

KASSIO RIOS DA SILVA

FLUXO DE NUTRIENTES E MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO EM
UM MANGUEZAL DO SETOR EUHALINO DA BAÍA DE PARANAGUÁ, PR.



Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Oceanografia com Habilitação em Pesquisa Oceanográfica, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Garcia de Camargo.

Co-Orientadora: Prof.^a Dr.^a Eunice da Costa Machado.

M 583.42
S586f
2006
ex.01

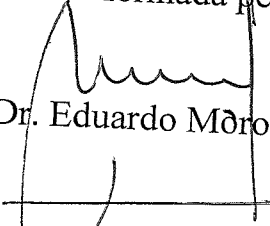
PONTAL DO PARANÁ
2006

TERMO DE APROVAÇÃO

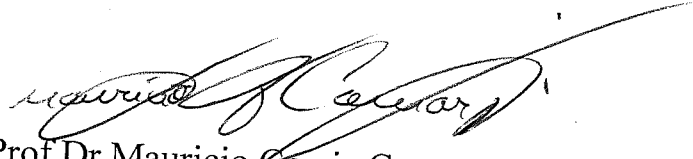
Kassio Rios da Silva

"FLUXOS DE NUTRIENTES E MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO EM UM MANGUEZAL DO SETOR DA BAIJA DE PARANAGUÁ PARANA".

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela
Comissão formada pelos professores:


Prof.Dr. Eduardo Mörone (UFPR/CEM)

 COORDENADOR
Prof.Dr. Paulo Pagliosa (UFSC)


Prof.Dr.Mauricio Garcia Camargo (UFPR/CEM)


Prof.Dr.Maurício Garcia Camargo (UFPR/CEM)
Presidente

Pontal do Paraná 01 de dezembro 2006.

m
583.112
50067
2006
ex-01

Índice

ÍNDICE DE FIGURAS.....	III
ÍNDICE DE TABELAS	V
RESUMO	VI
INTRODUÇÃO	1
ÁREA DE ESTUDO	5
MATERIAIS E MÉTODOS	7
AMOSTRAGEM EM CAMPO	7
ANÁLISES LABORATORIAIS.....	9
<i>Nutrientes e Material Particulado em Suspensão (Seston)</i>	9
<i>Oxigênio dissolvido</i>	9
<i>Cálculo dos Fluxos</i>	9
<i>Análises estatísticas</i>	12
RESULTADOS	13
PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	13
TEMPERATURA DA ÁGUA	14
SALINIDADE	15
POTENCIAL HIDROGÊNIONICO (PH).....	16
OXIGÊNIO DISSOLVIDO.....	16
NUTRIENTES	17
<i>Silicato</i>	17
<i>Nitrito</i>	18
<i>Nitrato</i>	19
<i>Nitrogênio amoniacal</i>	20
<i>Nitrogênio Total</i>	21
<i>Fosfato</i>	22
<i>Fósforo Total</i>	23
MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (SESTON)	24
PCA E CARACTERIZAÇÃO DOS PERÍODOS AMOSTRADOS	24
FLUXOS.....	26
FLUXO LÍQUIDO AREAL	27
<i>Silicato</i>	27
<i>Nitrogênio</i>	28
<i>Fósforo</i>	29
<i>Material Particulado em Suspensão (Seston)</i>	30
FLUXO ANUAL	31
DISCUSSÃO.....	33
VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS	33
FLUXOS.....	37
CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
BIBLIOGRAFIA.....	41
ANEXOS.....	47

Índice de Figuras

FIGURA 1. Localização da área de estudo; A - gamboa Rio Maciel indicada pela seta amarela; B - Baía de Paranaguá, no detalhe gamboa Rio Maciel; C - coordenadas da Baía de Paranaguá.	5
FIGURA 2. Desenho esquemático do experimento nos detalhes a localização do início e final do flume, o fluxo de água no sentido perpendicular a gamboa e o FLA: fluxo líquido areal.....	7
FIGURA 3. Visão frontal do flume vazio (A) e preenchido com água durante o estófo da maré (B).	8
FIGURA 4. Precipitação pluviométrica medida na estação meteorológica do CEM nos períodos que antecederam às coletas.	13
FIGURA 5. Média, erro padrão e desvio padrão da temperatura da água mensurada durante os meses amostrados	14
FIGURA 6. Média, erro padrão e desvio padrão da salinidade da água mensurada durante os meses amostrados.	15
FIGURA 7. Média, erro padrão e desvio padrão dos valores de pH, no início e no final do flume, mensurados durante os meses amostrados.	16
FIGURA 8. Média, erro padrão e desvio padrão da concentração de silicato mensurada durante os meses amostrados em: A - no início e no final do flume; B – durante as marés enchente e vazante.....	17
FIGURA 9. Média, erro padrão e desvio padrão da concentração de nitrito mensurada durante os meses amostrados em: A - no início e no final do flume; B – durante as marés enchente e vazante.....	18
FIGURA 10. Média, erro padrão e desvio padrão da concentração de nitrato mensurada durante os meses amostrados em: A - no início e no final do flume; B – durante as marés enchente e vazante.....	19
FIGURA 11. Média, erro padrão e desvio padrão da concentração de nitrogênio amoniacal mensurada durante os meses amostrados em: A - no início e no final do flume; B – durante as marés enchente e vazante.	20
FIGURA 12. Média, erro padrão e desvio padrão da concentração de nitrogênio total mensurada durante os meses amostrados em: A - no início e no final do flume; B – durante as marés enchente e vazante.....	21
FIGURA 13. Média, erro padrão e desvio padrão da concentração de fosfato mensurada durante os meses amostrados em: A - no início e no final do flume; B – durante as marés enchente e vazante.....	22
FIGURA 14. Média, erro padrão e desvio padrão da concentração de fósforo total mensurada durante os meses amostrados em: A - no início e no final do flume; B – durante as marés enchente e vazante.	23
FIGURA 15. Média, erro padrão e desvio padrão da concentração de seston mensurada durante os meses amostrados em: A - no início e no final do flume; B – durante as marés enchente e vazante.....	24
FIGURA 16. Representação gráfica da análise de componentes principais (PCA). Os códigos (1-4) representam os períodos amostrados.....	25
FIGURA 17. Fluxo líquido areal de silicato durante os meses amostrados. Fluxos em $\mu\text{moles} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$	27
FIGURA 18. Fluxo líquido areal de: A nitrito, B nitrato, C nitrogênio amoniacal e D Nitrogênio total durante os meses amostrados. Fluxos em $\mu\text{moles} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}$	29

FIGURA 19. Fluxo líquido areal de: A fosfato e B fósforo total durante os meses amostrados. Fluxos em $\mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}$	30
FIGURA 20. Fluxo líquido areal de seston durante os meses amostrados. Fluxos em $\text{mg} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$	30
FIGURA 21. Balanço anual estimado. Setas entrando no flume indicam importação, setas saindo representam exportação. Balanço em $\text{g} * \text{m}^{-2} * \text{ano}^{-1}$	32

Índice de Tabelas

TABELA 1. Variação temporal da maré registrada na planície intermareal. T total: período em que o flume permaneceu submerso; T enc: período total de maré enchente; T vaz período total de maré vazante.....24

TABELA 2. Fluxos anuais de nutrientes (g m^{-2}) e seston (g m^{-2}) avaliados durante o período de agosto de 2005 e julho de 2004.....29

TABELA 3. Variação das variações das Concentrações de nutrientes (μM) em alguns ecossistemas. Os valores de Brandini referem-se às médias encontradas no setor euhalino da Baía das Laranjeiras.....34

Resumo

Um dos temas mais interessantes em ecologia de estuários é o paradigma da exportação de energia. Sabe-se que os manguezais não apresentam um padrão único de exportação da matéria orgânica e nutrientes, os estudos quantitativos que medem estas trocas podem revelar o complexo funcionamento das cadeias tróficas estuarinas. Entretanto, devido à dificuldade de medição, pouco se sabe a respeito do comportamento e magnitude das transformações ocorridas com os macronutrientes nesses ambientes. O presente estudo tem como objetivo mensurar o fluxo de nutrientes (silicato, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, fosfato e fósforo total) e material particulado em suspensão (seston) entre o manguezal e o Rio Maciel, localizado na Baía de Paranaguá (PR). Para tanto, foi construído uma canaleta artificial ou flume, que permite o fluxo de água perpendicular à gamboa (gamboa – manguezal) e restringe o fluxo paralelo. Os fluxos foram calculados hipsometricamente, através do perfil do manguezal e de variações na altura da coluna d'água em quatro períodos: agosto de 2005, outubro de 2005, fevereiro de 2006 e julho de 2006. Fluxos instantâneos, fluxos líquidos e fluxos areais foram calculados, de acordo com as metodologias preconizadas na literatura especializada. Os resultados revelam que o manguezal estudado oscila entre a exportação das formas de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) durante o inverno e importa, durante o verão, quantidades menores NID e fosfato.

Palavras-Chave: Fluxo de nutrientes, Material particulado, Remineralização, Manguezal, Flume.

Introdução

Manguezais são ecossistemas abertos, ligados a corpos d'água adjacentes através de canais de maré. Geralmente apresentam grande produtividade, possuindo um grande número de produtores primários, grande diversidade de microhabitats, complexas relações interespecíficas e trocas intensivas de matéria orgânica e organismos com sistemas externos (DAY *et al.*, 1989; TWILLEY *et al.*, 1992). Estes ecossistemas podem ser encarados como uma interface entre ecossistemas terrestres e marinhos adjacentes, fornecendo vias de transporte e transformação de materiais entre ambos, em um fluxo constante (BROWN, 1984).

O fluxo e refluxo da água em um estuário, determinado pelas marés, ondas e correntes, é responsável pela reciclagem parcial de nutrientes e compostos orgânicos, de tal forma que os mesmos podem aproveitar melhor a energia solar e tornar esta unidade costeira mais produtiva que as adjacentes. Entretanto, a troca de nutrientes entre manguezais e águas costeiras adjacentes não é bem compreendida devido à dificuldade de mensuração dos fluxos de nutrientes nesse ambiente (BOTO & ROBERTSON, 1990).

O nitrogênio é um dos nutrientes mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos. Esta importância deve-se principalmente à sua participação na formação das proteínas, um dos componentes básicos da biomassa. Suas principais fontes naturais são os aportes pluviais e fluviais, a fixação no próprio ambiente por organismos nitrificantes e o carreamento pelo lençol freático. O nitrogênio está presente em ambientes aquáticos sobre varias formas (eg. NO_2^- , NO_3^- , NH_3 , e NH_4^+). No entanto o nitrato e o amônio constituem as principais fontes de nitrogênio para os produtores primários (ESTEVES, 1998). O nitrito representa uma fase intermediária entre a amônia (NH_3) e o nitrato. Durante o processo de nitrificação o íon amônio é transformado a nitrito, o qual, na presença de oxigênio, é rapidamente oxidado a nitrato.

Em manguezais o nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) representa a maior fração de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) encontrado na água intersticial dos sedimentos (ALONGI, 1996), constituindo produto direto do processo de degradação da matéria orgânica. Os principais processos de remoção do nitrogênio são a absorção direta por organismos fotossintetizantes e a denitrificação.

Até o presente momento não existe um consenso sobre qual forma de nitrogênio (NID) é preferencialmente assimilada pelo bosque de manguezal (BOTO, 1985; NAIDOO, 1987) existem indícios da influencia da composição fitossociológica na diminuição da concentração de nutrientes, neste ecossistema (DAVIS, 2001).

Assim como o nitrogênio o fósforo possui papel fundamental nos sistemas biológicos. Participa de processos metabólicos fundamentais aos seres vivos, tais como: armazenamento de energia (ATP) e estruturação da membrana celular. Toda forma de fósforo presente em águas naturais, quer na forma iônica, quer na forma complexada, encontra-se sob a forma de fosfato (ESTEVES, 1998).

Grande parte do fósforo inorgânico do sedimento encontra-se adsorvido ou fortemente ligado a ferro e cálcio, sendo indisponível para a absorção direta pelas árvores (ALONGI, 1997). O fosfato pode estar presente nas formas oxi-hidróxido de ferro, oxi-hidróxido de alumínio, oxi-hidróxido de cálcio e oxi-hidróxido de manganês. As condições de pH, salinidade e potencial redox irão determinar a concentração de cada forma complexada (de JONGE & VILLERIUS, 1989; LEBO, 1991).

As formas inorgânicas de fósforo associados ao material argilo-orgânico apresentam um interesse evidente na medida em que estes atuam como uma reserva tampão de nutrientes para a coluna d'água: de um lado, amortecem os aumentos de nutrientes no meio, oriundos dos aportes direto e/ou da decomposição da matéria orgânica, seqüestrando uma parte deles e, de outro lado, compensam os déficits em nutrientes em períodos de alta demanda biológica, liberando parte destas formas seqüestradas (CARMOUZE, 1994).

O fosfato presente nos sistemas aquáticos é originado de fontes naturais e antrópicas. Dentre as fontes naturais podemos citar o lixiviamento das rochas da bacia de drenagem, principalmente a apatita, o material particulado presente na atmosfera e o fosfato resultante da decomposição de organismos de origem alóctone. As fontes antrópicas mais importantes são: esgotos domésticos e industriais, material particulado de origem industrial contido na atmosfera e escoamento superficial de terras de cultivo que utilizam fertilizantes fosfatados (ESTEVES, 1998).

Um dos temas mais interessantes em ecologia de estuários é o paradigma da exportação de energia. Será que os mangues exportam quantidades significativas de nutriente e matéria orgânica para subsidiar as cadeias alimentares em águas costeiras? Ou

estariam atuando como sumidouro de nutrientes e matéria orgânica? O papel dos manguezais no ciclo costeiro de nutrientes é, pelo menos conceitualmente, parecido com papel dos ecossistemas de marismas. Diversos estudos têm indicado que estes ecossistemas atuam como transformadores de produtos nitrogenados, importando nitrogênio inorgânico dissolvido e exportando formas reduzidas de nitrogênio dissolvido e particulado (NIXON, 1980; VALIELA, 1983; WHITING ET AL., 1989) citado por RIVERA-MONROY (1994). Entretanto, a extrapolação destes resultados é bastante limitada, pois, de acordo com VALIELA (1983), o fluxo do nitrogênio entre a marisma e o estuário adjacente está intimamente ligado a vários fatores, tais como a posição geográfica, clima, geomorfologia e hidrologia.

Num ecossistema ocorrem continuamente produção de matéria orgânica através dos processos de fotossíntese e biossíntese e mineralização de matéria orgânica através dos processos de respiração e fermentação (CARMOUZE, 1994). A evolução deste conjunto de processos define o metabolismo do ecossistema, que pode ser considerado como o metabolismo emergente da soma dos diversos metabolismos das comunidades que constituem a biota (CARMOUZE, 1994).

Ao longo do ano, o ecossistema comumente passa por fases de produção líquida de matéria orgânica, quando a produção supera a mineralização e fases de mineralização líquida, quando ocorre o oposto. No primeiro caso, o ecossistema é chamado autótrofo por não precisar de contribuição externa de matéria orgânica para se manter. Obrigatoriamente, utiliza uma fonte alóctone de nutrientes e se comporta como um importador e seqüestrador de nutrientes e um acumulador e exportador de matéria orgânica. Ao contrário, o ecossistema é chamado de heterótrofo, por necessitar de contribuições alóctones de matéria orgânica para subsistir. Neste caso, não é obrigatória uma fonte de nutrientes. O meio se torna um lugar de autodepuração da matéria orgânica e um exportador de nutrientes (CARMOUZE, 1994).

No Complexo Estuarino de Paranaguá, o estudo realizado por CUNHA (1996) investigou os fluxos de nutrientes no rio Maciel. Porém, nenhum estudo pretérito investigou a interação canal de maré – planície inundada nas áreas estudadas. O fluxo mensurado no canal inclui efeitos do fundo do mesmo, de baixios e possíveis interações na coluna d'água com os nutrientes trocados com a planície inundada. As concentrações

encontradas são dependentes, então, dos processos biogeoquímicos que ocorrem nesses compartimentos e não necessariamente o efeito do manguezal nestas concentrações (WHITING *et al.* 1989).

