentes principais segundo Massart *et. al.*, (1998).

Na análise de componentes principais as variáveis originais são linearmente combinadas com o objetivo de projetar o máximo de informação no menor número de dimensões. A informação total no conjunto de dados de partida é quantificada pela matriz de covariância. A primeira componente principal (PC1) é a direção de máxima variância – e portanto de máxima informação – no espaço multidimensional original. A segunda componente, PC2, é ortogonal a PC1, e corresponde ao eixo que explica o máximo possível da informação que não pôde ser representada pela primeira componente. Juntas, PC1 e PC2 definem o plano de máxima informação no espaço multidimensional.

Se as variáveis apresentarem muitas correlações significativas, é possível que esse plano já contenha informação suficiente para permitir inferir os padrões de associação existentes nos dados de partida (Massart *et al.*, *loc .cit.*).

Cada eixo, numa análise de componentes principais, é caracterizado por três tipos de parâmetros: (a) a percentagem de variância/informação explicada, (b) os pesos das variáveis originais, que indicam a sua importância relativa na definição da direção daquela componente principal, e (c) os escores dos vetores de dados, que localizam as projeções desses vetores sobre os eixos PC.

Como os dados foram registrados em diferentes escalas, não poderiam ser combinadas nos seus valores originais. Antes da PCA, foi necessário preprocessá-los através de um autoescalamento a variância unitária, definido pela transformação:

$$X_{ij_{auto}} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{S_{ij}} \quad (2)$$

onde X_{ij} = valor da variável j determinado para o objeto i (“objeto”, nesse contexto, significa simplesmente uma linha da matriz de dados), e $\bar{X}_j$ e S_j são a média e o desvio padrão da variável j no conjunto de dados analisado. Com o autoescalamento, as variáveis passam a ser expressas numa escala adimensional onde todas elas têm variância unitária, isto é, a mesma informação.

Na análise dos componentes principais, não foi inserida na matriz a transparência da água devido ao pequeno número de dados coletado na área. Em alguns momentos não foi possível detectar a transparência da água em consequência do horário de coleta.

No estudo estatístico, só foi levada em consideração a profundidade superficial e de fundo, descartando-se a profundidade do meio, já que só em poucas estações foi possível realizar esta última amostragem.

ESTATÍSTICA DESCRITIVA.

Uma forma de descrever os dados é através de gráficos e tabelas, para o qual no presente trabalho, foram realizadas medidas de posição e de dispersão.

As medidas de posição e de dispersão são, sem dúvida, as mais importantes, pois localizam as distribuições e caracterizam sua variabilidade.

Medidas de posição.

Média (aritmética): Definida como $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ (3)

Sendo x_i ($i=1,2,\dots,n$), os valores da variável.

Mínimo e Máximo: Correspondentes aos valores mínimo e máximo de um conjunto de dados.

Medidas de dispersão.

A importância fornecida pela medida de posição necessita em geral ser completada pelas medidas de dispersão. Estas servem para indicar o quanto os dados se apresentam dispersos em torno da região central. Caracterizam, portanto, o grau de variação existente

no conjunto de valores. As medidas de dispersão são o desvio padrão, a variância e o coeficiente de variação.

Variância (S^2):

A variância de um conjunto de dados é, por definição, a média dos quadrados das diferenças dos valores em relação à sua média, isto é,

$$S^2(x) = S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (4)$$

Desvio-padrão (d.p.):

Definido como a raiz quadrada positiva da variância.

$$S_{x=}\sqrt[2]{s^2} \quad (5)$$

Coeficiente de variação (c.v.):

Definido como o quociente entre o desvio-padrão e a média. É frequentemente expresso em porcentagem.

$$c.v.(x) = \frac{S_{(x)}}{\bar{x}} \quad (6)$$

Sua vantagem é caracterizar a dispersão dos dados em termos relativos a seu valor médio. É um parâmetro adimensional, e fornece uma maneira de se compararem as dispersões de variáveis cujas unidades são irreduzíveis.

4.3 DADOS CLIMÁTICOS

Valores mensais e diários de precipitação, evaporação, temperatura média do ar e velocidade e direção dos ventos predominantes para o ano de 2001, na estação meteorológica do Curado, PE, foram obtidos através do INMET-MA (Instituto Nacional de Meteorologia – Ministério da Agricultura). A estação do Curado-PE, está localizada na Lat. 8°03'S e Long. 34°55'W, a uma altitude de 6,9m.

4.4 O ÍNDICE ACQUA_M

Para simplificar a análise dos resultados fornecidos pelas marés de sizígia e quadratura, em forma conjunta com os estágios de marés, optou-se por utilizar um índice numérico, que fosse capaz de representar as diferenças entre os níveis de marés e estágios, e que pudesse indicar as condições de qualidade da água.

Segundo Falcão (2002) o índice ACQUA – Avaliação por Constituintes de Qualidade da Água, é uma adaptação simplificada do Índice de Qualidade das águas (IQA)

da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2001).

As mudanças a este índice (Sub-índice M em $ACQUA_M$) estão relacionadas à incorporação na classificação da qualidade da água de dois parâmetros (nitrito e nitrato), outorgando uma melhor relação das quantidades de nitrogênio total, e uma tabela de classificação, que vem a classificar os diferentes níveis de qualidade obtidos através do cálculo.

O IQA utiliza uma série de nove parâmetros (coliformes fecais, pH, DBO, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, resíduo total e percentual de saturação de OD) para estimar a qualidade da água em um dado corpo d'água e agregar os efeitos de cada parâmetro em uma única escala centesimal, que varia de zero (qualidade péssima) a cem (qualidade ótima).

Usando curvas de variação, que consideram a qualidade da água de acordo com o estado ou a condição de cada parâmetro, as concentrações de cada constituinte são convertidas em escalas centesimais parciais denominadas *qualidades*, as quais possuem pesos relativos. Depois desta etapa, o IQA é formado por meio de um produtório ponderado entre as qualidades de cada parâmetro e os respectivos pesos relativos, por meio da seguinte fórmula (CETESB, *loc.cit.*):

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (7)$$

onde:

IQA : Índice de Qualidade das Águas, um número entre zero e cem;

q_i : qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre zero e cem, obtidos da respectiva curva média de variação de qualidade, em função de sua concentração ou medida;

w_i : peso relativo correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre zero e um, atribuído em função de sua importância para a conformação global da qualidade, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (8)$$

onde:

n : número de parâmetros que entram no cálculo do IQA. No caso de não se dispor de algum dos nove parâmetros, o cálculo do IQA fica inviabilizado.

Todas as variáveis acima são adimensionais.

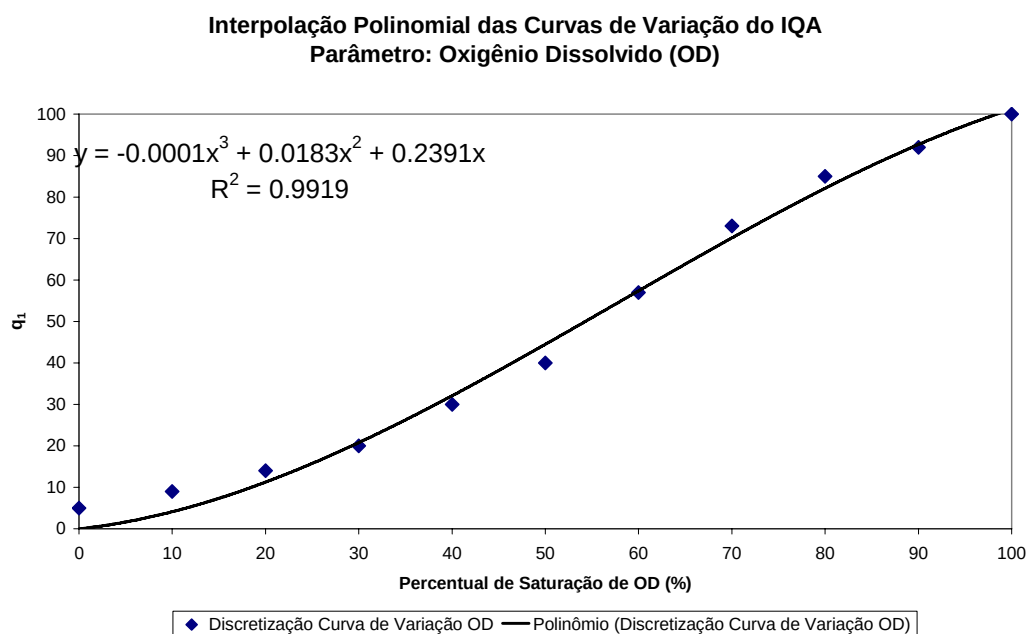
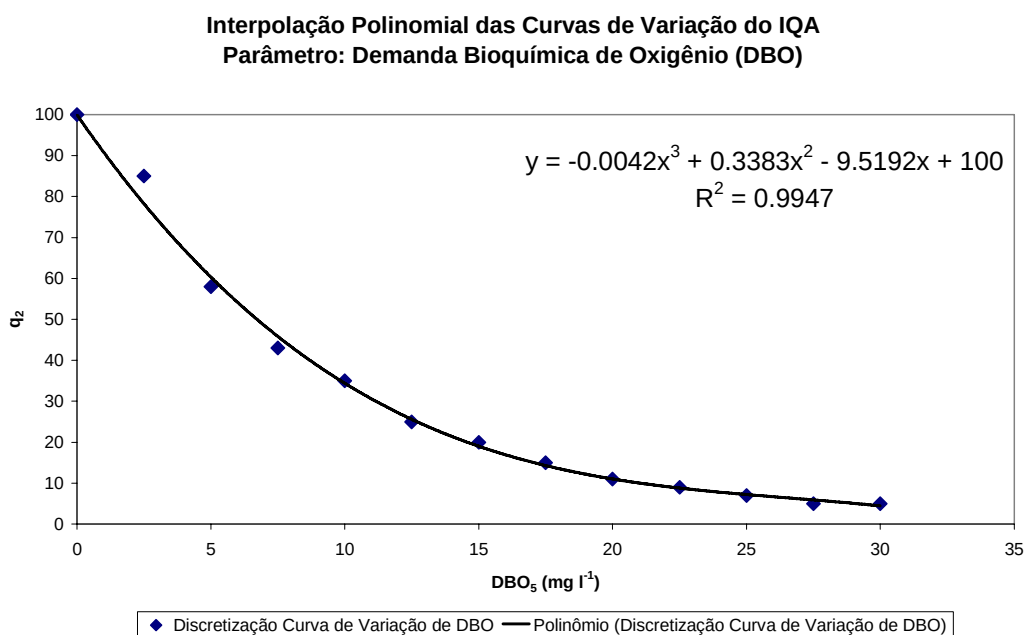
O Índice ACQUA utiliza uma metodologia similar à do IQA, mas portada para apenas quatro parâmetros: oxigênio dissolvido (%), demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total (obtido através da soma das concentrações de todos os compostos nitrogenados analisados neste estudo – no caso, tem-se amônia, nitrito e nitrato) e fósforo total (obtido através da soma das concentrações de todos os compostos fosforados analisados neste estudo – no caso, apenas o fosfato inorgânico dissolvido).

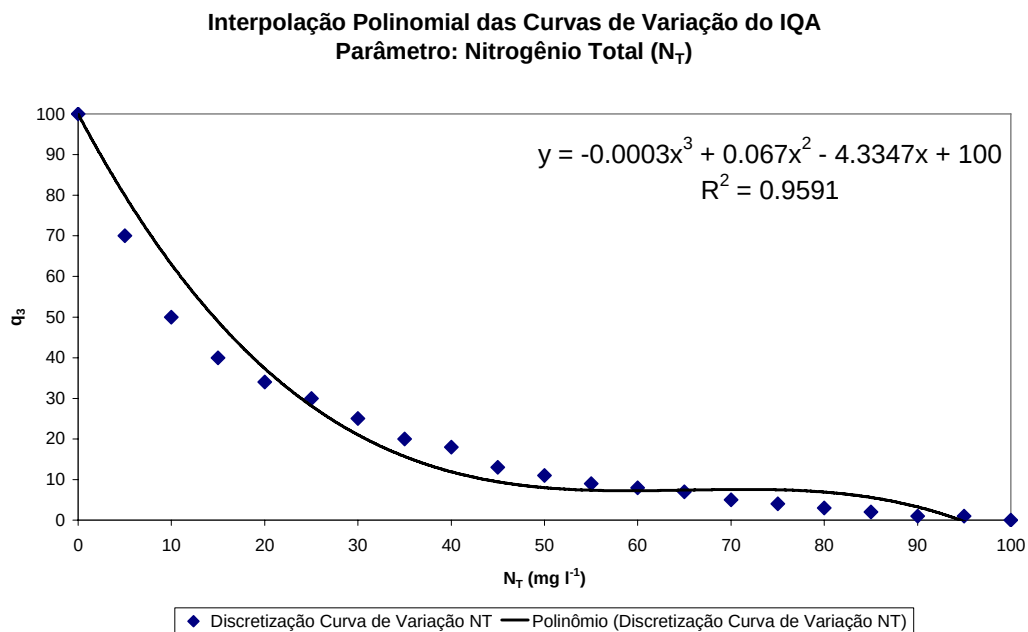
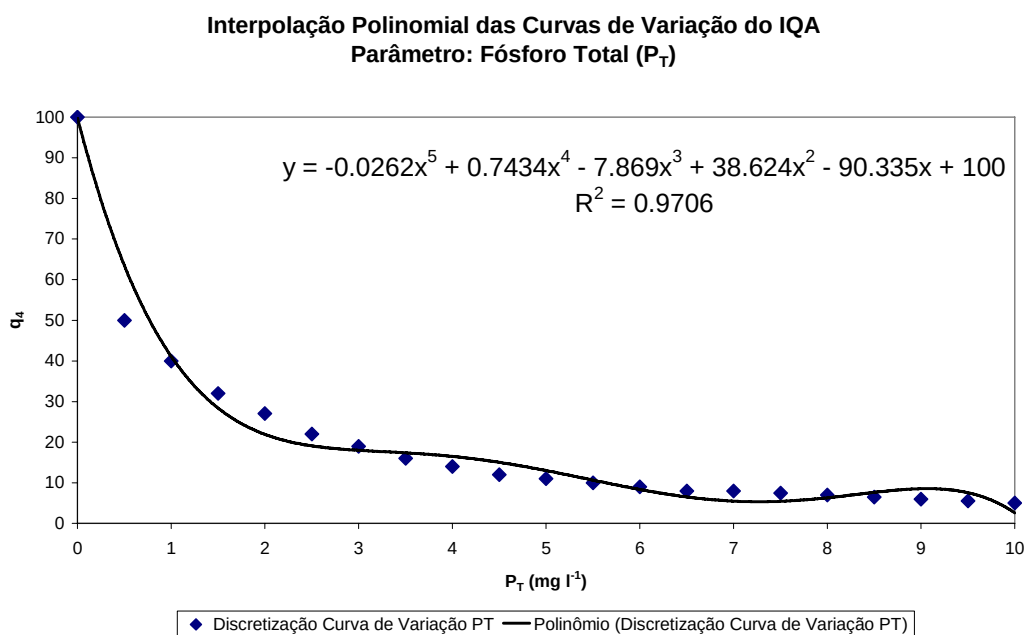
Na determinação dos pesos relativos de cada constituinte, foram considerados os seguintes valores (Tabela 1):

Tabela 1. Índice ACQUA : pesos relativos dos constituintes

Constituinte	q_i	Peso relativo
Percentual de Saturação de Oxigênio Dissolvido (%OD)	q_1	0,3
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	q_2	0,3
Nitrogênio Total (N_T)	q_3	0,2
Fósforo Total (P_T)	q_4	0,2

Para a determinação das curvas de variação do Índice ACQUA, optou-se pela obtenção, por meio de interpolação polinomial, das equações que deram origem às curvas do IQA, a partir da discretização dos gráficos de cada constituinte. De posse destas equações, as qualidades de cada um dos parâmetros (constituintes) analisados foram então calculadas e, em seguida, agregadas, sob a forma de produtório ponderado, para o cálculo do Índice ACQUA. As equações interpoladas, juntamente com os gráficos dos elementos discretos obtidos nas curvas de variação do IQA e os respectivos coeficientes R^2 , são apresentadas a seguir (Falcão, *loc. cit.*).

(Figura 2a) (q_1 : qualidade)(Figura 2b) (q_1 : qualidade)

(Figura 2c) (q₁: qualidade)(Figura 2d) (q₁: qualidade)

FIGURAS 2a à 2b. Interpolações lineares das curvas de variação dos parâmetros (constituintes) do Índice ACQUA a partir da discretização das curvas do IQA, q₁:indica qualidade.

Cada variável y das equações acima deve ser substituída pelo q_i correspondente, enquanto que a variável x deve ser substituída pela concentração ou medida do respectivo parâmetro analisado.

A classificação da qualidade da água segundo o IQA utiliza cinco intervalos de classificação (0-19; 20-36; 37-51; 52-79 e 80-100). No entanto, o índice ACQUAM, apresenta uma modificação devido à mudança nos pesos relativos dos constituintes, utilizando a classificação da Tabela 2.

Tabela 2. Classificação da qualidade da água segundo o Índice ACQUAM.

Nível de Qualidade	Faixa
Boa	80-100
Aceitável	60-79
Não Aceitável	40-59
Ruim	20-39
Péssima	0-19

4.5 FLUXO DE NUTRIENTES

Os dados utilizados no cálculo do fluxo de nutrientes foram obtidos ao longo de 24 horas de trabalho de campo, realizado entre os dias 29 e 30 de julho de 2003, no estuário de Barra das Jangadas.

Durante dois ciclos de maré (baixa-mar, enchente, preamar e vazante), através de uma embarcação motorizada, foram realizadas medições simultâneas de temperatura da água, magnitude e direção das correntes de maré, através de um correntômetro marca Sensoredata SD 30, e salinidade, profundidade de coleta e densidade através de um perfilador CTD Seacat SBE-19. As coletas foram efetuadas ao longo de uma seção transversal ao eixo principal do estuário. Nessa seção, foi estabelecido um total de três estações de coleta (ilha, centro, continente), cujas posições foram georeferenciadas com o auxílio de um GPS Garmin 12. Duas estações foram interpoladas para o cálculo do fluxo (ilha-centro e continente-centro), com a finalidade de obter uma melhor aproximação no momento dos plotes e no cálculo matemático, assim a seção transversal passou a ter cinco

estações.

4.6 BATIMETRIA e MARÉS.

Inicialmente, uma régua graduada foi fixada em uma das colunas do píer da Marina Acquamarine, com o objetivo de monitorar as variações do nível d'água durante o período de coleta. Foram realizadas leituras da régua e registrado os valores a cada quinze minutos.

Um perfil batimétrico da seção transversal de coleta foi obtido durante o estágio de preamar de sizígia com o auxílio de um ecobatímetro portátil Humminbird-Wide 100.

A sondagem batimétrica permitiu localizar os perfis transversais de cada uma das estações de coleta. Para diferentes valores de Y (distância transversal a partir da margem direita do estuário), a correspondente profundidade foi anotada enquanto se fazia o percurso da margem de referência à margem oposta. Dessa forma, o leito do canal foi discretizado em cada estação, permitindo o cálculo da área de cada seção transversal (A), o que foi feito através do método dos trapézios, conforme apresenta a Tabela 3.

Visando ainda investigar o comportamento das marés dentro do estuário da Barra das Jangadas, os registros do nível das águas obtidos *in situ* comparados aos registros das previsões das marés para o Porto do Recife (DHN, 2003).

4.7 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS.

Os dados e os resultados das determinações em laboratório foram transcritos para planilhas eletrônicas para posterior tratamento e análise. A partir das coordenadas geográficas, foram calculadas as distâncias entre cada estação de coleta. Os perfis batimétricos foram plotados em papel milimetrado, sendo posteriormente digitalizados. Neste trabalho, o eixo cartesiano X aponta positivamente no sentido continente → oceano, enquanto que o eixo transversal Y em cada seção de medida tem sua origem nas margens direitas dos rios. O eixo vertical Z é positivo para cima e tem sua origem na superfície do corpo d'água.

A área total do perfil batimétrico foi calculada para quatro momentos distintos: baixa-mar, enchente, preamar e vazante. Para o cálculo de vazão, a área total de cada perfil transversal foi subdividida em sub-áreas, correspondentes a cada posição de medição do correntômetro. A vazão total foi calculada através do somatório das vazões em cada sub-área citada.

Tabela 3. Método dos Trapézios .

Equações	Diagrama dos Elementos
$a_i = \frac{h_{i+1} + h_i}{2} (y_{i+1} - y_i) \quad (9)$	
Seção Transversal: $A = \sum_i a_i \quad (10)$	

Utilizando os dados obtidos de velocidade para cada estação nas distintas profundidades, os vetores de velocidade de corrente foram decompostos nas componentes u (longitudinal ao canal) e v (transversal ao canal), utilizando-se a relação apresentada em Miranda *et al.* (2002). Nesse cálculo, consideram-se ainda a declinação magnética local e a inclinação do eixo principal do canal com relação ao norte geográfico.

$$u = V \cos (\theta) \quad (11)$$

$$v = V \sin (\theta) \quad (12)$$

$$\text{onde: } \theta = 90^\circ - (dd \pm D) \pm \gamma$$

Nessas equações, V é o módulo do vetor e θ é o ângulo trigonométrico formado entre o vetor e o eixo das abscissas medido no sentido anti-horário. Na igualdade, dd é a direção da velocidade, D é o ângulo de declinação magnética, e γ é a orientação do eixo longitudinal em relação ao norte verdadeiro.

Foram calculadas médias espaciais e temporais dos valores de salinidade, densidade, nutrientes e intensidade do componente longitudinal da velocidade (u), para cada dos (3) perfis da seção transversal. No caso das médias da salinidade e densidade os valores foram obtidos através das leituras do CTD.

Considerando que C é a concentração de um nutriente, usualmente representada em $\mu\text{moles.L}^{-1}$, a expressão matemática para calcular o fluxo instantâneo dessa propriedade e seu transporte através da seção transversal é simplesmente a ponderação da concentração do elemento C pela componente longitudinal da velocidade normal à seção transversal u .

$$Tc_k = \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^p C_{ijk} u_{ijk} \right) \quad (13)$$

onde Tc_k = representa a somatória dos transportes instantâneos no tempo k , i é o índice da posição lateral ($i=1,2,...,m$), j é o índice da profundidade ($j=1,2,...,p$), e k representa o índice do tempo ($k=0,3,6...n$).

Dessa equação verifica-se que o fluxo do nutriente dissolvido é dado dimensionalmente em $M.L^{-2}T^{-1}$ (moles. $m^2.s^{-1}$). Esse resultado representa fisicamente o fluxo instantâneo que passa através da seção por unidade de área da seção transversal em um determinado tempo k .

O transporte líquido ao longo do ciclo de maré é calculado através de integração no tempo, quando a propriedade integrada é expressa em unidades de massa (kg), e pode ser representada através da expressão:

$$\Phi_k = A_t \int_{t_0}^{t_3} \bar{c} \bar{u} dt \quad (14)$$

onde A_t é a área instantânea da seção transversal (m^2), $\bar{c}$ é a concentração do parâmetro ($kg.m^{-3}$), e $\bar{u}$ é a velocidade da corrente ($m.s^{-1}$). A barra representa a média na seção transversal. O transporte líquido foi calculado efetuando médias no tempo de cada propriedade. O transporte total ao longo dos estágios de marés ou do dia foi obtido por integração do transporte líquido calculado em cada instante. Neste trabalho, os valores médios positivos indicam o transporte para fora do estuário, e valores negativos, transporte para dentro do estuário.

No caso do fluxo de sal (Ts) a equação inclui a variável ρ (densidade), resultando na equação:

$$Ts_k = \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^p S_{ijk} \rho_{ijk} u_{ijk} \right) 10^{-3} \quad (15)$$

onde ρ é a densidade no espaço e no tempo, u é a velocidade em $m.s^{-1}$, S é a salinidade. Dessa equação verifica-se que o fluxo é dado em $M.L^{-2}T^{-1}$ ($kg.m^{-2}.s^{-1}$).

O transporte líquido instantâneo de sal por unidade de tempo ($kg.s^{-1}$) através da seção transversal foi obtido ponderando o fluxo instantâneo pela área (m^2).

4.8 NORMALIZAÇÃO DO TEXTO

Na elaboração do texto utilizou-se a recomendação da Associação Brasileira de Normas e Técnicas – ABNT (1990a, 1990b e 2002).

5.0. RESULTADOS

5.1. Climatologia.

Os dados da pluviometria da estação do Curado, correspondente ao grande Recife, registraram os maiores valores nos meses de junho e julho do 2001, com índices máximos de 432,40 e 355,50 mm respectivamente. Enquanto aos teores mínimos foram registrados nos meses de novembro e fevereiro com índices de 32,10 e 56,50 mm (anexo 5).

Os totais diários no mês de janeiro apresentaram os valores máximo e mínimo de 15,7 mm no dia 12, e 0,0 mm em 18 dias do referido mês, incluindo os dias 9 e 16 correspondentes ao período de coleta. Para o mês de julho, a maior precipitação foi de 52,0 mm no dia 01, sendo a mínima de 1,2 no dia 31 (Figura 3a e 3b).

A evaporação foi mais elevada no período seco, quanto apresentou valor máximo no mês de janeiro, com 226,60 mm, e o mínimo, de 85,40 mm, no mês de junho. Os totais diários no mês de janeiro apresentaram os teores máximo e mínimo de 10,4 mm no dia 20 e 4,9 mm no dia 01. Para o mês de julho, a evaporação registrou 5,1 mm no dia 18 como máximo sendo o mínimo de 0,5 no dia 01 (Figura 3c).

A velocidade média mensal dos ventos foi moderada ($3,05 \text{ m.s}^{-1}$), no ano de 2001, sendo superior no período seco, com um valor máximo de $3,7 \text{ m.s}^{-1}$ no mês de setembro e o mínimo de $2,40 \text{ m.s}^{-1}$ nos meses de maio e junho, com orientação predominante SE/E nos respectivos meses (Anexo 5).

Os totais diários no mês de janeiro, apresentaram os valores máximos e mínimo de $5,0 \text{ m.s}^{-1}$ no dia 14 e $1,5 \text{ m.s}^{-1}$ no dia 8 respectivamente, registrando-se velocidades acima da média anual durante os dias 12, 13, 14 e 15 correspondentes ao período da coleta (Anexo 6). Para o mês de Julho, o valor máximo registrado foi de $4,6 \text{ m.s}^{-1}$ no dia 30, sendo o mínimo de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$ no dia 4, com orientação predominante SE/S no mês (Anexo 7). A temperatura do ar apresentou uma média anual de $26,06^{\circ}\text{C}$, registrando-se em janeiro uma temperatura média de $26,60^{\circ}\text{C}$, e no mês de julho $24,50^{\circ}\text{C}$ respectivamente (Figura 3c e anexo 5).

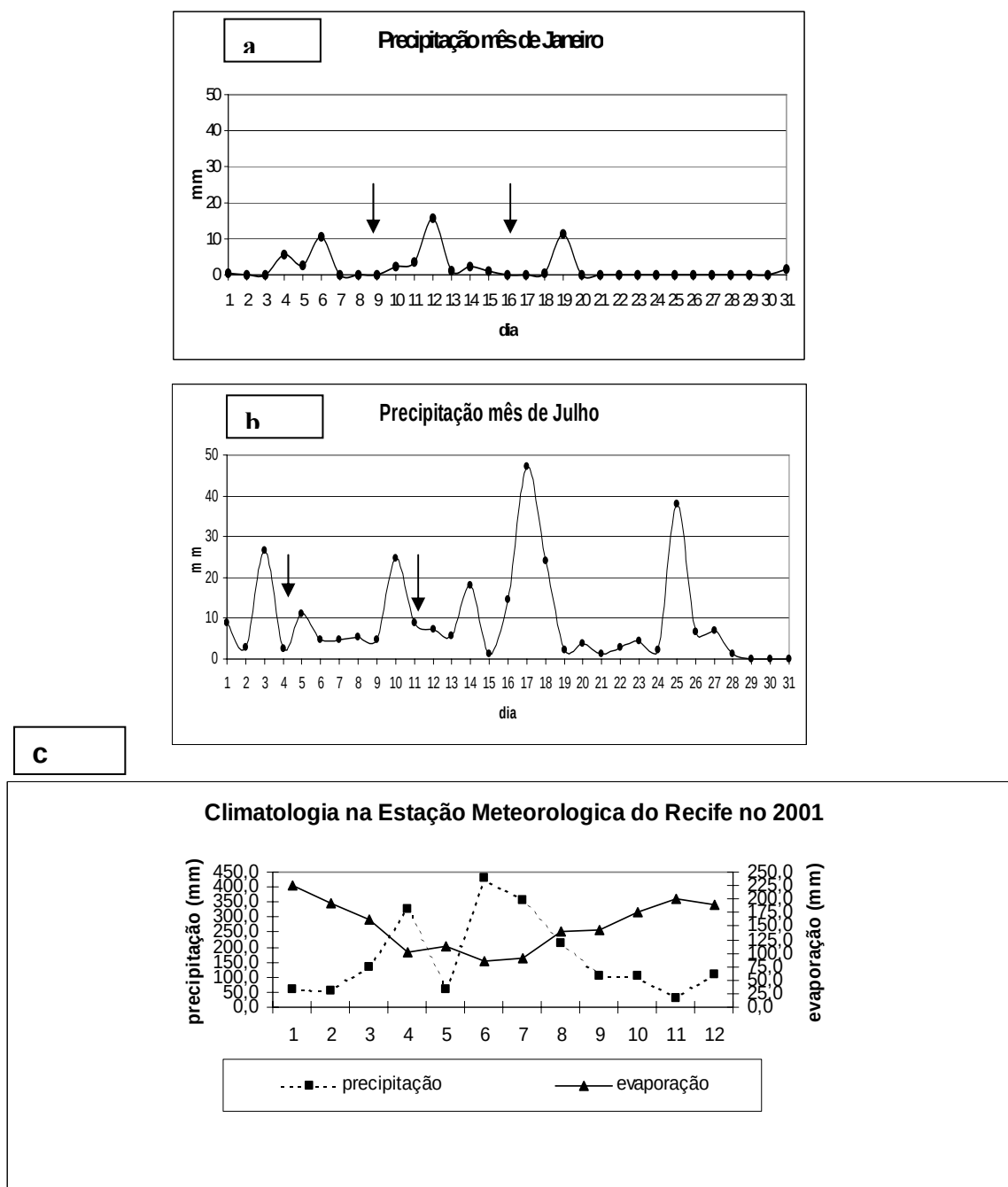


Figura 3. a) Precipitação diária mês de Janeiro/2001, b) Precipitação diária mês de Julho/2001, c) Relação entre as médias mensais de precipitação e evaporação.

5.2. TRATAMENTO DOS DADOS HIDROLÓGICOS

Para o tratamento dos dados, foi realizado uma análise dos componentes principais (ACP) com todos os parâmetros abióticos, nas duas estações do ano e só com os dois níveis de marés (baixa-mar e preamar).

As duas primeiras componentes (PC1 e PC2) explicaram cerca de 70% da variância total. A primeira componente (PC1) explicou 58,0% da variância total, sendo influenciada pela maré, e que pode ser interpretada como um contraste entre, de um lado o oxigênio dissolvido, salinidade, pH e temperatura com pesos negativos (relacionados com a preamar) dos quais o peso mais significativo foi da salinidade (-0,94); e de outro lado o nitrito, silicato, amônia e fosfato (relacionados com a baixa-mar), com pesos positivos dos quais o peso mais significativo foi a amônia (0,90) (Tabela 4).

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e o nitrato não têm muita influencia nesta componente, porém dominam a segunda componente (PC2), que explica 11,31% da variância. Esses dois parâmetros estão correlacionados positivamente (pesos de 0,78 e 0,44 respectivamente), pode-se afirmar a existência de um processo de oxidação da matéria orgânica nitrogenada nesse local.

PARÂMETROS	P C 1	P C 2
TEMPERATURA	-0,46	0,51
SALINIDADE	-0,94	-0,17
OXIGENIO DISSOLVIDO	-0,94	0,10
TAXA DE SATURAÇÃO	-0,94	0,06
DBO	0,17	0,78
pH	-0,88	-0,20
AMONIA	0,90	-0,12
NITRITO	0,74	0,13
NITRATO	0,29	0,44
FOSFATO	0,85	-0,25
SILICATO	0,81	0,01
Variância explicada	58,00%	11,30%

TABELA 4. Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais, na análise realizada com todos os parâmetros abióticos e com dois níveis de maré (baixa-mar e preamar).

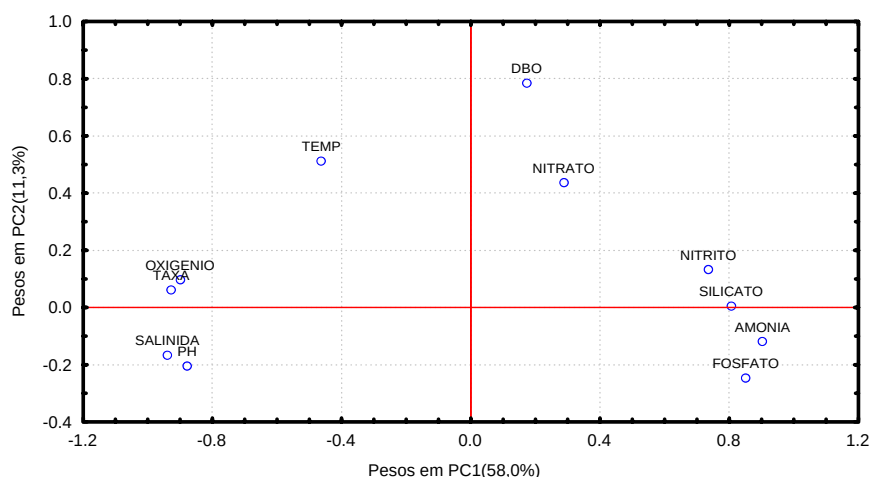


FIGURA 4. Pesos nas duas Primeiras Componentes (PC1 e PC2), na análise feita com todos os parâmetros abióticos.

Na figura 5 (gráfico dos escores), observa-se claramente uma separação entre a baixa-mar e a preamar em relação ao eixo PC1. A maré baixa apresenta valores mais elevados de nutrientes, posicionando-se à direita do gráfico, enquanto a preamar à esquerda, com concentrações mais acentuadas de salinidade, pH e oxigênio dissolvido.

Na preamar é possível observar uma menor variação em PC1, diferente da baixa-mar que apresentou uma maior dispersão dos dados.

Este resultado pode ser um indicativo de poluição de origem doméstica e industrial, ou devido à drenagem terrestre, que influencia as concentrações dos nutrientes, que variam de maneira espacial e temporal.

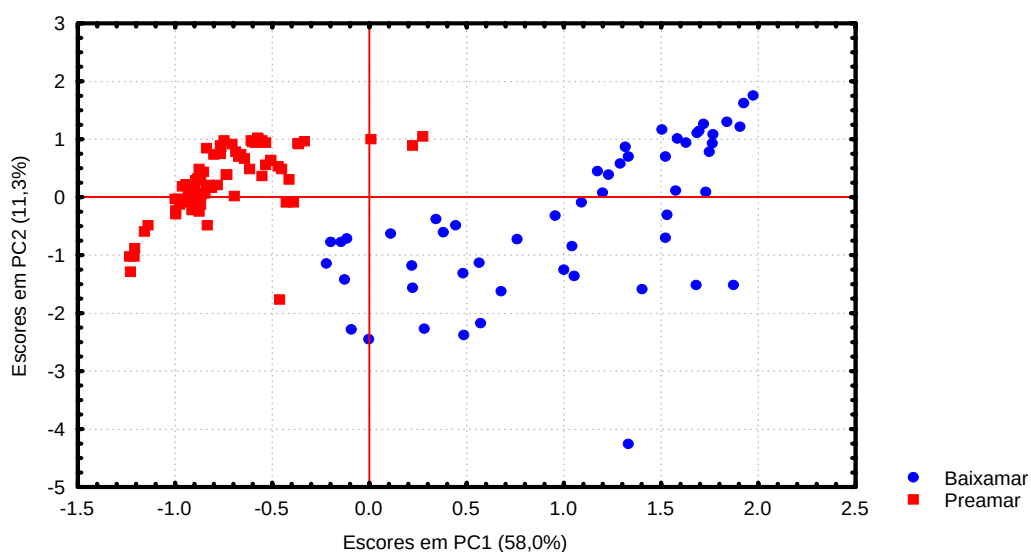


FIGURA 5. Escores nas duas Primeiras Componentes (PC1 e PC2), na análise feita com todos os parâmetros abióticos.

Analisando-se os escores dos dados hidrológicos em PC1 e PC2, levando-se em consideração às estações do ano (verão e inverno e as marés de sizígia e quadratura), observou-se que não há uma nítida separação entre esses elementos (Figura 6). A Figura 7 mostra o incremento dos teores de nutrientes em PC1 (principalmente amônia, silicato e fosfato), durante o inverno independente do nível de maré. Isto indica que a variação dos parâmetros está influenciada mais pelas correntes de marés e influência fluvial (maré alta e baixa), do que nos fatores acima citados.

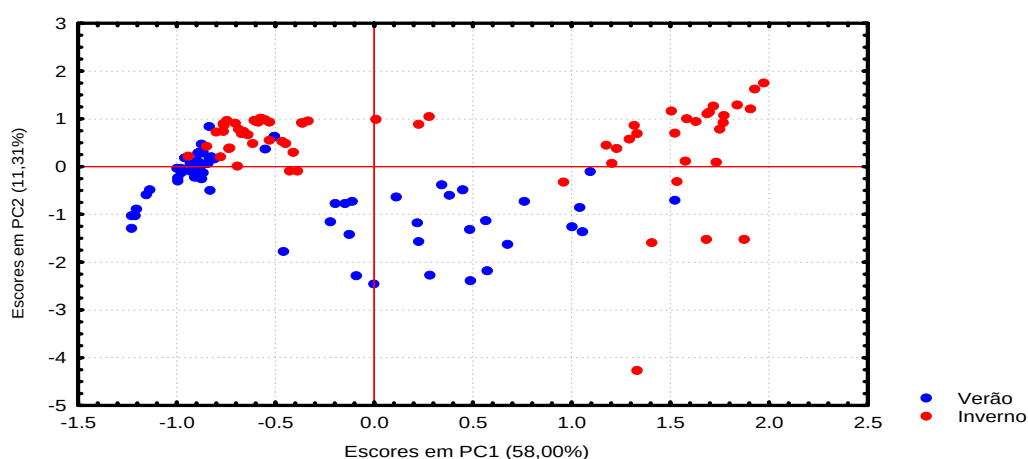


FIGURA 6. Gráfico dos Escores nas duas Primeiras Componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos e as estações do ano (verão e inverno).

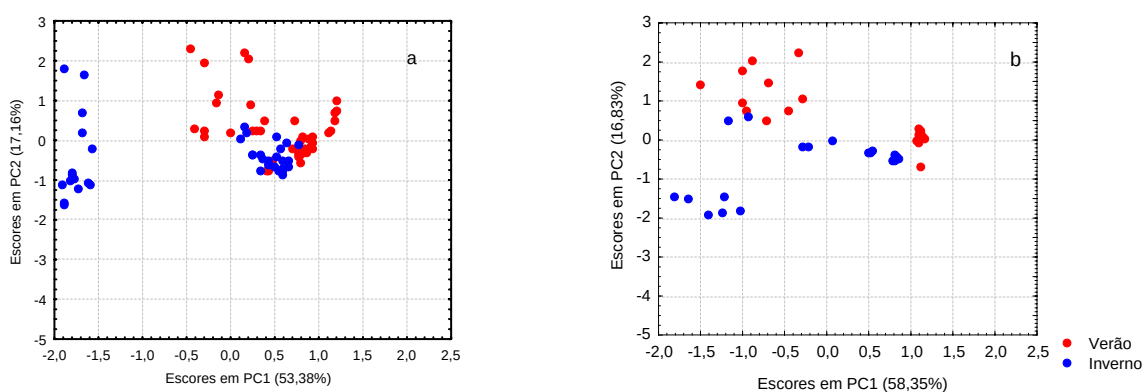


FIGURA 7a e 7b. Escores nas duas Primeiras Componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos e os níveis (a: Sizígia; b: Quadratura).

Desta maneira, na segunda etapa foi realizada uma análise dos componentes principais (ACP) sendo utilizado os dois níveis de maré (baixa-mar e preamar) em separado com todos os parâmetros abióticos. Na baixa-mar as duas primeiras componentes (PC1 e PC2) explicaram 68,14% da variância original (Figura 7).

PARÂMETROS	PC 1	PC 2
TEMPERATURA	-0,84	-0,11
SALINIDADE	-0,90	0,22
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	-0,91	-0,32
TAXA DE SATURAÇÃO	-0,94	-0,26
DBO	-0,14	-0,40
pH	-0,68	0,37
AMÔNIA	0,81	0,03
NITRITO	0,40	-0,65
NITRATO	0,09	-0,94
FOSFATO	0,88	0,08
SILICATO	0,60	0,03
Variância explicada	51,47 %	16,67 %

TABELA 5. Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais, na análise realizada com todos os parâmetros abióticos e com um nível de maré (baixa-mar).

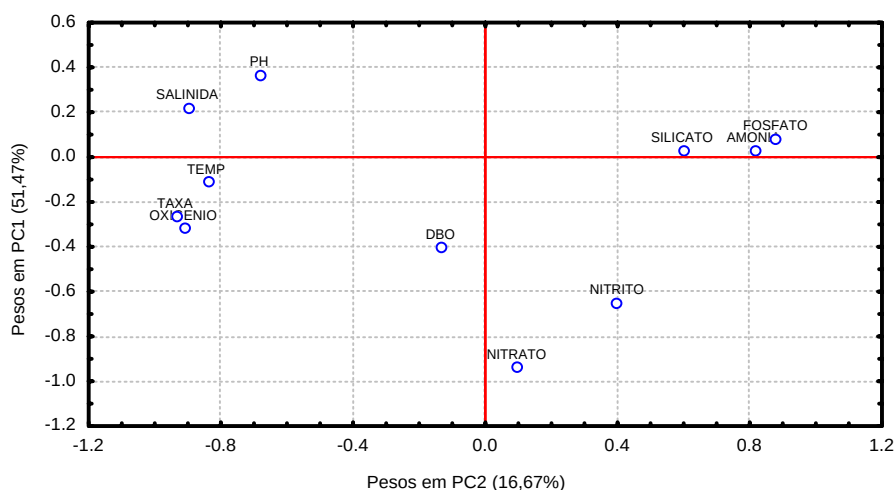


FIGURA 8. Pesos nas duas Primeiras Componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos com um nível de maré (baixa-mar).

A pesar de haver pequenas diferenças entre a variação dos parâmetros em relação à figura 4 (PC1 e PC2 usando os dois níveis de marés), a influência limnética e marinha continuam em destaque.

A primeira componente (PC1) explicou 51,47% da variância total, e que pode ser interpretada como um contraste entre, de um lado o oxigênio dissolvido, taxa de saturação do oxigênio dissolvido, temperatura e a salinidade (relacionado com a água marinha) com pesos negativos, dos quais o peso mais significativo foi o da taxa de saturação de oxigênio (-0,94); e de outro lado o fosfato, o silicato e a amônia (relacionado com a influência fluvial) com pesos positivos dos quais o peso mais significativo foi o do fosfato (0,88) (Tabela 5). Os sinais contrários outra vez indicam que os dois grupos estão correlacionados negativamente. O nitrito e o nitrato neste caso não têm muita influencia nesta componente, porém, dominam a segunda componente (PC2), indicando que em alguns momentos o processo de mineralização da matéria orgânica nitrogenada está em evidencia. A DBO por outro lado, não tem muita influencia nas duas componentes.

Os escores dos dados hidrológicos em PC1 e PC2, na maré baixa, mostra que há uma separação entre verão e inverno (Figura 9).

O silicato, fosfato e amônia são mais elevados no inverno; nesta estação do ano os escores são positivos em PC1, indicando, portanto menores concentrações de salinidade, temperatura, taxa de saturação de oxigênio e oxigênio dissolvido, atribuído à influência da água fluvial. No verão por outro lado, apresenta maior dispersão dos dados, mostrando uma maior variação dos parâmetros nesta estação do ano, ressaltando maiores concentrações de oxigênio dissolvido, salinidade e pH. Valores mais acentuados destes parâmetros no verão mostram que o fluxo fluvial neste período do ano decresce, diminuindo também os valores dos nutrientes.

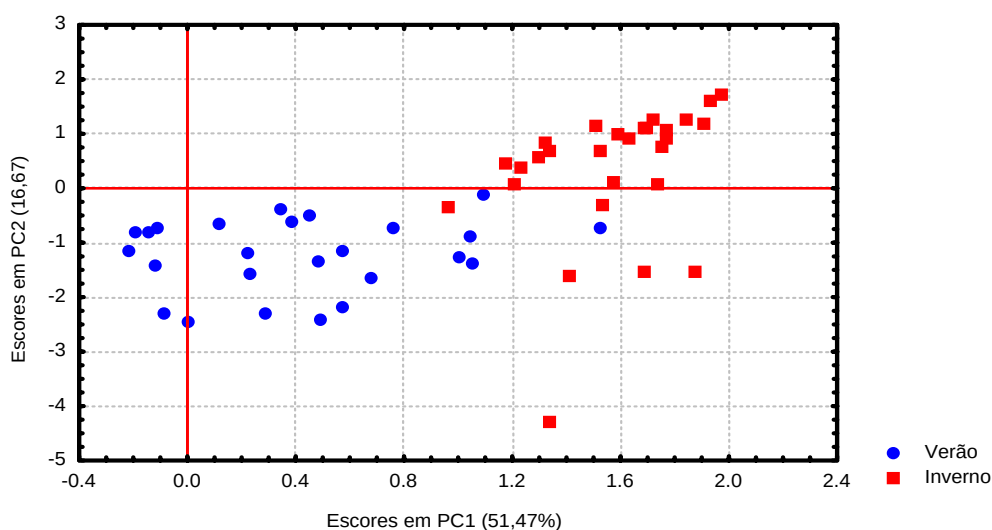


FIGURA 9. Escores nas duas Primeiras Componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos com um nível de maré (baixa-mar), nas duas estações do ano.

Em relação aos níveis de marés (sizígia e quadratura) e às profundidades de coleta, foi feito o gráfico dos escores, porém não verificou-se nenhum padrão regular de variação que indicasse separação entre os elementos.

A análise dos componentes principais (ACP) utilizando-se os dados da preamar, com todos os parâmetros abióticos pode ser observado na figura 10. As duas primeiras componentes (PC1 e PC2) explicaram cerca de 65% da variância original. A primeira componente (PC1) explicou 44,83% da variância total, e que pode ser interpretada como um contraste entre, de um lado a salinidade e pH com pesos negativos, dos quais o mais significativo foi o da salinidade (-0,93); e de outro lado o fosfato, o silicato o nitrito e a amônia com pesos positivos, dos quais o mais significativo foi o silicato (0,92) (Tabela 6).

