



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**DINÂMICA DE NUTRIENTES E DA MATÉRIA ORGÂNICA NO
MANGUEZAL DO IGARAPÉ NUNCA MAIS - ILHA DE SÃO LUÍS (MA)**

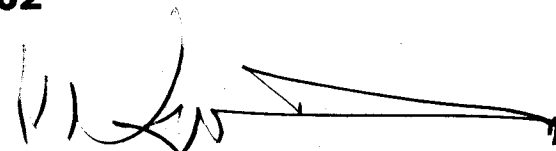
TESE APRESENTADA POR

ODILON TEIXEIRA DE MELO

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação: **22 / 11 / 2002**

Comitê de Tese:



WATERLOO NAPOLEÃO DE LIMA (Orientador)



SERGIO ROBERTO BULÇÃO BRINGEL



JADER ONOFRE DE MORAIS



JOSÉ FRANCISCO DA FONSECA RAMOS



MAÂMAR EL-ROBRINI

**A minha mãe GERMANA e ao meu pai GREGÓRIO (in memoriam) pela vida e
dedicação ao trabalho**

**A minha esposa ADALGISA e as filhas JACYARA, FERNANDA e CHRISTIANE pelo
incentivo, amor e compreensão nas horas ausentes**

AGRADECIMENTOS

- À Universidade Federal do Maranhão pela liberação para realização do Curso de Doutorado e, em especial, aos professores doutores Policarpo Costa e Paulo Cavalcante, colegas do Departamento de Oceanografia e Limnologia que assumiram partes de minhas atividades docentes.
- À CAPES pelo apoio financeiro através da concessão da bolsa de doutorado, sem a qual teria sido impossível a realização deste trabalho.
- À Universidade Federal do Pará – Centro de Geociências – Coordenação de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica pela acolhida.
- Ao Prof. Dr. Waterloo Napoleão de Lima, pela orientação firme e a amizade consolidada durante este trabalho.
- Ao Prof. Dr. Ruben Jose Lara (Projeto MADAM), pela valiosas sugestões e interesse durante a realização desta tese.
- Aos Professores Doutores Maamar El-Robrini, José Francisco da Fonseca Ramos, Jader Onofre de Moraes e Sergio Roberto Bulcão Bringel que se dispuseram a julgar esta tese.
- Ao estudante Evandro Gilson Moreira, do Curso de Ciência Aquáticas – UFMA, pelo auxílio imprescindível nos trabalhos de campo, laboratório e de computação, o meu imenso reconhecimento.
- Ao Dr. Thorsten Dittmar pelas sugestões nos cálculos de fluxos.
- Ao pescador Bidinho pelo auxílio durante os trabalhos de campo e a todos que direta ou indiretamente auxiliaram durante a realização deste trabalho.
- Aos colegas Nestor Everton Mendes Filho, Gundysalvo Piratoba Morales e ao prof. Vaquera pela amizade e companheirismo.

“A vitalidade se revela não apenas na capacidade de resistir mas, também, na de começar tudo de novo” Fitzgerald, médico francês.

	Pagina
SUMÁRIO	
DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
EPÍGRAFE	iii
LISTA DE ABREVIATURAS	vi
RESUMO	1
ABSTRACT	3
1 – INTRODUÇÃO	5
1.1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
1.2 - ÁREA DE ESTUDO	8
2 – OBJETIVOS	11
2.1 - FATORES QUE ATUAM NOS PROCESSOS DE TRANSPORTE	12
2.2 - QUANTIFICAÇÃO DOS FLUXOS	13
2.3 - AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS GEOQUÍMICOS ENVOLVENDO A MATÉRIA ORGÂNICA	13
3 – MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1 - AMOSTRAGEM NO CANAL DE MARÉ E NO MANGUEZAL	15
3.2 - ANÁLISES QUÍMICAS	17
3.2.1 - Material particulado	17
3.2.2 - Nutrientes inorgânicos dissolvidos	18
3.2.3 - Matéria orgânica	19
3.3 - CÁLCULO DE FLUXO	21
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO PRELIMINAR	24
4.1 - PARÂMETROS METEOROLÓGICOS E HIDROLOGIA DO CANAL DE MARÉ	24

4.2 - PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NUTRIENTES INORGÂNICOS DISSOLVIDOS E MATÉRIA ORGÂNICA	31
4.2.1 - Variações nictemerais ou séries temporais de 24 horas	31
4.2.2 - Variações mensal e sazonal ou séries temporais de 13 meses	41
4.3 – ÁGUAS INTERSTICIAIS E SEDIMENTO	50
4.3.1 - Nutrientes no reservatório de água intersticial	50
4.3.2 - Matéria orgânica no sedimento do manguezal	52
4.4 – PRODUÇÃO PRIMÁRIA DO FITOPLÂNCTON	55
4.5 – RAZÕES ELEMENTARES DO CARBONO, NITROGÊNIO E FÓSFORO NO MPS	58
4.6 –RAZÕES ISOTÓPICAS DO CARBONO E NITROGÊNIO NO MPS	62
5 – DISCUSSÃO COMPLEMENTAR	66
5.1–FATORES QUE INFLUENCIARAM AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS, QUÍMICAS E GEOQUÍMICAS DO CANAL DE MARÉ E DO MANGUEZAL	66
5.1.1 - Fatores ambientais	66
5.1.2 - Reservatórios de água do canal de maré e intersticial	67
5.1.3 – Fatores relacionados às atividades biológicas	72
5.1.4 - Processos dentro do manguezal	81
5.1.5 - Resumo dos principais processos que atuam no manguezal do igarapé Nunca Mais	83
5.2-FLUXOS DE NUTRIENTES E DA MATÉRIA ORGÂNICA ENTRE O MANGUEZAL E AS ÁGUAS COSTEIRAS	86
5.2.1 - Fluxos instantâneos e as variações nictemerais dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e da matéria orgânica	86
5.2.2 - Fluxos líquidos	93
5.3 – TRAÇADORES NATURAIS NO ESTUDO DA MATÉRIA ORGÂNICA	99
5.3.1 - Razões elementares do carbono C/N e do fósforo C/P como traçadores das fontes de matéria orgânica no MPS e no sedimento	99
5.3.2 - Razões isotópicas do carbono e do nitrogênio no MPS e no sedimento	101
5.3.3.- Média e tendência anual das fontes de matéria orgânica	111
6 – CONCLUSÕES	115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
ANEXOS	128

LISTA DE ABREVIATURAS MAIS UTILIZADAS NO TEXTO

BM – Baixa-mar

COD – Carbono orgânico dissolvido

(C/N)_{p,d} – Razão elementar entre carbono e o nitrogênio particulado e dissolvido

(C/P)_{p,d} – Razão elementar entre carbono e o fósforo particulado e dissolvido (**COP/NOP** e **COD/NOD**)

COP – Carbono orgânico particulado

EC – maré enchente

F – Fluxo líquido diário ($\text{mM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)

mM – milimolar, o mesmo que $\text{mmol/L} = 10^{-3}\text{M}$

MOD – Matéria orgânica dissolvida

MOP – Matéria orgânica particulada

MOT – Matéria orgânica total

MPS – Material particulado em suspensão – o mesmo que sedimentos em suspensão

NID – Nitrogênio inorgânico dissolvido

NOD – Nitrogênio orgânico dissolvido

NOP – Nitrogênio orgânico particulado

OD – Oxigênio dissolvido

μM – micromolar, o mesmo que $\mu\text{mol/L} = 10^{-6}\text{M}$

PM – Preamar

POD – Fósforo orgânico dissolvido

POP – Fósforo orgânico particulado

PP – Produção primária do fitoplâncton

SHD – Substâncias húmicas dissolvidas

VZ – maré vazante

RESUMO

É fato bem conhecido que o estado do Maranhão possui mais de 40% dos manguezais brasileiros, com área aproximada de 4800km² e extensão de 640km de litoral. A formação vegetal própria do ecossistema manguezal margeia, entre outros acidentes geográficos, numerosos canais de maré, baías, estuários e reentrâncias; nesses ambientes costeiros deste Estado domina o sistema de macro-marés, conferindo aos mesmos condições peculiares em relação às demais regiões costeiras brasileiras.

Enquanto a exportação de macro-particulados dos manguezais para as águas costeiras é um fato comprovado em diferentes manguezais a nível mundial e de consenso entre os pesquisadores, o que não ocorre quando se trata de micro-particulados e de nutrientes dissolvidos. Poucos estudos têm sido realizados, nesse último caso, em virtude de dificuldades metodológicas existentes nos cálculos de fluxos.

A seleção da área-piloto para este estudo foi o manguezal do canal maré-igarapé Nunca Mais, situado ao norte da ilha de São Luis, com uma área de 1,22 km², deveu-se ao fato de que a mesma se constitui de um ecossistema onde ocorrem trocas diretas com as águas costeiras do golfo do Maranhão e ausência de esgotos domésticos. Esse canal constitui o único meio de transporte de material entre o manguezal e as águas costeiras e, durante a enchente das marés de sizígia, o primeiro é completamente inundado.

O objetivo central deste trabalho é o de quantificação, caracterização e estudo da dinâmica dos nutrientes inorgânico dissolvidos e da matéria orgânica associada a micro-particulados. Utilizou-se, neste estudo, cálculos de fluxos de nutrientes inorgânico dissolvido e da matéria orgânica pelo método do "Euleriano", durante um período de 13 meses, de abril de 2000 a abril de 2001, nas marés de quadratura e sizígia, em 52 ciclos de maré. Os fluxos instantâneos e líquidos foram calculados para os nutrientes inorgânicos dissolvidos (amônio, nitrito, nitrato, fosfato e silicato) e da matéria orgânica (carbono orgânico, nitrogênio orgânico e fósforo orgânico). Os dados, para a caracterização da matéria orgânica, foram oriundos da determinação razão elementar C/N e das razões isotópicas do carbono (¹³C) e do nitrogênio (¹⁵N) e da identificação de substâncias húmicas dissolvidas como traçadores das fontes de matéria orgânica.

As diferenças entre dia e noite dos valores médios mostraram uma variação próxima de 0% para o pH e salinidade, positivas com valores de 5, 6, 8 e 11%, respectivamente, para nitrato, fosfato, amônio e silicato e negativas para oxigênio (-10%) e de -1 a -6% para a matéria orgânica

dissolvida e particulada. Os nutrientes dissolvida e a MOD variaram de forma semelhante com o nível d'água mostrando valores mais elevados na baixa-mar indicando o fluxo da água intersticial do manguezal para o canal de maré, enquanto que a MOP os valores variaram em função da velocidade da corrente mostrando a ressuspensão e o transporte do sedimento. Isso comprova que os processos biológicos de consumo de nutrientes e decomposição da matéria, no canal de maré, e a dinâmica da maré constituíram os fatores nas variações nictemerais.

Os resultados obtidos mostraram uma variação sazonal com valores baixos no período seco, exceto para o silicato e elevados no período chuvoso comprovando que a precipitação pluviométrica influenciou no transporte do manguezal para a região costeira. Além disso, no período seco, ocorreu um maior consumo de nutrientes pelo fitoplâncton em consonância como o aumento da produção primária obtida. Foi, também, evidenciada uma diminuição na concentração do material particulado em suspensão e da MOP durante esse último período devido a diminuição do fluxo do manguezal.

A exportação de nutrientes inorgânicos e matéria orgânica do manguezal, na área-piloto do igarapé Nunca Mais, é evidenciada, neste estudo, pela interpretação de cálculos de fluxos e de valores obtidos para a razão C/N e as razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. Essas razões utilizadas como traçadores naturais levaram à identificação das principais fontes de matéria orgânica no canal de maré, quais sejam, as oriundas do manguezal em torno de 75%, das águas costeiras e a resultante da produção autóctone de 25%. Durante o período chuvoso, há predominância da MOP e MOD proveniente do manguezal, enquanto que no período seco as fontes marinhas e autóctone são mais expressivas; os processos fotossintéticos relacionados com o fitoplâncton, no canal de maré, justificam a produção autóctone.

Observou-se que a exportação da MOD ($-14\text{mM}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) para as águas costeiras é inferior à da MOP ($-20\text{mM}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$); essa diferença foi associada aos processos hidrodinâmicos de ressuspensão e transporte de sedimentos. Essa matéria orgânica dissolvida é constituída, predominantemente, de substâncias húmicas, que são mais resistente ao ataque bacteriano e, conseqüentemente sujeitas ao transporte, pelas correntes de maré, a longas distâncias até a plataforma. É plenamente justificável que a amplitude de maré e precipitação pluviométrica sejam fatores relevantes nesses processos de exportação.

Pelo exposto, ratifica-se, neste estudo, que o manguezal desempenha importante papel na fertilização das águas costeiras do golfo do maranhão.

ABSTRACT

It is well known that the State of Maranhão has more than forty percent of the Brazilian mangroves covering an area with almost 4800km² and along of 640km of coastline. These mangrove swamps border a number of tidal channels, bays, gulfs, and others estuarine systems, where the macro-tidal system gives a singular condition to this environment, that it is different from the others Brazilian areas.

The exportation of macro-particles from the mangroves to the coastal waters is well known. However, there is a discussion if the mangroves import or export micro-particles and dissolved nutrients to the coastal areas. Few studies have been developed in this subject due to the methodological complexities of the flow calculations.

The choice of the pilot-area for this study is the igarapé Nunca Mais, a tidal channel surrounded by an area of 1.22km² of mangrove ecosystem, situated in the Northeastern portion of the São Luís Island. This choice is due by the fact that in this area occurs exchanges with the coastal waters from the Maranhão Gulf take place. This tidal channel is the main transport pathway between the mangrove and the coastal waters. During the spring tides this mangrove is completely flooded.

The main aim of this study was to evaluate the role of a mangrove region – Maranhão Gulf – in a macro-tidal area in exchanging of materials with the coastal waters. The characterization and quantification of the dissolved inorganic nutrients and the organic matter were the main focuses of this study. For this purpose were utilized flows calculations from “Eulerian” method. During the period of 13 months (from April 2000 to April 2001), in the neap and spring fluxes of the dissolved inorganic nutrients (ammonium, nitrite, nitrate, phosphate, and silicate) and those of the organic matter (organic carbon, organic nitrogen, and organic phosphorus) were determined along 52 tidal cycles. For the characterization of organic matter were used elemental ratio C/N, isotopes ¹³C and ¹⁵N ratio, and by the identification of dissolved humic substances as tracers for organic matter sources.

The differences on day clear and overnight show average values from 0‰ for the pH and salinity, positive values of 5, 6, 8 and 11%, respectively, for nitrate, phosphate, ammonium, and silicate, and negative values for the oxygen (-10%), and for the dissolved and particulate organic matter (-1% to -6%). The dissolved nutrients and organic matter varies such as tidal ranges showing maximum values in the low tide, indicating flow from interstitial water of the mangrove

for the tidal channel. Particulate organic matter values show variations relationships with current velocity showing resuspension and sediment transport. This fact confirms that the biological processes, such as nutrient consumption and organic matter deposition, in the tidal channel, and the tidal dynamics were relevant in the variations.

The results obtained in this study show a seasonal variation with minimum values in the dry season, except for the silicate, and maximum values in the rainy season, showing the rain precipitation influence in the transport from mangrove for the coastal waters. In addition, in the dry period, occurs maximum consumption of nutrient by phytoplankton, as well as, observed on primary production. It was evidenced also lower values in the concentration of particulate organic matter during this dry season due the lower fluxes values from the mangrove.

The net exportation of inorganic nutrients and the organic matter in the mangroves of the São Luís Island (Maranhão State, Brazil), in the tidal channel Igarapé Nunca Mais, is evidenced in this study by interpretation of the flows calculations and the values from C/N ratios, elemental and isotopic. The isotopes of C and N used here as tracers lead to the identification of the primary sources of the organic matter in the tidal channel, i.e., the originated from mangroves, the coastal waters, and the resulting from allochthonous production. During the rainy period there are dominance of the organic matter (dissolved and particulate) transported from the mangrove, while in the dry period the marine and autochthonous sources are more considerable. The photosynthesis of the phytoplankton, in the tidal channel, justifies the autochthonous production.

The net exportation of the dissolved organic matter for the coastal waters is slightly superior to the particulate organic matter (DOM, $14\text{mM}^2\cdot\text{day}^{-1}$; POM, $20\text{mM}\cdot\text{m}^2\cdot\text{day}^{-1}$). Perhaps this difference is due a fast sedimentation in the intermediary zone of the tidal channel that have the biggest profundity; this fact leads a minor quantity of particulates exported for coastal waters. It infers that this organic matter is constituted, dominantly, by humic substances because they are more refractory to the bacterial activity and consequently they can be transported by tidal currents for the adjacent coastal waters. Of course, the tidal amplitude ranges and pluviometric precipitation are relevant factors in these exportation processes.

By this exposition, this study confirms the important role of mangrove for the fertilization of the coastal waters of Maranhão Gulf.

1 – INTRODUÇÃO

Estado do Maranhão possui quase metade dos manguezais do Brasil com uma área equivalente 4800km² ($\pm 45\%$ do total nacional) e estruturalmente mais complexos em uma região de macro-maré onde a amplitude pode atingir 7m (Hertz 1991; Kjerfve & Lacerda 1993). Esses manguezais são encontrados ao longo dos 640km da costa maranhense, exceto na área do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses onde os mesmos foram soterrados pelo transporte eólico de areia. Esse estado ocupa, também, o primeiro lugar na produção de pescado do Nordeste e o quarto na produção nacional. Essa produção, é conveniente salientar, deve-se única e exclusivamente à pesca artesanal com embarcações de pequeno porte.

Direta ou indiretamente essa produção pesqueira está associada a grande quantidade de particulados e elementos nutrientes dissolvidos que são carreados para a região costeira através de um complexo sistema estuarino e de manguezais. O Maranhão, apesar de está situado na região Nordeste é bem servido de rios, de médio e pequeno porte, os quais constituem as vias de transportes de material particulado e dissolvido para as áreas costeiras. Além disso o manguezal pode atuar como uma fonte adicional importante de nutrientes e matéria orgânica para o oceano.

Os trabalhos sobre a química e geoquímica dos canais de maré e de manguezais, são incipientes quando comparados com aqueles da biologia e restrito às regiões Sul e Sudeste do Brasil. Na região do estado do Maranhão, além da maior densidade de manguezais e com um regime de macro-maré, nem sempre é possível aplicar a metodologia utilizada em regiões de micro-marés. Nesse Estado até o momento não existe nenhum trabalho, do ponto de vista da biogeoquímica, sobre os nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica e suas trocas entre o manguezal e as águas costeiras.

O manguezal atua como um importador, exportador e sumidouro de nutrientes dissolvidos, matéria orgânica e particulados. A hipótese mais provável é de que, na costa do Maranhão, os manguezais atuem conjuntamente com os rios exportando grande quantidade de nutrientes inorgânicos dissolvidos para o fitoplâncton costeiro que é a base da cadeia alimentar. Além disso, o material particulado do manguezal e aquele produzido no canal de maré, servirá de alimento para os seres heterotróficos. A tarefa principal foi saber, como ocorrem as trocas entre o manguezal e a região costeira, os principais processos e os fatores ambientais envolvidos. Neste estudo, a via de transporte ou de comunicação entre as águas costeiras e o manguezal é um pequeno canal de maré na região nordeste da ilha de São Luís (MA).

1.1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os manguezais são ecossistemas altamente produtivos. Segundo Clough (1998) a taxa de produção primária líquida de suas árvores pode chegar a mais de 30 toneladas de carbono/hectare/ano. Um terço dessa produção é perdida como liteira, principalmente folhas e, mais da metade desta, pode ser exportada pelos canais de maré e estuários para as águas costeiras. A exportação de grande quantidade de detritos orgânicos tem um efeito reconhecido sobre as cadeias alimentares dessas águas costeiras (Odum & Herald, 1975; Alongi *et al.* 1989; Alongi, 1990; Robertson *et al.* 1992).

Existem, também, evidências da exportação de matéria orgânica dissolvida (MOD) que, em algumas áreas de manguezais, pode ser de igual ordem de grandeza daquela exportada pelos detritos orgânicos. Entretanto, pouco se conhece sobre as fontes e as características dessa matéria orgânica. Vários estudos evidenciaram uma lixiviação rápida para os componentes dissolvidos da liteira das folhas dos manguezais (Benner & Hodson, 1985; Twilley, 1985; Benner *et al.* 1988; Benner *et al.* 1990b). A exportação da MOD dos manguezais está associada aos processos de lixiviação do sedimento e decomposição da matéria orgânica. Uma fonte adicional de MOD é a liberação de substâncias húmicas do sedimento dos manguezais e dos canais de maré ou de exsudatos de produtores primários e secundários (Shanmukhappa & Neelankantan, 1989; Florees-Verdugo *et al.* 1990; Moran & Hodson 1994b). Portanto, várias fontes, dentro do manguezal, podem fornecer diferentes tipos de MOD, variando largamente de características lábil até recalcitrante ou refratárias.

A interação entre os manguezais e os ecossistemas estuarinos e costeiros dependem, dentre outros fatores, dos processos biológicos e da quantidade de matéria orgânica exportada. A MOD mais resistente à decomposição é exportada para as regiões da plataforma interna sem sofrer muita alteração no canal de maré; favorecendo a produção secundária pelas bactérias que a utilizam para seu desenvolvimento. A MOD lábil exportada será mais rapidamente decomposta pelas bactérias no próprio canal de maré, disponibilizando nutrientes para o fitoplâncton e para as águas costeiras adjacentes. Portanto, é essencial, a determinação das trocas entre manguezais, estuários e regiões costeiras e o conhecimento sobre a dinâmica e as propriedades do material exportado.

Os sedimentos dos manguezais e dos canais de maré são tidos como locais de fixação bacteriana do nitrogênio. Por outro lado, os processos de nitrificação e desnitrificação, no

sedimento, podem conduzir a perdas consideráveis de nitrogênio (Mann & Steinke, 1989; Boto & Robertson, 1990; Main & Steinke, 1992; Main & Steinke, 1993; Nedwell *et al.* 1994; Paling & McComb, 1994; Rivera-Monroy *et al.* 1995b; Rivera-Monroy & Twilley, 1996). Nesse caso, não se pode afirmar se os manguezais atuam como fontes efetivas ou sumidouros para nitrogênio orgânico e inorgânico.

Minerais depositados e o intemperismo das argilas atuando nos sedimentos e solo dos manguezais, liberam fosfato e silicato para água intersticial. O fluxo contínuo durante as marés enchentes e as proximidades das águas costeiras conduzem a uma significativa exportação da água intersticial enriquecida de nutrientes essenciais ao desenvolvimento do fitoplâncton.

Apesar do importante papel que os manguezais desempenham para os estuários e as regiões costeiras, poucos estudos foram realizados no passado para esclarecer com que extensão esses ambientes são fontes ou sumidouros de nutrientes e de matéria orgânica. Os estudos, a nível mundial, são restritos para poucas regiões: 1) Austrália - ilha Hinchinbrook, nesta área de manguezais fizeram um balanço de massa quantitativo de longa duração no qual foi evidenciada a exportação de nutrientes orgânicos e inorgânicos (Boto & Bunt 1981; Boto & Wellington 1988; Alongi 1996; Alongi *et al.* 1998; Ayukai *et al.* 1998); 2) México - laguna Terminos, neste caso, as informações ficaram restritas para as espécies nitrogenadas (Rivera - Monroy *et al.* 1995a); 3) Tailândia - estuário Klong Ngao, estudou-se a exportação de nutrientes inorgânicos (Wattayakorn *et al.* 1990); 4) Estados Unidos - Flórida, os trabalhos indicaram uma a exportação de carbono orgânico dissolvido e particulado (Twilley 1985); 5) Bahamas - ilhas Berry, os trabalhos contribuíram com informações sobre a matéria orgânica dissolvida com análise das substâncias húmicas, derivados da lignina e os compostos fluorescentes naturais (Moran *et al.* 1991b); 6) Brasil - baía de Sepetiba, indicaram uma alta contribuição de matéria orgânica de origem marinha com relação ao total de matéria orgânica particulada exportada pelos manguezais nessa área (Rezende *et al.* 1990). Outros trabalhos foram realizados sobre manguezais na região sudeste do Brasil (Ovalle *et al.* 1990; Lacerda *et al.* 1995; Carmouze *et al.* 1998; Silva *et al.* 1998). Na região Norte (Bragança - estado do Pará), um excelente trabalho realizado mostrou que houve exportação de nutrientes e de matéria orgânica para a região costeira, indicando ainda os principais processos e fatores ambientais envolvidos (Dittmar 1999).

Até o presente a discordância entre os dados publicados foi originada por diferenças metodológicas e as dificuldades na determinação exata das trocas entre manguezais e águas

estuarinas e costeiras. Além disso, diversos fatores entre os quais amplitude de maré, geomorfologia, biogeoquímicos dos solos e sedimentos, estrutura das comunidades biológicas, são os principais fatores responsáveis para essa discordância entre os processos de exportação e/ou importação (Ayukai *et al.* 1998). Portanto, não existe consenso geral sobre exportação e/ou importação de material pelos manguezais, bem como os fatores que governam essas variações.

Os trabalhos, existentes na literatura, mostram claramente que pesquisas de longa duração, considerando somente o balanço de massa, para nutrientes e matéria orgânica, não conduzem a uma avaliação segura das interações entre manguezais, canais de maré e as águas costeiras. É necessário que esses estudos, também, levem em conta os principais fatores que controlam tais interações (Dittmar 1999). Dittmar *et al.* (2001) afirmaram que a amplitude de maré e a frequência de inundação são fatores importantes na determinação dos fluxos e quantificar as trocas de nutrientes e matéria orgânica entre os manguezais e o oceano. Esses autores concluíram, também, que a exportação ocorre: (a) somente em manguezais com de excesso de nutrientes na água intersticial proporcionada por uma elevada fixação de nitrogênio e um balanço positivo de sedimentação; (b) somente em regiões de macro-marés onde a água intersticial pode escoar em quantidades consideráveis para os canais de maré e oceano.

1.2 – ÁREA DE ESTUDO

O estado do Maranhão possui 640km de litoral com manguezais em toda sua extensão desde o delta do rio Parnaíba-PI até a foz do rio Gurupi-PA, com exceção na área ocupada pelos Lençóis Maranhenses. Ocupam uma área de 4800km², representando 45% do total nacional (Hertz 1991; Kjerve & Lacerda 1993), sendo esses manguezais estruturalmente mais complexos devido, entre outros fatores, a grande amplitude das marés, altas taxas de precipitações pluviométricas, topografia, rios de pequena e média vazão. As altas amplitudes das marés, associadas a topografia fazem com que esses manguezais sejam encontrados a mais de 40km da costa.

A área escolhida para este trabalho está situada na região nordeste da ilha de São Luís, golfo do Maranhão (Figura 1), entre as praias de Araçaji e Raposa, onde convergem as baías de São Marcos e São José para área costeira do oceano atlântico. Trata-se de um canal de maré (igarapé Nunca Mais) de 1,5km de extensão, com largura de 68m e profundidade de 5m na sua foz, respectivamente. Esse canal é margeado por uma área de manguezal de aproximadamente

1,22km² e a contribuição de água doce para o mesmo é somente aquela resultante da precipitação pluviométrica acumulada nos baixios ou “apicuns” existentes na vizinhança e água subterrânea local. Nas marés de quadratura e sizígia a enchente e a vazante duraram, respectivamente, cerca 4h20min e 8:00horas, sendo o manguezal completamente inundado somente nas marés de sizíguas.

Existe uma seqüência que é: terra firme→brejo→duna→manguezal→praia. Esta área de manguezal, muito provavelmente, foi originada numa planície costeira resultante de uma acreção do continente, isto é, uma ação transgressiva do oceano atuou sobre uma antiga falésia existente, retirando o sedimento que se depositou na vizinhança criando as condições propícias para o surgimento do manguezal. A duna acima citada está coberta de vegetação rasteira, mas é possível observar a existência de grande quantidade de conchas marinhas indicando que o mar esteve ali presente há milhares de anos.

As amplitudes de marés variam entre 4,2 a 5,2m e as velocidades das correntes atingiram valores em torno de 1,5m/s . Na estação de coleta existe um terraço de duna que se descobre completamente e o canal fica reduzida a uma profundidade que varia de 0,7 a 1,25m na estação seca e chuvosa, respectivamente. Isto fez com que o canal tenha profundidades maiores (2 a 2,5m) na sua parte intermediária e acumule água durante a maré vazante. Em virtude dessa morfologia do canal de maré a quantidade de água que saiu durante a vazante é sempre superior àquela que entrou durante a maré enchente. A floresta de manguezal é densa e composta de *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa*. A pesca, no canal e nas praias adjacentes, é bastante intensa onde diariamente dezenas de pessoas atuam nessa área. Além disso, é comum a extração e “catação” de moluscos e crustáceos. A hidrodinâmica nessa área é bastante intensa; observa-se erosão ocasionada por ondas e correntes de maré. A precipitação pluviométrica atua também na erosão e lixiviação das áreas vizinhas e das margens do canal de maré. O transporte de areia pelo vento e pelas correntes de maré para o manguezal é comum nessa área, uma vez que se observou pequenas áreas de mangues com a vegetação completamente seca. Não existe despejos de esgotos domésticos no canal de maré e nem nas vizinhas ao mesmo. Devido à declividade existente, surgem apenas pequenos núcleos residenciais, sobretudo de pescadores ou de pessoas que cultivam, em pequenas escala, hortaliças.

2 – OBJETIVOS

A meta principal deste trabalho, numa região de clima tropical do Nordeste do Brasil (estado do Maranhão), é identificar a principal função do manguezal no ciclo dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e da matéria orgânica particulada para as águas costeiras adjacentes. O cerne deste trabalho é a identificação e a quantificação desses nutrientes e da matéria orgânica, bem como as trocas existentes entre o manguezal, através de um canal de maré e a região costeira.

Especificando foram delimitados os seguintes objetivos abaixo relacionados.

A – Determinar as concentrações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e da matéria orgânica no canal de maré e no manguezal;

B – Identificar os principais fatores que atuam sobre os processos de transporte:

- 1- principais vias de transporte entre o manguezal e o ambiente costeiro adjacente;
- 2- processos que conduzem à retenção ou liberação dos nutrientes e à produção de matéria orgânica;
- 3- transformações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e da matéria orgânica durante seu transporte do manguezal para o ecossistema costeiro.

C – Avaliar os processos geoquímicos envolvendo a matéria orgânica entre o manguezal e o ambiente costeiro

- 1- estabelecer um modelo de diferenciação geoquímica para o particulado oriundo do manguezal e aquele de origem marinha;
- 2- utilização de traçadores naturais para identificar as fontes, destino e diagênese da matéria orgânica.

D – quantificar os fluxos entre o manguezal e ecossistema costeiro, dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e da matéria orgânica.

Com base nesses objetivos específicos foi elaborado um modelo conceitual para se ter uma idéia geral para o presente estudo. Identificou-se os principais compartimentos e as vias de transporte entre o manguezal, canal de maré e a região costeira. Considerou-se que os dois principais reservatórios são as águas costeiras e as águas intersticiais com concentrações elevadas de nutrientes. O canal se constitui o único elo de ligação entre as águas costeiras e o manguezal. Partiu-se do pressuposto que a hidrodinâmica local, os parâmetros meteorológicos e os processos

biológicos constituam os principais fatores atuantes no comportamento e nas trocas de materiais entre esses dois reservatórios.

A apresentação de pressupostos à proposta são, a seguir, comentados.

2.1 – FATORES QUE ATUAM NOS PROCESSOS DE TRANSPORTE

Considerou-se 3 vias para o transporte de material para e do manguezal, que são visualizadas (Figura 2.1).

1- precipitação (chuva, aerossol) e evaporação;

2-trocas gasosas (por exemplo, assimilação ou liberação de gás carbônico, liberação de nitrogênio);

3-fluxo de material do manguezal, através dos canais de maré ou de estuários, para o ecossistema costeiro.

Levou-se em conta que o manguezal atua como fonte (exportação de nutrientes e de micro-particulados), um sorvedouro (acumula nutrientes e matéria orgânica) e, ainda, atua como um reator, ou seja, transformando nutrientes inorgânicos dissolvidos em matéria orgânica particulada (MOP - tecidos orgânicos do fitoplâncton). Considerou-se que a soma dos fluxos através das vias acima mencionadas e as mudanças dentro dos reservatórios no manguezal é zero.

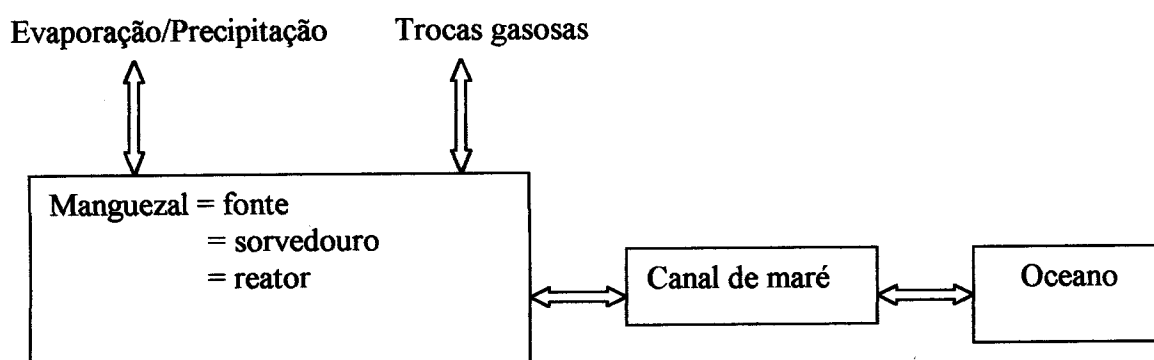


Figura 2.1 – Modelo de balanço de massa de material (entrada e saída do manguezal)

A água do canal de maré (Figura 2.1) constitui uma interface importante entre o manguezal e as águas costeiras. Uma estação fixa localizada próxima à foz do canal de maré, numa seção transversal bem definida, representa uma informação significativa do manguezal sobre o mesmo. Por outro lado, neste tipo de abordagem, a própria estratégia de amostragem, proporciona uma variabilidade média dentro do manguezal. Portanto, os resultados podem ser extrapolados para ambientes com características ambientais similares.

2.2 – QUANTIFICAÇÃO DOS FLUXOS

Para determinar se o manguezal importa ou exporta, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica para as águas costeiras, realizou-se estudos baseado no modelo de balanço de massa (Figura 2.1). Os fluxos gasosos podem representar uma fonte ou sumidouro de material para o canal de maré/manguezal. Esses fluxos entrando ou saindo da área em estudo foram indiretamente determinados. A contribuição de água doce ficou restrita ao período chuvoso, pelo brejo existente na parte montante do manguezal.

As trocas entre o manguezal e as águas costeiras, através do canal de maré, foram calculadas diretamente em função do primeiro ser uma área restrita e de comunicação direta com o ambiente costeiro. Portanto, sem interface com um sistema estuarino e sem fluxo fluvial característico de montante, o canal de maré constituiu um excelente elo de representatividade da influência do manguezal sobre o ambiente costeiro adjacente.

2.3 – AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS GEOQUÍMICOS ENVOLVENDO A MATÉRIA ORGÂNICA

O objetivo neste caso foi, em utilizando traçadores naturais tais como os valores para a razão **elementar** e razões **isotópicas do carbono e do nitrogênio**, identificar as *fontes*, o *destino* e as *transformações* da matéria orgânica no manguezal. Também foram utilizados dados de leituras de absorvâncias nas regiões do ultravioleta e visível e quantificação de carbono orgânico (total e particulado) tanto nas águas do canal de maré como nas águas intersticiais do sedimento do manguezal.

A utilização dos métodos espectroscópicos como traçadores está baseado no fato de que alguns grupos funcionais da matéria orgânica (cromóforos e fluoróforos), ao serem irradiados pela luz ultravioleta e/ou visível, fornecem indicações sobre as fontes e as transformações da mesma. Grupos fenólicos, por exemplo, absorvem na faixa de 250 a 365nm e indicam uma concentração maior de ácidos fúlvicos. A absorção na faixa do visível A_{460} e A_{660} , a chamada razão A_4/A_6 , tem sido relacionada com a massa molecular e a humificação (Thurman, 1985) A plotagem da razão da absorvância (A_3) em função da razão entre as absorvâncias (A_2/A_3) foi utilizada como indicador da massa molecular das substâncias húmicas e a decomposição da matéria orgânica no lago Tjeukemeer. Portanto, a razão A_2/A_3 e a distribuição da massa

molecular de ácidos fúlvicos foi utilizada na identificação do estágio de humificação nos lagos finlandeses (De Hann, 1983).