O presente estudo teve como objetivos a mensuração dos fluxos de nutrientes e material particulado em suspensão (seston) no manguezal do rio Maciel e avaliar possíveis efeitos das oscilações sazonais no comportamento e intensidade dos fluxos.

Área de Estudo

O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) está localizado na costa sul do Brasil ($25^{\circ}33' S$ e $48^{\circ}24' O$), possuindo uma área de 601 km^2 nos quais estão contidos a Baía de Paranaguá propriamente dita, a Baía de Antonina e a Baía das Laranjeiras (Fig. 1 – B). A descarga de água doce da Baía de Paranaguá é de $200 \text{ m}^3/\text{s}$ e a descarga de maré de aproximadamente $7.862 \text{ m}^3/\text{s}$. Poucos rios deságuam na baía, porém vários canais de maré estão presentes. As margens destes rios e canais assim como as ilhas presentes na baía são geralmente cobertas por extensas formações de manguezais, ocorrendo ainda áreas de marismas, bancos intermareais, praias arenosas estuarinas e costões rochosos.

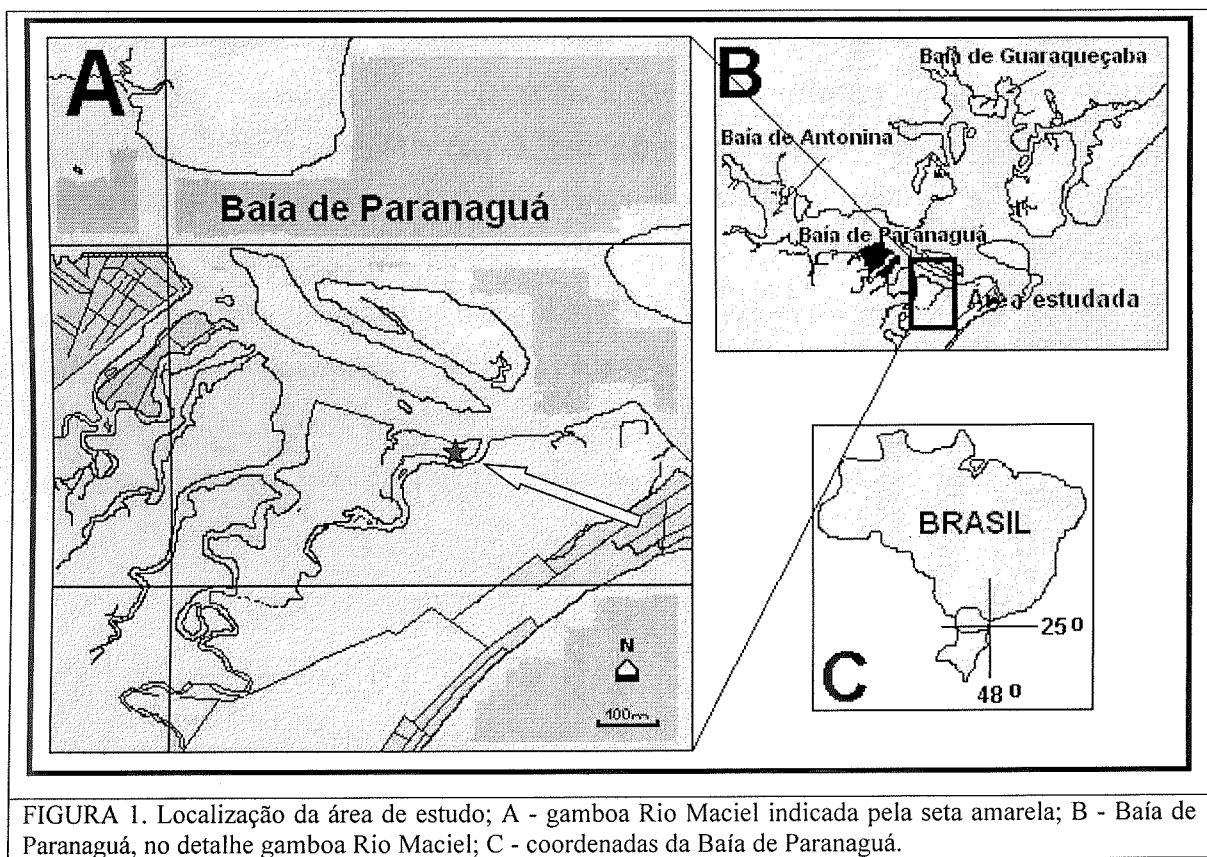


FIGURA 1. Localização da área de estudo; A - gamboa Rio Maciel indicada pela seta amarela; B - Baía de Paranaguá, no detalhe gamboa Rio Maciel; C - coordenadas da Baía de Paranaguá.

A assimetria de maré vazante é caracterizada por maiores velocidades e menores períodos de vazante em relação à maré enchente (FRY & AUBREY, 1990; WALTON, 2002). A Baía de Paranaguá apresenta uma forte assimetria na velocidade e elevação de

maré, com amplificação da altura da maré e incremento na assimetria das correntes estuário acima (CAMARGO, 1998).

Durante um monitoramento realizado em um transecto perpendicular ao porto de Paranaguá, entre os anos de 1998 e 1999, MANTOVANELLI (1999) encontrou as maiores diferenças entre as velocidades médias de enchente e vazante e os menores períodos de duração para vazante, em relação aos de enchente, durante os ciclos de sizígia, com a duração da maré enchente entre 1,6 a 3,6 h superiores aos de vazante.

De acordo com a classificação de Koeppen, o clima da região é caracterizado como Cfa – Clima tropical temperado, com chuvas em todos os meses do ano e temperatura média do ar superior a 22 °C durante o mês mais quente (MAACK, 1981).

Os manguezais do complexo estuarino da Baía de Paranaguá ocupam uma área de 160 Km² e apresentam bosques de *Rhizophora mangle*, *Avicennia schaueriana* e *Laguncularia racemosa*, com ocorrência de *Achrostichum aureum* e *Hibiscus pernanbucensis* na zona limite com a restinga, e ocorrência de *Spartina alterniflora* em bancos de maré ou em franjas, frontais aos manguezais (HERZ, 1990).

O rio Maciel (Fig. 1 - A), que se encontra no setor euhalino da Baía de Paranaguá, apresenta margens cobertas por manguezais com estrutura variando entre bosques muito densos, desde bosques anões a bosques mais desenvolvidos com altura entre 8 e 10 m. O rio nasce de um estreito canal de maré ligado ao rio Guaraguaçu e recebe um pequeno aporte de água doce, que se intensifica no verão (CUNHA, 1996).

Materiais e Métodos

Amostragem em Campo

Para mensuração dos fluxos entre o manguezal e a gamboa Rio Maciel, um flume similar ao descrito em CHILDERS & DAY (1988) e RIVERA-MONROY *et al* (1995) foi construído sobre um bosque de manguezal, dominado por *Rizhofora mangle*, localizado em um sangradouro da gamboa do Maciel. O flume estendeu-se por 12 metros, partindo da interface canal de maré (início do flume) em direção ao bosque (final do flume, ver figura 2), sendo construído com 2 lonas plásticas maleáveis de 1,5m de altura por 12,5m de comprimento (figura 3). As lonas foram fixadas a cada 2m, com o auxílio de estacas de bambu, enterradas 25cm abaixo do sedimento e espaçadas a cada 2m. A estrutura formou um canal artificial que permitiu o fluxo perpendicular à gamboa e restringiu o fluxo paralelo (figura 3). Passarelas de madeira foram construídas e alocadas tangencialmente à lona para amenizar a ressuspensão de sedimento.

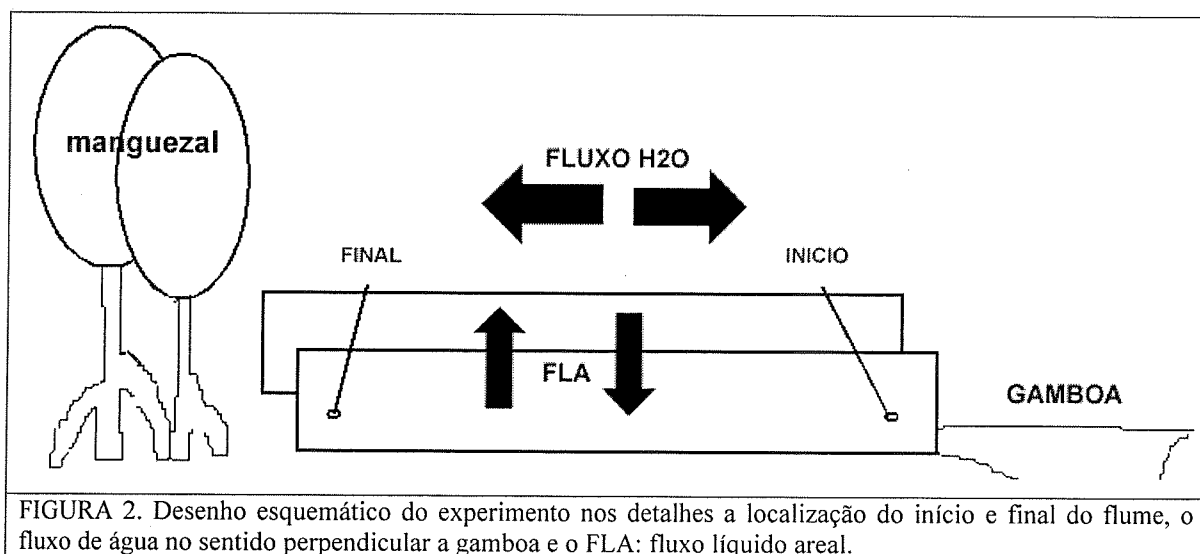


FIGURA 2. Desenho esquemático do experimento nos detalhes a localização do início e final do flume, o fluxo de água no sentido perpendicular a gamboa e o FLA: fluxo líquido areal.

Em diversos estudos as amostragens foram realizadas a intervalos constantes de tempo (WOLAVER ET AL., 1985; CHILDERS & DAY, 1988; RIVERA-MONROY ET AL., 1995; DE MUTSERT ET AL., 2005; ROMIGH, 2005; ROMIGH 2006). No entanto, devido à assimetria da maré apresentada no local de estudo, a amostragem de nutrientes e

seston foi realizada em função da variação no nível da maré, de maneira a equilibrar o número de amostras durante a maré enchente e vazante.

As coletas foram realizadas em agosto de 2005, outubro de 2005, fevereiro de 2006, julho de 2006 sempre em marés de sizígia e em boas condições de tempo (não foram efetuadas coletas com chuva) durante o período em que o flume esteve preenchido com água (em média 4 horas).

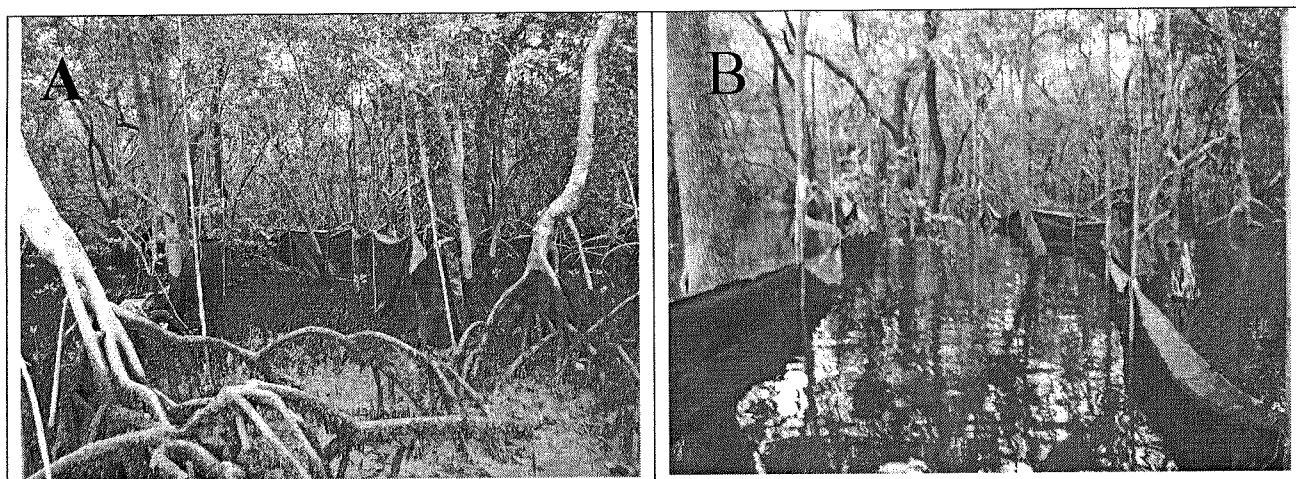


FIGURA 3. Visão frontal do flume vazio (A) e preenchido com água durante o estófo da maré (B).

A salinidade, a temperatura e o pH foram medidos *in situ* com auxílio de refratômetro manual da marca ATAGO, termômetro de mercúrio e pHmetro de campo Hanna respectivamente.

As amostras para determinação de oxigênio dissolvido foram cuidadosamente coletadas, com auxílio de um amostrador manual (frasco de polietileno acoplado a uma haste de madeira), no início do flume evitando o turbilhamento, em outubro de 2005, fevereiro de 2006 e julho de 2006. As amostras foram imediatamente fixadas e conservadas em local escuro e sem variação de temperatura até a análise em laboratório.

As amostras de água para a determinação da concentração de nutrientes e seston foram coletadas simultaneamente no início e no final do flume com auxílio do amostrador manual e imediatamente acondicionadas em fracos rígidos de polietileno e refrigeradas para posterior análise no Laboratório de Biogeoquímica Marinha do Centro de Estudos do Mar – UFPR.

Análises Laboratoriais

Nutrientes e Material Particulado em Suspensão (Seston)

Em laboratório foram retiradas alíquotas de 50ml para a determinação de nitrogênio total e fósforo total, essas alíquotas foram conservadas a -20 °C até posterior análise pelo método de digestão com persulfato (KOROLEFF, 1977), seguidas pela medição colorimétrica na forma de nitrato e fosfato como descrito em GRASSHOFF *et al.*, (1983).

As amostras para a determinação de seston foram filtradas em filtros GF 52C (Schleicher & Schuell) imediatamente após a chegada no laboratório e os filtros armazenados a -20 °C até posterior determinação pelo método gravimétrico descrito em STRICKLAND & PARSONS, (1972). O filtrado foi estocado para análise de nitrogênio inorgânico dissolvido (nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal), fósforo inorgânico dissolvido (fosfato) e silicato pelo método colorimétrico descrito em GRASSHOFF *et al.* (1983).

Oxigênio dissolvido

Em laboratório as amostras foram tituladas com titulador automático TITRINO 702SM seguindo o método descrito em GRASSHOFF *et al.*, (1983).

Cálculo dos Fluxos

O volume de água contido no flume foi calculado hypsometricamente com o auxílio de réguas de maré e da microtopografia interna do flume. Os fluxos instantâneos foram medidos pela variação no volume d'água no tempo (fluxo de água) multiplicados pelas concentrações de nutrientes e seston das extremidades do experimento (CHILDERS & DAY, 1988).

$$\text{Fluxo Instantâneo (FI)} = [[X]_t * (FH_2O)_t].$$

Onde [X] é a concentração (μM) do elemento X no tempo t e FH_2O é o fluxo de água neste intervalo de tempo. Sendo o resultado obtido em $\mu\text{moles} * \text{min}^{-1}$.

Para cada situação de maré (enchente e vazante), foi calculada a quantidade dos constituintes em ambas as extremidades do flume – fluxo total – utilizando a equação de CHILDERS & DAY (1988) adaptada por ROMIGH (2005).

$$\text{Fluxo Total (FT)} = \{([X]_t + [X]_{t+1} / 2) * FH_2O * T_{t,t+1}\} + \{([X]_{t+1} + [X]_{t+2} / 2) * FH_2O * T_{t+1,t+2}\} + \dots + \{([X]_{tn} + [X]_{tn+1} / 2) * FH_2O * T_{tn,tn+1}\}.$$

Onde T é o tempo em minutos entre a coleta do nutriente no tempo t e no tempo t+1 e FH_2O é o fluxo de água durante este intervalo de tempo. O fluxo é expresso em μmoles .