Estes sinais contrários indicam que, os dois grupos estão inversamente correlacionados, indicando desta maneira que a preamar influi diretamente sobre os teores dos nutrientes, diluindo as concentrações e por outra parte aumentando a concentração da salinidade e pH. O fluxo limnético e marinho novamente são fatores que se destacam como a principal influencia na variação dos parâmetros. Portanto, dentro de um mesmo nível de maré, pode-se encontrar variações nestes fluxos.

O oxigênio dissolvido por sua vez, não tem influência na primeira componente, porém, domina a segunda componente (PC2) com um peso de 0,98.

PARÂMETROS	PC 1	PC 2
TEMPERATURA	-0,59	0,11
SALINIDADE	-0,93	-0,03
OXIGENIO DISSOLVIDO	0,09	0,98
TAXA DE SATURAÇÃO	-0,13	0,97
DBO	-0,35	0,45
pH	-0,50	-0,10
AMONIA	0,88	-0,04
NITRITO	0,88	0,11
NITRATO	0,30	0,05
FOSFATO	0,91	0,06
SILICATO	0,92	0,05
Variância explicada	44,84 %	19,43 %

TABELA 6. Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais, na análise realizada com todos os parâmetros abióticos e com um nível de maré (preamar).

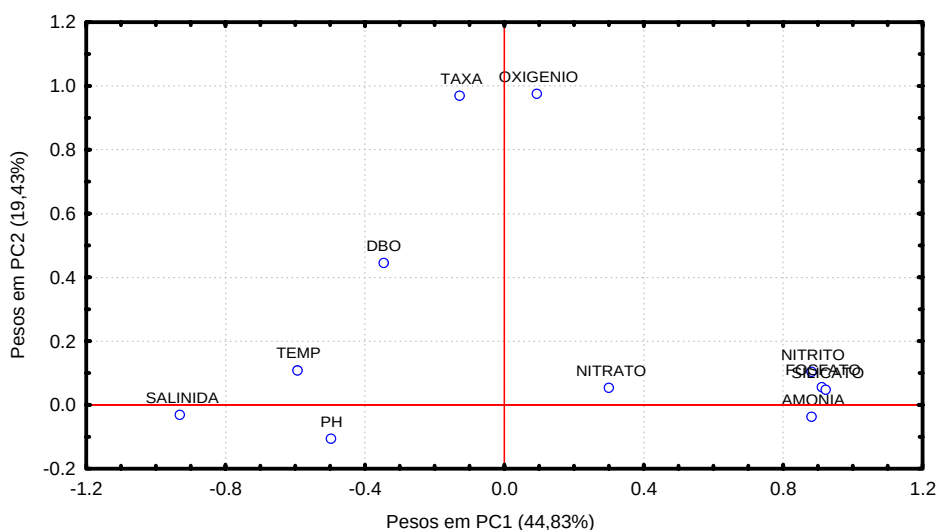


FIGURA 10. Pesos nas duas Primeiras Componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos com um nível de maré (preamar).

Na figura 11, os escores são apresentados estratificados em relação às estações do ano (verão e inverno). Pode-se verificar a dispersão dos objetos sobre o eixo da primeira componente (PC1), mostrando a acentuada variação de todos os parâmetros. A maioria dos dados estariam influenciados pela salinidade neste eixo, fato que se pode atribuir ao nível de preamar. Porém no inverno, pode-se observar claramente uma tendência no aumento da concentração dos nutrientes, devido à precipitação pluviométrica neste período, que acentua a influência limnética, diluindo a água marinha inclusive na preamar.

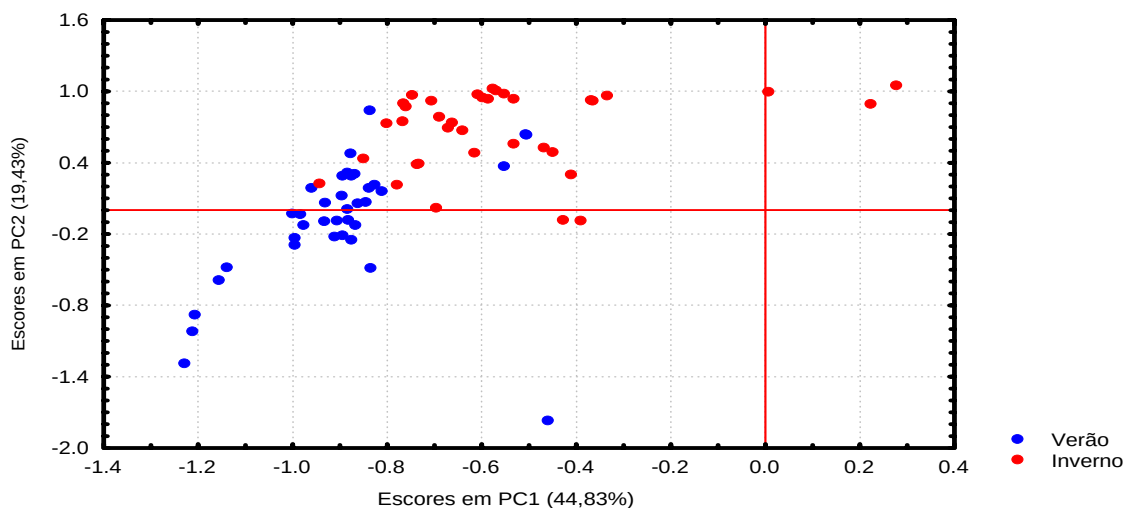


FIGURA 11. Escores nas duas Primeiras Componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos com um nível de maré (preamar), nas duas estações do ano.

Não foi observado nenhum padrão de estratificação quando se utilizaram os fatores profundidade de coleta nos escores dos dados hidrológicos.

5.3. PARÂMETROS HIDROLÓGICOS

5.3.1 Coeficiente de extinção da luz (k)

Durante o período estudado o coeficiente de extinção da luz (k), evidenciou uma sazonalidade bem definida, com menores durante o verão (média 2,4m para sizígia e 2,2m na quadratura) (anexos 1 e 2) , e maiores no inverno (média 3,3m para sizígia e quadratura)(anexos 3 e 4). Isto é consequência direta do maior aporte fluvial durante essa época do ano.

Dentro dos estágios de marés, a baixa-mar apresentou os maiores teores durante o inverno e a enchente no verão, principalmente em horários próximos ao meio dia.

5.3.2. Temperatura.

O gradiente vertical da temperatura na área apresentou pequena amplitude nos quatro regimes de maré, onde os valores mais elevados foram obtidos no verão e os mais baixos no inverno. Anualmente os valores oscilaram entre 25,20 e 30,40°C com um coeficiente de variação anual de 2,50%, demonstrando pequena dispersão dos dados através do ano (Figura 12 e Tabela 7).

No verão a temperatura da área apresentou um máximo de 30,40°C (preamar, fundo) e um mínimo de 26,40°C (baixa-mar, superfície), com um coeficiente de variação (C.V) de 2,79%. Em relação ao inverno o teor máximo foi de 28,00°C e o mínimo de 25,20°C. O coeficiente de variação (C.V.) 2,60% foi equivalente a do verão, como mostra a figura 12, onde o desvio padrão é similar em ambos os períodos.

Quanto à variação entre marés, a temperatura média durante o ano sempre foi mais elevada na vazante, tanto no verão como no inverno e a baixa-mar apresentou os menores valores médios através do ano (Tabela 7).

Não foi registrado um gradiente vertical acentuado, o que indica que a radiação solar alcança toda a coluna de água provocando uma homogeneização térmica. A variação máxima entre superfície e o fundo foi de 1,4°C na preamar , no verão, na maré de quadratura (Anexo 2).

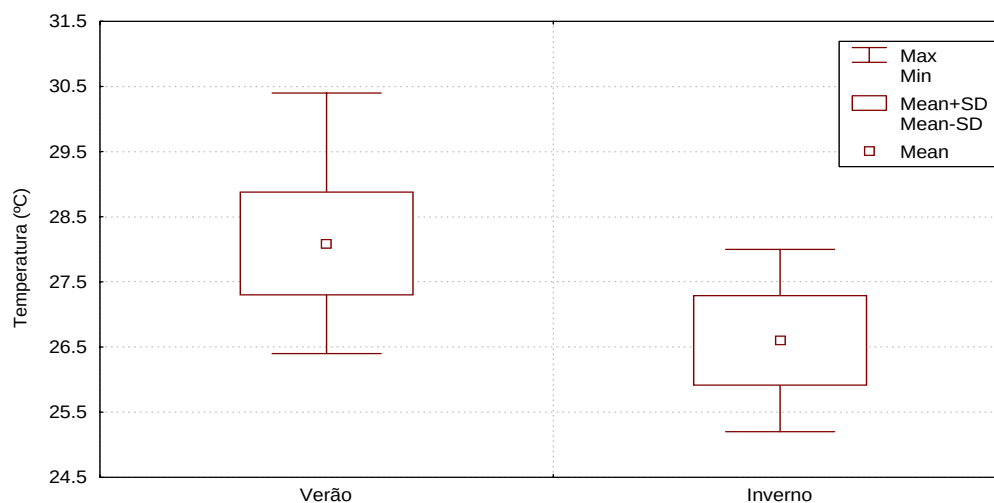


Figura 12. Média, mínimo, máximo e desvio padrão da temperatura no verão e inverno.

Tabela 7. Estatística descritiva da Temperatura

Verão						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V.(%)
Baixa-mar	Superfície	14	28,04	26,40	29,30	2,96
	Fundo	11	28,13	27,20	29,20	2,59
Preamar	Superfície	13	28,12	27,00	29,70	2,77
	Fundo	13	28,07	26,50	30,40	3,59
Vazante	Superfície	13	28,18	27,60	28,90	1,27
	Fundo	13	28,18	27,60	29,00	1,34
Enchente	Superfície	16	28,12	26,60	29,50	3,44
	Fundo	14	28,12	26,80	29,70	3,41
Média Verão						2,67
Inverno						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V.(%)
Baixa-mar	Superfície	16	26,36	25,20	27,20	2,35
	Fundo	14	26,40	25,50	27,10	2,08
Preamar	Superfície	12	26,73	25,90	28,00	3,06
	Fundo	13	26,68	25,90	28,00	2,54
Vazante	Superfície	13	26,72	26,00	27,90	1,98
	Fundo	13	26,71	25,50	27,50	1,90
Enchente	Superfície	14	26,56	25,20	28,00	3,68
	Fundo	14	26,51	25,20	28,00	3,24
Média Inverno						2,60
Média Anual						2,79

5.3.3. Salinidade.

A variação sazonal da salinidade na área estudada, apresentou teores mais elevados durante o verão, com um máximo de 35,56, (fundo, preamar) e os mais baixos no período invernal, com um mínimo de 0,27 (superfície, enchente). Os teores médios na estação de verão oscilaram entre 33,84 e 8,20, e no inverno entre 29,96 e 0,53 (Tabela 8). Observa-se, portanto uma grande dispersão dos dados, com um maior coeficiente de variação (C.V.) no inverno (35,26%) comparando com o verão de 28,26% (Tabela 8). Por outro lado, o desvio padrão no período de estiagem foi maior como se apresenta na figura 13.

Em relação aos níveis de marés (sizígia e quadratura), foram observados teores mais elevados durante a maré de sizígia, principalmente no inverno, onde as correntes de maré são mais intensas, diminuindo a quantidade de água doce retida na área. (Figuras 14 e 15).

Em relação aos regimes de marés as maiores concentrações foram observadas na preamar como é registrado nas figuras 14 e 15, diminuindo os valores na vazante, com um mínimo na baixa-mar. A figura 16 mostra as variações das médias da salinidade em relação às marés, onde é possível ratificar o resultado deste ciclo periódico. Nestes gráficos também é possível detectar que o desvio padrão na baixa-mar é maior que a média ficando fora da linha divisória do zero.

O efeito das marés de sizígia e quadratura também se faz notar na estratificação vertical. A área apresentou-se bem misturada no verão durante a sizígia, sem diferença entre a salinidade da camada de fundo e da superfície, com ausência de haloclina. Na maré de quadratura no verão, e durante a maré de sizígia no inverno a área apresentou-se parcialmente misturada, com estratificação de salinidade moderada. Foi detectado haloclina acentuada em duas preamares no inverno, na maré de quadratura com variações de 20,45 e 18,72 entre a superfície e fundo (Figuras 14, 15 e Anexo 4)

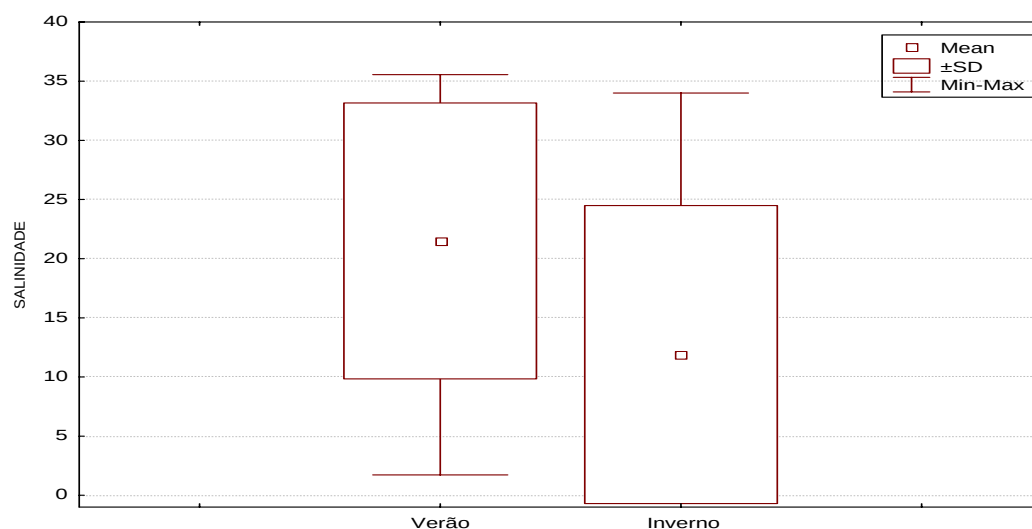


FIGURA 13. Média, mínimo, máximo e desvio padrão da Salinidade no verão e inverno.

Tabela 8. Estatística descritiva da Salinidade

Verão						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V.(%)
Baixa-mar	Superfície	14	8,20	1,72	17,91	72,80
	Fundo	11	10,39	3,58	17,11	48,41
Preamar	Superfície	13	33,41	30,69	34,76	3,68
	Fundo	13	33,84	31,22	35,56	3,51
Vazante	Superfície	13	27,04	13,19	33,69	23,92
	Fundo	13	28,73	17,50	33,69	17,61
Enchente	Superfície	16	9,82	4,09	13,10	28,41
	Fundo	14	10,18	5,65	13,90	27,79
Média Verão						28,26
Inverno						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V.(%)
Baixa-mar	Superfície	16	0,53	0,30	0,82	30,18
	Fundo	14	0,71	0,39	1,86	52,11
Preamar	Superfície	12	26,31	8,02	33,73	33,37
	Fundo	13	29,96	24,60	33,69	8,64
Vazante	Superfície	13	10,95	2,99	20,18	50,50
	Fundo	13	15,29	5,35	24,43	39,96
Enchente	Superfície	14	1,04	0,27	2,20	38,46
	Fundo	14	1,21	0,88	2,10	28,92
Média Inverno						35,26
Média Anual						31,76

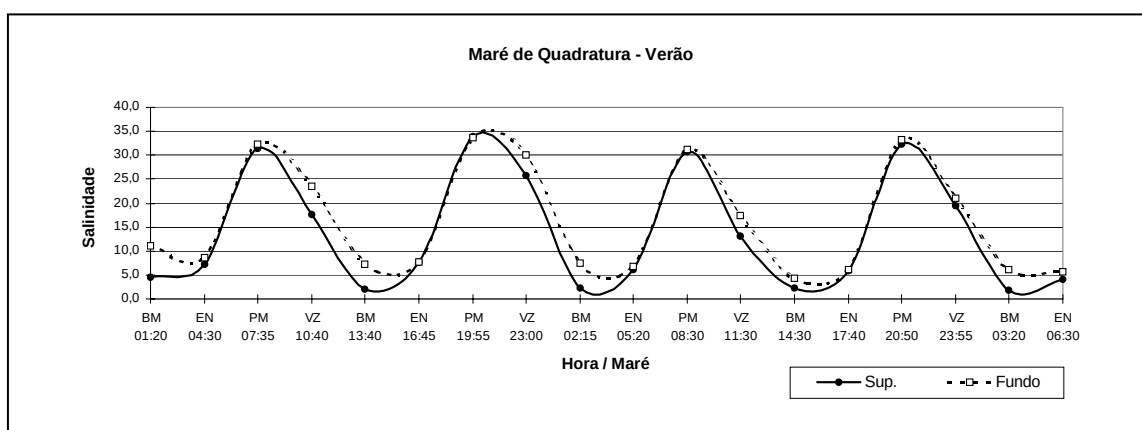
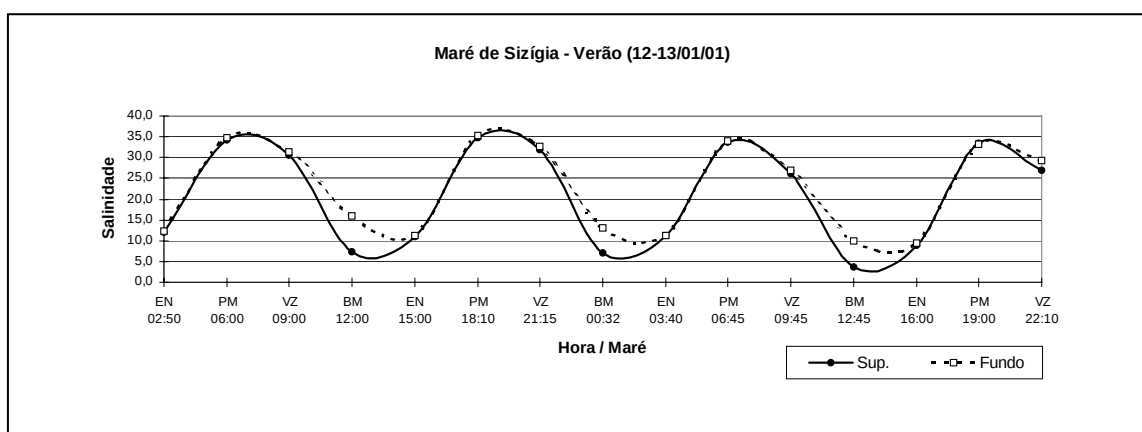
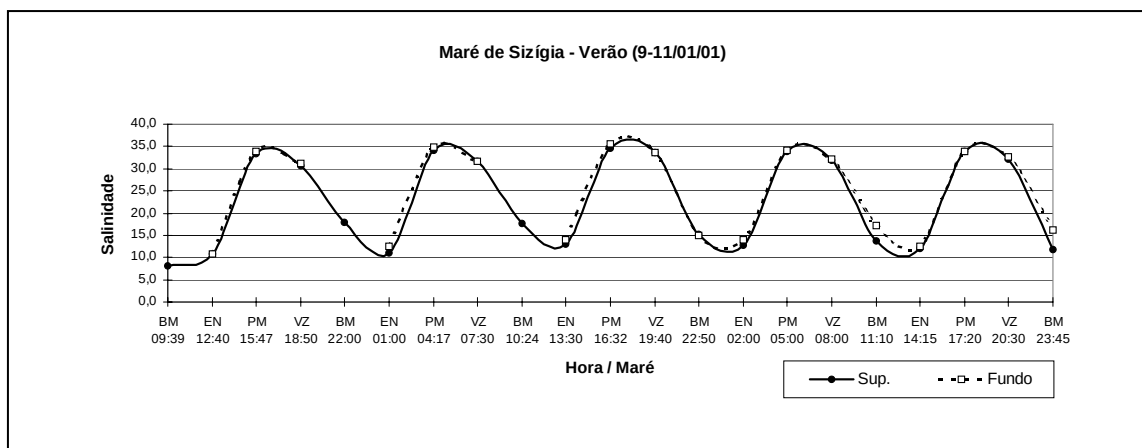


FIGURA 14. Variação temporal da salinidade na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (Janeiro) (09-16/2001).

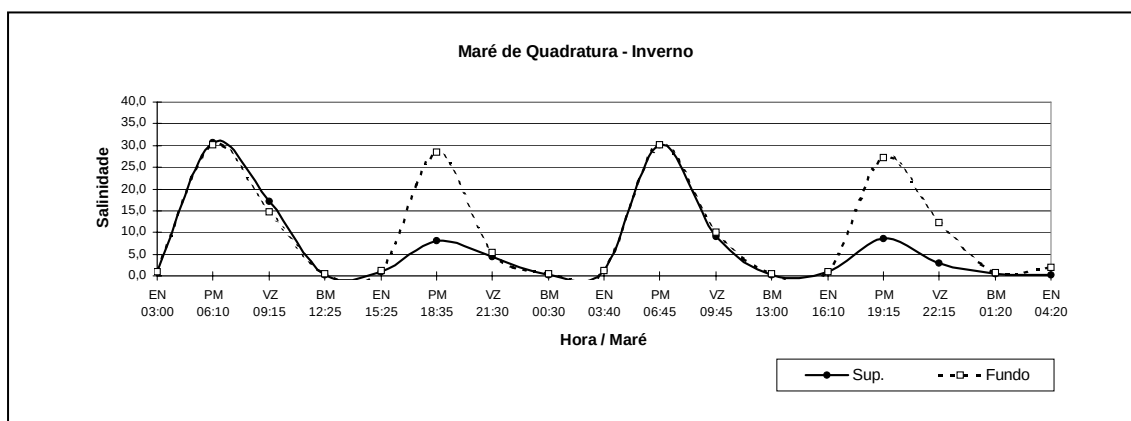
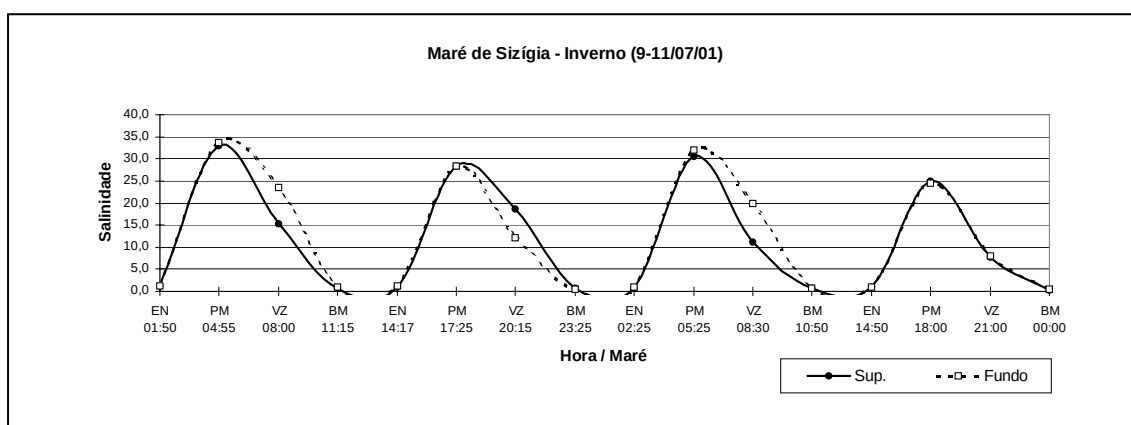
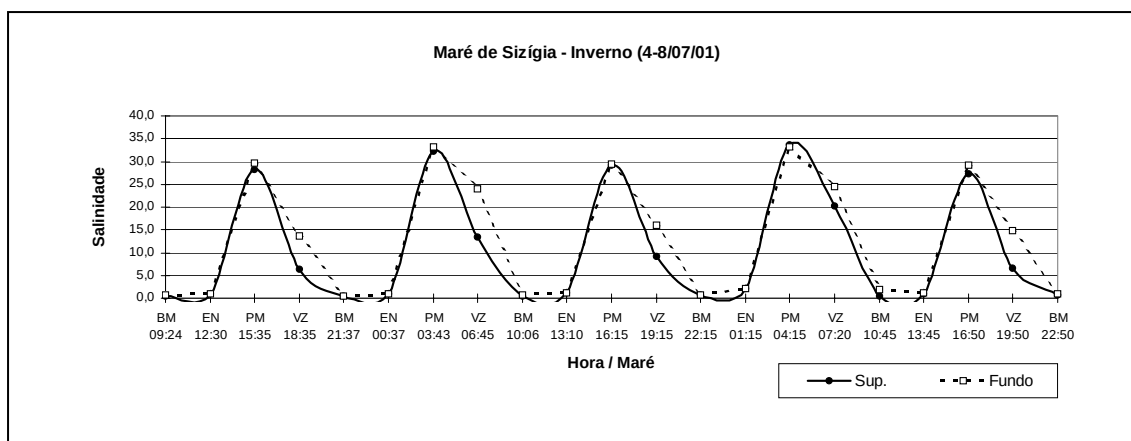


FIGURA 15. Variação temporal da salinidade na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o inverno (Julho)(04-11/2001).

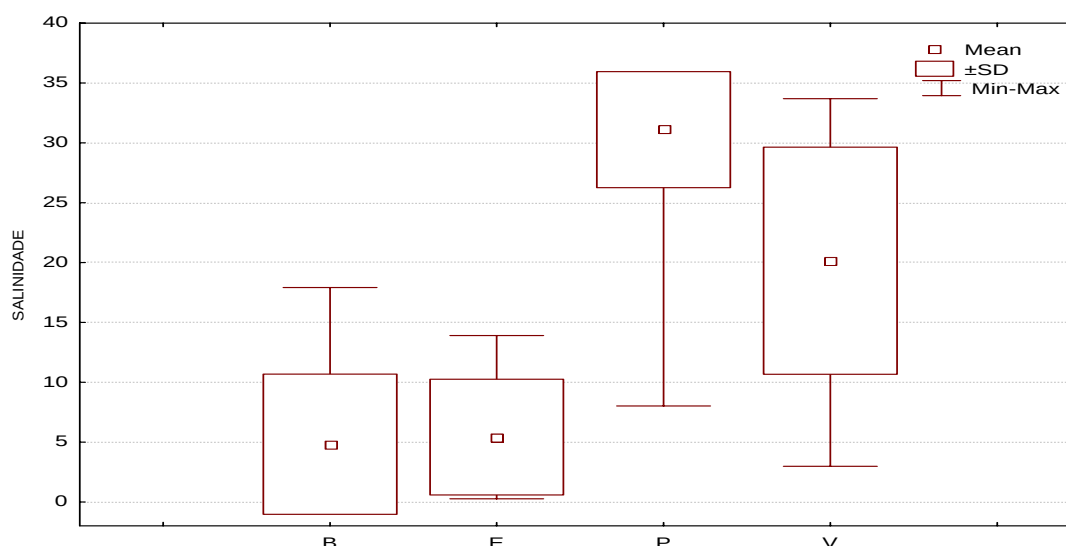


FIGURA 16. Média, mínimo, máximo e desvio padrão da salinidade entre os regimes de marés.

5.3.4. Oxigênio dissolvido - Percentual de Saturação.

A área apresentou valores elevados de oxigênio dissolvido, principalmente no verão (máximo de $7,96 \text{ mL.L}^{-1}$, superfície, enchente). Em contrapartida também foi detectado déficit com teores próximos de zero, principalmente na baixa-mar e no período de inverno (mínimo de $0,08 \text{ mL.L}^{-1}$, fundo, baixa-mar). (Tabela 9).

O coeficiente de variação (C.V.) anual de 27,22%, mostra dispersão dos dados durante todo o período. Na figura 17 pode-se observar que os desvios padrão nos dois períodos sazonais são equivalentes, porém com uma média mais elevada no verão.

Quanto aos níveis de marés (sizígia e quadratura) não foi observada diferença relevante, não sendo, portanto, um fator determinante nas variações do oxigênio dissolvido, como foi observado na análise dos componentes principais. As variações entre o verão e o inverno foram mais evidentes com valores mais elevados no período de estiagem (Figura 17). No inverno, foi detectada uma maior amplitude e uma variação mais regular, entre os teores máximos e mínimos (Figuras 18 e 19).

Quanto ao regime de marés, a preamar apresentou os maiores teores no inverno e no verão na maré de quadratura, demonstrando a oxigenação da água marinha no interior do estuário. Na maré de sizígia no verão, não se observou um padrão regular de variação quanto aos máximos e mínimos (Figura 18 e 20). Na figura 20 levando-se em consideração todo o período, os valores médios foram mais elevados na preamar, seguido da vazante,

enchente e baixa-mar.

Na distribuição vertical o oxigênio dissolvido apresentou oscilações entre superfície e fundo durante o ano, com variações mais acentuadas no inverno (Figuras 17 e 18).

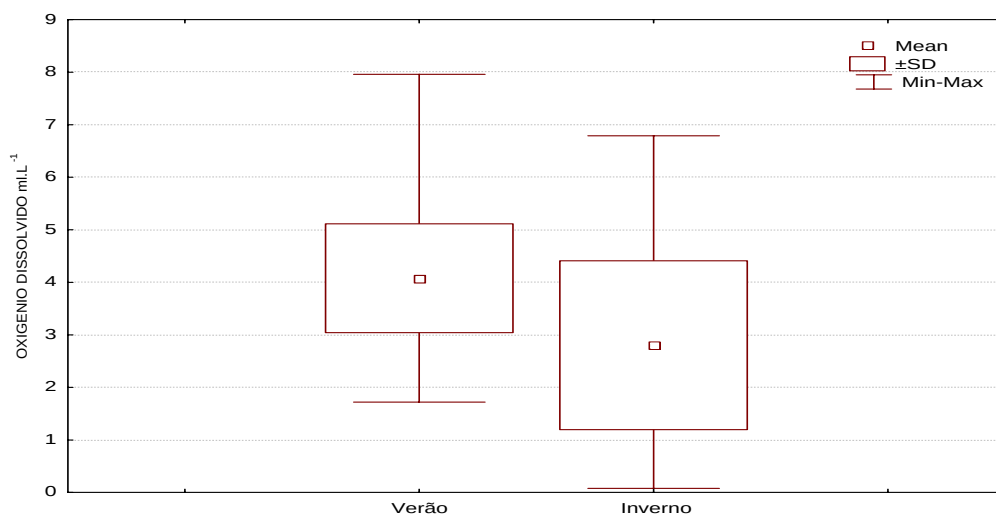


FIGURA 17. Média, mínimo, máximo e desvio padrão do oxigênio dissolvido no verão e inverno.

Tabela 9. Estatística descritiva do Oxigênio Dissolvido

Verão						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V.(%)
Baixa-mar	Superfície	14	3,31	2,49	4,15	15,7
	Fundo	11	3,27	1,84	4,19	20,79
Preamar	Superfície	13	4,57	1,81	5,44	18,81
	Fundo	13	4,46	1,87	5,25	18,16
Vazante	Superfície	13	4,16	3,74	4,76	6,49
	Fundo	13	4,25	3,89	4,70	5,41
Enchente	Superfície	16	4,20	2,34	7,96	40,23
	Fundo	14	4,07	2,56	6,68	36,11
Média Verão						20,21
Inverno						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V.(%)
Baixa-mar	Superfície	16	1,11	0,13	2,65	80,18
	Fundo	14	1,17	0,08	2,64	68,37
Preamar	Superfície	12	4,95	4,35	6,79	13,93
	Fundo	13	4,64	3,84	5,31	7,54
Vazante	Superfície	13	3,04	1,38	4,72	24,34
	Fundo	13	3,27	2,09	4,30	19,57
Enchente	Superfície	14	1,70	0,86	2,63	30,58
	Fundo	14	1,46	0,69	2,16	29,45
Média Inverno						34,24
Média Anual						27,22



FIGURA 18. Variação temporal de oxigênio dissolvido na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (Janeiro)(09-16/2001).

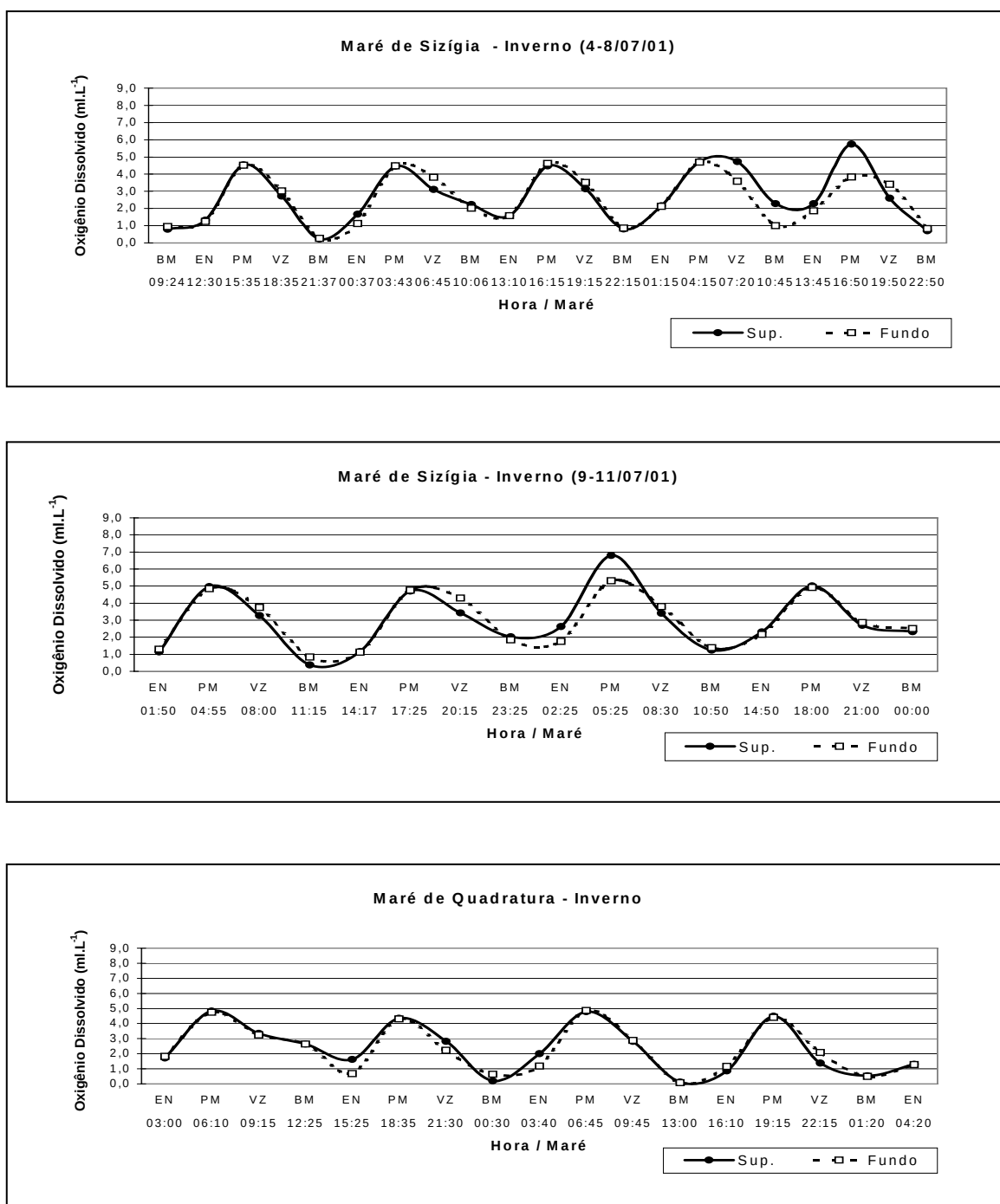


FIGURA 19. Variação temporal de oxigênio dissolvido na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o inverno (Julho)(04-11/2001).

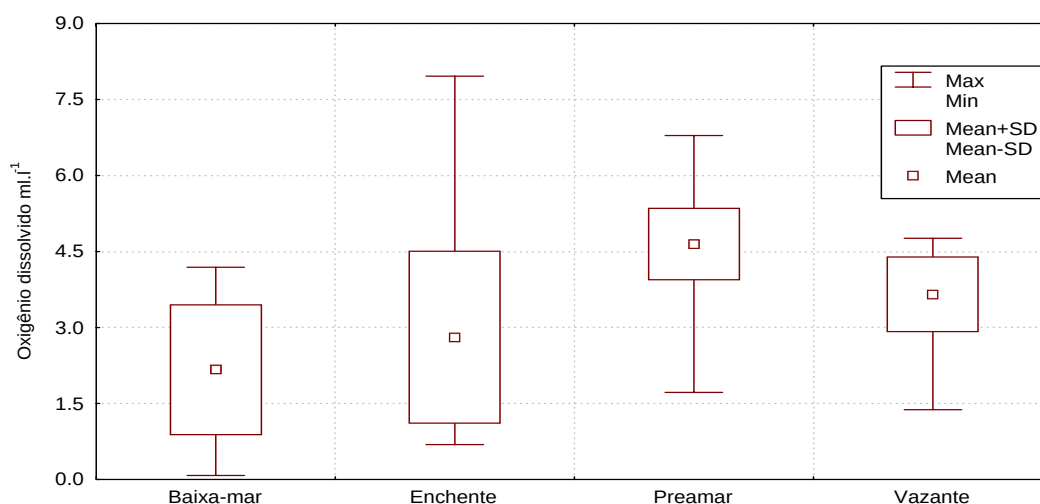


FIGURA 20. Média, mínimo, máximo e desvio padrão do oxigênio dissolvido entre os regimes de marés.

Os valores do percentual de saturação de oxigênio dissolvido mostraram tanto um estuário supersaturado, quanto com deficitários percentuais de saturação, característico de área poluída. A variação anual foi de 160,37%, verão a 1,44% , inverno (7,96 mL.L⁻¹, 0,08 mL.L⁻¹ de oxigênio dissolvido respectivamente) (Anexos 1 e 4).

De acordo com Macêdo e Costa (1991) a confluência dos rios Jaboatão e Pirapama varia entre condições de poluição a área saturada. Através das figuras 21 e 22, pode-se observar que na maré baixa e enchente e no período de inverno, a área se apresenta com valores críticos, indicando poluição, podendo ser orgânica e/ou inorgânica.

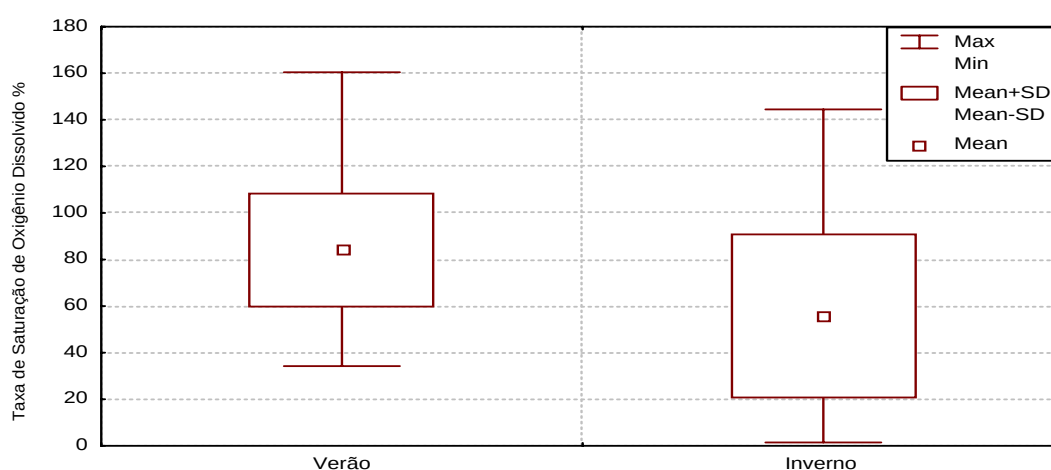


FIGURA 21. Média, mínimo, máximo e desvio padrão do percentual de saturação do oxigênio dissolvido no verão e inverno.

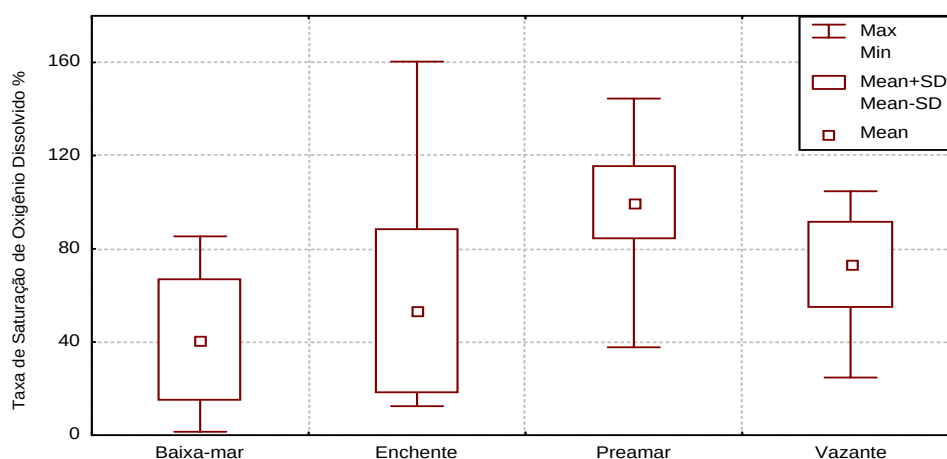


FIGURA 22. Média, mínimo, máximo e desvio padrão do percentual de saturação do oxigênio dissolvido durante os regimes de marés.

5.3.5. Demanda Bioquímica de Oxigênio.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) apresentou pequenas diferenças sazonais, com teores baixos durante os dois períodos estacionais (Figura 23). Nos anexos 1 a 3 porém, observa-se alguns valores elevados no consumo do oxigênio dissolvido. É importante mencionar que estes aumentos sempre foram detectados nos horários diurnos, próximos ao meio-dia. O valor máximo foi de $10,02 \text{ mg.L}^{-1}$ (inverno, superfície) e o mínimo de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ (detectado em ambas estações do ano). O coeficiente de variação (C.V) foi mais elevado na estação invernal (195,91%) (Tabela 10).

Em relação ao regime de marés, observa-se um pequeno aumento da DBO na baixa-mar (Figura 24). Os baixos teores de DBO durante o ano estão associados a baixos teores de oxigênio dissolvido: Sizígia verão: $1,81 \text{ mL.L}^{-1} \text{ (OD)} \rightarrow 0,01 \text{ mg.L}^{-1} \text{ (DBO)}$; quadratura verão: $1,84 \text{ mL.L}^{-1} \text{ (OD)} \rightarrow 2,28 \text{ mg.L}^{-1} \text{ (DBO)}$; sizígia inverno: $1,24 \text{ mL.L}^{-1} \text{ (OD)} \rightarrow 5,74 \text{ mg.L}^{-1} \text{ (DBO)}$; quadratura inverno: $0,20 \text{ mL.L}^{-1} \text{ (OD)} \rightarrow 0,01 \text{ mg.L}^{-1} \text{ (DBO)}$ (Anexos 1 a 3).

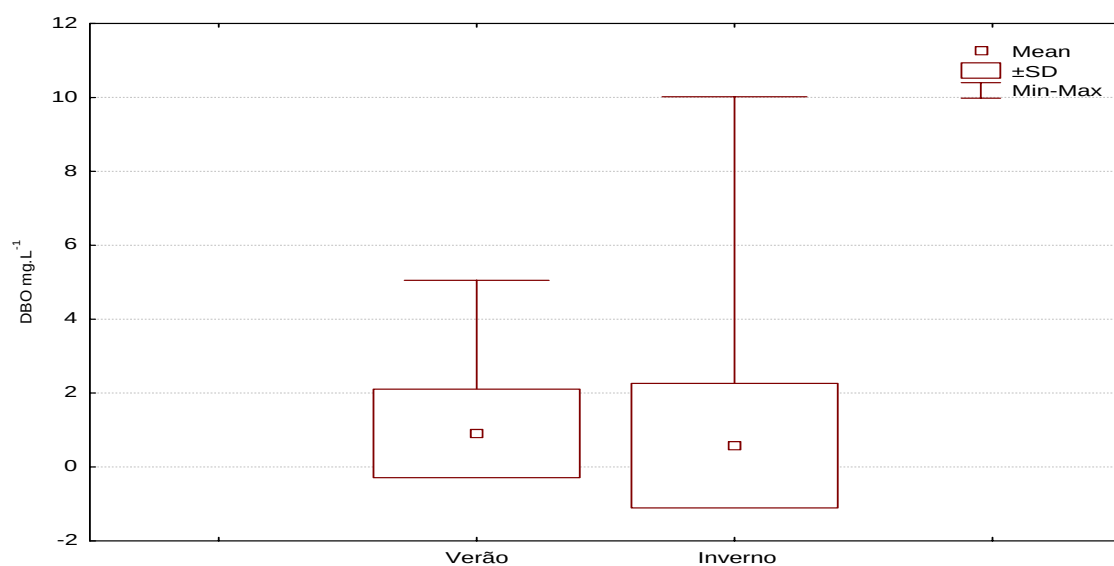


FIGURA 23. Média, mínimo, máximo e desvio padrão da demanda bioquímica de oxigênio durante o verão e inverno.

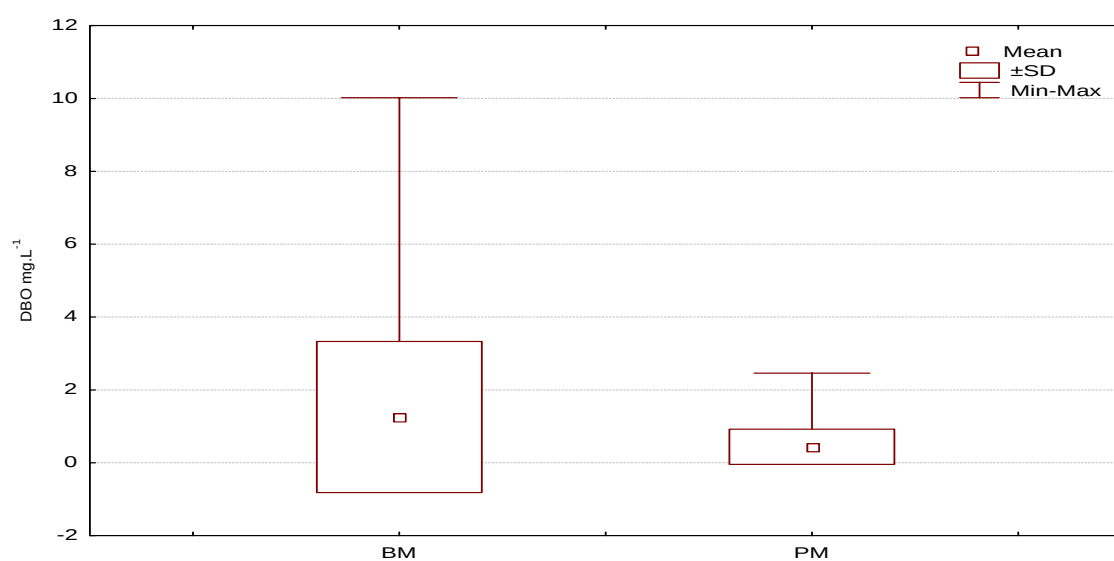


FIGURA 24. Média, mínimo, máximo e desvio padrão da demanda bioquímica de oxigênio durante os regimes de marés.