A fluorescência das águas naturais é produzida pela matéria orgânica dissolvida aí presente. Essa técnica parece particularmente interessante na medida que permite uma avaliação direta das amostras sem tratamento químico ou pré – concentração. Embora a falta de exercícios de intercalibração seja um problema, os trabalhos mais recentes, com técnicas mais aprimoradas mostram que a fluorescência é usada como um mapeador da matéria orgânica dissolvida, tanto qualitativa como quantitativamente. No que diz respeito ao aspecto qualitativo os resultados indicam a existência de três grupos principais de fluoróforos responsáveis pela fluorescência nas águas naturais. Um desses grupos emite em comprimentos de onda mais curtos ($\lambda_{\text{excitação}} < 300\text{nm}$ e $\lambda_{\text{emissão}} < 350\text{nm}$), resultando na emissão de fluorescência por aminoácidos e proteínas cuja presença estaria relacionada com a matéria orgânica mais lábil e recente. Os dois outros, com $\lambda_{\text{emissão}}$ variando entre 390nm e 450nm ($\lambda_{\text{excitação}}$ de 300nm a 340nm) seriam relativos às substâncias húmicas.

As razões elementar e isotópicas do carbono e do nitrogênio têm sido utilizadas em diversos ambientes estuarinos e de manguezais para o estudo da matéria orgânica os quais destacamos (Shultz & Calder 1976 Wong & Sackett 1978 Saino & Hatori 1980; Gearing *et al.* 1984; Mariotti *et al.* 1984; Lacerda *et al.* 1986; Wada *et al.* 1987; Cifuentes *et al.* 1988; Craft *et al.* 1988; Hedges *et al.* 1988; Tan *et al.* 1991; Thornton & McManus 1994; Cifuentes *et al.* 1996; Martinotti *et al.* 1997; Ogawa & Ogura 1997; Fry *et al.* 1998).

A lignina, também, tem sido largamente utilizada como excelente traçador da matéria entre o continente e o ambiente marinho (Ertel *et al.* 1986; Hedges *et al.* 1986; Moran *et al.* 1991a; Moran & Hodson, 1994a; Kattner *et al.* 1999). E, mais recentemente, para indicar o comportamento da matéria orgânica num manguezal no norte do Brasil (Dittmar, 1999; Dittmar *et al.* 2001).

Os traçadores mais utilizados, atualmente, para estudar o comportamento da matéria orgânica em ambientes estuarinos de manguezais, são os isótopos naturais e a lignina e seus derivados. Nesse caso, emprega-se métodos sofisticados de análises tais como espectrometria de massa, cromatografia líquida de alto desempenho (HPLC), ou métodos casados ou associados como cromatografia gasosa/espectrometria de massa, entre outros. É óbvio que cada método tem suas vantagens e desvantagens.

3 – MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente foram realizadas algumas análises químicas e medições dos parâmetros físico-químicos nas águas costeiras e do canal de maré para testar a metodologia analítica a ser utilizada e observar as diferenças existentes. Em função das características locais do canal de maré e das condições logísticas existentes para estudo do fluxo de material, realizou-se alguns testes com diferentes métodos. Optou-se pela aplicação de um método de coleta num ponto fixo por dois ciclos de maré, chamado de método “Euleriano”, em uma secção retilínea do canal de maré. Determinou-se a área dessa secção transversal e em seguida se mediu a variação do nível d’água durante as marés enchente e vazante. A descarga de água foi obtida pela multiplicação da velocidade de corrente para cada sub-área em intervalos de quinze minutos.

3.1. – AMOSTRAGEM NO CANAL DE MARÉ E NO MANGUEZAL

O canal de maré, denominado de igarapé Nunca Mais, está localizado nos limites norte da ilha de São Luís entre as praias de Araçagi e Raposa e forma uma planície costeira densamente povoada por manguezais. O acesso é feito pelo lado esquerdo da rodovia que liga São Luís, em direção, ao município de Raposa. O ponto de coleta de água e das medições feitas em campo ficou situado numa seção transversal, bem definida, do canal de maré (2°15’S e 44°10’W). Nesse ponto, as águas costeiras do Golfo do Maranhão entram e saem do canal de maré a cada ciclo de maré de 12h20min em regime semi-diurno. É um sistema semi-fechado, o que facilita a aplicação de um simples balanço de massa para uma estimativa confiável dos fluxos líquidos de material entre o manguezal e o sistema costeiro.

As amostras dos testemunhos de sedimentos foram coletadas em dois pontos, um próximo ao ponto de coleta de água e o outro à montante, ou seja, na parte superior do manguezal e mais próximo da terra firme. Nesse último ponto (ponto 2) a influência marinha é menor com relação ao ponto 1. No ponto 1, onde se coletou as amostras de água e o sedimento, a praia fica a 300m, aproximadamente, de distância. Nesse ponto, a influência marinha é mais significativa, isto é, as ondas e as correntes de maré são mais fortes. No ponto 1 existe a predominância de *Rhizophora* enquanto que no ponto 2, existe mais *Avicennia* e *Laguncularia*.

A inundação do manguezal ocorre nas marés altas, principalmente, aquelas de sizígia. A entrada e saída de água ocorrem através de uma área bem definida na sua foz onde foi escolhida para a estação fixa de amostragem durante dois ciclos de maré duas vezes por mês, uma na maré

de quadratura e outra na maré de sizígia. As campanhas foram realizadas durante treze meses e, em cada mês, na maré de quadratura e de sizígia totalizando cinquenta e dois ciclos de maré. Na região do Estado do Maranhão as marés de sizígia apresentam as preamares na parte da manhã (entre 7h15min a 8h15min) e as de quadratura ao meio dia (11h45min a 12h45min), considerando em ambos os casos a variação anual. O horário obedecido para o início da amostragem foi de 8 e 12h, respectivamente, para as marés de sizígia e quadratura.

As amplitudes de maré, no canal, apresentaram oscilações anuais como citado anteriormente. Devido às proximidades com o do Porto de São Luís, onde existe uma estação maregráfica para tais medidas e, de acordo com as tábuas de maré fornecida pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, 2000 e 2001), são mostrados na Figura 4.1 (Resultados) as oscilações do nível de maré durante o período de estudo. Essas oscilações foram levadas em consideração nas campanhas de amostragem acima mencionadas.

Amostras de água da chuva foram coletadas no momento da amostragem no canal de maré e na área do manguezal e medindo-se em campo os parâmetros físico-químico tais como pH e condutância elétrica e os nutrientes inorgânicos dissolvidos.

As amostras de folhas do manguezal foram coletadas no canal de maré com uma rede de plâncton, sendo duas vezes no período seco (setembro e novembro) e duas vezes no período chuvoso (fevereiro e abril). Também, foram coletadas folhas verdes no próprio manguezal e folhas de coloração escura indicando um estado avançado de decomposição.

As amostras de sedimentos foram obtidas nos pontos acima mencionados e, em cada ponto, no período chuvosos e seco. A profundidade foi de 70cm para cada testemunho obtido, conservado em isopor com gelo até a volta ao laboratório onde foram divididos a cada 5cm. As amostras, para as análises das águas intersticiais, foram obtidas por prensagem dessas divisões.

No canal de maré, próximo a foz, a 300m aproximadamente da praia e nas condições acima mencionadas foi estabelecida uma estação com um barco bem ancorado para evitar movimentos com a maré. As medidas do nível d'água foram procedidas durante a vazante e a enchente com duas réguas graduadas no centro do canal de 60m de largura, a cada 15 minutos. Como referência para as duas réguas fixadas no canal de maré, colocou-se uma terceira régua presa a uma árvore na margem direita do canal. Ao mesmo tempo, mediu-se as velocidades das correntes utilizando dois medidores de fluxo da *General Oceanic modelo 2030*. A temperatura, a salinidade e a condutância específica foram determinadas com o medidor portátil marca Bekman modelo RS7 e

um condutivímetro marca WTW modelo LF 197, de uma em uma hora. O oxigênio dissolvido foi determinado com um oxímetro marca Hanna – modelo 8857 e, também, pelo método químico de Winkler.

As amostras de águas, para as análises dos nutrientes inorgânicos dissolvidos (amônio, nitrito, nitrato, fosfato e silicato), carbono particulado e material particulado em suspensão foram coletadas de hora em hora, em frasco de polietileno de 1 litro, durante 24 horas da amostragem nas marés de quadratura e de sizígia. Essas amostras foram acondicionadas em isopor com gelo até chegada ao laboratório onde foram submetidas a diferentes tipos de filtração: a) a determinação dos nutrientes dissolvidos e do material particulado em suspensão, utilizou-se filtros de membranas de acetato de celulose de 0,45 μ m de porosidade e de 47mm de diâmetro; b) a separação da matéria orgânica dissolvida da particulada em filtro de fibra de vidro de 0,7 μ m de porosidade com mesmo diâmetro daquele de acetato; c) a clorofila-a filtro de fibra de vidro de 1,2 μ m de porosidade. Nos casos acima citados foram utilizados para a filtração um volume variando de 0 a 250mL por amostra.

Os parâmetros meteorológicos obtidos - precipitação pluviométrica, temperatura do ar, umidade, radiação solar e velocidade dos ventos - foram cedidos pela INFRAERO e pela Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) através de seus postos de observações existentes na ilha de São Luís (Figura 4.2).

3.2. ANÁLISES QUÍMICAS

3.2.1 – Material particulado em suspensão (MPS), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico total (COT)

O MPS foi determinado pelo método gravimétrico, o qual consistiu na filtração de uma alíquota (250ml) da amostra em filtro de membrana de acetato de celulose de 0,45 μ m de diâmetro previamente pesado e seco a 60°C por duas horas. Em seguida, os filtros foram colocados na estufa por duas horas para secagem e esfriados à temperatura ambiente em dessecador e pesados novamente. Por diferença de peso e levando em conta o volume de amostra foi quantificado o teor de particulado. A amostra para o COP foi também filtrada mas em fibra de vidro Whatman tipo GF/F (porosidade ~0,7 μ m) ou GF/C (porosidade ~1,2 μ m) previamente calcinado a 450°C durante 30 minutos. Lavou-se o filtro com bastante água desionizada para eliminar cloretos. Para a determinação química seguiu-se o método de Le Corre (1983) que,

simplificadamente, consiste em adicionar 2mL de ácido fosfórico concentrado, aquecer por 30 minutos, adicionar a mistura oxidante (solução de dicromato de potássio (4,84g) + ácido sulfúrico concentrado (200mL) + água desionizada até 1000mL), aquecer novamente por 45 minutos, esfriar, adicionar 50mL de água desionizada e 2 gotas do indicador ferroína, e titular com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,1N. Três papéis sem amostra foram submetidos ao mesmo procedimento e utilizados como branco.

3.2.2 – Nutrientes inorgânicos dissolvidos

As amostras resultantes da filtração para o MPS foram utilizadas na determinação dos nutrientes inorgânicos dissolvidos. O amônio foi determinado numa alíquota de 50ml baseado na reação do azul de indofenol (Aminot & Chaussepied 1983) no qual a absorbância foi lida a 630nm. O nitrito foi determinado pelo método descrito por Aminot & Chaussepied (1983) e Grashoff *et al.* (1983) O nitrato foi analisado por redução quantitativa em coluna de cádmio amalgamado com cobre e, em seguida, determinado como nitrito, cuja absorbância medida a 543nm.

O ortofosfato engloba os íons H_2PO_4^- , PO_4^{3-} e HPO_4^{2-} ; também é chamado de fósforo reativo solúvel ou fosfato. Juntamente com o amônio e o nitrito foi analisado imediatamente na volta ao laboratório. O método de análise do fosfato consiste na formação do complexo fosfomolibdico descrito por Aminot & Chaussepied (1983) e Grashoff *et al.* (1983). A absorbância foi medida a 885nm. O silício reativo ou silicato foi analisado segundo o método descrito por Aminot e Chaussepied (1983) e está baseado na formação do complexo azul silicomolibdico, cuja absorbância foi lida a 810nm.

Todos os métodos foram, previamente, testados para as águas do canal e intersticiais do manguezal. Uma curva padrão foi estabelecida mas, a cada lote de amostra, os padrões diluídos foram passados antes e final das leituras das amostras de tal maneira que a absorbância de qualquer amostra ficasse dentro da curva padrão. Os limites de detecção dos métodos utilizados são mostrados na tabela 3.1.

3.2.3 – Matéria orgânica

a) Espectros uv – visível.

Para este fim, as amostras de águas, tanto do canal de maré como intersticiais foram filtradas em papel de nitrato de celulose de $0,2\mu\text{m}$ de porosidade (Sartorius), previamente lavados com água desionizada. Os espectros foram obtidos com espectrofotômetro uv – vis - Varian 634S com duplo feixe, utilizando água desionizada na célula de referência, fazendo-se uma varredura de 200 a 700nm. A partir desses espectros foram obtidas as razões E2/E3 e E4/E6 e correlacionadas com amostras de concentrações diferentes, isto é, entre a preamar e a baixa-mar; para a água intersticial considerou-se os primeiros 10cm dos testemunhos anteriormente mencionados.

Tabela 3.1 – Limites de detecção dos principais parâmetros estudados

Parâmetro	Limite de detecção	Autor
Amônio	$0,05\mu\text{M}$	Aminot & Chaussepied (1983)
Nitrito	$0,01\mu\text{M}$	“
Nitrato	$0,05\mu\text{M}$	“
Fosfato	$0,02\mu\text{M}$	“
Silicato	$0,1\mu\text{M}$	“
COP	$0,3\mu\text{M}$	“
NOP	$0,2\mu\text{M}$	Grasshoff et al. 1983
POP	$0,5\mu\text{M}$	“
COD	$0,5\mu\text{M}$	“
NOD	0,05	“
POD	$0,1\mu\text{M}$	“
MPS	$0,15\text{mg.L}^{-1}$	Aminot & Chaussepied (1983)
Clorofila “a”	$0,02\text{mg.m}^{-3}$	Aminot & Chaussepied (1983)
Oxigênio dissolvido	$0,1\text{ml.L}^{-1}$	Aminot & Chaussepied (1983)

b) Razões elementar e isotópicas do carbono e nitrogênio.

A razão C/N foi obtida por cálculo baseadas nas concentrações do carbono e do nitrogênio nos sedimentos em suspensão e de fundo bem como no solo do manguezal. Essas determinações

foram realizadas no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP). As equações utilizadas para o cálculo do delta ^{13}C ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) e delta ^{15}N ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) foram as seguintes:

$$\delta^{13}\text{C} = \left[\frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{amostra}} - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{padrão}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{amostra}}} \right] \cdot 1000 \text{ ‰} \quad \left| \quad \left| \quad \text{Equação 3.1} \right. \right.$$

sendo o padrão é a Belemita Pee Dee,

$$\delta^{15}\text{N} = \left[\frac{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{amostra}} - (^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{padrão}}}{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{padrão}}} \right] \cdot 1000 \text{ ‰} \quad \left| \quad \left| \quad \text{Equação 3.2} \right. \right.$$

sendo o padrão é o nitrogênio atmosférico, Mariotti *et al.* (1984).

- - Os espectros UV, o traçador lignina e a fluorescência molecular não foram utilizadas como meios de identificação das fontes da matéria orgânica no canal de maré, como acima discutidos, devido às dificuldades de apoio logístico de laboratório.

c) Substâncias húmicas

As substâncias húmicas dissolvidas foram separadas por uma pré-filtração de dois litros de água coletadas na preamar e baixa-mar. Em seguida, as amostras foram filtradas em microfibras de vidro tipo Whatman com 1,2 μm de diâmetro, acidificada a pH=2 com solução 0,2N de HCl, passadas sobre uma coluna contendo resina XAD-2 ou XAD-8, lavadas com HCL 0,1N e eluídas com hidróxido de sódio 0,2N. Finalmente, as substâncias obtidas foram precipitadas, lavadas com água desionizada, secas e pesadas. Essa metodologia foi baseada no texto de Thurman & Malcolm (1981) com pequenas modificações. As substâncias húmicas assim obtidas foram relacionadas com as concentrações de carbono orgânico dissolvido que será apresentada e discutida no capítulo quatro.

d) Produção primária do fitoplâncton e clorofila “a”

A produção primária foi estimada pelo método do oxigênio dissolvido utilizando frascos escuros e brancos em triplicatas e em três níveis (100, 50 e 1%) de penetração de luz conforme recomendou Teixeira et al. (1988). A clorofila “a” foi determinada pela filtração das amostras em filtro de fibra de vidro tipo Whatman GF/C (~1,2µm de diâmetro) e extração com acetona a 90% durante 24h e utilizando as equações descritas por Aminot & Chassepied (1983).

3.3 – CÁLCULO DE FLUXOS

O método mais utilizado para determinação de fluxos de materiais em manguezais é o método “Euleriano”, no qual a corrente é medida em função do tempo numa estação fixa. Nesse método, os incrementos de fluxos de materiais são calculados pelo produto entre a descarga de água e a concentração do material na estação fixa e somados sobre o ciclo de maré para obter os fluxos líquidos. Esse método foi aplicado em vários trabalhos de pesquisas em ambientes de manguezais (Boto & Bunt, 1981; Twilley, 1985; Boto & Wellington, 1988; Wattayakorn *et al.* 1990; Alongi, 1996; Alongi *et al.* 1998; Ayukai *et al.* 1998), mas tem sido, frequentemente criticado devido à possibilidade de introdução de grandes erros pela inexatidão das medidas de fluxo e de concentração (Kjerfve *et al.* 1981).

Alguns autores (Boto & Wellington 1988; Ayukai *et al.* 1998) têm utilizado outros métodos para o cálculo de fluxos e para testar a confiabilidade do método Euleriano em ecossistemas de manguezais. Um método estatístico (análise de regressão linear) foi utilizado para testar essa confiabilidade em canais de manguezais em Hinchinbrook, Austrália (Boto & Wellington, 1988). Nessa abordagem assume-se que existe uma relação linear entre a concentração e o volume, conseqüentemente um comportamento conservativo dos diferentes parâmetros. Esse método é, portanto, restrito para condições “ideais” e conduz a estimativas grosseiras.

Wattayakorn *et al.* (1990) e Ayukai *et al.* (1998) calcularam o fluxo de material em canais de manguezais pela equação de difusão de maré, derivando o coeficiente longitudinal de difusão turbulenta da equação do balanço salino. Essa abordagem assume a ausência da entrada de água doce e um comportamento conservativo do material de interesse e, portanto, não sendo apropriada para calcular fluxos de nutrientes e de matéria orgânica em muitos ecossistemas de manguezais. A determinação exata do fluxo de água envolve a determinação de uma área da seção transversal do canal, variando como o nível d’água, e a distribuição das velocidades de

correntes dentro desta. Portanto estudos preliminares foram realizados para adaptar as técnicas de medidas do nível d'água e velocidades de correntes para as condições locais do canal de maré – Igarapé Nunca Mais.

Inicialmente, a área da seção transversal do canal foi determinada e correlacionada com os diferentes níveis d'água medidos no meio do canal e nas margens com réguas instaladas para esse fim. Uma relação entre o nível d'água e a área transversal para cada nível é exatamente descrita como uma função quadrática ($r = 0,999$, $n = 12$). Nas campanhas de 24h de amostragem, o nível d'água foi medido a cada 15 minutos com a régua. Após isto, as sub-áreas foram calculadas utilizando essa relação quadrática. Como segundo passo, as velocidades de correntes foram medidas em diferentes perfis verticais e transversais em diferentes níveis d'água e correntes de maré, utilizando dois medidores de fluxo marca General Oceanic modelo 2030.

No caso particular do canal de maré-igarapé Nunca Mais, as condições ambientais tais como entrada e saída de água costeira por uma seção bem definida do canal de maré, oscilação regular do nível d'água com a maré, ausência de fluxo fluvial de montante e um regime de macro-maré favoreceram as determinações dos fluxos com maior exatidão. O método “Euleriano” tornou-se mais apropriado para os cálculos de fluxos de material, levando-se em conta fator de correção para o meio-ciclo de maré.

Uma determinação exata dos perfis de velocidade de corrente, nos canais de maré, necessita de medidas simultâneas das velocidades em vários pontos da seção transversal. E, conseqüentemente, com um custo elevado e laborioso das técnicas de medidas desses perfis e, portanto, fora da finalidade deste trabalho. No canal de maré, objeto deste estudo, as variações do fluxo de água e velocidade de corrente oscilaram em intervalos de tempo de curta duração, em alguns casos, inferior a quinze minutos. Por outro lado, as concentrações de nutrientes e de matéria orgânica apresentaram variações suaves e regulares com as oscilações de maré numa resolução temporal de uma hora; portanto, suficientes para os dados obtidos.

Durante treze meses, de abril de 2000 até abril de 2001 e, em cada mês, nas marés de quadratura e sizígia durante 24h se efetuou as medidas das velocidades de correntes, nível d'água e coleta de material. Isso totalizou em cinquenta e dois ciclos de maré conduzindo a uma alta resolução de dados temporais. Uma interpolação cúbica “spline” foi utilizada para obter dados de concentração a cada 15 minutos e de fluxo a cada 5 minutos. Os incrementos de fluxos de material foram calculados como produto do fluxo de água pela concentração do material e somado sobre

um dia lunar, ou seja dois ciclos de maré de 24h40min para obtenção dos fluxos líquidos. Os cálculos de fluxos líquidos durante o dia lunar foram ajustados para 24h, levando-se em conta a área (1,22km²) do manguezal no igarapé Nunca Mais (Equação 3.3).

$$F = \sum_{i=1}^4 (x_i \sum_{t=t_i}^{t=t_f} C_t Q_t) \times \frac{24h}{24h40'} \times \frac{1}{1,22 \times 10^6 m^2}$$

$$x_i = \frac{\frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 (\sum_{t=t_i}^{t=t_f} S_t Q_t)}{\sum_{t=t_i}^{t=t_f} S_t Q_t}$$

Equação 3.3,

sendo:

F = fluxo líquido de material por metro quadrado e por dia

i = número de meio-ciclo de maré

x_i = fator de correção para meio-ciclo de maré

t_i = início do meio-ciclo de maré i

t_f = fim do meio-ciclo de maré i

C_t = concentração de material no tempo t_x

S_t = salinidade no tempo t_x

Q_t = fluxo de água no tempo t_x (m³/t_{x+1}-t_x)

4 . RESULTADOS E DISCUSSÃO PRELIMINAR

4-1 PARÂMETROS METEOROLÓGICOS E HIDROLOGIA DO CANAL DE MARÉ (IGARAPÉ NUNCA MAIS)

Os dados meteorológicos analisados foram fornecidos pela INFRAERO e CVRD e são mostrados na Figura 4.1. A precipitação atingiu valores máximos (250mm e 2500mm) correspondentes, respectivamente, ao mês de abril e à máxima anual, o mínimo (0mm) de outubro a novembro. Ao contrário, a insolação máxima foi observada em outubro e a mínima em abril.

A temperatura do ar apresentou-se variável, com máximos durante o período seco e mínimos durante o chuvoso e com variações, também, entre o dia e a noite. No canal de maré, tem-se variações de temperatura da água entre o dia e a noite e entre o período chuvoso e seco. A evaporação apresenta comportamento semelhante ao da insolação, os máximos ocorrem entre outubro a dezembro e os mínimos de março a maio. As temperaturas do ar e da água estão diretamente relacionadas, onde valores máximos de ambas ocorrem durante o dia e os mínimos durante a noite.

A precipitação tem influência sobre o estoque de água no manguezal, nas áreas adjacentes (brejo e apicuns) e no canal de maré-igarapé Nunca Mais. Essa precipitação, também, contribuiu para as trocas de material entre o manguezal e o canal de maré e, conseqüentemente, deste último para a região costeira. As águas das chuvas, durante o período de janeiro a junho, aumentaram o estoque de água do “reservatório das águas intersticiais” e do canal de maré. Naturalmente, parte dessas águas escoam para o canal de maré e em seguida para a região costeira, transportando particulados e solutos.

A evaporação é mais intensa durante o período seco do que no chuvoso embora, com pouca influência no aumento da salinidade nesta época do ano. As águas costeiras apresentaram, nesse período, valores de 35 a 36‰ enquanto que, no canal de maré, os valores máximos observados foram de 37 a 38‰ de salinidade. Essa evaporação mais intensa, no período seco, está diretamente relacionado com a insolação. Nesse período, portanto, diminuiu o estoque de água no manguezal e canal de maré bem como o fluxo de água doce para o manguezal das áreas adjacentes, água subterrânea e, conseqüentemente, as trocas de materiais. A insolação, além do efeito sobre a evaporação, contribuiu para o aumento da produção primária do manguezal e do

fitoplâncton no canal de maré. A direção e a velocidade do vento influenciam na dinâmica costeira seja pelo transporte de areia, seja pela turbulência das águas.

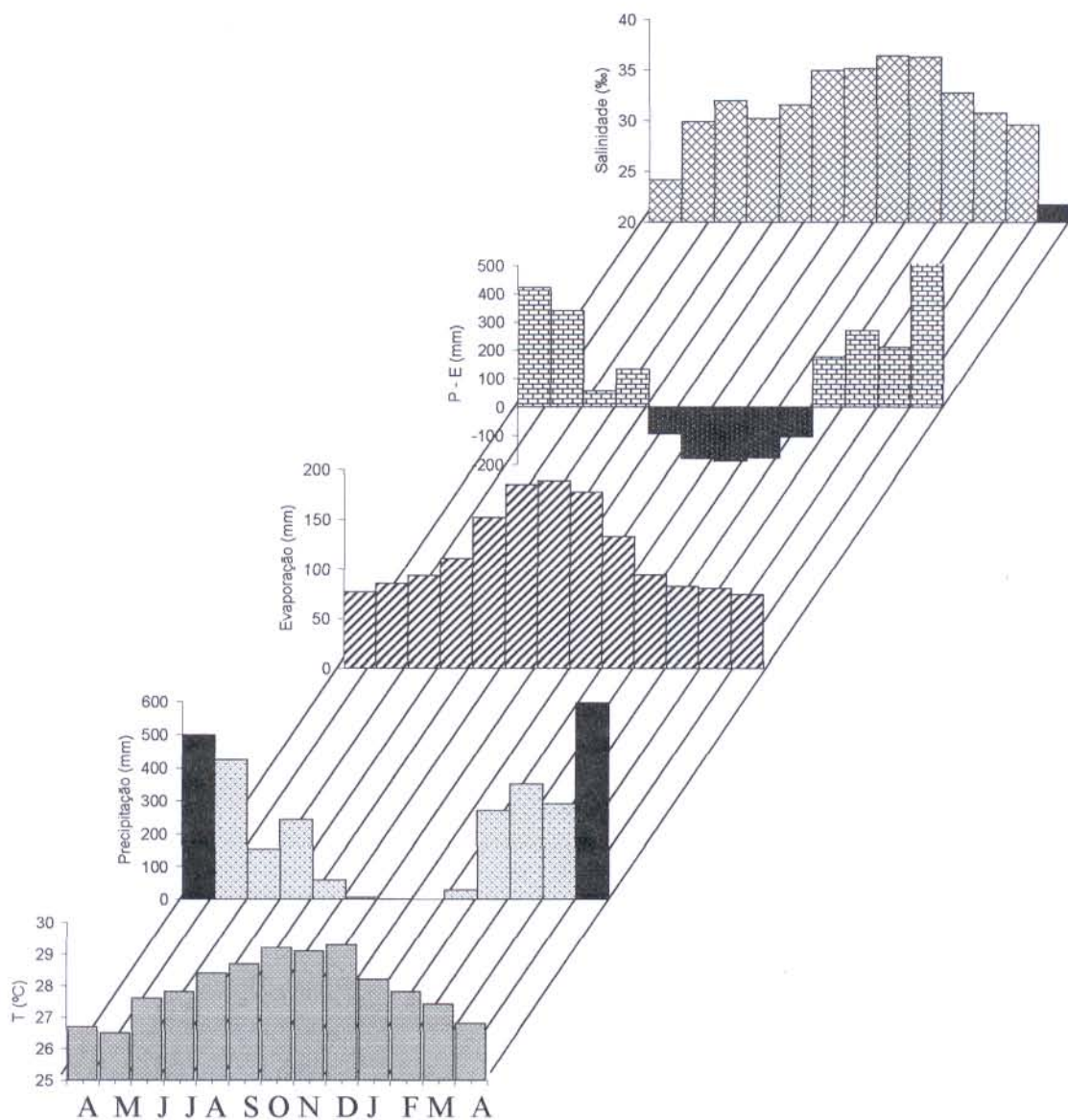


Figura 4.1 –Dados meteorológicos da ilha de São Luís(MA) durante o período de abril/2000 a abril/2001. Fonte: INFRAERO e CVRD.

Assim, o vento influencia nas variações nictemerais e sazonais dos gases dissolvidos, no caso aqui estudado o oxigênio. Nos meses de julho a dezembro, os valores de velocidade do

vento coincidiram com valores mais elevados de oxigênio dissolvido. No período chuvoso, de janeiro a junho, a velocidade dos ventos diminuiu e valores de OD foram menores comparados com aqueles do período seco.

Na Figura 4.1, parte superior, observa-se os gráficos da precipitação-evaporação e a variação anual da salinidade (média de 24h). O déficit de água corresponde aos valores máximos de salinidade durante o período seco. Apesar disto, a evaporação pouco influenciou na variação nictemeral da salinidade. Também a maior precipitação em abril de 2001 correspondeu a um aumento do material particulado em suspensão e do carbono orgânico particulado (ver discussão mais adiante no sub-item 4.2).

A hidrologia do igarapé Nunca Mais é influenciada por variáveis importantes, tais como morfologia do próprio canal de maré, precipitação pluviométrica, a amplitude de maré, velocidade da corrente e o volume de água. A amplitude de maré variou, em média, entre 4 e 5m, respectivamente, entre as marés de quadratura e sizígia. Essa amplitude de maré caracteriza a região deste estudo como de macro-maré.

Durante a realização deste trabalho, tomou-se como referência as oscilações médias anuais de marés, registradas pela DHN para o porto de São Luís, no período de 2000 e 2001 como pode ser visto na figura 4.2. As coletas nas marés de quadratura, com as menores amplitudes, foram realizadas durante o quarto minguante da lua e nas marés de sizígia, com maiores amplitude, na lua nova. (Figura 4.2). Observou-se que as marés são assimétricas e somente duas vezes por mês, nas sizíguas, o manguezal é completamente inundado. Na região costeira do estado do Maranhão, a preamar nas marés de quadratura ocorre por volta do meio dia e naquelas de sizígia às 8h da manhã.

A morfologia do canal de maré se apresentou com meandros na direção Sul→Norte, com profundidades variáveis da foz até o final, 74a montante. Na parte média do canal, as profundidades foram maiores do que na foz, formando uma espécie de reservatório ou uma bacia de acumulação de água. Na baixa-mar, essas profundidades, na parte intermediária do canal, variam de 1,5 a 2,5m, sendo maiores do que aquelas registradas na foz às proximidades do ponto de amostragem (0,8 a 1,25m). Tais fatos associados ao fluxo do reservatório das águas intersticiais fazem com que o período da vazante, independente das marés de quadratura ou de sizígia, durasse em média 8h; enquanto que o da enchente, 4h20m. Na foz, do canal de maré, existe um banco de areia submerso que se descobre na baixa-mar e funciona como uma barreira

ao escoamento superficial. Nesse local, o leito do canal fica entre a duna e o manguezal e com profundidade inferior à parte intermediária como anteriormente citado.

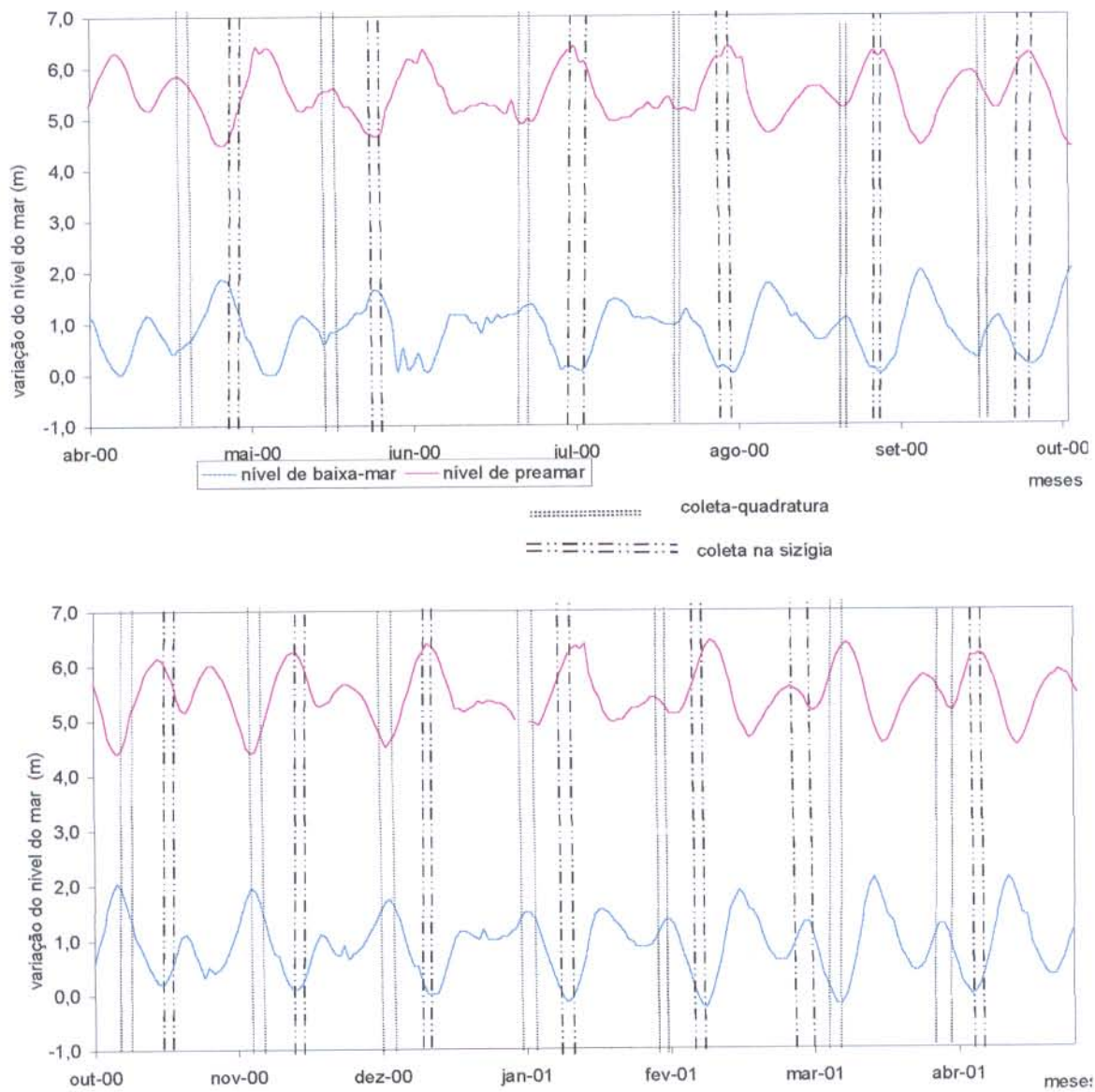


Figura 4.2 – Nível médio do mar no porto de São Luís(MA), à baixa-mar e à preamar no período de abril de 2000 a abril/2001. As linhas tracejadas correspondem aos dias de coleta no igarapé Nunca Mais. Dados fornecidos pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, 2000/2001).

As velocidades das correntes se apresentam como um parâmetro altamente dinâmico e com oscilações temporais em escala de alguns minutos (~15 minutos). As marés de quadratura apresentam velocidades variando de 0 a $0,8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ e as de sizígias de 0 a $1,35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Em ambos os casos, durante a maré enchente ou vazante, os picos de máximos ou de mínimos ocorrem entre os primeiros 50 e 60 minutos. Em função disto, as descargas acompanham as variações das velocidades das correntes. Também se observa que as velocidades das correntes, na vazante, são ligeiramente superiores àquelas da maré enchente seja na quadratura ou na sizígia (Figura 4.3).