O fluxo líquido para maré enchente (FLe) é calculado pela diferença dos fluxos totais, encontrados no início e no final do flume, divididos pelo tempo total da maré enchente seguindo a abordagem de RIVERA-MONROY (1995). Para a maré vazante (FLv) inverte-se a ordem da subtração, como pode ser observado abaixo:

$$\text{Fluxo Líquido (FLe)} = (FT(\text{início}) - FT(\text{final})) / \text{tempo de duração da enchente};$$

$$\text{Fluxo Líquido (FLv)} = (FT(\text{final}) - FT(\text{início})) / \text{tempo de duração da vazante}.$$

Sendo o resultado obtido em $\mu\text{moles min}^{-1}$.

Assim fluxos positivos indicam importação e fluxos negativos indicam exportação de nutrientes ou seston. O fluxo líquido areal é calculado para cada fase da maré pela divisão do fluxo líquido pela área do flume (24m^2):

$$\text{Fluxo Líquido Areal na enchente (FLAe)} = FLe / \text{Área do flume}$$

$$\text{Fluxo Líquido Areal na vazante (FLAv)} = FLv / \text{Área do flume}$$

Com o resultado expresso na unidade $\mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$

Os fluxos anuais foram calculados (FAe e FAv), através da multiplicação do FLA pelo o tempo estimado em que o manguezal esteve submerso durante o período de um ano (TTM). O TTM foi determinado por uma calibração empírica entre a maré observada no flume e a previsão de maré realizada pelo CEM para a Ilha das Cobras (local mais próximo à área estudada com previsão de maré) no intervalo entre agosto de 2005 e julho de 2006.

Devido à assimetria de maré vazante realizou-se uma correção:

$$\text{Tempo de Maré enchente Anual (TMeA)} = \text{TTM} * \text{TMEobs} * 100 / (\text{TMEobs} + \text{TMVobs})$$

$$\text{Tempo de Maré vazante Anual (TMvA)} = \text{TTM} * \text{TMVobs} * 100 / (\text{TMEobs} + \text{TMVobs})$$

Onde:

TTM – Tempo total em que o manguezal esteve submerso.

TMEobs – Somatório do tempo de duração da maré enchente durante as 4 coletas.

TMVobs – Somatório do tempo de duração da maré vazante durante as 4 coletas.

Realizando esta correção o TTM fica proporcionalmente dividido de acordo com os tempos observados durante as campanhas.

Desta maneira:

$$\text{Fluxo Anual de Enchente (FAe)} = \text{FLAe} * \text{TMeA}$$

$$\text{Fluxo Anual de Vazante (FAe)} = \text{FLAv} * \text{TMvA}$$

Com o resultado expresso pela unidade $\mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{ano}^{-1}$

Presume-se que o consumo ou a regeneração de nutrientes dentro do flume controle a magnitude e direção das taxas de importação ou exportação. A mudança nas concentrações entre as extremidades do experimento é resultado da interação coluna d'água – sedimento, coluna d'água – rizosfera e processos na própria coluna d'água.

Análises estatísticas

Para a comparação das concentrações médias de nutrientes e seston entre as fases da maré (enchente e vazante) estudadas em cada período, foi realizado o “teste-t” para amostras independentes.

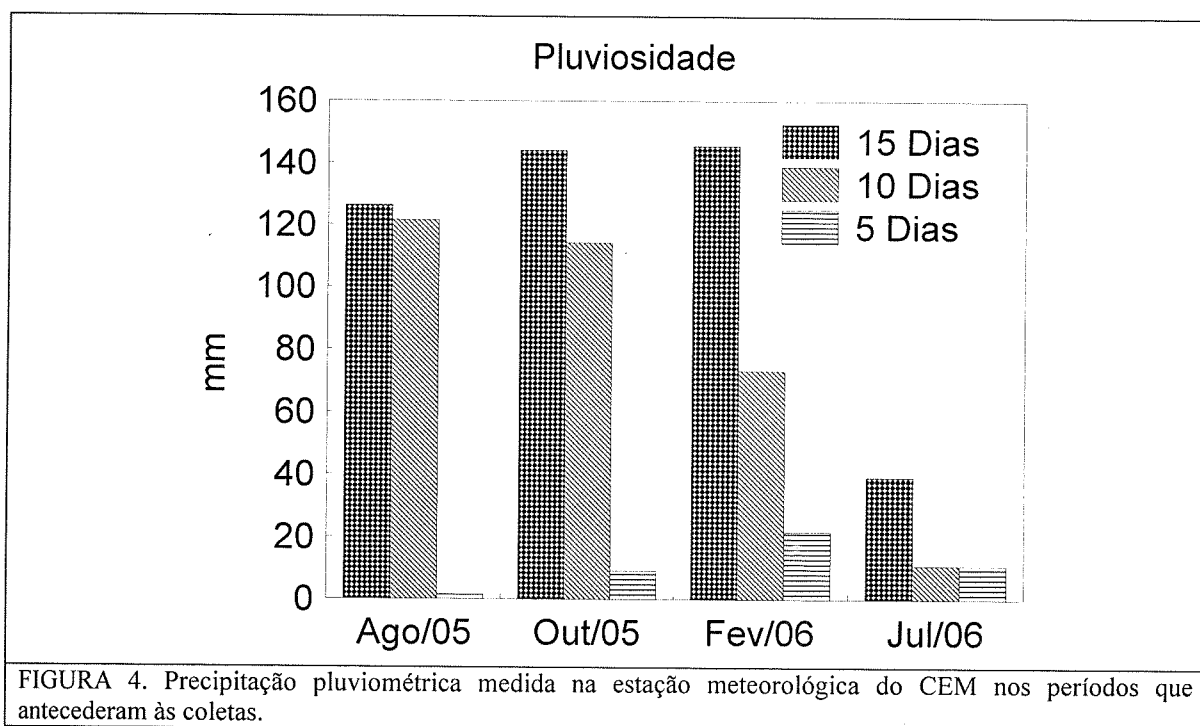
Já para diferenciação entre as concentrações encontradas no início e no final do flume foi utilizado o teste-t para amostras dependentes. A diferenciação entre início e final do experimento foi efetuada separadamente para cada fase da maré, ou seja, foram testadas possíveis diferenças entre o início e o final do flume para as concentrações encontradas na maré enchente e na maré vazante. Tanto o teste-t independente quanto o dependente, citados acima, foram realizados pelo software Statistica v. 6.0 (STATSOFT, INC., 2001). Durante as análises foram consideradas significativas as médias diferenciadas a um nível de confiança igual ou superior a 95% ($p\text{-valor} \leq 0,05$).

Uma análise de componentes principais (PCA) foi efetuada com o objetivo de ordenar as amostras dos períodos amostrados em função das variáveis físico-químicas. As variáveis incluídas nas análises possuíam diferentes unidades e ordens de magnitude e por isso foi efetuada a padronização dos dados. Esta análise foi efetuada com o software MVSP 3.11 (KOVACH COMPUTING SERVICES, 1999).

Resultados

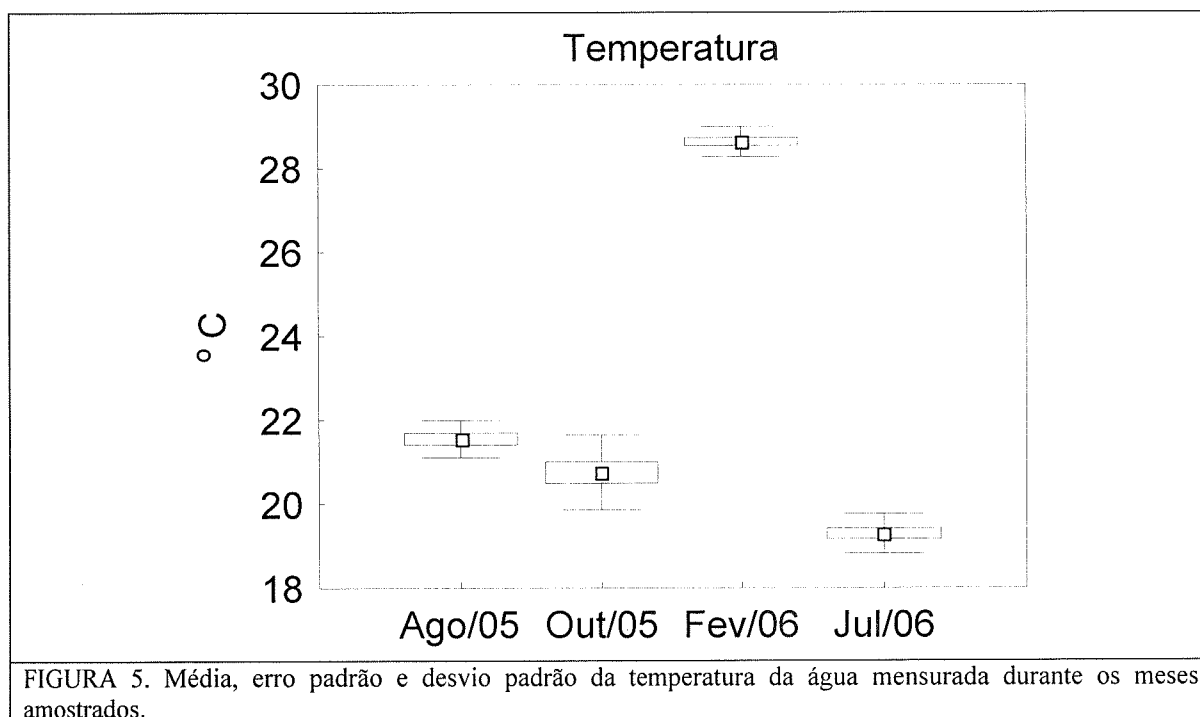
Precipitação pluviométrica

Os dados de pluviosidade são relativos à estação meteorológica do CEM - Centro de Estudos do Mar (CEM, 2006), localizada no município de Pontal do Paraná a 7 quilômetros da área de estudo. No gráfico da figura 4, estão representados os valores de precipitação acumulados para 5, 10 e 15 dias anteriores à data de coleta.



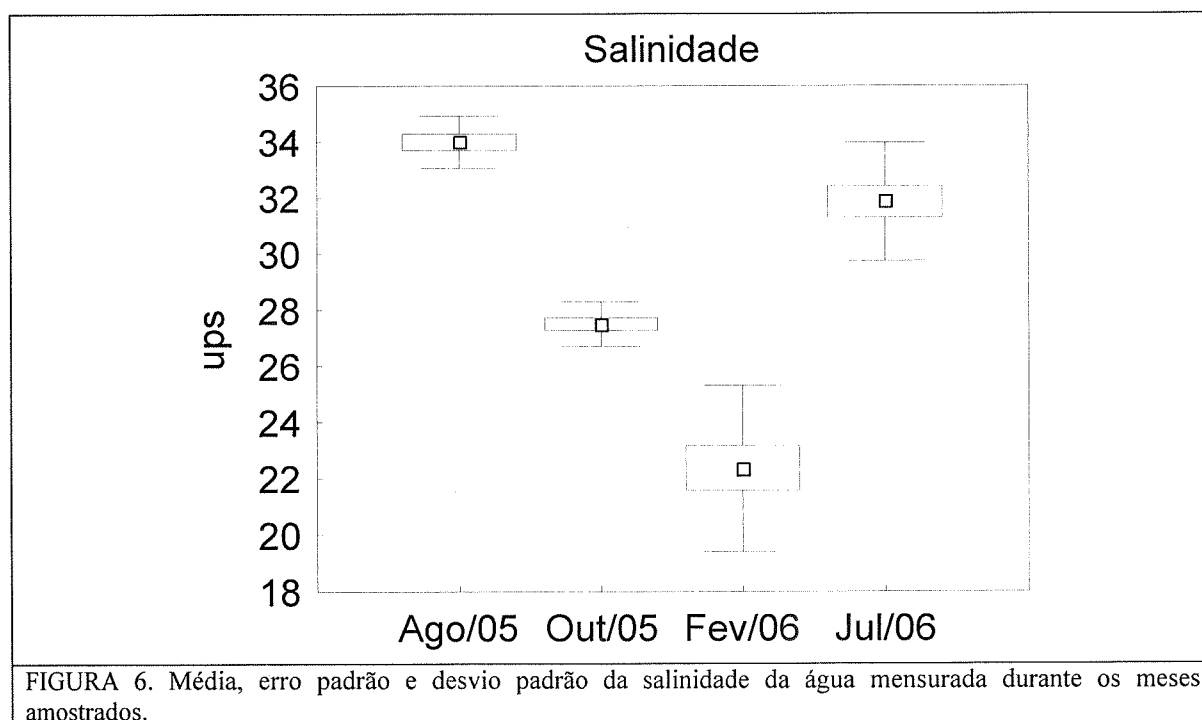
Temperatura da água

A temperatura da água variou durante as estações de coleta atingindo um mínimo de 19°C em Julho de 2006 e um máximo de 29°C em fevereiro de 06. Durante os meses de agosto e outubro de 2005 a temperatura oscilou entre 20,5°C e 22,5°C (figura 5).



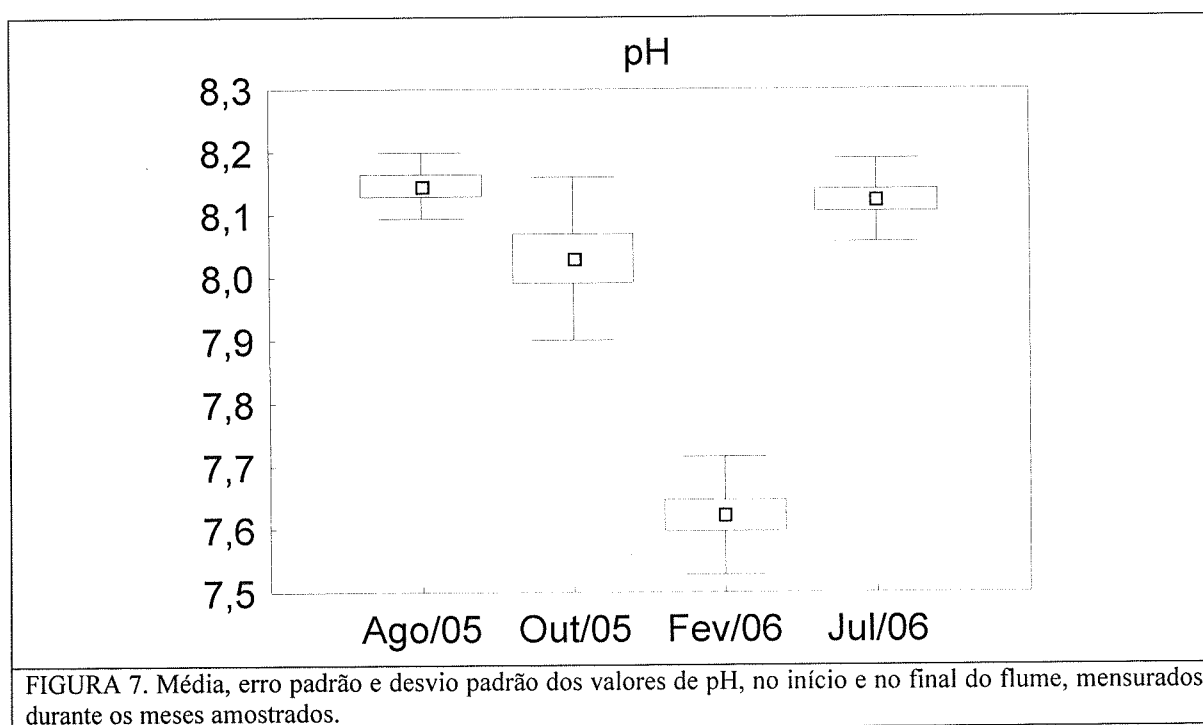
Salinidade

Os máximos de salinidade foram encontrados em agosto de 2005 com valores entre 33 (vazante) e 35 (enchente). Os menores valores foram mensurados em fevereiro de 2006 com mínima de 18 durante a maré vazante e máxima de 25 na enchente, coincidindo com os maiores valores de pluviosidade nos 5 dias que antecederam a coleta (figura 6).



Potencial hidrogênico (pH)

Os menores valores de pH foram encontrados em fevereiro de 2006 com mínimo de 7,41 e máximo de 7,73. Durante os meses de agosto de 2005 e julho de 2006 os valores encontrados foram semelhantes, com média de 8,17 e 8,12 respectivamente (figura 7).