Tabela 10. Estatística descritiva da demanda bioquímica de oxigênio

Verão						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Baixa-mar	Superfície	14	1,15	0,01	4,54	136,52
	Fundo	11	2,09	0,01	5,05	88,99
Preamar	Superfície	13	0,58	0,01	1,93	93,10
	Fundo	13	0,59	0,01	2,46	120,33
Média Verão						109,73
Inverno						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Baixa-mar	Superfície	16	1,12	0,01	10,02	250,00
	Fundo	14	0,76	0,01	5,37	246,05
Preamar	Superfície	12	0,20	0,01	0,64	140,00
	Fundo	13	0,21	0,01	1,03	147,61
Média Inverno						195,91
Média Anual						152,82

5.3.6. pH.

O potencial hidrogeniônico apresentou uma variação relativamente acentuada de 6,12 (inverno, baixa-mar, superfície) a 8,84 (inverno, preamar, fundo), levando-se em consideração outros ecossistemas costeiros (Tabela 11).

Os valores limites do pH foram registrados no inverno, mostrando uma maior dispersão dos dados (C.V.=3,61%). Enquanto que no verão o coeficiente de variação foi de 1,88%. Na figura 25 observa-se que a média para os dois períodos sazonais não apresentou diferenças significativas.

Nas preamares foram detectados valores mais elevados, com um valor mínimo equivalente ao máximo da baixa-mar (Figura 25). O teor máximo na preamar foi de 8,84, e na baixa-mar de 7,55 (Tabela 11). Esses resultados indicam a influência fluvial no equilíbrio ácido-básico do ecossistema.

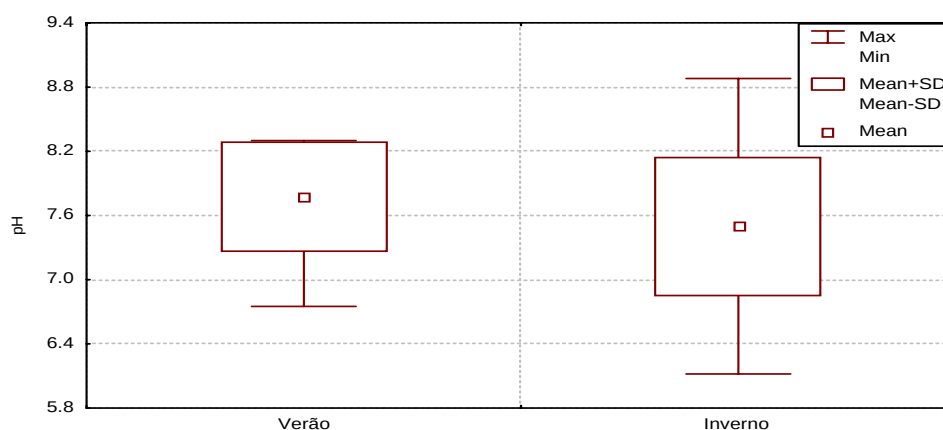


FIGURA 25. Média, mínimo, máximo e desvio padrão do pH no verão e inverno.

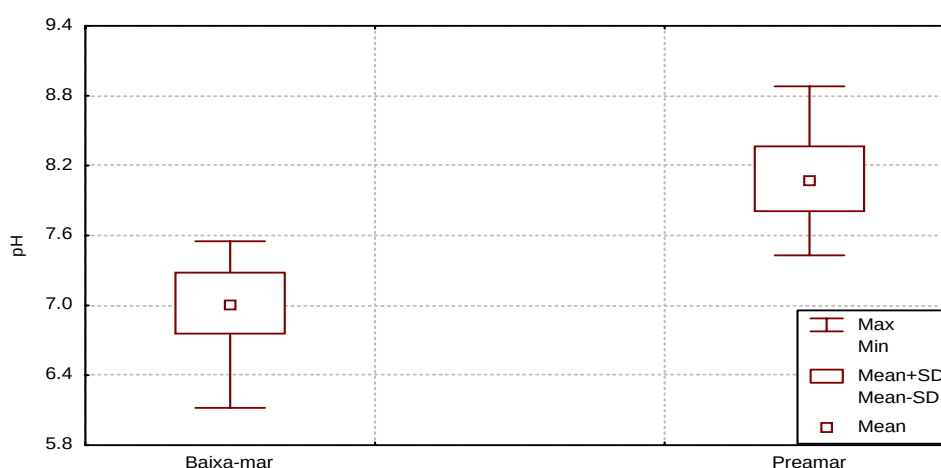


FIGURA 26. Média , mínimo, máximo e desvio padrão do pH entre os regimes de marés.

Tabela 11. Estatística descritiva do pH

Verão						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Baixa-mar	Superfície	14	7,11	6,75	7,55	3,51
	Fundo	11	7,27	7,02	7,48	2,20
Preamar	Superfície	13	8,16	8,00	8,30	0,98
	Fundo	13	8,17	8,04	8,28	0,85
Média Verão						1,88
Inverno						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Baixa-mar	Superfície	16	6,82	6,12	7,19	3,81
	Fundo	14	6,93	6,72	7,19	1,73
Preamar	Superfície	12	7,88	7,43	8,76	4,44
	Fundo	13	8,03	7,68	8,84	4,48
Média Inverno						3,61
Média Anual						2,74

5.3.7. Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos.

5.3.7.1. Amônia.

A amônia apresentou uma marcada diferença entre as estações do ano, com teores mais elevados durante o inverno, como foi demonstrado através da análise de componentes principais (PCA) (Figuras 4, 5 e 27, 28, 29). Em determinados períodos a amônia não foi detectada, porém o valor máximo foi elevado ($9,11 \mu\text{mol.L}^{-1}$, inverno, baixa-mar, fundo), indicando que o processo de amonificação é intenso na área.

O elevado coeficiente de variação no verão (média: 122,68%) mostra uma maior dispersão dos dados quando comparado com o período invernal (média do C.V.=53,79%). Por outro lado, o desvio padrão no período de estiagem foi menos acentuado, embora maior que a média do período (Figura 27 e Tabela 12).

Em relação aos níveis de marés (sizígia e quadratura), se observou diferenças significativas entre as estações do ano. Na sizígia foram detectados baixos teores no verão e elevados no inverno. Na maré de quadratura foram registrados teores elevados tanto no verão como no inverno (Figuras 28 e 29). Desta maneira, o fator mais importante na variação da concentração da amônia é a variação sazonal. Estes resultados estão relacionados com precipitação pluviométrica e insolação, como foi observado nas figuras 3a, 3b e 3c.

Em relação aos regimes de marés, a baixa-mar apresentou durante o ano, os maiores teores, tanto na sizígia como na quadratura, como é mostrado nas figuras 28, 29 e 30.

Estratificação vertical foi observada em todo o período, porém com maior frequência no verão na maré de quadratura, quando a estabilidade da coluna de água impede a homogeneização vertical. De um modo geral, as concentrações na superfície foram menores que no fundo (Figuras 28 e 29).

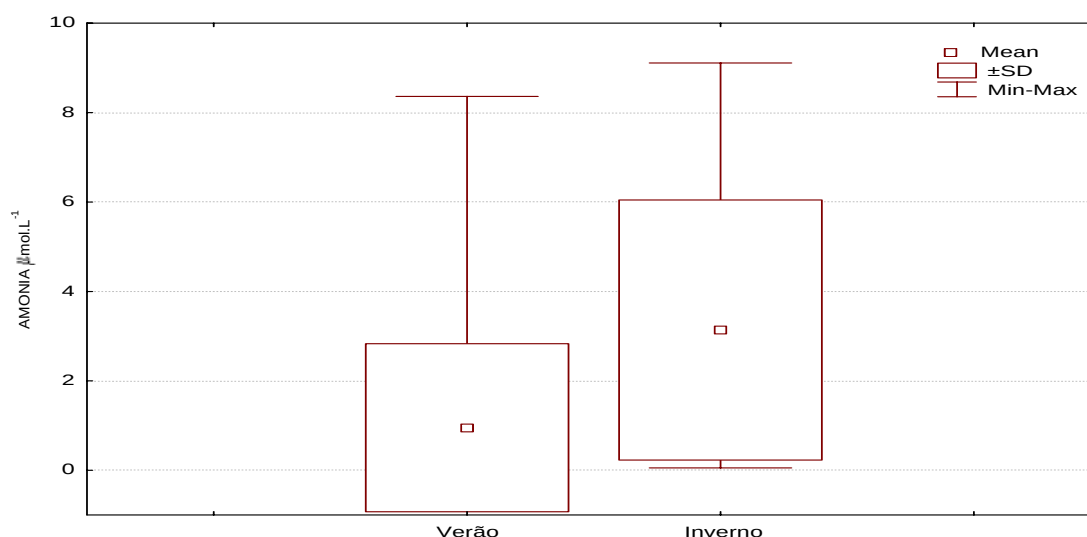


FIGURA 27. Média, mínimo, máximo e desvio padrão da amônia no verão e inverno.

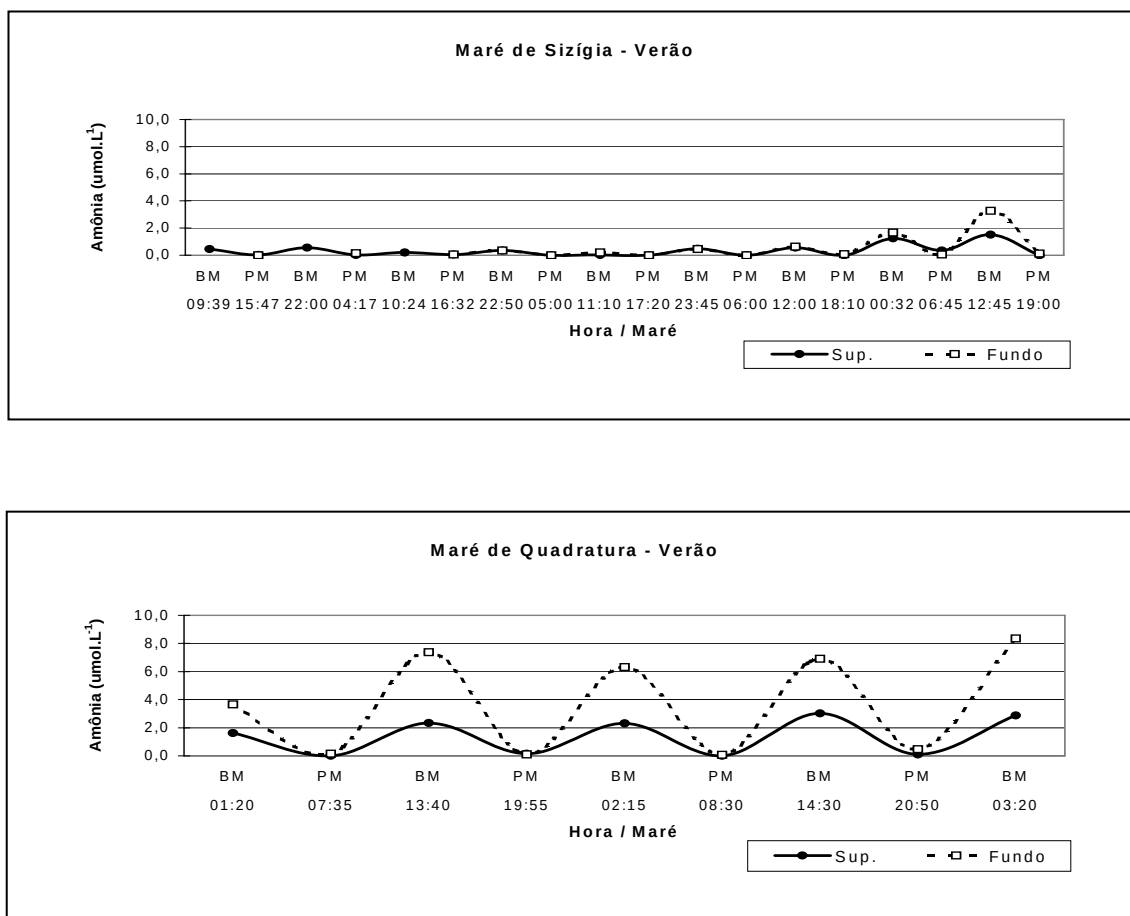


FIGURA 28. Variação temporal da amônia na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (Janeiro)(09-16/2001).

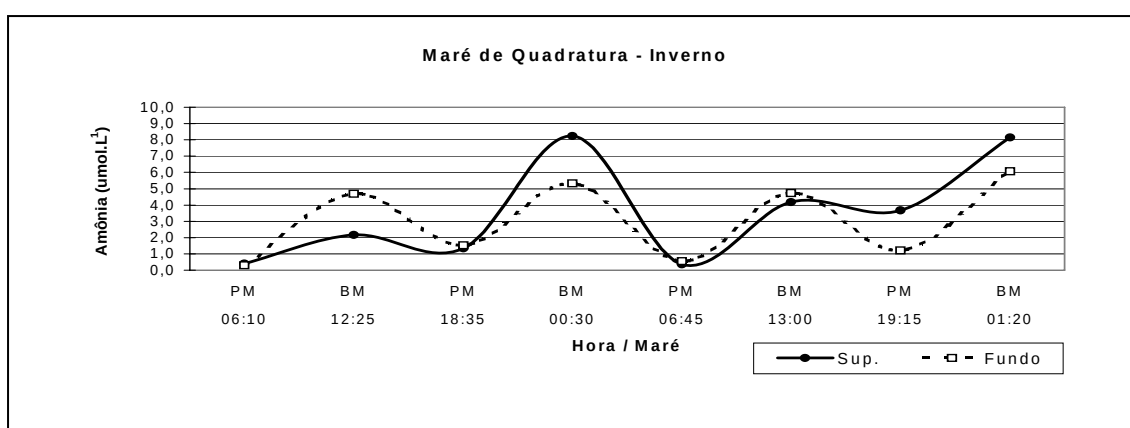
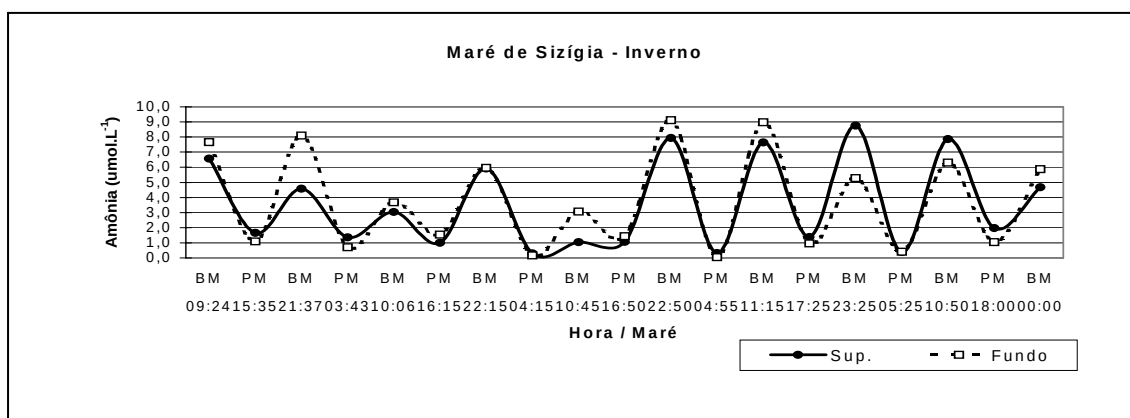


FIGURA 29. Variação temporal da amônia na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o inverno (Julho)(04-11/2001).

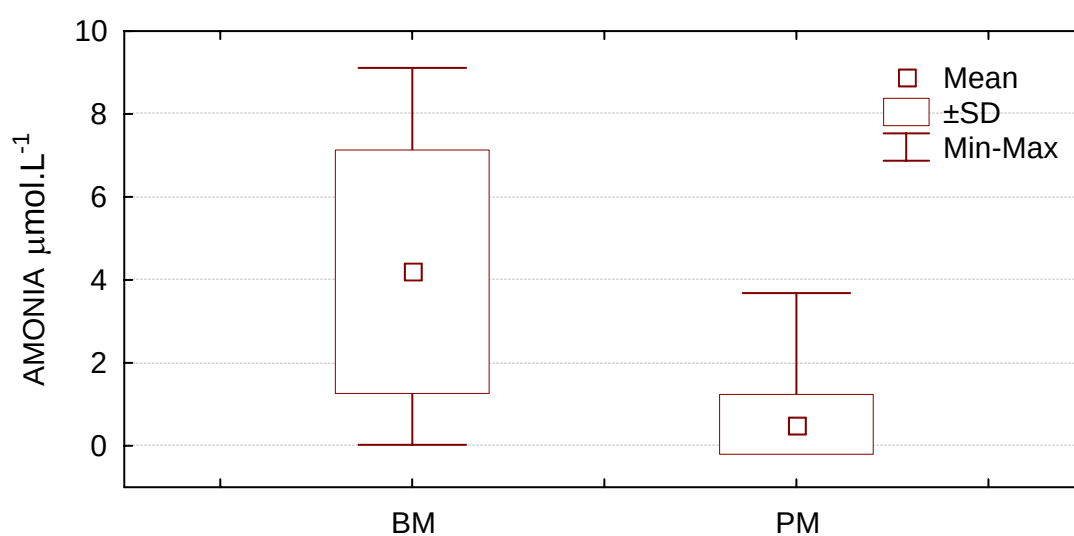


FIGURA 30. Média, mínimo, máximo e desvio padrão da amônia entre os regimes de marés.

Tabela 12. Estatística descritiva da amônia

Verão						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Baixa-mar	Superfície	14	1,26	0,02	3,03	81,74
	Fundo	11	3,55	0,20	8,36	89,01
Preamar	Superfície	13	0,05	n.d.	0,35	200,00
	Fundo	13	0,10	n.d.	0,46	120,00
n.d.: não detectado					Média Verão	122,68
Inverno						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Baixa-mar	Superfície	16	6,03	1,04	8,75	40,63
	Fundo	14	6,06	3,06	9,11	30,36
Preamar	Superfície	12	1,19	0,30	3,68	82,35
	Fundo	13	0,84	0,05	1,54	61,90
Média Inverno						53,79
Média Anual						88,23

5.3.7.2. Nitrito.

A variação sazonal do nitrito indicou um pequeno aumento das concentrações no inverno (Figura 31). Os valores limites foram de $1,79 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (inverno, preamar, fundo), a concentrações não detectáveis (verão, baixa-mar, fundo). O coeficiente de variação (C.V.), mostrou maior dispersão dos dados no verão (58,27%), porém o desvio padrão foi similar em ambos os períodos (Figura 31 e Tabela 13).

A maré de sizígia no inverno apresentou valores de nitrito maiores que no verão, porém o inverso ocorreu na maré de quadratura. Em relação aos regimes de marés, a baixa-mar apresentou valores mais acentuados em ambos os períodos sazonais (Figuras 32, 33 e 34).

Em relação ao gradiente vertical na área, foi observado de maneira geral, maiores teores no fundo, com exceção da maré de quadratura no inverno, que não apresentou um gradiente específico (Figuras 32 e 33).

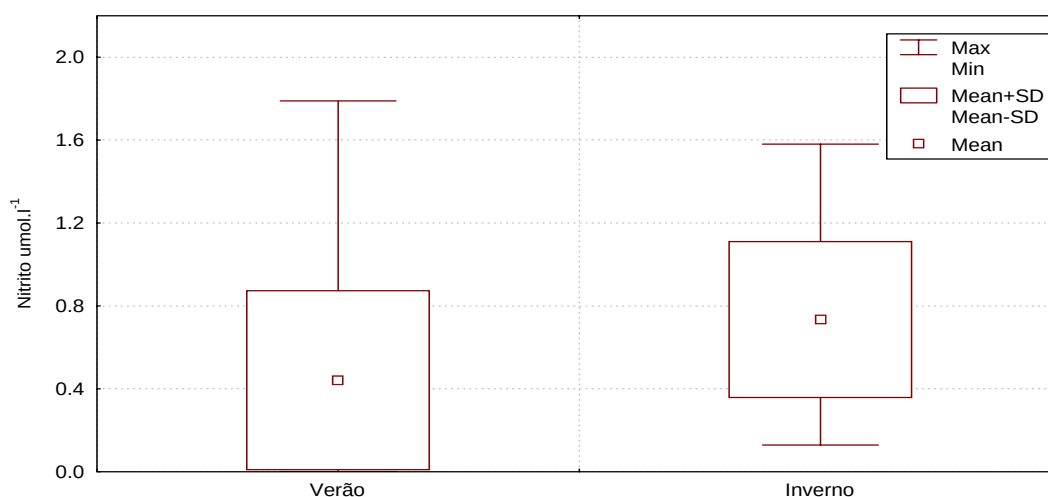


FIGURA 31. Média, mínimo, máximo e desvio padrão do nitrito no verão e inverno.

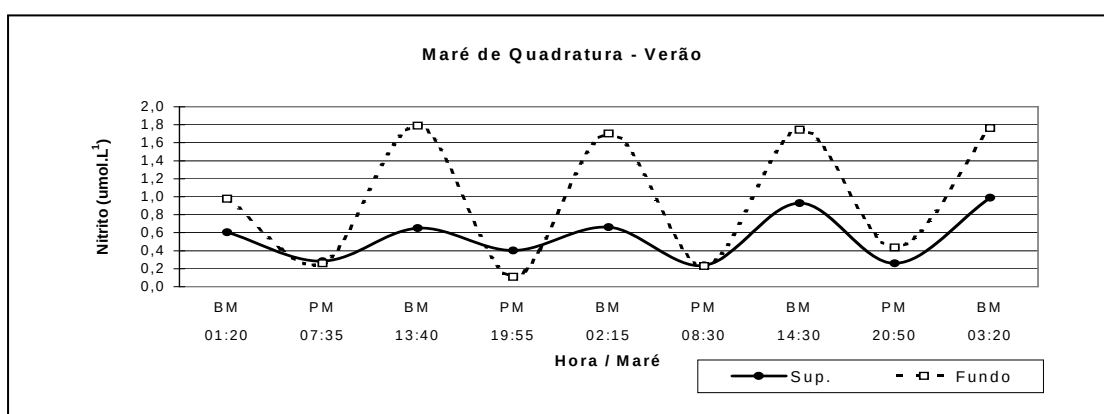
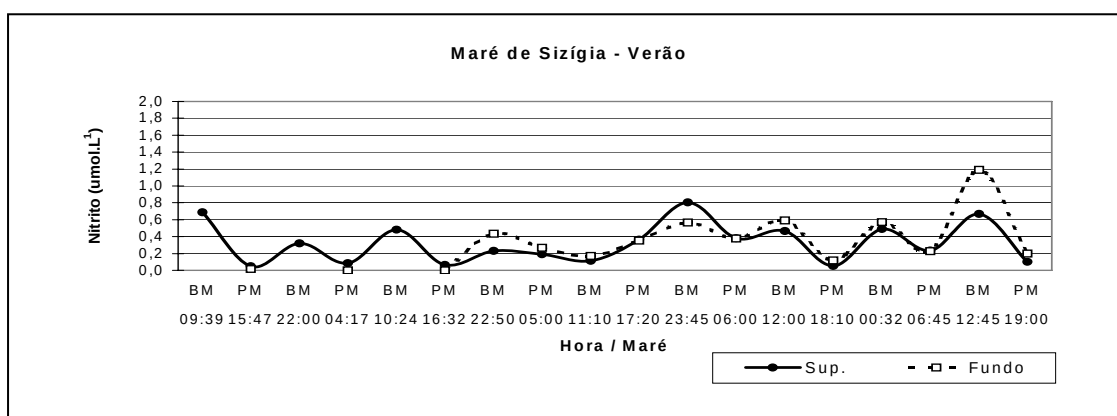


FIGURA 32. Variação temporal do nitrito na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (Janeiro)(09-16/2001).

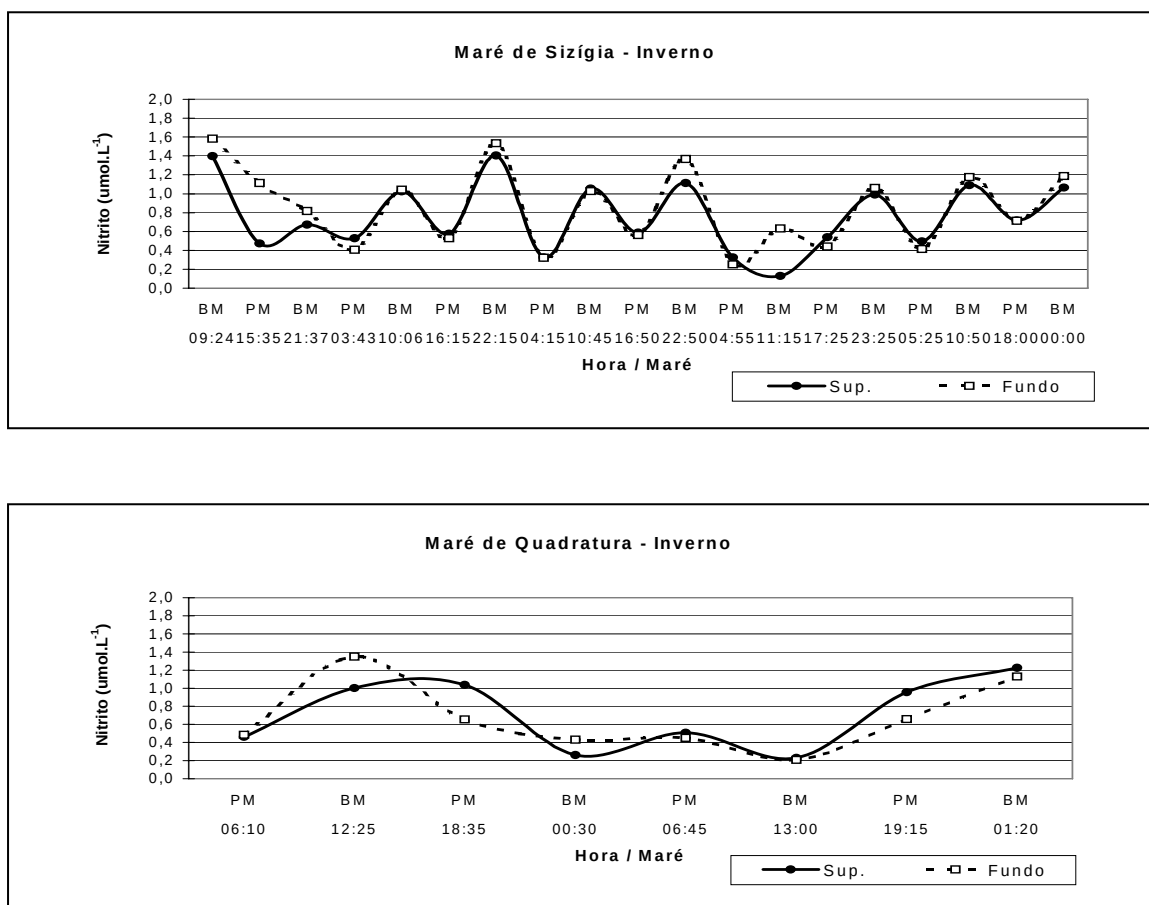


FIGURA 33. Variação temporal do nitrito na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o inverno (Julho)(04-11/2001).

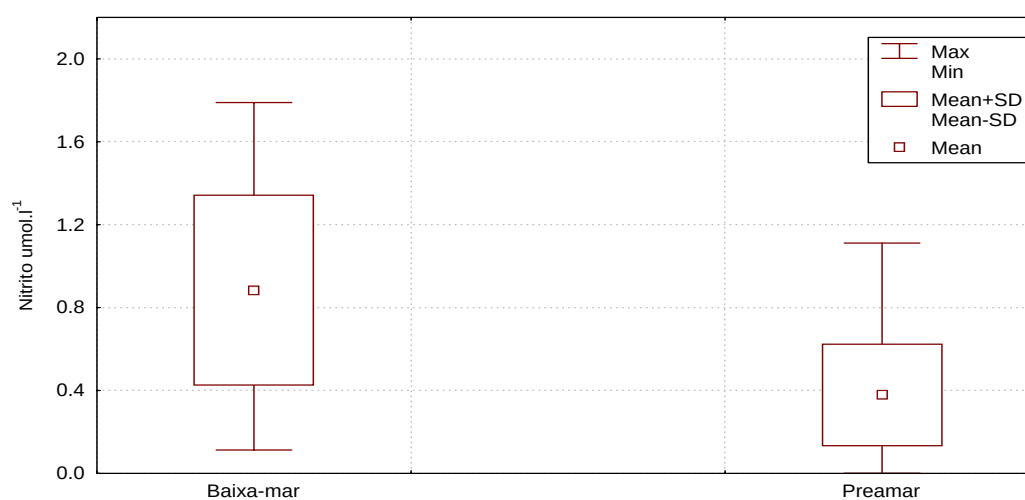


FIGURA 34. Média, mínimo, máximo e desvio padrão do nitrito entre os regimes de marés.

Tabela 13. Estatística descritiva do nitrato

Verão						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Baixa-mar	Superfície	14	0,58	0,11	0,99	43,10
	Fundo	11	1,05	0,17	1,79	58,09
Preamar	Superfície	13	0,21	0,05	0,40	61,90
	Fundo	13	0,20	n.d.	0,44	70,00
n.d.: não detectado						
Média Verão						58,27
Inverno						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Baixa-mar	Superfície	16	0,94	0,13	1,58	45,74
	Fundo	14	1,04	0,21	1,58	38,46
Preamar	Superfície	12	0,58	0,33	1,04	37,93
	Fundo	13	0,54	0,25	1,11	40,74
Média Inverno						40,71
Média Anual						49,49

5.3.7.3. Nitrato.

De acordo com os resultados obtidos, o nitrato não apresentou uma variação acentuada entre verão e inverno. O valor máximo foi de $12,55 \mu\text{mol.L}^{-1}$ registrado no inverno na camada superficial da baixa-mar, e o mínimo de $0,33 \mu\text{mol.L}^{-1}$, inverno, superfície, baixa-mar. O coeficiente de variação foi similar entre ambas estações do ano (verão=44,55%, inverno=47,78%) (Figura 35 e Tabela 14).

Observa-se nas figuras 35 e 36 que os valores não têm um padrão regular de variação nictemeral. As concentrações de nitrato na maré de sizígia apresentaram valores menores que $12,55 \mu\text{mol.L}^{-1}$, enquanto que na maré de quadratura, observou-se uma oscilação com teores menores que $10,93 \mu\text{mol.L}^{-1}$, em ambas as estações do ano (Figuras 36 e 37).

Na baixa-mar foi detectado na maioria dos casos concentrações mais elevadas que a preamar (Figura 38). A variação entre a superfície e fundo não foram significativas, mostrando a homogeneidade na coluna de água em relação a este nutriente (Figuras 36 e 37).

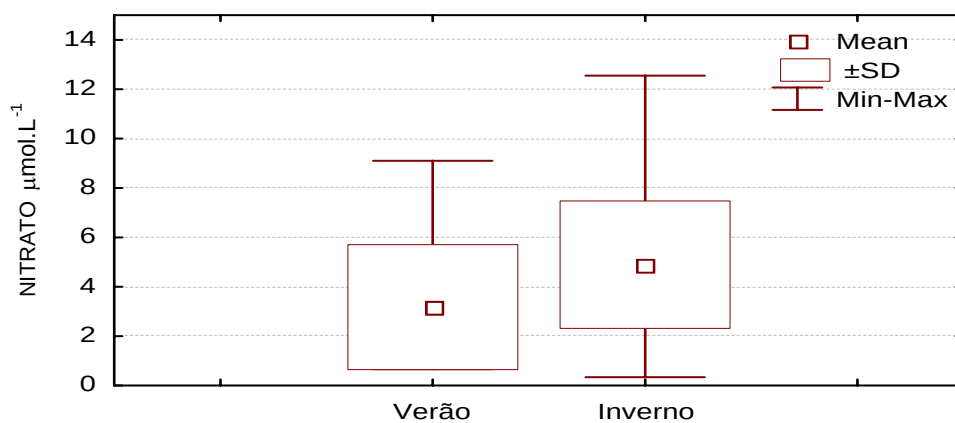


FIGURA 35. Média, mínimo, máximo e desvio padrão do nitrato no verão e inverno.

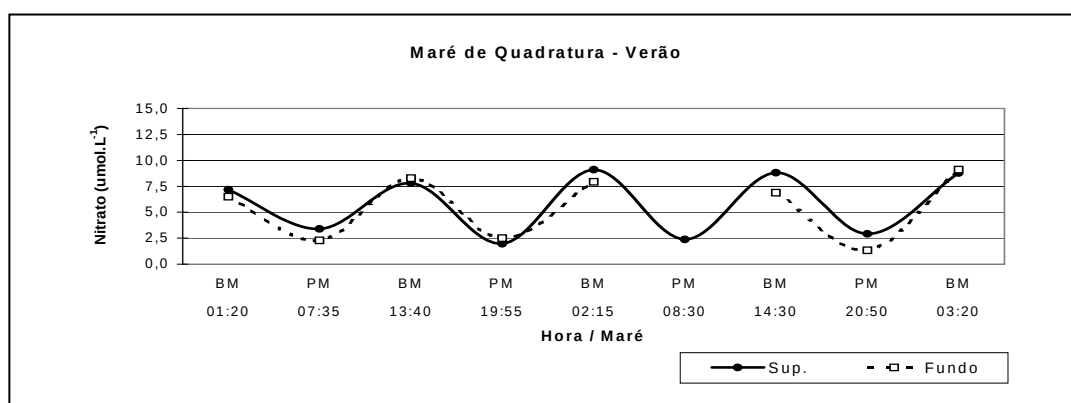
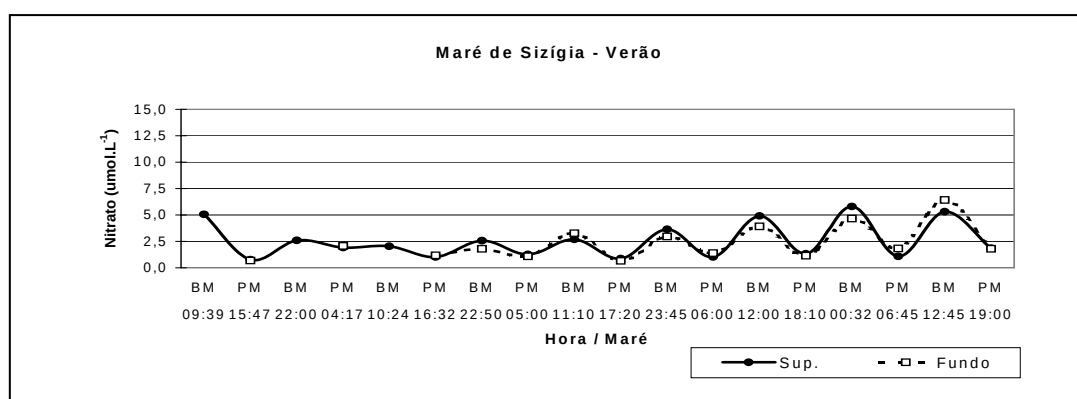


FIGURA 36. Variação temporal do nitrato na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (Janeiro)(09-16/2001).

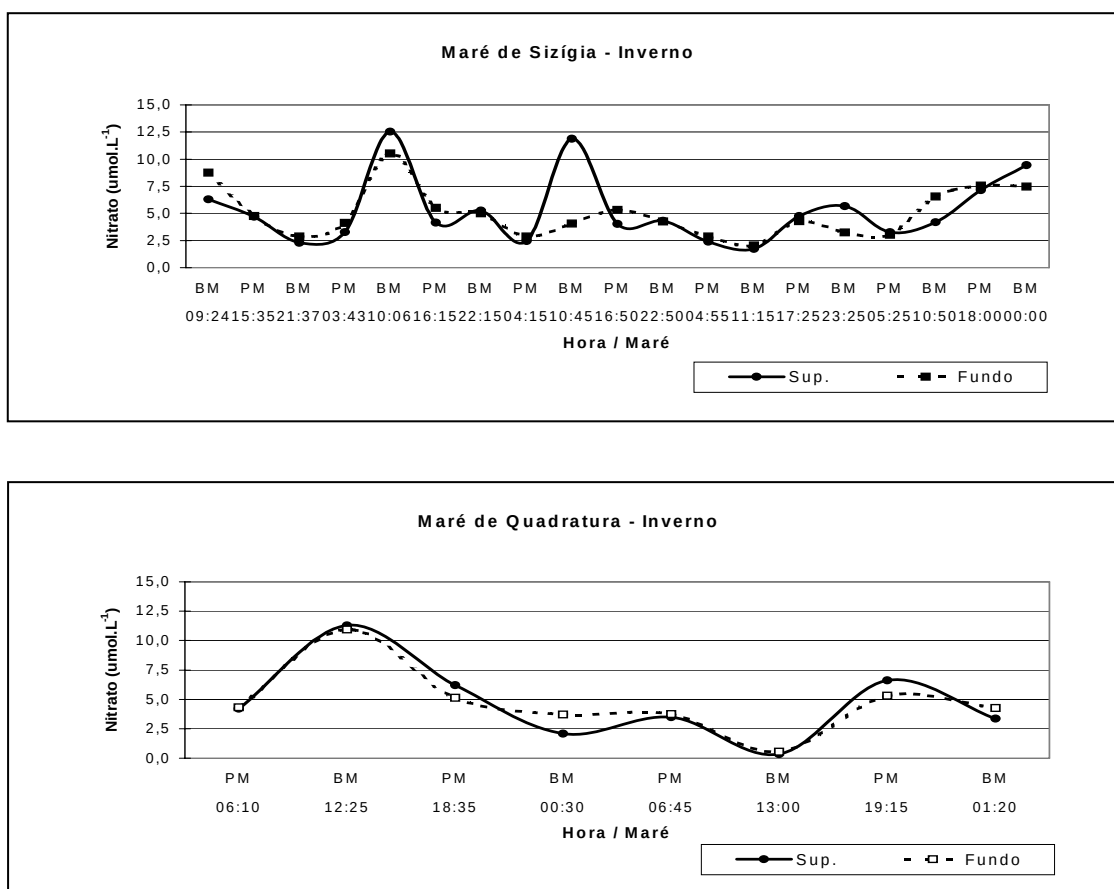


FIGURA 37. Variação temporal do nitrato na estação de confluência de Barra das Jangadas durante o inverno (Julho)(04-11/2001).

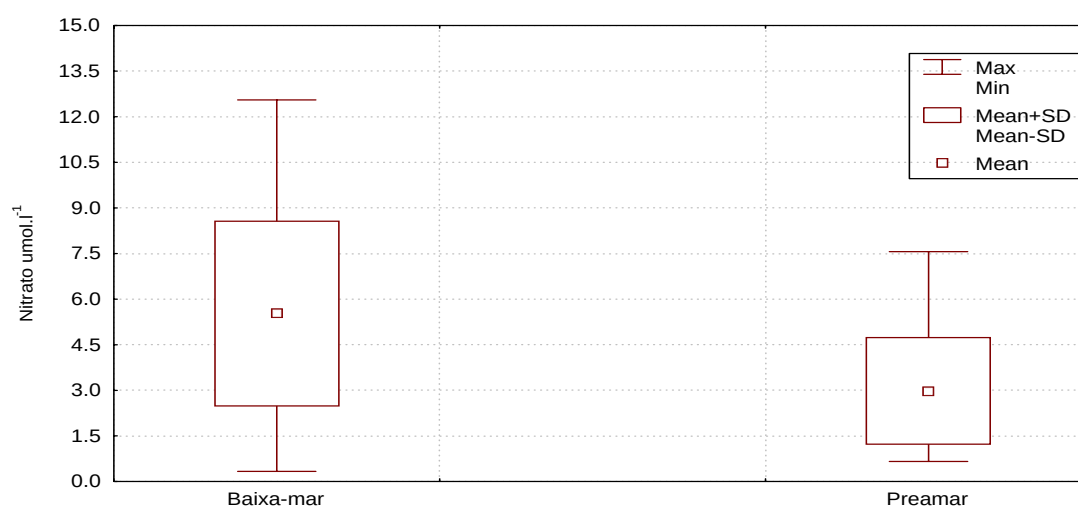


FIGURA 38. Média, mínimo, máximo e desvio padrão do nitrato entre regimes de marés.

Tabela 14. Estatística descritiva do nitrato

Verão						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Baixa-mar	Superfície	14	5,45	2,05	9,10	46,60
	Fundo	11	5,67	1,79	9,09	42,32
Preamar	Superfície	13	1,67	0,76	3,41	49,70
	Fundo	12	1,49	0,66	2,49	39,59
Média Verão						44,55
Inverno						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Baixa-mar	Superfície	16	5,78	0,33	12,55	67,30
	Fundo	14	5,30	0,55	10,93	58,86
Preamar	Superfície	12	4,38	2,38	7,16	36,07
	Fundo	13	4,53	2,86	7,56	28,91
Média Inverno						47,78
Média Anual						46,16

5.3.7.4. Fosfato.

O fosfato apresentou uma variação sazonal bem definida, com baixos teores no verão e altos no inverno (Figuras 39, 40 e 41). O intervalo entre os dois períodos foi registrada entre um valor mínimo de $0,01 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (superfície, baixa-mar, verão), e um máximo de $3,26 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (fundo, baixa-mar, inverno) (Tabela 15).

Segundo o Coeficiente de Variação, uma maior dispersão nos dados foi observado durante o verão, com um valor de 51,32% (Tabela 15). Apesar desta dispersão na estação de estiagem, no inverno (devido aos picos de fosfato na maré baixa) foi registrado um maior desvio padrão (Figuras 39 e 42).

Diferenças mais acentuadas entre as marés de sizígia e quadratura foram detectadas no inverno, quando o fluxo das correntes de marés é mais intensa (sizígia). A variação nictemeral mostrou-se mais irregular, com picos mais elevados na baixa-mar. Na maré de quadratura por sua vez, foi registrado uma menor amplitude entre maré baixa e alta. No verão não foram observadas diferenças entre os dois níveis de marés (Figuras 40 e 41).

Em relação aos regimes de marés, a baixa-mar em média apresentou teores mais elevados como fica evidenciado na figura 42.

Na coluna de água os gradientes de profundidade foram mais acentuados na maré de quadratura no verão, evidenciando concentrações mais elevadas no fundo. O inverso ocorreu no inverno que apresentou alguns valores mais elevados na camada superficial (Figuras 40 e 41).

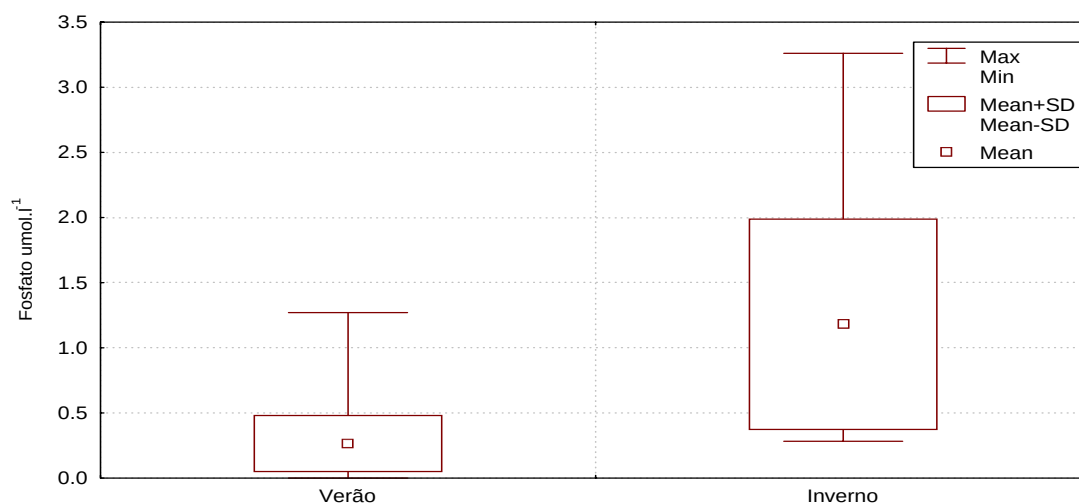


FIGURA 39. Média, mínimo, máximo e desvio padrão do fosfato no verão e inverno.

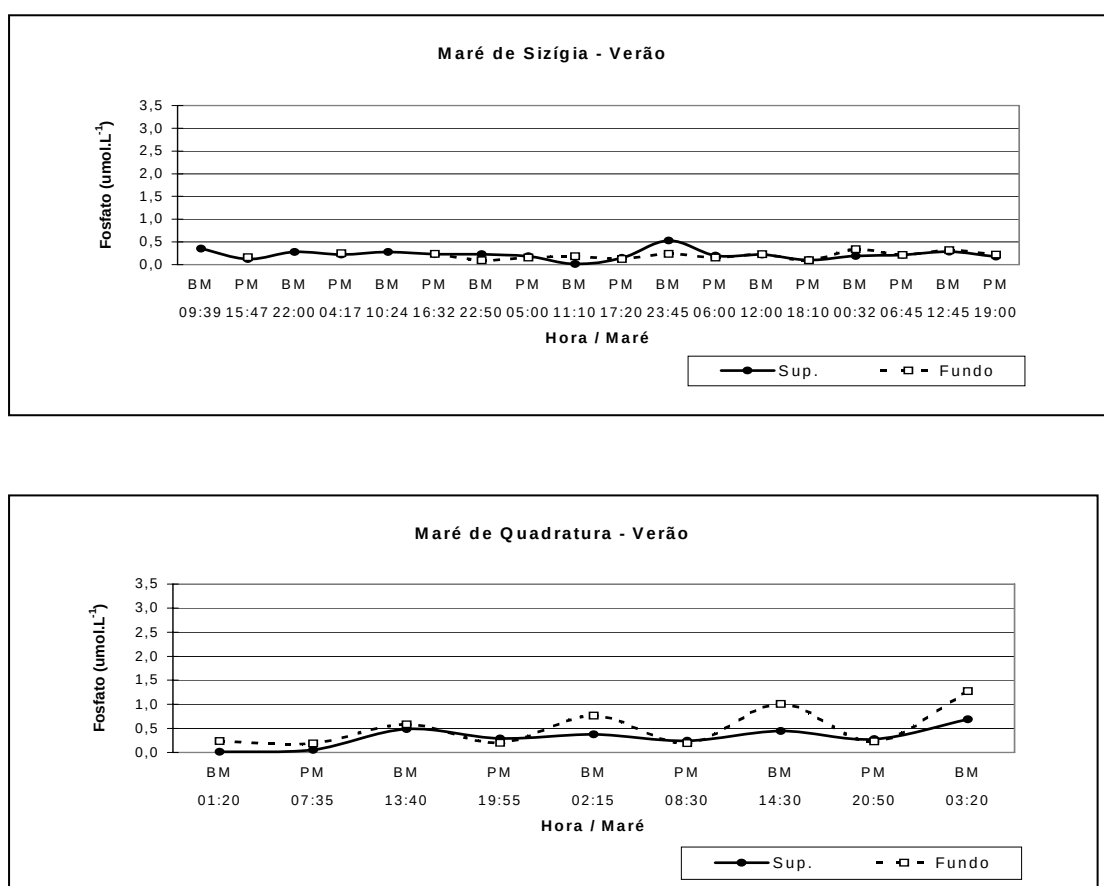


FIGURA 40. Variação temporal do fosfato na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (Janeiro)(09-16/2001).