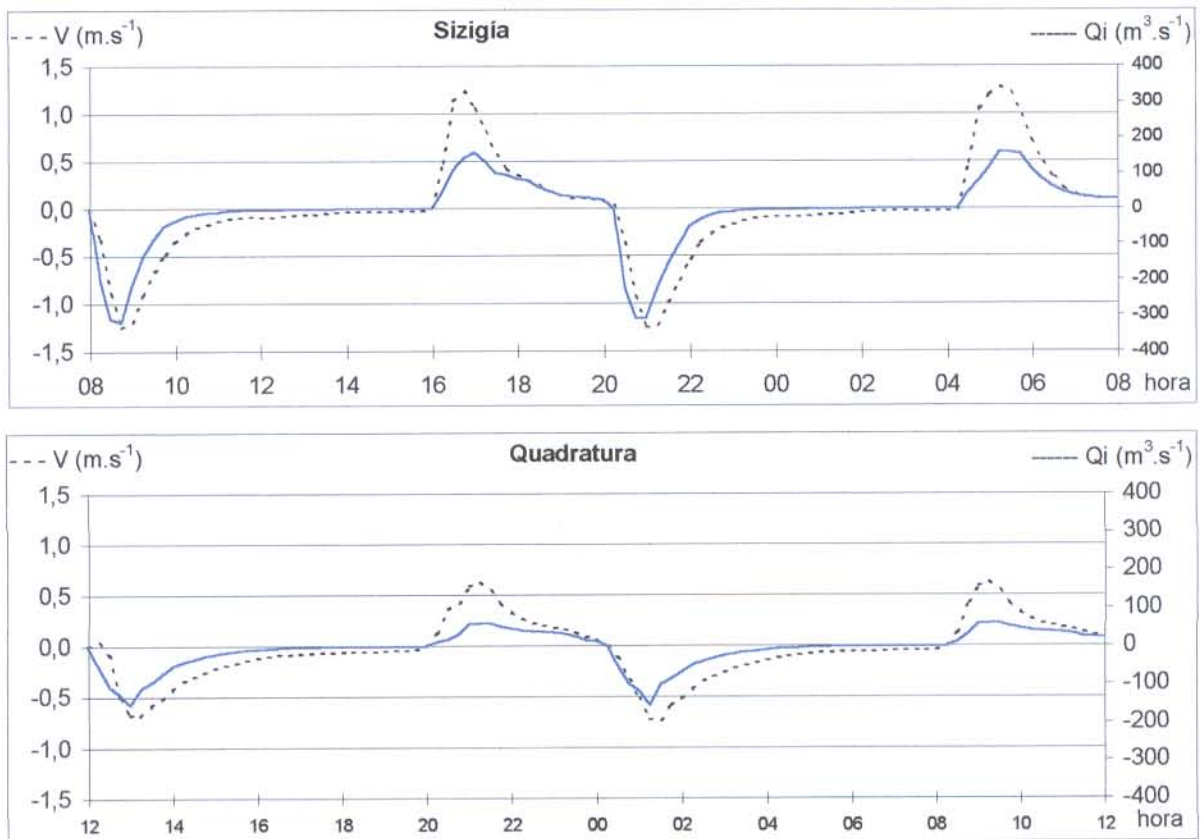


Figura 4.3 – Séries temporais de 24h (abril/2000) das velocidades de correntes (linha tracejada) e descargas de água (linha contínua) na quadratura e sizígia obtidas no canal de maré –igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís (MA). Valores positivos na maré enchente e negativos na vazante.

As descargas, tanto na maré de quadratura quanto na sizígia, são superiores na vazante com relação à maré enchente. Observa-se que há um distanciamento entre velocidade e descarga nos valores máximos desses parâmetros durante a maré na quadratura e de sizígia. Isso mostra que, no mês de abril, as velocidades das correntes são iguais entre as marés enchente e vazante mas as descargas são maiores na vazante devido o aporte maior do manguezal.

A água estocada no canal de maré é resultante da convergência dos fluxos de água intersticial e subterrânea local do sedimento do manguezal, água estocada no brejo que fica a montante do manguezal e entrada de água costeira durante a maré enchente. Durante o período chuvoso grande quantidade de água se acumula nos baixios e apicuns existentes nas áreas dos manguezais. O fluxo de água do manguezal para o canal de maré é maior no período chuvoso com relação ao período seco como acima discutido. A variação do nível mínimo de água no canal de maré na da baixa-mar, foi de 0,8m no período seco, entre outubro e dezembro, e de 1,25m no período chuvoso, entre março e abril, independente da maré de quadratura ou sizígia

Durante a maré de sizígia o mangue é completamente inundado e parte da água é retida nos partes interiores mais baixas e nos buracos de caranguejos e micro-poros existentes no sedimento do manguezal. Nas marés subseqüentes essa água fluiu de volta, através do sub-solo e de pequenos canais secundários, para o igarapé Nunca Mais.

A quantidade de água costeira que entrou durante a maré enchente e aquela que saiu durante a vazante foram calculadas para as marés de quadratura e sizígia no período de estudo. Observa-se que o volume de água (m^3) que entra durante a enchente, é sempre inferior àquele que sai durante a vazante independente da maré ser quadratura ou de sizígia. Observa-se, também, que tanto na quadratura quanto na sizígia, ocorre uma variação sazonal entre o período chuvoso e seco. Isso mostra a influência do estoque de água intersticial, a contribuição subterrânea local e das precipitações pluviométricas com anteriormente discutido. Neste caso, o manguezal funcionou como um exportador de água para o sistema costeiro. Hemminga et al. (1994), em seu trabalho sobre a exportação de carbono do manguezal para recifes de corais e fundos de gramíneas marinhas (canal / baía Gazi, Quênia), encontraram um volume de água saindo, durante a vazante, de 2 a 3 vezes maior do aquele que entrou durante a enchente, do canal de maré Kinondo. Esses autores concluíram que o sistema de manguezal, também, funcionou como um exportador de água uma vez que não existe fluxo fluvial de montante.

O canal de maré é margeado pelo manguezal desde a foz até a parte montante com alta densidade de árvores com altura de até 20m. Essa densidade faz com que seja difícil o deslocamento nas suas margens. Isso também dificulta o transporte de material particulado do manguezal para o canal de maré. A erosão das margens ocorre, principalmente, na foz do canal por ação das correntes de maré e as ondas. A ressuspensão e o transporte dos sedimentos de

fundo é bastante intensa durante as primeiras horas da maré enchente ou da vazante. No final da enchente ou vazante ocorre a sedimentação, tornando a água mais transparente.

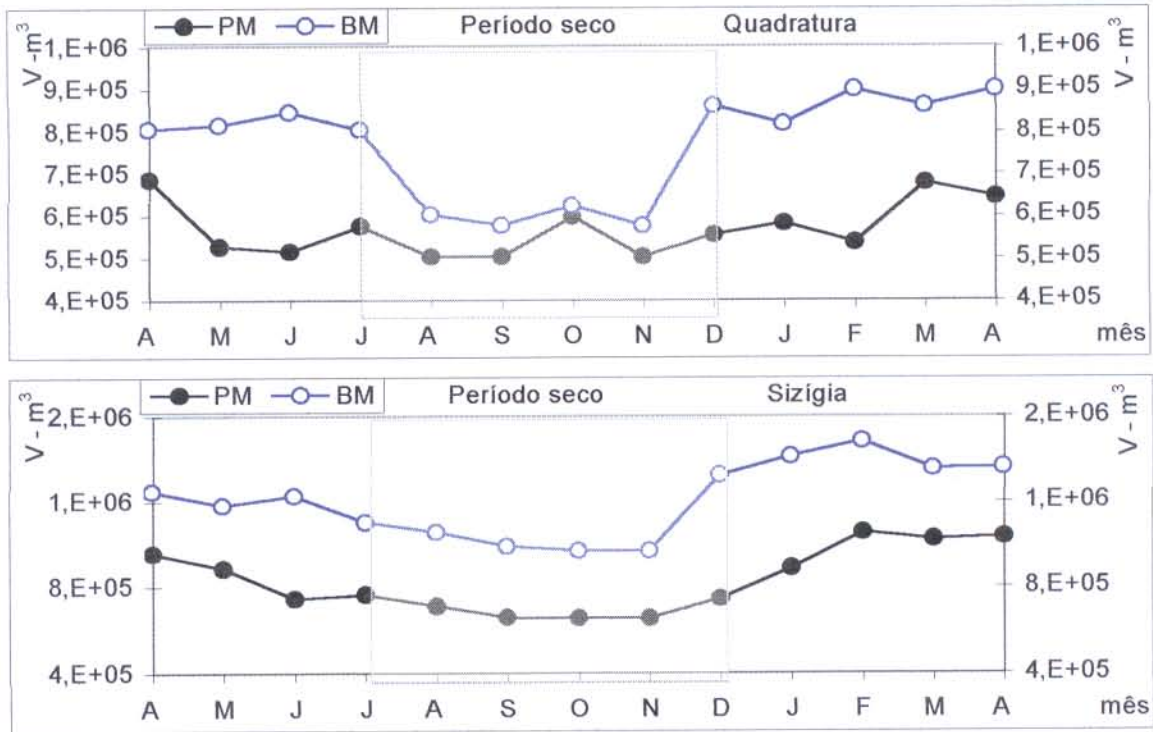


Figura 4.4 – Fluxo mensal (m³) de água durante a maré enchente e durante a vazante no período de abril/2000 a abril/2001, no canal de maré-igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA).

O transporte eólico de areia para o manguezal e sua deposição foi observado nas proximidades da foz do igarapé Nunca Mais e nas suas vizinhanças. Observa-se bancos de areia submersos na foz do canal de maré; somente que, neste caso, o material transportado pelas correntes. Esse transporte e deposição de areia nos manguezais têm ocasionado a morte de pequenas áreas desse manguezal nas proximidades do igarapé Nunca Mais. Também têm afetado a profundidade e o deslocamento de pequenos canais de maré nessa região.

4.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, NUTRIENTES INORGÂNICOS DISSOLVIDOS E MATÉRIA ORGÂNICA

4.2.1- Variações nictemerais ou séries temporais de 24h.

As séries temporais de 24h foram obtidas durante vinte e seis ciclos de maré de quadratura e vinte seis ciclos de maré de sizígia no período de abril/2000 a abril/2001. Nesse período de amostragem, as campanhas de abril a junho/2000 e de janeiro a abril/2001 foram consideradas como do período chuvoso e àquelas de julho a dezembro/2000 como do período seco ou de estiagem. A seguir serão apresentados os resultados obtidos nas campanhas de abril/2000 (4.5 e 4.6) e de outubro/2000 (Figuras 4.7 e 4.8) como representativa dos períodos chuvoso e seco e os resultados dos outros meses são mostrados nos anexos (A1 a A.22).

a) Série temporal 24h - período chuvoso (abril/2000)

Os resultados do mês de abril/2000, para quadratura e sizígia são mostrados nas figuras 4.5 e 4.6. Durante essas duas campanhas, a salinidade apresentou os valores variando de 20 a 29‰, mas no mês de abril de 2001, choveu no dia da coleta e na véspera fazendo com que esse valor mínimo caísse para 13,5‰ (ver anexo A.1). A partir de maio os valores de salinidade aumentaram e essa faixa de variação vai se estreitando até atingir valores máximo em novembro (figura 4.10). Em todas as campanhas, independente da maré de quadratura ou de sizígia, a salinidade mostrou uma boa correlação com o nível d'água. Os valores aumentaram com a maré enchente atingindo o máximo na preamar e diminuíram durante a vazante atingindo o mínimo na baixa-mar.

O pH mostrou um comportamento semelhante ao da salinidade, com valores menores na vazante e maiores durante a enchente. A faixa de variação, em abril de 2000 na quadratura ou na sizígia, ficou em torno 7,6 a 8,1. Nesse mês, a contribuição das chuvas e das águas subterrâneas da área, foi os fatores responsáveis pela diminuição do pH e da salinidade. As águas costeiras, do golfo do Maranhão que fluem em abril para o igarapé Nunca Mais, apresentam valores de salinidade na faixa de 28 a 32‰ e de pH entre 7,8 a 8,12.

O oxigênio dissolvido apresentou valores inferiores na quadratura com relação à sizígia, entre o dia e noite e entre as marés enchente e vazante. Na quadratura e durante a enchente os valores de OD ficaram ligeiramente acima da saturação, aproximadamente 220µM enquanto que durante a maré vazante abaixo desse valor. Na maré de sizígia as diferenças entre vazante e enchente, dia e noite foram menores e os valores determinados ficaram próximos do valor de saturação.

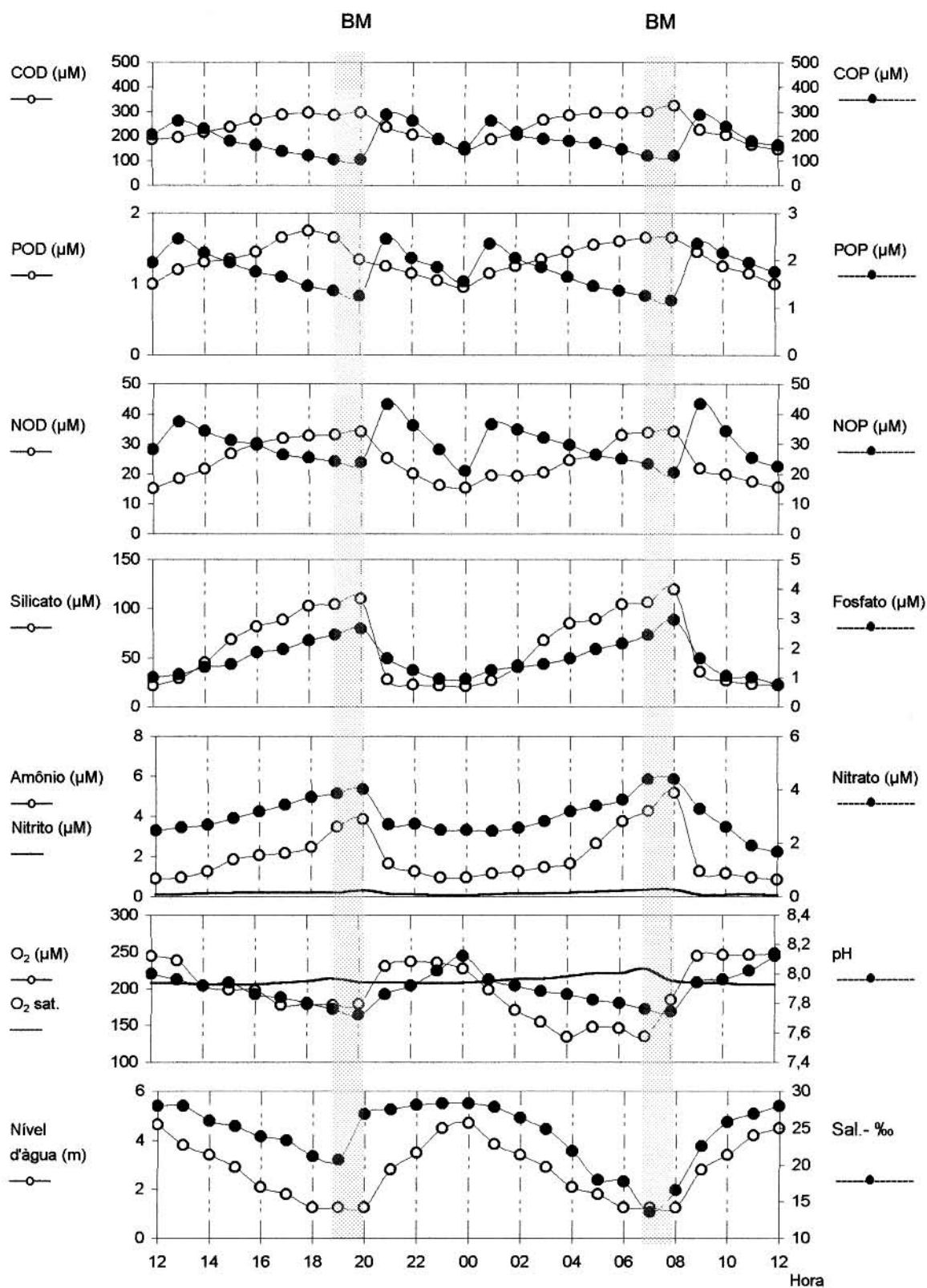


Figura 4.5 - Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a quadratura, dias 11-12/04/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)

Na sizígia devido a maior turbulência das águas do igarapé se tem uma maior dissolução do oxigênio atmosférico por um lado e, por outro, uma menor contribuição do oxigênio proveniente da produção primária. O contrário é verdadeiro na maré de quadratura, apesar da produção do fitoplâncton, o consumo também é elevado fazendo o balanço ser favorável para maré de sizígia.

Os nutrientes inorgânicos dissolvidos, apresentaram valores crescentes durante a maré vazante atingindo o máximo na baixa-mar e, em seguida, decresceram com a maré enchente atingindo o mínimo na preamar. Os valores de amônio variaram de 0 a $4\mu\text{M}$ e o nitrato 2 a $10\mu\text{M}$. Esses dois íons apresentaram comportamento semelhante entre si e uma marcante diferença entre o dia e noite na maré de quadratura. O nitrito por sua vez variou pouco e ficou abaixo de $1\mu\text{M}$ embora possa se observar, também, uma ligeira diferença entre o dia e a noite. Desses três íons a soma do amônio e nitrato representou mais de 95% do nitrogênio inorgânico dissolvido (NID). Na maré de sizígia os valores de amônio e nitrato foram superiores aos da quadratura ficando na faixa de 1 a $4,5\mu\text{M}$ e de 0 a $12\mu\text{M}$, respectivamente. O nitrito mostrou variação semelhante entre a quadratura e a sizígia com valores, também, inferiores a $1\mu\text{M}$.

O fosfato e silicato solúveis variaram respectivamente de 0 a $3\mu\text{M}$ e de 18 a $140\mu\text{M}$. Ambos apresentaram comportamento semelhante entre si e, do mesmo modo aos íons nitrogenados, as concentrações máximas foram observadas no final da maré vazante. Observa-se uma queda brusca de concentração para o silicato na primeira hora da maré enchente com uma diferença de concentração em torno de $100\mu\text{M}$, enquanto que isto não se observa na primeira hora da vazante, isto é, os valores vão aumentando de forma gradativa até atingir o máximo na baixa-mar. As diferenças entre as marés de quadratura e de sizígia para essas duas espécies químicas foram mínimas. O valor máximo para o fosfato na quadratura foi de $3\mu\text{M}$ e na sizígia de $2\mu\text{M}$. Neste caso, se considera, para o fosfato, o efeito da diluição na maré de sizígia, mas para o silicato isto não ocorreu uma vez que aumentou de $120\mu\text{M}$ na quadratura para $140\mu\text{M}$ na sizígia.

A matéria orgânica dissolvida (COD, NOD, POD) apresentou comportamento semelhante aos nutrientes inorgânicos dissolvidos com valores máximos na baixa-mar e mínimos na preamar. A variação, na quadratura (abril/2000), para o COD, NOD e POD foram respectivamente de 150 a $320\mu\text{M}$, de 15 a $35\mu\text{M}$ e de 1 a $1,5\mu\text{M}$. Na maré de sizígia (abril/2000) os valores foram praticamente idênticos, para o particulado e dissolvido da quadratura, exceto que o NOD e POD mostraram picos de baixas concentrações na preamar (Figura 4.6). Isso mostrou que a água costeira tem menor concentração de NOD e POD com relação às águas do

canal de maré. Além disso, se observou que as diferenças entre enchente e vazante foram menores na maré de quadratura.

Tabela 4.1 - Diferenças existentes as marés enchente e vazante da quadratura e sizígia do mês de abril de 2000. Média de duas enchentes e duas vazantes.

Parâmetro	Quadratura		Sizígia	
	Vazante	Enchente	Vazante	Enchente
Salinidade ‰	22,92	26,95	24,48	27,46
PH	7,86	8,00	7,97	8,06
OD- μM	180,31	239,02	196,88	226,37
Amônio- μM	2,37	1,13	1,78	0,81
Nitrito- μM	0,22	0,11	0,11	0,01
Nitrato- μM	3,94	2,48	3,98	2,22
Fosfato- μM	1,84	1,16	1,34	0,93
Silicato- μM	71,95	22,36	69,66	21,89
COD- μM	260,57	189,25	254,82	158,75
NOD- μM	26,79	18,93	20,29	13,23
POD- μM	1,43	1,16	1,31	1,04
COP- μM	170,34	218,75	239,41	294,38
NOP- μM	28,79	31,78	28,60	31,73
POP- μM	1,71	2,01	1,31	1,34
MPS (mg.L^{-1})	137,35	198,13	220,29	259,38

A matéria orgânica particulada (COP, NOP, POP) apresentou comportamento relacionado com a hidrodinâmica do sistema, isto é, valores máximos e mínimos de concentração correspondendo àqueles máximos e mínimos das velocidades das correntes. A variação de concentração desses particulados foi de 200 a 400 μM , de 25 a 50 μM e de 1 a 2,5 μM para o COP, NOP e POP, respectivamente. A ressuspensão do sedimento de fundo e o transporte pelas correntes ocorrem tanto na maré vazante quanto na enchente. Esse material é proveniente do manguezal, áreas costeiras próximas e do fundo do canal de maré-igarapé Nunca Mais.

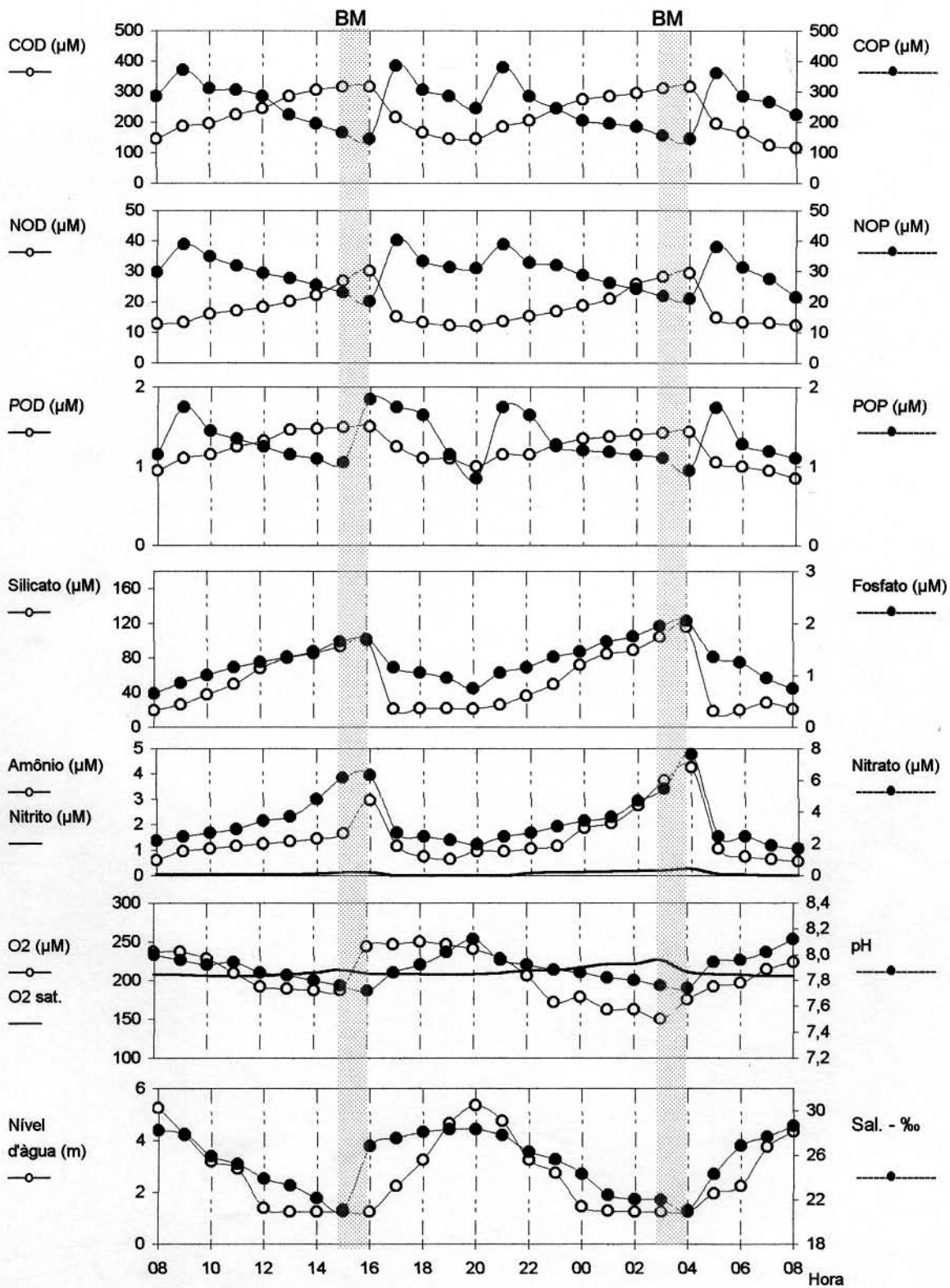


Figura 4.6 - Série temporal de 24h dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a sizígia dos dias 18-19/04/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís (MA)

b) Série temporal 24h - período seco (outubro/2000)

Neste caso, os resultados dos parâmetros mencionados anteriormente estão presentes nas figuras 4.7 e 4.8, sendo que os demais do período seco estão nos anexos. Existem diferenças significativas nos parâmetros estudados entre os meses de abril e outubro correspondendo, respectivamente, aos meses de maior precipitação e menor precipitação pluviométrica. A salinidade, o pH e o oxigênio dissolvidos apresentaram valores máximos do ano enquanto que, em abril, foram registrados os valores mínimos. Os valores de 34 a 36‰, 7,8 a 8,32 e de 150 a 240 μ M foram, respectivamente, as amplitudes de variação para salinidade, pH e o oxigênio dissolvido. Além da menor amplitude de variação comparada com o mês de abril os valores elevados desses parâmetros estão relacionados com aumento da salinidade das águas costeiras. Nesse período, a precipitação foi mínima ou ausente e a maior turbulência do sistema foi causada pelo aumento da velocidade dos ventos.

Os nutrientes inorgânicos dissolvidos apresentaram pequenas diferenças entre os meses de abril e outubro, isto é, os valores mais elevados foram observados no mês de abril. Em outubro, os íons nitrogenados, amônio e nitrato, tiveram valores menores do que em abril e com ausência de nitrito. Essa ausência de nitrito pode ser explicada pela atividade biológica de consumo ou a nitrificação do sistema, uma vez que existe uma maior concentração de oxigênio nesse período comparando-o com o período chuvoso. Nesse mês, houve uma ligeira diminuição do fosfato e um aumento na concentração de silicato, embora ambos mantenham o mesmo comportamento do mês de abril. Os valores de silicato se mostraram crescentes no período seco, contrariando a tendência de decréscimo dos outros íons inorgânicos do nitrogênio e do fósforo. Teoricamente, os valores de silicato deveriam ser menores em outubro do que em abril devido ao maior consumo pelo fitoplâncton como foi observado para os demais nutrientes. Isto se deve, além dos processos biológicos, à interação do silicato dissolvido com partículas em suspensão.

A matéria orgânica particulada (COP, NOP e POP) e a matéria orgânica dissolvida (COD, NOD e POD), em geral apresentou valores menores em outubro do que no mês de abril, indicando uma diminuição da contribuição do manguezal. Os valores de 150 a 250 μ M, de 20 a 35 μ M, e de 1 a 5 μ M foram as variações para COP, NOP E POP, enquanto que COD, NOD e POD apresentaram 150 a 250 μ M, 25 a 40 μ M e 0.5 a 1.5 μ M, respectivamente. Da mesma forma

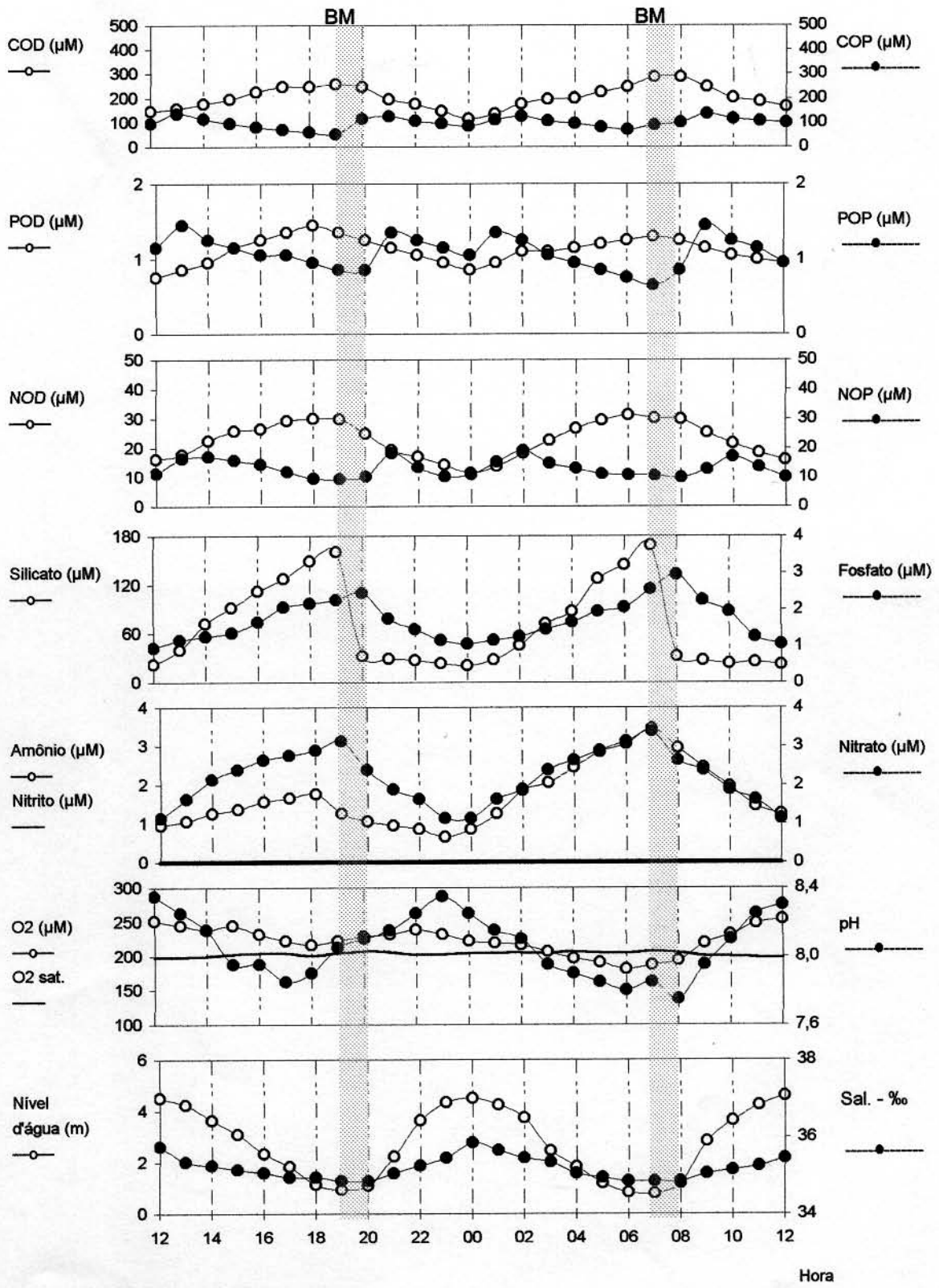


Figura 4.7 - Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a quadratura, dias 20-21/10/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís (MA)

que no mês de abril, a matéria orgânica particulada apresentou-se diretamente relacionada com a concentração de material particulado em suspensão; este, por sua vez, também está relacionado com a velocidade da corrente, tanto na quadratura, quanto na sizígia. A matéria orgânica dissolvida, também, apresentou o mesmo comportamento do mês de abril, isto é, com valores maiores à baixa-mar e menores na preamar.

Tabela 4.2 Diferenças existentes as marés enchente e vazante da quadratura e sizígia do mês de outubro de 2000. Média de duas enchentes e duas vazantes.

Maré	Quadratura		Sizígia	
	Vazante	Enchente	Vazante	Enchente
Salinidade ‰	35,13	35,31	35,81	36,03
pH	7,99	8,20	8,14	8,28
OD- μM	217,13	234,80	219,95	232,80
Amônio- μM	1,87	1,30	2,12	1,71
Nitrito- μM	0,00	0,00	0,03	0,00
Nitrato- μM	2,44	1,60	0,59	0,85
Fosfato- μM	1,78	1,49	1,72	0,91
Silicato- μM	89,08	24,64	48,84	18,31
COD- μM	213,99	178,65	159,58	141,73
NOD- μM	24,98	17,91	13,02	10,19
POD- μM	1,16	1,02	0,60	0,33
COP- μM	93,53	108,13	117,71	117,50
NOP- μM	12,91	13,20	9,51	10,71
POP- μM	1,03	1,20	0,63	0,70
MPS(mg.L^{-1})	45,29	50,00	73,24	76,25

Um ligeira estratificação dos parâmetros físico-químicos oxigênio dissolvido e salinidade, para o mês de abril/2000, período de máxima precipitação pluviométrica, foi observada na preamar da maré de quadratura (Figura 4.9). Isso indicou que, apesar de valores superiores a 100mm de precipitação e de um maior estoque de água doce no manguezal, devido à dinâmica de água subterrânea local, a salinidade não foi suficiente para ocasionar uma estratificação mais acentuada.

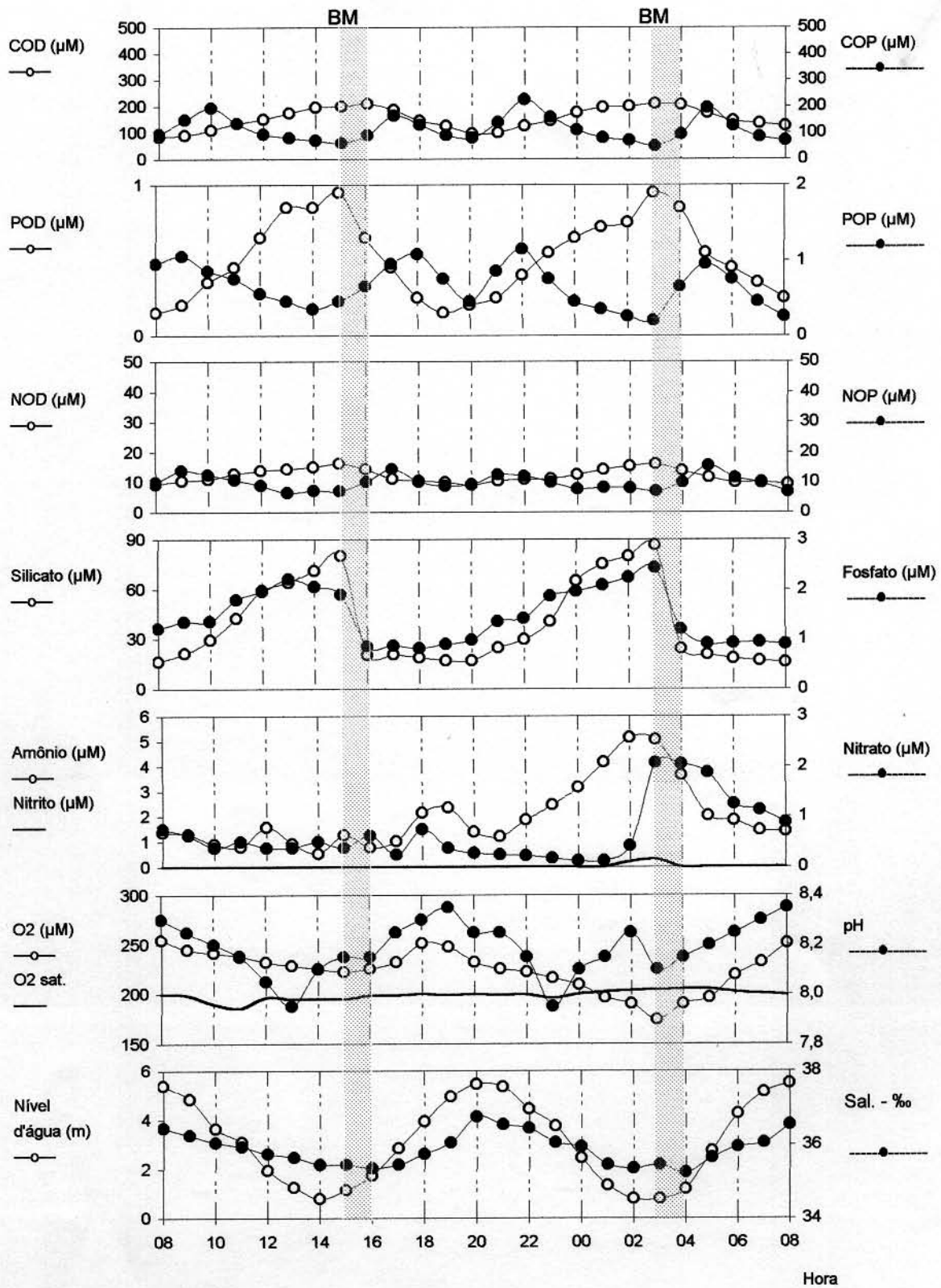


Figura 4.8 - Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a sizígia, dias 27-28/10/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)

No mês de outubro/2000, nessa área fisiográfica, não houve precipitação pluviométrica e os mesmos parâmetros foram plotados com a profundidade do canal, também na preamar, para se observar uma ligeira tendência de estratificação ocorrida no mês de abril. Pode-se considerar que

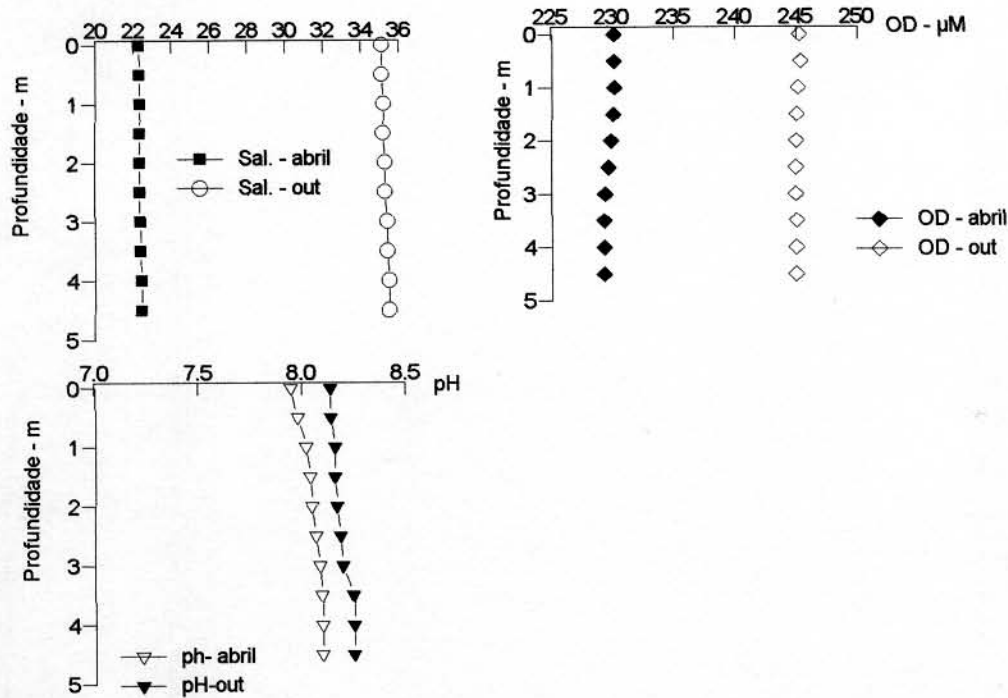


Figura 4.9 Estratificação vertical dos parâmetros físico-químicos em abril e outubro/2000, canal de maré-igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís-MA.

os valores dos parâmetros físico-químicos foram iguais entre a superfície e o fundo. Além da ausência de precipitação em outubro, a hidrodinâmica do sistema é intensificada pela ação dos ventos e ondas e, conseqüentemente, os processos de mistura aumentaram, consideravelmente, nesse mês.