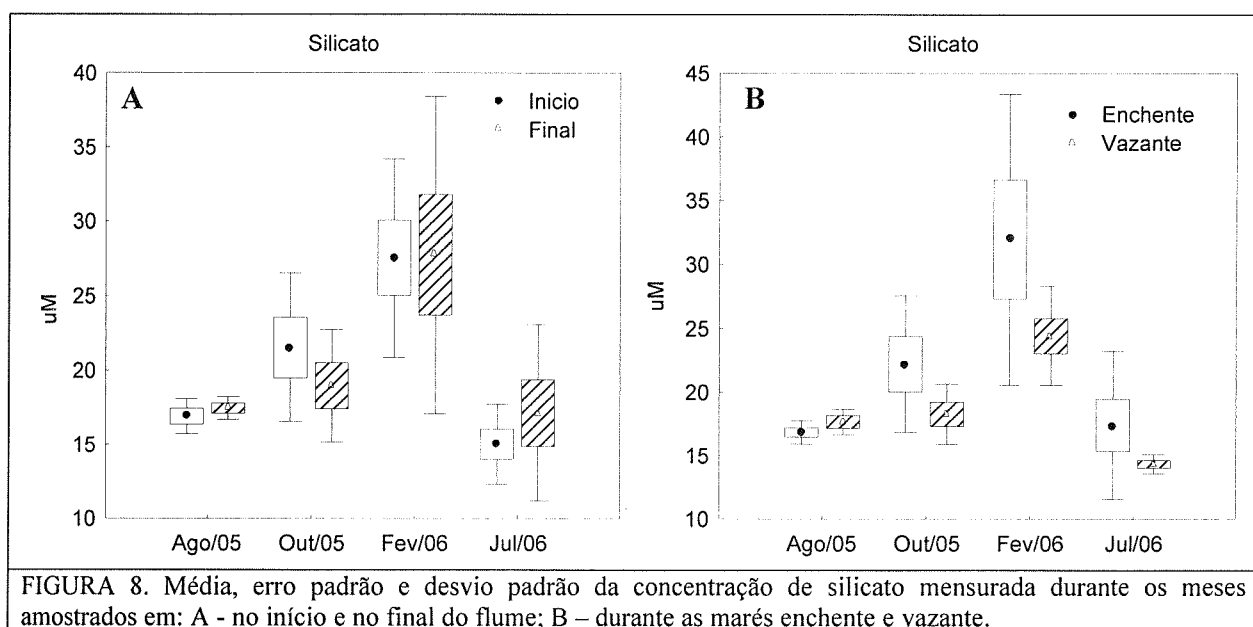
Oxigênio dissolvido

A maior concentração média de oxigênio dissolvido foi encontrada em julho de 2006 com 8,24 mg/l seguido por outubro de 2005 com 7,07 mg/l. A menor concentração foi encontrada em fevereiro de 2006 (4,85 mg/l).

Nutrientes

Silicato

As concentrações de silicato variaram de 10,8 uM em julho de 2006 a 40,56 uM em fevereiro de 2006. Com exceção do mês de outubro de 2005, as concentrações foram mais elevadas no final do experimento (Fig. 8 – A). Entretanto, não foram encontradas diferenças significativas entre as duas extremidades do flume, início e final, e tampouco para as duas fazes da maré, enchente e vazante.



Nitrito

As maiores concentrações de nitrito foram encontradas durante o mês de outubro de 2005 (0,25 μM), seguido por fevereiro de 2006 (0,2 μM). Durante os meses de agosto de 2005 e julho de 2006 foram encontrados valores inferiores, com mínimos de 0,06 μM e 0,05 μM respectivamente (figura 9). Ocorreram diferenças significativas entre média das concentrações, encontradas no início e no final do flume, a durante a maré vazante de julho de 2006 e, também no mesmo período, entre as marés enchente e vazante.

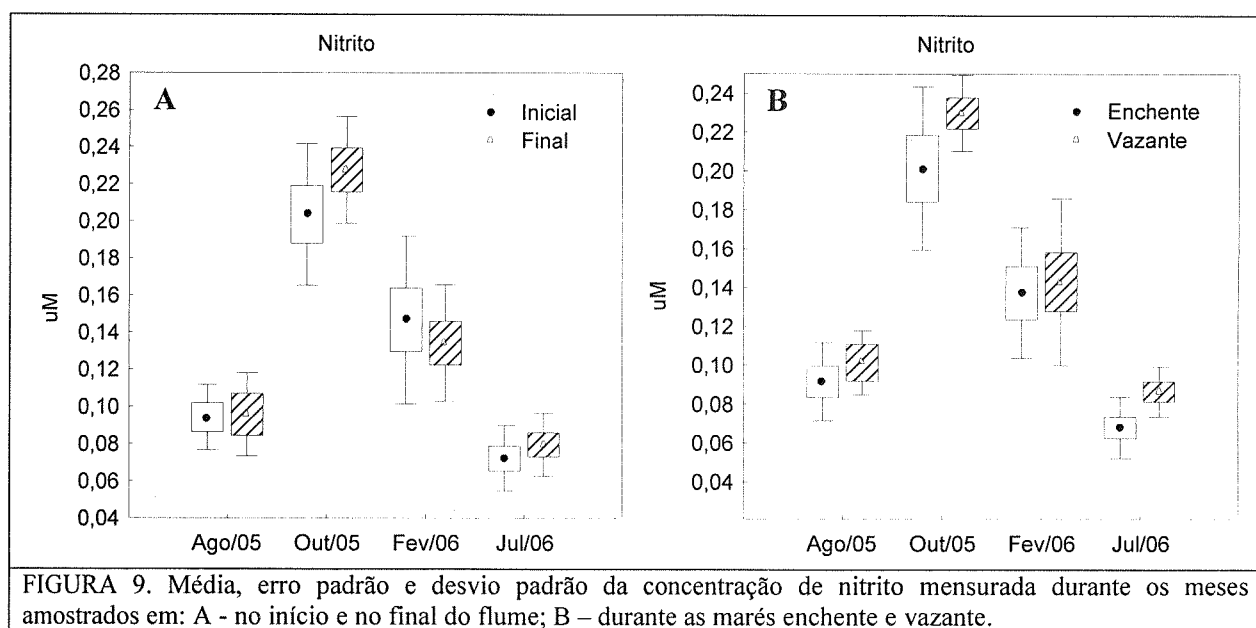
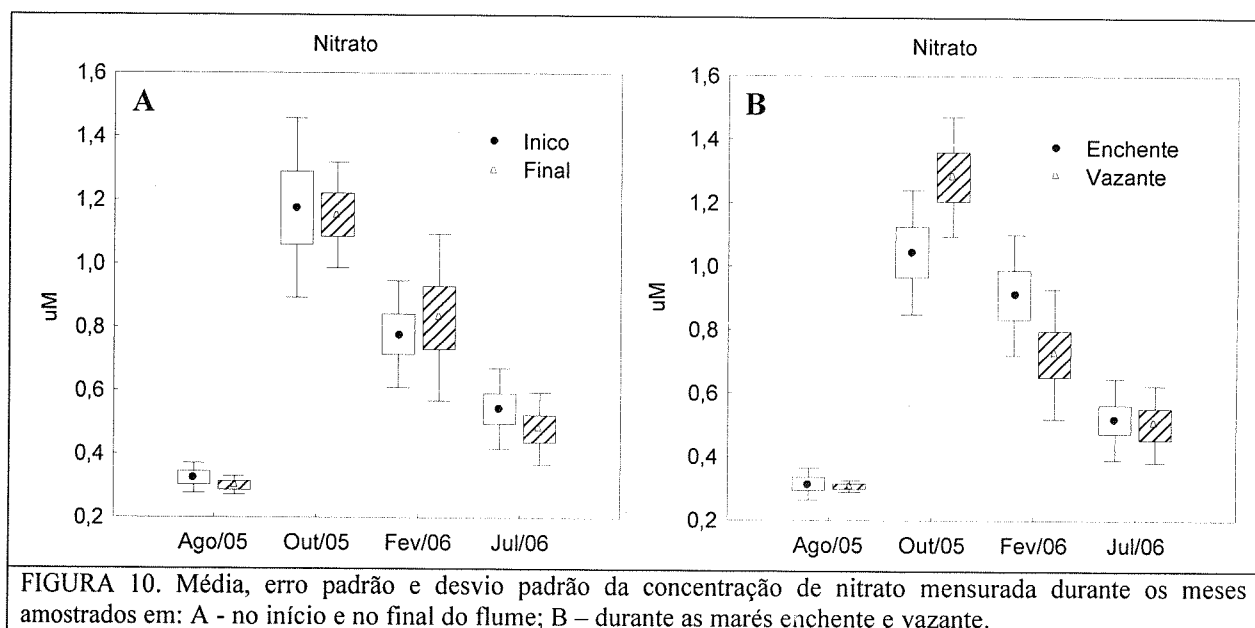


FIGURA 9. Média, erro padrão e desvio padrão da concentração de nitrito mensurada durante os meses amostrados em: A - no início e no final do flume; B - durante as marés enchente e vazante.

Nitrato

As maiores concentrações de nitrato foram verificadas em outubro de 2005, com concentrações entre 0,96 μM e 1,9 μM (figura 10), seguindo um padrão temporal semelhante ao encontrado para as concentrações de nitrato. As menores concentrações foram encontradas em agosto de 2005, com concentração média de 0,3 μM . Em nenhuma das situações ocorreram diferenças significativas.



Nitrogênio amoniacal

O nitrogênio amoniacal representou a porção mais significativa do NID com concentrações, em média, sete vezes maiores que a soma das concentrações de nitrito e nitrato, representando 87,4 % da fração do NID. As maiores concentrações foram encontradas em outubro de 2005, no início do flume (Fig. 11), com média de 9,7 μM . Não foram encontradas diferenças significativas em nenhum dos períodos estudados.

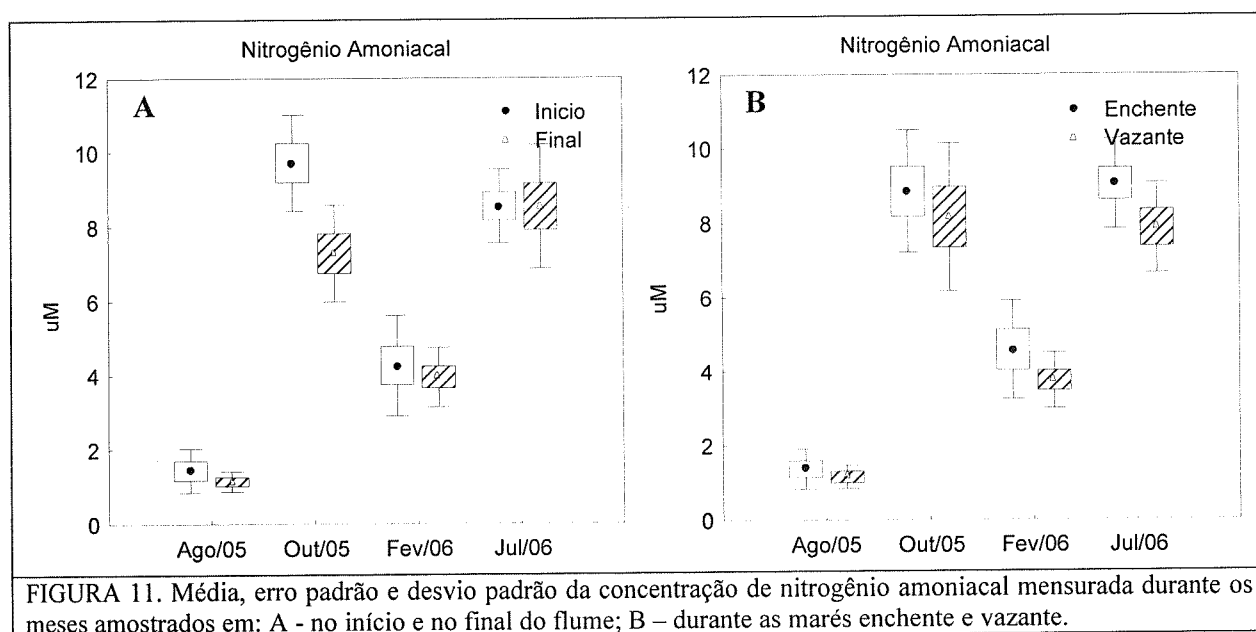
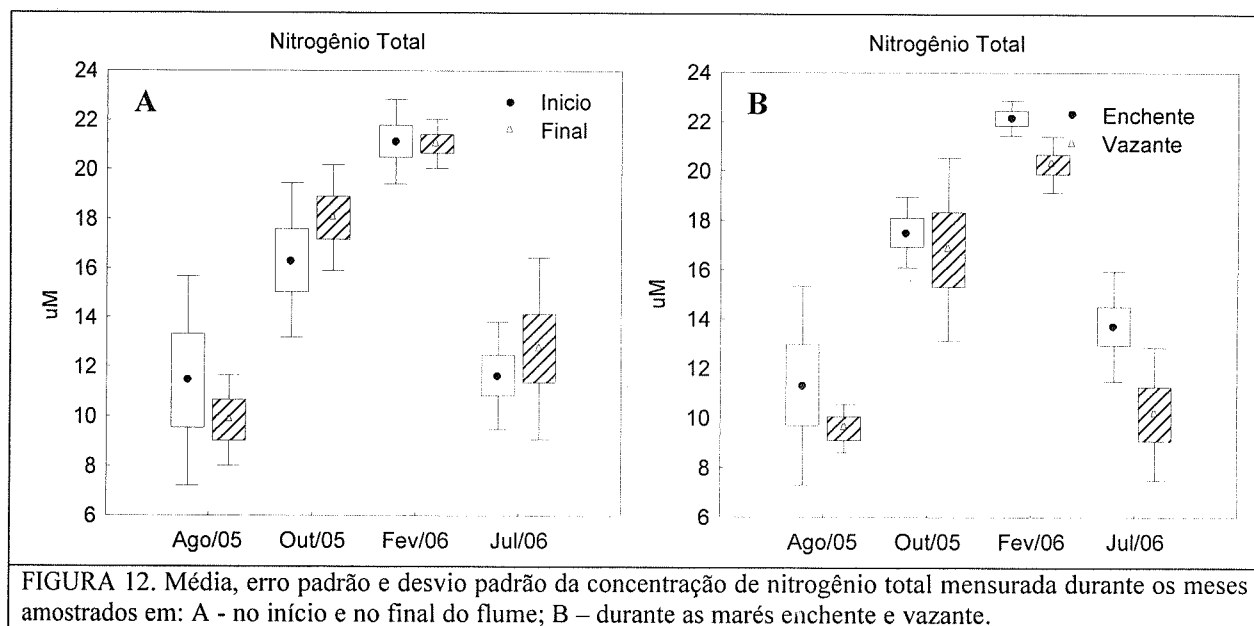


FIGURA 11. Média, erro padrão e desvio padrão da concentração de nitrogênio amoniacal mensurada durante os meses amostrados em: A - no início e no final do flume; B - durante as marés enchente e vazante.