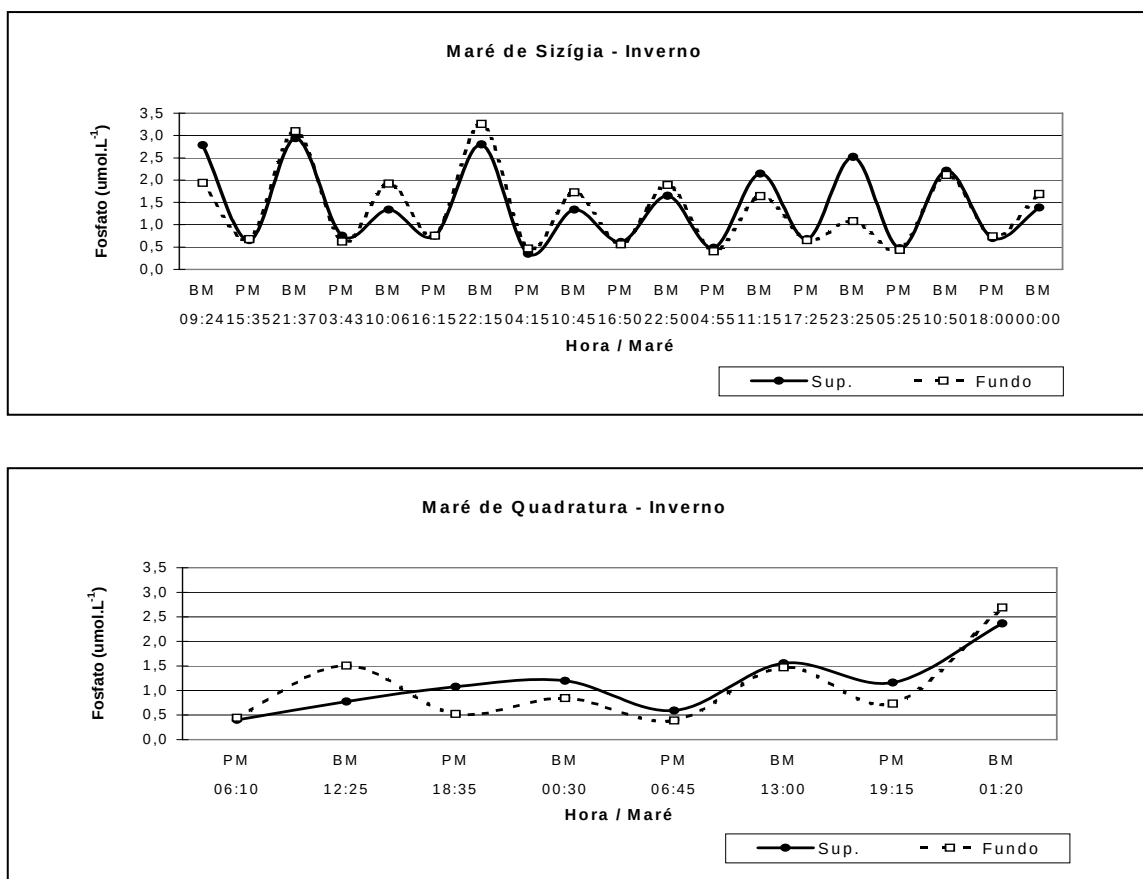


FIGURA 41. Variação temporal do fosfato na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o inverno (Julho)(04-11/2001).

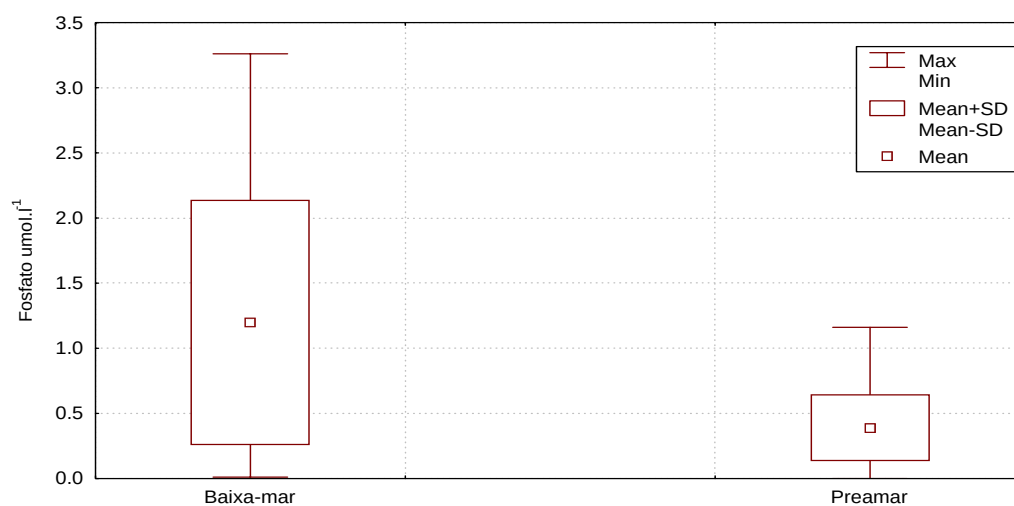


FIGURA 42. Média, mínimo, máximo e desvio padrão do fosfato entre regimes de marés.

Tabela 15. Estatística descritiva do fosfato

Verão						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Baixa-mar	Superfície	14	0,31	0,01	0,69	61,29
	Fundo	11	0,47	0,10	1,27	80,85
Preamar	Superfície	13	0,19	0,06	0,29	36,84
	Fundo	13	0,19	0,10	0,25	26,31
Média Verão						51,32
Inverno						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Baixa-mar	Superfície	16	2,00	0,77	3,10	35,50
	Fundo	14	1,92	0,85	3,26	35,93
Preamar	Superfície	12	0,66	0,35	1,16	37,87
	Fundo	13	0,57	0,39	0,75	22,80
Média Inverno						33,02
Média Anual						42,17

5.3.7.5. Relação N:P (Redfield).

A relação N:P apresentou na área uma variação sazonal bem definida, com altos valores durante o verão e baixos no inverno (anexos 1 a 4).

Os altos teores durante o verão foram registrados na maré de quadratura (média de 25:1), com um valor máximo de 86:1, onde as altas concentrações de compostos nitrogenados, como amônia e nitrato, comparados aos baixos teores de fosfato fizeram com que a razão N:P fosse elevada.

Dentro dos regimes de marés, a baixa-mar apresentou os valores mais elevados (20,3:1 na sizígia e 34:1 na quadratura)(anexos 1 e 2).

Durante o inverno a razão N:P mostrou valores inferiores aos do verão, apresentando uma média de 8,5:1, com semelhanças entre o nível de sizígia e o de quadratura (8:1 na sizígia e 9,1:1 na quadratura) (anexos 3 e 4).

Esta mudança sazonal fica evidente ao observar o aumento dos teores de fosfato, que teve como consequência direta à diminuição da relação N:P, consequência do aporte fluvial, refletindo nos altos teores no estágio de baixa-mar (anexos 3 e 4).

5.3.7.6. Silicato.

Durante os períodos estudados foi observado diferenças sazonais na confluência dos rios Pirapama e Jabotão, com concentrações de silicato mais elevadas no inverno (Figuras 43, 44 e 45). O valor máximo anual foi de $476,04 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (superfície, baixa-mar, inverno) e mínimo de $12,15 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (superfície, preamar, verão) (Tabela 16).

Esses valores confirmam a natureza terrígena deste nutriente com grande influência da água fluvial e drenagem terrestre. A figura 43 mostra as diferenças médias entre ambas estações do ano, com um desvio padrão mais elevado no inverno. Por outro lado, foi registrado um maior coeficiente de variação no inverno (56,58%), indicando uma significativa dispersão dos dados (Tabela 16).

A influência fluvial na concentração do silicato se faz notar bem claramente nas figuras 44 e 45, quando a variação nictemeral nos dois regimes de marés (sizígia e quadratura) apresentaram oscilações bem regulares, com valores mais elevados registrados sempre na baixa-mar. A intensidade do pico nesta maré variou de acordo com a estação do ano e regime de maré (mais acentuado no inverno, na maré de sizígia).

As concentrações médias na maré baixa oscilaram entre $256,90$ e $102,15 \mu\text{mol.L}^{-1}$, e a preamar apresentaram uma amplitude média entre $53,75$ e $21,42 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (Figura 46 e Tabela 16)

Não foi observada uma variação bem definida deste elemento entre superfície e fundo durante o ano.

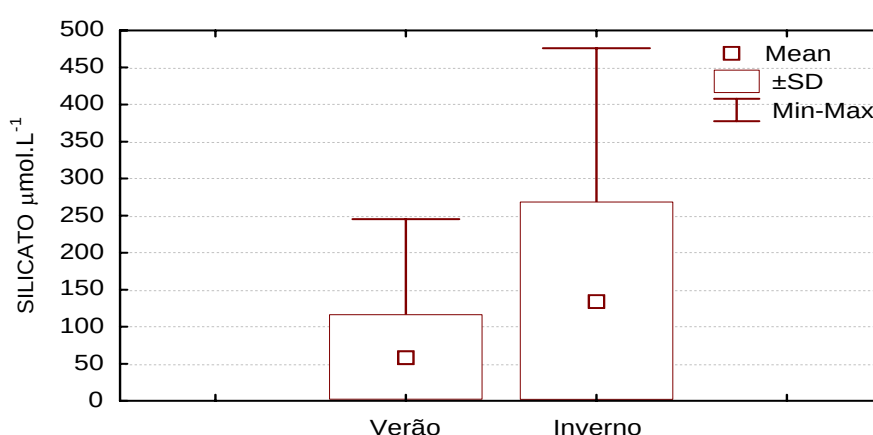


FIGURA 43. Média, mínimo, máximo e desvio padrão do silicato no verão e inverno.

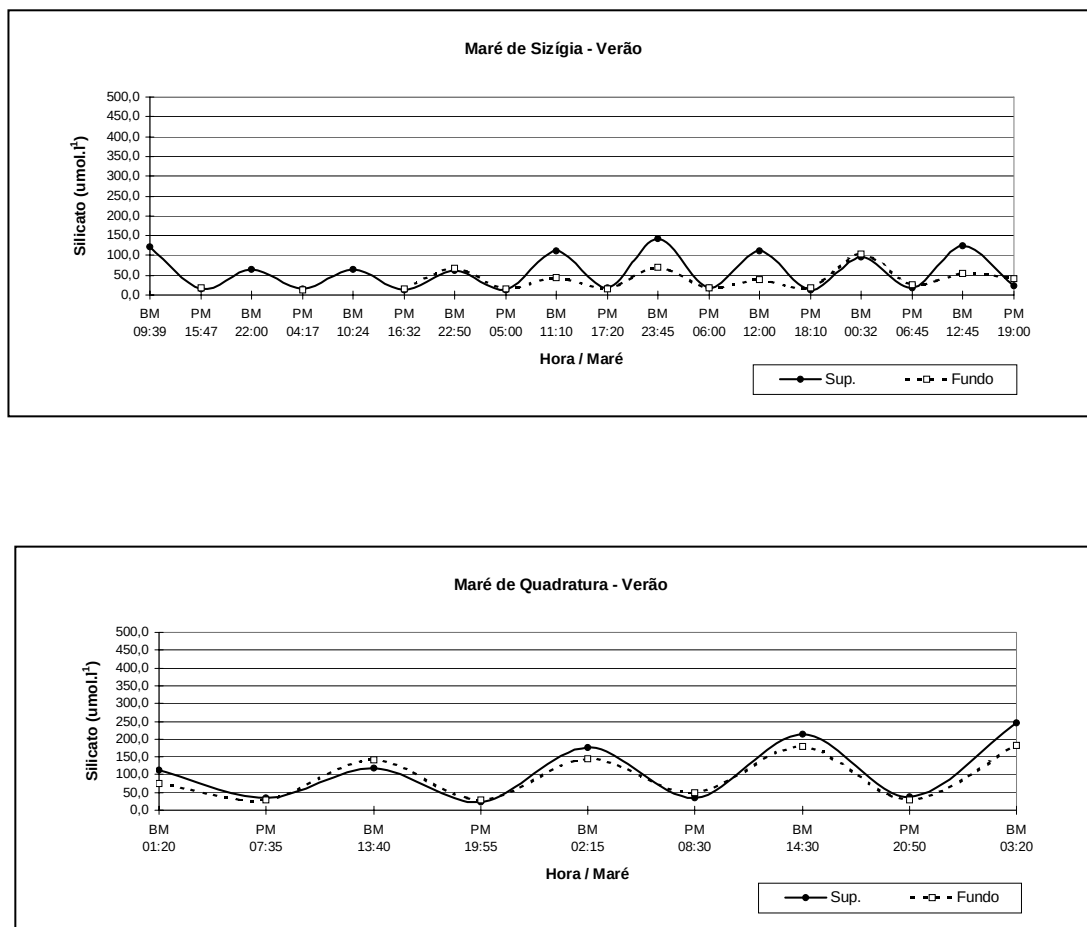


FIGURA 44. Variação temporal do silicato na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o verão (Janeiro)(09-16/2001).

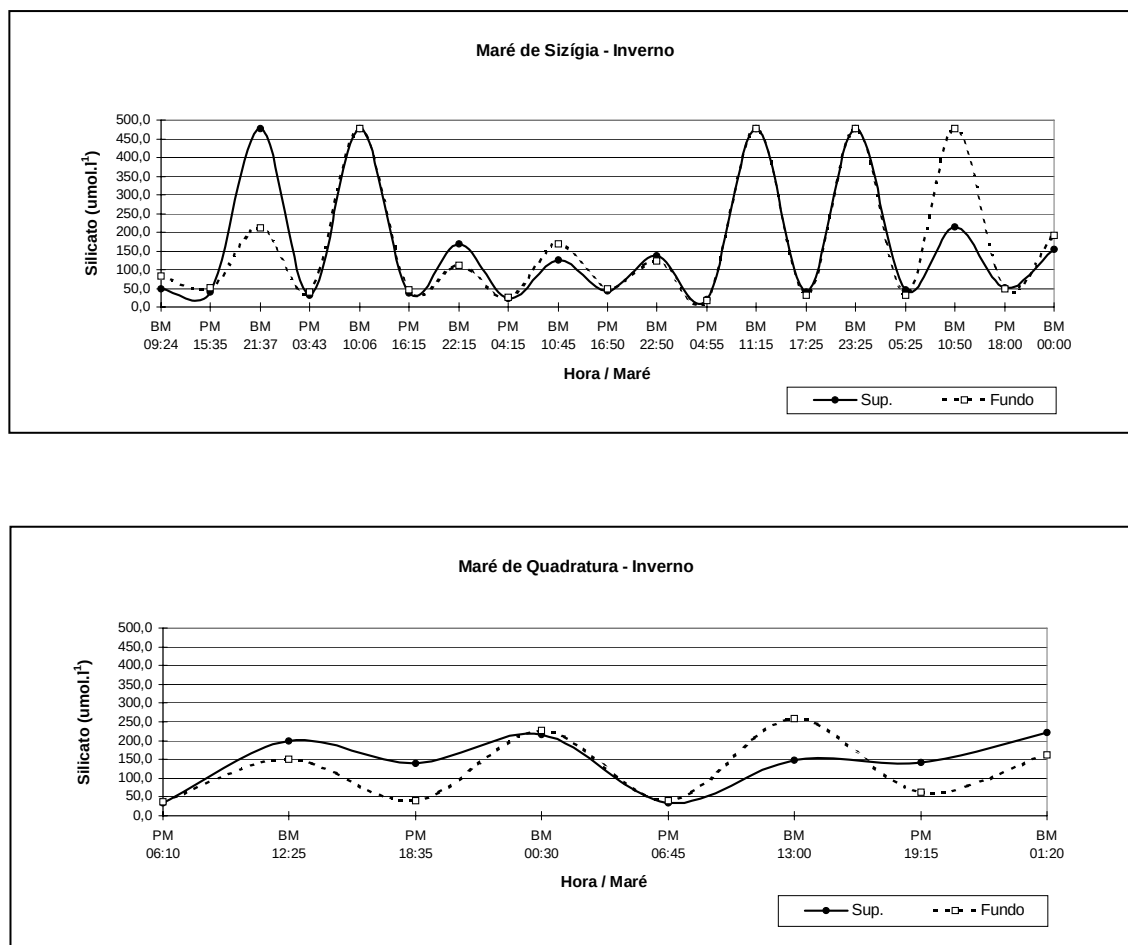


FIGURA 45. Variação temporal do silicato na estação de confluência da Barra das Jangadas durante o inverno (Julho)(04-11/2001).

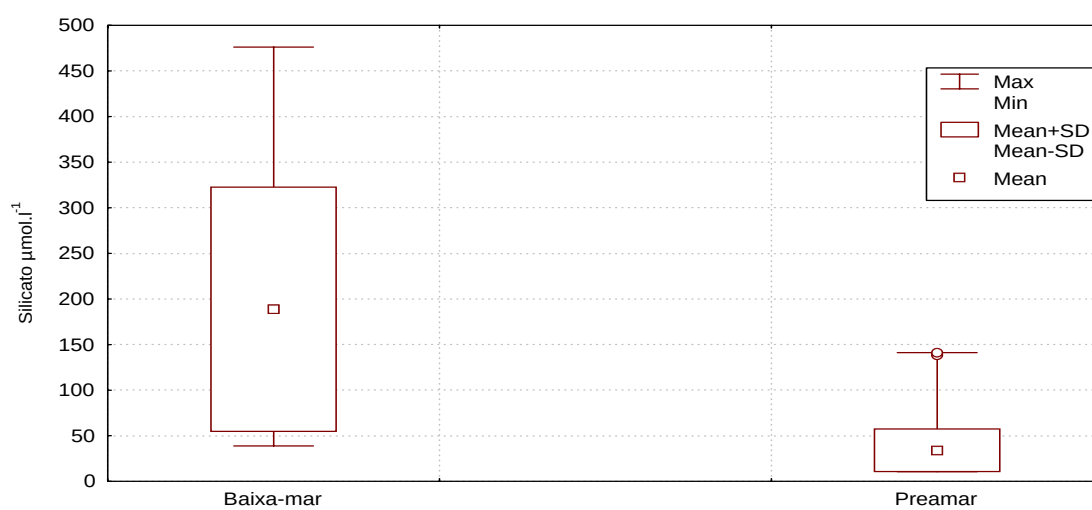


FIGURA 46. Média, mínimo, máximo e desvio padrão do silicato entre regimes de marés.

Tabela 16. Estatística descritiva do silicato

Verão						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Baixa-mar	Superfície	14	125,96	62,96	245,24	43,01
	Fundo	11	102,15	38,88	181,75	52,41
Preamar	Superfície	13	21,42	12,15	37,52	42,20
	Fundo	13	24,33	13,24	49,96	45,91
Média Verão						33,02
Inverno						
Maré	Profundidade	N	Média	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Baixa-mar	Superfície	16	239,70	49,91	476,04	62,04
	Fundo	14	256,90	83,97	476,04	58,73
Preamar	Superfície	12	53,75	20,78	141,19	76,33
	Fundo	13	39,58	18,57	62,63	29,23
Média Inverno						56,58
Média Anual						51,23

5.3.7.7. Índice ACQUA_M

A figura 47 apresenta as variações na qualidade da água durante os dois períodos estudados através do índice ACQUA_M.

Este índice apresenta o período invernal como a estação mais crítica para o sistema, chegando a apresentar uma qualificação não aceitável principalmente nas baixa-mares (52,20 e 46,89) (Tabela 17).

Durante o verão o índice apresenta uma melhora do sistema chegando a indicar uma qualidade boa. Independente dos períodos do ano, a preamar sempre apresentou uma melhora para a zona de confluência representando sempre os melhores índices.

Diferenças importantes entre sizígia e quadratura não foram observadas.

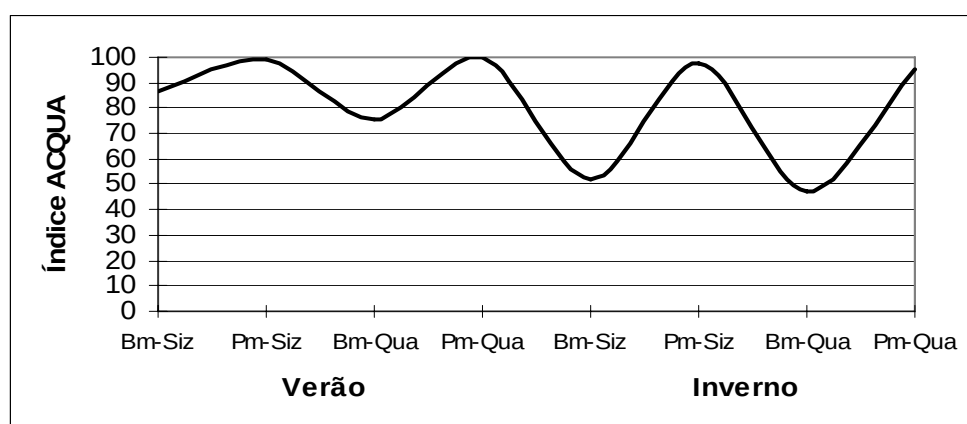


FIGURA 47. Variação do Índice ACQUA_M durante os dois períodos estudados na confluência da Barra das Jangadas.

Tabela 17. Índices da qualidade da água na estação de confluência da Barra das Jangadas para o ano 2001.

Estação do ano	Estágio / Nível	ACQUAM	Nível de Qualidade
VERÃO	Baixamar / Sizígia	86,98	Boa
	Preamar / Sizígia	99,12	Boa
	Baixamar / Quadratura	75,96	Aceitável
	Preamar / Quadratura	99,50	Boa
INVERNO	Baixa-mar / Sizígia	52,20	Não Aceitável
	Preamar / Sizígia	97,50	Boa
	Baixamar / Quadratura	46,89	Não Aceitável
	Preamar / Quadratura	95,06	Boa

5.4. Hidrologia e Fluxo de Nutrientes no ciclo nictemeral.

5.4.1. Batimetria e Marés

5.4.1.1. Batimetria.

A localização das seções transversais de estudo no estuário da Barra de Jangadas é apresentada na Figura 1.

Um perfil da seção transversal para a área dos rios Pirapama, Jaboatão e confluência da Barra das Jangadas foi construído com base nas sondagens batimétricas realizadas (Figura 48). A área mostra-se bastante rasa, com profundidades que variam de 1-5 metros.

A maior profundidade medida foi de 4,9 m associada à confluência dos rios Pirapama e Jaboatão, por onde se dá a comunicação do estuário com o mar e onde as correntes são mais intensas.

5.4.1.2. Marés.

Visando investigar as variações das marés dentro do estuário da Barra das Jangadas, os registros do nível das águas próximo às seções de coleta foram comparados

aos registros das previsões das marés para o Porto do Recife (DHN, 2003). Valores de altura e diferenças de fase relativa ao Porto do Recife são apresentadas na Tabela 18, e o gráfico comparativo das variações de níveis na figura 49.

Tabela 18. Altura (m) e fase relativa ao instante de preamar (PM) e baixa-mar (BM) no Porto do Recife e na estação da Barra das Jangadas.

Estação	Dia 29.07.03 /				Dia 30.07.03 /			
	Altura				Altura			
	Hora	Barra das Jangadas	Hora	Porto Recife	Hora	Barra das Jangadas	Hora	Porto Recife
BM	11:25	0,50	10:38	0,40				
PM	16:40	2,09	16:41	2,04	04:55	2,20	04:56	2,10
BM	23:25	0,56	22:43	0,50				

As marés no estuário da Barra das Jangadas são semidiurnas e apresentam uma amplitude entre marés de baixa-mar e preamar maior que as marés no Porto do Recife. Durante a maré de sizígia amostrada, a altura das marés no Porto do Recife foram de 2,00 e 2,10 m, enquanto que na Barra das Jangadas foram de 2,09 e 2,20 (Tabela 18).

As preamares, para o período chuvoso, estão em fase com as marés do Porto do Recife (Tabela 18, Figura 49). As baixa-mares na Barra das Jangadas ocorrem de 42 a 47 minutos após a ocorrência da baixa-mar no Porto do Recife durante a maré de sizígia.

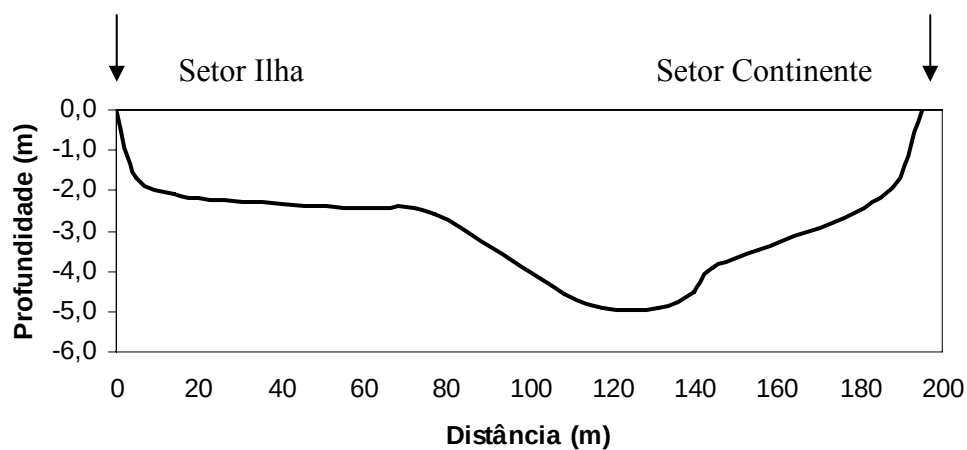


Figura 48. Batimetria da seção transversal na confluência dos rios Pirapama e Jaboatão.

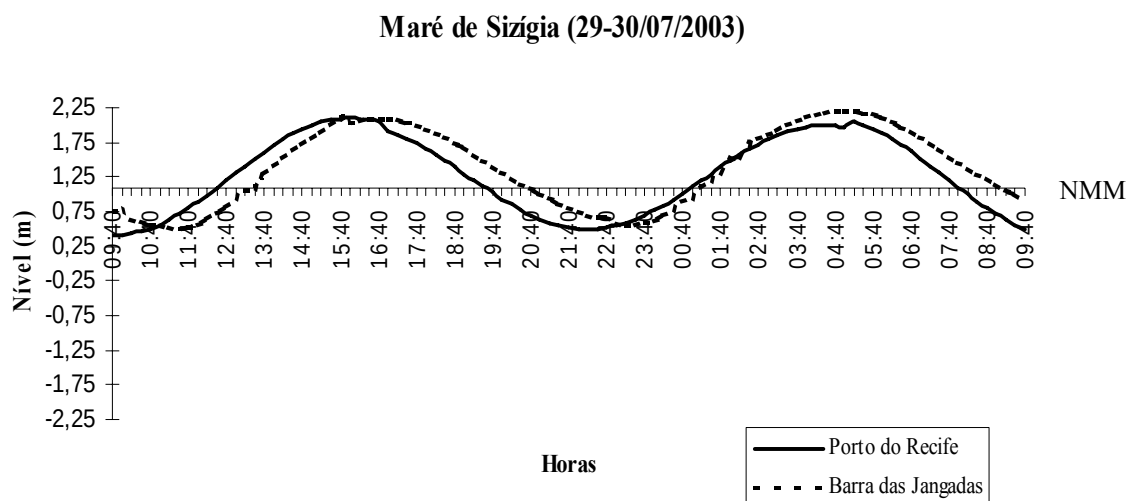


Figura 49. Marés no Porto do Recife e no estuário da Barra das Jangadas.

5.4.2. Variabilidade espacial e temporal dos nutrientes inorgânicos e sal no ciclo de 24 horas.

A Tabela 19 apresenta os valores da média, desvio padrão, mínimo e máximo obtidos a partir dos dados coletados em campo na seção transversal da confluência da Barra das Jangadas durante os dias 29 e 30 de julho de 2003. No caso da velocidade, o valor u_A representa a média das velocidades longitudinais absolutas, isto é, sem a consideração dos sinais indicativos de sentido da corrente.

Tabela 19. Média, desvio padrão (s.d.), e valores mínimo (Min) e máximo (Máx.) dos nutrientes inorgânicos dissolvidos, sal, densidade (ρ), e velocidade absoluta (u_A). N: número de amostras.

	Sal	NH ₄ (μmol)	NO ₂ (μmol)	NO ₃ (μmol)	DIN (μmol)	PO ₄ (μmol)	SiO ₂ (μmol)	ρ (kg.m^{-3})	u_A (m.s^{-1})
Média	13,92	12,01	0,74	4,38	17,13	0,95	80,35	1007,12	0,38
s.d.	0,54	5,14	0,15	1,15	6,44	0,18	8,44	0,39	0,05
Min.	0,56	0,01	0,15	1,45	1,61	0,28	16,13	997,24	0,006
Max.	35,24	36,55	1,74	12,23	50,52	3,13	182,38	1023,18	0,86
N	88	88	88	88	88	88	88	88	88

5.4.2.1. Nutrientes inorgânicos

Gráficos representativos da distribuição espacial da amônia, nitrito, nitrato, fosfato e silicato na seção transversal (confluência) durante o período de inverno (julho/2003) para os oito estágios dos dois ciclos de maré de sizígia são apresentados nas figuras 50, 51, 52, 53 e 54, respectivamente. Nesses gráficos, a seção transversal da confluência é mostrada na direção da cabeceira do estuário. As distribuições das figuras 50 a 54 foram obtidas a partir de interpolação dos valores medidos utilizando-se o método de *Krigging*.

A distribuição da amônia apresentou-se com teores maiores nos estágios de baixa-mar e enchente, sem indicar diferenças significativas entre o dia e a noite (Figura 50). As máximas concentrações alcançaram os 36,55 μM no estágio de enchente, e as mínimas os 0,01 μM na preamar (1 μM = 1 $\mu\text{mol.L}^{-1}$).

Apesar da influência fluvial mostrada no o estágio de baixa-mar ser similar ao observado na coleta do inverno de 2001, evidencia-se que dois anos após (2003), as concentrações da amônia nesse estágio de maré praticamente dobraram de valor (Tabelas

12 e 19).

As características das distribuições espaciais das concentrações apresentaram-se similares nos respectivos estágios das duas marés de sizígia. Verifica-se entretanto, uma tendência a se encontrarem valores mais importantes de concentração localizados no setor direito da seção transversal, que corresponde à região mais profunda da calha (canal preferencial). Esta tendência é mais nitidamente verificada nos estágios de enchente, vazante e baixa-mar, enquanto que na preamar se observa uma significativa homogeneidade nas direções vertical e lateral da seção transversal.

As altas concentrações no estágio de enchente são reduzidas ao mínimo quando a maré de preamar chega a sua estofa; este ciclo é renovado quando a água marinha deixa a zona de mistura dando passagem ao estágio de vazante e fazendo com que as concentrações da amônia comecem a aumentar.

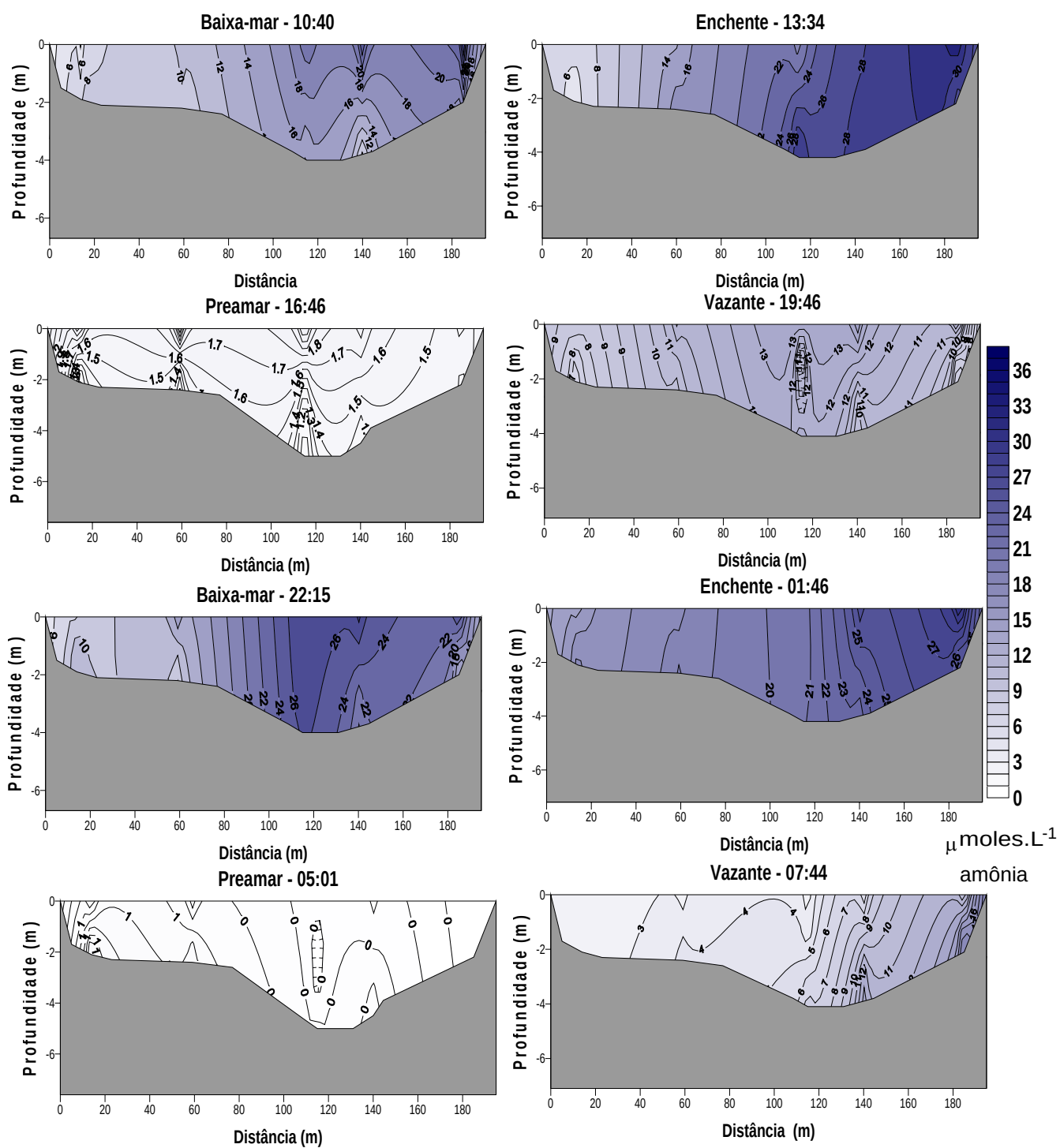


FIGURA 50. Distribuição de amônia ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

A distribuição do nitrito apresentou teores maiores nos estágios de vazante e enchente durante o dia, variando o comportamento durante a noite para o estágio de enchente e baixa-mar (Figura 51). As máximas concentrações alcançaram os 1,4 μM no estágio de enchente e um mínimo de 0,15 μM na preamar, sendo similares aos observados no inverno de 2001 (Tabela 13 e 19).

A distribuição no espaço das concentrações do nitrito foi semelhante daquela encontrada para a amônia, sendo mais uniforme durante os estágios de preamar. Maiores concentrações são encontradas na superfície, excetuando no canal principal, onde a concentração no fundo foi maior.

As altas concentrações observadas no estágio de enchente são diminuídas devido à entrada da água marinha na preamar, provocando uma mistura entre as águas fluviais e as marinhas, aumentando novamente no estágio de vazante (influência fluvial dos rios adjacentes). Esse ciclo é observado tanto no dia como na noite.

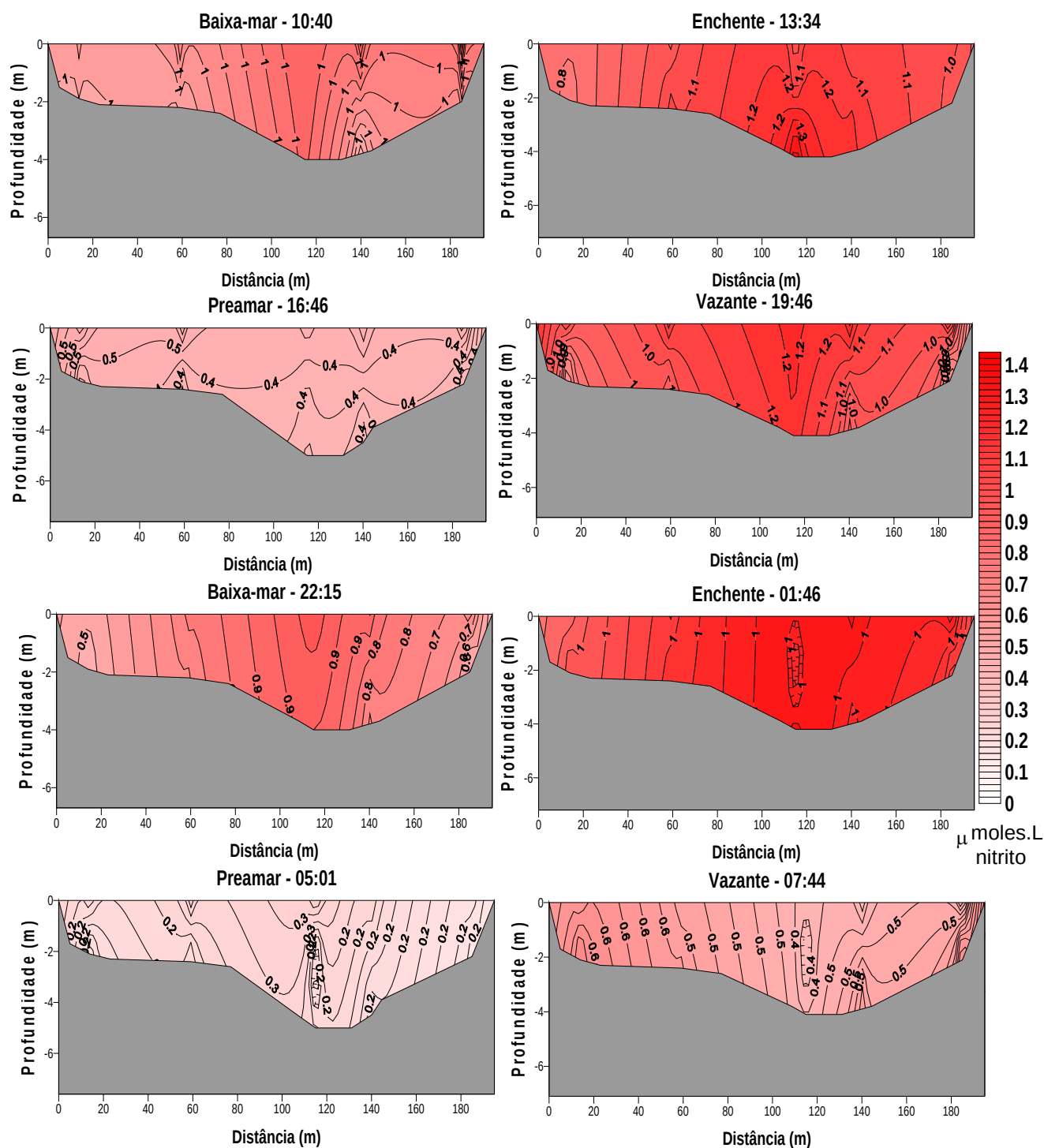


FIGURA 51. Distribuição de nitrito ($\mu\text{M.L}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

De acordo com os resultados obtidos, o nitrato apresentou concentrações maiores nos estágios de enchente e vazante, sem mostrar variações significativas entre o dia e a noite (Figura 52).

As máximas concentrações alcançaram 12,23 μM , e um mínimo de 1,45 μM , ambas no estágio de baixa-mar. Os valores médios e máximos mostraram um padrão similar ao observado em julho de 2001 (Tabela 14 e 19).

Enquanto à distribuição espacial, as concentrações do nitrato apresentaram-se maiores no setor central da calha, mostrando uma distribuição mais homogênea nos estágios de enchente e preamar, excetuando o estágio de baixa-mar onde as concentrações posicionaram-se no setor esquerdo da seção transversal.

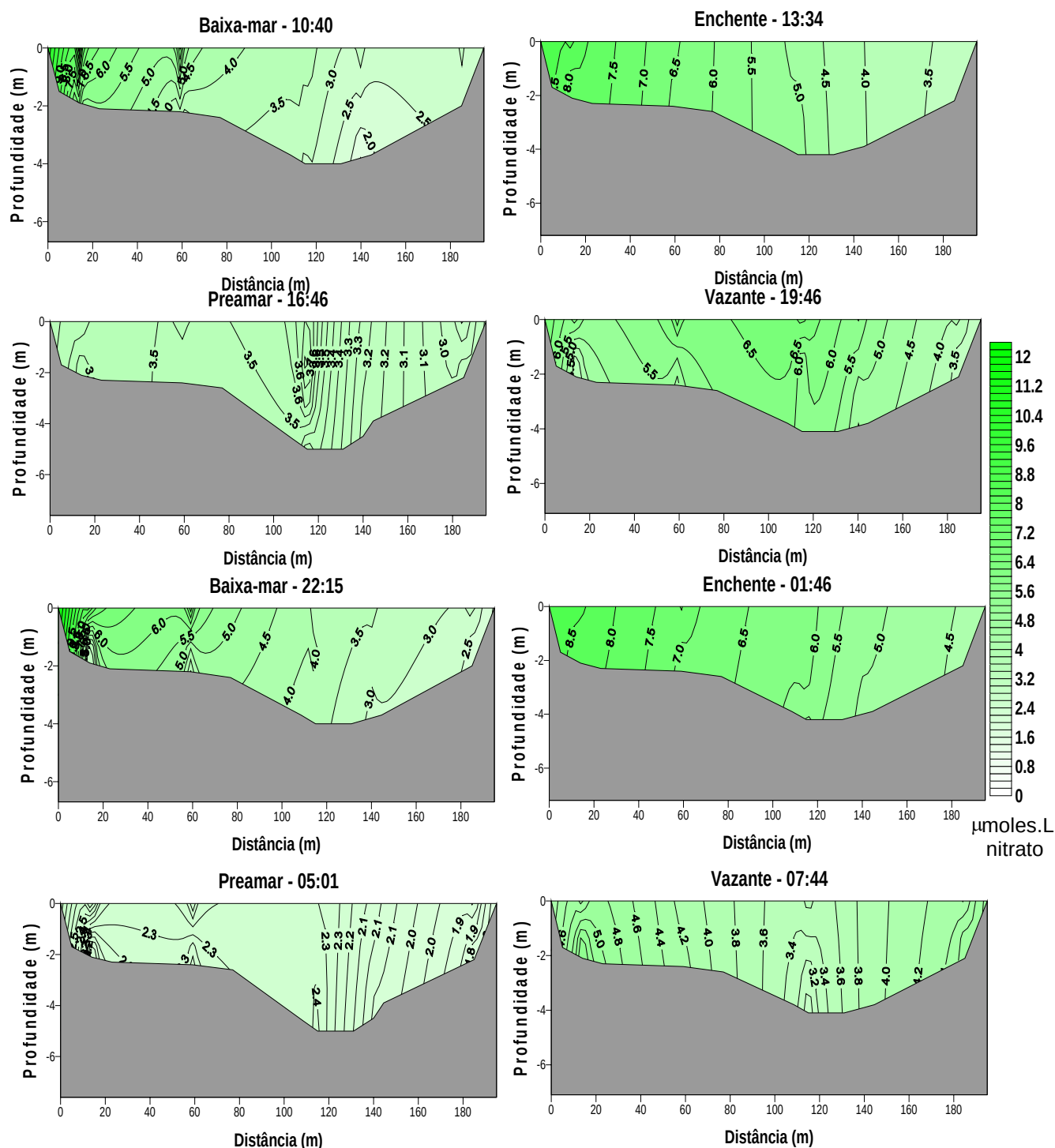


FIGURA 52. Distribuição de nitrato ($\mu\text{M.L}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

O fosfato apresentou na área da secção transversal, concentrações máximas nos estágios de baixa-mar e enchente, sem mostrar diferenças importantes entre o dia e a noite

(Figura 53).

A concentração máxima 3,13 μM e mínima 0,28 μM ocorridas no estágio de baixa-mar, mostraram-se similares às observadas em julho de 2001 no mesmo estágio de maré (3,26 e 0,35 μM) respectivamente (Tabela 15), e na porção relativa ao canal principal do rio. Nos casos da preamar e enchente, a maré provocou uma homogeneização da coluna d'água.