Constata-se que as variações sazonal e anual das principais características físico-químicas (pH, OD e salinidade) da água do canal de maré se mostram, diretamente relacionadas com os fatores meteorológicos da região. Além disso, as características hidrodinâmicas dessa área, assim como as elevadas amplitudes das marés e as velocidades das correntes constituíram os principais fatores que influenciaram nas características físico-químicas das águas do canal de maré. A

salinidade acompanhou a variação do nível d'água durante todas as campanhas de amostragem. Pode-se considerar que não houve estratificação significativa tanto em abril/2000 quanto em outubro/2000.

4.2.2 - Variações mensal e sazonal ou séries temporais de 13 meses

A finalidade foi observar as variações e tendências de cada parâmetro, durante o período de estudo, calculou-se as médias de 24h, dia (7 às 18h) e noite (19 às 6h), sendo $n=24$, $n=12$ e $n=12$, respectivamente. A seguir mostra-se essa tendência em separado para os parâmetros físico-químicos, íons nitrogenados, fosfato e silicato, matéria orgânica particulada e dissolvida.

(a) Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos estudados além da variação nictemeral apresentaram uma variação, entre os diferentes meses e o período do ano, que é mostrada na figura 4.10. Observou-se valores mais elevados desses parâmetros no período de estiagem que vai de julho a dezembro e menores no período chuvoso que vai de janeiro a junho. O oxigênio apresentou valores próximos e superiores a saturação ($> 200\mu\text{M}$) no período de estiagem ou seco, enquanto que, no período chuvoso, os valores variaram de 150 a $2006\mu\text{M}$. A salinidade apresentou também valores máximos (média de 24h) de 35‰ nos meses de outubro a dezembro e mínimos em abril, cerca de 20‰. O pH apresentou valores médios de 24h variando de 7,6 a 8,26, no período estudado e, da mesma maneira que a salinidade e o oxigênio dissolvido, valores máximos nos meses de outubro a dezembro.

Observou-se que esses três parâmetros, quando se considera a média de 24h, apresentaram uma variação similar no período estudado, isto é, os máximos observados estão nos meses de outubro a dezembro para pH e oxigênio dissolvido e novembro e dezembro para salinidade. No final de dezembro para o início de janeiro com início da chuva, os valores desses parâmetros começam a diminuir até atingir valores mínimos entre março e abril. Neste caso, a precipitação pluviométrica influenciou as variações de salinidade e pH enquanto que, a velocidade do vento, as variações de oxigênio dissolvido. A partir de abril, com diminuição das chuvas, o pH e a salinidade começam a aumentar até atingir novamente o máximo entre outubro a dezembro formando uma espécie de ciclo anual.

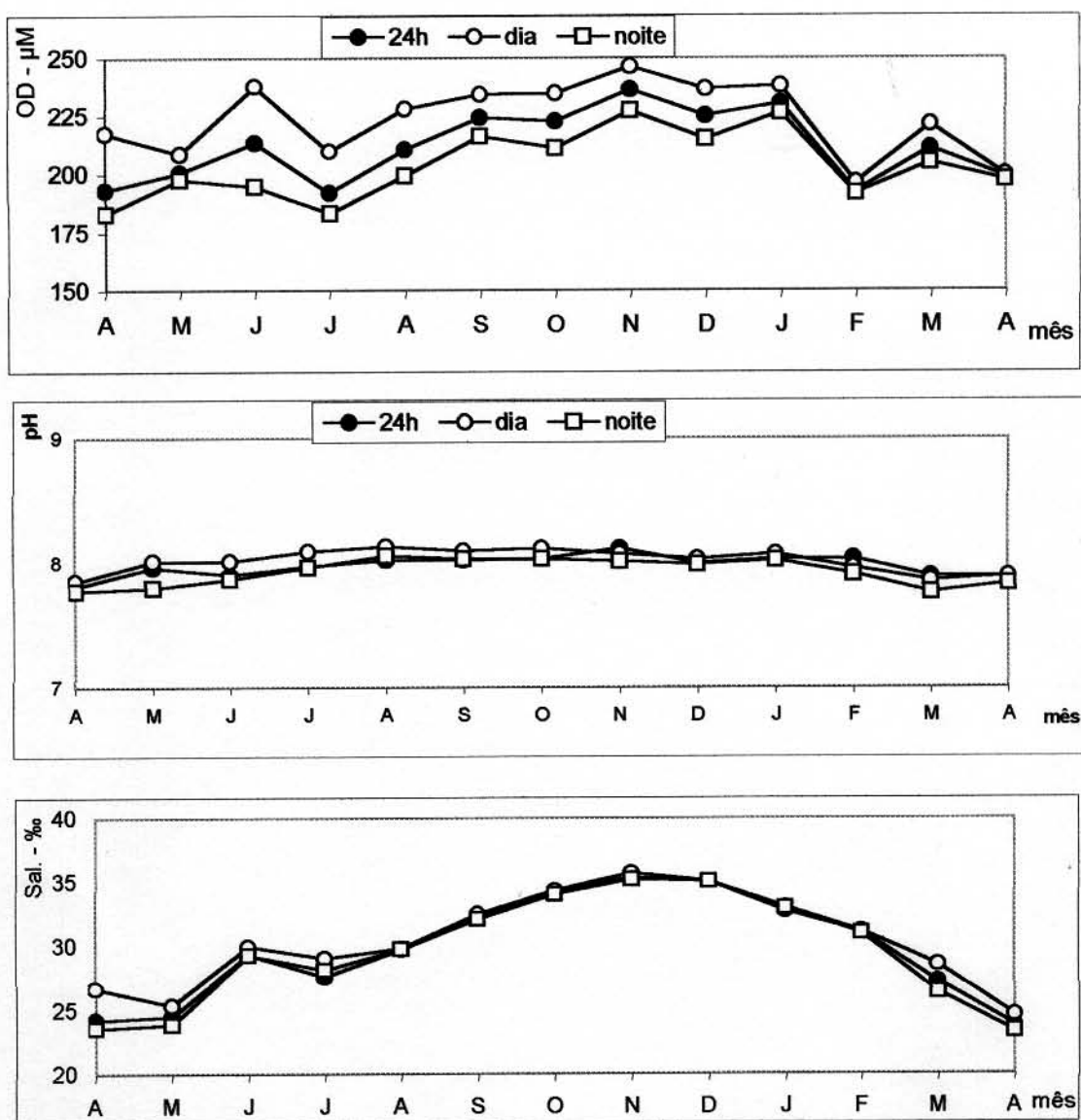


Figura 4.10 - Séries mensais dos parâmetros físico-químicos (pH, OD e S‰) e tendência geral durante o período de abril/2000 a abril/2001. Valores médios para o dia, noite e 24h. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA).

(b) íons nitrogenados

Os íons nitrogenados, amônio, nitrito e nitrato têm suas variações mostradas na Figura 4.11 Observou-se que o amônio apresentou valores mais elevados nos meses do período chuvoso, isto é, de abril a junho, decrescendo em seguida e permanecendo praticamente constante entre novembro e dezembro. A partir de janeiro aumentou gradativamente até abril. O valor médio máximo de 24h observado para o amônio, em junho, ficou em torno de $3\mu\text{M}$ e o mínimo em

torno de $1,2\mu\text{M}$ nos meses de novembro e dezembro. Valores próximos de $2\mu\text{M}$ foram obtidos para os meses de julho a agosto e de fevereiro a março. Os valores mínimos em novembro e dezembro estão associados provavelmente ao consumo pelo fitoplâncton e/ou relacionados à nitrificação.

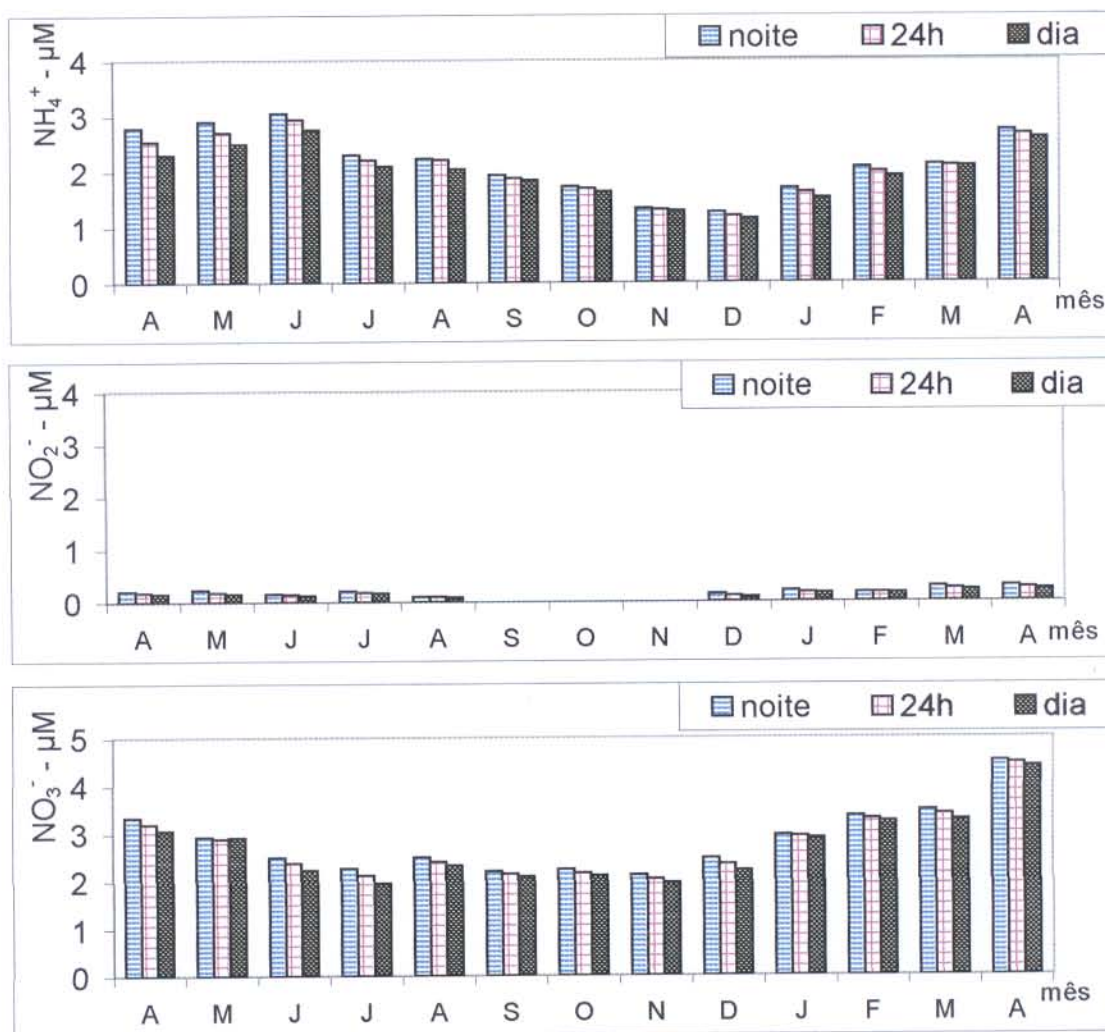


Figura 4.11 - Séries mensais dos íons nitrogenados (NH_4 , NO_2 e NO_3) e tendência geral durante o período de abril/2000 a abril/2001. Valores médios para o dia, noite e 24h. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA).

O nitrito apresentou valores nulos ou abaixo do limite de detecção do método nos meses de setembro, outubro e novembro e, abaixo de $1\mu\text{M}$, nos demais meses. Nesse caso, pode-se observar que a ausência de nitrito coincidiu com os valores máximos de oxigênio dissolvido. Isto pode ter sido originado pela oxidação desse íon para nitrato pelas bactérias nitrificantes. No

período de janeiro a junho os valores são praticamente iguais e corresponderam aos valores mínimos de oxigênio dissolvido.

O nitrato apresentou uma diminuição de abril a junho de 2000, com uma variação de 3,1 a 2,1 μ M e foi, praticamente, constante até o mês de dezembro, com valores superiores a 6 μ M no mês de março, próximos de 4 μ M nos meses janeiro, fevereiro e abril, em torno de 2 μ M nos meses de abril a setembro e o mínimo de 1 μ M em outubro.

(c) fosfato e silicato

O fosfato e o silicato apresentaram variações mensais ligeiramente diferentes dos íons nitrogenados (Figura 4.12). Observou-se que o silicato se apresentou com valores crescentes de abril a novembro/2000 e decrescente à parte deste mês até abril/2001. A diferença entre o dia e 24h foi quase imperceptível, mas entre dia e noite é bem visível. O fosfato, por sua vez, mostrou uma variação anual diferente do silicato. Quatro padrões de comportamento podem ser distinguidos para o fosfato: 1) com valores crescentes de abril a setembro, 2) aumentando de setembro a dezembro, 3) diminuindo de dezembro/2000 até fevereiro/2001, 4) crescendo e decrescendo entre fevereiro e abril/2001 com ligeiro pico em março. As diferenças dia e noite foram, também, visíveis como no caso do silicato.

O fosfato e o silicato, apesar dessa variação mensal e sazonal diferente, apresentaram uma melhor variação nictemeral conforme anteriormente discutido(sub-item 4.2.1). Esses dois íons assim como os íons nitrogenados apresentaram valores mais baixos ou decrescentes entre julho e setembro. Além do consumo biológico, o silicato e o fosfato podem ser afetados por processos físico-químicos de sorção sobre partículas e a hidrodinâmica do canal de maré.

O silicato apresentou valores crescentes de abril a novembro de 2000 e decrescentes de novembro/2000 a abril/2001. A população de diatomáceas bentônicas no manguezal, provavelmente, controlaram os teores de silicato na água intersticial do manguezal e no canal de maré. Outros fatores, tais como sorção sobre partículas e dissolução do silicato, podem ter efeitos conjugados para esse comportamento do silicato. Anteriormente foi observado que as concentrações de silicato durante a maré enchente são muito baixas comparadas com aquelas da água do canal de maré. Esse comportamento sazonal do silicato no manguezal deve ser pesquisado para se diferenciar e compreender melhor os processos biológicos e não - biológicos que contribuem para este decréscimo. Os valores de silicato encontrados neste trabalho foram, em

média, inferiores a 50% àqueles encontrados no canal de maré Furo do Meio, Bragança-PA (Dittmar 1999).

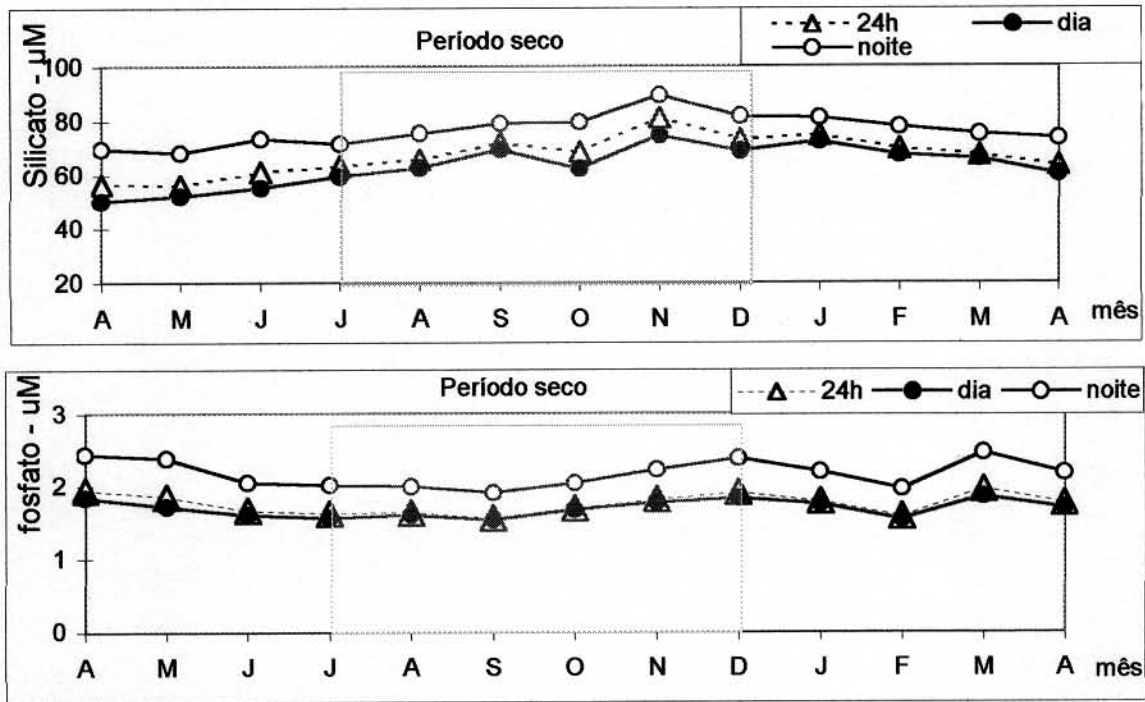


Figura 4.12 – Séries mensais dos íons fosfato e silicato, e tendência geral, durante o período de abril/2000 a abril/2001. Valores médios para o dia, noite e 24h. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA).

(d) matéria orgânica dissolvida

Neste caso, considera-se o carbono orgânico, o nitrogênio orgânico e o fósforo orgânico dissolvidos e a média de 24h como acima discutidos para os íons inorgânicos dissolvidos. A distribuição desses parâmetros e suas variações durante o período de estudo são mostradas na figura 4.13. Observou-se um comportamento decrescente de abril (período chuvoso) para um mínimo em dezembro e, em seguida, aumento a partir de janeiro para abril, formando um ciclo anual. Na maioria dos meses, a média de 24h para o COD ficou entre 100 e 200µM e, somente de abril a junho, acima de 200µM.

O NOD apresentou valores variando de 20 a 30µM para os meses de abril a outubro de 2000 e de março a abril de 2001. Entre novembro e dezembro de 2000 e janeiro de 2001 os valores ficaram, respectivamente, abaixo e igual a 10µM. Observa-se, também, que o NOD

apresenta um aumento, de dezembro de 2000 a abril de 2001, de maneira brusca comparando-se com o aumento do COD e o POD no mesmo período.

O POD, por sua vez, apresentou valores iguais (média de 24h) de $1\mu\text{M}$ nos meses de abril e maio de 2000 e de fevereiro a abril de 2001. Em junho e julho de 2000 os valores variaram de $1,6\mu\text{M}$ e de agosto a janeiro de $1,2\mu\text{M}$, considerando o período estudado. Destaca-se que a maior variação para o POD foi entre os períodos chuvoso e de seca do que nos meses do mesmo período. Essa última variação do POD não foi observada para o COD e o NOD.

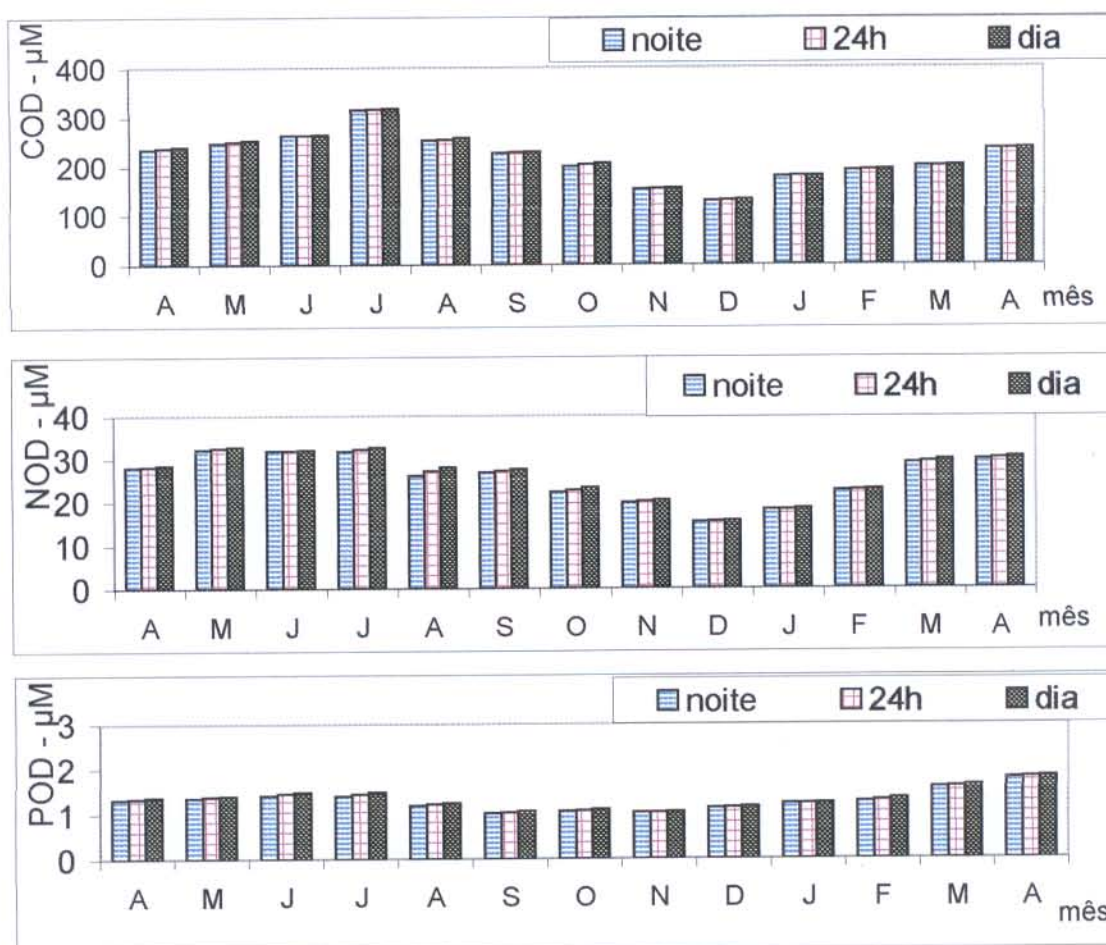


Figura 4.13 – Série mensal da MOD e tendência geral durante o período de abril de 2000 a abril/2001. Valores médios para o dia, noite e 24h, Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís (MA).

(e) matéria orgânica particulada

A matéria orgânica particulada aqui discutida reúne o COP, NOP e POP e sua variação média (do dia, da noite e 24h), mensal e sazonal é mostrada na Figura 4.14. Nessa figura observa-se que o material particulado em suspensão apresenta comportamento semelhante ao da MOP. O COP apresentou valores iguais entre abril e maio de 2000, decrescendo a partir de junho até atingir um mínimo em setembro, permanecendo constante até dezembro e aumentando até abril de 2001. Valores máximos de $350\mu\text{M}$ em abril e maio, de 250 a 300 em junho e julho de 2000 e abril de 2001 e de 50 a $100\mu\text{M}$ nos demais meses.

O NOP apresentou comportamento similar ao do COP, exceção para os valores que foram decrescendo até dezembro e crescendo a partir de janeiro até abril de 2001. Os valores máximos de $30\mu\text{M}$ foram registrados de abril a julho de 2000 e abril de 2001. Valores de 20 para $5\mu\text{M}$ correspondeu ao período decrescente acima mencionado. Os demais valores situaram-se entre 10 e $20\mu\text{M}$.

O POP, na sua variação sazonal, comportou-se de maneira idêntica ao NOP com exceção do mínimo que este apresentou no mês de novembro e aquele apresentou em dezembro. Os valores decrescentes de abril a novembro foram de 3 a $0,6\mu\text{M}$ e crescentes a partir desde até $2\mu\text{M}$ em abril de 2001.

A MOP apresentou variação anual para os três parâmetros (COP, NOP e POP) sendo mais acentuada entre o período chuvoso e seco. O material particulado além da variação sazonal mencionada pode apresentar picos em função da ocorrência de precipitação pluviométrica, como no mês de abril de 2001. No período chuvoso, a precipitação pluviométrica é um fator determinante na exportação dessa MOP para a região costeira, uma vez que, ocorre uma “lavagem” da área do manguezal carreando material particulado para o canal de maré. O material particulado em suspensão teve sua distribuição na coluna d’água afetada pelos processos de sedimentação, ressuspensão e a “lavagem” do manguezal acima referido.

O material particulado apresentou, também, uma ligeira diminuição durante a noite, provavelmente, em função de dois fatores: a decomposição bacteriana e a ausência da contribuição da produção primária. Essa decomposição pode ocorrer, também, por processos mecânicos relacionados com a hidrodinâmica do sistema. Observou-se, durante a realização deste trabalho, depositado no canal de maré e praias vizinhas, material de formas e granulometrias diferentes.

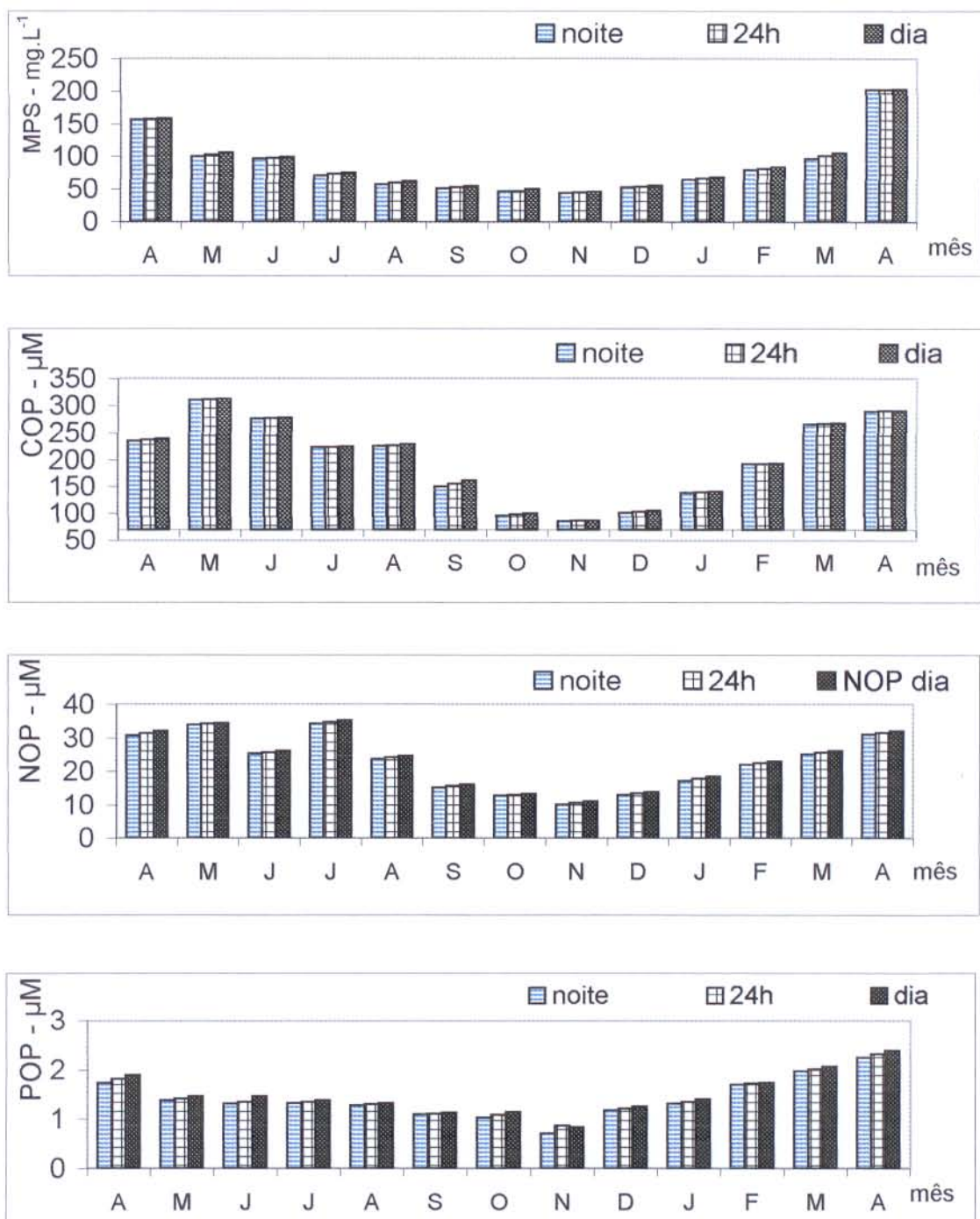


Figura 4.14 – Série temporal da MOP e do MPS e tendência anual durante o período de abril de 2000 a abril de 2001. Valores médios para o dia, noite e 24h, Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA).

O NOP e o POP, provavelmente, podem ser mais facilmente decompostos por ação bacteriana do que o carbono orgânico particulado. Foi visto anteriormente que as concentrações do POP e POD não foram muito elevadas em todas as séries temporais de 24h. Resumindo pode-se destacar que:

a) os parâmetros físico-químicos pH, oxigênio dissolvidos e salinidade tiveram suas variações anuais sujeitas aos fatores de precipitação pluviométrica, ventos e à mistura de águas costeiras com as águas intersticiais no canal de maré. O oxigênio dissolvidos foi o que apresentou maior variação entre o dia e noite, pois, além dos fatores ambientais, sofreu a influência dos processos biológicos de consumo e de produção. A evaporação durante o dia não foi suficiente para ocasionar uma diferença significativa na variação da salinidade. Por outro lado, nem a precipitação pluviométrica nem a decomposição da matéria orgânica causaram grandes variações do pH entre o dia e a noite. Durante a variação anual o pH mostrou-se ligeiramente alcalino e com pequena oscilação entre os períodos chuvoso e seco (Figura 4.10).

b) dos íons nitrogenados, o íon amônio (Figura 4.11) foi aquele que apresentou maior variação entre o dia e noite, principalmente, nos meses de abril a agosto de 2000. O consumo de amônio durante o dia pelo fitoplâncton foi o responsável por essa diferença. No período chuvoso a água intersticial do manguezal é rica em nitrogênio amoniacal. Além do íon amônio, o fosfato e silicato apresentaram diferenças nítidas entre o dia e noite. Nestes casos, também, tanto o consumo de fosfato como o de silicato pode ter sido o responsável por tais variações (Figura 4.12). O silicato apresentou uma variação anual diferente daquela do fosfato apesar de ambos terem mostrado comportamentos semelhantes durante os ciclos de maré.

c) a matéria orgânica dissolvida (COD, NOD e POD) mostrou sempre valores mais elevados durante o dia e, durante o ano, o POD foi o que apresentou menor amplitude de variação comparados com as duas outras formas. É provável que o POD seja mais facilmente afetado pelos processos de consumo e decomposição da MOP com relação ao COD e o NOD.

d) a matéria orgânica particulada, também, apresentou pequena variação entre o dia e a noite, mas a variação anual foi bastante significativa. Durante o período chuvoso a precipitação pluviométrica foi um dos fatores responsáveis pelo fluxo de particulados do manguezal e de áreas adjacentes para o canal de maré. Além disso, durante a enchente, a contribuição de material particulado das áreas vizinhas, no período chuvoso, é maior com relação ao período seco.

4.3 – ÁGUAS INTERSTICIAIS E SEDIMENTO

4.3.1 – Nutrientes no reservatório de água intersticial

Os nutrientes inorgânicos dissolvidos foram determinados na água intersticial em dois pontos de amostragem, um (P1) próximo à foz do canal maré igarapé Nunca Mais, chamada de baixo manguezal, e o segundo (P2) na parte montante chamada de alto manguezal. As amostras foram coletadas nos períodos chuvoso e seco. (Tabelas 4.3 e 4.4).

Tabela 4.3 - Nutrientes inorgânicos (concentração em μM) em águas intersticiais no manguezal do igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)

Ponto 1 Prof.-cm	Período chuvoso					Período seco				
	S - ‰	NH_4^+	NO_3^-	HPO_4^{2-}	Si(OH)_4	S - ‰	NH_4^+	NO_3^-	HPO_4^{2-}	Si(OH)_4
0	24,75	4,15	3,85	2,05	29,75	35,15	2,05	4,15	1,35	32,25
5	25,15	4,75	3,45	2,35	30,45	36,75	2,45	4,05	1,55	34,65
10	25,35	5,45	3,05	2,75	35,85	37,45	3,05	3,85	1,80	39,15
15	26,85	5,85	2,95	3,05	39,85	37,95	3,75	3,65	1,85	46,35
20	27,25	7,05	2,65	3,45	42,25	38,35	4,15	3,05	1,94	52,85
25	28,05	7,75	2,45	3,75	46,45	41,05	4,95	2,75	2,05	61,15
30	32,15	8,25	2,25	4,05	54,65	42,25	5,45	2,35	2,05	72,45
35	35,95	8,95	2,05	4,15	61,25	45,05	6,25	2,15	2,25	91,35
40	36,15	9,45	1,95	4,75	75,15	47,85	6,15	2,05	2,45	96,45
50	36,45	12,75	1,85	5,15	79,25	51,35	6,45	1,95	2,75	112,45
60	38,25	16,35	1,65	5,15	85,75	53,95	7,45	2,10	3,05	145,50
70	41,15	22,95	1,45	5,25	92,15	56,35	9,45	1,85	3,35	161,35

Observa-se diferenças significativas, nesses pontos de amostragem, para a salinidade e os nutrientes da água intersticial a diferentes profundidades do sedimento. No período chuvoso, a salinidade é menor aproximadamente 40% com relação ao período seco. A intrusão marinha via subterrânea, no ponto 1, é evidente, fato esse devido o mesmo se localizar próximo à linha de costa. A salinidade variou de 24 a 41‰ e de 35 a 56‰, respectivamente, para os períodos chuvoso e seco. Amônio, fosfato e silicato aumentaram com a profundidade do sedimento e nitrato diminuiu para os dois períodos mencionados. O silicato apresenta aumento significativo no período seco, mostrando uma variação de 32 a 161 μM , enquanto que no período chuvoso foi de 23 a 92 μM ; apresentou, também, uma amplitude maior de variação no período chuvoso (4 a 23 μM) do que no período seco (2 a 9 μM).

Tais fatos indicam que os fatores ambientais (por exemplo, precipitação e intrusão salina) influenciaram na distribuição dos valores de salinidade e processos biológicos (por exemplo, a nitrificação) nos valores de amônio. O nitrato variou em menor escala com a profundidade e apresentou comportamento diferente em relação aos nutrientes dissolvidos.

No ponto 2 (Tabela 4.4), o comportamento dos nutrientes foi semelhante àquele do ponto 1. Os íons amônio, fosfato e silicato, também, aumentaram com a profundidade porém apresentaram comportamento diferente ao de nitrato. Mas, a salinidade teve menor amplitude de variação e valores relativamente menores em ambos os períodos. Nesse ponto 2 a influência de água doce é mais nítida. A amplitude de variação da salinidade foi de 17 a 30‰ e de 25 a 32‰ para os períodos seco e chuvoso. Descartou-se a influência da intrusão salina via subterrânea. O íon amônio se apresentou ligeiramente superior com relação ao ponto 1, com valores variando de 6 a 25 μM e de 5 a 16 μM para os períodos seco e chuvoso. O silicato, por sua vez, mostrou maior variação, no período seco, comparada com o ponto 1, no mesmo período, com valores de 35 a 196 μM . Nesse caso, pode-se supor uma maior dissolução dos minerais de silicato na parte superior do manguezal e no período seco.