Nitrogênio Total

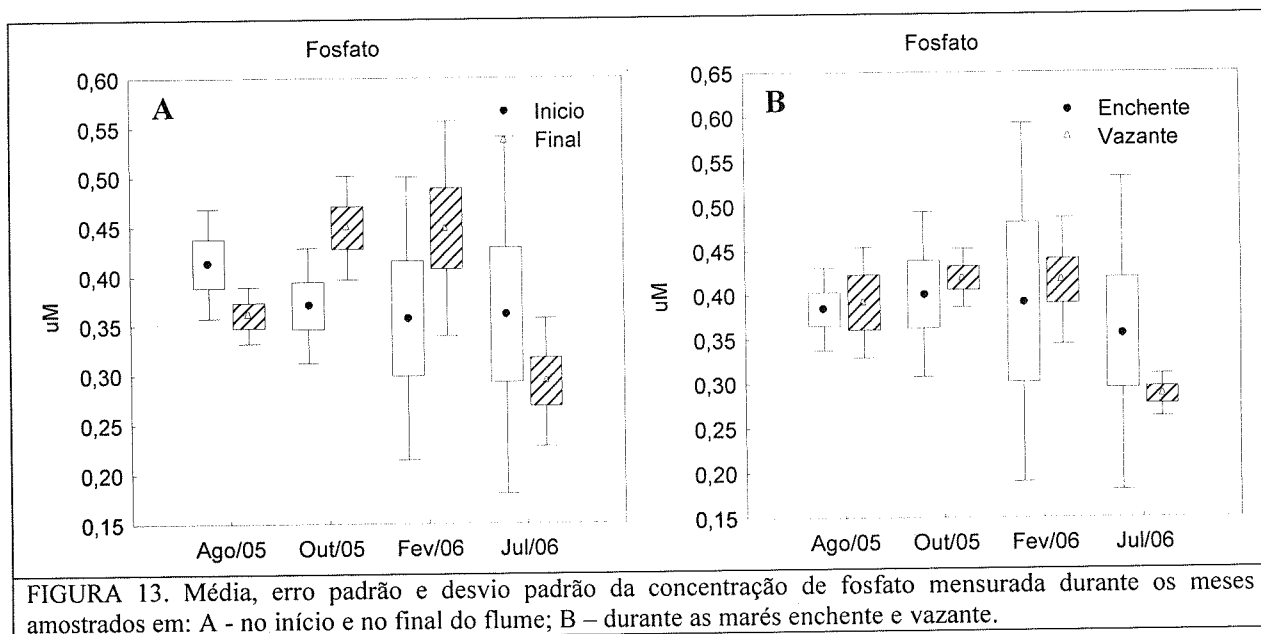
De maneira geral as concentrações de nitrogênio total foram maiores durante a maré enchente. As maiores concentrações foram encontradas em fevereiro de 2006 com valores entre 19,5 e 22,45 μM , seguidos por outubro de 2005 com concentração média de 17,18 μM (figura 12). Foram encontradas diferenças significativas entre início e final do flume na maré enchente de julho de 2006 e entre as marés, enchente e vazante, nos períodos de fevereiro de 2006 e julho de 2006.



Fosfato

A concentração de fosfato não apresentou grandes variações ao longo dos períodos estudados (figura 13). O valor médio detectado foi de 0,38 μM , com maior concentração média no final do flume do mês de outubro de 2005 (0,45 μM).

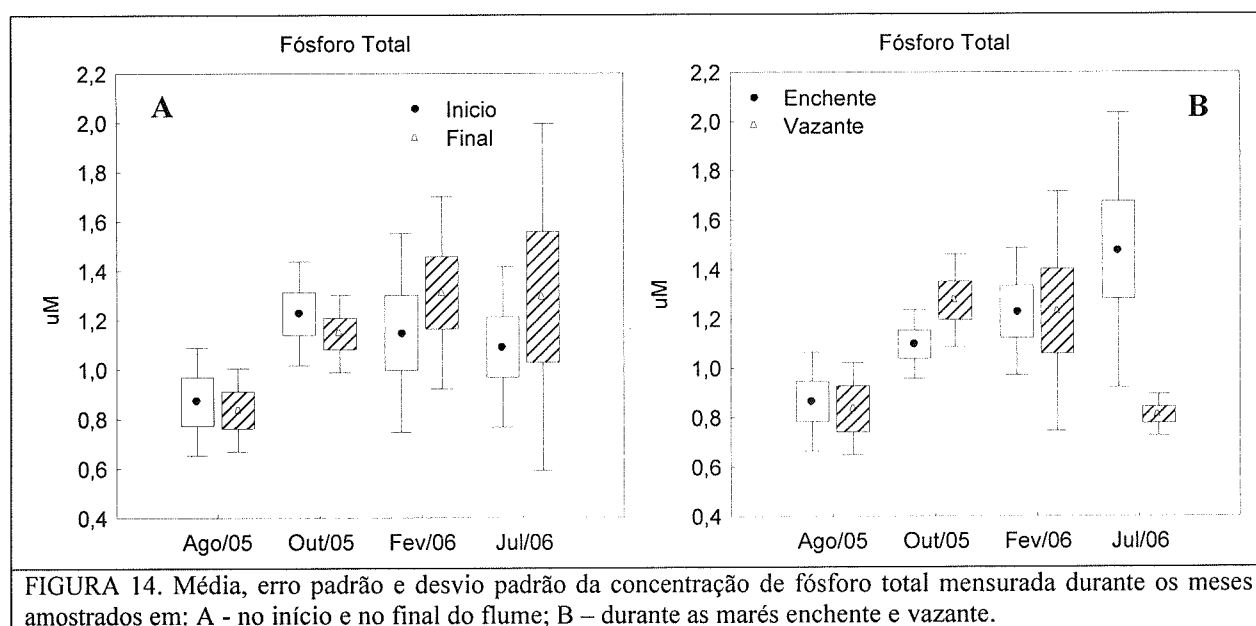
Foi encontrada diferença significativa entre o início e o final do flume durante a maré enchente de fevereiro de 2006.



Fósforo Total

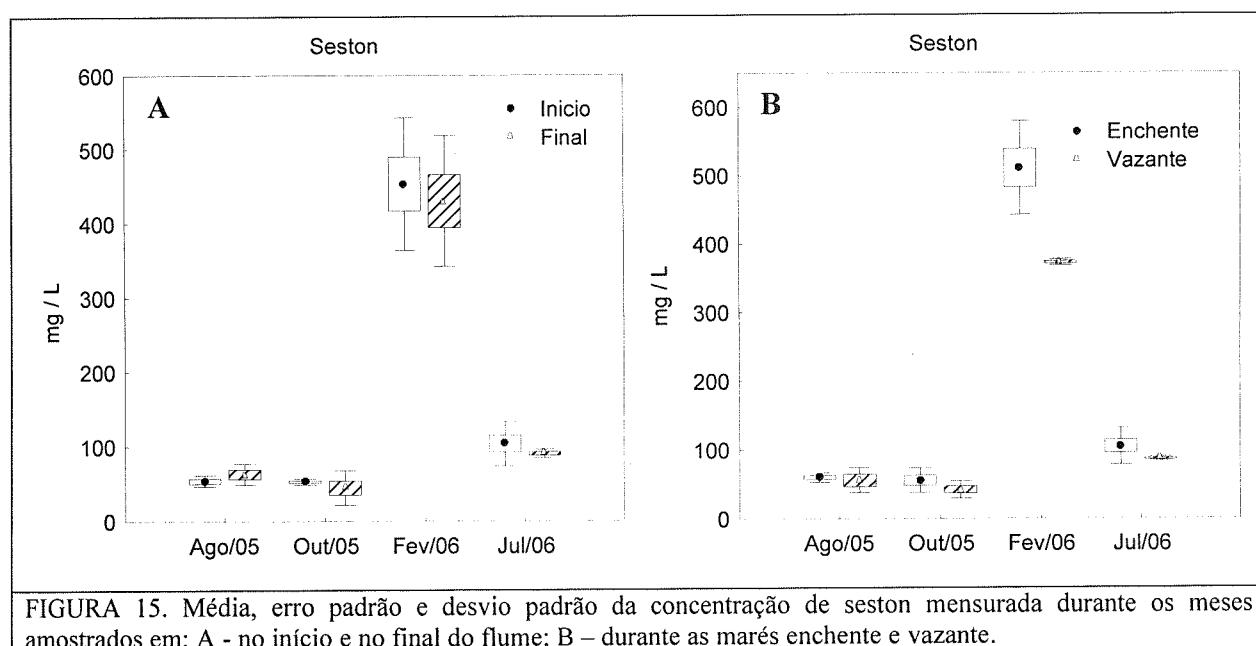
As maiores concentrações ($2,81 \mu\text{M}$) foram encontradas durante a maré enchente, em julho de 2006 no final do flume. As menores ($0,56 \mu\text{M}$) foram encontradas em agosto de 2005 durante a maré enchente, no início do flume (figura 14 – A).

Diferenças significativas foram encontradas entre o início e final do flume na maré vazante de outubro de 2005 e entre as fases da maré em julho de 2006.



Material Particulado em Suspensão (Seston)

Em fevereiro de 2006 a concentração média (441,6 mg/l) foi 4,5 vezes maior que a segunda maior concentração média (97 mg/l, julho de 2006). Em agosto e outubro de 2005 foram encontradas as menores concentrações, variando de 50 a 82,5 mg/l em agosto e 28,9 a 88 mg/l em outubro de 2005. Diferenças significativas foram detectadas entre o início e o final do flume, na maré vazante, em outubro de 2005 (figura 15 – A) e, para as marés enchente e vazante, em fevereiro de 2006 (figura 15 – B).



PCA e caracterização dos períodos amostrados

Três grupos foram verificados, de acordo com os períodos de amostragem, identificados, cada um, pelos códigos de 1 a 4. O primeiro grupo foi formado por amostras de agosto de 2005 (1) e julho de 2006 (4). Os outros dois grupos foram formados, cada um, pelos períodos de outubro de 2005 (2) e fevereiro de 2006 (3), respectivamente.

O eixo 1 capturou 40,7 % (autovalor 4,48) da variação dos dados, sendo os componentes mais expressivos associados as seguintes variáveis: salinidade (autovetor -

0,45), nitrogênio total (autovetor 0,42), temperatura (autovetor 0,39), seston (autovetor 0,38) e silicato (autovetor 0,37). O eixo 2 captou 19,6 % de toda a variação (autovalor 2,16) sendo os componentes mais expressivos associados às seguintes variáveis: nitrogênio amoniacal (autovetor 0,52), nitrato (autovetor 0,49), nitrito (autovetor 0,45), temperatura (autovetor -0,33) e seston (autovetor -0,32).

O resultado completo da análise, incluindo os valores para os eixos 3 e 4, está disponível no anexo 1.

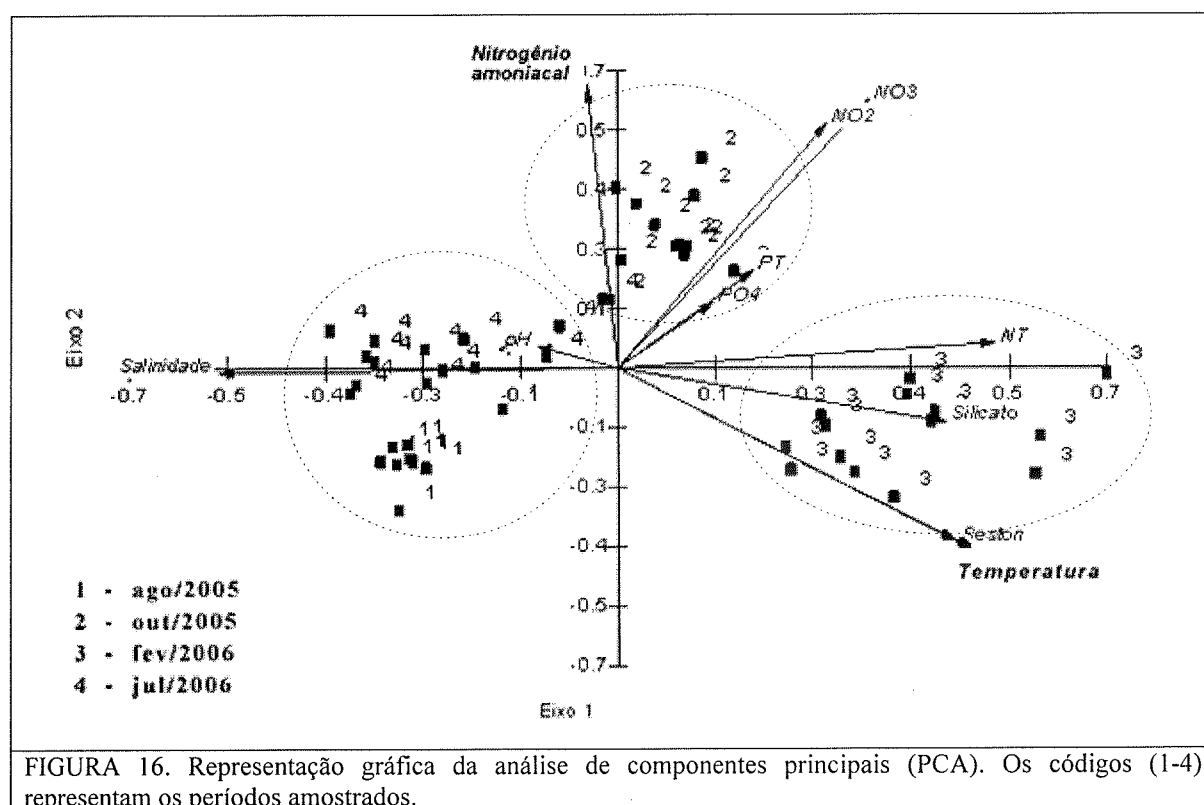


FIGURA 16. Representação gráfica da análise de componentes principais (PCA). Os códigos (1-4) representam os períodos amostrados.

Analisando de forma integrada os gráficos e a análise de componentes principais (Figura 16), realizou-se uma caracterização dos períodos amostrados de acordo com as variáveis estudadas:

- Agosto de 2005 (código 1) foi caracterizado por valores altos de salinidade e baixas concentrações de nutrientes.
- Outubro de 2005 (código 2) apresentou as maiores concentrações de NID, valores de temperatura e concentração de seston semelhantes aos encontrados em agosto de 2005.

- Fevereiro de 2006 (código 3) foi o período com as temperaturas mais elevadas, maiores concentrações de nitrogênio total, silicato e seston e menores valores de salinidade.
- Julho de 2006 (código 4) foi o período que apresentou os menores valores de temperatura, as segundas maiores concentrações de nitrogênio amoniacal, as menores concentrações de nitrito, nitrato, silicato e seston.

De maneira geral, o PCA demonstrou que amostras de um mesmo período são mais similares entre si do que amostras de períodos distintos. Tal característica era esperada, na medida em que alguns descritores não sofrem alterações locais, como a temperatura, ou oscilaram com pequena amplitude, como a salinidade.

Fluxos

As maiores alturas de maré foram registradas em julho de 2006 atingindo 60 cm. As menores foram encontradas em agosto de 2005 (Tabela 1). O tempo de duração da maré enchente foi superior na maioria dos casos, com exceção de fevereiro de 2006 quando o tempo de vazante excedeu o de enchente em 11 minutos.

TABELA 1. Variação temporal da maré registrada na planície intermareal. T total: período em que o flume permaneceu submerso; T enc: período total de maré enchente; T vaz período total de maré vazante.

	T total	T enc	T vaz	Tvaz/Tenc	Nível máximo (cm)
Ago/05	2h 02min	1h 22min	0h 40min	0,49	37
Out/05	2h 14min	1h 40min	0h 34min	0,34	51
Fev/06	2h 15min	1h 02min	1h 13min	1,18	55
Jul/06	1h 26min	0h 44min	0h 42min	0,95	60
	TTMObs: 7h 57min	TMEobs: 4h 48min	TMVobs: 3h 09 min		

O TTM foi estimado em 1488 horas, se dividido pelo tempo médio de inundação na planície intermareal observado neste estudo ($TTMObs/4 \approx 2h$) pode-se inferir, de maneira grosseira, que a planície esteve submersa durante 744 ciclos marés.

Os resultados brutos dos fluxos totais e fluxos líquidos encontram-se disponíveis no anexo 2.

Fluxo Líquido Areal

Silicato

Ocorreu exportação de silicato em 75% das situações de maré estudadas. Durante a maré enchente, no mês de julho de 2006, foram encontrados os maiores fluxos ($-40 \mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$) como pode ser observado no gráfico da figura 1. A importação deste nutriente ocorreu em agosto de 2005 ($12,27 \mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$) em maré enchente e, em menor escala, em julho de 2006 durante a maré vazante ($2,3 \mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$, figura 17).