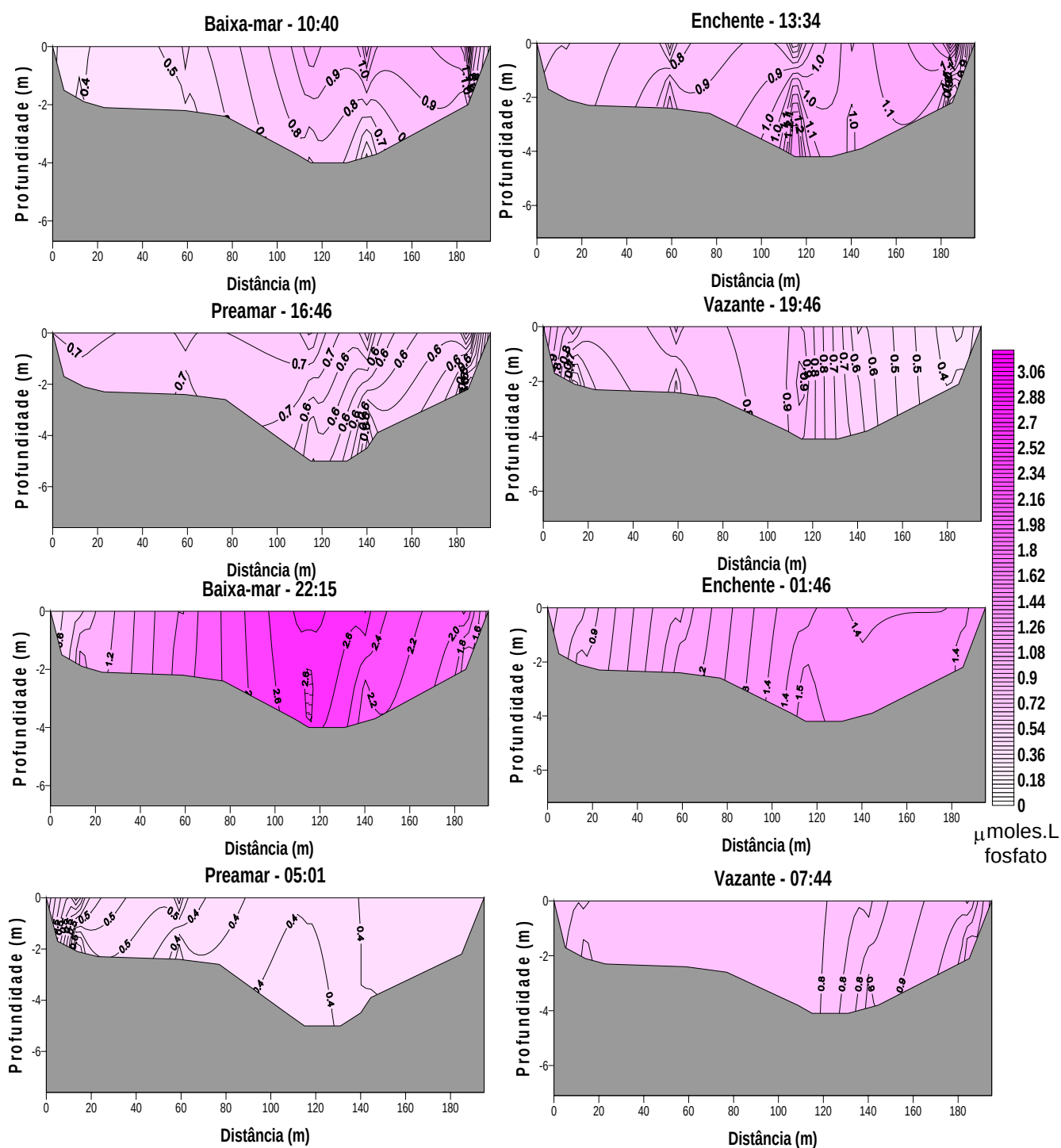


FIGURA 53. Distribuição de fosfato ($\mu\text{M.L}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

Durante o período estudado o silicato apresentou as maiores concentrações nos estágios de vazante e enchente, evidenciando diferenças importantes na baixa-mar e a vazante entre o dia e a noite (Figura 54).

A concentração máxima observada foi 182,38 μM no estágio de enchente e o mínimo de 16,13 μM no estágio de preamar, evidenciando uma diminuição em relação ao inverno de 2001 nos teores máximos; já para os mínimos as similitudes são mantidas (Tabela 16 e 19).

A distribuição espacial na seção mostrou-se sempre maior na superfície, excetuando no canal principal do rio onde os maiores teores são observados no fundo.

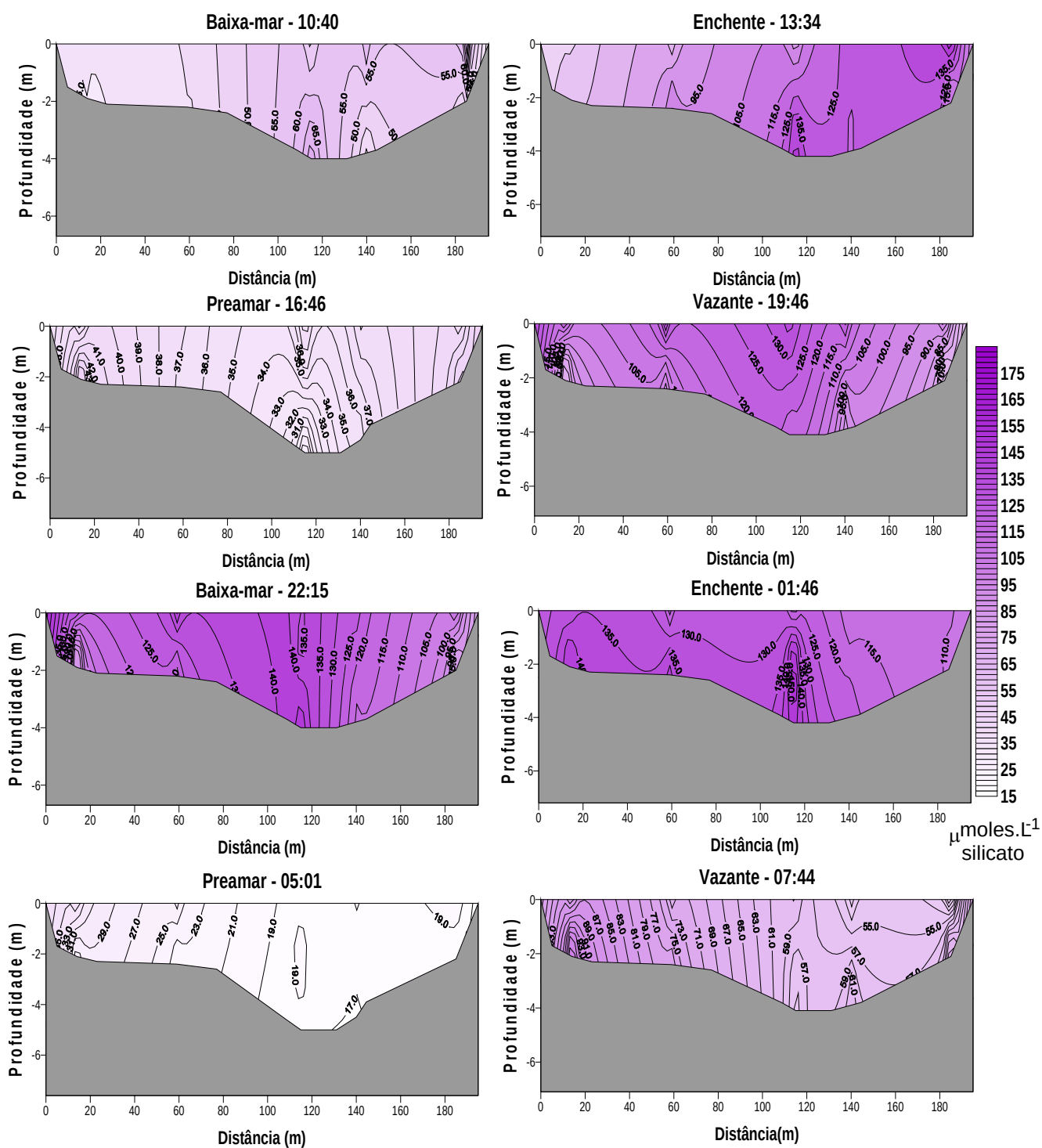


FIGURA 54. Distribuição de silicato ($\mu\text{M.L}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

5.4.2.2. Sal

A evolução temporal de concentração salina apresentou-se com teores maiores nos estágios de preamar, evidenciando ainda uma mudança nas concentrações no estágio de vazante entre o dia e a noite. A maior concentração verificada foi de 35,24 no estágio de preamar, e o mínimo de 0,56 na baixa-mar (Figura 55 e tabela 19). Interessante verificar que são registrados valores baixos de salinidade mesmo durante os estágios de maré enchente (1,70 a 2,40). Em apenas cerca de 3,5 horas após a enchente, o que corresponde aos estágios de preamar a concentração salina na seção de estudo atinge os valores característicos das águas costeiras, evidenciando assim a rápida capacidade de intrusão das águas do mar no estuário de Barra das Jangadas.

A distribuição espacial evidenciou uma homogeneização da coluna em todos os estágios de maré, sem apresentar estratificação entre superfície e fundo.

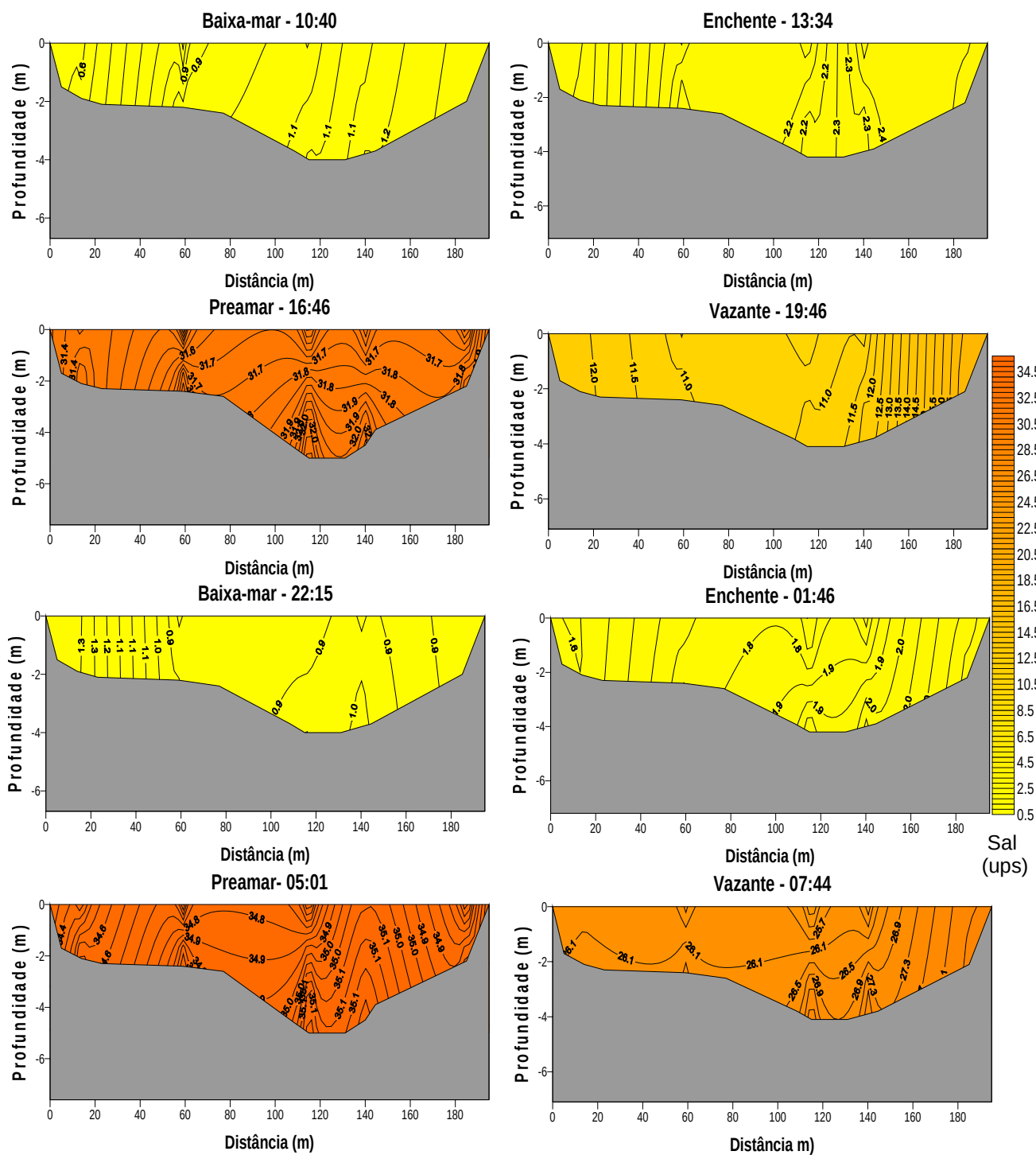


FIGURA 55. Distribuição de sal na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

5.4.3. Fluxos de nutrientes inorgânicos e sal

5.4.3.1. Nutrientes inorgânicos

Os fluxos dos nutrientes inorgânicos através da seção transversal na confluência do estuário da Barra das Jangadas por estágio de marés durante o inverno de 2003 (julho), de um período de maré de sizígia, são apresentados nas Figuras 56 a 67.

Tabela 20. Variação temporal dos transportes de nutrientes inorgânicos dissolvidos e sal no ciclo de 24 horas na seção transversal da confluência do estuário da Barra das Jangadas.

Estágio	$\Phi_k (kg)$						$Ts_k \bullet At (kg.s^{-1})$
	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NID	PO ₄	SiO ₂	Sal
Baixa-mar	+124,53	+5,94	+31,94	+162,41	+13,08	+1030,14	+191,93
Enchente	-106,37	-4,49	-27,51	-138,37	-11,03	-884,97	-352,48
Preamar	-109,57	-7,98	-44,63	-162,18	-14,22	-1597,91	-5562,31
Vazante	+134,34	+9,09	+48,45	+191,88	+25,38	+2208,39	+3307,74
Baixa-mar	+160,47	+7,67	+42,21	+210,35	+28,04	+1966,53	+179,29
Enchente	-91,23	-5,94	-36,36	-133,53	-16,35	-1285,14	-344,28
Preamar	-40,41	-4,14	-35,57	-80,12	-17,58	-1019,21	-7754,21
Vazante	+103,05	+6,21	+42,02	+151,28	+20,16	+1235,28	+7135,19
Balanco(kg.dia ⁻¹)	+174,81	+6,36	+20,55	+201,72	+27,48	+1653,11	-3198,13
Exportado	+522,39	+28,91	+164,62	+715,92	+86,66	+6440,34	+10814,15
Importado	-347,58	-22,55	-144,07	-514,20	-59,18	-4787,23	-14012,28

No período estudado (24 horas), o sistema importou amônia a uma taxa média de 13,47 a 36,52 kg.h⁻¹ e exportou a uma taxa média de 34,35 a 53,49 kg.h⁻¹ através da seção transversal, com um aporte líquido dirigido para fora do estuário (exportação) de 174,81 kg.d⁻¹ (Tabela 20).

Os maiores transportes, ocorreram durante os estágios de enchente, baixa-mar e vazante, indicando que as trocas de material entre o estuário e o sistema costeiro são fortemente influenciadas pelas correntes de marés e pela descarga fluvial.

Os transportes instantâneos evidenciaram a distribuição espacial (centro da seção transversal) e temporal com um pico durante o horário noturno (22:00) como os mais influentes no resultado final da amônia (Figura 56 e 57).

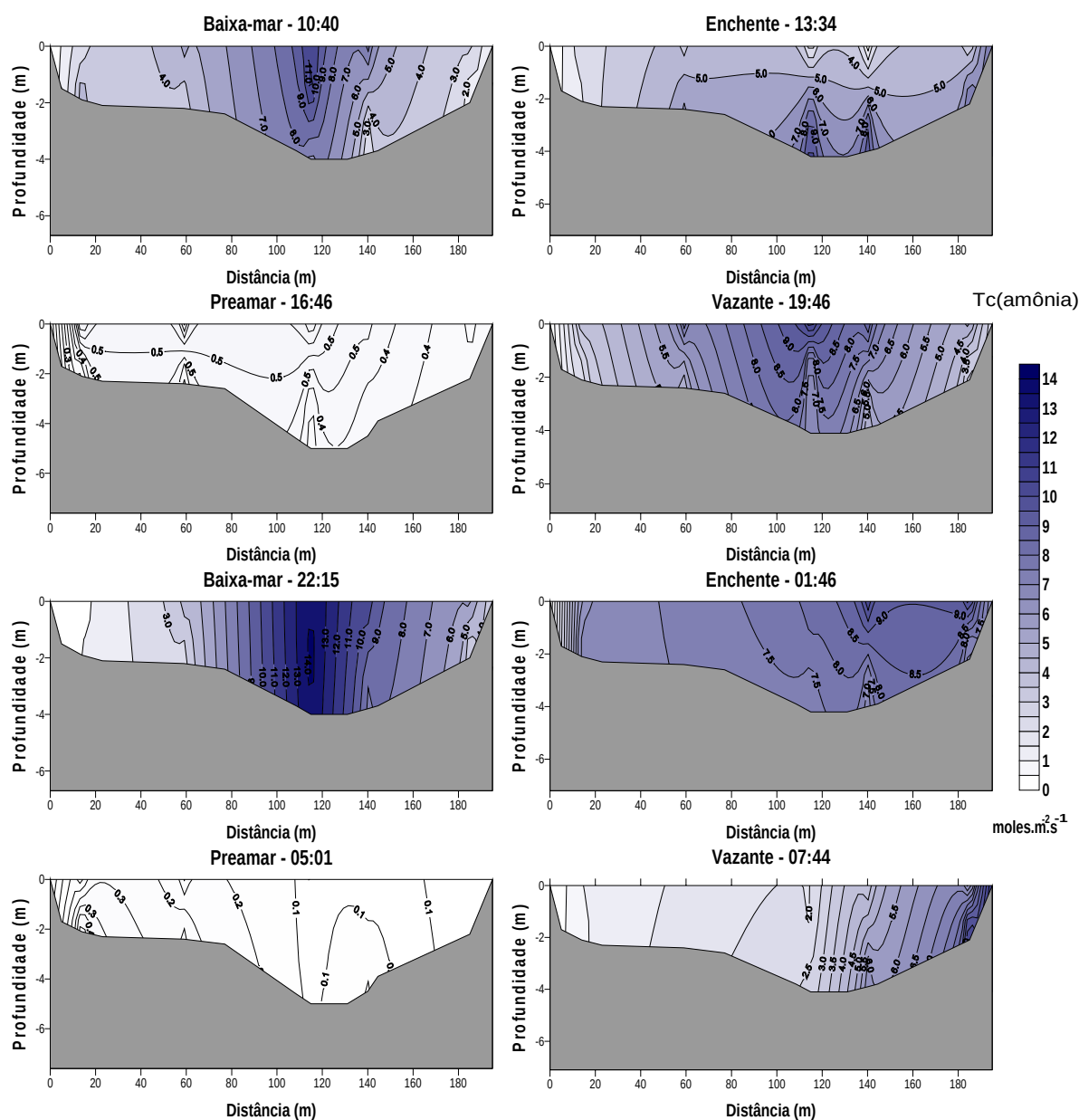


FIGURA 56. Distribuição dos fluxos instantâneos de amônia (T_c , $\text{moles.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

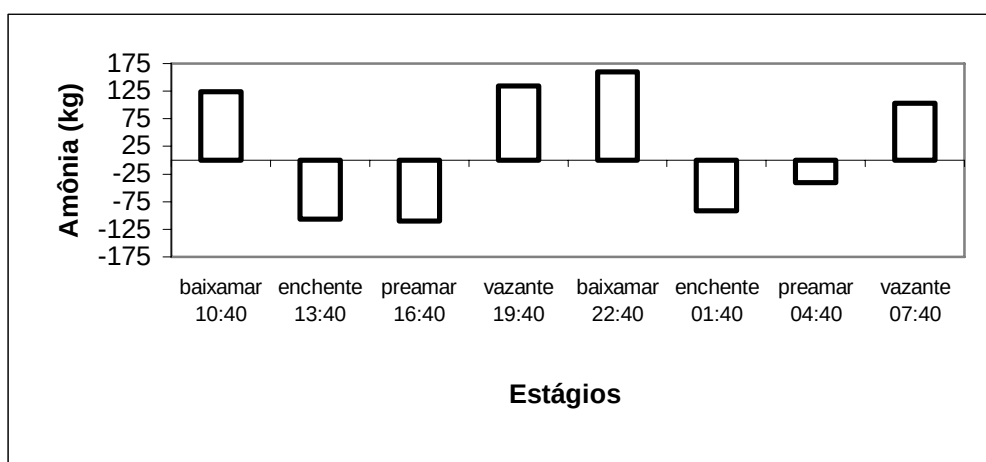


FIGURA 57. Distribuição temporal do transporte de amônia (Φ , kg) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

Os fluxos de nitrato para os mesmos oito estágios de maré apresentaram um transporte dirigido para a zona costeira de 5,94 a 9,09 kg.h^{-1} , enquanto que o transporte inverso foi de 4,14 a 7,98 kg.h^{-1} . Similar ao transporte da amônia, o sistema apresentou uma exportação líquida de 6,36 kg.d^{-1} de nitrato (Tabela 20), sendo no estágio de vazante, onde ocorreram os maiores intercâmbios de material. Similar à amônia a distribuição espacial e temporal dos fluxos instantâneos mostrou uma distribuição predominantemente central, principalmente nos estágios de vazante (Figuras 58 e 59).

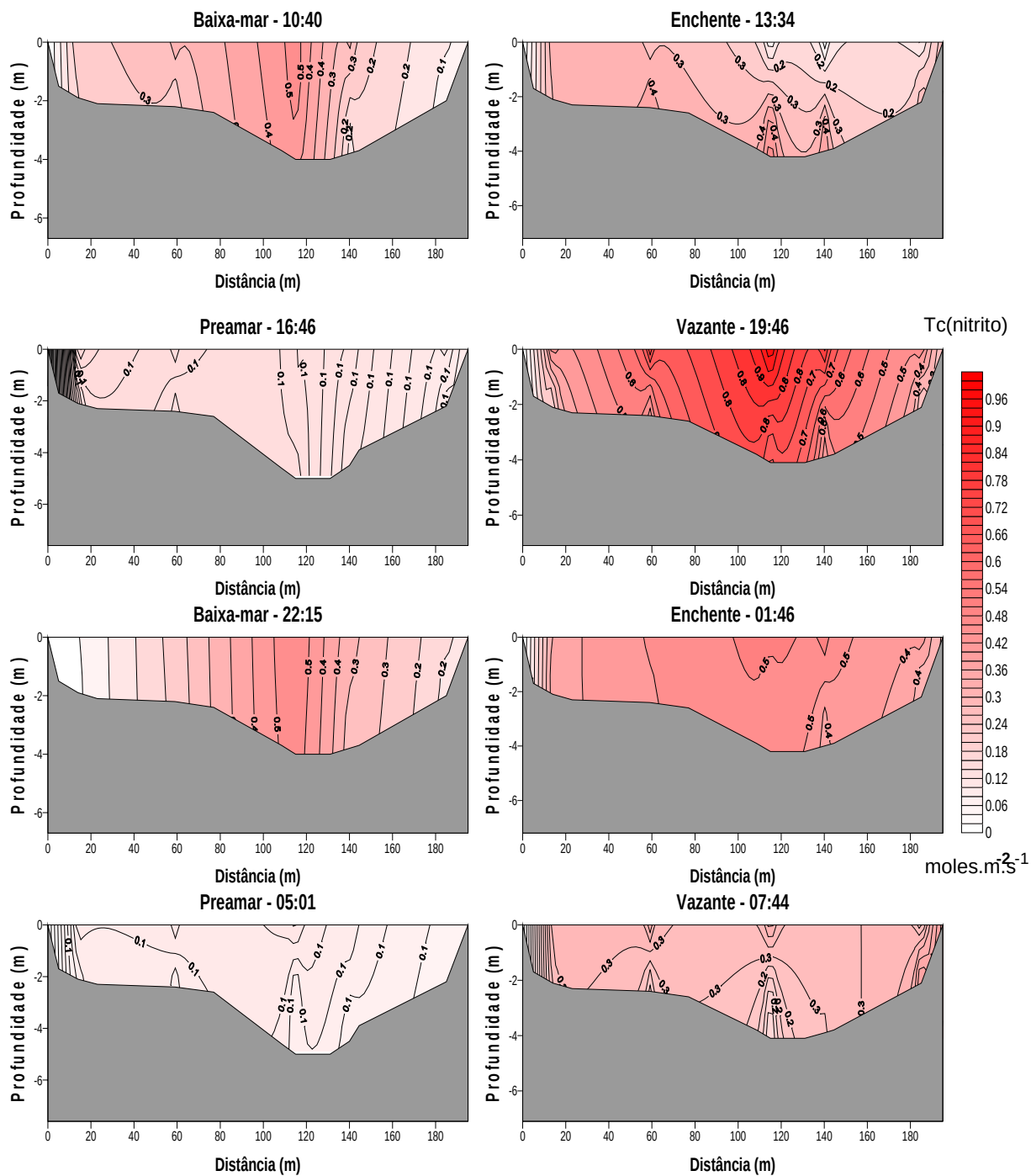


FIGURA 58. Distribuição dos fluxos instantâneos de nitrito (T_c , $\text{moles.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

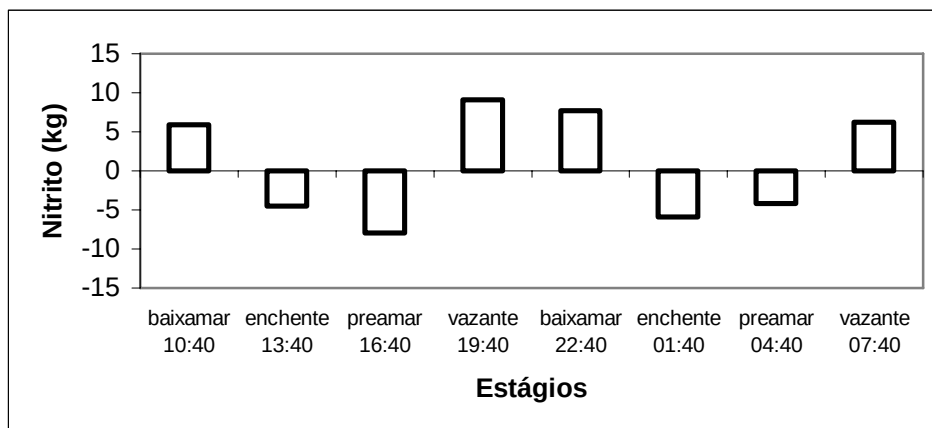


FIGURA 59. Distribuição temporal do transporte de nitrito (Φ , kg) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

Os intercâmbios de nitrato na seção transversal foram maiores nos estágios de vazante e enchente, com transportes positivos (exportação) entre 31,94 e 48,45 kg.h^{-1} , e negativos de 27,51 a 44,63 kg.h^{-1} , resultando em um transporte líquido positivo de 20,55 kg.d^{-1} (Tabela 20).

Os transporte instantâneos evidenciaram uma distribuição espacial pelo setor mais profundo do canal quando os transportes eram positivos. Durante o ciclo temporal estudado as maiores concentrações foram apresentadas no horário da tarde (Figura 60).

A somatória no transporte líquido para os nutrientes inorgânicos nitrogenados foi de 201,72 kg.d^{-1} exportados, sendo 715,92 kg. exportados e 514,20 kg importados (Tabela 20 e Figura 59). Dentro do ciclo temporal os estágios de baixa-mar e vazante apresentaram as maiores quantidades, confirmando o processo de exportação (Figura 62).

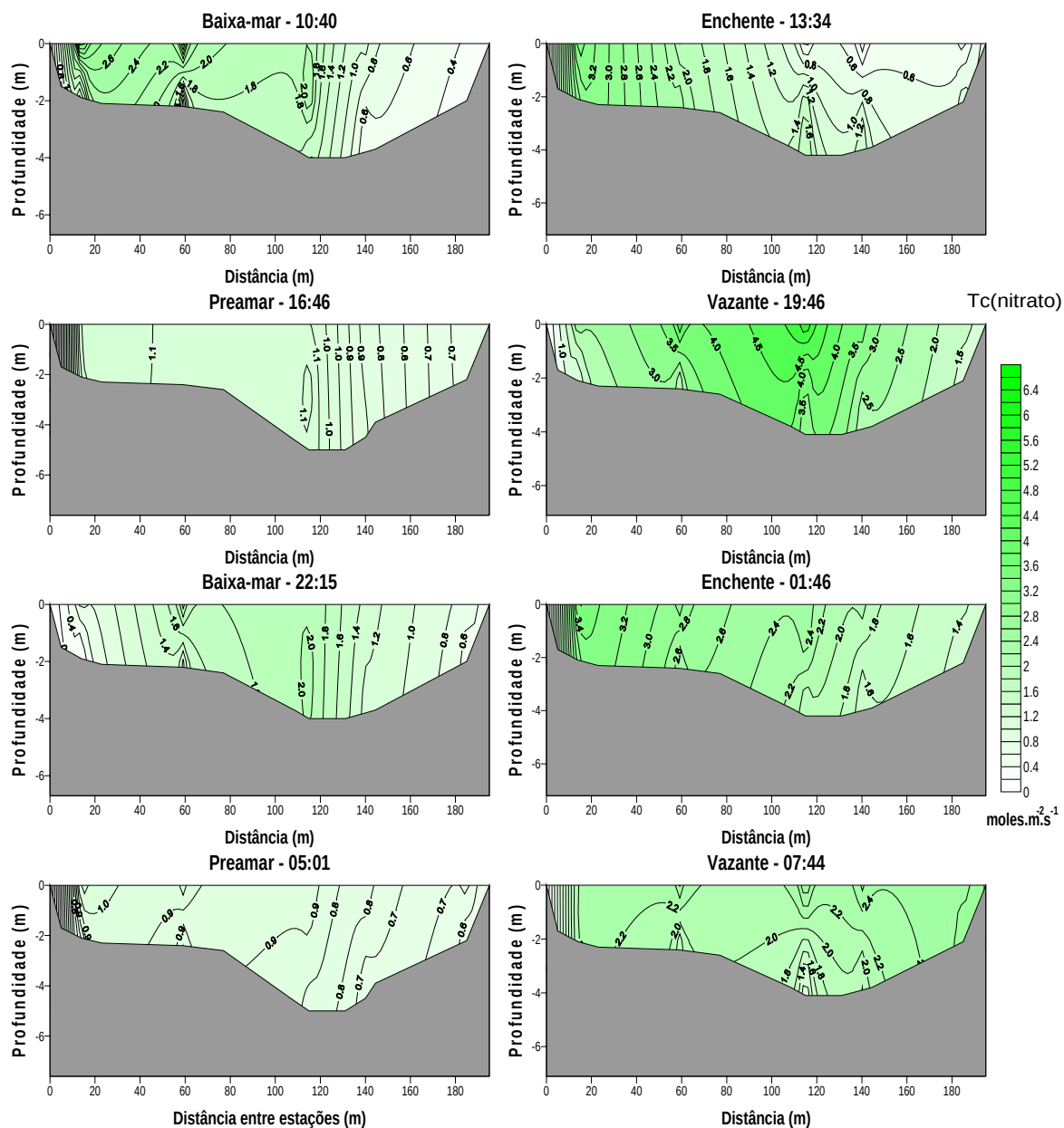


FIGURA 60. Distribuição dos fluxos instantâneos de nitrato (T_c , $\text{moles.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizigia no inverno (julho, 2003).

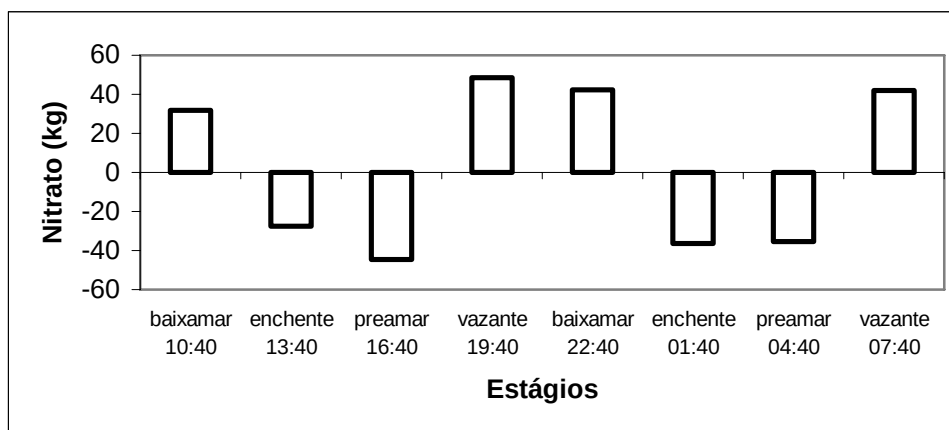


FIGURA 61. Distribuição temporal do transporte de nitrato (Φ , kg) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

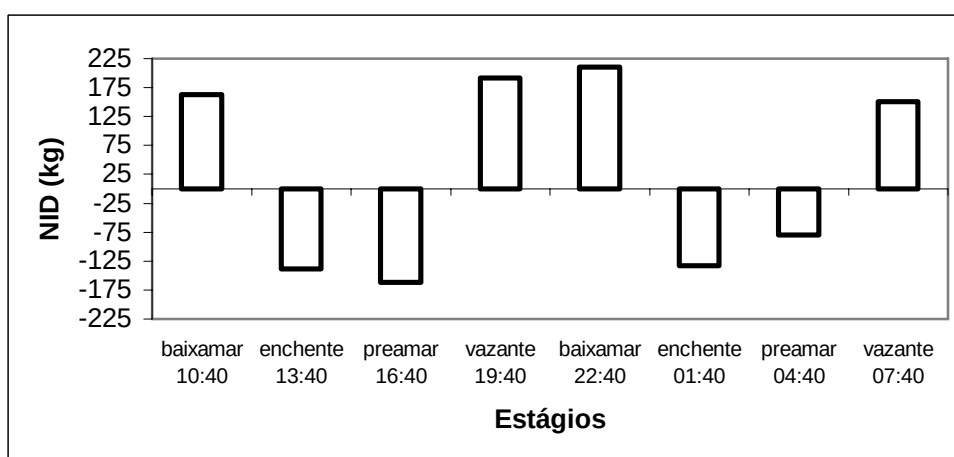


FIGURA 62. Distribuição temporal do transporte de NID (Φ , kg) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

Os fluxos de fosfato inorgânico para o período estudado variaram entre 13,08 e 28,04 kg.h^{-1} (positivos) e 11,03 e 17,58 kg.h^{-1} (negativos), com um transporte líquido diário dirigido para a zona costeira de 23,48 kg (Tabela 20), sendo os estágios de baixamar e vazante os principais momentos exportadores.

A distribuição deste parâmetro evidenciou um aumento significativo durante o período noturno mostrando a diminuição da atividade biológica no consumo deste elemento (Figura 63). Sua distribuição espacial mostrou igualmente fluxos mais importantes através do setor central da calha quando este era positivo, e em forma homogênea, quando o transporte era negativo (Figura 64)

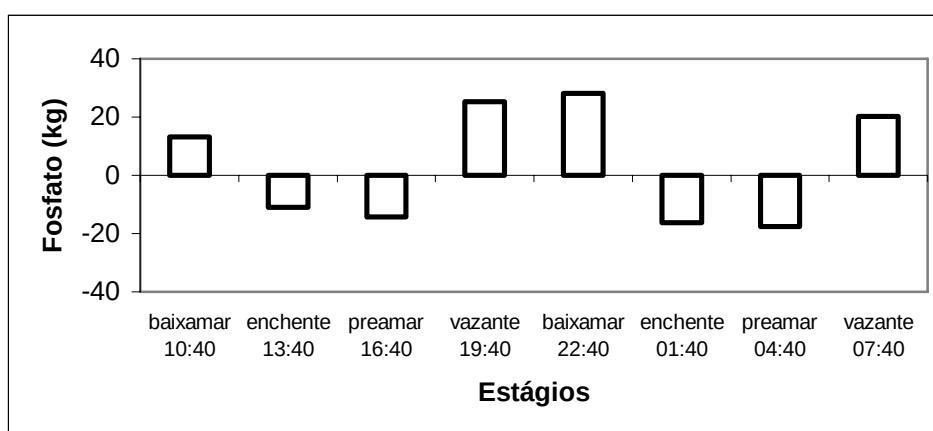


FIGURA 63. Distribuição temporal do transporte de fosfato (Φ , kg) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

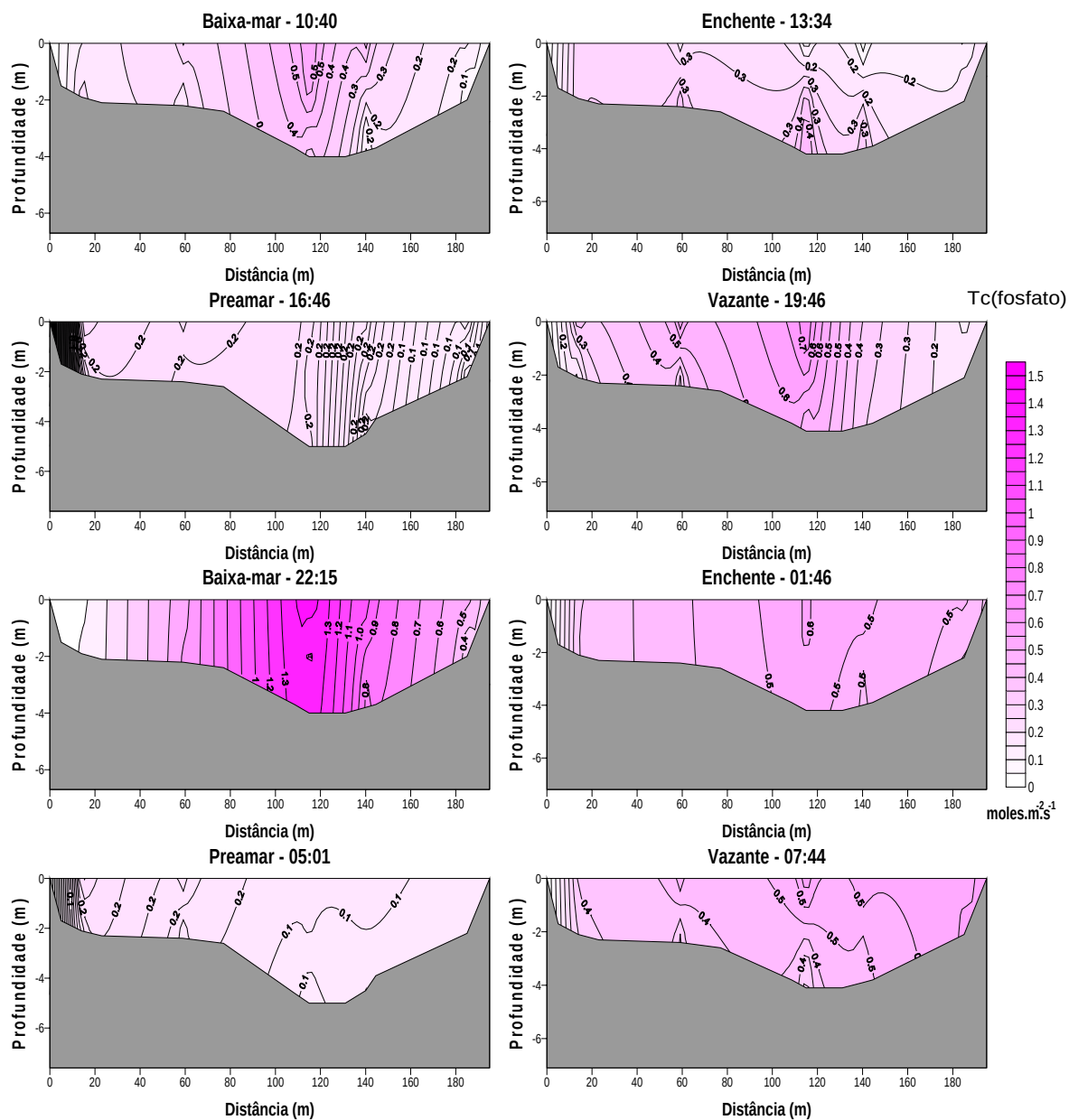


FIGURA 64. Distribuição dos fluxos instantâneos de fosfato (T_c , $\text{moles.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

Os altos fluxos do silicato transportados através da seção transversal mostraram uma influência fluvial evidente, principalmente no horário noturno, com fluxos positivos de 1030,14 a 2208,39 kg.h^{-1} (Tabela 20 e Figura 65). Os maiores transportes ocorreram nos estágios de vazante e baixa-mar, principalmente através da porção mais profunda da seção transversal (Figura 64).

O transporte líquido, positivo, foi de 1653,11 kg.h^{-1} , sendo o nutriente inorgânico que mais aportou para a zona costeira adjacente.

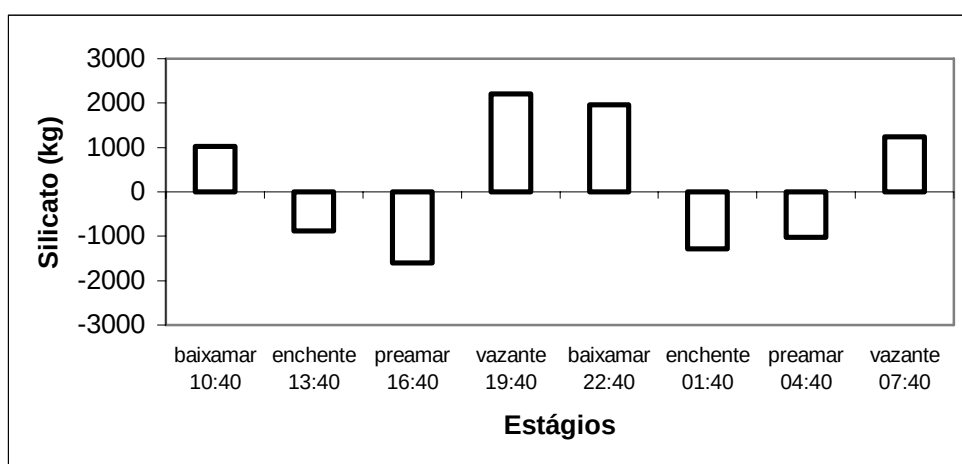


FIGURA 65. Distribuição temporal do transporte de silicato (Φ , kg) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

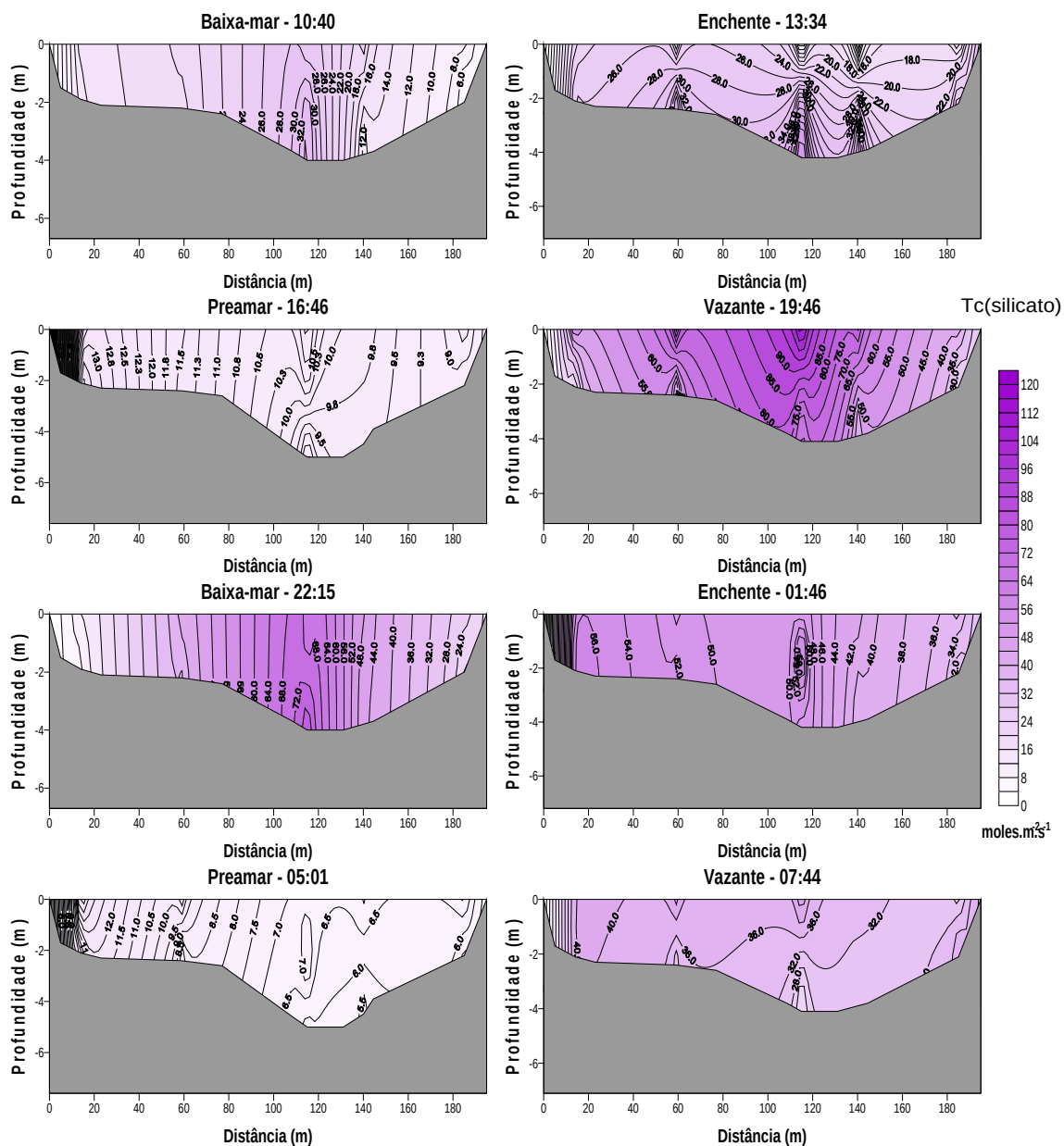


FIGURA 66. Distribuição dos fluxos instantâneos de silicato (T_c , $\text{moles.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

5.4.3.2. Sal

Para o período estudado, verificou-se fluxo de sal (S) resultante no sentido estuário acima de $0,11$ a $19,3 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, com um fluxo médio de $5,56 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (Figura 67).

O transporte instantâneo de sal foi de $-3.198,13 \text{ kg.s}^{-1}$, com um máximo na preamar de $7.754,21 \text{ kg.s}^{-1}$ no sentido negativo, demonstrando a influência da maré na circulação estuarina do sistema da Barra das Jangadas (Tabela 20).

Durante o dia o transporte médio foi de $10.814,15 \text{ kg.s}^{-1}$ para a zona costeira contra $14.012,28 \text{ kg.s}^{-1}$ importados (Figura 67).

Superfície e fundo não apresentaram diferenças significativas nos fluxos instantâneos, similar ao apresentado na distribuição espacial o qual não apresentou uma distribuição lateral diferenciada.