Tabela 4.4 – Nutrientes inorgânicos (concentração em μM) em águas intersticiais no manguezal do igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)

Ponto 2 Prof. - cm	Período chuvoso					Período seco				
	S - ‰	NH_4^+	NO_3^-	HPO_4^{2-}	Si(OH)_4	S - ‰	NH_4^+	NO_3^-	HPO_4^{2-}	Si(OH)_4
0	17,85	6,25	6,85	2,85	35,55	25,25	3,45	5,25	2,35	35,85
5	18,25	6,95	6,05	3,25	36,05	25,35	3,85	5,15	2,75	37,75
10	21,15	7,25	5,45	3,65	38,35	26,85	4,35	4,85	2,80	40,65
15	23,25	8,45	4,95	3,95	41,25	26,95	4,95	4,25	3,25	49,35
20	24,05	9,05	4,15	4,35	44,85	27,45	5,25	4,15	3,45	58,15
25	24,85	10,15	3,85	4,65	47,15	28,85	5,65	3,85	3,65	67,35
30	26,45	11,95	3,45	5,15	57,95	28,05	5,45	3,65	4,15	82,15
35	28,95	12,65	2,75	5,75	65,45	28,25	7,05	3,35	4,45	105,45
40	29,35	16,35	2,15	6,05	75,15	30,65	7,85	2,85	4,75	126,75
50	29,85	22,85	2,15	6,45	82,15	32,85	8,45	2,75	5,65	152,95
60	29,45	27,95	2,05	7,15	91,65	32,35	11,25	2,35	6,25	175,50
70	31,95	25,45	1,45	10,25	102,45	35,45	15,85	1,95	7,25	196,25

Além dos fatores ambientais de precipitação pluviométrica, da influência da dinâmica da maré salina, os processos biológicos certamente também são responsáveis por essas diferenças temporal e espacial nos íons nitrogenados. No caso do fosfato e silicato, aparentemente outros fatores físico-químicos não identificados atuaram no sedimento e na água intersticial, podendo determinar essas variações. No ponto 1 tem-se mais árvores de *Rhizophora*, enquanto no ponto 2, *Avicennia* e *Laguncularia*. Presença de macro- e microalgas foram observadas nos pontos de coleta, tanto no período chuvoso quanto no seco. O consumo biológico, tanto pelo manguezal quanto por essas algas, pode ser diferente entre esses dois pontos.

Esses dados, de dois perfis, serviram de informação inicial sobre os teores de nutrientes no reservatório “água intersticial”, e permitiram comparar com as concentrações da água do canal de maré-igarapé Nunca Mais. Portanto, não se obteve muitas conclusões com um pequeno de número de amostragem. Isso deverá ser objeto de um futuro trabalho e de forma mais integrada junto com o estudo dos sedimentos.

4.3.2 – Matéria orgânica no sedimento do manguezal

Considerou-se os mesmos pontos de coleta de sedimentos, para as determinações das concentrações dos nutrientes inorgânicos, para se obter os teores de carbono e nitrogênio orgânicos e as razões elementar e isotópicas desses elementos. Os resultados mostraram diferenças entre os dois pontos para os teores de carbono e nitrogênio orgânicos e, também, entre os períodos chuvoso e seco (Tabelas 4.5 e 4.6).

Na Tabela 4.5 observa-se que o carbono orgânico apresenta variações decrescentes com a profundidade do sedimento, cujos valores são de 2,05 a 1,34% e de 1,91 a 1,05%, respectivamente, para os períodos chuvoso e seco. O nitrogênio orgânico, por sua vez, mostra um comportamento diferente com valores decrescentes (0,094 a 0,062%) até 35cm, em seguida crescentes (0,062 a 0,085%) no período chuvoso. No período seco, o comportamento foi semelhante ao do período chuvoso, porém, com valores ligeiramente inferiores. Essa diferença, na distribuição de concentração entre o carbono e o nitrogênio orgânicos, no sedimento, indica que ocorreu um enriquecimento em nitrogênio a partir de 35cm de profundidade.

Os valores da razão isotópica do carbono nos períodos chuvoso e seco mostram uma variação decrescente com a profundidade do sedimento, isto é, os valores obtidos para o $\delta^{13}\text{C}$ se estendem de $-25,75$ a $-23,65\text{‰}$ para ambos os períodos. O nitrogênio apresentou uma variação

isotópica $\delta^{15}\text{N}$ de 2,55 a 4,15‰ para o período chuvoso e de 4,25 a 5,25‰ para o seco. Esses valores de $-25,65‰$ e de 2,5 e 4,5‰, na superfície do sedimento, podem indicar material particulado do manguezal no início de sua decomposição. Esses valores de superfície são característicos da matéria orgânica contendo os isótopos mais leves do carbono (^{13}C) e do nitrogênio (^{15}N).

Nesse ponto e no período chuvoso, a razão elementar C/N variou de 21,8 até 23,5 na profundidade de 40cm, em seguida decresceu para 15,8 em 70cm. No período seco, a C/N variou de 23 a 22,5 da superfície até 20cm e decresceu, em seguida, para 13 em 70cm. Esses valores, da razão C/N, podem indicar a fonte ou as fontes da matéria orgânica e os processos diagenéticos que ocorreram na coluna sedimentar. Esses dados, da razão elementar, mostram um comportamento, praticamente semelhante nesse ponto, para os períodos chuvoso e seco. Observa-se que, em ambos os períodos, chuvoso e seco, há uma diminuição da razão elementar C/N, apesar do aumento da concentração do nitrogênio orgânico no perfil do sedimento.

Tabela 4.5 – Teores de carbono e nitrogênio (%) orgânicos e suas razões elementar e isotópicas (‰) no sedimento do manguezal do igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)

Ponto 1 Prof. - cm	Período chuvoso					Período seco				
	C - %	N - %	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	C/N	C - %	N - %	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	C/N
0	2,05	0,094	-25,75	2,55	21,81	1,95	0,085	-25,25	4,25	22,94
5	1,95	0,090	-25,15	2,65	21,67	1,85	0,082	-25,45	4,15	22,56
10	1,92	0,090	-25,05	2,45	21,33	1,75	0,076	-25,65	4,25	23,02
15	1,85	0,082	-24,45	3,15	22,56	1,75	0,075	-24,25	4,65	23,33
20	1,82	0,081	-24,25	3,25	22,47	1,72	0,073	-24,85	4,75	23,56
25	1,75	0,078	-24,25	3,75	22,44	1,69	0,075	-24,95	4,85	22,53
30	1,65	0,072	-24,15	3,80	22,92	1,55	0,076	-24,45	5,05	20,40
35	1,45	0,062	-24,10	3,85	23,39	1,35	0,071	-23,75	5,15	19,01
40	1,55	0,066	-24,15	3,95	23,48	1,32	0,077	-23,95	5,35	17,14
50	1,35	0,071	-24,05	4,05	19,01	1,25	0,078	-23,05	5,65	16,02
60	1,36	0,087	-23,85	4,10	15,64	1,20	0,084	-23,65	5,45	14,24
70	1,34	0,085	-23,65	4,15	15,76	1,05	0,081	-23,85	5,25	12,96

Na parte superior do manguezal (ponto 2 de amostragem) a matéria orgânica, também, mostra variações sazonais e com a profundidade do sedimento (Tabela 4.6). Os valores de carbono (%), foram decrescentes da superfície para o fundo, e variaram de 2,25 a 1,39% e de

2,05 a 0,98%, respectivamente, para os períodos chuvoso e seco. O nitrogênio orgânico apresenta valores elevados na superfície, que decrescem entre 20 e 30cm e, em seguida, aumentam até atingir os 70cm. Tais fatos mostram que o nitrogênio no sedimento do ponto 2 apresentou, também, um enriquecimento nos últimos centímetros.

A razão isotópica do carbono varia de -26,75‰ a -22,85‰, entre a superfície e o fundo no período chuvoso, e de -24,75‰ a -22,45‰ no período seco. Observa-se que, no período chuvoso, a partir da profundidade de 35cm os valores dessa razão são constantes até os 70cm, e, também, a amplitude de variação foi de -3,9‰ contra -2,3‰ no período seco. A razão isotópica do nitrogênio apresenta uma variação de 1,55 a 3,5‰, no período chuvoso, e de 2,45 a 4,75‰ no seco. Esse comportamento é semelhante àquele do ponto 1, isto é, é crescente com a profundidade. No ponto 2, a amplitude de variação para a razão isotópica do nitrogênio é de 2,4, tanto para o período chuvoso quanto para o seco.

Nesse ponto, a razão C/N mostra-se com uma tendência crescente de 22,95 a 24,44 entre 0 e 30cm, em seguida decresce até o valor de 15,11 nos 70cm, no período chuvoso. No período seco e na superfície, o valor dessa razão é de 20,29, cresce em seguida até atingir o valor máximo de 23,87 em 20cm e, finalmente, decresce para 12,05 nos 70cm.

Comparando a distribuição das razões elementar e isotópicas do carbono e do nitrogênio entre os dois pontos de coleta, na coluna sedimentar, observa-se que existe um comportamento semelhante. Uma diferença é observada, para a razão isotópica do nitrogênio, entre o período chuvoso e seco, nos dois pontos de amostragem. Também, no período seco e nos dois pontos de amostragem, a razão elementar mostra uma maior amplitude de variação ($\Delta C/N=10$). A razão isotópica do carbono, no ponto 2 e no período chuvoso, apresenta uma amplitude maior ($\Delta \delta^{13}C = -4\%$) de variação com relação ao período seco, no mesmo ponto, e no ponto 1, nos dois períodos do ano.

Os dados, desses traçadores, serão discutidos no próximo capítulo com a identificação das fontes de matéria orgânica no canal de maré.

Tabela 4.6 – Teores de carbono e nitrogênio (%) orgânicos e suas razões elementar e isotópicas (‰) no sedimento do manguezal do igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)

Ponto 2 Prof. - cm	Período chuvoso					Período seco				
	C - %	N - %	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	C/N	C - %	N - %	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	C/N
0	2,25	0,098	-26,75	1,55	22,95	2,05	0,101	-24,75	2,45	20,29
5	2,15	0,092	-26,15	1,75	23,37	1,94	0,088	-24,75	2,25	22,04
10	2,05	0,090	-25,65	2,05	22,77	1,91	0,082	-24,65	3,34	23,29
15	1,95	0,082	-25,45	2,65	23,78	1,84	0,080	-24,25	3,95	23,00
20	1,90	0,081	-24,95	3,05	23,45	1,79	0,075	-24,15	4,15	23,87
25	1,82	0,078	-24,25	3,25	23,33	1,76	0,078	-24,05	4,05	22,56
30	1,76	0,072	-23,35	3,45	24,44	1,72	0,081	-23,85	4,15	21,23
35	1,72	0,079	-22,85	3,65	21,77	1,69	0,085	-23,55	4,25	19,88
40	1,69	0,082	-22,65	3,75	20,60	1,55	0,089	-22,95	4,25	17,41
50	1,56	0,086	-22,75	3,65	18,13	1,15	0,092	-22,75	4,35	12,05
60	1,52	0,089	-22,75	3,85	17,07	1,10	0,094	-22,65	4,45	11,70
70	1,39	0,092	-22,75	3,95	15,11	0,98	0,094	-22,45	4,75	10,42

4.4 – PRODUÇÃO PRIMÁRIA DO FITOPLÂNCTON

O canal de maré apresenta uma profundidade maior, na parte intermediária, ou seja, à montante do ponto de amostragem(0,7 a 1,25m), variando de 1,5 a 2,5m na baixa-mar, numa extensão de aproximadamente 500m. Isso o torna propício ao desenvolvimento do fitoplâncton, uma vez que existem condições ambientais, tais como luz e abundância de nutrientes. Com a finalidade de avaliar a influência da produção primária sobre os nutrientes inorgânicos e a matéria orgânica, nesse canal de maré, obteve-se dados sobre a produção primária, utilizando o método do oxigênio dissolvido.

Devido à dinâmica da maré, com picos de velocidades nas primeiras horas, tanto na enchente quanto na vazante, as incubações foram realizadas com tempo variando entre 2 e 3h na vazante e na enchente da maré quadratura. Na maré de sizígia, por causa de uma maior turbulência, os testes realizados mostram que a produção primária é muito menor quando comparada com a quadratura. Em virtude disso, os dados aqui apresentados se referem somente à maré de quadratura. As profundidades de incubação foram obtidas com a leitura do disco de Secchi e utilizando as fórmulas (Teixeira *et al.* 1988)

$$I_d = I_0 \cdot e^{-kd} \quad e \quad k = 1,7/S$$

Equação 4.1

sendo I_d a radiação, d a profundidade, I_0 a radiação incidente na superfície, k o coeficiente de extinção e S a leitura do disco de Secchi.

Os dados obtidos para a produção primária e a clorofila “a” mostram diferenças entre os períodos da tarde e da manhã, na maré de quadratura, e entre os níveis de penetração de luz (Tabelas 4.7 e 4.8). No período da manhã das 10 às 12h os valores de clorofila a variaram de 8 a 15mg.m^{-3} no mês de abril/2000 enquanto que, no período da tarde, e de 15 às 17h, de 6 a 12mg.m^{-3} . A produção primária variou de $40,5$ a $125\text{mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ e de 32 a $112\text{mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$, respectivamente, para o período da manhã e tarde. Infelizmente, não foi possível realizar os estudos sobre fracionamento do fitoplâncton, mas dados obtidos por Teixeira et al. (1988) no estreito dos Mosquitos (ilha de São Luís), em região próxima ao canal de maré estudado e com características físico-químicas semelhantes indicaram que o nanofitoplâncton ($<46\mu\text{m}$) foi responsável por 96,7% da produção primária (Teixeira *et al.* 1988).

Durante os horários das incubações a transparência variou de 0,5 a 1,2m pela manhã e de 0,5 a 1m à tarde. Os valores dos parâmetros físico-químicos e dos nutrientes foram mostrados no capítulo anterior.

Tabela 4.7 – Dados de obtidos para a clorofila a e a produção primária no igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA), em 12/04/2000, período de 10 às 12h.

Profundidade (m)	Penetração de luz	Clorofila a (mg.m^{-3})	Produção primária ($\text{mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$)
0,00	100	12,54	78,45
0,30	50	15,04	125,15
1,15	1	8,05	40,25

Esses dados foram integrados para a coluna d’água para obtenção dos valores de produção primária em termos de área. A penetração de luz no canal de maré é limitada pela grande quantidade de material em suspensão, que é o principal responsável pela turbidez elevada dessas águas.

Nessa região é fácil se observar, no manguezal e áreas vizinhas, o florescimento de diferentes espécies de micro- e macro-algas de acordo com a época do ano. As macro-algas fixadas ao manguezal, a grande maioria, pertence à espécie *Rhizoclonium implexum*. São desconhecidos, nessa região, estudos sobre a produção primária dessas algas, as quais

juntamente com o fitoplâncton da coluna d'água, influenciam o comportamento dos nutrientes inorgânicos dissolvidos no canal de maré e na água intersticial.

As concentrações de clorofila "a" foram relativamente altas comparadas com outras regiões de manguezais ou estuarinas. No manguezal de Bragança, estuário do rio Caeté-PA, os valores variaram de 0,5 a 6mg.m⁻³ (Dittmar, 1999). Num ambiente estuarino no sudeste do Brasil, Kutner (1975) encontrou valores variando de 1 a 19mg.m⁻³. Bruno *et al.* (1983) trabalhando num estuário temperado encontrou valores variando de 1,35 a 5,69mg.m⁻³. A produção primária em termos de área e tempo variou de 0,12 a 2gC.m⁻².d⁻¹ durante o período de estudo. Tundisi *et al.* (1978) citou como valor máximo para a região de Cananéia-SP, considerada como um dos ecossistemas mais férteis da costa brasileira, 1gC.m⁻².d⁻¹, sendo a fração < 60µm como a responsável pela maior parte da produção primária. Bruno *et al.* (1983) valores na faixa de 0,07 a 2,6g C.m⁻².d⁻¹, sendo o nanofitoplâncton (<20µm) responsável por até 88,5% da produção primária. Portanto, os dados obtidos neste trabalho estão dentro da faixa encontrados pelos autores acima mencionados.

Tabela 4.8 – Dados de obtidos para a clorofila a e a produção primária no igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA), em 11/04/2000, período de 15 às 17h.

Profundidade (m)	Penetração de luz(%)	Clorofila <i>a</i> (mg.m ⁻³)	Produção Primária (mgC.m ⁻³ .h ⁻¹)
0,00	100	8,15	64,75
0,25	50	12,35	112,45
0,95	1	6,16	32,25

A diferença encontrada entre a produção primária no período da tarde com aquela da manhã, provavelmente, está mais relacionada com a incidência da energia luminosa entre estes dois períodos, uma vez que os nutrientes se encontravam em quantidades suficientes para suportar taxas elevadas de produção. Essa ligeira elevação da produção no período da manhã foi acompanhada pela variação nos teores de clorofila "a".

Essa produção primária do fitoplâncton foi responsável, certamente, pelas diferenças de concentração dos nutrientes encontradas entre o dia e a noite e as variações sazonais observadas durante o período de estudo(ver sub-item 4.2).

4.5 – RAZÕES ELEMENTARES DO CARBONO, NITROGÊNIO E FÓSFORO NO MPS

Os valores para a razão elementar foram obtidos para a matéria orgânica particulada e dissolvida após filtração das amostras em microfibras de vidro tipo Whatman (~1,2µm de porosidade). O estudo, dessas razões, constituiu uma ferramenta para obter-se informações sobre a origem e decomposição da matéria orgânica. A razão C/N é, em parte, uma indicação de diferenças entre: a) **biomassa das raízes de espécies florestais**; b) **taxa de assimilação de solutos por águas intersticiais**; c) **composição elementar** (Alongi 1996). A razão C/N, freqüentemente, indica a fonte predominante de matéria orgânica no sistema. Altos valores (C/N >8) indicam que a matéria orgânica é oriunda de plantas vasculares ou terrestres, enquanto que valores baixos (C/N <8) revelam origem marinha. Por exemplo, a razão C/N do fitoplâncton varia de 7 a 10. O bacterioplâncton é rico em nitrogênio e tem razão C/N variando de 2,6 a 4. Ao contrário, as plantas vasculares podem ter valores de C/N significativamente elevados (C/N >50). A razão C/N nas florestas de manguezais podem chegar a valores superiores a 20 (Alongi *et al.* 1989; Cifuentes *et al.* 1996).

No presente trabalho, apresenta-se as razões elementares para a matéria orgânica particulada (C/N)_p e (C/P)_p e dissolvida (C/N)_d e (C/P)_d nas marés de quadratura e de sizígia para o mês de abril (Figuras 4.15 e 4.16).

Na quadratura, a razão (C/N)_p variou de 5 a 8 com o ciclo de maré, e diminuiu com a vazante do dia até o mínimo na baixa-mar; em seguida, aumentou de forma irregular (máximo e mínimo) durante a enchente e, novamente mostrou um ligeiro decréscimo com a vazante da noite. Durante o segundo meio-ciclo de enchente, das 8 às 12 horas, não se observou essa variação irregular como aquela da noite. (Figura 4.15). Esses valores foram ligeiramente inferiores, como aqueles citados pelos autores acima mencionados, para o fitoplâncton. A razão elementar (C/P)_p variou de 200 a 350, e acompanhando a variação da razão (C/N)_p. Durante a noite os valores dessa razão, ora aumentaram, ora diminuíram, não apresentaram aparentemente nenhuma tendência lógica.

Na maré de sizígia os valores da razão (C/N)_p foram ligeiramente superiores (7 a 10) àqueles da quadratura e concordantes com aqueles citados por Alongi (1996). Esses valores superiores na maré de sizígia, provavelmente, indicaram a contribuição do manguezal, uma vez que durante esta maré, maior quantidade de detritos é transportada do manguezal para o canal de maré. Apesar da variação entre a maré de quadratura e de sizígia, o comportamento nictemeral

nesta foi semelhante ao da primeira. Em ambos os casos, a variação durante a noite foi mais irregular do que durante o dia, tanto para a razão $(C/N)_p$, quanto para $(C/P)_p$. Essa última razão mostra uma ampla faixa de variação (200 a 750) com um mínimo (200) na baixa-mar do dia. Isso mostra que os processos, no ciclo do fósforo, podem estar associados àqueles do ciclo do carbono. As razões revelam uma tendência de decréscimo com a maré vazante, tanto na sizígia quanto na quadratura.

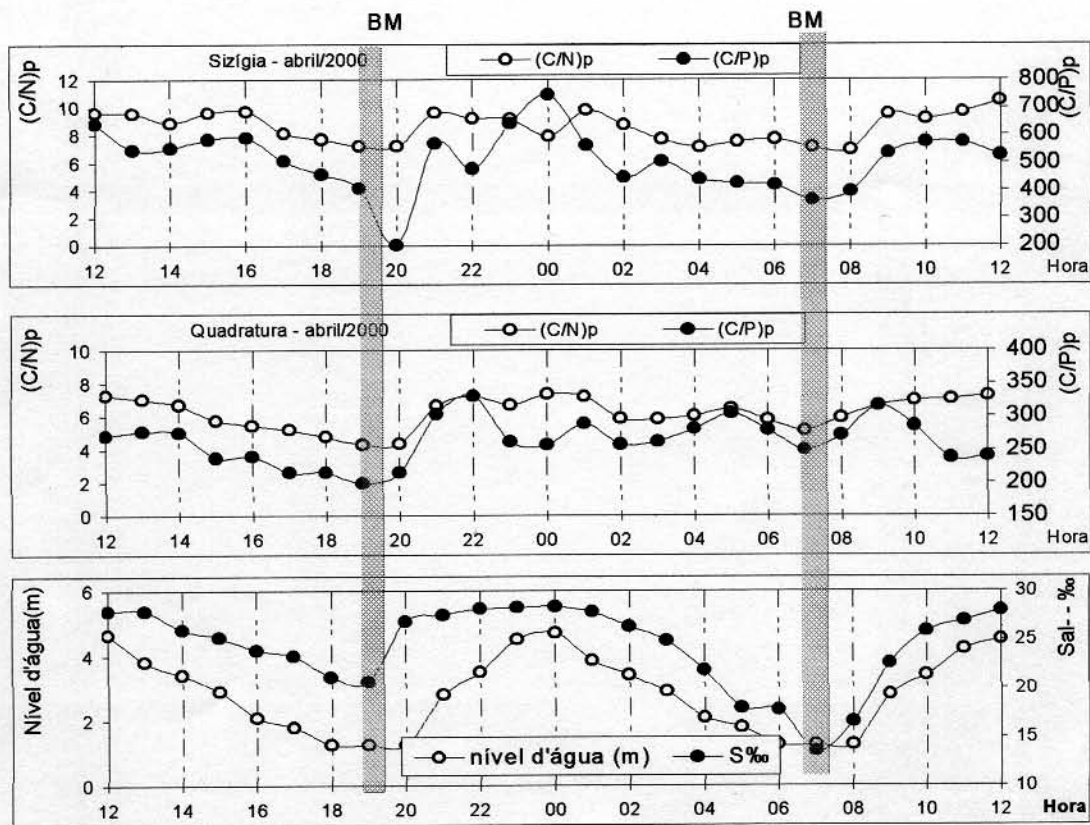


Figura 4.15 – Série temporais de 24h razões elementares $(C/N)_p$ e $(C/P)_p$, MOP na quadratura e sizígia (abril/2000), igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA).

Esse valor mínimo da razão $(C/P)_p$, na maré de sizígia, é mais provável que tenha sido originado por um erro de análise na amostra do que pelo consumo exagerado de fósforo orgânico particulado pelo plâncton ou bactérias. Não se levando em conta esse valor mínimo da razão $(C/P)_p$, as variações entre as marés de quadratura e sizígia foram bastantes significativas. Essas

razões serão discutidas no próximo capítulo visando identificar as fontes e os processos de transformação da matéria orgânica.

As razões elementares na fração da matéria orgânica dissolvida obtida na filtração citada, também, foram obtidas nas marés de quadratura e de sizígia no mês de abril/2000 e representadas por $(C/N)_d$ e $(C/P)_d$ as quais podem ser observadas nas figura 4.16.

Na maré de quadratura, a razão $(C/N)_d$ variou entre 8,2 e 13, diminuiu durante a maré vazante até atingir um mínimo na baixa-mar e às 20h. Em seguida, aumentou e diminuiu sem mostrar uma tendência lógica com a variação do nível d'água. Por outro lado, a razão $(C/P)_d$ mostrou uma variação semelhante àquela da $(C/N)_d$ exceto que dois picos foram observados, o primeiro com valor 575 às 20h e o segundo, no valor de 500, às 8h. Os extremos de variação da razão $(C/P)_d$, na maré de quadratura, foi de 360 a 575 aproximadamente (Figura 4.16).

Na maré de sizígia as razões $(C/N)_d$ e $(C/P)_d$ mostraram comportamentos diferentes. A razão $(C/P)_d$ mostrou-se crescente com a diminuição do nível d'água até atingir o máximo de 550 na baixa-mar. Por outro lado, a razão $(C/N)_d$ mostrou uma distribuição sem uma tendência lógica. Isto é, apresentou valores máximos e mínimos durante as marés vazante e enchente. As faixas de variação foram de 10 a 15 e de 410 a 560, respectivamente, para as razões $(C/N)_d$ e $(C/P)_d$.

No sistema estuarino do rio PO (Itália) foram encontrados valores para a $(C/N)_p$ na faixa de 3 a 8,2. Caso os valores fossem superiores a 12, seriam representativos de material terrestre, e inferior a 8 de contribuição marinha. Diante dessa faixa de variação o autor considerou-a como contribuição autóctone do fitoplâncton nesse sistema estuarino (Martinotti et al. 1997). Dittmar (1999) encontrou valores da razão $(C/N)_p$ no canal de maré Furo do Meio (Bragança/PA) em maré de quadratura (março/1997), variando de 10 a 30 durante os dois ciclos de maré. Para a mesma área, o mesmo autor cita para a razão $(C/N)_d$, valores de 50 a 200.

Neste trabalho, os valores para a razão do particulado $(C/N)_p$ e para $(C/P)_p$, entre as marés de quadratura e de sizígia, variaram de 5 e 12 e 200 a 750, respectivamente. A razão para o carbono/nitrogênio e carbono/fósforo dissolvido, $(C/N)_d$ e $(C/P)_d$, os valores variaram, nas mesmas condições de maré, de 8 a 15 e de 150 a 700, respectivamente, com uma variação maior no material dissolvido. Isso pode indicar uma rápida decomposição da matéria orgânica dissolvida, comparada com aquela do material particulado, no canal de maré e no sedimento do manguezal. Essa decomposição seria mais intensa na maré de sizígia, quando a dinâmica das

marés é mais intensa. Esses valores elevados da razão carbono/fósforo indicam, provavelmente, uma decomposição mais rápida do fósforo orgânico com relação ao carbono. No mês de abril, parte do carbono orgânico dissolvido é constituído por substâncias húmicas, que são mais resistentes ao ataque bacteriano. No próximo capítulo será apresentada e discutida a relação entre carbono orgânico dissolvido e as substâncias húmicas dissolvidas.

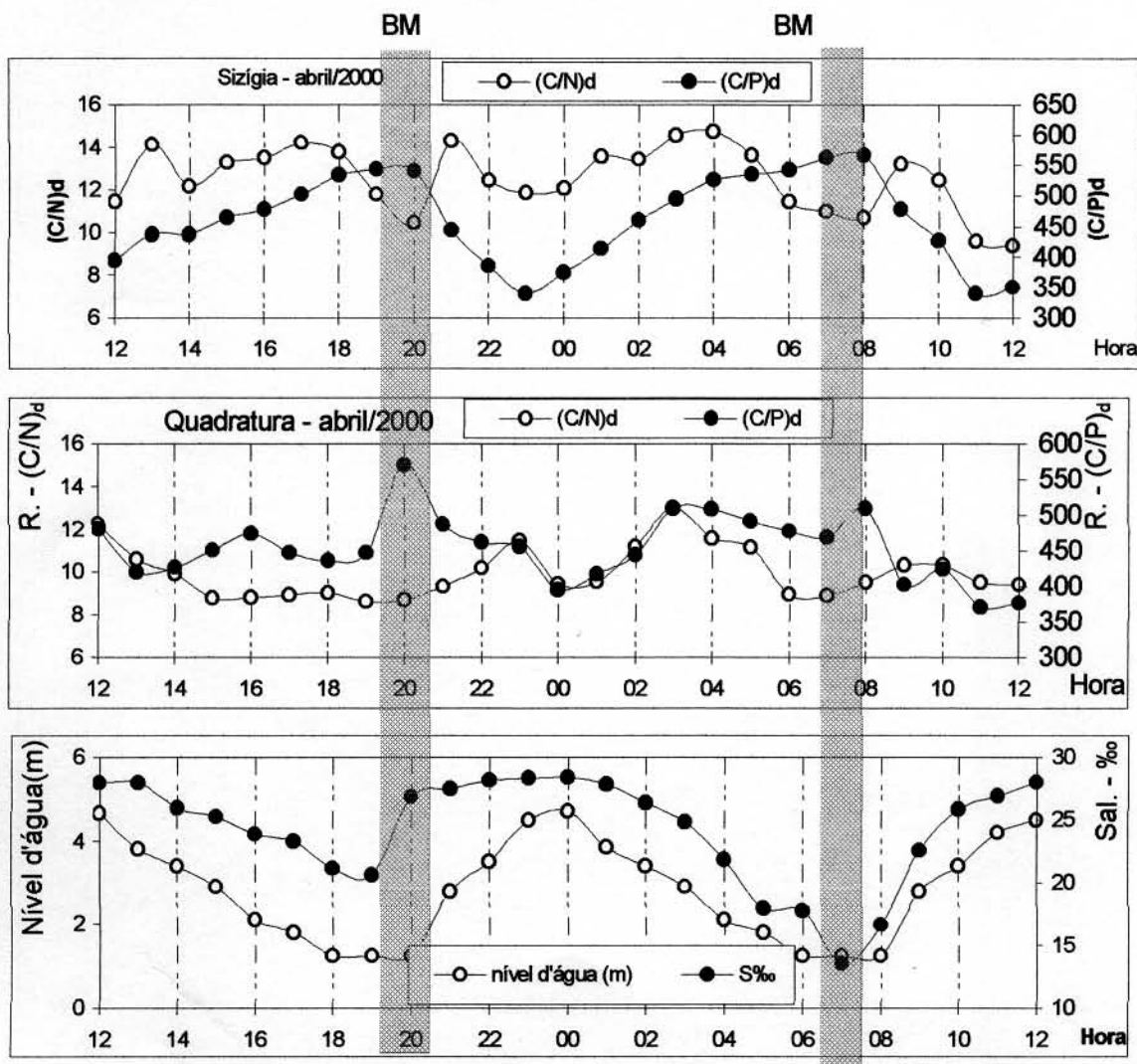


Figura 4.16 – Série temporais de 24h das razões elementares $(C/N)_d$ e $(C/P)_d$, na quadratura e sizigia (abril/2000), Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA).

4.6 – RAZÕES ISOTÓPICAS DO CARBONO E NITROGÊNIO NO MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO

As razões isotópicas do carbono e do nitrogênio foram utilizadas numa tentativa de identificar as fontes e os processos de decomposição da matéria orgânica no canal de maré Igarapé Nunca Mais. Em virtude das limitações financeiras e operacionais, essas razões foram analisadas somente para o mês de abril e novembro, tanto na maré de quadratura quanto na de sizígia para as variações nictemerais. Para a variação anual, a amostra foi composta de uma mistura das coletas durante as marés vazante e enchente. O material foi coletado em rede de plâncton (~20µm) após os procedimentos de preparação em laboratório; as análises foram realizadas no Centro de Energia Nuclear (CENA-USP) em Piracicaba, São Paulo.

A razão isotópica do carbono ($\delta^{13}\text{C} = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$) é diferenciada entre as plantas terrestres e o fitoplâncton marinho pelos processos fotossintéticos e pelas fontes de carbono utilizadas. **As plantas terrestres utilizam o CO₂ atmosférico, e se enriquecem do isótopo mais leve, ou seja, o ¹²C, enquanto que o fitoplâncton utiliza os íons bicarbonato concentrando o carbono com o isótopo mais pesado (¹³C).** Os valores dessa razão, para as plantas terrestres, são variáveis numa faixa de -20 a -34‰ e para o fitoplâncton -18 a -23‰. Em média, considera-se os valores $\delta^{13}\text{C} = -26‰$ e $\delta^{13}\text{C} = -18‰$, respectivamente, para a matéria orgânica terrestre e marinha. Esses valores foram relacionados com o padrão PDB (Pee Dee Belemite), cujo valor dá $\delta^{13}\text{C} = -25‰$ (por definição). Essa razão tem sido utilizada por vários autores para identificação das fontes e das trocas de matéria orgânica em diversos sistemas estuarinos e costeiros (Shultz & Calder 1976; Lacerda *et al.* 1986; Craft *et al.* 1988; Leblanc *et al.* 1989; Lucotte *et al.* 1991; Tan *et al.* 1991; Cifuentes *et al.* 1996; Middelburg *et al.* 1997; Dittmar 1999).

A razão isotópica do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N} = {}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$) é diferenciada, também, das plantas terrestres e das marinhas pela assimilação de nitrogênio proveniente de diferentes fontes. **No ambiente marinho, o fitoplâncton assimila preferencialmente os íons amônio e nitrato contendo o isótopo leve (¹⁴N); em seguida, o NID restante, progressivamente, se torna enriquecido do isótopo pesado (¹⁵N) com a continuação do processo fotossintético.** No ambiente terrestre, os compostos de nitrogênio consumido contêm mais o isótopo leve (¹⁴N), resultante do processo de fixação do nitrogênio atmosférico. Wada *et al.* (1987), em estudo sobre o transporte de matéria orgânica na bacia hidrográfica do rio Otsuchi (Japão), encontrou os seguintes valores da razão isotópica do nitrogênio: a) solos orgânicos de montanhas de 3,6 a

4,4‰; b) sedimentos fluviais de 2,7 a 7,6‰; c) material particulado na baía de Otsuchi de 0,1 a 9,6‰ d) águas costeiras superficiais na baía de Otsuchi de 4 a 9‰. Com esses exemplos os autores observaram grande variação, dessa razão isotópica, em função das fontes de matéria orgânica. O padrão utilizado para a $\delta^{15}\text{N}$ é o ar atmosférico ($\delta^{15}\text{N}=0$, por definição).

Essas razões têm sido mais utilizadas em outros ambientes estuarinos do que em manguezais, principalmente, a razão isotópica do carbono. Em estuários, essas razões, foram utilizadas nos estudos de interação continente-oceano com relação às fontes, processos biogeoquímicos e fluxos entre estes sistemas estuarinos e a região costeira (Mariotti *et al.* 1984; Wada *et al.* 1987; Cifuentes *et al.* 1988; LeBlanc *et al.* 1989; Lucotte *et al.* 1991; Tan *et al.* 1991; Thornton & McManus 1994). Em áreas de manguezais, diversos autores se têm utilizados dessas razões (Zieman *et al.* 1984; Lacerda *et al.* 1986; Cifuentes *et al.* 1996; Honculada Primavera 1996; Marguillier *et al.* 1997; Dittmar 1999). Desses autores citados, somente alguns mostraram valores para a razão isotópica do nitrogênio.

Neste estudo, os valores das razões isotópicas do carbono e do nitrogênio são mostradas nas Figuras 4.17 e 4.18, respectivamente, para as marés de quadratura e de sizígia. Observa-se que houve uma variação com nível d'água; os valores decresceram na maré vazante até atingir um mínimo na baixa-mar, aumentando em seguida, e atingindo o máximo na preamar. Também os valores das razões foram superiores em novembro com relação ao mês de abril, tanto na maré de quadratura quanto na de sizígia. A razão isotópica do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) variou de 1 a 3,8‰ na quadratura e de 2,5 a 4,2‰ na sizígia. Esses valores menores na maré vazante e na quadratura indicam que a fonte manguezal foi predominante sobre a marinha. Na sizígia, houve uma influência mais acentuada da fonte marinha devido a uma maior fluxo de água marinha com maior densidade de organismos planctônicos. Os valores obtidos, neste trabalho, para a razão isotópica do nitrogênio estão de acordo com os citados pelos autores acima mencionados. Considerou-se os valores de 0 a 2,5‰ como sendo indicadores da fonte de matéria orgânica nitrogenada do manguezal e acima de 2,5‰ como da fonte marinha costeira.

A razão isotópica do carbono ($\delta^{13}\text{C}$), neste trabalho, apresenta comportamento semelhante àquela do nitrogênio com valores mínimos na baixa-mar e máximos na preamar. Com diferenças, também, entre as marés de quadratura e sizígia e entre os meses de abril e novembro/2000. Na quadratura, os valores variaram de -23 a -26‰ para o mês de abril e -19 a -23‰ em novembro. Isto revela que existe uma variação nictemeral e uma variação sazonal. Na maré de sizígia, os

valores variaram de -22 a -26‰ para o mês de abril e de -19 a -24‰ para o mês de novembro. Observou-se um ligeiro aumento na faixa de variação entre as marés de quadratura e de sizígia, fato esse que pode ser explicado pelo comportamento hidrodinâmico das marés que, no caso da sizígia, a descarga de entrada e saída são bem maiores comparadas com àquelas da maré de quadratura. Apesar da faixa de variação, ser relativamente estreita, foi possível diferenciar a fonte manguezal da fonte marinha. Neste caso, considerou-se que valores $> -22\text{‰}$ com sendo da fonte manguezal e $< -22\text{‰}$ como da marinha.