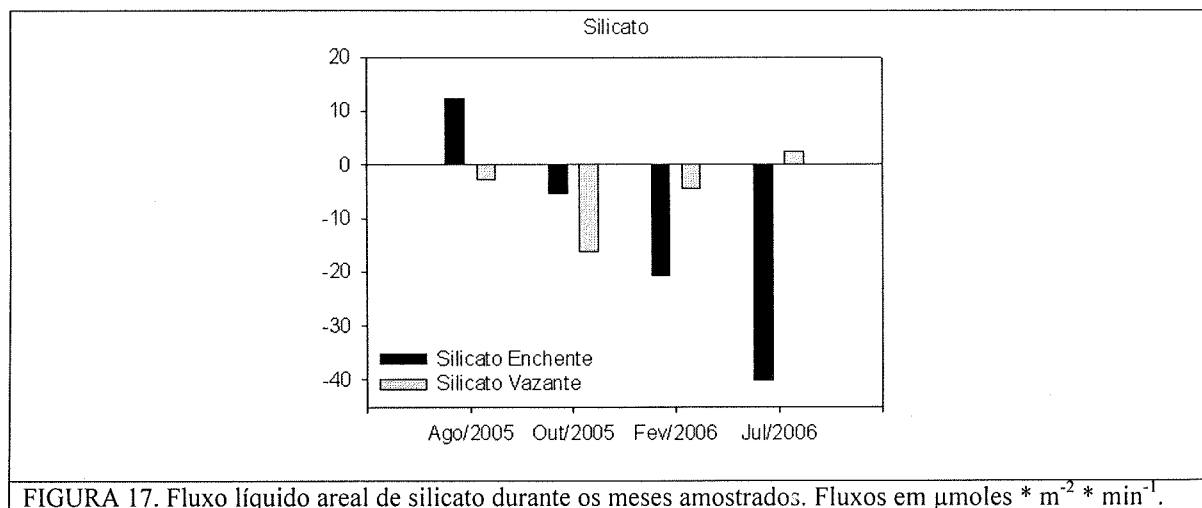


FIGURA 17. Fluxo líquido areal de silicato durante os meses amostrados. Fluxos em $\mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$.

Nitrogênio

A maior taxa de incorporação de nitrito foi observada na vazante, em julho de 2006 ($0,19 \mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$). Em fevereiro de 2006 ocorreu exportação deste nutriente a taxas de $-0,096 \mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$ para a maré enchente e $-0,22 \mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$ para vazante (Fig. 18 - A).

Em agosto de 2005 ocorreu incorporação de nitrato (Fig. 18 - B) em ambas as marés. Em outubro de 2005 e fevereiro de 2006 notou-se liberação de nitrato nas duas condições de maré e, em julho de 2006, verificou-se importação durante a maré enchente e liberação durante a maré vazante. Os maiores fluxos foram observados durante a maré vazante em outubro de 2005 e julho de 2006, de $-1,22$ e $-1,2 \mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$ respectivamente.

Para o nitrogênio amoniacal (amônio + amônia) os maiores fluxos encontrados foram de exportação (Fig. 18 - C), com máximo de $-14,4 \mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$ durante a maré vazante em outubro de 2005. Em julho de 2006 foram observados $-9,6 \mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$ durante a maré enchente e $-14,7 \mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$ durante a maré vazante. Em agosto de 2005 ocorreu importação durante a maré enchente e exportação durante a vazante. Em fevereiro de 2006, para as duas situações de maré, ocorreu incorporação de nitrogênio amoniacal, porém, com taxas inferiores em uma casa de grandeza, aos fluxos de exportação citados acima.

A importação de nitrogênio total foi verificada durante as três primeiras coletas, com os maiores fluxos de importação encontrados na maré vazante de outubro de 2005 ($24,8 \mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$) e os menores foram encontrados durante a enchente deste mesmo período ($0,51 \mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$). Em julho de 2006 ocorreu exportação de nitrogênio a taxas de $3,65 \mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$ durante a enchente e $23,24 \mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$ durante a maré vazante.

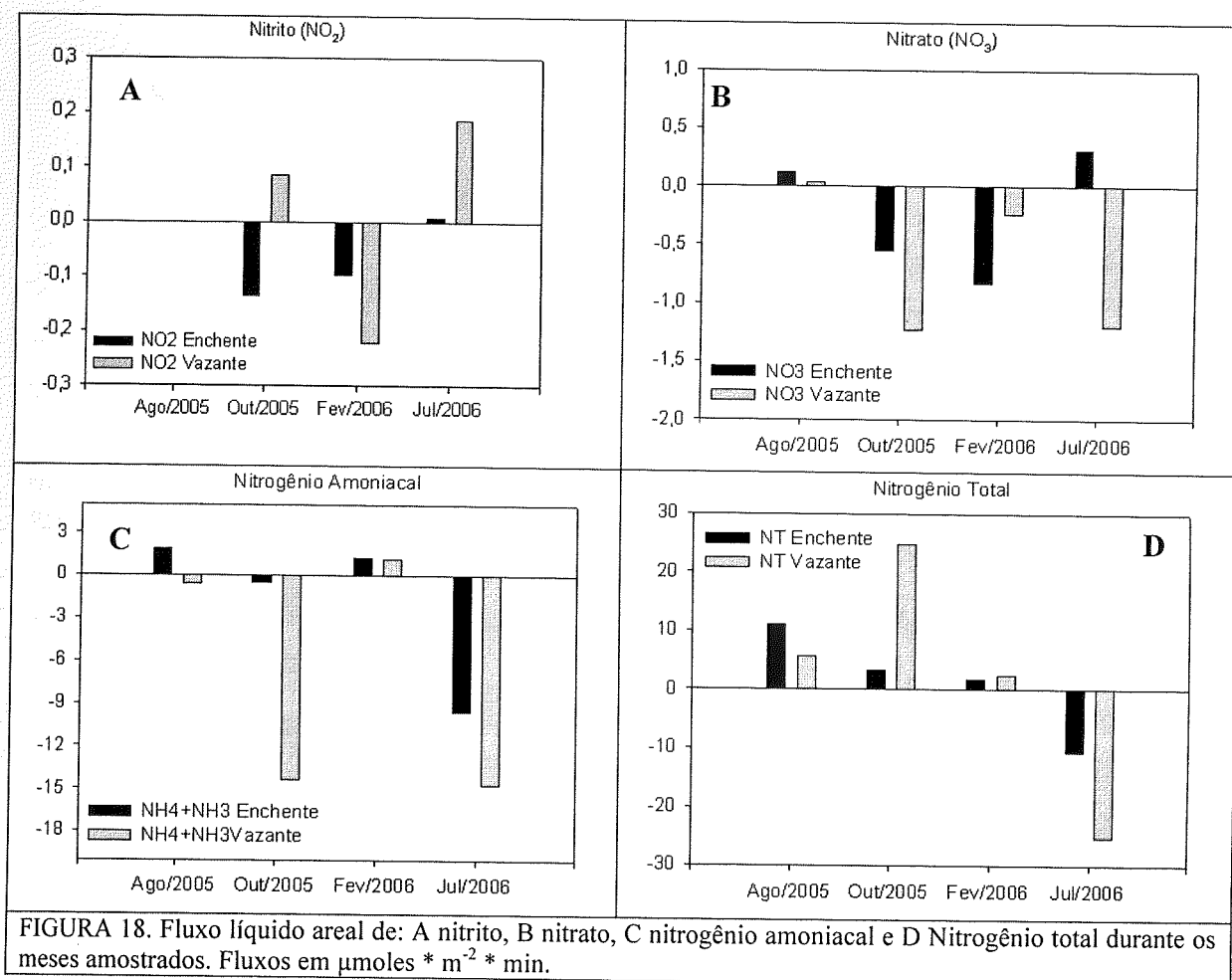


FIGURA 18. Fluxo líquido areal de: A nitrito, B nitrato, C nitrogênio amoniacal e D Nitrogênio total durante os meses amostrados. Fluxos em $\mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}$.

Fósforo

A maior exportação de fosfato (Fig. 19 – A) ocorreu durante o mês de fevereiro de 2006 com taxas de $1,52 \mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$, na maré enchente e $-0,39$ na maré vazante $\mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$. Constataram-se pequenas taxas de incorporação durante os meses de agosto e outubro de 2005 em marés de enchente e vazante respectivamente. A maior taxa de importação aconteceu em julho de 2006, na maré enchente, onde foi mensurado fluxo de $0,59 \mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$.

Nota-se pela análise do gráfico da figura 19 – B que os maiores fluxos de fósforo total foram encontrados durante a maré vazante de outubro de 2005 ($5,83 \mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$) e na maré enchente de julho de 2006 ($-3,65 \mu\text{moles} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$).

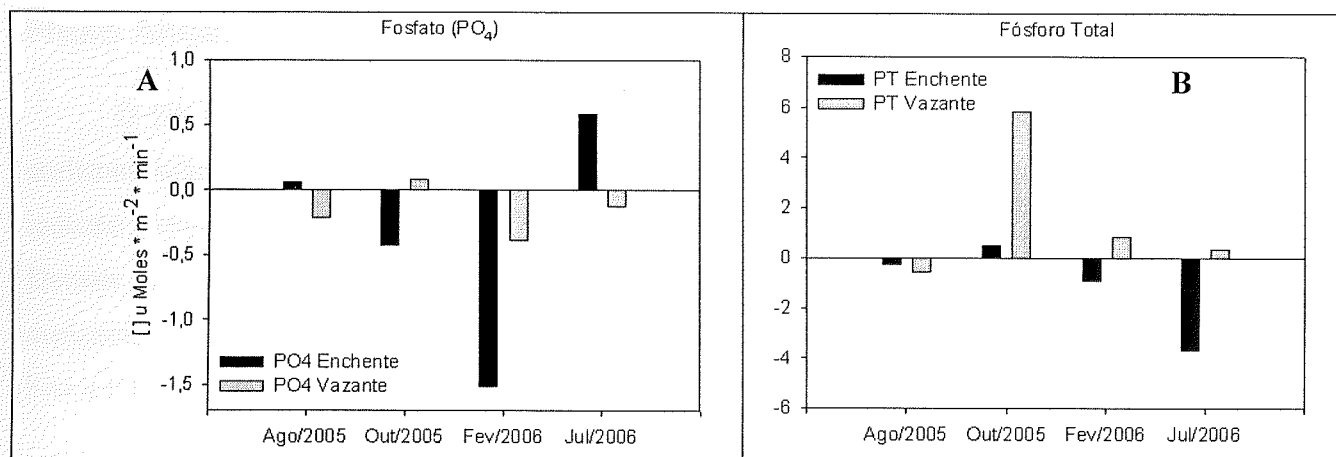


FIGURA 19. Fluxo líquido areal de: A fosfato e B fósforo total durante os meses amostrados. Fluxos em $\mu\text{moles} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$.

Material Particulado em Suspensão (Seston)

O mês de agosto de 2005 apresentou fluxos equivalentes nas marés enchente e vazante (-396 e $395 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$). Em outubro de 2005 constatou-se fluxo negativo em ambas as marés (figura 20). No mês de fevereiro de 2006 ocorreu a retenção de seston pelo sedimento, principalmente na enchente, com fluxo de $171,8 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$. Em julho, o fluxo na maré enchente foi de aproximadamente $300,6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ e durante a vazante, de $-26 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$.

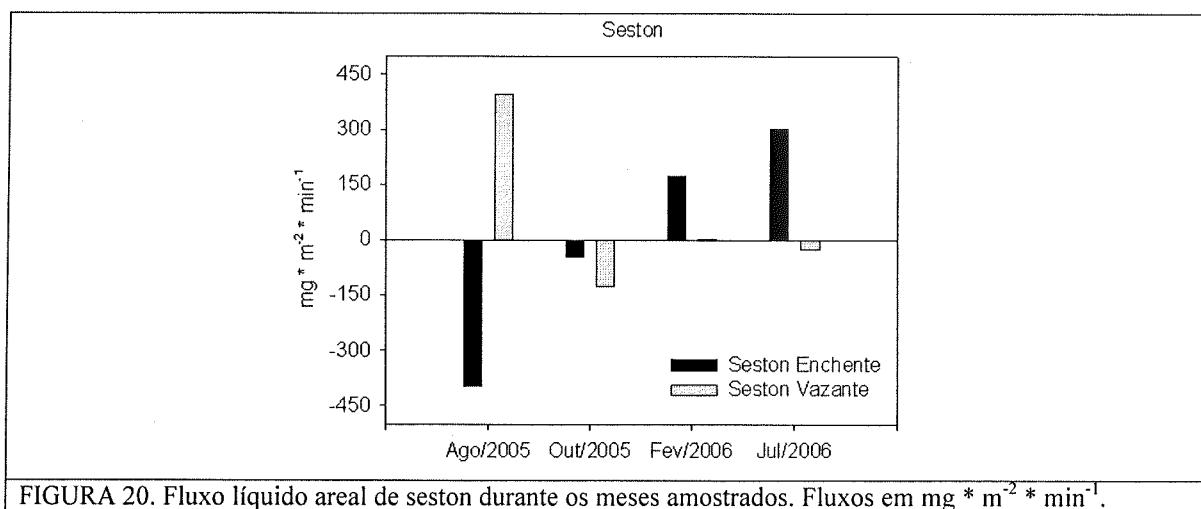


FIGURA 20. Fluxo líquido areal de seston durante os meses amostrados. Fluxos em $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$.

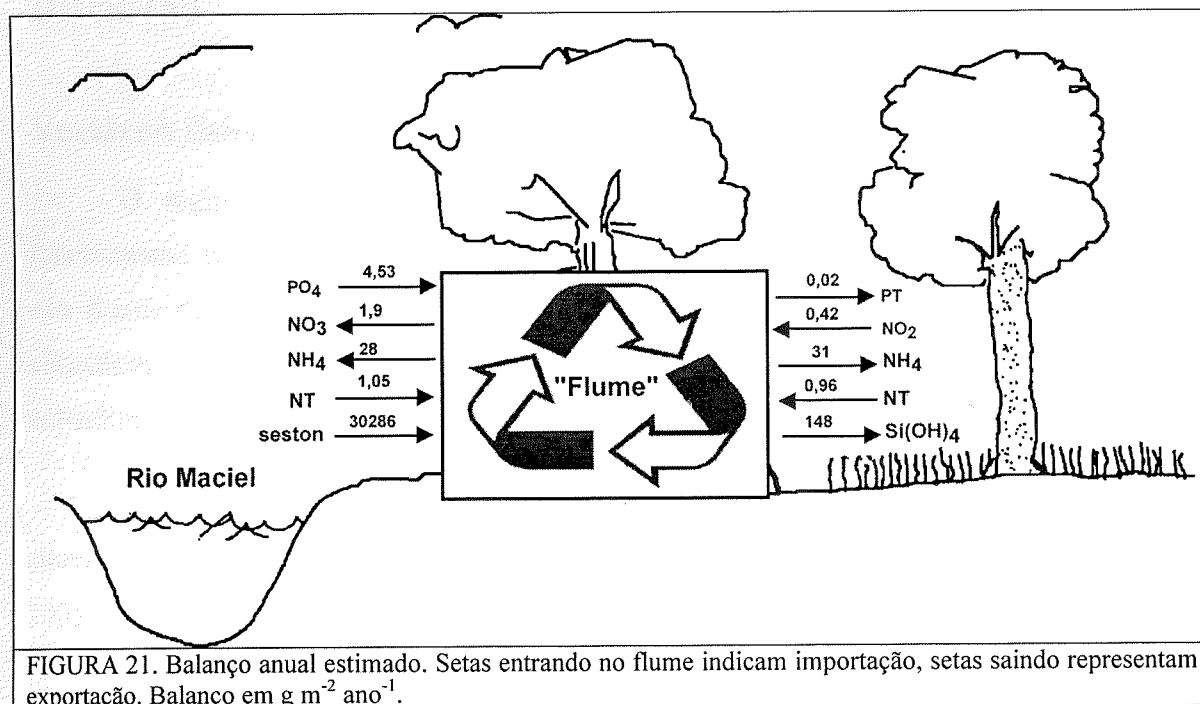
Fluxo Anual

O FA foi calculado para cada fase da maré, os valores positivos durante a maré enchente indicam importação no sentido canal de maré - manguezal, valores negativos indicam a exportação do flume para o interior do bosque de manguezal e águas adjacentes. Durante a maré vazante os fluxos positivos indicam importação de nutrientes pelo manguezal, já os valores negativos indicam exportação para o canal de maré. Os valores de FAe e FAv podem ser observados na Tabela 2.

TABELA 2. Fluxos anuais de nutrientes (g m^{-2}) e seston (g m^{-2}) avaliados durante o período de agosto de 2005 e julho de 2004.