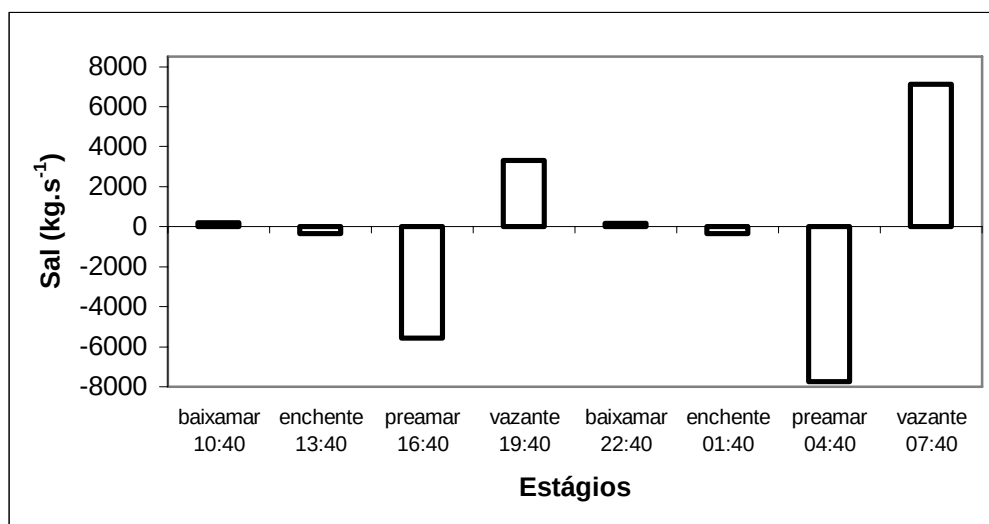


FIGURA 67. Distribuição temporal do transporte de sal (Φ , kg.s^{-1}) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

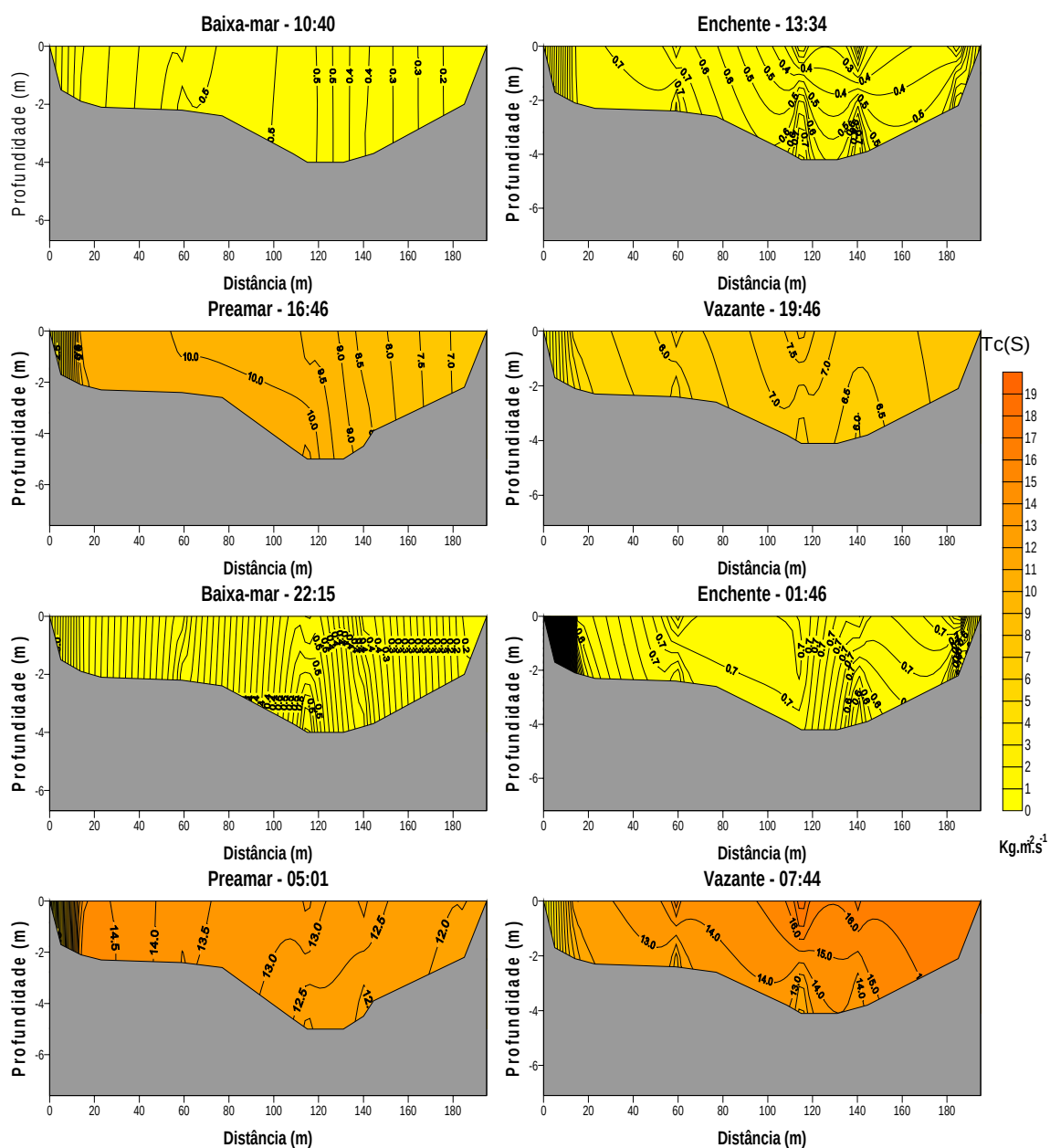


FIGURA 68 Distribuição dos fluxos instantâneos de sal (T_c , $\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

5.5. Circulação e Mistura.

As correntes na confluência dos rios Pirapama e Jaboatão no estuário da Barra das Jangadas durante o ciclo de 24 horas (julho, 2003) apresentaram uma variabilidade em intensidade, com valores mínimos de 0,09 (baixa-mar) e máximo de 0,86 m.s^{-1} (vazante), com um valor médio de 0,38 m.s^{-1} (Figura 70 e tabela 19).

Para o período estudado (chuvoso), durante a maré de sizígia, as correntes mais intensas foram observadas no estágio de vazante, variando de 0,33 a 0,86 m.s^{-1} , com um valor médio de 0,55 m.s^{-1} (Figura 69).

A direção preferencial das mesmas foi Nordeste, e Oeste $\rightarrow$ Leste durante os estágios de baixa-mar e vazante, seguindo o eixo principal do estuário. Durante os estágios de enchente e preamar, observou-se uma inversão de aproximadamente 180° na direção das correntes, assumindo estas um sentido Leste $\rightarrow$ Oeste e Sudeste, quando a força da maré alta impõe a penetração de águas marinhas no estuário. Em relação às direções registradas entre superfície e fundo, as correntes de maré apresentam um comportamento similar. Para estes estágios, também foram observados valores de intensidade alta, com média de 0,34 m.s^{-1} .

O transporte líquido de quantidade de movimento pode ser considerado positivo, ou seja, predominam correntes no sentido Oeste $\rightarrow$ Leste, caracterizando o estuário como um sistema exportador.

O estuário da Barra das Jangadas é um sistema bem misturado, sendo classificado como estuário tipo 1, de acordo com o critério de Hansen e Rattray (1966), e com ausência de estratificação vertical (Figura 71).

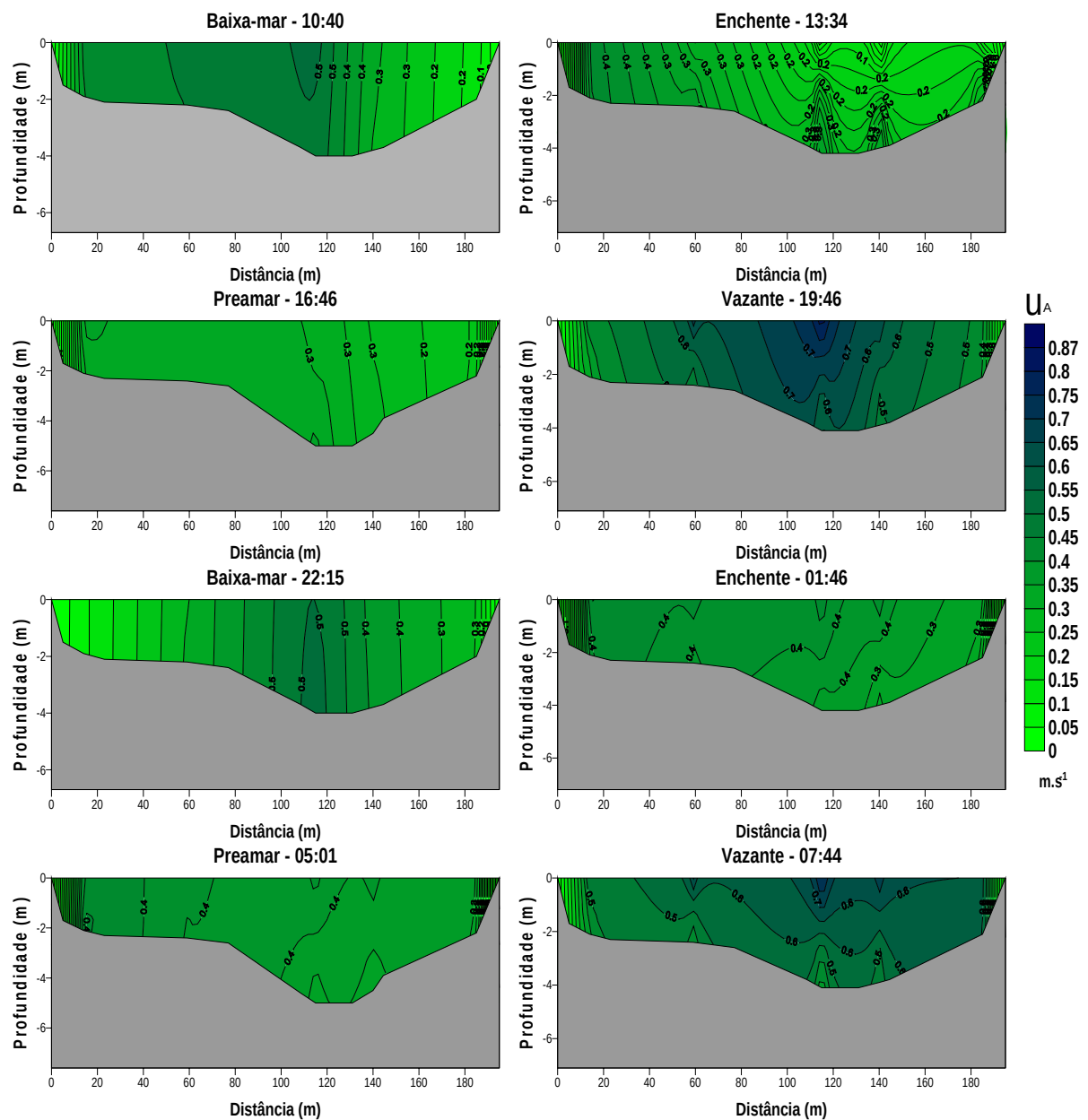


FIGURA 69. Distribuição espacial da velocidade longitudinal absoluta $u_A(\text{m.s}^{-1})$ na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

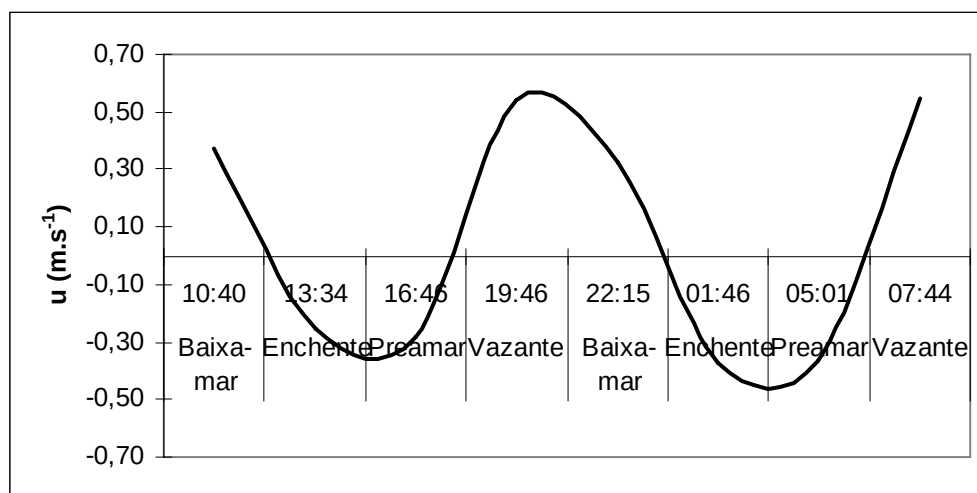


FIGURA 70. Distribuição temporal da velocidade longitudinal u (m.s⁻¹) na confluência da Barra das Jangadas durante 24 horas em um período de maré de sizígia no inverno (julho, 2003).

O diagrama de classificação de Hansen & Rattray é baseado no cálculo de dois parâmetros, um que representa o nível de estratificação e outro de circulação. Como indicador de estratificação vertical, foi calculado o parâmetro não dimensional de estratificação $\Delta S/S_0$, onde ΔS é a diferença entre a salinidade líquida no fundo e a salinidade líquida na superfície, dividida pela salinidade média da coluna d'água S_0 .

Como indicador da circulação, foi calculado o parâmetro de circulação U_s/U_f , com U_s representando a velocidade líquida na superfície, e U_f correspondendo à velocidade de descarga de água doce, onde a descarga de água doce foi estimada através de uma série de dados de longo período compilada pela COMPESA (2002), complementada com a metodologia apresentada por Medeiros e Kjerfve (1993) e Miranda *et al.* (2002).

Durante o inverno (julho de 2003), o parâmetro de circulação apresentou um valor médio de 1,9, indicando a ausência de circulação gravitacional. Para o ciclo analisado, os valores do parâmetro de estratificação $\Delta S/S_0$ foram, em geral, menores a 0,05, classificando o sistema como sub-tipo 1a (Figura 71).

Nas marés de sizígia e quadratura estudadas no inverno de 2001, o parâmetro estratificação foi um pouco maior, chegando a atingir 0,14, mostrando uma tendência para o sub-tipo 1b. Para a maré de sizígia, o parâmetro de circulação apresentou um valor médio

de 2,8, e na quadratura 2,13, evidenciando uma mudança entre os valores obtidos em 2001 em relação ao período de coleta de 2003 (Figura 71).

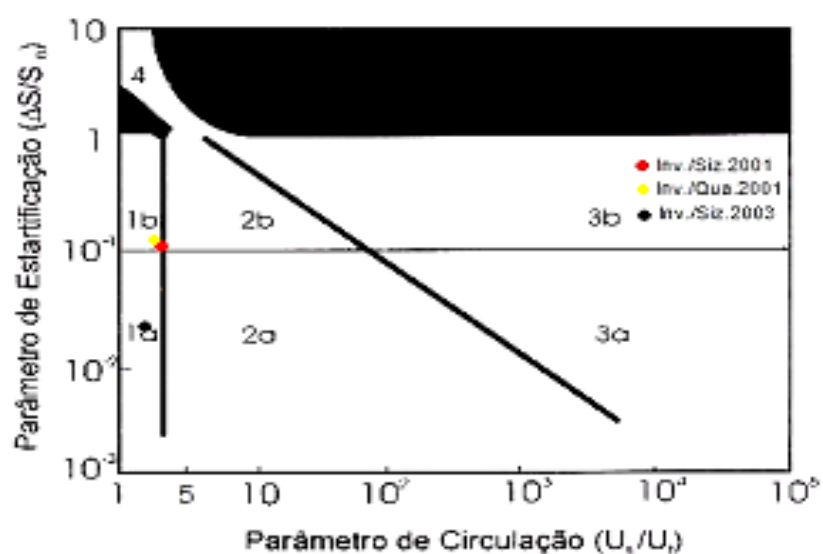


FIGURA 71 Diagrama de Estratificação / Circulação na confluência da Barra das Jangadas durante períodos de maré de sizígia e quadratura (anos 2001 e 2003).

6.0. Discussão.

6.1. Hidrologia (ano 2001)

Os fatores que podem determinar modificações na dinâmica de um ambiente estuarino são de origens diversas, e as variações sazonais que ocorrem em alguns parâmetros hidrológicos de regiões tropicais estão relacionados com fatores climatológicos como: precipitação, evaporação, circulação local, correntes e ação dos ventos.

A média histórica da pluviometria anual, no litoral Pernambucano está referida em torno dos 2.000 mm (Carneiro & Coelho, 1960). Para os últimos dez anos a Estação do Porto das Galinhas, Ipojuca-PE, registrou uma média anual de 1.735 mm (Branco 2001).

Durante o período de coleta (2001), o regime de chuvas registrou um comportamento de acordo à especificada por diversos autores (Macêdo, 1974; Macedo *et al.*, 2000; Falcão, 2002), evidenciando uma estação seca compreendida entre os meses de setembro a fevereiro, onde a evaporação mostrou-se maior do que a precipitação, e outra, compreendida entre março e agosto, no qual o balanço hidrológico foi positivo, com um total de chuvas de 1.985 mm. Segundo Araújo *et al.* (1999), a média mensal de chuvas é de 0.06 m. Esta alternância no balanço hidrológico fez com que os períodos de coleta apresentassem condições opostas influenciando desta maneira as características abióticas da área.

No período chuvoso que vai de março a setembro, correspondendo às estações de outono e inverno, os parâmetros como precipitação pluviométrica, pH, amônia, nitrito, fosfato e silicato encontravam-se com valores mais elevados, enquanto a evaporação, temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, percentual de saturação, apresentavam-se com valores mais baixos. Durante o período de estiagem que vai de setembro a fevereiro, correspondendo às estações de primavera e verão, todos os parâmetros citados apresentavam-se de maneira inversa.

Como foi observado na análise multivariada dos dados, o aumento da concentração dos nutrientes devido à precipitação pluviométrica neste período, acentua a influência limnética.

Em virtude de estuários serem sistemas costeiros semi-fechados, eles tendem a reagir aos agentes meteorológicos, entre os quais o vento é um dos mais importantes.

Segundo Nasser *et al.* (2001), o vento gera ondas com pequenas cristas que podem tornar-se agentes de mistura eficazes. Em uma escala maior, ventos podem gerar circulações autônomas dentro do estuário, e também variações abruptas que induzem marés de vento, provocando uma inclinação na superfície de água ao longo do estuário e

um diferencial no nível de água entre o mar adjacente e o estuário.

Assim como a pluviometria e a evaporação, os ventos prevaleceram dentro dos valores médios especificados ($3,05\text{--}3,2\text{ m.s}^{-1}$) por outros autores como: Araujo *et al.*, (1999) e Rollnic, (2002), observando-se na área ventos de sudeste, com intensidades maiores no período seco.

A maior importância da velocidade do vento como parâmetro deve-se ao fato dela indicar o tipo de mistura que ocorre na interfase ar-água. Segundo Falcão (2002), a velocidade do vento indica se a transferência da quantidade de movimento do ar para a água é governada por forças viscosas (ventos de até 6 m.s^{-1}), forças turbulentas (entre 6 e 20 m.s^{-1}), ou ainda uma condição transitória entre ambas, (acima de 20 m.s^{-1}).

Nos estuários tropicais, a temperatura apresenta valores elevados e grande estabilidade durante o ciclo sazonal, uma vez que, depende grandemente do período e grau de insolação, variações meteorológicas, sendo estas condicionadas por períodos de maior ou menor nebulosidade (Flores Montes, 1996).

A temperatura das águas da Barra das Jangadas variou sazonalmente, porém apresentou pequenas diferenças entre as camadas superficial e de fundo. A variação sazonal é bem evidenciada para uma área tropical, demonstrando a influência do clima no balanço térmico das águas. Esta sazonalidade foi registrada também por Branco (2001) na área no período entre 1999 e 2000, Losada (2000), na Baía de Tamandaré, Flores Montes (*loc cit*), no Canal de Santa Cruz, e por Macêdo e Costa (1990) no estuário do rio Igarassú.

As diferenças dos valores de temperatura encontrados entre as marés devem-se aos horários das coletas, coincidindo a vazante com o período da manhã e à tarde, onde as temperaturas entre ambos os horários apresentaram-se similares; este fato é corroborado pelo coeficiente de variação que registrou as menores dispersões dos dados neste estágio.

As variações entre superfície e fundo foram pequenas, não ultrapassando a $1,4^{\circ}\text{C}$, demonstrando a estabilidade térmica no sentido vertical, devido à constante mistura das águas e principalmente à reduzida profundidade do canal.

Nas regiões estuarinas tropicais, o parâmetro físico principal depois das marés, é a salinidade (Tundisi, 1970), como é um elemento conservativo, serve como um indicador do encontro de diferentes corpos d'água, e como marcador dos limites de um estuário (Feitosa, 1997).

As variações da salinidade apresentaram uma estreita dependência com o ciclo de marés, o aporte fluvial, a precipitação pluviométrica, a evaporação, a turbulência de superfície devido à ação dos ventos, e as estações do ano.

Igualmente à temperatura, a salinidade na área da Barra das Jangadas apresentou uma variação sazonal bastante definida, estando os valores mais elevados registrados durante o período seco, e os mais baixos durante o período invernal, fato observado por Branco (2001) no referido estuário.

Esta sazonalidade está principalmente relacionada, à taxa de evaporação e precipitação pluviométrica, à temperatura, ao ciclo de marés e ao aporte fluvial; onde durante o verão, a taxa de evaporação, a temperatura e em menor escala a ação dos ventos são maiores. Flores Montes (1996), observou no Canal de Santa Cruz que, durante o verão, os valores da salinidade foram maiores, devido ao menor fluxo de água doce e maior evaporação provocada pela maior incidência solar. No inverno as correntes de maré, a precipitação pluviométrica, e o aporte fluvial mais acentuado influem, fazendo mudar o balanço hídrico na área no sentido positivo.

Os teores elevados de salinidade na maré de sizígia principalmente no verão, estão sustentados pela influência das correntes de maré, que neste nível são mais intensas, diminuindo a quantidade de água doce retida na área, e ao maior volume de água marinha, enquanto na quadratura os menores valores demonstraram que a influência fluvial é mais marcante.

A variação nictemeral foi bastante definida, acompanhando o ciclo de marés, com os valores mais elevados nas preamares, e menores nas baixa-mares, como foi demonstrado na análise dos componentes principais; a salinidade mostrou uma correlação direta com a preamar, apresentando-se com teores elevados neste estágio durante o verão, e com teores similares mais inferiores no inverno. Isto é indicativo da influência de fatores físicos e climatológicos envolvidos na junção dos dois rios nesta estação do ano, fazendo que a água marinha seja diluída gradativamente.

No presente estudo, no período seco, a diferença entre as camadas superficial e de fundo, foi menor que 3 unidades (2,25), enquanto que no chuvoso, a área alcançou 2,59 unidades, mostrando a influência da descarga fluvial e o balanço hídrico positivo, provocando uma pequena estratificação salina, observada no nível de quadratura.

Quanto à distribuição vertical da salinidade ao longo dos ciclos de maré, Officer (1977) caracterizou um estuário do tipo parcialmente misturado quando a estratificação da salinidade é moderada e o gradiente vertical da salinidade entre o fundo e a superfície é acentuado. Em um estuário bem misturado não se observa a presença de uma haloclina, isto é, o gradiente vertical da salinidade é praticamente nulo.

Pritchard *apud* Bernardes (2001), propõe uma classificação semelhante, só que na

forma quantitativa. Nesse caso, um estuário parcialmente misturado é aquele cuja diferença de salinidade entre o fundo e a superfície encontra-se em pelo menos 5 unidades.

Um estuário do tipo verticalmente homogêneo, como é o caso da Barra das Jangadas, apresentaria uma diferença inferior a 5 unidades. Similar caso foi o encontrado por Flores Montes (1996) no Canal de Santa Cruz, e Medeiros (1991), em seu estudo sobre processos de circulação e mistura no referido sistema estuarino, onde as diferenças no período seco entre as camadas superficial e próxima ao fundo, foi menor que 1 unidade, enquanto que no chuvoso, alcançou 4 unidades na Barra Orange, e 3 na Barra Catuama.

Segundo estes autores, devido à baixa descarga dos rios, alta evapo-transpiração, vento leste-sudeste, e presença de massas de águas salinas nas barras no verão, o estuário torna-se bem misturado e uniformemente salino. No inverno os fatores descarga fluvial, baixa - evapo-transpiração e grande quantidade de chuvas, provoca um maior gradiente vertical.

Segundo Araújo *et al.*, (1999), em estudo no baixo estuário do rio Jaboatão, as três principais forças responsáveis pela mistura vertical neste local foram a turbulência de fundo devido às marés, a turbulência de superfície devido à ação dos ventos e a evaporação superficial, sendo o atrito turbulento de fundo pelas marés a principal fonte de energia do sistema para a mistura da coluna de água. Foi verificado também que a quantidade de energia para misturar a coluna de água foi cerca de 2 vezes maior que aquela disponível para manter a estratificação, tanto durante a estação seca quanto a chuvosa. Segundo este estudo, o estuário apresentou-se verticalmente bem misturado mesmo durante os estofos de preamar e baixa-mar.

De acordo à classificação de Pritchard *apud* Bernardes (2001), e às causas responsáveis por Araújo (1998), a confluência da Barra das Jangadas pode ser classificada como do tipo verticalmente homogêneo durante ambas as estações do ano, fato atribuído à turbulência de fundo devido às marés, ação dos ventos sobre a superfície e balanço hídrico negativo durante o verão. No inverno, as forças responsáveis seriam: a turbulência de fundo devido às marés, com correntes mais intensas (aumentando a água de origem fluvial retido na área), fato que provocou as estratificações nas duas preamares e maior fluxo de água doce devido à precipitação pluviométrica (balanço positivo).

Nos processos biológicos, tais como a fotossíntese, a respiração e a decomposição da matéria orgânica detritica, o oxigênio e o gás carbônico desempenham um papel relevante (Santos, 2000). O oxigênio é o gás mais abundante na água, depois do nitrogênio,

e também o mais importante (Vinatea Arana *apud* Baumgarten & Pozza, 2001). Durante a estabilização aeróbica da matéria orgânica (decomposição ou mineralização), as bactérias decompositoras fazem uso do oxigênio em seus processos respiratórios, podendo diminuir sua presença no meio. Dependendo da intensidade com que esse oxigênio é consumido e da taxa de aeração do ambiente, os organismos aquáticos podem não sobreviver (Von Sperling *apud* Baumgarten & Pozza, *op.cit.*). Outra característica associada com os processos acima indicados é a relação inversa deste parâmetro com a temperatura (solubilidade) e salinidade.

Quando o oxigênio é totalmente consumido, observam-se condições anaeróbicas no meio e a geração de condições redutoras, aumentando a toxicidade de muitos elementos químicos, que assim tornam-se mais solúveis e biodisponíveis, por exemplo, os metais pesados e o fosfato (Baumgarten & Pozza, *op. cit.*).

O oxigênio é um dos principais parâmetros para o controle dos níveis de poluição de águas. Ele é fundamental para manter e verificar as condições aeróbicas em um curso d'água que recebe material poluidor. Além disso, é um importante indicador de áreas poluídas, uma vez que baixas concentrações poderão indicar uma poluição química, física ou biológica, com a presença de matéria orgânica (provavelmente originada de esgotos), ou seja, alta biomassa de bactérias aeróbicas decompositoras. Valores muito elevados desses elementos também podem gerar processos de eutrofização, trazendo consequências negativas, como a depleção noturna.

Os valores do oxigênio dissolvido se constituem então como elemento básico para a determinação da qualidade da água do local da Barra das Jangadas. Assim, neste contexto, o artigo da Resolução nº20 do CONAMA (1986), referente ao enquadramento dos corpos aquáticos do território nacional brasileiro, oferece uma classificação segundo seus usos preponderantes em nove classes. Para efeito dessa resolução, o estuário da Barra das Jangadas se classifica dentro das águas salobras (águas com salinidade compreendida entre 0,5 e 30 unidades). Com base nos seus usos preponderantes, o referido local pode ser enquadrado no sistema de classe 7, que se refere a águas destinadas à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho), à proteção das comunidades aquáticas, e à criação natural e/ou intensiva (aqüicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

Para as águas de classe 7, são estabelecidos os limites e as condições, onde o oxigênio dissolvido não pode ter um teor inferior a 5 mg.L⁻¹ (ou 3,5 ml.L⁻¹).

Com relação ao teor de oxigênio dissolvido na água e sua taxa de saturação, foi observado que tal parâmetro demonstrou um ciclo sazonal definido, apresentando valores

elevados na estação seca. Este padrão foi diferente ao obtido por Branco (2001) na área e, aos observados em outros estuários da região, como o do Rio Botafogo (Macêdo *et al.*, 1987/89), no estuário do Rio Igarassú (Macêdo e Costa, 1990), no estuário do Rio Jaguaribe (Santos *et al.*, 2000), na Baía de Tamandaré (Losada, 2000). Segundo estes autores o teor de oxigênio dissolvido não apresenta sazonalidade definida e sim oscilações ao longo do ano.

A variação entre os meses de janeiro e julho detectada na Barra das Jangadas pode estar associada a fatores físicos como a intensidade do vento, que nesta época do ano apresentou uma intensidade maior em relação ao verão, e tornar-se um agente de mistura e oxigenação eficaz para toda a coluna de água, e a redução da vazão de águas fluviais, que favorece a entrada de águas oceânicas no sistema com maiores teores de oxigênio do que no período invernal. É importante incluir a influência das correntes, que em conjunto com os ventos são os processos mecânicos que mais aportam oxigênio para a atmosfera (Klerekopper, 1990).

Este fato foi observado por Falcão (2002), no rio Pirapama, encontrando concentrações maiores nos segmentos à jusante do referido rio, no período seco, sendo atribuídas à forçante oceânica, e às diminuições das vazões fluviais neste período.

Os teores no período de estiagem estiveram normalmente acima dos 5 mg.L⁻¹ estabelecidos pelo CONAMA (1986), diferente do inverno, onde as concentrações e os teores de saturação (%), na maioria dos casos mostraram-se abaixo desse limite.

Em relação à variação nictemeral, pode-se afirmar que as marés influenciaram mais o oxigênio dissolvido e seu percentual de saturação, do que o horário de coleta. Esta observação é mais evidente no período do inverno e durante a maré de quadratura no verão, quando os valores mais elevados foram detectados na preamar, independente do horário de coleta, demonstrando a oxigenação da água marinha conduzida pela maré. A influência da água salina na oxigenação da área foi mais evidente neste nível de maré, porque a diminuição do oxigênio dissolvido é mais acentuada, devido à degradação da matéria orgânica que é mais drástica, pela diminuição do fluxo das correntes.

As concentrações do oxigênio dissolvido estiveram quase sempre menores nos estágios de baixa-mar, indicando um importante consumo de oxigênio na área tanto por processos de respiração como de oxidação.

É importante indicar a sincronização das curvas nos gráficos, quando se observa depleção de oxigênio com os horários durante o período invernal, mostrando uma alternância nas diminuições entre dia e noite. As baixas concentrações durante à noite é

sinal das atividades do fitoplâncton consumindo também o oxigênio da água através da respiração. Segundo, Vinatea Arana *apud* Baumgarten & Pozza (2001), durante o dia os nutrientes pode aumentar a carga de matéria orgânica a ser decomposta pelas bactérias provocando baixas concentrações de oxigênio dissolvido. Este autor também relata, que em dias com céu encoberto, quando diminuem significativamente os processos de fotossíntese as concentrações de oxigênio também diminuem.

As diferenças entre a superfície e o fundo do oxigênio na Barra das Jangadas foram pequenas, apresentando-se oscilações durante o ano, e mostrando a homogeneidade na coluna d'água.

Macêdo & Costa (1978), levando em consideração os valores de saturação de oxigênio dissolvido, elaboraram um sistema subdividido em zonas. Baseado neste sistema, a confluência dos rios Pirapama e Jaboatão pode ser classificada tanto como área poluída, como supersaturada. A área no período invernal, nos estágios de baixa-mar e enchente, apresenta-se com valores críticos, indicando poluição orgânica. Branco (2001), nesta mesma área de estudo observou na preamar taxas de saturação entre 50-100% e, 25-50% para a baixa-mar.

A alteração deste ecossistema, principalmente no estágio de baixa-mar, é devido ao contínuo lançamento de efluentes de tipo doméstico e industrial, comprometendo desta forma a qualidade da água. Este ambiente é suportado pela renovação das águas através dos fluxos de marés, possibilitando ao estuário uma condição de sobrevivência e mantendo o equilíbrio do sistema.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) é definida como a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar (oxidar) a matéria orgânica biodegradável, com auxílio de microorganismos, principalmente bactérias decompositoras, incubadas num período de 5 dias a 20°C, sendo um importante parâmetro para determinar indiretamente a quantidade de matéria orgânica presente no ambiente ou efluente considerado.

Segundo Falcão (2002), esta matéria orgânica pode ser originada de diferentes formas: lançamento de resíduos de animais (vísceras), do lançamento de esgoto e vinhoto de resíduos domésticos e/ou industriais diversos, da decomposição de animais e plantas mortos.

A DBO na confluência dos rios Pirapama e Jaboatão, apresentou baixos teores em relação à outras áreas estuarinas, durante os dois períodos estudados. Observou-se poucos valores (um no verão e três no inverno) acima dos 5 mg.L⁻¹, estabelecidos como limites

máximos permitidos pela Resolução nº20 do CONAMA (1986).

Durante a maré de sizígia no verão, a situação na confluência em relação à poluição orgânica apresentou-se aceitável, com percentuais de saturação de oxigênio acima dos 50%, baixa DBO, e relativamente baixos teores de nutrientes nitrogenados e fosfatados. Durante a quadratura a situação variou, mostrando baixos teores de oxigênio (quase 50% dos dados), baixa DBO (só um valor foi detectado acima dos 5 mg.L⁻¹).

No inverno ambos níveis de marés evidenciaram uma situação crítica na área de estudo em relação à poluição orgânica, embora os valores da DBO não foram indicadores de poluição. Os baixos teores de oxigênio dissolvido, percentual de saturação e altas concentrações de nutrientes nitrogenados e fosfatados foram os elementos que mais evidenciaram esta poluição, indicando que os processos de biodegradação estão ocorrendo ao longo dos rios, chegando a matéria orgânica na zona de confluência quase totalmente mineralizada.

Processos como o aumento da turbidez no período invernal, no seu percurso até a zona de confluência podem explicar a situação antes indicada.

O coeficiente de extinção da luz (k), baseado na leitura do disco de Secchi, entrega uma medida confiável do grau de turbidez que poderia estar afetando este processo. O aumento nas descargas de água doce, devido ao aumento nas quantidades de chuvas do período contribuiria na ocorrência deste processo (baixa DBO), provocando um aumento na turbidez (média de k_{inverno} : 3,3m; média de $k_{\text{verão}}$: 2,3m) (anexos 1, 2, 3, e 4). Este aumento na turbidez provocaria que a grande quantidade de material em suspensão gerado estaria composto de material particulado e dissolvido proveniente das zonas à montante da referida área, isto associado ao fato da matéria orgânica chegar degradada na sua totalidade à zona de confluência, demonstrando pelos altos teores de amônia, nitrito e fosfato.

Branco (2001), registrou no seu estudo na Barra das Jangadas para a estação 2 (próxima à confluência), teores baixos de DBO na preamar e baixa-mar durante ambos os períodos do ano (preamar janeiro 2000: 0,35 mg.L⁻¹; julho 1999: 0,21 mg.L⁻¹; baixa-mar janeiro 2000: 0,35 mg.L⁻¹; julho 1999: 3,54 mg.L⁻¹).

O pH em ecossistemas aquáticos está diretamente ligado à quantidade de dióxido de carbono dissolvido e outros compostos, que, por sua vez, decresce pela atividade fotossintética e aumenta devido à respiração (Santos, 2000), podendo ser causa de muitos fenômenos químicos e biológicos. Por exemplo, o pH também controla a forma de amônia não ionizada (NH₃) e ionizada (NH₄⁺). O pH menor que 7 é caracterizado por NH₃,

enquanto que NH_4^+ representa 95% do total de amônia a um pH de 8,1 (Millero & Sohn, 1996).

De Jonge & Villerius (1989), observaram que este parâmetro pode influenciar as concentrações de fosfato, uma vez que a calcita, de origem marinha com um pH elevado, adsorve fosfato. Quando transportada para o nível superior de um estuário, onde o pH é mais baixo, a calcita é dissolvida e o fosfato liberado.

Além desse composto, o pH também exerce uma forte influência sobre a toxicidade de outros parâmetros químicos, tais como o ácido sulfídrico (H_2S), que aumenta seu percentual em pH ácido, e os metais pesados, cujos compostos tendem a se redissolver em meio ácido, tornando-os mais tóxicos e biodisponíveis (Vinatea Arana, 1997).

As águas naturais, em geral têm pH compreendido entre 4 e 9 e, principalmente nos oceanos, são levemente alcalinas devido à presença de carbonatos e bicarbonatos e de metais alcalinos e alcalinos terrosos (Esteves, 1998).

Segundo Kleerekoper (1990), o pH das águas naturais varia entre 3 e 10, sendo bastante raros os valores abaixo de 6 e acima de 9.

A Resolução nº20 do CONAMA (1986), cita para os corpos de água enquadrados na Classe 7 valores entre 6,5 a 8,5 como dentro dos limites normais.

Quanto ao potencial hidrogeniônico na referida área, seus valores apresentaram-se durante o verão dentro dos valores exigidos por esta resolução. Portanto, neste período, o pH apresentou um equilíbrio no sistema em relação aos processos químicos e biológicos.

No inverno a situação é distinta da anterior, apresentando alguns valores extremos e fora dos limites exigidos pela CONAMA (loc.cit.). Os altos teores de pH no inverno (2 valores acima de 8,5), estão ligados ao estágio de preamar (influência marinha no sistema), a altos teores de oxigênio dissolvido e taxa de saturação e a baixos teores de nutrientes inorgânicos nitrogenados, fosfatados e silicato. Enquanto, os baixos teores de pH (2 valores abaixo de 6,5), estão associados ao estágio de baixa-mar, e altos teores de nitrito, nitrato, fosfato e silicato.

Okuda *et al* (1960a), registrou baixos teores nos rios Pirapama e Jaboaão em comparação ao rio Capibaribe, sendo atribuído à maior poluição das águas destes rios, provenientes das usinas de açúcar existentes nas suas margens.

Branco (2001), para a Barra das Jangadas, cita uma média anual de 8,16 e 7,90 para a preamae e baixa-mar respectivamente, sem evidenciar uma sazonalidade.

Similar ao observado por Flores Montes (1996) no Canal de Santa Cruz, os baixos teores foram registrados no período chuvoso. A alta variação no inverno seria indicativo

das oscilações da coluna de água entre uma condição oxidante a outra redutora, provocada pelo ciclo de marés. Os valores mais elevados foram observados nas preamares, enquanto que nas baixa-mares existe uma influência fluvial maior, com menor oxigênio, maior quantidade de matéria orgânica e aumento na turbidez das águas, especificamente nos horários noturnos. Este fato é atribuído à taxa de respiração produzida pelo fitoplâncton, aumentando a demanda de oxigênio dissolvido, e conseqüentemente aumentando das taxas de dióxido de carbono, fazendo diminuir assim o pH.

Braga *et al.* (2000), observou na Baixada Santista-SP, Brasil, que a influência dos efluentes industriais e domésticos na zona interna do sistema estuarino provocou uma diminuição do pH.

Os nutrientes como fatores importantes no ecossistema aquático, estão funcionalmente envolvidos nos processos de vida dos organismos no oceano, lagos, rios e estuários. Desde o ponto de vista oceanográfico, o término “nutriente” tem sido aplicado quase exclusivamente às frações inorgânicas dos principais elementos, como amônia, nitrito, nitrato, fosfato e silicato.

Os principais sais nutrientes dissolvidos na água são os nitrogenados inorgânicos dissolvidos (NID), fosfato e silicato, os quais condicionam o desenvolvimento e produção dos organismos fitoplantônicos (Flores Montes, *loc.cit.*).

A entrada de nutrientes é intensificada em estuários com elevada concentração populacional nas suas margens (Mackas & Harrison, 1997; Braga *et al.*, *loc. cit.*; Pereira filho *et al.*, 2003) em função do aporte de efluentes domésticos e industriais, além de efluentes agrícolas, podendo provocar a eutrofização excessiva no meio, particularmente em ambientes com uma baixa hidrodinâmica. Outras fontes de nutrientes são as descargas fluviais (Boynton *et al.*, 1992; Fan & Jin, 1989; Chester, 1993); águas da drenagem terrestre (Chester, *loc. cit.*), ressuspensão de nutrientes depositados ou regenerados no sedimento (Chester, *loc. cit.*; Baumgarten & Pozza, 2001).

Dentro do ciclo do nitrogênio, este elemento altera-se entre varias formas e estados de oxidação. No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas químicas: (a) nitrogênio molecular, (N_2) em equilíbrio entre a água e atmosfera (forma gasosa); (b) nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão); (c) nitrito (NO_2^-); (d) nitrato (NO_3^-) e (e) nitrogênio amoniacal (NH_3 , NH_4^+ , uréia, ácido úrico, etc.). Esta última forma de nitrogênio está presente em duas formas dissolvidas: o amoníaco ou amônia não ionizada (NH_3) e o íon amônio (NH_4^+), cujas proporções relativas dependem do pH, da

temperatura e da salinidade.

Segundo Baumgarten & Pozza (2001), diversos autores têm concordado em chamar o NH_4^+ de amônia ionizada e o NH_3 de amônia não ionizada. Por outro lado, a soma de $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ pode ser chamada simplesmente de amônio, amônia total ou nitrogênio amoniacal.

A amônia é geralmente um nutriente importante, pois é limitante para o crescimento do fitoplâncton. Não é a forma mais estável de nitrogênio, sendo uma chave intermediária no ciclo do nitrogênio (Catalano *apud* Flores Montes, 1996).

Day *et al.* (1989), cita a concentração de 5 μM de amônio como normal em ambientes estuarinos não contaminados. A Resolução nº20 do CONAMA (1986), cita para a Classe 7 (águas salobras) exclusivamente para amônia não ionizada, sendo esse limite de 0,4 mg.L^{-1} (cerca de 28,57 μM). Segundo Koroleff (1983), em águas sem poluição e oxigenadas as concentrações raramente passam das 5 $\mu\text{M.L}^{-1}$ de amônia total.

A FEPAM *apud* Baumgarten & Pozza, (*loc. cit.*), estabeleceu um limite de 0,02 mg.L^{-1} de amônia (cerca de 1,43 μM), para águas salobras. Para o presente trabalho, foi usado o limite máximo deste parâmetro para águas não contaminadas de 5 μM .

Processos tais como absorção, remineralização, nitrificação e transporte, determinam a concentração e distribuição da amônia em um determinado local (Ward *apud* Flores Montes, *loc.cit.*).

As concentrações de amônia na área foram baixas durante a sizígia no verão evidenciando o processo de nitrificação completa do amônio, resultante da decomposição da matéria orgânica. Isto é evidenciado, ao observar as concentrações de nitrito mais baixos que as de nitrato. Em síntese, a quantidade de nitrogênio na área está na forma: $\text{NO}_3 > \text{NO}_2 > \text{NH}_3$. Isto é favorecida pela maior concentração de oxigênio dissolvido, que é influenciado pela dinâmica da maré de sizígia. Neste nível de maré e durante esta época do ano, há uma tendência da recuperação da qualidade da água neste local, e um aumento na capacidade autodepuradora, processo que é comum em ambientes oxidantes e com boa renovação de água. No nível de quadratura, as condições começam a mudar, evidenciando maiores concentrações da amônia, como também de nitrito e nitrato. Por outro lado, mesmo neste nível de maré, há evidências acentuadas de nitrificação, favorecido pelas concentrações de oxigênio dissolvido e sua taxa de saturação.

Segundo Santos *et al.* (1987), altos teores de amônia nesta época do ano são indicativos de aportes de despejos domésticos.

A CPRH (2001), no seu relatório sobre o monitoramento mensal (17/01) na Bacia do rio Jaboatão, um dia após o último dia de coleta deste estudo, registrou uma concentração de 2,63 mg/L de amônia (cerca de 187,9 μM) na estação mais próxima à desembocadura deste rio. O comentário final para as concentrações nesta estação, estaria associado à poluição causada por efluentes industriais, agroindustrial e doméstico.

Outra causa importante para o aumento nas concentrações de amônia neste nível de maré, indicam o aumento nos aportes de compostos nitrogenados por parte dos efluentes provenientes da agroindústria canavieira, que neste período encontra-se no período da safra. A CPRH (2002), no seu relatório sobre a Bacia hidrográfica do rio Pirapama, indica que nos meses correspondentes ao período da safra (novembro-janeiro), existe uma redução substancial na qualidade da água na Bacia. Estes incrementos da amônia (4 valores acima de 5 μM), também estão associados à baixos teores de oxigênio dissolvido e percentual de saturação da água de fundo, a qual deve ser resultante da mineralização da matéria orgânica do sedimento. Segundo Fonseca *et. al.* (2002), o sistema bêntico pode contribuir adicionalmente aos despejos domésticos e industriais sem tratamento, elevando a concentração de nutrientes, principalmente no período de estiagem, quando o fluxo de água doce é menor.

Windom & Niencheski (2003), na zona de mistura da Lagoa dos Patos-RS, Brasil, registraram altos teores de amônia nas amostras de fundo, os quais estariam associados ao “input” pelos sedimentos de acordo o seu potencial redox.

Esta estratificação vertical temporária é principalmente associada à estabilidade da coluna de água, que impede a homogeneização vertical na maré de quadratura.

Vários autores têm mencionado que, as altas concentrações de amônia observadas neste nível de maré, são quimioindicadoras dos aportes antrópicos e agroindustriais (usinas), sustentados por processos biológicos como ação de bactérias redutoras (denitrificação), físico-químicos (desagregação), químicos (redução) e transporte (difusão, advecção) através da coluna de água, incrementados no estágio de baixa-mar, que possui também uma maior estabilidade na coluna de água impedindo sua homogeneização.

As altas concentrações registradas no inverno, tanto na maré de sizígia como de quadratura, são evidências de um incremento nos aportes antrópicos diretos e indiretos, influenciados pelo aumento na descarga fluvial produto das maiores precipitações.

Esta marcada diferença entre ambas estações durante o ano pode estar associada também aos baixos níveis de atividade biológica durante esta estação, onde a amônia é menos utilizável, atribuível à menor intensidade de luz neste período.

Arenas & de la Lanza (1990), observaram em Lagoas costeiras tropicais no México, que 25% da amônia pode ser diminuído pela produção primária, 30% pela microbiota, e menos de 50% fixado por trocas nas reações físico-químicas.

A alta porcentagem de amostras (22=43,4%) com concentrações acima do nível permitido no presente trabalho, segundo Day *et al.* (1989) e Koroleff (1983), mostram que outros fatores podem estar envolvidos na redução da qualidade da água. Dentro dos fatores antes indicados como o aumento na precipitação pluviométrica e conseqüentemente o aumento da descarga fluvial, se somaria o fator da turbidez no sistema, principalmente na baixa-mar, evidenciado os altos coeficientes de extinção da luz em ambos níveis de maré ($k=3,3$). Este aumento na turbidez é produto das características físicas do solo, principalmente argiloso, deste tipo de ecossistema, fazendo com que um aumento na hidrodinâmica acelere processos como desagregação de elementos, difusão e advecção do sedimento para a coluna de água. Estes fatores acelerariam o processo de mineralização da matéria orgânica nas zonas de descargas dos dejetos. Nestas zonas a alta concentração de amônia poderia ser conseqüência dos lançamentos dos efluentes sem tratamento e, portanto, rico em restos de produtos de limpeza amoniacais, resíduos urinários e matéria orgânica protéica, a qual lançada na água se decompõe (mineraliza) com liberação de uma alta taxa de amônia no meio. Esta matéria orgânica mineralizada chegaria à zona de junção degradada na sua totalidade. Segundo Baumgarten *et al.* (2001), este aumento também poderia estar associado com a diminuição por parte dos produtores primários (controladores ou reguladores deste nutriente). Além do anterior, as características redutoras do fundo da coluna de água, incrementariam o processo de amonificação na água, aumentando ainda mais as concentrações na área.