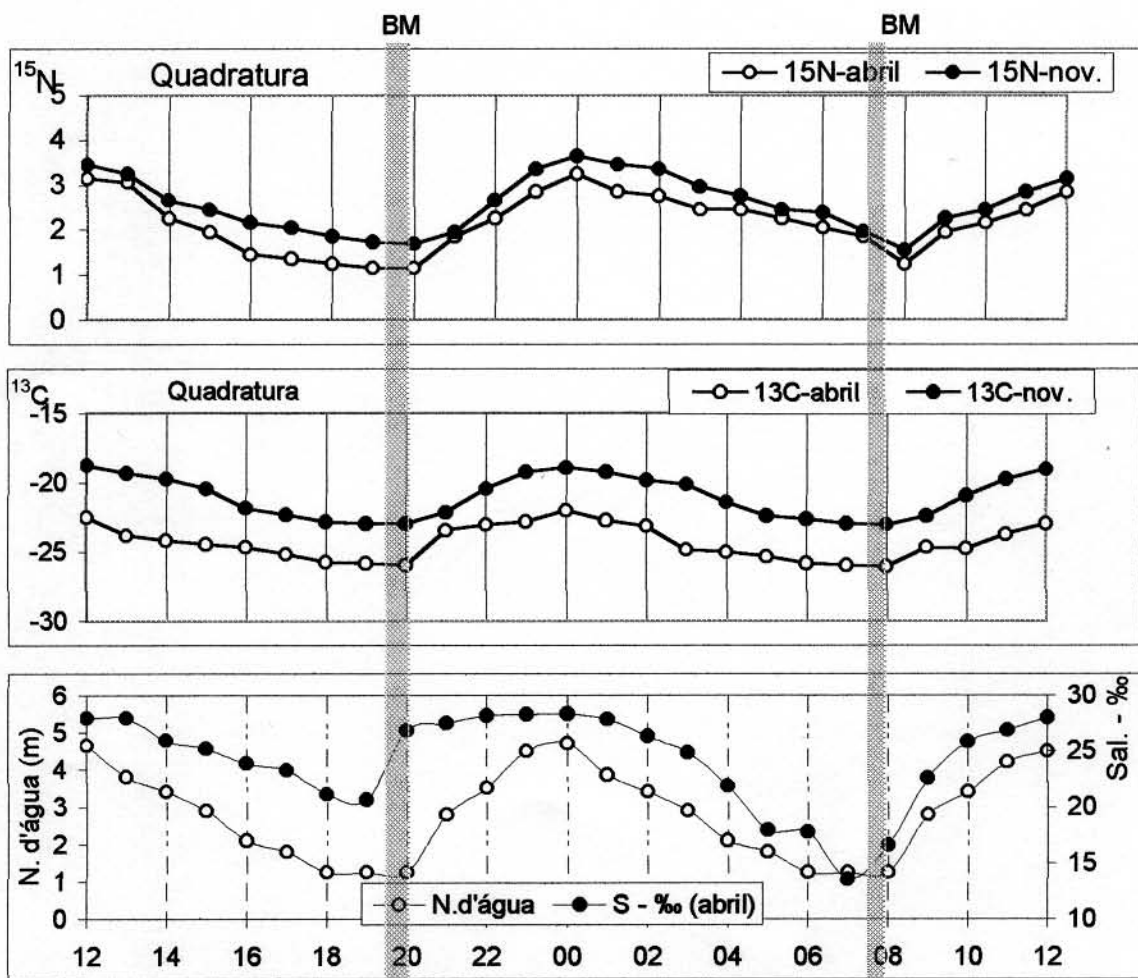


Figura 4.17 - Variação nictemeral das razões isotópicas do carbono e do nitrogênio na maré de quadratura no canal de maré-igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)

A razão isotópica do carbono na maré de quadratura, embora com um comportamento similar com o ciclo de maré, apresentou uma maior diferença entre o meses de abril e novembro/2000. Nesse último mês, a influência marinha é maior, fato este observado para o material particulado em suspensão, que teve suas concentrações reduzidas nos meses de agosto a dezembro/2000.

Os dados das razões isotópicas foram utilizados para se obter informações sobre a contribuição das fontes marinha e do manguezal durante o período de estudo. Observou-se que essas razões apresentaram características dessas duas fontes e serão melhor discutidas no próximo capítulo. Também serão discutidos os dados relativos às razões C/N e C/P para se obter informações sobre a decomposição da matéria orgânica no canal de maré.

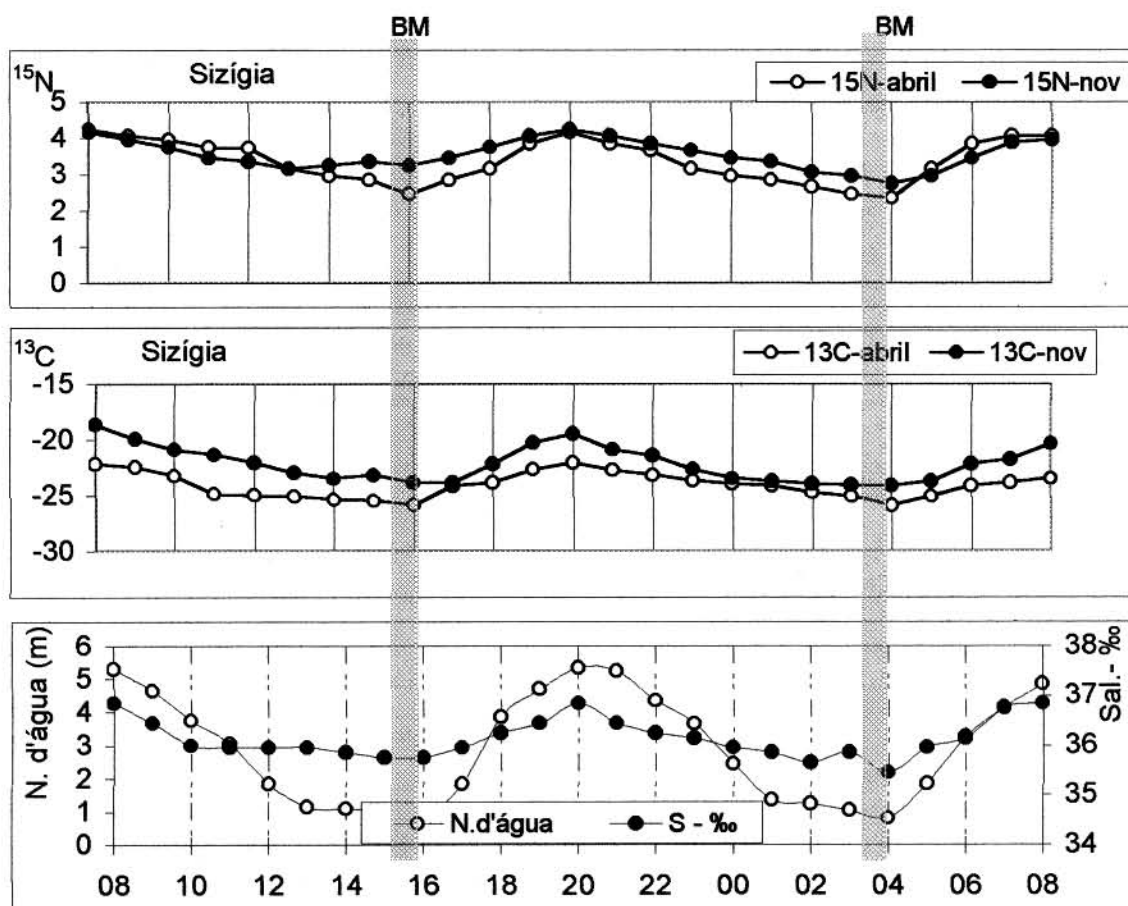


Figura 4.18 - Variação nictemeral das razões isotópicas do carbono e do nitrogênio na maré de sizígia no canal de maré-igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)

5 – DISCUSSÃO COMPLEMENTAR

5.1 – FATORES QUE INFLUENCIAM AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS, QUÍMICAS E GEOQUÍMICAS DO CANAL DE MARÉ E DO MANGUEZAL.

5.1.1. Fatores ambientais

O canal de maré Igarapé Nunca Mais está inserido numa área de 1,22km² de manguezal na região norte da ilha de São Luís, desembocando nas águas costeiras do golfo do Maranhão. Esse canal constitui a única via de transporte de material entre o manguezal e as águas costeiras, não existindo outras, tais como canais adjacentes, fluxos subterrâneos de longa distância ou fluxo superficial de montante como observado em outros ecossistemas de manguezais ou pântanos salinos (Mazda *et al.* 1990; Wolanski 1992; Ayukai *et al.* 1998; Thibodeau *et al.* 1998).

Considera-se que a água acumulada nesse canal de maré ocorreu, na sua origem geomorfológica, há milhares de anos atrás por ação transgressiva do oceano.

A entrada de água doce para o canal de maré resulta do fluxo do manguezal, do brejo existente à montante, por detrás daquele, e da precipitação pluviométrica local. Os processos dinâmicos das águas subterrâneas locais podem influenciar as principais características físico-químicas, desse canal durante o ciclo das marés.

Considerando que o ponto de coleta está a 200m, aproximadamente, da linha da costa, na maré enchente, as concentrações de nutrientes e da matéria orgânica foram, segundo testes realizados, idênticas àquelas das águas costeiras. Por outro lado, durante a maré vazante, as concentrações de nutrientes e da matéria orgânica dissolvida chegaram a aumentar por fatores de duas a cinco vezes. Portanto, levantou-se o seguinte questionamento: qual é a razão para esse aumento de nutrientes e matéria orgânica, no canal de maré, uma vez que fontes externas não podem influenciar suas propriedades durante a vazante.

À baixa-mar, quando a razão entre a superfície e o volume d'água é mais elevado, pode ocasionar um aumento da salinidade devido ao fator da evaporação. Esse efeito é menos marcante durante a noite em consequência da ausência ou redução significativa do processo de evaporação (Hollins & Ridd, 1997). Neste estudo, observou-se durante as estações, chuvosa e seca, uma estreita relação entre os níveis d'água e salinidade; esta última entretanto pode diminuir com a maré vazante e aumentar na maré enchente.

No final do período seco, a salinidade, no ponto de coleta, foi ligeiramente superior com relação às diferenças entre dia e noite; identificou-se um ligeiro aumento desta durante o dia. As

concentrações de nutrientes e matéria orgânica dissolvida aumentaram, em maiores escalas, durante a maré vazante do que as oscilações de salinidade. Contata-se, então, que a evaporação e a precipitação afetam, ligeiramente, a distribuição dos parâmetros físico-químicos da água, mas não sobre o aumento elevado das concentrações dos solutos.

Observou-se que as concentrações de oxigênio dissolvido são mais elevadas durante o dia, e nas marés de sizígia, do que à noite e nas marés de quadratura. Esses valores menores estão relacionados com o maior consumo durante a noite, em relação ao dia, e à menor turbulência na quadratura em relação à maré de sizígia. No caso da turbulência, a direção e a velocidade dos ventos contribuem para um maior fluxo de oxigênio no sentido da atmosfera para a água. Esse fato é observado pelas diferenças de concentrações de oxigênio entre o período chuvoso e seco. No período seco, os ventos apresentam velocidades superiores a cinco vezes àquelas do chuvoso e os teores de OD estiveram no topo ou acima dos valores de saturação.

5.1.2. Reservatórios de água do canal de maré e intersticial

Os reservatórios de água do canal de maré e do sedimento do manguezal têm como origem as águas costeiras, a precipitação pluviométrica e o fluxo de água subterrânea local na área do manguezal. Durante o período chuvoso, com o aumento da precipitação pluviométrica, ocorre o acúmulo de água no manguezal e áreas circunvizinhas. Por detrás do manguezal existe uma paleoduna, em seguida uma pequena laguna e por último a terra firme. Essa laguna acumula água proveniente das chuvas e das águas subterrâneas locais. O escoamento de água doce para o manguezal se faz através da superfície ou por via sub-superficial. Por outro lado, principalmente, nas marés de sizígia, ocorre a inundação do manguezal com acúmulo de águas costeiras nas áreas circunvizinhas (apicuns). Durante o refluxo, na maré vazante, uma fração da água que entrou durante a enchente fica retida nos macro- e micro-poros dos sedimentos do manguezal.

Os perfis de sedimentos coletados mostraram que a maioria da área do manguezal apresenta-se saturada de água, numa profundidade que varia entre 4 e 5m, correspondendo, respectivamente, às profundidades do canal de maré nas marés de quadratura e de sizígia. O estoque de água no sedimento está diretamente relacionado com a existência de macro- e micro-poros ou “buracos” feitos pelos caranguejos e outras espécies da fauna, no horizonte superior. Esse fato é responsável pelo alto teor de água intersticial enriquecida de nutrientes e matéria orgânica dissolvida. Em algumas áreas restritas do manguezal, ocorre acúmulo de areia

transportada pelas correntes e pelo vento, prejudicando o acúmulo de água e, muitas vezes, matando o manguezal e todos os elementos das cadeias alimentares associadas. Infelizmente, não foi possível determinar a condutividade hidráulica da área em estudo. No entanto, segundo dados obtidos por Schwendenmann (1998) para o manguezal no Furo do Chato (Brangança-PA), esse parâmetro apresentou valores menores que 0,4 m/dia na camada do sedimento com profundidade superior a 2m. Schwendenmann (op.cit) observou que a camada de sedimento de 5 a 50cm, na maioria dos casos, estava saturada de água. O nível de água desse reservatório pode decrescer segundo dados de Dittmar (1999), em média, 2cm/dia e ser novamente preenchido na maré de sizígia ou pela água da chuva.

Assim a maior quantidade de água estocada no sedimento entre 0 e 2m de profundidade constitui reservatório de água intersticial do manguezal, também chamada de “água de poros”; esse reservatório pode ser completamente preenchido durante a maré de sizígia, por águas de chuva ou água subterrânea local situada abaixo dessa profundidade. O impulso da maré possui efeito significativo para a dinâmica da água subterrânea na profundidade acima citada. A “água do sedimento” é um termo geral que serve para designar tanto as águas intersticiais quanto às águas subterrâneas locais. Na maré vazante, o gradiente hidrostático entre água do sedimento e do canal de maré favorece o fluxo do manguezal para o canal de maré.

A interpretação mais exata das séries temporais de 24h do pH e salinidade no canal de maré leva à ocorrência de um fluxo do sedimento para o canal de maré, bem como às informações sobre as principais características hidrodinâmicas do reservatório de água no sedimento do manguezal. O pH decresceu durante a vazante, no igarapé Nunca Mais, e atingiu um mínimo na baixa-mar, independente da estação do ano e da amplitude de maré. A diminuição dos valores de pH e as características físico-químicas dos sedimentos do manguezal sustentam a ocorrência de fluxo considerável de água do sedimento para o canal de maré, e que, durante a maré vazante, favoreceu a diminuição do pH.

A salinidade foi considerada, com aproximação, um parâmetro conservativo uma vez que não foi afetada por atividade biológica ou reações hidroquímicas. Pode a salinidade, no entanto, ser afetada pela mistura física de diferentes tipos de águas, precipitação ou evaporação. Neste caso, a salinidade foi um excelente traçador da entrada ou saída de água doce no igarapé Nunca Mais. Considerando-se as séries temporais de 24h do capítulo anterior e, baseando-se na

salinidade, serão discutidas, a seguir, com as principais informações, sobre as características hidrodinâmicas e químicas do reservatório água de sedimento.

Durante os períodos chuvoso e seco, a salinidade decresceu na maré vazante, atingindo o mínimo na baixa-mar, correspondendo ao teor máximo de água doce no manguezal. Isto indicou que a água de chuva foi armazenada no mesmo e, parcialmente, liberada no período da vazante. Na série temporal do mês de abril/2000, maré de quadratura, choveu no dia anterior e durante a coleta, fazendo com que a salinidade atingisse o mínimo de 13,5‰ coincidindo com o final da maré vazante. Essa constatação mostrou que, durante uma campanha de amostragem qualquer, a precipitação pluviométrica pode afetar a salinidade independente da maré enchente ou vazante e, que somente parte da água estocada no manguezal é carregada para o canal de maré. Por outro lado, no período seco, o comportamento da salinidade na vazante foi idêntico ao período chuvoso apesar de seus valores absolutos serem superiores e apresentar um menor fluxo de água do sedimento para o canal de maré. Na ausência precipitação pluviométrica e da maré de quadratura ou de sizígia a salinidade aumentou com a maré enchente, atingindo um máximo na preamar. Neste caso, induz-se que, no período seco, de julho a dezembro, o sedimento dos manguezais pode reter maior quantidade de água do que no período chuvoso.

O sedimento do manguezal apresentou áreas com diferentes distribuições de porosidade, isto é, com macro- e micro-poros distribuídos, tanto na vertical como na horizontal. Isto faz com que existam águas intersticiais com maior e menor mobilidade. Os “buracos” de caranguejos sem interligação, ou os micro-poros do sedimento, podem ser reservatórios importantes de água intersticial com baixa velocidade de fluxo. Neste caso, pode-se considerar que a água intersticial tem menor mobilidade, e mostra pouca variação temporal na concentração dos solutos, refletindo a concentração média do reservatório por um período de várias semanas. Devido a isto, essa água intersticial de menor mobilidade pode, evidentemente, mostrar salinidade elevada, principalmente durante o período seco. Essa salinidade elevada da água intersticial refletiu naquela do canal de maré (36 a 37‰), que foi observada nas campanhas dos meses de outubro/novembro 2000, considerada ligeiramente superior ao valor máximo para a região costeira que é de 36‰.

No período seco e nas marés de sizígia não foi observado pico elevado de salinidade durante a maré enchente como foi encontrado no canal de maré Furo do Meio, Bragança/PA (Dittmar, 1999). Acredita-se, que esse fato possa ser explicado por duas razões: a primeira, é que a evapotranspiração não foi suficiente para elevar a salinidade da água intersticial do manguezal;

segunda, o fluxo da água intersticial do sedimento do manguezal não chegou a se completar, atingindo o canal de maré e elevar a salinidade. Entretanto, não se procedem, neste estudo, avaliação sobre evapotranspiração ou estimativas de fluxo da água intersticial. Também não foi encontrado, no igarapé Nunca Mais, aumento de salinidade durante a maré vazante como foi observado por Dittmar (1999). Isso mostra que, apesar semelhança de clima, as duas áreas de estudos anteriormente citadas apresentaram pequenas diferenças quanto à distribuição de salinidade.

As séries temporais de 24h da concentração de nutrientes e da matéria orgânica dissolvida mostraram um aumento de concentração durante a maré vazante e diminuição durante a enchente. As diferenças entre as marés de quadratura e de sizígia, na concentração desses nutrientes e da matéria orgânica, estiveram relacionadas com a diluição ocorrida na sizígia, ou seja, esta última apresentou valores inferiores desses parâmetros. A inundação do manguezal, durante a enchente da maré de sizígia, não foi suficiente para mobilizar os nutrientes e a matéria orgânica da água intersticial do sedimento, levando-os de volta, durante a maré vazante, para o canal de maré.

O estudo com perfis de sedimento, às proximidades e à montante do ponto de coleta do igarapé Nunca Mais, foi utilizado para determinação dos nutrientes na água intersticial dos sedimentos e da matéria orgânica para verificar se a concentração dos nutrientes na água intersticial é elevada, e não se sofreu considerável influência durante a inundação pela maré de sizígia.

Estudo realizado na área de manguezal Furo do Chato, Bragança PA (Schwendenmann 1998), em diferentes níveis de profundidade do sedimento, vários ciclos de maré e sobre as propriedades físico-químicas e químicas da água intersticial, mostrou que as concentrações, nessa área fisiográfica, foram muito elevadas. Por sua vez, a perda de nutrientes ou de matéria orgânica foi associada com as propriedades do solo, profundidade de amostragem e características, tais como a distribuição de tamanho de partícula e/ou potencial redox (Schwendenmann 1998).

Com base nos resultados deste trabalho e do autor acima referido foi possível confirmar a verificação de que as águas intersticial e subterrânea do sedimento foram, em geral, enriquecidas de nutrientes e de matéria orgânica, mas não sofreram influência considerável com a inundação durante o ciclo de maré.

Resultados semelhantes, mostrando, concentrações elevadas de nutrientes e de matéria orgânica, foram obtidos em sedimento da baía de Sepetiba – Rio de Janeiro (Ovalle *et al* 1990).

Por outro lado, de forma diferente, foi observado um decréscimo significativo nas concentrações de amônio e fosfato na água intersticial de um sedimento na ilha Hinchinbrook – Austrália (Alongi, 1996). Esse autor propôs que essa diminuição de concentração estava associada ao consumo desses nutrientes pela vegetação do manguezal.

Neste trabalho, no igarapé Nunca Mais, também se observou baixas concentrações de nitrato de 0 a 70cm na coluna sedimentar. A razão para isto pode ser o consumo desse nutriente pelas árvores de manguezal, por macro-algas associadas a este, bem como o processo de desnitrificação na coluna sedimentar.

A composição química e as propriedades do sedimento influenciam na concentração de solutos na água intersticial; já os processos biológicos liberam componentes químicos dissolvidos da matriz sólida. A grande abundância de caranguejos (*Ucides cordatus*), como as principais espécies da fauna, que fazem suas tocas no sedimento do manguezal da área do igarapé Nunca Mais, certamente irão consumir boa parte das folhas do manguezal, contribuindo, assim, para uma redução de exportação de particulado, e aceleram o processo de decomposição da liteira. Uma elevada entrada de matéria orgânica da queda dessa liteira, alta taxas de decomposição e mineralização em condições anaeróbias no sedimento podem, provavelmente, conduzirem a uma liberação contínua de nutrientes e matéria orgânica a partir da decomposição de folhas (Nedwell *et al.* 1994; Lacerda *et al.* 1995). Outros fatores, que podem influenciar na composição da água intersticial do sedimento, podem ser somente questionadas. Nedwell *et al.* (1994) por exemplo, mostrou a probabilidade de que as excreções das raízes do manguezal podem, provavelmente, conduzir às concentrações elevadas o NOD de água intersticial de um manguezal Jamaicano

Foi identificado por diversos autores, entre os quais, Potts (1979) no manguezal do Sinai, van der Valk & Attiwill (1984) e Boto & Robertson (1990), no manguezal australiano, e Mann & Steinke (1989), no manguezal da África do Sul, que a fixação do nitrogênio atmosférico em sedimentos de manguezais constitui a fonte primária de nitrogênio para diferentes ecossistemas de manguezais. Mann & Steinke (1993) calcularam que a fixação do nitrogênio atmosférico pela comunidade de algas azuis forneceram 25% das necessidades anuais de nitrogênio para uma floresta de manguezal da África do Sul. Associação da fixação do nitrogênio, consumo bacteriano e liberação do nitrogênio (orgânico e inorgânico) aumentaram as concentrações dos compostos nitrogenados dissolvidos na água intersticial (Carmouze *et al.* 1998). No processo de desnitrificação, a perda de nitrogênio molecular – N_2 - para atmosfera desempenha,

provavelmente, um papel secundário nos manguezais (Rivera Monroy *et al.*1995b; Rivera Monroy & Twilley 1996).

Nos ecossistemas aquáticos, a fonte primária de silicato é o intemperismo dos minerais contendo silício, principalmente, os argilominerais. O silicato liberado por esse processo é assimilado e incorporado à biomassa por atividades dos organismos silicosos. Quando esses organismos morrem o silício é liberado para a coluna d'água na forma de sílica amorfa (Grasshoff *et al.*1983; Stumm & Morgan, 1996). O silicato na água, além de participar da atividade biológica, está sujeito à sorção, à precipitação ou à floculação. Em muitos ecossistemas de manguezais as diatomáceas constituem a classe dominante de micro-bentos e do fitoplâncton, e podem controlar, associada com a mineralização, a concentração de silicato na água intersticial (Teixeira *et al.* 1969).

A ocorrência de fosfato nos ecossistemas aquáticos tem como fonte primária, também, o intemperismo de minerais, entre os quais a apatita. A concentração de fosfato pode ser controlada por atividades biológicas e por outros fenômenos tais como sorção em minerais de argilas, precipitação e floculação devido às mudanças nas propriedades hidroquímicas do sistema (Stumm & Morgan, 1996). Na atividade biológica, o fosfato é assimilado pelos organismos e, posteriormente, retorna para o sistema na forma orgânica, enquanto que, nos processos não biológicos, o fosfato pode estar associado a outros íons em solução. Silva *et al.* (1998) encontraram que a principal fração do fosfato nos sedimentos do manguezal da baía de Sepetiba – Rio de Janeiro estava quimicamente ligada aos íons Ca^{2+} . Por outro lado, em solos de floresta alagada pela maré no estuário do rio Amazonas, a maior parte do fosfato estava ligada aos íons Fe^{3+} e Al^{3+} (Silva & Sampaio, 1998). O fosfato ligado quimicamente no sedimento é liberado de forma constante para a água intersticial devido aos processos de dissolução de acordo com as cinéticas de dissolução e constantes termodinâmicas (Stumm & Morgan 1996).

A capacidade de sorção dos argilominerais para os nutrientes varia de baixa a moderada em ecossistemas de manguezais, devido à predominância e de altas concentrações dos íons Cl^- e Na^+ e de outros componentes maiores da água do mar (Stumm & Morgan, 1996).

5.1.3. Fatores relacionados às atividades biológicas

As séries temporais de 24h e de 13 meses mostraram que as concentrações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e da matéria orgânica no canal de maré podem ser influenciadas pelas

atividades biológicas no próprio canal e as trocas com as águas costeiras e o manguezal. A maior parte dessas oscilações, de curta e longa duração, foram explicadas por um simples modelo hidrodinâmico (ver Resultados e Discussão preliminar). Nessa abordagem, considerou-se dois corpos d'água: um, as águas costeiras com baixas concentrações, e o segundo, de águas intersticiais do manguezal com concentração elevada de nutrientes e matéria orgânica, ou seja, uma mistura conservativa, no canal de maré, oriunda desses dois reservatórios de água em proporções diferentes como função das oscilações de maré. Entretanto, nem as oscilações mensais dos diferentes compostos de nitrogênio, nem uma tendência regular na variação anual do silicato pode ser explicada com esse modelo. A hipótese mais provável é que a atividade biológica, no canal de maré-igarapé Nunca Mais, atue sobre as concentrações desses nutrientes após sua liberação da água intersticial.

A produção primária, nesse canal de maré, foi estimada pelo método do oxigênio dissolvido na maré de quadratura, na baixa-mar e à preamar, com períodos de incubação variando de 2 a 3h. Em paralelo, foram determinadas as concentrações de clorofila "a" durante todas as campanhas de amostragem.(Figuras 5.1).

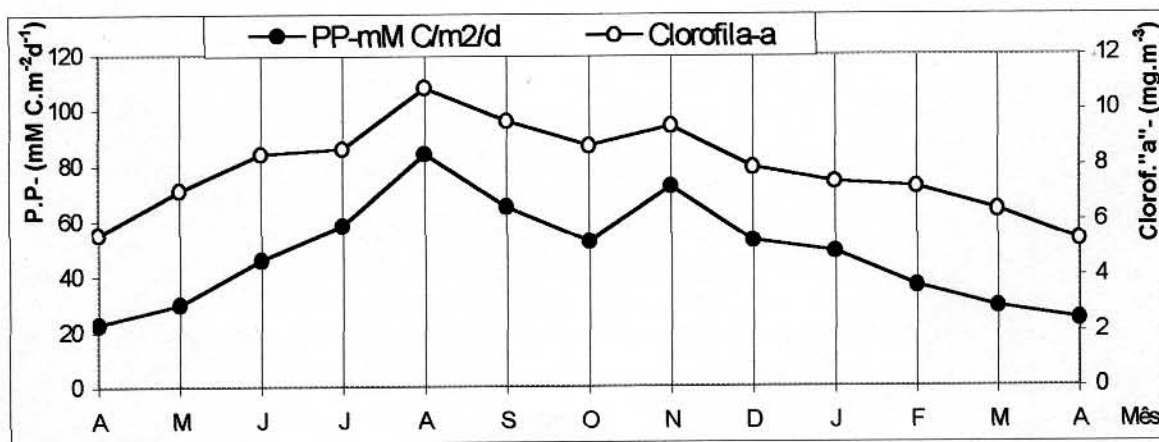


Figura 5.1 – Produção primária e clorofila "a" no igarapé Nunca Mais durante o período de estudo (abril/2000 a abril/2001).

Observou-se que a produção primária aumentou de abril até agosto, em seguida diminuiu até outubro, apresentou um pequeno pico em novembro e, finalmente, diminuiu novamente até abril. Além disso, houve semelhanças de comportamento entre a produção primária e as concentrações de clorofila "a". Os valores obtidos, de produção primária e de clorofila "a", foram subestimados, uma vez que nos cálculos considerou-se apenas 8h de produção efetiva diária. No

entanto, esses dois parâmetros são excelentes indicadores da atividade biológica do fitoplâncton no canal de maré-igarapé Nunca Mais.

Dados obtidos de produção primária (método do carbono 14) e clorofila "a" no estreito dos Coqueiros (ilha de São Luís) variaram, respectivamente, de 15 a 150mMC.m⁻².d⁻¹ e de 3 a 20mg.m⁻³ (Teixeira et al.1988). Segundo esses autores, a fração do nanofitoplâncton (<46µm) foi responsável por 86% da produção primária. Esse estudo foi realizado em apenas dois dias de trabalho (25 e 27/07/85) e sem uma variação nictemeral.

Nessa região, no estreito dos Coqueiros, durante os trabalhos de campo, foi observada, em diferentes período do ano, a floração excessiva de micro- e macro-algas fixadas tanto no sedimento quanto nas folhas do manguezal. Nessa área, a ocorrência dessa floração pode dar origem a algas, formando longas cadeias, o que torna o micro-fitoplâncton(<50µm) bem mais significativo (Tundisi *et al.* 1978; Bruno *et al.* 1983).

O valor de 83,33mMC.m⁻².d⁻¹ foi dado como o máximo de produção primária para a região de Cananéia (litoral de São Paulo) considerado um dos mais produtivos da costa brasileira e a fração do fitoplâncton menor que 60µm como responsável pela maior parte desta. Nessa região foram encontrados valores de clorofila "a" variando de 1 a 19 mg.m⁻³ (Kutner 1975).

Os dados obtidos para a produção primária e clorofila "a", neste trabalho, estão dentro da faixa encontrada para essa e outras regiões do Brasil conforme os autores acima mencionados. Esses dados comprovaram que a atividade biológica do fitoplâncton na coluna d'água e das micro- e macro-algas bentônicas, certamente, influenciou as concentrações elevadas dos nutrientes inorgânicos, que são carreados do reservatório "águas intersticiais" para o canal de maré. Essa atividade biológica representou um parcela significativa do carbono orgânico particulado exportado da área do manguezal para a região costeira, comprovando a hipótese de transporte dessas concentrações elevadas de nutrientes para o canal de maré.

A fim de comprovar a influência do consumo autotrófico dos nutrientes inorgânicos dissolvidos acima mencionados comparou-se as médias de 24h, dia e noite (Figuras 4.5 a 4.8). As diferenças entre dia e noite, em porcentagem, foram resumidas na Figura 5.2. O pH e a salinidade se apresentam ligeiramente baixos à noite com relação ao dia, mostrando que a atividade heterotrófica e a evaporação foram, respectivamente, responsáveis por tais variações. O oxigênio dissolvido é cerca de 10% mais baixo à noite que durante o dia. Nesse caso, a produção em OD é praticamente nula durante a noite e o consumo elevado com relação ao dia. No canal de maré

Furo do Meio (Bragança-PA) as variações entre dia e noite foram menores, cerca de 24%, 1,7% e <1%, respectivamente, para OD, pH e salinidade (Dittmar 1999). Neste trabalho, a salinidade foi menor durante a noite e ficou em torno de 3%.

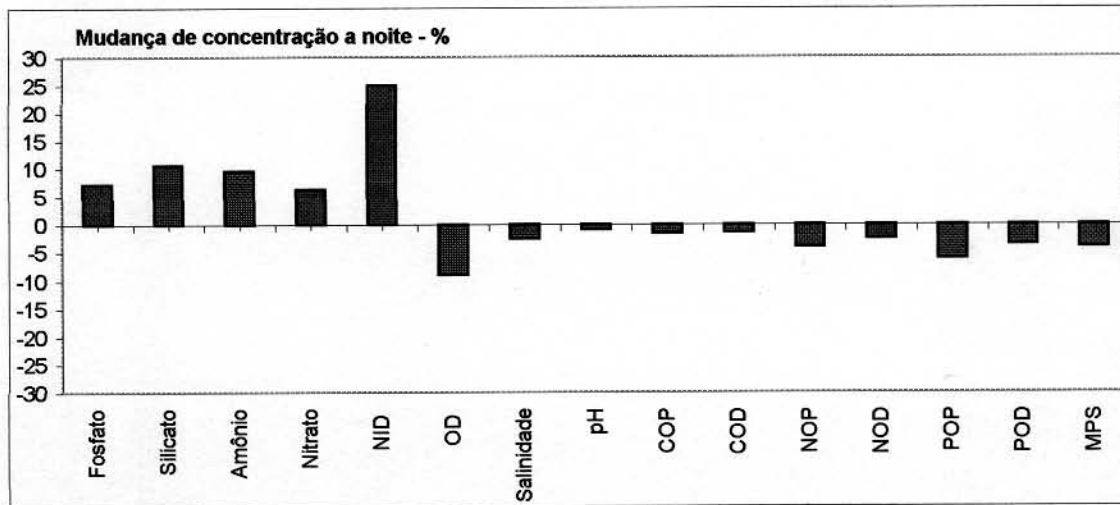


Figura 5.2 – Mudança de concentração durante a noite no igarapé Nunca Mais (ilha de São Luís). Valores ajustados para a concentração durante a noite e a média dos 13 meses de amostragem.

O fosfato e o silicato apresentam variações positivas de 7,5 e 11%, respectivamente, entre o dia e a noite durante o ano. Para o canal Furo do Meio, obtido pelo autor anteriormente citado, essa variação foi, também positiva, mas em torno de 1% para o fosfato e 4% para o silicato. No canal de maré-igarapé Nunca Mais, os valores absolutos obtidos para os nutrientes inorgânicos dissolvidos foram relativamente menores; por exemplo, a concentração de silicato encontrada foi de 160 μM , enquanto no canal Furo do Meio o máximo chegou a 350 μM . Isto pode sugerir que: (a) os processos biológicos de consumo desses dois íons são diferentes nesses dois ambientes, apesar de relativamente próximos, (b) no igarapé Nunca Mais os processos de lixiviação e/ou o fluxo de reservatório do manguezal para o canal de maré são muito menos expressivos.

As concentrações do nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), à noite, foram elevadas (25%), quando comparadas com os íons fosfato e silicato. Acredita-se que essa diferença esteja relacionada às baixas concentrações, principalmente, de amônio e de nitrato durante o dia com relação à noite, uma vez que o nitrito não mostrou nenhuma diferença. O amônio é assimilado

preferencialmente pelo organismos autotróficos para satisfazer suas necessidades de nitrogênio inorgânico. O valor obtido neste trabalho para o NID foi semelhante àquele encontrado no canal Furo do Meio, Bragança-PA (Dittmar 1999). Diferenciando-se desses resultados, Boto & Wellington (1988) registraram, em canal de manguezal australiano, que para alguns nutrientes inorgânicos, apesar das concentrações elevadas, as variações entre dia e noite não são significativamente diferentes. Esses autores demonstraram que o amônio apresentou grandes variações aparentemente aleatórias durante os ciclos das marés e foi, ligeiramente mais baixo à noite, enquanto que o fosfato foi mais elevado.

Na região deste trabalho, nas marés de quadratura, as preamares ocorreram por volta do meio-dia e as baixa-mares às 20h; nas marés de sizígia, as preamares por volta de 8h e baixa-mares às 16h. As coletas, em todas as campanhas, se iniciaram sempre ao meio para a maré de quadratura e 8h da manhã para sizígia. Em virtude disso, foi observada uma diferença ente dia e noite nas concentrações do NID, com maior intensidade no período de estiagem. O NID mínimo ocorreu, nas baixa-mares de quadratura, quando o consumo foi máximo.

A matéria orgânica dissolvida, aqui representada pelas as concentrações de COD, NOD e POD, mostraram variações para menos, quando se compara as diferenças entre dia e noite. Os valores encontrados neste trabalho são, respectivamente, de 1%, 2% e 3% para o COD, NOD e POD. As concentrações dessa matéria orgânica dissolvida, no canal de maré, foram controladas, principalmente, pelo fluxo de água intersticial. Além desse fluxo, como processo mais importante, observou-se pequenas diferenças entre dia e noite. Dois processos podem explicar essas diferenças entre dia e noite: (1) a atividade fotossintética, que produziu uma quantidade de MOD durante o dia, (2) a atividade heterotrófica, que esteve presente durante a noite. As duas alternativas indicam, com grande possibilidade, da existência de uma MOD instável, isto é, de fácil decomposição.