	PO ₄	PT	NO ₂	NO ₃	NH ₄ + NH ₃	NT	Si(OH) ₄	Seston
Enchente (FAe)	5,24	-1,8	-0,0128	0,6578	-30,83	1,05	-147,69	31607,34
Vazante (FAv)	-0,66	1,778	0,4358	-2,548	-27,96	0,96	0,021	-1321,13

O balanço dos fluxos de enchente e vazante pode ser observado na Figura 21, setas apontando para o flume indicam importação e setas saindo do flume em direção ao canal de maré ou ao interior do bosque indicam exportação. De acordo com o balanço demonstrado na Figura 21, o manguezal estudado atuou como importador de fosfato, nitrogênio total e seston e exportador nitrato, nitrogênio amoniacal e silicato. Fósforo total apresentou um caráter conservativo, com importação na enchente e exportação na vazante.



Discussão

Variáveis físico-químicas

O regime climático e pluviométrico em ambientes marinhos é de caráter determinante frente às estruturas físico-químicas, podendo ocasionar alterações drásticas nos fluxos de materiais nesses sistemas. Desta maneira o monitoramento das variáveis climáticas, tais como a precipitação pluviométrica e a temperatura, foi essencial para o entendimento do efeito das variações temporais na hidroquímica do ambiente.

Os menores valores de salinidade (figura 6) foram verificados no período mais chuvoso (fevereiro de 2006) e os menores nos meses mais secos (julho de 2006 e agosto de 2005). Tal fato já era esperado e está inversamente correlacionado ao regime pluviométrico relatado em MAACK (1981). As variações na temperatura da água (figura 5) se comportaram de acordo com o padrão observado em trabalhos pretéritos realizados na Baía de Paranaguá.

As propriedades físico-químicas dos sedimentos são essenciais para a determinação da disponibilidade dos macronutrientes ao bosque de manguezal. A maior parte do nitrogênio e fósforo esta ligada a ácidos húmicos e fúlvicos, argilas, minerais e compostos metálicos (MACKIN & ALLER, 1984).

Geralmente, o nitrogênio amoniacal representa a forma dominante de nitrogênio inorgânico dissolvido encontrado na água intersticial, seguido por menores concentrações de nitrato e nitrito (ALONGI, 1997). O íon amônio é produzido pela degradação bacteriana de nitrogênio orgânico e por excreção animal e é altamente estável em condições de anoxia.

Mudanças nos estoques de nitrogênio podem estar relacionadas a mudanças na taxa de incorporação pelas árvores, aumento ou diminuição das taxas de degradação microbiana ou a eventos estocásticos como elevada precipitação pluviometria ou marés meteorológicas (CONNEL, 1992).

As concentrações de nutrientes nitrogenados (figuras 9, 10, 11 e 12) encontradas neste estudo foram similares às encontradas em manguezais relatados na literatura (RIVERA-MONROY *et al.*, 1995; MUTSERT *et al.*, 2005; MWASHOTE *et al.*, 2001), porém inferiores aos valores encontrados em baixas latitudes (DITTMAR & LARA, 2001). A razão N:P média, calculada pelas concentrações de nitrogênio e fósforo totais, de 15,57, foi menor que a razão clássica de Redfield (REDFIELD *et al.*, 1963), chegando a 17,13 em fevereiro de 2006 e 10,24 em julho de 2006. Isto sugere que o ambiente investigado apresenta uma tendência à limitação potencial da produção primária, principalmente durante os meses de inverno, pela falta de nitrogênio (CUNHA 1996; MACHADO *et al.* 1997; MACHADO & KNOPPERS, 1998; e BRANDINI *et al.* 2000). Entretanto, a razão calculada através das frações de nitrogênio e fósforo dissolvidos (19,31), que representam os macronutrientes preferencialmente assimilados durante a fotossíntese, sugere que a produção primária estaria sendo potencialmente limitada pelo fósforo e não por nitrogênio.

Cerca de 38% do nitrogênio total encontrado corresponde a fração de nitrogênio amoniacal indicando que o manguezal possui taxas significativas de decomposição bacteriana das frações de nitrogênio orgânico. Além disso, as concentrações de nitrogênio amoniacal podem estar associadas a altas concentrações provenientes do próprio canal de maré. CUNHA, (1996) reportou concentrações máximas entre 4,9 μM e 5,6 μM durante o mês de fevereiro de 1996.

As maiores concentrações de nitrogênio total foram encontradas durante o mês de fevereiro de 2006 (figura 12). Durante este mesmo período foram encontradas as menores concentrações de oxigênio dissolvido desfavorecendo o processo de denitrificação o que favorece o aumento do tempo de residência do nitrogênio no sistema (PALMER *et al.* 2000).

As concentrações de silicato foram inferiores às encontradas em outros manguezais (Tabela 3), mas coerentes com os níveis relatados para o rio Maciel, no setor euhalino da Baía de Laranjeiras e na Baía de Paranaguá (Tabela 3). De acordo com ESTEVES (1998), a concentração de silicato em águas naturais é fortemente influenciada pelas características geológicas da bacia hidrográfica. Portanto a baixa concentração relativa de silicato neste

manguezal pode estar condicionada, principalmente, aos baixos aportes provenientes da Baía de Paranaguá.

Durante os meses estudados não ocorreram grandes variações na concentração de fosfato (figura 13). No geral, os valores encontrados foram semelhantes aos de outros manguezais (Tabela 3), porém menores que os valores encontrados por DITTMAR & LARA (2001) em um manguezal bem desenvolvido na região norte do Brasil.

As concentrações de seston (figura 15) foram até 4 vezes superiores aos encontrados por ROMIGH (2006) e pelos demais autores citados na Tabela 3. Este fato pode estar relacionado a grande altura da planície de inundação do manguezal estudado. Quando a maré sobe o pequeno talude entre o bosque e o canal de maré, carrega consigo grandes quantidades de seston, conquanto, em manguezais mais baixos ou constantemente alagados (90% do tempo em RIVERA-MONROY, 1995), o tempo de sedimentação préterito a coleta é maior propiciando menores concentrações de seston.

De maneira geral, as variáveis ambientais se apresentaram dentro do esperado para a Baía de Paranaguá (tabela 2). Os resultados demonstraram um ambiente bem oxigenado na estação seca com as menores concentrações na estação chuvosa coincidindo com os valores mínimos e máximos de temperatura da água. Com relação aos nutrientes observou-se uma variação sazonal bem demarcada (figura 16), com maiores concentrações de silicato e nitrogênio total em fevereiro de 2006 e de nitrogênio inorgânico dissolvido em outubro de 2005. Os meses de agosto de 2005 e julho de 2006 foram bastante semelhantes apresentando diferenças apenas quanto às concentrações de nitrogênio amoniacal.

TABELA 3. Variação das concentrações de nutrientes (μM) em alguns ecossistemas costeiros.

Ambiente	Localização	PO4	PT	NO2	NO3	NO2 + NO3	NH4	NT	Silicato	Seston	Autor
Manguezal	Rio Maciel, Baía de Parangá	0,17 - 0,76	0,56 - 2,81	- 0,05	- 0,25	- -	0,86-12,1	6,81-23,82	10,5 - 45	28,89 - 549,81	Presente Estudo
Manguezal	Terminos Lagoon, México	-	-	-	-	0,16 - 4,3	0,99 - 45,2	-	-	0,056 - 0,263	RIVERA-MONROY et al. (1995)
Manguezal	Shark River, EUA	0 - 0,8	0,4 - 3,5	-	-	0 - 3,5	0 - 4	5,4 - 61,6	- 53 - 141	-	MUTSERT et al. (2006)
Manguezal	Mida Creek, Kenya	0,10-0,58	-	-	-	0,12-5,6	0,002	-	1,31 - 81,36	-	MWASHOTE et al. (1998)
Manguezal	Caété, Brasil	1 - 5,2	-	-	0,1-6,5	-	0,25 - 20	-	101 - 250	-	DITTMAR & LARA (2001)
Marisma	Barataria Basin, EUA	-	-	-	-	0,26 - 3	1,8 - 12,78	-	-	19 - 125	CHILDERS & DAY (1988)
Canal de Maré	Rio Maciel, Baía de Parangá	0,04-0,46	-	0 - 0,16	0,003-1,4	-	0,35 - 5,6	-	6,5 - 51,8	-	CUNHA (1996)
Baía de Parangá	Brasil	0,2 - 3	-	0 - 0,9	0,1 - 9	-	0,4 - 8	-	3,1 - 178	-	MACHADO et al. (1997)
* Baía das Laranjeiras	Brasil	0,42	-	0,34	0,92	-	1,1	-	44,89	22,27	BRANDINI (2000)
* Os valores de Brandini referem-se às médias encontradas no setor eulalino da Baía das Laranjeiras.											

Fluxos

A metodologia utilizada neste trabalho calcula os fluxos através de uma área relativamente extensa (12m^2) se comparada a outras metodologias (caixas bênticas e testemunhos) e, além disso, fornece a direção de propagação horizontal deste fluxo (manguezal – canal de maré), o que a torna uma ferramenta importante no discernimento da intensidade e direção dos fluxos entre o manguezal e o canal de maré adjacente. Entretanto, a replicação espacial do experimento é quase inviável sem a mobilização de uma grande equipe e, devido ao fluxo ser calculado hipsometricamente, torna-se impossível calcular fluxos no sentido água – sedimento - água durante o período de estofa da maré.

Em outros estudos realizados com a mesma metodologia, o cálculo do fluxo anuai (FA) foi realizado somente com os fluxos líquidos areais (FLA) considerados significativos (WOLAVER et al., 1985; CHILDER & DAY, 1988; RIVERA MONROY et al., 1995; MUTSERT et al., 2005; ROMIGH et al., 2006;). No presente estudo, devido ao pequeno número de FLA significativos, os cálculos foram efetuados com as médias de todos os FLA. O pequeno número de FLA significativos pode ser explicado pelo pequeno n amostral coletado em cada extremidade do experimento ($2 \leq n \leq 4$).

Os FLA de seston (figura 20) estiveram intimamente relacionados a variações pluviométricas, principalmente aos 5 dias que antecederam a coleta. Durante o mês mais seco (considerando os 5 dias pretéritos) a taxa de exportação na enchente foi equivalente a taxa de importação durante a maré vazante e no meses mais chuvosos (fevereiro de 2006 e julho de 2006) foram verificados taxas expressivas de sedimentação (em ambas as fases da maré). Cabe salientar que as taxas de sedimentação de seston foram não foram medidas durante o estofa da maré, fato que pode subestimar as taxas de sedimentação no local.

Compostos nitrogenados circulam rapidamente no sedimento e entre o sedimento, plantas, ar, e água. As taxas nas quais estes fluxos ocorrem dependem principalmente do tipo de sedimento, das taxas de assimilação pelo bosque e pelo fito, das comunidades bacterianas e da disponibilidade deste nutriente no meio (ALONGI, 1997). O presente estudo teve como foco

principal o fluxo de nutrientes ocasionado pelas marés. Infelizmente o fluxo entre os compartimentos citados acima não puderam ser mensurados de maneira direta.

O fluxo de fósforo está intimamente associado a diversos processos biológicos (bioturbação, ação de bactérias oxidantes e redutoras), físico-químicos (adsorção, dessorção), químicos (precipitação, oxidação, redução, complexação) e processos de transporte (difusão, advecção) (BAUMGARTEN, 2001).

Os fluxos líquidos áreas (FLA) de fosfato e fósforo total (figura 19 – A, B) não apresentaram um padrão temporal definido, ocorrendo importação em algumas situações e exportação em outras. Isto pode ser atribuído à alta complexidade dos processos citados acima ou ainda a um caráter conservativo deste nutriente, que fica mais evidente no balanço dos fluxos anuais de fósforo total (figura 21).

O fluxo anual de fosfato (tabela 2) pode ser atribuído à assimilação direta pelos produtores primários. Entretanto, a assimilação de fosfato pode estar ligada a diversos outros fatores como a adsorção por argilominerais, difusão para sedimento e complexação com matéria orgânica (COELHO *et al.*, 2004).

O nitrogênio foi influenciado, principalmente, pelas concentrações de oxigênio dissolvido, tendo em vista que durante o mês mais quente e menos oxigenado (fevereiro de 2006) foram observadas as menores taxas de incorporação de nitrogênio total e uma pequena taxa de importação de nitrogênio amoniacal. Com o aumento da temperatura, a solubilidade do oxigênio em água diminui. Assim, menores quantidades deste agente oxidante estão disponíveis à degradação da matéria orgânica (nitrogênio orgânico dissolvido e particulado). O amônio é o produto direto de degradação das formas de nitrogênio orgânico. Provavelmente, durante o mês de fevereiro de 2006, as taxas de remineralização não compensaram as taxas de incorporação pelos organismos fotossintetizantes, explicando os fluxos observados neste mês (figura 19 – C e D).

No geral, o sistema apresentou tendência à importação de nitrogênio total e exportação de NID (tabela 2), principalmente sobre a forma de nitrogênio amoniacal. De acordo com o FA estimado (tabela 2), o manguezal do rio Maciel estaria perdendo pequenas, porém constantes quantidades de nitrogênio pelo fluxo de maré. Desta maneira, o bosque precisaria de outras fontes

de nitrogênio para manter suas taxas metabólicas. O principal processo capaz de fornecer nitrogênio nestes ecossistemas seria a fixação *in loco* (BOTO & ROBERTSON, 1990).

Segundo POTTS (1984), a principal fonte de nitrogênio (*in loco*) em manguezais é a fixação direta por bancos de algas e cianobactérias associados à camada nefelóide e a rizosfera de pneumatóforos e raízes escoras. Outra forma de fixação seria realizada pelo Teredo (Bivalvia : Terenidae) que, através de simbiose com certas bactérias, é capaz de digerir celulose e assimilar nitrogênio (WATERBURY & TURNER, 1983).

Outras fontes importantes são a precipitação pluviométrica e a percolação pelo lençol freático. Em comparações realizadas por ALONGI (1997) estas duas fontes, somadas a nitrificação, correspondem a cerca de 50% do total de nitrogênio incorporado nas marismas de Great Sippewisset (EUA) e menos de 25% nos manguezais Missionary Bay (Austrália).

Em síntese, o sistema provavelmente alterna entre um metabolismo autotrófico durante os meses mais quentes e heterotrófico durante os meses de inverno. Durante o inverno as condições climáticas desfavorecem a produção primária e o aumento da solubilidade do oxigênio fazendo com que as taxas de remineralização da matéria orgânica sejam maiores que as taxas de assimilação fotossintética criando condições favoráveis à exportação de nutrientes. Durante o verão as taxas de produção primária são relativamente mais elevadas e superam as taxas de remineralização de nutrientes não compensando a assimilação pelos organismos fotossintetizantes e, neste cenário, o ambiente tende a importar nutrientes.

Para entender o funcionamento deste complexo ecossistema frente à ciclagem biogeoquímica de nutrientes, é necessário um estudo integrado dos principais processos responsáveis pela direção e intensidade dos fluxos. A previsão do tempo de inundação da planície intermareal é imprescindível para o cálculo acurado dos fluxos anuais. O conhecimento das taxas fotossintéticas da comunidade arbórea e das condições ideais de crescimento para as espécies locais é imprescindível para uma estimativa quali-quantitativa das taxas de incorporação dos nutrientes inorgânicos dissolvidos (BOTO & WELLINGTON, 1983).

Considerações Finais

1. A ciclagem biogeoquímica no ambiente de manguezal envolve diversos processos. Apesar da complexidade dos ciclos do nitrogênio e fósforo e da hidrologia da maré, o flume foi uma ferramenta importante para a quantificação dos fluxos destes nutrientes entre o manguezal e o rio Maciel.
2. As variações sazonais no regime pluviométrico e na temperatura são variáveis chave nos processos de degradação bacteriana e produção fotossintética. Para conclusões mais refinadas necessita-se de estudos específicos sobre os níveis de produção primária do bosque e das taxas de remineralização de matéria orgânica e em qual proporção as variáveis sazonais interferem nestes processos.
3. A assimetria de maré vazante existente em toda a Baía de Paranaguá é acentuada na planície intermareal. A amostragem em função da variação no nível da maré (e não a intervalos regulares) garante um n amostral balanceado entre as marés enchente e vazante.
4. Tendo em vista que a replicação do experimento é quase inviável, para futuros estudos recomenda-se replicar pelo menos as amostras em cada ponta do experimento (início e final). Um n amostral mais robusto confere certo grau de confiança para a utilização de testes paramétricos.