Baumgarten *et al.* (*loc.cit.*), no estuário do Saco da Mangueira-RS, Brasil, associou as maiores concentrações de nutrientes e as menores salinidades, ao aumento do índice pluviométrico. Estes autores observaram que as concentrações médias de amônio na água intersticial da interfase sedimento-água, foi entre 7 a 11 vezes maior que as da coluna de água, e que as concentrações desta última se vê incrementada de forma mais evidente quando os aportes são antrópicos não tratados, inclusive maiores que quando não existe aportes de qualquer espécie.

No ciclo do nitrogênio, o íon nitrito representa o estado intermediário entre o amônio e o nitrato. Em baixas concentrações de oxigênio, pode haver redução do nitrato (denitrificação) parcial, elevando as concentrações deste elemento. Segundo Baumgarten & Pozza (2001), a presença de altos teores de nitrito nas águas significa uma alta atividade

bacteriana e déficit de oxigênio. Valores altos podem ser encontrados nas águas de esgotos domésticos, podendo ser utilizado como indicador de poluição orgânica.

Segundo Chester (1993), aproximadamente 50% do nitrogênio fixado é liberado como nitrato e nitrito, e são 10 vezes menores do que as concentrações de nitrato (Margalef, 1974).

Aminot & Chaussepied (1983), citam a concentração de até 1 μM de nitrito como normal em ambientes estuarinos não-contaminados.

A Resolução nº20 do CONAMA (1986) tem o limite de 1 mg.L^{-1} de N-NO_2^- (ou cerca de 71 μM), para águas doces e salinas, porém não existe uma referência para esse íon em águas salobras.

Existem várias fontes deste nutriente, entre elas temos as fontes autóctonas, que vem da remineralização da matéria orgânica, e as alóctonas ou externas, que vêm dos processos de lixiviação no continente, atmosfera e as “novas” fontes de nitrogênio inorgânico, originado principalmente das atividades antrópicas (Legendre & Rassoulzadegan *apud* Flores Montes, 1996).

Dentro do sedimento podem ocorrer duas importantes atividades como a nitrificação (incompleta do amônio) e a denitrificação, em ausência de oxigênio (Baumgarten & Pozza, *loc.cit.*).

Os resultados aqui obtidos estiveram dentro de um nível aparentemente normal para a maré de sizígia no verão, mostrando-se a coluna de água oxigenada, registrando-se valores abaixo de 1 μM , citado por Aminot & Chaussepied (*loc. cit.*), como normal para ambientes estuarinos não contaminados. Foi observada somente uma amostra acima deste valor (1,19 μM). Isto indica que neste período, a nitrificação na zona está ocorrendo normalmente devido à presença de altos percentuais de saturação de oxigênio dissolvido na superfície e no fundo.

Durante a maré quadratura, a situação mostra um deterioramento na qualidade da água. Da mesma maneira que foi observado para a amônia, os teores aumentaram, diminuiu o oxigênio e sua taxa de saturação.

A amônia esteve presente em maiores quantidades em 22% do total das amostras.

Como essas águas estavam fracamente oxigenadas principalmente na camada de fundo, pode-se concluir que nestas condições o processo de nitrificação da amônia estaria incompleto. Como o nitrato estava relativamente baixo e o nitrito mais elevado provavelmente poderia também estar ocorrendo o processo de desnitrificação.

Segundo Day *et. al.* (1989), as concentrações de cada um dos nutrientes nitrogenados são fortemente influenciadas pelo ciclo dinâmico do oxigênio do meio.

As evidências de ocorrência destes processos é observado na análise de componentes principais (ACP), onde a correlação inversa da salinidade com o nitrito e amônia, mostra o processo de denitrificação ocorrendo em condições menos salinas no estágio de baixa-mar.

Quanto à variação nictemeral do nitrato neste período, que foi pouco definida, estaria em acordo com outros estudos reportados por Texeira e Gaeta (1991) na zona estuarina de Ubatuba-SP, Brasil, e Flores Montes (1996) no Canal de Santa Cruz-PE, Brasil.

As variações do nitrito no período invernal acompanham as da amônia, mostrando aumento nas concentrações em 47% dos casos (23), na maré de sizígia e 31% (5), na maré de quadratura, segundo o limite de 1 μM .

As altas concentrações no período invernal (média do verão: 0,51 μM ; média do inverno: 0,78 μM) explicam os aumentos deste parâmetro influenciado pela descarga fluvial (Baixa-mar).

O nitrato é a forma oxidada mais estável do nitrogênio em solução aquosa, sendo um importante nutriente dissolvido para os produtores primários. É regenerado por via bacteriana (nitrificação ou oxidação total do amônio) a partir do nitrogênio orgânico, que pela decomposição da matéria orgânica se transforma em nitrogênio amoniacal (amonificação) (Baumgarten & Pozza, 2001). Portanto, a produção do nitrato resulta da oxidação bacteriana do amônio, tendo o nitrito como intermediário.

No processo fotossintético, o amônio é a forma diretamente assimilável pelo fitoplâncton, enquanto a uréia e o nitrato, são as formas secundárias. O nitrato quando assimilado, deve se reduzir obrigatoriamente à forma de amônia dentro da célula com um equivalente a 8 elétrons/mol de NO_3^- por processo enzimático, havendo, nesse caso, gasto significativo de energia pelos organismos que assimilaram o nitrato (Wheeler & Kokkinakis, 1990 ; Baumgarten & Pozza, *op. cit.*).

Segundo Esteves (1998), o nitrato, ao lado do íon amônio, é um dos mais importantes nutrientes encontrados em ecossistemas aquáticos, fornecendo nitrogênio para os produtores primários, que formam a base da cadeia trófica nestes ambientes. Este autor menciona que o processo, a partir do íon amônio, ocorre através de reações químicas

produzidas por dois gêneros de bactérias, a saber:

1. Oxidação do amônio a nitrito (NO_2^-): $2\text{NH}_4^+ + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2^- + 4\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$ (gênero nitrosoma)
2. Oxidação do nitrito a nitrato (NO_3^-): $\text{NO}_2^- + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$ (gênero nitrobacter).

Os processos bioquímicos de oxidação do amônio a nitrito e deste para nitrato (nitrificação), implicam consumo de oxigênio dissolvido do meio, o que pode afetar a vida aquática quando a oxigenação do ambiente é menor do que o consumo por esses processos.

As equações acima indicadas mostram a produção de íons nitrito e nitrato consumindo oxigênio em uma proporção de oito partes de oxigênio molecular para três de íon amônio (após calcular os pesos moleculares e reduzir a fração à forma mais simples).

Aminot & Chaussepied (1983), citam concentrações até 15 μM de nitrato como normais em ambientes estuarinos não contaminados. A Resolução nº20 do CONAMA (1986), cita uma muito alta concentração limite desse íon nas águas doces e salinas, como sendo 10 mg.L^{-1} (cerca de 714 $\mu\text{Moles.L}^{-1}$), e não se refere ao mesmo para as águas salobras.

Os valores obtidos no presente trabalho indicam que as concentrações de nitrato não apresentaram uma variação acentuada entre verão e inverno. Diferente dos outros compostos inorgânicos nitrogenados, o nitrato mostrou sempre concentrações abaixo das especificadas por Aminot & Chaussepied (*loc. cit.*) como normais em ambientes não poluídos. Isto evidencia a forte influência de oxigênio no meio, registrando na maré de sizígia no verão teores abaixo de 6,41 ml.L^{-1} . Durante a maré de quadratura, a situação variou na maioria dos casos para uma sequência de maior quantidade de $\text{NO}_3 > \text{NH}_3 > \text{NO}_2$, mostrando que em alguns momentos, especificamente nos estágios de baixa-mar, o déficit de oxigênio dissolvido provoca um estado de nitrificação incompleta do amônio.

Baumgarten *et. al.* (1998), no seu estudo nas águas receptoras da cidade do Rio Grande-RS, Brasil, indicam que o aumento nas concentrações de nitrito e diminuição nas de nitrato, foi devido às carências do oxigênio do meio nos períodos de vazante, onde o aporte fluvial tem uma maior influência, provocando uma nitrificação incompleta do amônio oriundo dos efluentes da cidade de Rio Grande.

Segundo Carmouze (1994), a velocidade de regeneração ou formação do nitrato é, em geral, menor do que a assimilação pelos produtores primários, resultando em fracas concentrações de nitrato na coluna de água.

No inverno o processo de nitrificação indicou alterações, mostrando uma mudança

na sequência do ciclo do nitrogênio para $\text{NH}_3 > \text{NO}_3 > \text{NO}_2$, tanto na sizígia quanto na quadratura. Isto evidencia a redução da qualidade das águas, produto no aumento das condições do balanço hídrico, hidrodinâmica do sistema e o grande aporte de despejos domésticos ricos em compostos nitrogenados.

Fonseca *et. al.* (2002), demonstraram em um estudo comparativo entre o número de habitantes e as concentrações de nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal entre 1980 e 2000 na Lagoa costeira Conceição-SC, Brasil, que com o aumento populacional, as concentrações de nitrito e nitrogênio amoniacal aumentaram e o nitrato diminuiu ou permaneceu constante.

Em geral, o nitrato está em menor concentração nas águas de superfície, o qual não foi claramente demonstrado neste estudo, mostrando a homogeneidade na coluna de água.

Branco (2001), obteve maiores concentrações durante o período chuvoso, na baixa-mar, semelhante ao obtido por Okuda *et. al.* (1960b) na mesma área. Esta sazonalidade foi também reportada no estuário do Rio Ipojuca por Koenig (1997), no estuário do rio Jaguaribe por Santos *et. al.* (2000), e no Canal de Santa Cruz por Flores Montes *et.al.* (2002).

As similitudes na sazonalidade e no período de estiagem com os estudos anteriores na área é evidente. As diferenças estão nas quantidades, sendo maiores as concentrações de nitrito e nitrato no presente trabalho em comparação a esses estudos.

O fósforo dissolvido, embora presente em pequenas quantidades na água do mar, em torno de $1,00 \mu\text{M}$ (Aminot & Chassepied, 1983), destaca-se como um dos constituintes mais importantes dos oceanos, devido a sua função de nutriente primário.

Em águas naturais, pode-se encontrar o fósforo predominantemente na forma de fosfatos (orto, ou íons do ácido ortofosfato) em solução, em partículas ou detritos (fósforo particulado orgânico ou inorgânico), ou ainda incorporado à estrutura de organismos aquáticos (fósforo orgânico) (Baumgarten & Pozza, 2001).

A matéria orgânica de animais e vegetais além da água, contém carbono, nitrogênio e fósforo, os quais são encontrados sob a forma de aminoácidos (constituintes das proteínas), amidos, gorduras, açúcares e compostos de fósforo, tal como o ATP (adenosina trifosfato) (Lehninger, 1985).

O intemperismo continental que age sobre as rochas, contendo em média 0,1% de fosfato é a maior fonte de fósforo para os rios, que, por sua vez, são as principais fontes de fósforo para os oceanos. Grande parte do input de fósforo proveniente dos rios está na

forma particulada. Estas partículas podem ser removidas rapidamente na costa através do processo de sedimentação (Benitez-Nelson, 2000).

Durante a drenagem, o material em suspensão e o fósforo a ele associado, experimentam diversas mudanças de salinidade, pH, e às vezes, de potencial redox no estuário. A mudança dessas variáveis ambientais pode influenciar a troca de fósforo inorgânico entre água e o material particulado (Chambers *et al*, 1995).

O fósforo é quase totalmente ausente na atmosfera, e a única adição relevante de fósforo no oceano é proveniente da água do rio (Chester, 1993; Tyrrell, 1999).

Os compostos de fósforo passam por diversos processos no ambiente marinho, resultando na formação de ortofosfatos na fase final da mineralização. Os ortofosfatos são incorporados pelos organismos marinhos e também podem formar compostos insolúveis com cálcio, ferro e alumínio. Dentro dos sedimentos, o fosfato pode ocorrer na água intersticial, adsorvido ou ligado a partículas (minerais ou compostos orgânicos) (Graça & Bolalek, 1998).

As espécies de fósforo que participa do processo de fotossíntese estão sob a forma inorgânica dissolvida, entre elas HPO_4^{2-} (87%), PO_4^{3-} (12%) e H_2PO_4^- (1%) (Lee *apud* Aguiar, 2002). Esses compostos geralmente ocorrem na forma de pares iônicos com cálcio e magnésio, o que justifica o uso de fosfatos como amaciante de águas nos processos industriais, contribuindo para a poluição dos sistemas hídricos. Os descartes de fosfatos nestes compartimentos irão nutrir os organismos aquáticos provocando um crescimento excessivo do fitoplâncton e, como consequência direta, o consumo de oxigênio dissolvido devido também aos processos de respiração e decomposição da matéria orgânica podendo causar a hipóxia das águas (Aguiar, *loc.cit.*). Portanto as principais fontes de fosfato para o oceano através dos rios são: o intemperismo de rochas, os fertilizantes utilizados na agricultura, a decomposição da matéria orgânica, a dissolução dos minerais argilosos associados aos sedimentos, e os esgotos que apresentam grandes quantidades de materiais fosfatados (detergentes).

Nos estuários não poluídos, as concentrações normalmente variam em torno de 1,2 μM (Baumgarten *et. al*, 1998), ou 0,025 mg.L^{-1} (cerca de 0,81 μM) (Von Sperling *apud* Baumgarten & Pozza, 2001).

A máxima concentração de fosfato segundo Liss (1976) não deve ser superior a 1,2 μM ou 1 μM segundo Aminot & Chaussepied (1983). A Resolução n°20 do CONAMA (1986), somente cita limites de fosfato para águas doces, não se referindo às águas salobras. Neste estudo o valor a ser considerado como limite será a média entre os estudos

anteriormente citados para estuários não contaminados, ou seja, 1,00 μM .

A sazonalidade definida mostrada no presente trabalho difere dos estudos efetuados anteriormente por Branco (2001) e Okuda *et al.* (1960b) na área, onde a sazonalidade não estava bem definida em relação a este parâmetro. O relatório do monitoramento efetuado pela CPRH na Bacia hidrográfica do rio Jaboatão durante 2001 evidencia altos teores durante todo o ano, sendo menores no mês de janeiro (cerca de 7,7 μM) e maiores no mês de julho (cerca de 9,0 μM). Estes teores são os registrados na estação próxima à desembocadura do rio. A conclusão final da CPRH indica poluição causada por efluentes industrial, agroindustrial e doméstico (CPRH, 2001).

No presente trabalho baixos teores evidenciados durante o verão (um valor acima de 1,0 μM), indicam a atividade consumidora por parte do fitoplâncton, onde o fósforo apresenta um comportamento limitante para o crescimento da biomassa fitoplanctônica. As relações N:P (Relação de Redfield), mostraram durante a sizígia uma deficiência no fosfato durante o estágio de baixa-mar (20,4: 1), enquanto que para o estágio de preamar (maior influência marinha), o fator limitante foi o inverso (8,65: 1). Este fato é citado por Hecky & Kilham *apud* Conley (2000), os quais afirmam que em sistemas de água doce, o fósforo freqüentemente age como agente limitante no crescimento do fitoplâncton.

Durante a quadratura (baixa-mar) a relação N:P no fundo aumentou (25:1), provocando uma estratificação vertical deste elemento. Este relativo enriquecimento de nitrogênio inorgânico comparado ao fosfato, é provavelmente devido ao “input” dos efluentes das indústrias açucareiras, e adsorção do fosfato sobre a forma particulada, e principalmente do consumo de fosfato por parte da biomassa fitoplanctônica na superfície.

A alta ocorrência de valores elevados de fosfato durante o inverno, com concentrações acima de 1 μM supera ao observado no verão, 62,5% (30 casos) na sizígia e, 50% (8 casos) na quadratura. Somado às baixas relações N:P principalmente na baixa-mar, indicaria que a principal fonte de fosfato inorgânico dissolvido neste período do ano é o intemperismo dos minerais da crosta terrestre através dos rios como via de transporte, incrementado pelo aumento nas precipitações, descarga fluvial, e os “inputs” antrópicos (através dos polifosfatos usados em detergentes).

Os aportes antrópicos estariam sendo afetados no seu percurso através dos rios e estuário, pela hidrolização dos polifosfatos que durante o seu percurso na água são transformados em ortofosfatos, aumentando ainda mais as quantidades no sistema. Segundo Baumgarten *et al.* (2001), a turbulência do sistema e/ou ressuspensões dos

sedimentos na interfase água-sedimento, estaria provocando uma quebra da barreira existente entre o fosfato armazenado abaixo da sub-superfície e o da coluna de água. Segundo Liss (1976) nos estuários não poluídos, as concentrações de fosfato variam em torno de 1,2 μM , devido a um sistema tamponante entre a coluna de água e a coluna sedimentar.

A disponibilidade de nutrientes é regulada pelo estado redox dos sedimentos adjacentes e principalmente na interfase com a água; a oxidação determina que o fósforo possa ser armazenado nos sedimentos e liberado por redução (Holm, *apud* Aguiar, 2002). Essa barreira segundo Baumgarten *et al.* (*loc.cit*), é mais intensa quando há estagnação da coluna de água. Segundo estes autores, esses processos quando acontecem, ocorrem através da difusão ou advecção para a coluna de água a partir da água intersticial, geralmente mais rica em fosfatos. As características físicas do solo (mangue) deste tipo de ecossistema baseado em material argiloso, silte, areia e lama favorecem essa ressuspensão, fazendo com que a barreira da interfase seja facilmente rompida, liberando para a coluna de água os fosfatos contidos na água intersticial da coluna sedimentar.

Sob condições de solos alagados o produto deste ambiente é a formação de sedimentos reduzidos, já que o alto conteúdo de matéria orgânica presente favorece a atividade microbiana. As bactérias decompõem a matéria orgânica sob condições anaeróbicas, reduzindo os íons sulfato a sulfeto e o Fe^{+3} a Fe^{+2} , levando à formação de pirita (FeS_2) (Ponnamperuma; Madruga *apud* Prada (2001). O processo descrito leva à redução de pH como ocorrido nesta época do ano na área estudada).

Sherman *et al.* (1998) destacaram a importância do fósforo neste tipo de ambiente e mencionaram que a dinâmica deste nutriente está estreitamente inter-relacionada à dinâmica do enxofre e ferro em ambientes estuarinos. Segundo esses autores, a concentração de fósforo pode ser fortemente regulada pela química do Fe e estado redox dos sedimentos. O ciclo redox do Fe é mediado por fatores físicos e biológicos, e principalmente em manguezais, a especiação do Fe é controlada pelas taxas de redução do sulfato e processos de oxi-redução dos sedimentos.

A maioria dos solos de regiões tropicais e sub-tropicais, graças ao seu avançado intemperismo, apresenta maior eletropositividade e adsorção aniônica, como a de fosfatos (Novais *et al.* *apud* Valladares *et al.*, (2003). Por outro lado, com o avanço do intemperismo, o fósforo inorgânico vai-se tornando mais intensamente adsorvido aos óxidos de Fe e Al, ao mesmo tempo em que aumenta a participação do fósforo orgânico no total de fósforo (Cross & Schelesinger *apud* Conte *et al.*, (2003).

Portanto, o fosfato através do seu percurso até a confluência no estuário, estaria sendo afetado por processos de desagregação na interface água-sedimento, com ajuda do aumento na hidrodinâmica provocando a remoção deste do fundo, e também à transformação dos polifosfatos (hidrolização), aumentando as concentrações na coluna de água. Devido a estes processos, as relações N:P sofreriam uma diminuição, embora as concentrações de compostos nitrogenados sejam elevados durante o período invernal (N:Psizigia: 8,0:1 e, N:Pquadratura: 9,10).

Segundo Conley (2000), na última década, vários estudos demonstraram que a alternância do nutriente limitante é uma característica comum em todos os estuários.

O óxido de silício é conhecido por ser uma parte essencial nas estruturas sólidas dos silicoflagelados, diatomáceas, alguns radiolários e esponjas. Ademais de ser considerado nutriente importante, o silício também é considerado nutriente refratário, e pode ser relacionado com metais como o zinco, que tem similitudes com seu perfil vertical (Muniz *et al.*, 1996).

Nos oceanos a concentração é baixa, chegando a cerca de 1 μM de Si. Em zonas costeiras e em regiões estuarinas, as concentrações são maiores, em média cerca de 150 μM . O silício não representa um poluente em potencial (Aminot & Chaussepied, 1983). No pH da água do mar (cerca de 8,2), o silício dissolvido encontra-se em um percentual de 95% sob a forma de ácido ortosilícico (H_4SiO_4) e, 5% sob a forma ionizada H_3SiO_4^- . Segundo Millero & Sohn, (1996), os teores de SiO_2 variam na água do mar de 0-200 μM .

O silicato reativo dissolvido encontra-se presente na água do rio exclusivamente como ácido silícico, e é devido principalmente ao intemperismo dos minerais de aluminossilicato e silicato, fontes antrópicas possuem um papel relativamente menor no suprimento do silício dissolvido para os rios (Chester, 1993).

Segundo Maybeck (1979), o silício dissolvido é o maior constituinte da água do rio, perfazendo um total de 10% do total de sólidos dissolvidos, e a média global da concentração tem sido estimada em 4,85 mg.L^{-1} (cerca de 80,83 μM). O silício está também presente na água do rio em uma variedade de formas particuladas, as quais incluem os minerais argilosos (ex. quartzo), e material biológico (ex. esqueletos de diatomáceas) (Chester, 1993). Millero & Sohn (1996), cita que estes materiais incluem ademais de quartzos, os feldespatos.

Segundo Webb *apud* Santos (2000), a disponibilidade e distribuição do silicato no meio aquático difere do ciclo do nitrogênio e do fósforo. O processo de utilização é biológico, enquanto que o da produção (remineralização) é basicamente químico, conferindo aos sedimentos um papel mais importante do que nos casos do nitrogênio e do fósforo.

Bioquimicamente o silicato em comparação com os demais nutrientes não se enquadra nos mais utilizáveis, como também é menos rápida a sua degradação (Santos, *loc.cit.*). No presente trabalho verificou-se uma grande diferença sazonal, com concentrações deste parâmetro mais elevadas no inverno.

Durante o verão, e sob a influência da maré de sizígia, verificou-se concentrações menores que 150 μM , segundo Aminot & Chaussepied (1983), com teores mais próximos aos especificados por Maybeck (*loc.cit.*) (80,83 μM). Porém os teores registrados são maiores aos detectados por Branco (2001) em janeiro de 2000 (10,35 μM na preamar, e 37,49 μM na baixa-mar).

Travassos (1991), no rio Capibaribe observou uma variação sazonal na concentração do silicato similar a este estudo, sendo os teores mais elevados no período chuvoso, e as mínimas no período seco, com um valor médio de 65,879 μM .

Feitosa *et. al.* (1999), no estuário da Bacia do Pina-PE, Brasil, registraram altos teores (máxima de 99,89 μM) no mês de julho.

De uma forma geral, se observa uma influência das marés, devido à diluição das concentrações durante a preamar, evidente durante os dois períodos sazonais.

As altas concentrações no período chuvoso são devido principalmente ao aumento do fluxo fluvial, por este nutriente ser de origem continental. Somado a isto, é importante considerar o menor consumo, provavelmente às menores densidades de diatomáceas neste período.

As concentrações durante o inverno ultrapassam à média reportada por De Mater *et. al.* (1983), para a foz do rio Amazonas de 135 μM . Santos (2000), na zona costeira do rio Amazonas, registrou como valor máximo 108,19 μM .

Segundo Balls (1994), a origem das altas concentrações do silicato devem-se às intensas atividades agrícolas realizadas nas margens dos rios adjacentes.

Kress *et. al.* (2002), registraram altas concentrações deste elemento do inverno no estuário Nicoya na Costa Rica, com uma mediana de 229,4 μM , fato atribuído ao intemperismo, e à influência do seu principal rio, que durante esse estudo teve um

incremento na descarga fluvial.

Lacerda (2004), no seu estudo sobre a série temporal do fitoplâncton no estuário da Barra das Jangadas, observou que a comunidade fitoplanctônica esteve caracterizada em ambos os períodos do ano pelas diatomáceas, representando quase o 50% do total dos grupos identificados.

A classificação da qualidade da água segundo o índice ACQUA_M mostrou que a condição mais crítica apresenta-se durante o período chuvoso, tanto para a sizígia como para a quadratura, principalmente nos estágios de baixa-mar.

Como foi demonstrado na análise dos componentes principais não foram detectadas diferenças importantes entre sizígia e quadratura, evidenciando que a qualidade da água do sistema depende da influência limnética através do estágio de baixa-mar carregando os componentes despejados das zonas urbanas com ajuda da descarga fluvial no inverno, e as forças de marés, incorporando em cada *inputs* de origem marinho oxigenação e diluição de nutrientes.

6.2. Hidrologia e fluxos ano 2003.

A hidrodinâmica estuarina condicionada primariamente à distribuição e ao transporte de materiais no sistema (e.g. matéria orgânica particulada, sedimentos, nutrientes, poluentes, clorofila, larvas, etc.) permite entender os vários processos que ocorrem nessa zona, principalmente os relacionados com a qualidade da água.

Nos sistemas estuarinos os processos de mistura, circulação e estratificação são governadas basicamente por três forçantes: a descarga de água doce, as correntes de maré e a transferência de quantidade de movimento através do cisalhamento do vento em sua superfície livre, associados às influências exercidas pela geometria do corpo estuarino e pela salinidade e padrões de circulação da região costeira adjacente (Kjerfve 1989; Miranda, 1996). Assim, o transporte de material em ambientes estuarinos tem sua principal origem nos processos de advecção e difusão turbulenta, sendo a contribuição por difusão molecular insignificante (Medeiros, 1991).

Segundo Lins (2002), as marés na costa resultam da propagação das marés oceânicas. A forma da linha de costa, presença de baías, estuários, ilhas, etc., modificam bastante o sinal das marés, influenciando sua altura e características, podendo resultar tanto na ampliação do sinal das marés por ressonância e reflexão, como na sua redução, pela dissipação da energia pelo atrito de borda e de fundo. No estuário da Barra das Jangadas as baixas profundidades, acidentes orográficos (banco de areia perto da margem lateral esquerda na boca do estuário) e a altura sobre o nível do mar são fatores que podem influenciar a energia das marés e modificam a simetria de sua curva (desigualdade semi-diurna).

No sistema estuarino da Barra de Jangadas, durante o período de estudo (julho de 2003), as concentrações de nutrientes e sal registraram variações ao longo do ciclo temporal estudado. Assim, como foi observado no inverno de 2001 as concentrações dos nutrientes inorgânicos apresentaram concentrações elevadas, principalmente amônia, fosfato e silicato.

As altas concentrações registradas para a amônia, são evidência de um incremento nos aportes antrópicos diretos e indiretos influenciados pelo aumento na descarga fluvial neste período.

No período chuvoso de 2001 as concentrações de amônia apresentaram uma média de 6,06 μM na baixa-mar, com um valor máximo de 9,11 μM . Evidenciou-se ainda um aumento significativo dois anos após na área de estudo (média em julho de 2003: 12,01

μM).

O aumento nas concentrações para o ano de 2003 pode estar associado a fatores como o aumento da densidade populacional e industrial nas zonas ribeirinhas dos rios Pirapama e Jaboatão, como também a um incremento na descarga fluvial. Estes fatores levariam a uma maior quantidade e menor qualidade dos lançamentos dos efluentes sem tratamento e, portanto, ricos em restos de produtos de limpeza amoniacais, e matéria orgânica, que uma vez lançada na água se mineraliza liberando uma alta taxa de amônia no meio.

Os altos teores verificados nos estágios de baixa-mar e enchente evidenciam respectivamente o aporte por parte dos rios e a mistura no estágio seguinte. As altas concentrações na enchente são reduzidas paulatinamente quando o estágio de preamar chega a seu estofo, renovando a água, oxigenando-a, e dando à zona estuarina uma maior capacidade de depuração, que é mantida até a chegada do seguinte estágio de maré, onde a influência fluvial novamente se faz sentir. As quantidades transportadas da amônia para a zona costeira adjacente foram em média $36,25 \text{ kg.h}^{-1}$, com um balanço líquido positivo de $174,81 \text{ kg}$ no período de 24 horas. As altas quantidades exportadas nesses fluxos são principalmente provenientes dos estágios de baixa-mar e vazante.

Pereira-Filho *et. al.* (2001), no estuário do rio Camboriú-PR-Brasil, observaram altas concentrações de amônia ($29,7 \mu\text{M}$), determinando transportes de até $14,9 \text{ kg.h}^{-1}$ na seção transversal estudada. Neste caso a seção de estudo possuía uma área de cerca de $1/3$ menor do que a área transversal de Barra das Jangadas e com velocidades de cerca de metade das obtidas em nosso trabalho.

Estes autores indicam que a forma predominante de NID foi à amônia e que esta se apresentou principalmente com maiores quantidades nos horários de tarde e noite.

Similar ao estuário de Camboriú, as variações nos fluxos de amônia na zona de estudo de Barra das Jangadas apresentaram seus máximos nesses horários, sendo atribuídos por esse autor à atividade biológica e decomposição da matéria orgânica, tendo como origem às descargas ilegais do Balneário dessa cidade distantes 3 km da zona estudada.

Assim como a amônia, o nitrito e o nitrato apresentaram comportamentos similares, sem mostrar concentrações tão altas como o composto anterior. Dentro da variação temporal é possível diferenciar a relação inversa com a salinidade, onde fica evidenciada a influência fluvial nas variações destes elementos.

Nitrito e nitrato mostraram comportamentos similares entre os dois períodos estudados (julho de 2001 e 2003), sem apresentar mudanças importantes. Sua distribuição

espacial obedeceu principalmente a hidrodinâmica da área (velocidades de enchente e vazante) da confluência e a batimetria do canal estuarino. Em geral, nitrito e nitrato estão em menores concentrações nas águas de superfície. Isto não foi claramente demonstrado neste estudo, (homogeneidade na coluna de água).

A concentração do nitrogênio inorgânico dissolvido total (NID), variou entre 1,61 e 50,52 μM (média de 17,13 μM), sendo a amônia representante do 70% do NID. Estes altos teores estão associados com o fluxo da água doce no sistema, principalmente nos estágios de vazante e baixa-mar, evidenciando o grande aporte de despejos líquidos ricos em compostos nitrogenados, e provocando a redução da qualidade das águas na área. Isto segundo Miranda *et al* (2002), indica que a concentração média de um poluente qualquer na seção transversal é diretamente proporcional à concentração lançada ao rio (efluente doméstico ou industrial), e à fração de água doce na posição de lançamento do poluente. Quanto menor for a concentração residual verificada no sistema, mais eficiente é o estuário para remover eventuais poluentes. Portanto, as variações longitudinais destes elementos dependerão diretamente do volume de água doce.

O aumento nas concentrações da amônia, principal componente do NID no ano de 2003 está relacionado diretamente com as quantidades de água doce no sistema, intensidade das correntes de vazante e atividade biológica, e sua estabilidade temporal com os processos de difusão turbulenta que contribuem para o transporte de sal estuário acima em todas as profundidades, oxigenando e melhorando a qualidade da zona de mistura.

O fósforo dissolvido, embora presente em pequenas quantidades, destaca-se como um dos principais constituintes reguladores no equilíbrio do ecossistema estuarino, sendo o intemperismo continental que age sobre as rochas a principal fonte natural de fósforo para os rios, sendo posteriormente carregada para a zona costeira (Aguilar, 2002).

Além deste fator, outras fontes de aporte ao sistema aquático de compostos fosfatados resultam na formação de ortofosfatos, como aqueles provenientes dos esgotos domésticos e industriais, fertilizantes usados na agricultura, a decomposição da matéria orgânica, e a dissolução dos minerais argilosos associados aos sedimentos.

A distribuição do fosfato verificada a partir dos dados de campo evidenciou estes aportes, principalmente durante a noite, onde a atividade fotossintética diminui e aumenta a quantidade deste composto no meio. Este comportamento foi observado nos fluxos de exportação totalizando em média um transporte de 86,66 kg brutos, com um balanço líquido positivo de 27,48 kg.d^{-1} . Este valor é similar àqueles observados em outros sistemas estuarinos eutrofizados, como, por exemplo, o estuário do rio Camboriú-PR (20,4

kg.d⁻¹), Pereira-Filho *et.al.*, (2001), e a entrada da Lagoa Lagartos, situada na região costeira tropical no México (10 kg.d⁻¹), Arenas e de la Lanza, (1990). Os picos nos fluxos de vazante são devidos provavelmente aos incrementos na descarga, diretamente proporcional à velocidade e aos horários de ocorrência.

As concentrações de silicato apresentaram as mais altas concentrações no período de 2003 (média 80μM). Seus fluxos transportados através da seção transversal chegaram a apresentar um balanço líquido de 1,6 ton.d⁻¹.

Segundo Maybeck (1982), o silício dissolvido é o maior constituinte da água do rio, perfazendo um total de 10% do total de sólidos dissolvidos. A média global de acordo com este autor tem sido estimada em 80,83 μM, valor que corresponderia ao ano de 2003 em Barra de Jangadas. Em nosso estudo do ano de 2001 as concentrações de silicato apresentaram uma média maior (147μM) que as observadas em 2003.

Segundo Lacerda (2004), no seu estudo sobre a variação temporal da comunidade fitoplantônica na Barra das Jangadas no ano de 2001, as diatomáceas foram as principais representantes dessa comunidade tanto no período seco como o chuvoso, correspondendo a cerca de 44% do total dos grupos de espécies. Esta informação, aliada aos fluxos estimados (média 467,81 kg.h⁻¹), sugerem que o silicato em Barra de Jangadas apresenta uma origem eminentemente limnética, evidenciado no estágio de vazante, e a partir de sua correlação inversa com a salinidade. Esta característica somada a sua lenta degradação no meio aquático (Santos, 2000), e ao aumento na descarga fluvial, respondem às concentrações e fluxos observados neste período.

A distribuição temporal e espacial da salinidade evidenciou um forte controle da forçante astronômica sobre a variação da salinidade. Altos valores são observados durante a maré alta (aprox. 35) e baixos valores durante a maré baixa (aprox. 1), apresentando ainda uma distribuição espacial homogênea na coluna de água em todos os estágios de maré.

A relação inversa verificada entre a concentração salina e de nutrientes evidencia, de uma parte, as características não conservativas dos nutrientes, e de outra, a influência direta da descarga fluvial.

Os fluxos do período demonstram a influência da água marinha sobre os altos teores dos nutrientes fazendo com que estes diminuam na zona de confluência durante os estágios de preamar. A alta intrusão salina observada e distribuição desta na coluna d'água evidenciam a influência da maré. O balanço energético realizado por Araújo *et al.* (1999) indica que o atrito turbulento de fundo resultante da ação das marés é a principal fonte de

energia do sistema para a mistura da coluna d'água no estuário da Barra das Jangadas. Isto significa que a homogeneidade vertical de sal é predominantemente comandada pelo processo de difusão turbulenta, com ausência de circulação gravitacional significativa.

Durante os estágios de vazante e enchente observou-se uma forte relação entre as velocidades das correntes e o transporte e as concentrações de material, reforçando a idéia do que o estuário apresenta-se neste período como exportador de nutrientes e importador de sal, respectivamente.

O transporte líquido de nutrientes neste período pode ser considerado positivo, ou seja, predominam correntes no sentido Oeste → Leste, atuando o estuário como exportador.

Segundo Barnes *apud* Lins (2002), sistemas lacunares costeiros representam 13% dos ambientes costeiros mundiais, tropicais e rasos como a maioria dos estuários brasileiros, particularmente no Nordeste, favorecem os processos de mistura, realizada em grande parte pela advecção de maré. Oliveira e Kjerfve (1993), estudando o sistema lagunar costeiro de Mundaú-Manguaba-AL-Brasil, determinaram igualmente a ausência de circulação gravitacional, indicando aquele sistema como sendo bem misturado e com o transporte dominado pelo movimento advectivo da maré. O estuário de Barra das Jangadas enquadra-se dentro deste tipo de sistema, sendo a energia disponível para misturar a coluna d'água maior que aquela agindo para estratificá-la. Os processos de estratificação e mistura na seção média do canal foram primariamente controladas pelas correntes de maré e secundariamente pela descarga fluvial, cujo efeito combinado causou as variações nas magnitudes das velocidades e exportação de nutrientes observadas.

7. Conclusões.

1. A temperatura da água na Barra das Jangadas variou sazonalmente, apresentando pequenas diferenças entre a camada superficial e de fundo. A variação sazonal é bem evidenciada para uma área tropical, demonstrando a influência do clima no balanço térmico das águas.
2. As variações da salinidade apresentaram uma estreita dependência com o ciclo de marés o aporte fluvial, a precipitação pluviométrica, a evaporação, a turbulência de superfície devido à ação dos ventos, e as estações do ano, influenciando nos valores elevados durante o período seco e mais baixos durante o chuvoso.
3. A variação do oxigênio dissolvido na água e sua taxa de saturação mostraram um ciclo sazonal bem definido, com teores acima do exigidos pela legislação vigente durante o período de estiagem, com os valores influenciados por fatores como o vento, redução das vazões de águas fluviais favorecendo a entrada de águas oceânicas no sistema. No período invernal, por outro lado, as concentrações estiveram abaixo do limite exigido. Portanto, a Barra das Jangadas pode ser classificado tanto como área poluída, como supersaturada, em termos de concentrações de oxigênio dissolvido.
4. A demanda bioquímica de oxigênio na área apresentou baixos teores em relação à outras áreas estuarinas durante os dois períodos estudados, observando-se poucos valores acima do exigido pela legislação. Este resultado pode ser atribuído aos processos de biodegradação que estão ocorrendo ao longo dos rios chegando a matéria orgânica na zona de confluência quase totalmente mineralizada.
5. Os nutrientes inorgânicos nitrogenados apresentaram uma marcada sazonalidade principalmente amônia e nitrito. Durante o verão foi observada uma sequência do ciclo do nitrogênio $\text{NO}_3 > \text{NH}_3 > \text{NO}_2$, sendo alterada no inverno para $\text{NH}_3 > \text{NO}_3 > \text{NO}_2$. Foi evidenciando uma redução da qualidade das águas em consequência da hidrodinâmica do sistema e o grande aporte de despejos domésticos ricos em compostos nitrogenados, apresentando na maioria dos casos valores acima recomendados.

6. O silicato foi o nutriente que apresentou maiores concentrações, principalmente no período chuvoso, influenciado pelo fluxo limnético, somado a um menor consumo por parte do fitoplâncton, provavelmente devido à menor densidade de diatomáceas nesse período.

7. A relação N:P apresentou uma variação sazonal, com altos valores durante o verão, principalmente devido às elevadas concentrações de amônia e nitrato, caracterizando o fosfato como o nutriente limitante nesta estação para a produção primária. No período chuvoso observou-se um aumento de fosfato como também dos compostos nitrogenados, provocando, porém uma diminuição na taxa N:P.

9. A sazonalidade definida para o fosfato no presente trabalho, está relacionada à atividade biológica durante o verão diminuindo sua disponibilidade. No inverno, o maior aporte de despejos domésticos e/ou industriais somado à hidrodinâmica do período, aumentou as concentrações na coluna d'água, provavelmente devido aos processos de desagregação na interface água-sedimento.

10. O sistema se comporta como um estuário verticalmente bem misturado enquadrando-se no tipo 1 de acordo com a classificação de Hansen & Rattray.

11. Durante os registros efetuados em julho de 2003, foi observado que as concentrações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos na zona de confluência do estuário da Barra das Jangadas obedecem a um comportamento cíclico, com altos teores nos estágios de baixa-mar e enchente, que são reduzidos paulatinamente quando o estágio de preamar chega a seu estofo, renovando as águas, oxigenando-as, e dando à zona estuarina uma maior capacidade de depuração, que é mantido até a chegada do seguinte estágio de maré, onde a influência fluvial novamente se faz sentir.

12. A forma predominante de nitrogênio inorgânico dissolvido é a amônia, registrando-se aumentos significativos no ano de 2003 quando comparado aos valores observados em julho de 2001.

13. Os principais aportes de fosfato no meio foram registrados, sobretudo durante a noite, onde a atividade fotossintética diminui, aumentando a quantidade deste composto na zona.

14. O silicato apresentou as mais altas concentrações no período de 2003, se mantendo em acordo com a média global descrita na literatura.

15. Durante os estágios de vazante e enchente observou-se uma forte relação entre as velocidades das correntes o transporte, e as concentrações de material, reforçando a idéia de que o estuário de Barra de Jangadas apresenta-se nestes períodos como exportador de nutrientes e importador de sal, alternadamente.

16. Os processos de estratificação e mistura na seção média do canal foram primariamente controladas pelas correntes de maré e secundariamente pela descarga fluvial, que causou as variações nas magnitudes das velocidades e dos níveis de exportação de nutrientes.

17. O oxigênio dissolvido, temperatura e salinidade, apresentaram uma marcada sazonalidade, apresentando maiores teores no período de estiagem. Por sua vez os nutrientes registraram os maiores teores no período chuvoso. Neste período o comportamento cíclico das marés permite à confluência da Barra das Jangadas um estado oscilatório na sua estrutura dinâmica, quando a água marinha faz seu ingresso através da preamar, recuperando temporalmente a oxigenação das suas águas e diluindo os nutrientes aportados pelos rios.

8.0. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Apresentação de originais**. NBR – 1339, Rio de Janeiro, 1990b. 4p.

_____. **Apresentação de citações em documentos**. NBR – 10520. Rio de Janeiro, 1990a. 2p.

_____. **Informação e documentação – Referências – Elaboração**. NBR – 6023. Rio de Janeiro, 2002, 20 p.

AGUIAR, V. M. De C. **Estudo da dinâmica do fósforo no sistema estuarino de Santos / São Vicente em seu trajeto em direção à Baía de Santos**. São Paulo, 2002, 166f, Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Instituto de Oceanografia, Universidade São Paulo, USP.

AMINOT, A.; CHAUSSEPIED, M. **Manuel des analyses chimiques en milieu marin**. CNEXO. Brest. 395 p. 1983.

A.P.H.A. **Standard methods for the examination of wastewater**. 16 ed. New york, 1268 p. 1985.

ARAÚJO, M. Hidrodinâmica de sistemas estuarinos: Caracterização experimental, modelagem matemática e simulação numérica. Aplicação ao Sistema Jaboatão, Pernambuco. **Relatório Técnico** APQ 400155/97. Recife, CNPq. 89p. 1998.

_____; MEDEIROS, C.; RIBEIRO, C. Energy balance and time-scales of mixing and stratification in the Jaboatão estuary, NE-Brazil. **Revista Brasileira de Oceanografia**. São Paulo, v.47(2). P.145-154, 1999.

ARENAS, V. F.; de la LANZA, G. E. El metabolismo como determinante de intercambio de nutrientes en sedimentos ricos en materia orgánica en una Laguna costera. **Ciencias Marinas**, 16(3): 45-62, 1990.

BALLS, P. W. Nutrient inputs to estuaries from nine Scottish East Coast Rivers; Influence estuarine processes on inputs to the North Sea. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. 39, 389-352, 1994.

BAUMGARTEN, M. G. Z.; AZNAR, C. E.; ROCHA, J. M.; ALMEIDA, M. T.; KINAS, P. G. Contaminação das águas receptoras do principal efluente doméstico da cidade do Rio Grande, RS. **Atlântica**, Rio Grande, FURG, n.20, p.35-54, 1998.

_____; POZZA, S. A. **Qualidade de Águas**. Rio Grande: Ed. Da FURG, 2001. 166 p.

_____; NIENCHESKI, L. F. H.; VEECK, L. Nutrientes na coluna da água e na água intersticial de sedimentos de uma enseada rasa estuarina com aportes de origem antrópica (RS-Brasil). **Atlântica**, Rio Grande, 23:101-116, 2001.

BENITEZ-NELSON, C. R. The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems. **Earth-Science Reviews**, 51:109-135, 2000.

BERNARDES, M. E. C. **Circulação estacionaria e estratificação de sal em canais estuarinos parcialmente misturados: simulação com modelos analíticos**. São Paulo, 2001. 194f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física). Inst. Oceanografia de São Paulo, USP.

BOYNTON, W. R.; KEMP, W. M.; KEEFE, C. W. A comparative analysis of nutrients and other factors influencing estuarine phytoplankton production. In: KENEDDY, V.S. (Ed.), **Estuarine Comparisons**. London: Academic Press, 1982, p.69-90.

BRAGA, E. S. **Estudo dos nutrientes dissolvidos nas águas da enseada das Palmas, Ilha Anchieta (Ubatuba, SP), com ênfase às formas nitrogenadas e contribuição por aportes terrestres e atmosféricos**. São Paulo, 1989. 207 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Inst. Oceanografia de São Paulo, USP.

_____; BONETTI, C. V. D. H.; BURONE, L.; BONETTI-FILHO, J. Eutrophication and Bacterial Pollution caused by industrial and domestic wastes at the Baixada Santista Estuarine System - Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v.40, n.2, pp.165-173, 2000.

BRANCO, E. S. **Aspectos ecológicos da comunidade fitoplanctônica no sistema estuarino de Barra das Jangadas (Jaboatão dos Guararapes-Pernambuco-Brasil)**. Recife, 2001. 147f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Departamento de Oceanografia. Universidade Federal de Pernambuco.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº20. **Diário Oficial da União**, 30 julho 1986, p.50-420.

BROCE, D.A.S. **Importação e exportação de Carbono orgânico Sob forma particulada através da Barra sul de Canal de Santa Cruz, Itamaracá-PE, Brasil**. Recife, 1974. 83 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica), C.T.G., UFPE.

CARMOUZE, J. P. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: Fundamentos teóricos, métodos de estudos e análises químicas**. São Paulo: Edgard Blücher. FAPESP, 1994. 254 p.

CARNEIRO, O. & COELHO, P.A. Estudo ecológico da Barra das Jangadas. Nota Prévia. **Trab-s. Inst. Oceanogr. Univ. Federal de Pernambuco**. Recife, 2(1):237-248, 1960.

CAVALCANTI, L.B. **Caracterização do canal de Santa Cruz (Pernambuco- Brasil) em função dos parâmetros físico-químicos e pigmentos fotosintéticos**. Recife, 1976. 115 f. Tese (Livre Docência). C.T.G., UFPE.

CETESB – **Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental**. Relatório das Águas Interiores do Estado de São Paulo – 2000. 213 p., 2001.