Boto & Wellington (1988) afirmam que a MOD em um canal de manguezal australiano não poderia estar associada à atividade fotossintética do produtores primários, uma vez que não se observou diferenças de concentrações entre o dia e a noite. Eles concluíram que a maior parte dessa matéria orgânica deveria ser resistente ao ataque dos organismos heterotróficos. Por outro lado, Moran et al. (1991b), baseados nas taxas de produção bacteriana secundária, concluíram que uma significativa fração da MOD exportada do manguezal serviu como substrato para o crescimento do bacterioplâncton. Eles calcularam que 70% do COD, no canal de maré nas

Bahamas, foi originado de plantas vasculares e o restante de algas. Benner et al.(1986), Benner et al. (1988) e Lee et al. (1990) encontraram que uma parte considerável do material da liteira do manguezal não era refratária, e que pode ser rapidamente utilizada na respiração ou incorporada na biomassa microbiana. Balasubramanian & Venugopalan (1984), em um manguezal indiano, observaram uma marcante variação sazonal nas concentração de COD associada com períodos de grande biomassa de fitoplâncton, os quais sugeriram que parte desse reservatório de COD poderia se constituir de produtos de decomposição de algas ou de exsudatos.

Neste trabalho, as diferenças entre COD e NOD foram menores em valores absolutos do que aquelas encontradas por Dittmar (1999), mas em ambos os casos, essas diferenças foram proporcionalmente semelhantes. O POD apresentou maior diferença entre as três formas da matéria orgânica. Isto se deve, provavelmente, ao maior consumo do POD durante o dia por algumas espécies de bacterioplâncton uma vez que as concentrações de fosfato foram baixas ($\pm 1 \mu\text{M}$), tanto na maré de quadratura quanto na sizígia.

A matéria orgânica particulada é aqui representada por COP, NOP e POP, dentro do material particulado em suspensão (MPS). As diferenças entre dia e noite foram, respectivamente, de 1,5%, 4%, 5% e 4% para esses particulados. O POP, assim como POD, apresentou maior diferença entre as demais formas. O NOP e MPS mostraram igual variação (4%). Assim como nas variações nictemerais observou-se comportamento semelhante entre MPS e a MOP. As altas concentrações do MPS estão relacionadas com as velocidades de correntes das marés, enchente ou de vazante, e, ainda, com os eventos de precipitação pluviométrica. Nessas altas velocidades, ocorre a ressuspensão do material de fundo e das margens, elevando a concentração de particulados na coluna d'água do canal de maré.

Essa pequena diferença do COP, entre o dia e noite, mostra que a contribuição da produção do fitoplâncton para o MPS é inferior a 30%, mas pode ser importante para o reservatório de MOP no canal de maré. As diferenças entre dia e noite do NOP e POP também estão relacionadas com a fotossíntese durante o dia e a respiração durante a noite. A diferença de concentração do POP pode ser somente explicada, parcialmente, pelo consumo de fosfato pelos organismos no canal de maré. Neste caso, ocorreu um aumento do POD como acima mencionado.

A fim de avaliar a influência das atividades biológicas, no canal de maré sobre as variações de longa duração (durante os treze meses de amostragem), sobre as concentrações do nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) levantou-se a hipótese de que a produção primária seria o fator

primordial no controle das concentrações dos íons nitrogenados durante o dia e, também, nas variações sazonais e anuais.

Essa hipótese foi testada correlacionando-se as diferentes concentrações do nitrogênio inorgânico dissolvido com dados da produção primária e de oxigênio dissolvido. O aumento da concentração de OD, durante o dia, esta relacionado com a fotossíntese realizada pela produção primária do fitoplâncton. A concentração dos íons nitrogenados foi afetada de forma significativa pela atividade autotrófica no canal de maré, ocasionando diferenças entre o dia e noite.

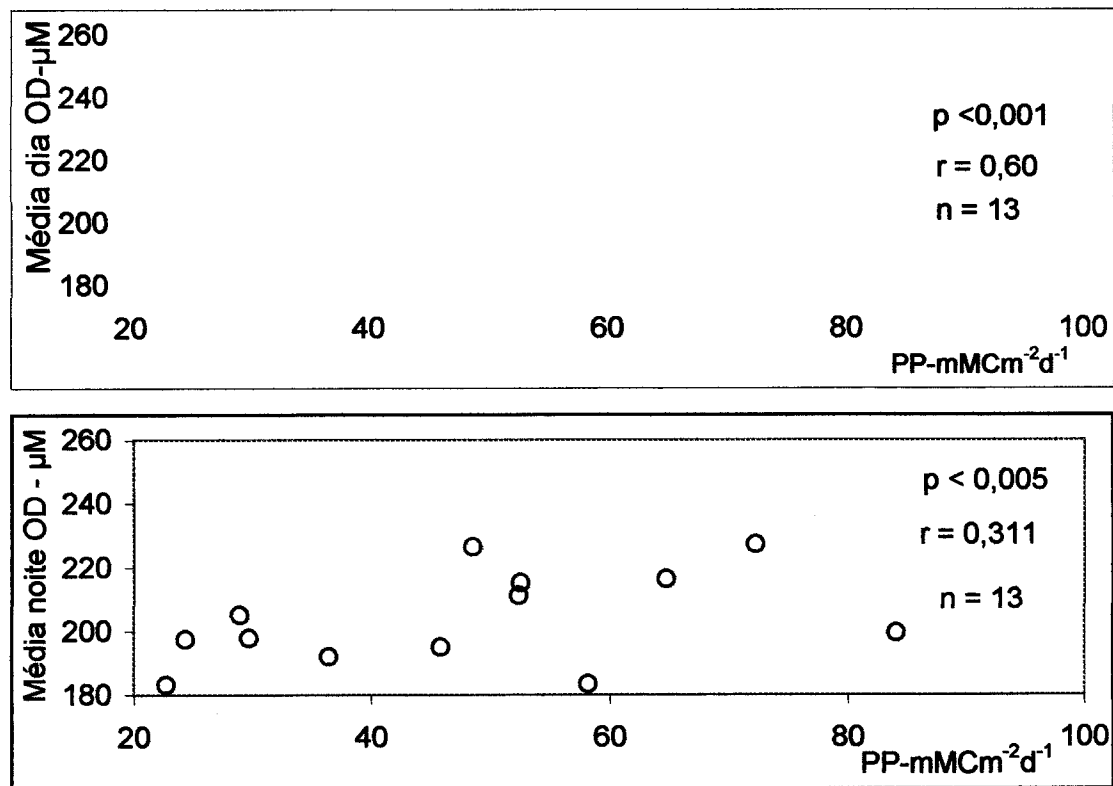


Figura 5.3 – Concentração média de OD durante o dia e a noite em função da produção primária do fitoplâncton no canal de maré-igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís (MA).

A Figura 5.3 mostra as correlações existentes entre as concentrações médias de OD durante o dia e à noite com a produção primária líquida do fitoplâncton no igarapé Nunca Mais. Essa produção e o NID foram utilizados como indicadores ou responsáveis pelas variações de longa

duração dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e da matéria orgânica que serão discutidos logo a seguir.

Obtiveram-se correlações, praticamente iguais, entre a produção primária com as concentrações médias do NID durante o dia e à noite. Isto mostra que a atividade biológica foi responsável, também, pelas variações do NID durante a noite. Há grande probabilidade de que, durante a noite, o NID seja liberado pela oxidação do nitrogênio orgânico dissolvido pelos organismos micro-fitobentônicos. É possível ainda, que processos hidrodinâmicos (correntes de maré ou sedimentação) ou físico-químicos (pH, salinidade e OD) sejam responsáveis pelas concentrações do NID à noite (Figura 5.4).

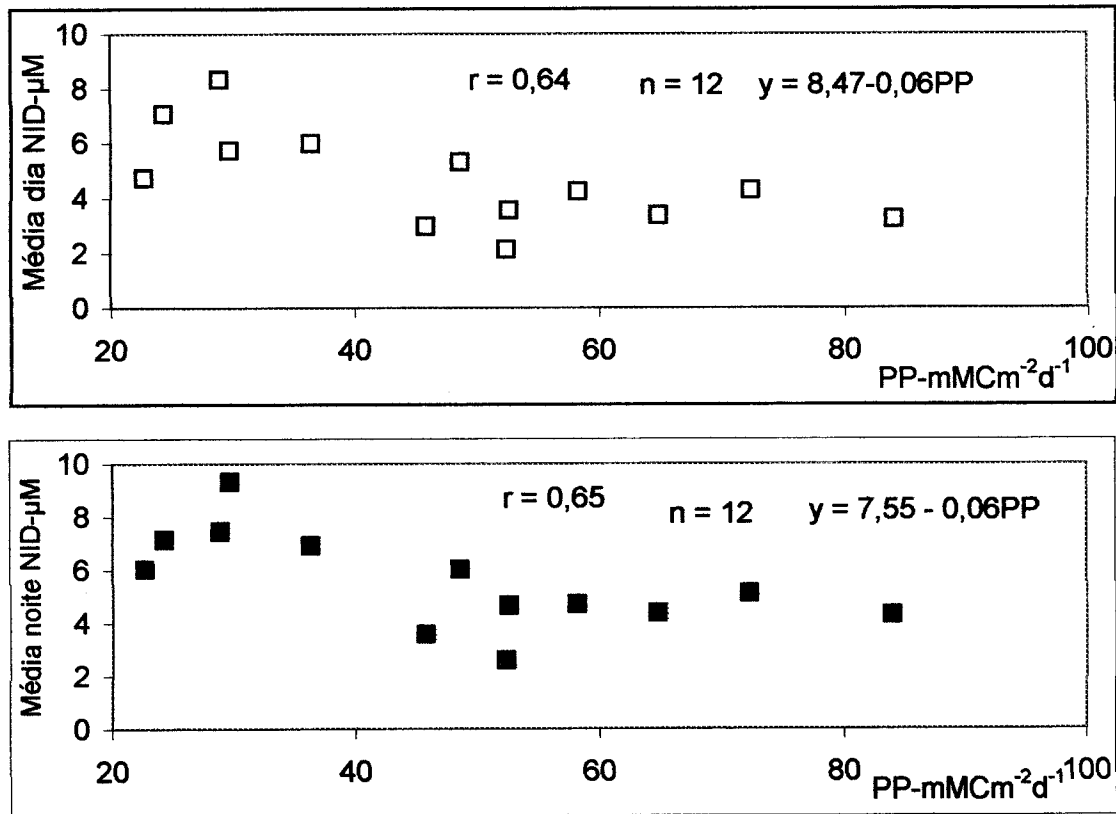


Figura 5.4 – Concentração média do NID durante o dia e à noite em função da produção primária do fitoplâncton no canal de maré-ig. Nunca Mais, ilha de São Luís (MA).

As concentrações de NOD são ligeiramente menores à noite do que durante o dia. Isso mostra que a decomposição bacteriana dessa fração da MOD ocorreu com maior intensidade à noite que durante o dia. Observa-se que à noite as concentrações de OD são, também, menores com relação ao dia. Nesse caso, foram correlacionadas as concentrações médias do NOD, durante o dia e à noite, com as concentrações médias do OD durante a noite (Figura 5.5).

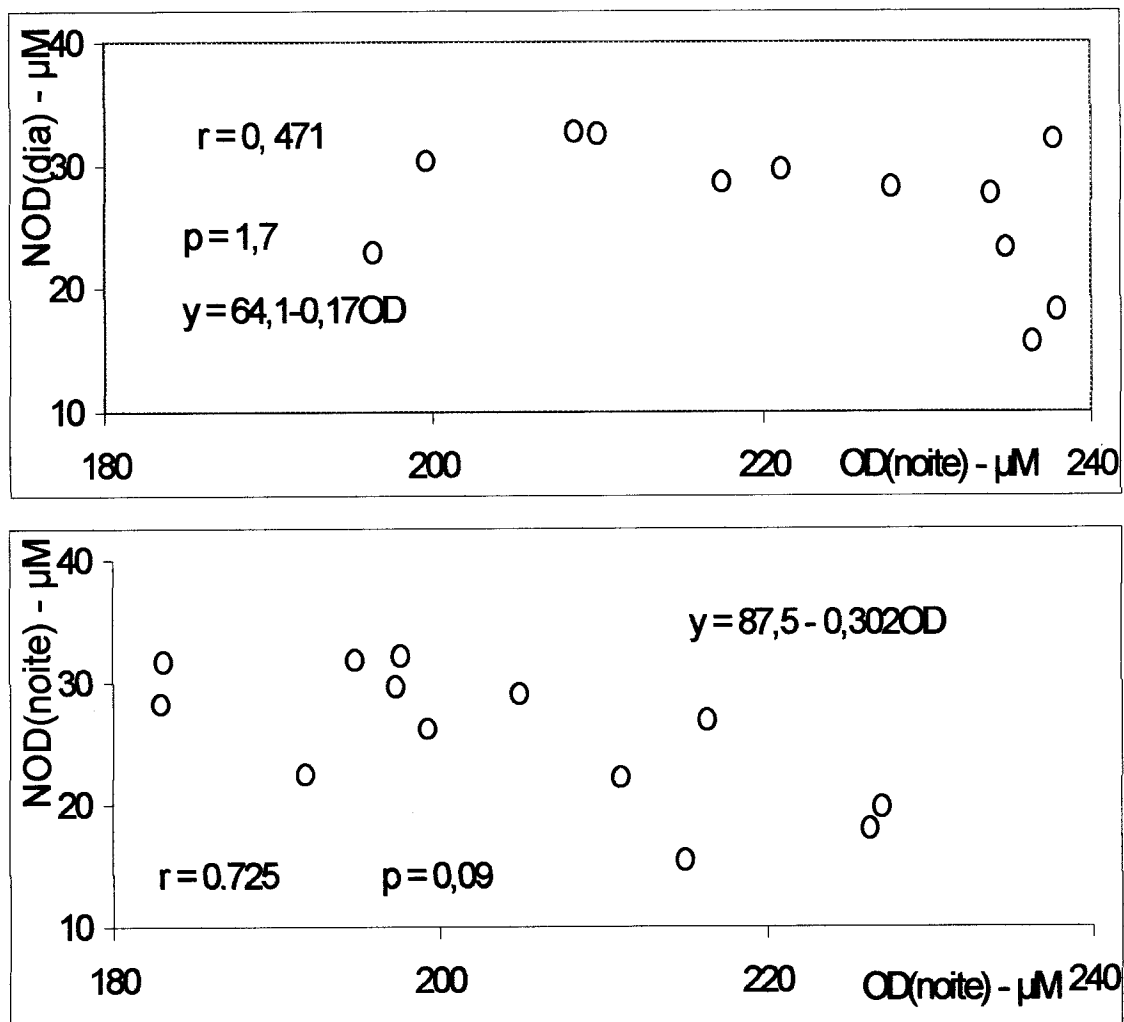


Figura 5.5 – Concentração média do NOD durante o dia e à noite em função da concentração média do OD à noite no canal de maré-igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís (MA).

A melhor correlação é obtida entre o NOD da noite com a média do OD, também, à noite comprovando a afirmação anterior de que à noite o consumo do NOD é maior que durante o dia (Figura 5.5, gráfico inferior). A atividade bacteriana dos produtores secundários consumindo NOD durante o dia e a noite pode, conseqüentemente, ser responsável por esta associação entre as concentrações média de NOD e oxigênio dissolvido. É provável que os mesmos fatores que controlam a produção primária possam, também, controlar a abundância dos produtores secundários (Dittmar, 1999).

A variação das concentrações de fosfato e de silicato, durante o ano, não apresentou correlação nem com os dados de produção primária nem com aqueles de oxigênio dissolvido. Esses dois íons, apesar das diferenças existentes entre dia e noite, não mostraram uma evidência nítida da atividade biológica no canal maré sobre suas concentrações anuais. O mais provável é que sejam afetados por processos hidrodinâmicos de velocidades de correntes e sedimentação processos fisico-químicos e geoquímicos dos sedimentos e da água intersticial.

A atividade biológica não se constituiu como um fator mais importante para as variações anuais da matéria orgânica particulada (COP, NOP e POP). A MOP está diretamente relacionada com a distribuição do material particulado em suspensão (MPS), que, por sua vez, está subordinada aos processos hidrodinâmicos como velocidades de corrente, sedimentação e aos fatores atmosféricos, entre os quais a precipitação pluviométrica. A correlação entre os dados de oxigênio dissolvido do dia ou da produção primária é muito baixa. Portanto, foi possível encontrar uma correlação entre os particulados tanto durante dia quanto à noite.

5.1.4 – Processos dentro do manguezal

Os processos biológicos, fisico-químicos e geoquímicos nos sedimentos do manguezal, entre os quais o consumo pela microflora bentônica, intemperismo e lixiviação de minerais, sorção sobre partículas, podem atuar conjuntamente na distribuição do silicato e de fosfato na água intersticial e, conseqüentemente, nas variações anuais desses íons no canal de maré. Supõe-se que algas bentônicas, abundantes nos sedimentos dos manguezais, possuem um ciclo anual de acordo com a distribuição de salinidade. Provavelmente, próximo ao fim do período chuvoso (maio a junho), com baixos valores de salinidade e o silicato disponível (liberado pelo intemperismo), se formaram as condições ideais para o crescimento e multiplicação dessas algas.

À medida que avança a estação de estiagem, a salinidade da água intersticial aumenta, consideravelmente, até atingir valores superiores a 50‰ em novembro/dezembro. Neste caso, o crescimento das diatomáceas bentônicas é cessado ou reduzido e o silicato é liberado para a água intersticial. Os dados obtidos neste trabalho mostram que as concentrações de silicato, no canal de maré Igarapé Nunca Mais, aumentaram de julho a dezembro, demonstrando que a suposição acima foi confirmada. Essa liberação de silicato a valores elevados de salinidade (>60‰) foi questionada, também, para o manguezal do Furo do Meio, Bragança-PA (Schwendenmann, 1998).

Alguns padrões de comportamento sazonal da concentração de nutrientes poderiam estar relacionados com a queda e decomposição da liteira do manguezal (Boto & Wellington, 1988). A falta de uma flutuação sazonal típica no estudo hidroquímico do canal de maré foi atribuído a não existência, no manguezal estudado, de sazonalidade na queda da liteira (Ovalle *et al.* 1990; Silva *et al.* 1998). O manguezal estudado por esses autores era constituído por *Rhizophora mangle*. Na área do Furo do Meio, Bragança-PA, constituída de *Rhizophora* e *Avicennia*, foi encontrado um comportamento similar àquela do canal de maré na baía de Sepetiba-RJ (Dittmar 1999). No manguezal Bragança-PA, a *Avicennia* mostrou uma forte sazonalidade com pico de queda da liteira em setembro coincidindo com o máximo de NID. Isso poderia indicar que a decomposição da liteira da *Avicennia* é responsável pelo aumento do NID nas águas do canal de maré. Neste caso, poderia se observar um aumento paralelo de COD, desde que este fosse rapidamente liberado das folhas do manguezal (Benner & Hodson 1985).

No canal de maré-igarapé Nunca Mais, o manguezal é formado, em grande parte, por *Rhizophora* e *Avicennia* e a queda da liteira apresenta picos de queda em março-abril e setembro-outubro (Barbieri, dados não publicados). Durante os trabalhos de campo foi observado que, em março e abril, uma grande quantidade de folhas e galhos de árvores saindo do manguezal para a região costeira. Também se observou no mês de outubro, mas com menor densidade de material.

Neste estudo, a concentração máxima de COD foi observada de maio a junho, o que poderia ter sido resultante da decomposição da liteira. Na região litorânea do estado do Maranhão não existe até o momento nenhum trabalho relacionando a queda da liteira com a matéria orgânica e os nutrientes no sedimento e a água intersticial do manguezal.

Neste estudo, as concentrações de amônio e nitrito, ao contrário do silicato, foram mais elevadas na metade para o fim do período chuvoso. Isto mostra que o consumo de nutrientes, por

macro- e microalgas associadas ao manguezal, ocorre em épocas diferentes. Também uma atividade sazonal dos caranguejos e outros consumidores da liteira pode influenciar na concentração da matéria orgânica no sedimento e de nutrientes na água intersticial.

A diminuição da concentração de NID e de fosfato na água intersticial do manguezal pode, também, ser resultante do consumo pelas árvores do manguezal. Neste sentido, está associado um decréscimo das concentrações de amônio e fosfato na água intersticial do sedimento na ilha Hinchinbrook-Australia (Alongi 1996).

Além das atividades biológicas acima mencionadas dentro do manguezal, por diferentes cadeias alimentares, os processos dinâmicos de ondas, amplitude de maré e velocidade de corrente, fazem com que o manguezal aprisione macro- e micro-partículas de áreas vizinhas e parte daquelas que retornam pelo fluxo da maré. Observou-se em campo, no período chuvoso e depositado nas praias próximas à foz do canal de maré-igarapé Nunca Mais, grande quantidade de macro-particulados (troncos, galhos, folhas). Por outro lado, nos meses de estiagem foi possível observar particulados médios e finos sobre areia nas praias vizinhas. Os processos hidrodinâmicos associados às variáveis meteorológicas locais determinaram, certamente, todos os processos biogeoquímicos nas áreas de manguezais e nos canais de maré.

5.1.5 - Resumo dos principais processos que atuam no manguezal do igarapé Nunca Mais

A observação cuidadosa das séries temporais de 24h, também chamadas de nictemerais, mostra que existem diferentes fatores controlando as variações das concentrações de nutrientes e da matéria orgânica no canal de maré. As concentrações dos nutrientes dissolvidos e da MOD sempre aumentaram durante a vazante e diminuíram durante a enchente. Isto é resultante da mistura de dois corpos de água, um costeiro, de baixa concentração, e outro, de água intersticial, mais concentrada. A água intersticial de concentração elevada, quando chega ao canal de maré, sofre a ação biológica do fitoplâncton e de fatores físico-químicos e hidrodinâmicos.

As ações bacterianas de micro- e de macro-consumidores, no manguezal e no canal de maré, podem influenciar as concentrações de longa duração, isto é, sazonais e anuais. Além disso, a atividade biológica do plâncton, no canal de maré, produz diferenças entre o dia e noite, principalmente, nos componentes nitrogenados. Os processos biogeoquímicos no manguezal conduziram a variações anuais de concentrações na água intersticial e no canal de maré, principalmente, mudanças nas concentrações de silicato e de fosfato.

Estudos realizados por Lopes (1994) no estuário dos rios Anil e Bacanga mostraram que a densidade de zooplâncton é maior durante à noite do que durante o dia. Algumas amostras coletadas durante dia e à noite do igarapé Nunca Mais foram analisadas também por Lopes (2001-comunicação pessoal), e confirmaram que existe, também, nesse igarapé, maior densidade em volume e de espécies de zooplâncton durante a noite. Por outro lado, os dados obtidos da produção primária e da clorofila “a” neste estudo contribuíram com boa parte de MOP (COP, NOP e POP), considerada como a fração não refratária da matéria orgânica total. Além da produção primária do fitoplâncton a MOP, na região estudada, pode conter uma pequena fração proveniente de macro-algas existentes e associadas ao substrato do manguezal e na planície de maré.

O material particulado em suspensão e a MOD têm seu comportamento sujeitos aos processos hidrodinâmicos de velocidade de corrente, sedimentação, ressuspensão e de precipitação pluviométrica. A produção primária contribui em menor escala com particulados, quando comparada com aquela do manguezal. Durante as marés, principalmente à de sizígia, o manguezal é completamente inundado, possibilitando a retenção e/ou liberação de macro- e micro-particulados.

Ovalle *et al.* (1990) determinaram as concentrações de nutrientes e matéria orgânica em um canal de maré, baía de Sepetiba (RJ), numa área de manguezal sem influência antropogênica nas vizinhanças, tais como agricultura ou industrialização. As concentrações encontradas neste estudo, em área também sem interferência humana, foram concordantes com àquelas dos autores mencionados, exceto para o silicato, que apresentou menores concentrações e fluxos, ligeiramente, superiores.

É difícil a comparação das concentrações de nutrientes e matéria orgânicas, em áreas de manguezais de diferentes regiões, pelo fato de terem sido utilizadas diferentes metodologias de amostragem. Isto impossibilita suposições gerais sobre o estado “nutricional” dessas águas ou áreas de manguezais, devido às concentrações variarem muito, normalmente dependendo do local de amostragem, condições de marés e de fatores meteorológicos locais.

Estudos em canais de maré podem fornecer informações valiosas sobre o ecossistema do manguezal como um todo, além do próprio canal de maré. A característica altamente dinâmica das áreas de manguezais requer uma boa resolução temporal de amostragem. Uma simples estratégia de amostragem utilizando extrapolações ou não levando em consideração a influência

de fatores hidrodinâmicos e meteorológicos locais tais como maré, precipitação pluviométrica e período de amostragem, pode conduzir a resultados aleatórios e falsas suposições e afirmações.

Uma floração excessiva de algas azuis (Cyanophyceae) foi observada no Furo do Meio, Bragança, PA (Dittmar 1999) e o número de suas células, durante alguns dias, excederam o número de $30.10^6/L$ durante a maré baixa. Essa floração contribui com mais da metade do número de células do fitoplâncton, sempre excedendo o número de células de diatomáceas, as quais foram grupos dominantes nesse canal de maré. É evidente que, nos dias dessa floração de algas azuis, a fixação do nitrogênio atmosférico desempenha um papel fundamental no ciclo de nitrogênio em canais de maré. O nitrogênio atmosférico é uma fonte adicional na formação do NOP e isto pode ser explicado pelas diferenças entre NOP, aumento do MOD e diminuição do NID durante o dia, considerando a fixação do N_2 no ciclo diário. A fixação do nitrogênio em áreas de manguezais do Sinai, por comunidades bentônicas, foi dependente da luz solar (Potts 1979).

As observações rigorosas das concentrações de NOP, NOD e NID e suas variações entre dia e noite realizadas neste estudo, no canal de maré-igarapé Nunca Mais, a fixação líquida de N_2 foi estimada como sendo em torno de $5,2mM.d^{-1}$. Além dos organismos planctônicos, diferentes comunidades bentônicas de algas foram observadas “in situ” nas áreas de planície de maré, e fixadas nas margens do canal; nos manguezais, contribuíram para essa fixação líquida do N_2 , seguindo-se da liberação para água do canal de maré de NOP provavelmente como detritos. A transformação do nitrogênio orgânico para inorgânico pelos organismos teve influência sobre a dinâmica do nitrogênio no canal de maré. A combinação da transformação biológica no processo de amonificação da matéria orgânica, seguida da nitrificação e desnitrificação pode transformar nitrogênio orgânico para N_2 e N_2O , causando perdas do nitrogênio orgânico e NID. Este último passo do processo microbiológico é a redução enzimática do nitrato para NOD e subsequentemente para N_2O em consequência da ausência do oxigênio em condições anaeróbias.

Nas condições aeróbias, ou seja, na presença de oxigênio, as bactérias bloquearam a respiração do nitrato (Stumm & Morgan 1996). Portanto, esses processos microbiológicos podem desempenhar um papel dentro dos sedimentos de manguezais, onde as condições aeróbias e anaeróbias se alteram continuamente e o uso do nitrato como receptor de elétrons pode ser uma estratégia importante de microorganismos aeróbios durante a falta de oxigênio. Mas, o nitrogênio (orgânico e inorgânico), tendo alcançado a água do canal de maré, fica exposto às condições

aeróbias e a desnitrificação, provavelmente, não foi um fator importante. Por outro lado, a nitrificação pode ser uma fonte de nitrato no canal de maré. Observando as concentrações de nitrato com o ciclo de maré e suas variações mensais, constatou-se, neste estudo, que a nitrificação foi uma fonte importante de nitrato no canal de maré-igarapé Nunca Mais.

5.2 – FLUXOS DE NUTRIENTES E DA MATÉRIA ORGÂNICA ENTRE O MANGUEZAL E AS ÁGUAS COSTEIRAS

5.2.1 – Fluxos instantâneos e as variações nictemerais dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e da matéria orgânica

O fluxo de soluto, do reservatório “águas intersticiais” do manguezal para o canal de maré-igarapé Nunca Mais, é comprovado pelas concentrações elevadas dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e MOD, neste canal, durante a maré vazante. Isso foi registrado durante os 52 ciclos de marés, tanto na quadratura quanto na sizígia. Supõe-se que isso poderia se transformar em exportação de nutrientes e MOD do canal de maré para as águas costeiras do golfo do Maranhão. Entretanto, essas concentrações foram registradas no final da maré vazante com velocidades de corrente e descargas mais baixas. As descargas mais elevadas foram medidas sob concentrações mais baixas. Conseqüentemente, o aumento das concentrações no final da maré vazante não é, necessariamente, associado com o fluxo elevado do manguezal para a região costeira.

Uma parte do material que sai do canal de maré-igarapé Nunca Mais, durante a vazante, é transportado de volta, pois com o início da maré enchente, as concentrações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e de MOD não decresceram imediatamente. Os nutrientes e a matéria orgânica são afetadas pela atividade biológica, que origina variações nictimerais e sazonais em suas concentrações. Essas mudanças modificam a simetria dos padrões de concentração relacionados entre as marés vazante e enchente e, conseqüentemente, influenciam a quantidade e o nivelamento da direção do transporte líquido diário do material.

Suposições errôneas podem ocorrer, quando se associa fluxo de água intersticial para o canal de maré com a exportação de material para a região costeira ou estuarina. Foram necessários análises e cálculos para se obter informações mais exatas sobre as trocas entre os manguezais e áreas costeiras ou estuarinas e se existe ou não exportação. Os cálculos de fluxos foram efetuados de acordo com a equação 3.3 (do capítulo 3) e discutidos a seguir. Para isso é necessário definir alguns termos:

- 1 – **Exportação** - fluxo de nutrientes saindo da área do igarapé Nunca Mais, incluindo o manguezal, para águas costeiras;
- 2 – **Importação** – fluxo de nutrientes entrando no igarapé Nunca Mais;
- 3 – **Fluxo líquido** – a soma algébrica da exportação e importação durante um ou mais ciclos de maré.

Considerou-se que a exportação ou saída como negativa e importação ou entrada para o canal de maré-igarapé Nunca Mais, como positiva.

a)-Fluxos de nutrientes e da matéria orgânica dissolvida

O fluxo de nutrientes e matéria orgânica entre o canal de maré e a região costeira do golfo do Maranhão, neste trabalho, é apresentada para os meses de abril e outubro para as marés quadratura. Devido ao comportamento similar, esse exemplo foi representativo para os fluxos de material dos outros meses, assim como a discussão e conclusões deles decorrentes. Nesse caso, foi feita a correção da descarga (Q_c), de maneira semelhante àquela realizada para os cálculos de fluxos. Essa correção, utilizando a salinidade como parâmetro conservativo, fez com que as áreas abaixo da curva de descargas fossem aproximadamente iguais para cada meio ciclo de maré.

A Figura 5.6 mostra o fluxo dos íons nitrogenados na quadratura do mês de abril/2000. Observa-se que o amônio e o nitrato apresentam maior fluxo, uma vez que representam mais de 95% do NID (anteriormente discutido). O nitrito apresenta o menor fluxo de entrada e de saída. Os picos máximos de fluxos e de descargas foram registrados 1h, aproximadamente, após o início da maré enchente. Da mesma forma, os picos dos mínimos foram, também, observados 1h após o início da maré vazante.

Essa característica, dos fluxos e descargas, está relacionada com as velocidades de correntes na quadratura, como anteriormente discutido, cujos valores variam de zero a 0,8m/s. As oscilações de maré no canal-igarapé Nunca Mais, certamente, apresentaram oscilações temporais na escalas de alguns minutos (<15minutos). Neste trabalho, em virtude da falta de um equipamento mais preciso, os dados de correntes de maré foram obtidos a cada 15minutos. Portanto, é provável que a não-existência de picos secundários, seja nos valores de fluxos, seja naqueles das descargas estejam relacionados com a resolução na obtenção desses valores de correntes.

Uma ligeira diferença foi observada no conjunto (Figura 5.6), entre o primeiro e o segundo meio ciclo de enchente e o primeiro e o segundo ciclo de vazante. Isso se deve ao fato de que o nível máximo de água no canal de maré foi observado no dia seguinte após a lua de quarto crescente ou minguante para a maré de quadratura e, um dia depois, para a maré de sizígia. As medidas das velocidades de correntes de maré e as coletas foram iniciadas nos dias de quarto (minguante ou crescente) ou no dia da lua nova ou da lua cheia e encerradas no dia seguinte quando, geralmente, as amplitudes de quadratura ou de sizígia do mês são máximas.

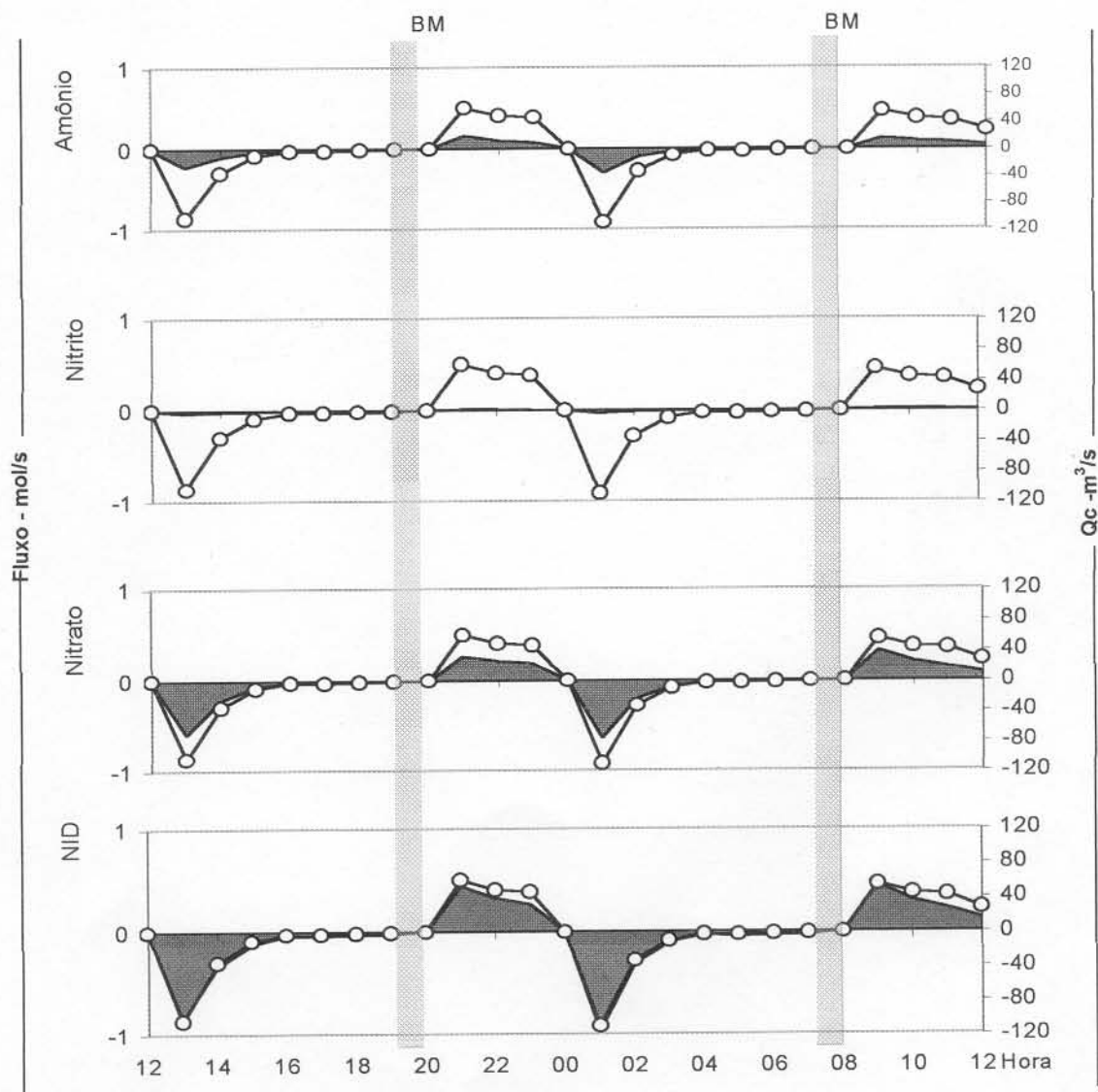


Figura 5.6 – Série temporal de 24h do fluxo do NID (área cheia) e a descarga (círculo vazio) na quadratura de abril/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luis (MA). Valores positivos na maré enchente e negativos na vazante

O nitrito apresenta menor fluxo comparado com as outras formas do nitrogênio. Além disso, observa-se uma separação entre as áreas de fluxo e a curva de descarga entre o amônio, nitrito e nitrato, enquanto que para o NID isso é quase imperceptível. Também se observa que existem poucas diferenças entre os picos de fluxos, tanto na maré enchente quanto na vazante. Esse comportamento é semelhante ao da maré de sizígia, embora com valores absolutos superiores de fluxos e de descarga (valores não mostrados).

O fosfato e silicato apresentam fluxo ligeiramente diferentes dos íons nitrogenados. Isso pode estar associado, como anteriormente discutido, com os diferentes fatores biológicos e não-biológicos, que influenciam a distribuição dos mesmos. Observa-se que tanto no fosfato quanto no silicato há um afastamento entre as áreas de fluxo e as curvas de descarga, seja na maré vazante ou na enchente (Figura 5.7). O fosfato apresenta um pico de mínimo, uma hora após o segundo meio ciclo de vazante, ligeiramente superior àquele do primeiro. Também no segundo ciclo de enchente observa-se um ligeiro patamar não visto no primeiro.