Bibliografia

- ALONGI, D. M. (1996) The dynamics of benthic nutrient pools and fluxes in tropical mangrove forests. **Journal of Marine Research**. v. 54 p. 123.
- ALONGI, D. M. (1997) **Coastal ecosystem processes**. p. 419.
- BAUMGARTEN, M. G. Z.; NIENCHESKI LUÍS F. H.; VEECK, L. (2001) 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 v. 23. p. 101-116.
- BOTO, K. G. & ROBERTSON, A. I. (1990) The relationship between nitrogen fixation and tidal exports of nitrogen in a tropical mangrove system. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** (1990). n 31. p. 531 – 540.
- BOTO, K. G. & WELLINGTON T. J. (1983) Phosphorus and nitrogen nutritional status of a northern Australian mangrove forest. **Marine Ecology Progress Series**. v. 11 p. 63.
- BOTO, K. G. & WELLINGTON T. J. (1988) Seasonal variations in concentrations and fluxes of dissolved organic and inorganic material in a tropical, tidally-dominated, mangrove waterway. **Marine Ecology Progress Series**. v. 50 p. 151 – 160.
- BRANDINI, N. (2000). Variação espacial e sazonal da produção primária do fitoplâncton em relação às propriedades físicas e químicas na Baía das Laranjeiras e áreas adjacentes (Complexo Estuarino de Paranaguá – PR/BR). Tese de Mestrado, Setor de Ciências Biológicas – UFPR. p. 85.
- BROWN, M.S. (1984). Mangrove leaf litter production and dynamics. In: Snedaker, S.C. & Snedaker **The mangrove ecosystem: research methods**. UNESCO.

- CAMARGO, R. (1998) Estudo numérico das circulações atmosférica e oceânica na região da Baía de Paranaguá. 181p. Tese de Doutorado. Instituto Astronômico e Geofísico do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.
- CARMOUZE, J. P. (1994). **O metabolismo de ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas**. FAPESP, São Paulo. p. 253.
- CEM, (2006). Disponível em: <www.cem.ufpr.br> Acessado em: 2/08/2006.
- CHILDERS, D.L. & DAY, J.W. (1988). A flow-trough flume technique for quantifying nutrient and material fluxes in microtidal estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. n. 27. p. 483-494.
- CLARK, R. B. (1992) **Marine Pollution**. 3 ed. Clarendon Press, Oxford.
- COELHO, J. P.; FLINDT, M. R.; JENSEN, A. I. LILEBO, PARDAL, M. A. (2004) Phosphorus speciation and availability in intertidal sediments of temperate estuary: relation to eutrophication and annual P-fluxes. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v. 61 p. 583-590.
- CONNELL, D. W. & HAWKER, O.W (1992). **Pollution in tropical aquatic systems**. CRC Press, Boca Raton, Florida. p. 129.
- CUNHA, S.R. (1996). Os manguezais da Baía de Paranaguá e sua interação com a coluna d'água adjacente. Relatório Técnico.
- DAVIS, S. E; CHILDERS, D. L. DAY, J,W; RUDNICK, D. T; SKLAR, F. H. (2001). wetland-water column exchanges of carbon, nitrogen, and phosphorus in a southern everglades dwarf mangrove. **Estuaries**. v. 24. n. 4. p. 610-622.
- de JONGE, V.N., VILLERIUS, L.A. (1989). Possible role of carbonate dissolution in estuarine phosphate dynamics. **Limnology and Oceanography**. v. 34. p. 332-340.

- DITTMAR, T. & LARA, R. J. (2001). Driving forces behind nutrient and organic matter dynamics in a mangrove tidal creek in north brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v. 52. p. 249–259.
- ESTEVES, F.A. (1998). **Fundamentos de Limnologia**. 2ª ed. Editora Interciência, Rio de Janeiro – RJ. p. 223 – 243
- GRASSHOFF K., EHRHARDT M., KREMLING K. (1983). *Methods of Seawater Analysis*, 2nd, Verlag Chemie, Weinheim, 419 p.
- IPARDES. (1990). **Macrozoneamento da APA de Guaraqueçaba**. Curitiba, v. 2.
- KENNISH, M. J. (1996) **Practical handbook of estuarine and marine pollution**. 524p.
- KNOPPERS, B. A. (1987). Ecological studies in the Bay of Paranaguá. II. Some physical and chemical characteristics. **Nerítica**, Curitiba, v 27, n.1. p. 1 - 36.
- KOROLEFF, F.; PALMORK, K.; ULLTANG, O.; GIESKES, J. M. (1977). The international intercalibration exercise for nutrient methods. Technical Report 67, ICES/SCOR Cooperative Research Report.
- KOVACH COMPUTING SERVICES, (1999). MVSP (multi-variate statistical package), versão 3.11. Disponível em <<http://www.kovcomp.co.uk/>>.
- LEBO, M.E. (1991). Particle-bound phosphorus along an urbanized coastal plain estuary. **Marine Chemistry**. V. 34 p. 225–246.
- MAAK, R. (1981). **Geografia física do estado do Paraná**. Rio de Janeiro: Olympos.
- MACHADO, E. C. & KNOPPERS, B. A. (1988) Sediment oxygen consumption in an organic-rich subtropical lagoon, Brazil. **Science Total Environmental**. V. 75 p. 341 – 349.

- MACKIN, J. E. & ALLER, R.C. (1984). Ammonium adsorption in marine sediments. **Limnol. Oceanogr.** n. 29
- MANTOVANELLI, A. (1999) Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem. 152p. Tese de Mestrado. Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná.
- MWASHOTE, B. M.; OHOWA, B. O.; WAWIYE P. O. (1998). Spatial and temporal distribution of dissolved inorganic nutrients and phytoplankton in Mida Creek, Kenya. **Mangroves and Saltmarshes.** v. 2, n. 4. p. 223 – 230.
- MUTSERT, K. & TWILLEY, R.R. (2006). **Tidal exchange of carbon, nitrogen and phosphorus between an Everglades mangrove forest and the estuarine waters.** em: FCE LTER All Scientists Meeting, Fairchild Tropical Botanic Garden, Coral Gables, Florida, March 20-21, 2006.
- NAIDOO, G. (1987). Effects of salinity and nitrogen on the growth and water relations in the mangrove, *Avicennia marina*. **New Phytologist** v.107. p. 317-325.
- PALMER, D., FREDERICKS, D., SMITH, C. AND HEGGIE, D T. (2000). Nutrients from sediments. **AGSO Research Newsletter**, v. 33. p. 2-4.
- POTTS, M. (1984). **Nitrogen fixation in mangrove forests.** em: Por, F.D. and Dor, I. (editores.), **Hydrobiology of the Mangal.** Dr W. Junk Publishers, The Hague. p. 155-162.
- REDFIELD, A.C.; KETCHUM B. H. & RICHARDS F.A (1963). **The influence of organisms on the composition of sea-water** em HILL, M. H. (editor), **The sea.** Interscience, Nova Iorque. P. 26 – 77.

- RIVERA-MONROY, V. H.; DAY J.W.; TWILLEY R.R.; VERA-HERRERA, F.; CORONADO-MOLINA, C. (1995). Flux of Nitrogen and Sediment in a Fringe Mangrove Forest in Términos Lagoon, México. **Estuarine. Coastal and Shelf Science**. v. 40. p. 139-160.
- ROMIGH, M. M. (2005). Organic carbon flux at the mangrove soil-water column interface in the Florida Coastal Everglades. 45p. Tese de Mestrado. Texas A&M University, College Station, Texas.
- ROMIGH, M. M.; DAVIS III, S. E.; RIVERA-MONROY, V. H.; TWILLEY, R. R. (2006). Flux of organic carbon in a riverine mangrove wetland in the Florida Coastal Everglades. **Hydrobiologia**. V. 569 p. 505-516.
- STATSOFT, INC., (2001). STATISTICA (data analysis software system), versão 6. Disponível em <www.statsoft.com>.
- STRICKLAND, J.L.H.; PARSONS, T.R. (1972). A practical handbook of seawater analysis. **Fish. Res. Board. Can. Bull.**, Ottawa, p.167.
- WALTON, T. L. JR. (2002) "Tidal velocity asymmetry at inlets," ERDC/CHL CHETN IV-47. **U.S. Army Engineer Research and Development Center**. Vicksburg, MS. Disponível em <<http://chl.wes.army.mil/library/publications/chet> > acessado em 8 de novembro de 2006.
- WATERBURY, J. B., C. B. CALLOWAY AND R. D. TURNER (1983). A cellulolytic nitrogen-fixing bacterium cultured from the gland of *Deshayes* in shipworms (*Bivalvia*: *Teredinidae*). **Science** v. 221. p. 1401-1403.
- WOLAVER, T. G., WHITING, G., KJERFE, B., SPURRIER, J., MCKELLAR, H., DAME, R., CHRZANOWSKI, T., ZINGRNARK, R. & WILLIAMS, T. (1985). The flume design: a methodology for evaluating material fluxes between a vegetated salt marsh and the adjacent tidal creek. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. n. 91. p. 281-291.

WHITING, G.J., MCKELLAR, H.N., SPURRIER, J.D. & WOLAVAR, T.G. (1989). Nitrogen exchange between a portion of vegetated salt marsh and the adjoining creek. **Limnology and Oceanography**. v. 34. p. 463 - 473.

Anexos

Anexo 1. Fluxos Totais e Líquidos.

Fluxo total. Nutrientes em umoles, seston em mg

Mês	Maré	flume	PO4	NO3	NO2	Silicato	NH4	NT	PT	Seston
ago/05	En	início	2723,848	2315,024	637,9871	77301,37	7784,974	92284,15	5836,807	1541108
ago/05	En	final	2559,157	1987,71	637,7722	44314,77	2866,858	62803,04	6573,474	2606972
ago/05	Vaz	início	2524,419	1824,725	589,7391	44052	3661,033	55109,77	4260,524	2141808
ago/05	Vaz	final	2096,929	1904,66	nd	38322,02	2446,029	66541,59	3132,884	2942813
out/05	En	início	1424,276	4491,29	830,4355	90889,46	39534,74	90346,26	5931,799	253372,5
out/05	Vaz	início	-1966,03	-6675,6	-1076,44	-91687,1	-46000,8	-64455,9	-765,6	-251340
out/05	En	final	2526,858	5928,348	1181,54	104797,7	41001,1	81521,44	4600,876	374008
out/05	Vaz	final	-2034,17	-5675,11	-1146,56	-78470,8	-34256,4	-84688,2	-5528,86	-148440
fev/06	En	Início	730,212	3116,74	500,0356	124704,8	18938,73	90801,04	4455,796	2178398
fev/06	Vaz	Início	-3271,07	-5290,79	-1244,05	-172606	-25997,6	-142938	-7471,12	-1786740
fev/06	En	Final	2259,117	3950,794	597,5586	145635	17680,84	88936,29	5352,967	2005237
fev/06	Vaz	Final	-2596,62	-4875,83	-857,212	-164890	-27996,3	-147454	-8990,57	-1789900
jul/06	En	Início	2524,829	3382,6	443,7602	99803,45	58059,19	6067,605	720,6321	737440
jul/06	En	Final	1889,479	3173,973	436,409	116354,1	65357,3	6535,488	881,3793	622344
jul/06	Vaz	Início	-1405,53	-2595,85	-371,449	-68572,4	-41133,3	-4398,57	-255,744	-420240
jul/06	Vaz	Final	-1348,78	-2022,33	-454,661	-69277,7	-34770,6	-3641,35	-265,572	-407600

Fluxo líquido. Nutrientes em umoles * min⁻¹

Mês	Maré	PO4	NO3	NO2	Silicato	NH4	NT	PT	Seston
ago/05	enchente	0,735228	1,461223	0,00096	147,2616	21,95588	131,6121	-3,28869	-4758,33
ago/05	vazante	-2,52953	0,47299	nd	-33,9053	-7,18937	67,6439	-6,67243	4739,676
out/05	enchente	-5,10455	-6,65305	-1,62549	-64,39	-6,7887	40,85563	6,161682	-558,498
out/05	vazante	1,001939	-14,7131	1,031126	-194,356	-172,712	297,5335	70,04801	-1513,24
fev/06	enchente	-18,2013	-9,92922	-1,16099	-249,17	14,97478	22,19938	-10,6806	2061,435
fev/06	vazante	-4,61954	-2,84222	-2,64961	-52,8509	13,68934	30,93279	10,40719	35,90909
jul/06	Enchente	173,2772	56,89807	2,004884	-4513,8	-1990,39	-127,605	-43,8402	31389,82
jul/06	Vazante	-22,6995	-229,409	33,28476	282,1349	-2545,06	-302,888	3,931484	-5056

Anexo 2. Resultado do PCA.

Resultado completo da análise de componentes principais.

PRINCIPAL COMPONENTS ANALYSIS

Data standardized

Eigenvalues

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Eigenvalues	4,48	2,158	1,296	1,027
Percentage	40,727	19,618	11,778	9,341
Cum. Percentage	40,727	60,345	72,123	81,464

PCA variable loadings

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Temperatura	0,396	-0,333	0,031	-0,063
Salinidade	-0,449	-0,008	0,115	0,083
pH	-0,091	0,041	-0,188	-0,827
PO4	0,109	0,121	0,647	0,146
NO3	0,285	0,496	0,094	-0,1
NO2	0,237	0,452	0,319	-0,16
Silicato	0,369	-0,101	0,073	-0,008
NH4	-0,034	0,524	-0,419	0,002
NT	0,423	0,046	-0,126	-0,006
PT	0,154	0,18	-0,434	0,491
Seston	0,38	-0,321	-0,188	-0,087

PCA case scores

Casos	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
1	-0,16	-0,093	0,129	0,046
1	-0,286	-0,212	0,143	-0,018
1	-0,289	-0,206	0,072	0,027
1	-0,331	-0,212	0,108	0,057
1	-0,309	-0,219	0,246	-0,021
1	-0,268	-0,227	0,13	0,052
1	-0,292	-0,205	0,25	0,026
1	-0,313	-0,179	0,193	-0,016
1	-0,293	-0,173	0,114	0,07
1	-0,305	-0,323	0,042	0,025
2	0,098	0,279	0,012	-0,046
2	-0,011	0,155	-0,061	-0,036
2	0,093	0,258	-0,086	-0,005
2	0,052	0,327	-0,038	0,046
2	-0,003	0,412	0,02	0,034
2	0,118	0,48	0,119	-0,009
2	0,163	0,221	0,169	0,018
2	0,108	0,394	0,201	-0,068
2	0,005	0,245	0,034	0,034
2	0,087	0,281	0,1	0,009
2	0,026	0,375	0,099	-0,017
2	0,082	0,278	0,15	-0,035
3	0,439	-0,1	-0,363	0

Resultado Completo da Análise de Componentes Principais. Cont.

3	0,383	-0,295	-0,215	-0,099
3	0,578	-0,241	-0,144	-0,145
3	0,329	-0,237	0,016	-0,036
3	0,289	-0,131	0,153	-0,076
3	0,283	-0,109	0,184	-0,081
3	0,406	-0,024	-0,034	0,103
3	0,434	-0,122	-0,01	-0,014
3	0,585	-0,156	0,097	0,038
3	0,678	-0,013	0,169	-0,048
3	0,401	-0,06	0,114	-0,028
3	0,234	-0,181	0	-0,102
3	0,241	-0,231	-0,158	0,041
3	0,309	-0,204	-0,111	0,157
4	-0,081	0,096	-0,213	0,087
4	-0,021	0,157	-0,39	0,349
4	-0,266	-0,033	-0,275	0,106
4	-0,201	0,002	-0,177	0,076
4	-0,27	0,044	-0,083	0,046
4	-0,339	0,063	-0,34	0,083
4	-0,215	0,067	0,223	0,174
4	-0,1	0,025	-0,038	0,074
4	-0,351	0,026	-0,018	-0,034
4	-0,4	0,087	-0,242	-0,841
4	-0,339	0,016	-0,101	-0,001
4	-0,372	-0,056	-0,015	-0,013
4	-0,245	-0,005	-0,077	0,001
4	-0,364	-0,039	-0,101	0,008