CHAMBERS, R. M.; FOURQUREAN, J. W.; HOLLIBAUGH, J. T. & VINK, S. M. Importance of terrestrially – derived, particulate Phosphorous to Phosphorous Dynamics in a West Coast Estuary. **Estuaries**, 18(3): 518-526, 1995.

CHESTER, R. **Marine geochemistry**. London: Chapman & Hall, 1993. 668 p.

COELHO, P.A., TORRES, M.F.A. Áreas estuarinas de Pernambuco. **Trab. Oceanogr. Univ. Fed. PE**. Recife, v 17, p.67-80, 1982.

COSTA, K.M.P. & MACÊDO, S.J. Estudo hidrológico do Rio Timbó. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, 20:7-34, 1987/89.

COUTINHO, P.N. (Coord.). Estudo da erosão marinha nas praias de Piedade, Candeias e no estuário de Barra de Jangadas. **Relatório Final**. Recife. LGGM/UFPE, 1997.

COMPESA/GEOSISTEMAS – **Companhia Pernambucana de Saneamento / Geosistemas Engenharia e Planejamento**. Plano Básico Ambiental – PBA. 58 p. 2002.

CONLEY, D. J. Biogeochemical nutrient cycles and nutrient management strategies. **Hydrobiologia**, 410: 87-96, 2000.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:893-900, 2003.

CPRH – **Companhia Pernambucana de Controle da Poluição e Recursos Hídricos 1998**. Estudo dos recursos hídricos da Bacia do Pirapama, CPRH/DFID, 142p.

CPRH – **Companhia Pernambucana de Controle da Poluição e Recursos Hídricos 2001**. Planilhas de Controle industrial do Estado, UCOM/CPRH.

CPRH – **Companhia Pernambucana de Controle da Poluição e Recursos Hídricos 2002**. Planilhas de Controle industrial do Estado, UCOM/CPRH.

CUNHA, A.; VICTOR-CASTRO, F.; LIRA.; LARRAZÁBAL, M.E.L. & FONSECA-GENEVOIS, V. Morfodinâmica da foz do estuário do Rio Jaboatão e praias adjacentes – PE. **VII COLACMAR**. VII Congresso Latino-Americano de Ciências do mar. Santos, 22 a 26 de setembro de 1997. v.1, 218-219p.

DAY, J.R.; HALL, C.A.; KEMP, W.M.; YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. **Estuarine ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1989. 558p.

De JONGE, V. N. & VILLERIUS, L. A. Possible role of carbonate dissolution in estuarine phosphate dynamics. **Limnol. Oceanogr.**, Lawrence, v.34, n.2, p. 332-340, Mar. 1989.

De MASTER, D. J.; KNAPP, G. B.; NITTROVER, C. A. Biological uptake and accumulation of sílica on the Amazon continental shelf. **Geochim. Cosmochim. Acta**, (S.1.), v.47, p.1713-1723, 1983.

DHN. Tábuas das Marés. Recife – PE. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Disponível em : <http://www.dhn.mar.mil.br/chm/tabuas/30645jan2001.htm> Acesso em 05 de agosto de 2003.

DOS SANTOS, E. D.; ABREU, P. C.; HICKENBICK, F. T. G. R.; ALMEIDA, M. T. De A.; BAUMGERTEN, M. G. Z. Poluição orgânica e condições sanitárias das águas próximas à cidade do Rio Grande – RS, Brasil. **Atlântica**, Rio Grande, 19: 5-17, 1997.

DYER, K. R. **Estuaries: A Physical Introduction**. Second Edition. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, United Kingdom, 1997, 195 p.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998, 602 p.

FALCÃO, J. P. **Modelagem matemática da hidrodinâmica e da qualidade da água do trecho a jusante da Barragem do Rio Pirapama – PE, Brasil**, Recife, 2002. 174 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física), C.T.G., UFPE.

FAN, A.; JIN, X. **Tidal effect on nutrient exchange in Xiangshan Bay, China**. Marine Chemistry, Amsterdam, v. 27, n. 3-4, p. 54-281, Oct. 1989.

FEITOSA, F. A. do N. **Estrutura e produtividade da comunidade fitoplanctônica correlacionados com parâmetros abióticos no sistema estuarino do Rio Goiana (Pernambuco-Brasil)**. São Paulo, 1997. 260f. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.

_____; NASCIMENTO, F.C.R. & COSTA, K.M.P. Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos na Bacia do Pina (Recife-Pernambuco). **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**. Recife, 27 (2):1-13, 1999.

_____; SILVA-CUNHA, M. G. G.; PASSAVANTE, J. Z. de O.; NEUMANN-LEITÃO, S. e LINS, I. C. Estrutura do microfitoplâncton no sistema estuarino do rio Goiana, Pernambuco, Brasil. **Trabalhos Oceanográficos, Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 27. p. 17-25, 1999.

FLINT, R.W. Coastal ecosystem dynamic: relevance of benthic processes. **Marine Chemistry**, Amsterdam, v.16, n.4, p. 351-367, July 1985.

FLORES MONTES, M. de J. **Variação nictemeral do fitoplancton e parâmetros hidrológicos no canal de Santa Cruz, Itamaracá, PE**. Recife, 1996, 199 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica). C.T.G., UFPE.

_____; MACÊDO, S. J.; KOENING, M. L. N:S:P Atomic ratio in the Santa Cruz Channel, Itamaracá – PE (Northeast Brazil): a nyctemeral variation. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. V. 45, n.2: pp.115-124, June 2002.

FONSECA, A.; BRAGA, E. S.; EICHLER, B. B. Distribuição espacial dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e da biomassa fitoplanctônica no sistema pelágico da Lagoa da Conceição, Santa Catarina, Brasil. (Setembro, 2000). **Atlântica**, Rio Grande, 24(2), 69-83, 2002.

GONÇALVES, M. da S. *et al.* Propriedades físicas e químicas em dois pontos fixos na Enseada do Flamengo, Ubatuba, (SP), no período de 03 a 07/04/77. **Bol. Inst. Oceanogr. de São Paulo**. São Paulo, v. 29, n.1, p. 9-18, 1980.

GRAÇA, B. & BOLALEK, J. Forms of phosphorous in sediments from the Gulf of Gdansk. **Applied Geochemistry**, 13:319-327, 1998.

GRASSHOFF, K.; EHRARDT, M.; KREMELING, K. **Methods of sea water analysis**. 2 Ed. New York: Verlag Chemie, 1983. 317 p.

IBAÑEZ, F. Immediate detection of heterogeneities in continuous multivariate oceanographic recordings. Application to time series analysis of changes in the bay of Villefranche sur Mer. **Limnol. Oceanogr.** Lawrence, v. 26, n. 2, p. 336-349, Mar. 1981.

JUVENCIO, F.J.; SANTAELLA, S.T.; BARROS, F.M.; LEITÃO, R.C. **Análise da qualidade da água do estuário do Rio Ceará. In: III Simposio de recursos hídricos do nordeste** - Salvador. Bahia. 375-380, 1996.

KJERFVE, B. Estuarine characteristics, circulation and physical processes. In: **Estuarine ecology**. Day, J.W. et al. John Wiley & Sons Inc., New York, NY. P.47-78. 1989.

KLEEREKOPER, H. **Introdução ao estudo da Limnologia**. 2^a ed. Porto Alegre: Ed. Da Universidade/ UFRGS, 1990. 329 p.

KOENING, M. L. **Ecologia e dinâmica do fitoplâncton no estuário do Rio Ipojuca, após a implantação do Porto de Suape (Pernambuco-Brasil)**. Recife, 1997, 263f. Tese (Doutorado em Botânica) – Departamento de Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco.

KOROLEFF, F. In: GRASSHOFF, K. et al., **Methods of Seawater Analysis**. 2 ed. New York: Verlag Chemie, 1983, 317 p.

KRESS, N.; COTO, S. L.; BRENES, C. L.; BRENNER, S.; ARROYO, G. Horizontal transport and seasonal distribution of nutrients, dissolved oxygen and chlorophyll-a in the Gulf of Nicoya, Costa Rica: a tropical estuary. **Continental Shelf Research**, 22, p.51-66, 2002.

LACERDA, S. R. **Série temporal do fitoplâncton no estuário de Barra das Jangadas (Jaboatão dos Guararapes – Pernambuco – Brasil)**. Recife, 2004. 196 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Universidade Federal de Pernambuco. C.T.G.

LEHNINGER, A. L. **Princípios de Bioquímica**. São Paulo: Sarvier, 1985. 725 p.

LINS, P. A. M. **Hidrologia e hidrodinâmica do baixo estuário do Rio Ipojuca, Pernambuco**. Recife, 2002. 74f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Departamento de Oceanografia. Universidade Federal de Pernambuco.

LISS, P. S. Conservative and non conservative behaviour of dissolved constituents during estuarine mixing. In: Burton, JD & PS Liss. **Estuarine Chemistry**, Cap. 4. Academic Press, London: 93-127. 1976.

LOSADA, A. P. M. **Biomassa fitoplanctônica correlacionada com parâmetros abióticos nos estuários dos rios Ilhetas e Mamucaba, e na Baía de Tamandaré (Pernambuco-Brasil)**. Recife, 2000. 88f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Departamento de Oceanografia. Universidade Federal de Pernambuco.

MACÊDO, S. J. **Fisioecologia de alguns estuários do Canal de Santa Cruz (Itamaracá – Pernambuco)**. São Paulo, 1974. 121f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia), Universidade de São Paulo.

_____; MELO, H.N.; COSTA, K.M.P. Estudo ecológico da região de Itamaracá, Pernambuco-Brasil. XXIII. Condições hidrológicas do estuário do Rio Botafogo. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**. Recife, 17:81-122, 1982

_____.; COSTA, K. M. P. Estudo ecológico da região de Itamaracá Pernambuco - Brasil, condições hidrológicas do estuário do rio botafogo. **Ciência e Cultura**. São Paulo, v. 30, n. 7. p. 368, 1978.

_____.; COSTA, K. M. P. Condições hidrológicas do estuário do rio Igarassu – Itamaracá – PE. **Trabalhos oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 21, p. 7 – 32, 1990.

MACÊDO, S. J ; FLORES MONTES, M. J. LINS, I. C. Características Abióticas da Área. In: **Gerenciamento Participativo de Estuários e Manguezais**. (Barros, H. M.; Eskinazi-Leça, E.; Macedo, S. J.; Lima, T.) EDS. Recife, 7-25, 2000.

MACKAS, D. L.; HARRISON, P. J. Nitrogenous nutrient sources and sinks in the Juan de Fuca Strait/ Strait of Georgia/ Puget Sound estuarine system: Accesing the potencial for eutrophication. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, 44:1-21. 1997.

MARGALEF, R. **Ecologia**. Ed. Omega S/A, Barcelona. 951 p. 1974.

MASSART, D.L. *et al.* **Handbook of Chemometrics and Qualimetrics**. Part. A, Elsevier, Amsterdam, Capítulo 17, 1998.

MAYBECK, M. Concentrations des eaux fluviales en elements majeurs et apports en solution aux oceans. **Rev. Geol. Dyn. Geogr. Phys.** 21, 215-246, 1982.

MEDEIROS, C. **Circultaion and mixing processes in the Intamaracá estuarine system, Brazil**. Columbia, 1991. 131p. Tese (Doutorado em Physical Oceanography). University of South Carolina, 1991.

_____; & KJERFVE, B. **Hidrology of a Tropical estuarine System: Itamaracá, Brasil**. Estuarine, Coastal and Shelf Science, London. v. 36, p.495-515. 1993.

MILLERO, F.J. & SOHN, M.L. **Chemical oceanography**. Boca Raton: CRC Press, 1996. 531p.

MIRANDA, L. B. **Cinemática e dinâmica de estuários**. IO-USP, São Paulo. IOF827. pp.279. 1996

_____; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia Física de estuários**. São Paulo, S.P. Editora da Universidade de São Paulo. 424 p. 2002.

MUNIZ, K.; RUIZ DE VILLA, C.; CRUZADO, A. Estudio estadístico de la variabilidad Del Silicato en el Mediterráneo Occidental (Golfo de Leon y Mar Catalán). **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**. Recife, 24:1-17, 1996.

NASSER, V. L.; FILHO, R. O. C.; AMARAL, V.; JUNIOR, S. L. C.; SILVA, E. N. A. Sensoriamento e geoestatística aplicados à qualidade da água da baía de Guanabara. In: **XIV SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, Aracaju, 2001. Anais. Aracajú, 2001

OKUDA, T. e NÓBREGA, R. Estudo da Barra das Jangadas. Parte 1. Distribuição e movimento da clorinidade – quantidade de corrente. **Trabalhos Oceanográficos, Universidade Federal de Pernambuco**, v. 2, n. 1. p. 175-191, 1960.

_____; CAVALCANTE, L. & BORBA, M. P. Estudo da Barra das jangadas. Parte 2. Variação do pH, oxigênio dissolvido e consumo de permanganato durante o ano. **Trabalhos Oceanográficos, Universidade Federal de Pernambuco**, v. 2, n. 1. p. 193-205, 1960a.

_____; CAVALCANTE, L. & BORBA, M.P. Estudo da Barra das jangadas. Parte 3. Variação do nitrogênio e fosfato durante o ano. **Trabalhos Oceanográficos, Universidade Federal de Pernambuco**, v. 2, n. 1. p. 207-218, 1960b.

OFFICER, C. B. Longitudinal Circulation and Mixing Relation in Estuaries. In: **Estuaries, Geophysics and the Environment**. Washington D.C., National Academy of Sciences, p.13-21, 1977.

OLIVEIRA, A. & KJERFVE, B. Environmental responses of a tropical coastal lagoon system to hidrological variability: Mundaú-Manguaba, Brazil. **Estuar. Coast. Shelf. Sci.**, 37:575-591, 1993.

OTTMANN, F. & OTTMANN, J.M. Estudo da Barra das Jangadas , Parte IV. Estudo dos sedimentos. **Trabalhos Oceanográficos. Universidade Federal de PE**, v.2, n.1. p.219-233. 1960.

OTTMANN, F. ; OKUDA, T.; CAVALCANTI, L.; SILVA, O.C.; ARAÚJO, J.V.A.; COELHO, P.A.; PARANAGUÁ, M.N. & ESKINAZI, E. Estudo da Barra das Jangadas. Parte V. Efeitos da poluição sobre a ecologia do estuário. **Trabs. Inst. Oceanografia Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, 7/8: 7-16, 1965/6.

PEREIRA- FILHO, J.; SPILLERE, L. C.; SCHETTINI, C. A. F. Dinâmica de nutrientes na região portuária do estuário do Rio Itajaí – Açu, SC. **Atlântica Rio Grande**, 25(1): 11-20, 2003.

PRADA, R. M. G. **Mineralogia, físico-química e classificação dos solos de mangue do Rio Iriri no Canal de Bertioga (Santos, SP)**. São Paulo, 2001, 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade São Paulo, USP.

ROLLNIC, M. **Hidrologia, clima de onda e transporte advectivo na zona costeira de Boa Viagem, Piedade e Candeias-PE**. Recife, 2002, 111f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física). C.T.G., UFPE.

SANTOS, M. A. C. & COELHO, P.A. Majidae (crustacea, decapoda, brachyura) do litoral de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco-Brasil. **Trabalhos Oceanograficos da Universidade Federal de Pernambuco**, 25:205-209, 1987.

SANTOS, M. L. S. **Influência dos Rios Amazonas e Pará sobre a biomassa fitoplantônica**. Recife, 2000, 92f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). C.T.G., UFPE.

SANTOS-FERNANDES, T. L.; PASSAVANTE, J. Z. O.; KOENING, M. L.; MACÊDO, S. J. e LINS, I. C. Fitoplâncton do estuário do rio Jaguaribe, (Itamaracá, Pernambuco, Brasil): Produção e hidrologia. **Revista de Ecologia Aquática Tropical**, Natal, v. 10, p. 43-69, Set. 2000.

SHERMANN, R.; TIMOTHY, F.; HOWARTH, R. Soil-plant interactions in a neotropical forest: Iron, phosphorous and sulfur dynamics. **Oecologia**, v.115, p.553-563, 1998.

SILVA, A. M. G. G. **Relações da dinâmica costeira com a meiofauna de um ambiente impactado (Estuário do Rio Jaboatão, Pernambuco, Brasil)**. Recife, 1997. 68p. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Departamento de Zoologia – Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco.

STRICKLAND, J. D. H. e PARSONS, T. R. A Practical handbook of seawater analysis. 2 ed. **Bulletin Fisheries Research Board of Canada**, Ottawa, v. 167, 1972, p. 207-211.

TEIXEIRA, C. e GAETA, S. A. Variação nictemeral da Clorofila-a, produção primária do fitoplâncton e fatores ambientais da região de Ubatuba (Lat. 23°30'S e Long. 45°06'W). **Boletim do Instituto Oceanográfico de São Paulo**. São Paulo, 39(1): 1-19, 1991.

TRAVASSOS, P. E. P. F. **Hidrologia e biomassa do fitoplâncton no estuário do rio Capibaribe, Recife-Pernambuco**. Recife, 1991. 288f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco.

TUNDISI, J. G. O plâncton estuarino. **Contribuições Avulsas. Instituto Oceanográfico. Série Oceanografia Biológica**. São Paulo, v. 9, p. 1-22, 1970.

TYRRELL, T. The relative influences of nitrogen and phosphorous on oceanic primary production. **Nature**, v.400, p.525-531, 1999.

UNESCO. **Internacional Oceanographic Table**. Wormly. v.2, 1973. 141p.

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; DOS ANJOS, L. H. C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p.111-118, 2003.

VINATEA ARANA, L. **Princípios químicos da qualidade da água em Aqüicultura**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 1997. 166 p.

WARD, G. H. & MONTAGUE. Estuaries, Capítulo 12, In: **Handbook of Water Resources Engineering**, L. Mays Ed., Mc Graw-Hill, 1996.

WHEELER, P. A. & KOKKIMAKIS, S. A. Ammonium recycling limits nitrate use in the oceanic subarctic Pacific. **Limnol, Oceanogr.** Lawrence. v. 35, n. 6, p. 1267-1278, Sept. 1990.

WINDOM, H.; NIENCHESKI, F. Biochemical processes in a freshwater-seawater mixing zone in permeable sediments along the coast of Southern Brazil. **Marine Chemistry**, 83, 121-130, 2003.

9. ANEXOS

ANEXO 1

Dados Hidrológicos da Estação de Confluência dos Rios Pirapama e Jaboatão durante a Maré de Sízigia no Verão

Data	Hora	Estágio	Prof. Col. (m)	P. Local (m)	D.Secchi (m)	k (m)	Temp. °C	Salin.	O.D. ml/l ⁻¹	O.D. (%)	D.B.O. mg/l ⁻¹	pH	amônia mmol.l ⁻¹	nitrito mmol.l ⁻¹	nitrito mmol.l ⁻¹	fosfato mmol.l ⁻¹	silicato mmol.l ⁻¹	N:P
9/jan	09:39	BM	Sup	1,40	0,55	3,00	28,00	8,02	3,95	75,40	1,03	7,18	0,47	0,69	5,07	0,35	122,07	17,75
	12:40	EN	Sup	2,50	0,52	3,20	29,10	10,69	6,68	131,91								
			Fundo		0,52	3,20	29,20	10,69	6,44	127,38								
	15:47	PM	Sup.	3,50	1,41	1,20	29,60	33,42	5,44	122,81	1,93	8,30	0,02	0,05	0,76	0,12	15,85	5,36
			Fundo				29,60	33,96	5,25	118,87	1,29	8,28	0,01	0,02	0,68	0,16	18,91	
	18:50	VZ	Sup	2,30			28,90	30,75	4,76	104,68								
			Fundo				29,00	31,28	4,70	103,84								
	22:00	BM	Sup	1,50			28,50	17,91	3,97	80,77	0,01	7,55	0,56	0,32	2,58	0,28	63,88	12,41
	01:00	EN	Sup	2,50			28,00	10,96	3,21	62,29								
			Fundo				28,00	12,57	3,24	63,44								
10/jan	04:17	PM	Sup	2,50			28,00	34,22	4,49	99,20	0,01	8,18	0,03	0,09	1,91	0,22	15,32	8,83
			Fundo				28,40	34,76	4,33	96,58	0,20	8,23	0,14	0,00	2,06	0,25	13,24	
	07:30	VZ	Sup	2,00			28,20	31,55	3,85	84,08								
			Fundo				28,50	31,55	4,08	89,54								
	10:24	BM	Sup	2,10	1,00	1,70	29,20	17,65	4,15	85,31	0,04	7,43	0,20	0,48	2,05	0,28	64,29	9,80
	13:30	EN	Sup	2,90	0,50	3,40	29,50	13,10	7,96	160,37								
			Fundo				29,70	13,90	6,68	135,64								
	16:32	PM	Sup	5,00			29,70	34,49	4,97	113,04	0,01	8,15	0,05	0,06	1,02	0,23	12,58	5,06
			Fundo				30,40	35,56	4,82	111,51	0,01	8,20	0,06	0,00	1,17	0,24	14,29	
	19:40	VZ	Sup	3,80			28,01	33,69	4,31	52,88								
11/jan			Fundo				28,03	33,69	4,53	55,58								
	22:50	BM	Sup	3,60			28,20	15,24	3,74	74,58	0,01	7,36	0,35	0,23	2,56	0,23	62,96	17,78
			Fundo				28,30	14,97	3,99	79,59	0,01	7,44	0,37	0,43	1,79	0,10	66,67	
	02:00	EN	Sup	3,50			27,50	12,83	3,32	64,54								
			Fundo				28,00	13,90	3,30	65,10								
	05:00	PM	Sup	5,20			27,00	33,96	4,67	101,33	0,81	8,10	0,00	0,19	1,26	0,18	12,15	8,43
			Fundo				27,30	34,22	4,53	98,94	0,01	8,07	0,00	0,27	1,10	0,15	14,79	
	08:00	VZ	Sup	4,00	0,90	1,80	28,50	31,82	4,31	94,73		7,96						
			Fundo				28,30	32,08	4,29	94,12		7,99						
	11:10	BM	Sup	2,90	0,60	2,80	28,10	13,64	3,53	69,65	4,54	7,37	0,02	0,11	2,68	0,02	110,57	31,41
12/jan			Fundo				28,10	17,11	3,63	73,02	4,28	7,46	0,20	0,17	3,27	0,19	45,16	
	14:15	EN	Sup	3,30	0,54	3,10	28,70	12,03	5,71	112,82		7,78						
			Fundo				28,80	12,57	5,95	118,11		7,65						
	17:20	PM	Sup	4,50			28,40	33,96	4,85	107,70	0,81	8,26	0,00	0,36	0,85	0,14	19,07	8,36
			Fundo				28,50	33,96	4,68	104,09	0,01	8,26	0,00	0,35	0,66	0,12	15,46	
	20:30	VZ	Sup	4,30			28,00	32,08	3,95	86,23								
			Fundo				28,00	32,62	4,00	87,59								
	23:45	BM	Sup	3,10			28,00	11,76	2,95	57,50	0,01	7,14	0,49	0,80	3,65	0,53	142,44	11,67
			Fundo				28,00	16,31	3,12	62,38	0,01	7,22	0,47	0,57	2,95	0,24	71,18	
	02:50	EN	Sup	4,00			27,00	12,03	2,74	52,56								
12/jan			Fundo				27,00	12,30	2,78	53,41								
	06:00	PM	Sup	4,50			27,20	34,22	4,71	102,70	0,74	8,19	0,00	0,38	1,01	0,20	17,49	8,96
			Fundo				27,80	34,76	4,74	104,69	0,54	8,19	0,00	0,38	1,40	0,15	18,21	
	09:00	VZ	Sup	4,00	1,00	1,70	28,50	30,48	4,12	89,88								
			Fundo				28,30	31,28	4,04	88,24								
	12:00	BM	Sup	3,20	0,70	2,40	29,30	7,22	3,15	61,23	0,34	6,95	0,57	0,47	4,92	0,22	110,35	24,65
			Fundo				29,20	16,04	3,85	78,44	0,60	7,48	0,64	0,59	3,92	0,23	38,88	
	15:00	EN	Sup	3,50	0,70	2,40	29,50	10,96	4,59	91,39								
			Fundo				29,20	11,23	5,03	99,79								
	18:10	PM	Sup	4,80			27,90	34,76	1,81	40,04	0,01	8,14	0,00	0,05	1,32	0,10	12,89	13,80
12/jan			Fundo				27,30	35,29	1,87	41,09	0,04	8,13	0,09	0,12	1,14	0,10	19,41	
	21:15	VZ	Sup	4,00			27,90	31,82	4,18	90,97								
			Fundo				27,80	32,62	4,15	90,57								

CONTINUAÇÃO...

ANEXO 1

Dados Hidrológicos da Estação de Confluência dos Rios Pirapama e Jaboatão durante a Maré de Sizígia no Verão

[illegible]

ANEXO 2

Dados Hidrológicos da Estação de Confluência durante a Maré de Quadratura no Verão

Data	Hora	Estágio	Prof. Col.	Prof. Loca	D.Secchi	k	Temp.	Salin.	O.D.	O.D.	D.B.O.	pH	amônia	nitrato	nitrato	fosfato	silicato	N:P		
			(m)	(m)	(m)	(m)	°C		ml/l ⁻¹	(%)	mg/l ⁻¹		μmol/l ⁻¹	μmol/l ⁻¹	μmol/l ⁻¹	μmol/l ⁻¹	μmol/l ⁻¹			
14/jan	01:20	BM	Sup	3,00			27,10	4,58	2,96	54,55	2,14	7,11	1,63	0,61	7,17	0,01	112,61	83,72		
			Fundo				27,20	11,04	3,14	60,11	5,05	7,30	3,65	0,98	6,51	0,23	75,78			
	04:30	EN	Sup	3,30			27,00	7,27	2,78	51,92										
			Fundo				27,20	8,48	2,76	52,08										
	07:35	PM	Sup	3,50			28,20	31,36	4,68	102,10	0,38	8,11	0,00	0,28	3,41	0,06	35,90	26,05		
			Fundo				28,00	32,30	4,63	101,20	1,01	8,14	0,14	0,26	2,27	0,19	28,34			
	10:40	VZ	Sup	3,10	0,70	2,40	27,90	17,63	4,27	85,85										
			Fundo				28,30	23,42	4,29	89,69										
	13:40	BM	Sup	3,10	0,70	2,40	28,20	1,99	3,30	61,13	0,43	6,77	2,34	0,65	7,81	0,48	119,37	26,46		
			Fundo				28,00	7,27	3,35	63,68	2,05	7,20	7,37	1,79	8,27	0,58	142,27			
	16:45	EN	Sup	3,50			28,50	7,73	4,36	83,82										
			Fundo				27,90	7,75	4,57	86,95										
19:55	PM	Sup	4,30			27,90	33,92	4,73	104,15	0,95	8,16	0,14	0,40	1,97	0,29	23,19	10,61			
		Fundo				26,50	33,65	4,48	96,23	0,01	8,18	0,09	0,11	2,50	0,20	28,53				
23:00	VZ	Sup	4,30			28,00	25,84	4,14	87,29											
		Fundo				27,80	30,15	4,20	90,41											
15/jan	02:15	BM	Sup	3,50			27,50	2,31	2,58	47,29	0,09	6,75	2,31	0,66	9,10	0,37	176,07	24,58		
			Fundo				27,30	7,54	2,48	46,64	0,01	7,19	6,31	1,70	7,94	0,77	144,23			
	05:20	EN	Sup	4,10			27,20	6,19	2,82	52,54										
			Fundo				26,90	6,73	2,56	47,58										
	08:30	PM	Sup	5,10			28,10	30,69	4,97	107,84	0,33	8,04	0,00	0,24	2,38	0,24	34,61	6,68		
			Fundo				27,70	31,22	4,71	101,83	0,79	8,10	0,08	0,23		0,20	49,96			
	11:30	VZ	Sup	4,00	0,97	1,70	28,20	13,19	3,74	73,74										
			Fundo				28,60	17,50	4,44	90,27										
	14:30	BM	Sup	2,60	0,71	2,30	29,00	2,15	3,30	62,05	0,87	6,97	3,03	0,93	8,80	0,44	214,64	19,53		
			Fundo				29,10	4,36	3,01	57,39	1,48	7,26	6,91	1,74	6,89	1,01	179,77			
	17:40	EN	Sup	3,70			28,60	5,92	3,47	66,16										
			Fundo				28,70	6,19	3,69	70,58										
20:50	PM	Sup	4,20			27,70	32,30	4,74	103,09	0,58	8,17	0,10	0,26	2,91	0,28	37,52	10,71			
		Fundo				28,00	33,11	4,85	106,49	0,52	8,19	0,46	0,44	1,32	0,23	28,53				
23:55	VZ	Sup	3,70			27,60	19,38	3,88	78,38											
		Fundo				27,60	21,00	3,89	79,29											
16/jan	03:20	BM	Sup	2,70			26,40	1,72	2,49	44,59	2,34	7,04	2,87	0,99	8,78	0,69	245,24	16,27		
			Fundo				27,20	6,06	1,84	34,25	2,28	7,02	8,36	1,76	9,09	1,27	181,75			
	06:30	EN	Sup	3,00			26,60	4,09	2,34	42,62										
Fundo			27,50				5,65	2,67	49,86											
						média	2,20												média	25,00

ANEXO 3

Dados Hidrológicos da Estação de Confluência dos Rios Pirapama e Jaboatão durante a Maré de Sizígia no Inverno

Data	Hora	Estágio	Prof. Col.	Prof. Local	D.Secchi	k	Temp.	Salin.	O.D.	O.D.	D.B.O.	pH	amônia	nitrito	nitrito	fosfato	silicato	N:P
			(m)	(m)	(m)	(m)	°C		ml/l ⁻¹	(%)	mg/l ⁻¹		mmo/l ⁻¹	mmo/l ⁻¹	mmo/l ⁻¹	mmo/l ⁻¹	mmo/l ⁻¹	
4/jul	09:24	BM	Sup	3,20	0,50	3,40	26,20	0,53	0,79	14,00	0,01	6,90	6,59	1,40	6,31	2,79	49,91	6,84
			Fundo				26,00	0,65	0,95	16,79	0,01	7,19	7,66	1,58	8,76	1,94	83,97	
4/jul	12:30	EN	Sup	3,80	0,40	4,25	27,80	0,97	1,32	24,14	0,01	6,99	6,88	1,62	7,39	2,72	133,88	
			Fundo				27,20	1,03	1,24	22,44	0,01	7,25	8,70	1,78	7,01	2,20	50,86	
4/jul	15:35	PM	Sup	4,20			28,00	28,26	4,53	96,81	0,01	8,76	1,66	0,47	4,70	0,66	41,43	10,35
			Fundo				27,80	29,61	4,52	97,00	0,01	8,84	1,08	1,11	4,74	0,68	50,86	
4/jul	18:35	VZ	Sup	4,20			27,10	6,41	2,72	50,65		7,25	4,00	1,06	9,55	1,15	104,14	
			Fundo				27,00	13,73	3,03	58,68		7,80	4,07	0,89	7,28	1,09	97,38	
4/jul	21:37	BM	Sup	3,30			25,20	0,43	0,23	4,00	0,01	6,83	4,57	0,67	2,31	2,94	476,04	3,21
			Fundo				25,80	0,47	0,26	4,57	0,01	6,74	8,10	0,82	2,87	3,10	211,92	
5/jul	00:37	EN	Sup	3,10			26,00	1,02	1,67	29,57		6,69	4,88	0,93	4,38	2,86	143,18	
			Fundo				26,00	0,91	1,12	19,82		6,69	8,66	0,92	6,11	2,85	184,52	
5/jul	03:43	PM	Sup	3,60			26,20	32,30	4,46	94,60	0,64	8,18	1,36	0,53	3,28	0,76	30,19	7,57
			Fundo				26,90	33,11	4,48	96,59	0,01	8,29	0,70	0,41	4,14	0,62	38,60	
5/jul	06:45	VZ	Sup	3,90	0,45	3,70	26,00	13,46	3,12	59,28								
			Fundo				25,50	23,96	3,81	76,16								
5/jul	10:06	BM	Sup	3,00	0,45	3,70	27,00	0,54	2,24	40,28	0,01	6,35	3,05	1,02	12,55	1,33	476,04	9,80
			Fundo				27,00	0,67	2,03	36,53	0,01	6,79	3,67	1,04	10,54	1,92	476,04	
5/jul	13:10	EN	Sup	4,00	0,55	3,00	28,00	1,14	1,59	29,21								
			Fundo				28,00	1,24	1,59	29,23								
5/jul	16:15	PM	Sup	4,60	1,00	1,70	27,10	29,07	4,48	94,74	0,33	8,60	0,99	0,58	4,16	0,75	37,10	8,82
			Fundo				27,20	29,48	4,62	98,09	0,01	8,67	1,54	0,53	5,53	0,75	44,51	
5/jul	19:15	VZ	Sup	4,00			27,20	9,29	3,14	59,53		7,22	1,93	1,20	8,83	1,58	167,13	
			Fundo				27,00	15,93	3,51	68,83		7,72	2,20	1,18	4,25	1,55	148,70	
5/jul	22:15	BM	Sup	3,10			26,60	0,67	0,81	14,47	0,01	6,77	5,91	1,41	5,26	2,80	169,15	4,14
			Fundo				26,50	0,81	0,87	15,53	0,24	6,97	5,96	1,53	5,01	3,26	111,17	
6/jul	01:15	EN	Sup	4,60			26,50	2,20	2,17	39,04		7,02	4,97	1,18	9,86	1,19	83,26	
			Fundo				26,20	2,10	2,12	37,91		7,04	5,01	1,54	11,06	2,27	130,89	
6/jul	04:15	PM	Sup	5,00			26,80	33,73	4,73	102,16	0,01	8,11	0,30	0,33	2,47	0,35	24,06	7,88
			Fundo				26,20	33,19	4,69	99,98	0,17	8,17	0,16	0,32	2,87	0,47	24,33	
6/jul	07:20	VZ	Sup	4,10	0,70	2,40	26,50	20,18	4,72	93,97		7,33						
			Fundo				26,80	24,43	3,58	73,38		7,49						
6/jul	10:45	BM	Sup	3,30	0,40	4,20	27,00	0,42	2,28	40,98	10,02	6,12	1,04	1,05	11,88	1,34	126,15	7,23
			Fundo				27,00	1,86	1,01	18,30	4,97	6,72	3,06	1,03	4,07	1,72	169,92	
6/jul	13:45	EN	Sup	3,80	0,60	2,80	28,00	1,05	2,29	42,05		6,80						
			Fundo				28,00	1,26	1,86	34,19		6,85						
6/jul	16:50	PM	Sup	4,10	1,00	1,70	28,00	27,35	5,75	122,26	0,01	7,66	1,07	0,59	4,04	0,62	42,08	11,10
			Fundo				28,00	29,21	3,84	82,50	0,51	7,68	1,43	0,56	5,33	0,56	47,27	
6/jul	19:50	VZ	Sup	3,30			27,00	6,53	2,61	48,55								
			Fundo				27,10	14,87	3,41	66,58								
6/jul	22:50	BM	Sup	3,10			26,00	0,69	0,71	12,55	0,01	6,95	7,94	1,11	4,30	1,65	137,87	7,93
			Fundo				26,00	0,85	0,83	14,68	0,01	6,98	9,11	1,37	4,26	1,89	122,39	
7/jul	01:50	EN	Sup	4,10			25,90	1,14	1,14	20,17								
			Fundo				25,90	1,21	1,30	23,00								
7/jul	04:55	PM	Sup	4,80			25,90	32,89	4,97	105,23	0,54	7,92	0,32	0,33	2,38	0,48	20,78	7,02
			Fundo				26,10	33,69	4,85	103,51	0,34	7,96	0,05	0,25	2,86	0,40	18,57	
7/jul	08:00	VZ	Sup	4,00	0,50	3,40	26,90	15,24	3,27	63,76		7,44						
			Fundo				26,90	23,53	3,75	76,61		7,55						
7/jul	11:15	BM	Sup	3,10	0,40	4,20	27,00	0,82	0,38	6,84	2,14	7,02	7,63	0,13	1,74	2,15	476,04	5,59
			Fundo				26,90	0,88	0,84	15,11	0,01	6,96	8,98	0,63	2,03	1,64	476,04	
7/jul	14:17	EN	Sup	3,80	0,40	4,20	26,90	1,06	1,15	20,71		6,89						
			Fundo				26,80	1,12	1,11	19,96		6,93						
7/jul	17:25	PM	Sup	5,10			27,00	28,34	4,71	99,03	0,10	7,70	1,39	0,54	4,75	0,68	41,07	9,29
			Fundo				26,80	28,34	4,75	99,53	0,26	7,76	0,95	0,44	4,29	0,65	32,60	
7/jul	20:15	VZ	Sup	3,00			26,50	18,55	3,42	67,47		7,14						
			Fundo				26,50	12,03	4,30	81,77		7,20						
7/jul	23:25	BM	Sup	3,10			26,00	0,67	2,02	35,70	0,01	6,81	8,75	0,99	5,68	2,52	476,04	6,95
			Fundo				26,00	0,53	1,85	32,67	0,01	6,90	5,29	1,06	3,25	1,08	476,04	

CONTINUAÇÃO...

ANEXO 3

Dados Hidrológicos da Estação de Confluência dos Rios Pirapama e Jaboaão durante a Maré de Sizígia no Inverno

[illegible]

ANEXO 4

Dados Hidrológicos da Estação de Confluência durante a Maré de Quadratura no Inverno

Data	Hora	Maré	Prof. Col. (m)	Prof. Local (m)	D.Secchi (m)	k (m)	Temp. °C	Salin. s.p.	O.D. ml/l	O.D. (%)	D.B.O. mg/l	pH	amônia umol/l	nitrito umol/l	nitrato umol/l	fosfato umol/l	silicato umol/l	N:P
9/jul	03:00	EN	Sup	3,60			25,90	1,02	1,73	30,58		7,09						
			Fundo				26,00	0,99	1,82	32,22		7,10						
9/jul	06:10	PM	Sup	4,60			26,00	30,75	4,83	101,21	0,01	7,82	0,41	0,46	4,21	0,40	34,45	11,96
			Fundo				25,90	30,21	4,75	99,06	0,01	7,84	0,29	0,48	4,31	0,45	36,16	
9/jul	09:15	VZ	Sup	4,60	0,60	2,80	26,50	17,11	3,35	65,55		7,36						
			Fundo				26,70	14,70	3,24	62,76		7,57						
9/jul	12:25	BM	Sup	3,80	0,45	3,70	26,80	0,33	2,65	47,43	0,01	6,89	2,16	1,00	11,28	0,77	198,29	13,80
			Fundo				26,80	0,58	2,64	47,32	0,01	6,99	4,70	1,35	10,93	1,50	151,65	
9/jul	15:25	EN	Sup	3,20	0,60	2,80	27,00	0,89	1,63	29,37		6,97						
			Fundo				27,00	1,12	0,69	12,45		7,02						
9/jul	18:35	PM	Sup	4,20			26,00	8,02	4,35	80,15	0,01	7,43	1,34	1,04	6,21	1,08	138,05	9,93
			Fundo				26,20	28,47	4,30	89,25	0,01	7,81	1,53	0,65	5,13	0,52	40,69	
9/jul	21:30	VZ	Sup	3,60			26,20	4,49	2,83	51,30								
			Fundo				26,90	5,35	2,23	41,13								
10/jul	00:30	BM	Sup	3,10			25,60	0,36	0,20	3,50	0,01	6,84	8,23	0,26	2,08	1,19	216,87	9,83
			Fundo				25,50	0,39	0,64	11,19	0,01	6,85	5,34	0,43	3,72	0,85	227,65	
10/jul	03:40	EN	Sup	4,30			25,20	1,23	2,00	34,94								
			Fundo				25,90	1,16	1,18	20,88								
10/jul	06:45	PM	Sup	5,00			26,10	30,21	4,80	100,44	0,01	7,78	0,36	0,51	3,47	0,60	35,39	9,22
			Fundo				26,00	30,21	4,88	101,94	0,01	7,87	0,54	0,45	3,74	0,39	39,97	
10/jul	09:45	VZ	Sup	4,20	0,50	3,40	26,60	9,09	2,83	53,02		7,32						
			Fundo				26,50	10,16	2,89	54,38		7,40						
10/jul	13:00	BM	Sup	3,80	0,40	4,20	27,20	0,30	0,13	2,34	0,01	6,97	4,19	0,23	0,33	1,56	146,42	3,38
			Fundo				27,00	0,42	0,08	1,44	0,01	7,05	4,74	0,21	0,55	1,47	259,06	
10/jul	16:10	EN	Sup	3,80			27,00	0,87	0,86	15,50		7,08						
			Fundo				27,00	1,02	1,17	21,10		7,03						
10/jul	19:15	PM	Sup	4,70			26,00	8,55	4,48	82,79	0,01	7,57	3,68	0,96	6,62	1,16	141,19	9,72
			Fundo				26,20	27,27	4,41	90,92	0,06	7,83	1,20	0,66	5,30	0,73	62,63	
10/jul	22:15	VZ	Sup	4,00			26,00	2,99	1,38	24,71		7,16						
			Fundo				26,00	12,30	2,09	39,45		7,30						
11/jul	01:20	BM	Sup	3,30			26,00	0,52	0,55	9,71	0,01	6,90	8,16	1,23	3,38	2,36	220,56	4,79
			Fundo				26,00	0,67	0,51	9,01	0,01	6,93	6,07	1,13	4,25	2,69	162,33	
11/jul	04:20	EN	Sup	4,00			25,50	0,27	1,30	22,71		7,01						
			Fundo				25,50	1,87	1,29	22,75		7,08						
					média	3,30											média	9,10

Anexo 5 - Dados Climatológicos mensais do estuário de Barra das Jangadas no período de 2001.

Parâmetro	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT
Precipitação	58,70	56,50	133,70	327,70	59,50	432,40	355,50	210,80	106,30	103,60
Temperatura	26,60	27,30	27,10	26,20	26,30	24,60	24,50	24,60	25,40	26,00
Velocidade	3,20	3,30	2,80	2,60	2,40	2,40	2,70	3,50	3,70	3,10
Direção	se/s	se/e	se/e	se/s	se/e	se/sw	s/se	s/se	se/s	se/e
Umidade	73,00	72,00	79,00	82,00	78,00	85,00	85,00	78,00	77,00	79,00
Evaporação	226,60	193,30	160,90	101,10	113,10	85,40	90,60	140,00	143,40	175,40

Anexo 6. Variação diária dos parâmetros climatológicos do mês de Julho 2001

Dias	Precipitação	Temperatura	Velocidade	Direção	Umidade	Evaporação
1/1/2001	0,5	26,5	3,0	s	71	4,9
2/1/2001	0,0	26,3	3,1	s	72	5,1
3/1/2001	0,0	26,4	2,2	s	75	7,4
4/1/2001	5,6	26,6	2,3	s	76	5,6
5/1/2001	2,6	26,2	2,6	sw	81	5,7
6/1/2001	10,5	26,7	4,0	s	76	5,6
7/1/2001	0,0	26,7	3,4	se	71	7,4
8/1/2001	0,0	25,9	1,5	s	69	7,6
9/1/2001	0,0	25,8	3,9	se	80	6,0
10/1/2001	2,3	25,7	3,3	s	68	6,8
11/1/2001	3,6	26,2	1,7	s	82	10,2
12/1/2001	15,7	27,0	4,2	s	78	4,2
13/1/2001	1,1	27,0	4,9	s	73	7,7
14/1/2001	2,3	27,1	5,0	s	70	7,2
15/1/2001	1,0	27,2	4,2	se	71	7,8
16/1/2001	0,0	26,8	3,3	se	70	8,4
17/1/2001	0,0	26,5	4,4	se	67	7,0
18/1/2001	0,5	27,0	2,8	se	73	8,4
19/1/2001	11,4	26,6	4,1	s	75	6,6
20/1/2001	0,0	26,4	2,7	se	71	10,4
21/1/2001	0,0	26,0	2,7	e	70	8,4
22/1/2001	0,0	26,4	3,5	s	70	8,6
23/1/2001	0,0	26,9	3,3	s	72	6,9
24/1/2001	0,0	26,9	3,8	s	70	8,9
25/1/2001	0,0	26,6	3,2	s	68	8,4
26/1/2001	0,0	26,7	2,5	s	70	6,6
27/1/2001	0,0	26,8	2,6	se	72	8,2
28/1/2001	0,0	27,6	3,5	s	72	10,1
29/1/2001	0,0	26,5	2,5	s	71	5,9
30/01/01	0,0	26,7	3,5	s	72	7,6
31/1/2001	1,6	27,2	2,5	s	72	8,0

Anexo 7. Variação diária dos parâmetros climatológicos do mês de Julho 2001

Dias	Precipitação	Temperatura	Velocidade	Direção	Umidade	Evaporação
1/7/2001	52,0	24,5	2,6	S	86	0,5
2/7/2001	6,7	25,1	2,8	S	79	3,1
3/7/2001	3,0	24,1	2,7	S	88	2,7
4/7/2001	9,0	24,2	1,0	S	85	1,7
5/7/2001	2,8	24,1	1,6	S	87	3,2
6/7/2001	26,6	24,6	1,8	S	85	2,0
7/7/2001	2,4	25,2	2,4	SE	80	3,7
8/7/2001	11,0	25,4	4,5	S	82	3,2
9/7/2001	4,6	24,8	2,4	SE	80	4,2
10/7/2001	4,9	23,7	2,6	S	86	3,5
11/7/2001	5,4	24,9	2,0	S	84	2,5
12/7/2001	4,8	24,3	1,6	S	91	2,5
13/7/2001	24,6	24,7	3,0	S	85	1,5
14/7/2001	9,0	24,3	2,4	S	79	2,6
15/7/2001	7,4	23,8	2,1	SE	87	4,2
16/7/2001	5,6	24,4	2,7	SE	86	2,6
17/7/2001	18,0	25,5	3,9	SE	77	3,4
18/7/2001	1,4	25,3	3,2	SE	79	5,1
19/7/2001	14,7	23,6	3,4	S	93	3,7
20/7/2001	47,1	24,6	2,5	SE	93	1,4
21/7/2001	24,2	24,1	0,9	E	91	0,8
22/7/2001	2,3	24,4	1,8	S	88	1,6
23/7/2001	3,8	24,7	3,6	S	84	2,2
24/7/2001	1,4	24,2	1,7	S	83	3,6
25/7/2001	3,0	24,5	2,7	S	84	2,6
26/7/2001	4,5	24,2	4,4	S	80	3,6
27/7/2001	2,2	23,9	3,6	SE	84	4,7
28/7/2001	38,1	24,0	3,1	S	83	3,2
29/7/2001	6,7	24,2	3,0	S	83	3,5
30/7/2001	7,1	25,1	4,6	S	77	3,4
31/7/2001	1,2	25,1	4,4	S	68	4,1