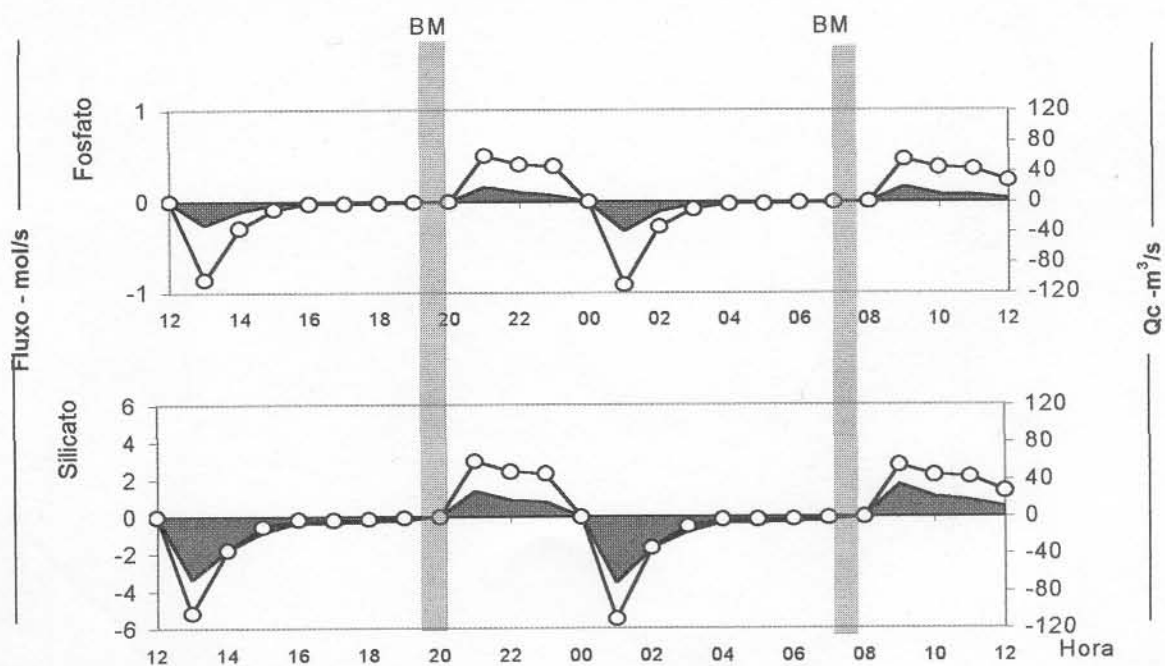


Figura 5.7 – Série temporal de 24h do fluxo do fosfato e silicato (área cheia) e a descarga (círculo vazio) na quadratura de abril/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luis (MA). Valores positivos na maré enchente e negativos na vazante

O silicato mostra um pico de fluxo, na primeira vazante, ligeiramente superior àquele do segundo ciclo de vazante. Ao contrário, a descarga apresenta, na segunda vazante, um pico superior ao da primeira. Observando-se mais cuidadosamente as curvas dos fluxos existem pequenas diferenças entre o fosfato e silicato.

Observa-se, para os nutrientes inorgânicos dissolvidos, que os fluxos nictemerais foram maiores nos meio-ciclos de maré vazante com relação àqueles da enchente. Conseqüentemente, durante a maré vazante, ocorre uma exportação desses nutrientes do canal de maré para a região costeira do golfo do Maranhão.

O fluxo nictemeral da matéria orgânica dissolvida (COD, NOD e POD) é mostrado na figura 5.8. O maior fluxo é o de COD, seguido pelo do NOD e ainda menor do POD. Assim, como se observa para os nutrientes, também se observa uma nítida separação da curva de descarga com relação às áreas dos fluxos.

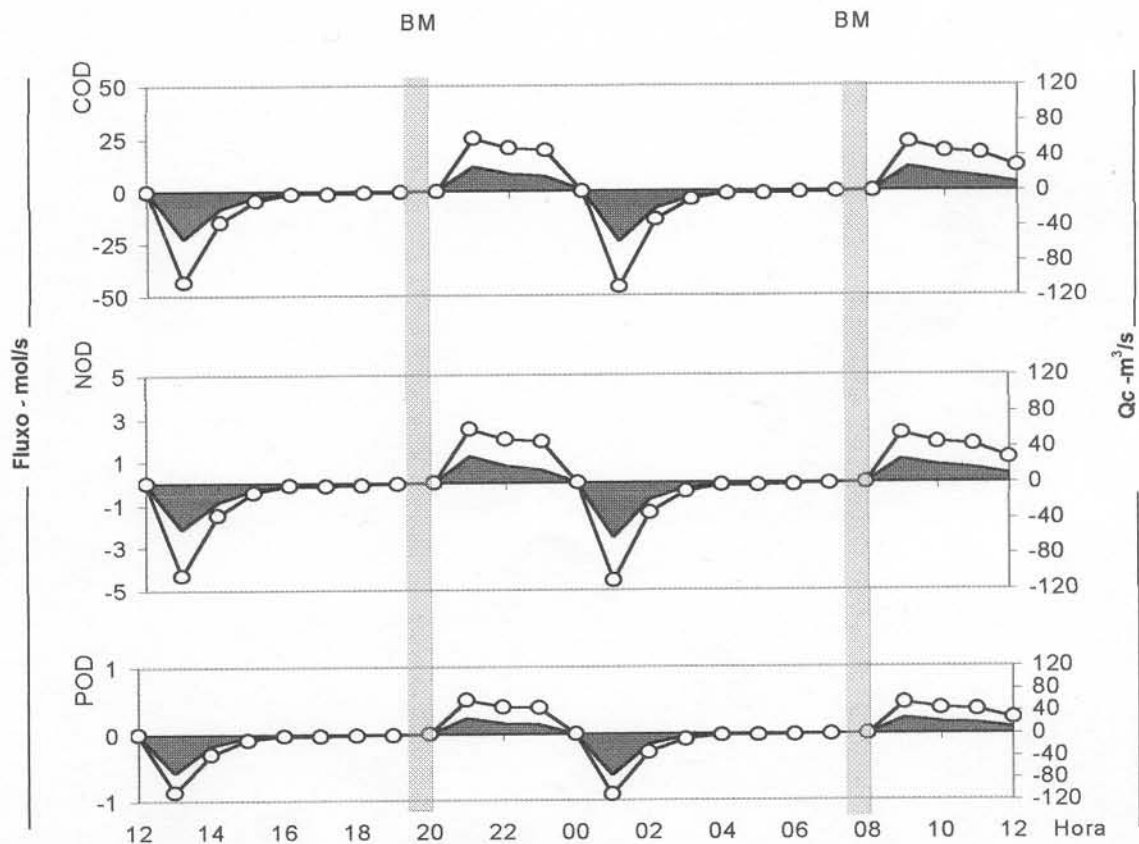


Figura 5.8 – Série temporal de 24h do COD, NOD e POD (área cheia) e a descarga (círculo vazio) na quadratura do mês de abril/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís (MA). Valores positivos durante a maré enchente e negativos na vazante.

Pequenas diferenças podem ser observadas nos picos de fluxos das espécies da matéria orgânica dissolvida. As três formas apresentam o segundo pico negativo (meio ciclo de vazante) ligeiramente superior ao primeiro ciclo. O COD e o POD mostram, durante o primeiro ciclo de enchente, o segundo pico não bem definido. A priori, pela configuração da áreas, pode-se inferir que ocorre uma exportação de MOD do canal de maré para a região costeira.

b) Fluxo da matéria orgânica particulada

A matéria orgânica particulada (COP, NOP e POP) e o MPS têm seus fluxos semelhantes aos nutrientes inorgânicos dissolvidos e a MOD. Neste caso, também, a ordem de fluxo decresce do COP para o POP (Figura 5.9).

O matéria orgânica particulada apresenta fluxo elevado e correlacionado com aquele do material em suspensão. Todos mostram, no segundo meio ciclo de vazante, fluxo maior do que o primeiro. O NOP, POP e MPS exibem pequenos picos durante o primeiro meio ciclo de enchente, que não podem ser vistos devido à falta de resolução na obtenção dos dados das velocidades conforme discutido anteriormente. A MOP particulada, além da atividade biológica de produção pelo plâncton, está associada, a outras fontes e aos processos hidrodinâmicos no canal de maré.

Existe uma diferença entre a primeira vazante (12 às 20h) e a segunda durante a noite (0 às 4h30min). Na primeira vazante, o consumo autotrófico é maior com relação à segunda e, conseqüentemente, poderia ser responsável pelas diferenças de fluxo, principalmente do nitrogênio inorgânico dissolvido. Parte do material que deixou o canal de maré, durante a primeira vazante, retornou na enchente seguinte, misturando-se com água mais concentrada, que deixa novamente o canal de maré na segunda vazante. Essa associação entre a vazante e a enchente anterior comprova a hipótese de que as águas intersticiais do manguezal carregadas para o canal de maré, durante a vazante, retornam e deixam o manguezal somente durante a vazante posterior. Logo, “esse tempo de vazante”, é provavelmente um dos fatores que governam os fluxos de NID e MOD durante um ciclo completo de maré.

Ao contrário dos nutrientes inorgânicos dissolvidos, a MOD apresenta menores concentrações durante a segunda vazante (noite). Isso deve estar relacionado com o maior consumo pelos organismos heterotróficos, tanto em nível de coluna d'água quanto no sedimento. À noite, os níveis de oxigênio diminuíram para valores inferiores ($<200\mu\text{M}$) ao de saturação devido ao maior consumo com relação ao dia.

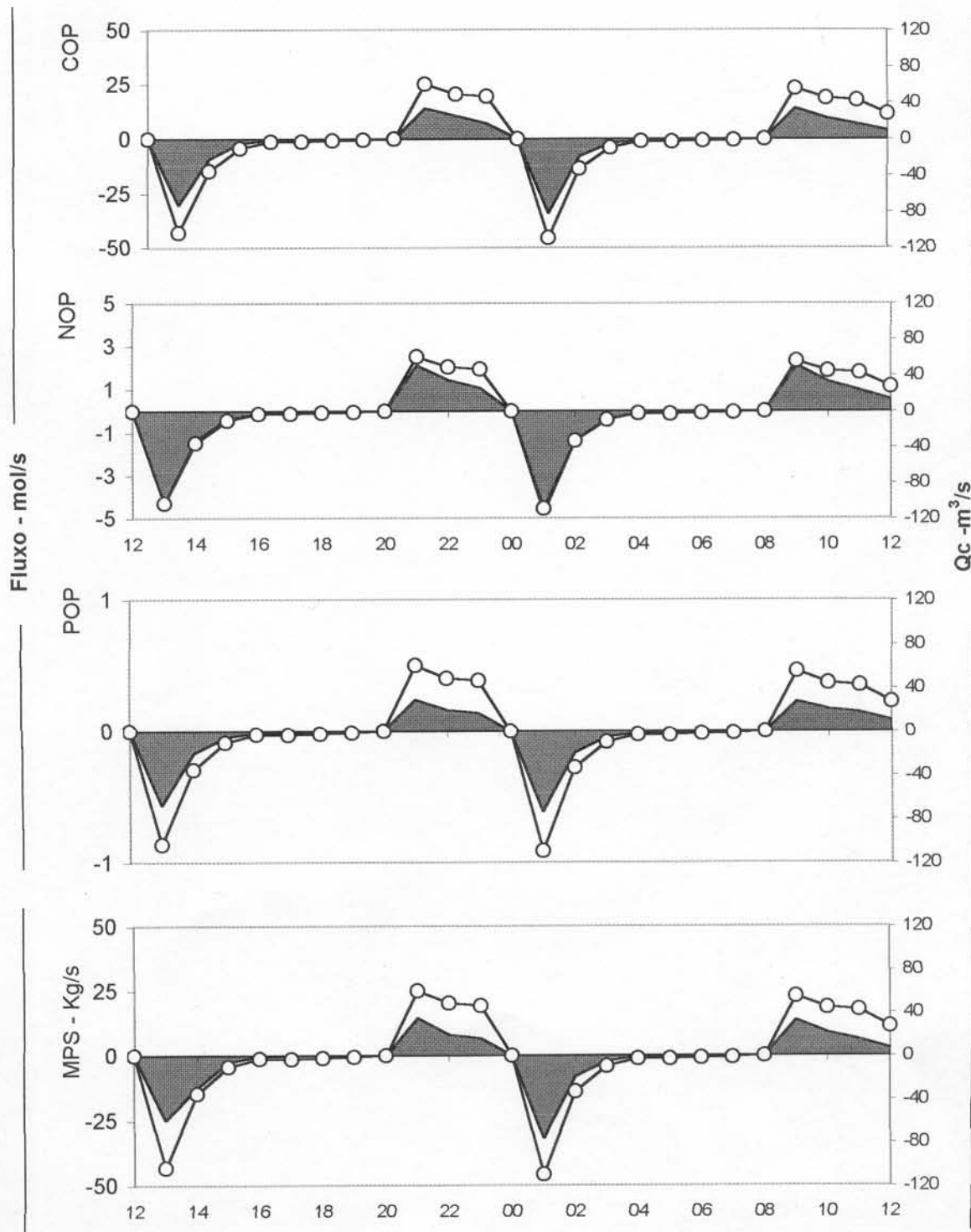


Figura 5.9 - Série temporal de 24h do COP, NOP, POP e MPS (área cheia) e a descarga corrigida (círculo vazio) na quadratura do mês de abril/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de Luís(MA). Valores positivos na maré enchente e negativos na vazante.

A literatura científica tem mostrado que a determinação de fluxos, para comprovar se os manguezais exportam ou não nutrientes e matéria orgânica, considerando somente os valores diários conduziu a suposições errôneas e suspeitas. Estudos realizados sobre fluxos de nutrientes e matéria orgânica, em manguezais, consideraram somente valores diários apesar dos importantes efeitos dos organismos autotróficos (Boto & Bunt 1981; Boto & Wellington 1988). Talvez sejam essas omissões a principal razão para algumas contradições nesse campo, afora a alta potencialidade de erros associados no método “Euleriano”, introduzidas pela inexatidão das medidas de concentração e de fluxo.

Considerando-se como exemplo apenas o fluxo bruto, de nitrato em abril/2000 somente os valores das concentrações durante o dia (7 às 18h) conduziram a valores elevados de fluxo negativo, indicando grande exportação de nitrato. Mas, se os cálculos forem efetuados durante um dia lunar (dia + noite), mostrariam que houve, em vez de exportação, uma ligeira importação de nitrato das águas costeiras para o canal de maré.

5.2.2 – Fluxos líquidos

A atividade biológica no manguezal e no canal de maré é responsável pelas variações de curta duração dos nutrientes inorgânicos dissolvidos. Essa atividade é responsável pelas variações sazonais desses compostos e, em menor evidência, pelas variações de longa duração do silicato e do fosfato. Durante o período seco a exportação de silicato foi relativamente elevada ($>25\text{mM}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) enquanto que, no período chuvoso, esse valor foi reduzido ($<15\text{mM}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$). O fosfato por sua vez, foi exportado durante todo o período de estiagem com uma média aproximada de $0,045\text{mM}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. No período chuvoso, entre dezembro/2000 e fevereiro/2001, houve uma ligeira importação de fosfato e de silicato. Isso ocorreu, simultaneamente, com diminuição na concentração desses íons no canal de maré.

A variação sazonal dos fluxos líquidos de fosfato e silicato é causada por mudanças, em geral, ocorridas nas concentrações desses íons. Durante a estação chuvosa as diferenças de concentração desses íons, apesar de não significante estatisticamente, foram em média ligeiramente menor quando comparadas com a média da estação seca. Isso indica que o decréscimo na exportação de fosfato durante o período chuvoso está associado com essas ligeiras variações das concentrações.

Na Tabela 5.1 são apresentados os fluxos líquidos durante o ano, períodos seco e chuvoso, para os íons nitrogenados, fosfato e silicato. Somente os valores com diferenças significativas são mostrados para os período anual, seco e chuvoso. As formas nitrogenadas apresentam maior evidencia nos fluxos líquidos do canal de maré para o manguezal. Isto pode estar associado às diferenças de concentrações, entre o dia e noite, do fluxo de água intersticial do manguezal para o canal de maré. Os processos físico-químicos e geoquímicos influenciaram mais acentuadamente a distribuição, de curta e longa duração, as variações de concentração de fosfato e silicato bem como seus fluxos líquidos ao longo do ano.

Tabela 5.1 – Fluxo líquido ($\text{mM.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) dos nutrientes inorgânicos dissolvidos no canal de maré –Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA). São mostrados, para os períodos seco e chuvoso, somente valores médios significativamente diferentes ($p < 0,05$, teste t)

Íon	Fluxo líquido					
	Ano (n=13)		Período.chuvoso(n=8)		Período.seco(n=11)	
Nitrito	-0,010	$\pm 0,02$	-0,04	$\pm 0,03$	0,030	$\pm 0,01$
Amônio	-0,121	$\pm 0,06$	-0,08	$\pm 0,03$	-0,040	$\pm 0,01$
Nitrato	0,061	$\pm 0,03$	-0,09	$\pm 0,04$	0,150	$\pm 0,06$
Fosfato	-0,025	$\pm 0,01$	-0,02	$\pm 0,007$	-0,006	$\pm 0,003$
Silicato	-40,035	$\pm 3,50$	-13,20	$\pm 1,25$	-27,010	$\pm 1,75$

O fluxo de nitrito mostra-se positivo no período seco e negativo no chuvoso, mas no balanço anual, houve uma pequena exportação líquida de $-0,01\text{mM.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. O nitrato apresenta um superávit entre os períodos seco e chuvoso de $0,06\text{mM.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. O íon amônio, por sua vez, mostra que houve exportação nos dois períodos acima citados. Observa-se que o amônio é responsável por grande parte da exportação do nitrogênio inorgânico dissolvido. Isto, associado com as concentrações elevadas, principalmente durante a noite, confirma que existe um fluxo do manguezal para o canal de maré e em seguida para as águas costeiras.

O fosfato e o silicato apresentam um fluxo líquido anual, respectivamente, de $-0,025$ e de $-40,35\text{mM.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. As concentrações de silicato, na água do canal de maré e nas águas intersticiais do manguezal, mostram-se superiores àquelas das águas costeiras por um fator igual ou superior a

10. Observa-se que as velocidades das correntes, durante a maré vazante, são ligeiramente superiores às da enchente. Além disso, a liberação de silicato após a decomposição das diatomáceas bentônicas, contribuiu para o maior fluxo durante o período seco com relação ao chuvoso. O fosfato, ao contrário do silicato, apresentou maior fluxo líquido no período chuvoso.

A MOD teve seu fluxo líquido, durante o ano e dois períodos já citados, influenciado pelo estoque de água intersticial rica em solutos orgânicos. Durante o período chuvoso o fluxo do manguezal para o canal de maré fez aumentar concentrações de matéria orgânica dissolvida na coluna d'água do igarapé Nunca Mais. Nesse período, o fluxo líquido de MOD para a região costeira é maior se comparado ao do período seco. O COD teve fluxo líquido anual de $-12,8\text{mM}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ e de $-7,5\text{mM}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ e $-5,3\text{mM}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, respectivamente, para os períodos chuvoso e seco. O NOD e POD apresentam, também, fluxos negativos para os períodos acima mencionados. Essas três formas da matéria orgânica dissolvida mostram um fluxo líquido maior (>50%) durante o período chuvoso. Isso pode estar relacionado com as concentrações elevadas encontradas nesse período e os processos biológicos de decomposição no canal de maré e no manguezal.

Tabela 5.2 – Fluxo líquido ($\text{mM}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) da MOD no canal de maré –igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA). São mostrados, para os períodos seco e chuvoso, somente valores médios e significativamente diferentes ($p<0,05$, teste t)

Fluxo líquido						
MOD	Ano (n=13)		Período. chuvoso (n=8)		Período. seco (n=11)	
COD	-12,82	$\pm 2,25$	-7,54	$\pm 1,33$	-5,26	$\pm 1,05$
NOD	-0,81	$\pm 0,16$	-0,53	$\pm 0,12$	-0,28	$\pm 0,08$
POD	-0,09	$\pm 0,03$	-0,06	$\pm 0,04$	-0,07	$\pm 0,02$
SHD*	-10,71	$\pm 0,86$	-6,52	$\pm 1,04$	-4,27	$\pm 0,35$

*Substâncias húmicas dissolvidas

O fósforo orgânico dissolvido apresenta menor fluxo líquido comparado com o do carbono e do nitrogênio. Nesse caso, esse fósforo orgânico é consumido, provavelmente, por organismos planctônicos ou bactérias no canal de maré; pode, ainda, ser adsorvido sobre partículas em suspensão.

As substâncias húmicas dissolvidas apresentaram, aproximadamente, 90% do fluxo líquido do COD, ou seja, $6,5$ e $4,3\text{mM}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, respectivamente, entre o período chuvoso e seco. Essas

substâncias húmicas resultam da decomposição, lenta e gradual, da matéria orgânica particulada oriunda das árvores do manguezal, e, posteriormente, é incorporada no reservatório de água intersticial.

Os fatores hidrodinâmicos e meteorológicos também contribuíram para que esse comportamento dos fluxos líquidos fosse evidenciado. No período chuvoso, por exemplo, o fluxo de solutos do reservatório de água intersticial é bastante significativo devido a um maior escoamento superficial e subterrâneo local. Ratificando essa afirmação, observa-se que, além de maiores concentrações de MOD no período chuvoso, há uma inter-relação entre essas três formas de matéria orgânica.

A matéria orgânica particulada (COP, NOP e POP) e o material particulado em suspensão apresentam comportamento semelhante durante todas as campanhas de amostragem. Isso foi, em grande parte, relacionado com os processos hidrodinâmicos de sedimentação e ressuspensão e os eventos de precipitação pluviométrica. A velocidade da corrente de maré e o nível d'água da maré, também, se apresentam compatíveis com a distribuição das concentrações dessas formas da MOP.

Observa-se que 80% do material particulado em suspensão é exportado durante o período chuvoso e o restante durante o seco, fato esse que está diretamente relacionado com a precipitação pluviométrica. Nesse período, além da contribuição do próprio manguezal, a erosão nas áreas vizinhas e marginais do canal de maré ocorre com maior intensidade carregando maior quantidade de particulados.

Tabela 5.3 – Fluxo líquido ($\text{mM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) da MOP no canal de maré – Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís (MA). São mostrados, para os períodos seco e chuvoso, somente valores médios e significativamente diferentes ($p < 0,05$, teste t)

Fluxo líquido						
MOP	Ano (n=13)		Período chuvoso (n=8)		Período seco (n=11)	
COP	-16,8	±2,25	-12,5	±1,85	-4,2	±0,9
NOP	-2,45	±0,16	-1,95	±0,12	-0,55	±0,08
POP	-1,15	±0,03	-0,82	±0,04	-0,32	±0,02
MPS*	-45,86	±2,45	-36,70	±1,85	-9,17	±0,60

* $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$

Os dados da Tabela 5.3 mostram que os fluxos da MOP foram superiores no período chuvoso (>75%) e ligeiramente maiores do que os fluxos de MOD. Portanto, no período chuvoso ocorre tanto exportação de MOD quanto de MOP. No período chuvoso certamente a precipitação pluviométrica é um dos fatores que mais influenciou devido às altas concentrações de MOP e MOD neste período.

O carbono orgânico particulado apresenta um fluxo líquido anual de $-17\text{mM}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ no Igarapé Nunca Mais. Esse valor é muito elevado quando comparado com aquele do furo do Meio em Bragança(PA) cujo valor foi de $0,74\text{mM}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ e, pouco superior àquele do canal de maré na ilha de Hinchinbrook na Austrália, com valor de $-13\text{mM}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. O NOP mostra um fluxo líquido muito superior ($-2,5\text{mM}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) àquele da Laguna Términos, México ($-0,102\text{mM}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$). O fósforo orgânico particulado apresenta um fluxo líquido anual, relativamente elevado, de $-1,15\text{mM}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ considerando que as concentrações relativamente baixas nas águas do canal de maré e costeira. Infelizmente, não foi encontrado dados, na literatura, sobre a exportação de fósforo orgânico particulado em áreas de manguezais.

O fluxo da MOP do canal de maré para a região costeira do golfo do Maranhão está associado a processos hidrodinâmicos das correntes de maré e ondas que provocam a erosão das áreas marginais e, em seguida, o transporte do manguezal para a região costeira. Durante o período chuvoso, a precipitação pluviométrica contribui com o arraste de partículas do manguezal e de áreas vizinhas.

Apesar dos recentes registros sobre a exportação de micro-particulados e nutrientes dissolvidos e matéria orgânica dos manguezais para a região costeira, somente poucos cálculos de longa duração sobre trocas quantitativas líquidas por área dessas florestas foram realizados. Para comparar dados existentes na literatura com aqueles obtidos neste estudo (Tabelas 5.1 a 5.3) e devido aos poucos estudos nesse campo, procedeu-se revisão dos dados sobre exportação de nutrientes e matéria orgânica em outras áreas de manguezais a nível mundial (Tabela 5.4). Todos os dados dessa tabela foram obtidos pela utilização do método “Euleriano” e em séries temporais de longa duração (>12 meses), exceto os dados de Ullman & Sandstrom (1987), que usou a equação de difusão de Fick. O trabalho desse autor foi realizado em uma área de manguezal e as trocas de nutrientes e matéria orgânica resultaram da intenção entre o sedimento e a coluna d’água.

Rivera Monroy *et al.* (1995a) mediram, durante 15 meses, o fluxo de material utilizando uma pluma de 12m de extensão numa borda entre o manguezal e o canal de maré. Simpson *et al.* (1997) encontraram uma grande variação de fluxo de nutrientes entre o manguezal e a água costeira no estuário Merbok Sungai (Malásia); esses autores utilizaram o método “Euleriano” e dados de longa duração, estudando as velocidades de correntes, parâmetros físico-químicos e as concentrações dos nutrientes dissolvidos. Concluíram que a troca foi equilibrada para o nitrato (dados não mostrado na Tabela 5.4).

Tabela 5.4 – Revisão da literatura sobre cálculos de fluxo líquido de material em áreas de manguezais. Fluxos em $\text{mM.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ o número em expoente indica a fonte.

Área	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	HPO_4^{2-}	Si(OH)_4	COD	NOD	COP	NOP
Klong Ngao – Tailândia ¹		+0,0075	+0,047	-0,0042	-4,00			-6,25	
Laguna Términos-México ²	+0,104		+0,016				-0,006		-0,102
I.Hinchinbrook-Austrália ³	+0,029		-0,060	-0,0010	-3,10	-0,500	+0,250	-69,00	
Baía Gramada-Austrália ⁴			+0,370	+0,0250	+0,38				
Florida-Estados Unidos ⁵						-9,25	-2,200		
Bragança, PA –Brasil ⁶	-0,160	0,0000	0,000	-0,0170	-6,00	-11,00	-0,740		

1 – Twilley (1985); 2 – Rivera Monroya *et al.* (1995a); 3 – Boto & Bunt (1981), Boto & Wellington (1988), Alongi (1996), Alongi *et al.* (1998) e Ayukai *et al.* (1998); 4 – Ullman & Sandstrom (1987); 5 – Twilley (1985); 6 – Dittmar (1999). (*valores médios, exceto de Bragança, PA).

A troca líquida de COD, estimada na baía Rookery, Florida (Twilley, 1985) foi concordante com aquela estimada em Bragança, PA (Dittmar, 1999) e os dados da ilha de São Luís, apesar das diferenças de nível de maré. A amplitude das marés entre a baía de Rookery, Bragança, e São Luís, foram de 0,55m, de 2,5 a 3,9m e de 3,5 a 5,5m, respectivamente. Contrária à Bragança e Florida, uma ligeira importação de COD foi avaliada no canal de coral Hinchinbrook-Austrália (Boto & Wellington, 1988; Ayukai *et al.* 1998). No canal Com, próximo ao coral Hinchinbrook foi calculado recentemente uma ligeira exportação líquida ($-4,8\text{mM.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) de COD (Ayukai *et al.* 1998). As diferentes descargas de água doces devem ser consideradas como um fator importante, que afeta a direção e a grandeza dos fluxos de materiais (Ayukai *et al.* 1998).

Os valores máximos de exportação de silicato calculados em Klong Ngao, Tailândia (Wattayakorn *et al.* 1990) e na ilha de Hinchinbrook (Ayukai *et al.* 1998) foram concordantes com aqueles obtidos por Dittmar (1999) em Bragança-PA. Mas, os dados calculados neste trabalho no canal de maré em São Luís-MA, para a exportação líquida de silicato do manguezal

para as águas costeiras se mostra superior aos valores máximos desses autores. As razões para tais diferenças estão na falta de dados existentes, sobre estimativas de fluxos líquidos de materiais, nessa e outras áreas de manguezais de macro-marés. Até agora não existe consenso sobre a exportação líquida de nutrientes dissolvidos e matéria orgânica. Muitas discordâncias são originadas pelas diferenças de metodologia ou das variações ambientais (amplitude de maré, morfologia, geoquímica dos sedimentos, estrutura das comunidades) entre as diferentes áreas de manguezais.

5.3– TRAÇADORES NATURAIS NO ESTUDO DA MATÉRIA ORGÂNICA

5.3.1 – Razões elementares do carbono C/N e do fósforo C/P como traçadores das fontes de matéria orgânica no MPS e no sedimento

As duas principais fontes de matéria orgânica no canal de maré-igarapé Nunca Mais são o manguezal e as águas costeiras do golfo do Maranhão. No manguezal as concentrações de MOD e MOP são elevadas e nas águas costeiras muito baixas. Durante a maré enchente, parte do particulado voltou para o igarapé fazendo com que houvesse um decréscimo de concentração até a preamar. A partir do meio ciclo da enchente as concentrações foram consideradas como das águas costeiras ou marinhas. Ao contrário, durante a vazante as concentrações diminuíram até atingir o mínimo na baixa-mar. A rigor, existem outras fontes de produção, em menor escala, de matéria orgânica oriundas do fitoplâncton, no canal de maré, e de micro- e macro-algas bentônicas e a bacteriana.

Um balanço de massa mais exato, da produção de carbono, não é objeto deste trabalho. Por essa razão considerou-se somente as duas fontes principais acima citadas. Essas fontes secundárias de matéria orgânica foram discutidas anteriormente quanto a sua importância na contribuição dos reservatórios e nos processos de reciclagem no manguezal e canal de maré. Além de identificar as principais fontes de matéria orgânica no canal de maré determinou-se a presença de substâncias húmicas dissolvidas como parte importante do reservatório da MOD.

Os valores numéricos da razão elementar do material particulado $(C/N)_p$, e dissolvido $(C/N)_d$, mostram uma variação com o ciclo de maré, entre dia e noite e as marés de quadratura e de sizígia, no igarapé Nunca Mais.

A razão $(C/N)_p$ apresenta maior variação na quadratura do que na sizígia, conforme os valores (Figura 4.15) de 3 a 8 e de 8 a 10, respectivamente, para ambas as marés. Isso mostra que

na quadratura houve uma maior amplitude de variação entre o dia e noite. Provavelmente, na quadratura, os processos de decomposição bacteriana da matéria orgânica são mais intensos do que na maré de sizígia. Essa maior decomposição, na maré de quadratura, pode estar associada a uma menor turbulência das águas do canal de maré.

A razão elementar (C/P)_p mostra uma variação diferente daquela (C/N)_p com valores na faixa de 200 a 350 na quadratura e de 300 a 725 na maré de sizígia. Neste caso, a amplitude de variação foi maior na sizígia e não na quadratura. A maior turbulência pode ser responsável por essa variação, isto é, os processos hidrodinâmicos modificaram as concentrações do fósforo particulado.

A razão elementar (C/N)_d apresenta uma variação de 9 a 14 na maré de quadratura e de 10 a 15 na sizígia, durante dois ciclos de maré. Neste caso, descartou-se a influência da turbulência sobre as variações da razão elementar na matéria orgânica dissolvida. A razão elementar (C/P)_d mostra uma variação de 375 a 580 e de 330 a 550, respectivamente, nas marés de quadratura e de sizígia. A amplitude de variação da razão (C/N)_d foi de 5 e da (C/P)_d variou de 200 a 220, indicando que os processos de decomposição da matéria orgânica do carbono e do fósforo estão interligados.

Tan *et al* (1991) consideram valores acima de 12 para a razão C/N como sendo da matéria orgânica de origem terrestre e entre 12 e 4 da produção estuarina ou de origem marinha. Uma faixa de variação (C/N= 9 a 16) semelhante a essa foi encontrada pelos autores citados anteriormente foi descrita para o estuário Tai na Inglaterra para o material particulado (Thornton & McManus 1994). Os valores obtidos para essa razão acima mencionados variaram numa estreita faixa tanto para o particulado (3 a 10), quanto para o dissolvido (9 a 14). Os valores de 3 a 8 e de 9 a 12 indicaram a origem do manguezal e, acima destes valores, a fonte marinha, respectivamente, para a matéria orgânica particulada e dissolvida.

As razões do (C/P)_p e (C/P)_d mostram que os valores entre 200 e 400 podem indicar matéria orgânica de origem terrestre ou do manguezal e valores acima desses sugerem origem marinha. Ramirez & Rose (1992) mostram que essa razão apresenta uma larga faixa de variação: a) bactérias terrestres, 43; b) animais, 78; c) fungos, 188; d) plantas, 790; e) matéria orgânica do solo, 108.

Os dados obtidos neste trabalho estão dentro dessa larga faixa de variação, citada por esses autores, para as razões (C/P)_p e (C/P)_d. Esses autores citados obtiveram valores da razão C/P

para sedimentos marinhos, fluviais e solos, variando de 140 a 170. Os dados dessa razão, para canais de maré e manguezais, ainda são poucos na literatura.

No sedimento, os dados foram obtidos somente para a razão C/N em dois pontos diferentes e nos períodos chuvoso e seco (Tabelas 4.5 e 4.6). Nos dois pontos de coleta, há uma variação de 22 a 10 para a razão C/N entre a superfície e 70cm de profundidade. Os valores na superfície do sedimento mostram que a matéria orgânica estava no processo inicial de decomposição e nos 70cm em estado mais avançado. Mostra, também, que o nitrogênio foi imobilizado, da parte intermediária para baixo, na coluna sedimentar, provavelmente, como formas orgânicas mais resistentes à decomposição bacteriana. Os valores da razão C/N nos dois pontos de coleta são mais elevados, no período chuvoso, devido a uma maior concentração de matéria orgânica oriunda do manguezal e de áreas vizinhas.

Schwendenmann (1998) encontrou valores médios, entre a superfície e 60cm, de 16,8 e 14,8 para a razão C/N na área de manguezal do Furo do Chato, Bragança, PA. Esse autor encontrou, também, valores superiores no período chuvoso (16 e 18) com relação ao seco (15). Os dados obtidos neste trabalho são, em parte, concordantes com o autor acima citado. Os baixos valores dessa razão, neste trabalho, nas camadas inferiores do sedimento, podem indicar uma pequena contribuição da matéria orgânica do manguezal ou ainda uma perda considerável desta durante os processos de sedimentação.

Vários estudos têm mostrado uma rápida perda de material durante a diagênese recente da liteira do manguezal devido a uma lixiviação passiva ou decomposição bacteriana com meia-vida de algumas semanas (Twilley *et al.* 1997; Wafar *et al.* 1997). Essa decomposição inicial da liteira está relacionada com a grande atividade de pastoreio da macro-fauna (Robertson *et al.* 1992). Uma perda de 75% do carbono orgânico inicial, em três semanas, foi obtida para o manguezal do canal de maré Furo do Meio, Bragança, PA, considerando que o nitrogênio é retido no sedimento (Dittmar *et al.* 2001).

5.3.2 – Razões isotópicas do carbono e nitrogênio no MPS e no sedimento

Pesquisadores têm estudado essas razões em sistemas estuarinos e canais de maré em várias regiões do mundo (Maritotti *et al.* 1984; Lacerda *et al.* 1986; LeBlanc *et al.* 1989; Owens & Law 1989; Tan *et al.* 1991; Cifuentes *et al.* 1996). O princípio básico é que o fitoplâncton marinho ($\delta^{13}\text{C}$ de -19 a -22‰ e de $\delta^{15}\text{N}$ de +4 a +9‰) tem razões isotópicas do carbono e de nitrogênio

diferentes plantas terrestres ($\delta^{13}\text{C}$ de -25 a -30‰ ; $\delta^{15}\text{N}$ de -3 a +5‰). Esses autores utilizaram essas razões para identificar as fontes e os processos diagenéticos envolvendo a matéria orgânica particulada. Também afirmam que apenas um traçador seria necessário para identificar as fontes de matéria orgânica num sistema estuarino. Mas, para obter informações sobre o estágio diagenético, seria suficiente se houvesse a utilização, ao mesmo tempo, de vários traçadores. Neste trabalho, utilizou-se as razões isotópicas acima mencionadas para identificar as fontes de matéria orgânica e obter informações sobre os processos de decomposição da matéria orgânica no canal de maré (igarapé Nunca Mais) em estudo.

A razão isotópica do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) no MPS do igarapé Nunca Mais mostra diferenças entre as marés de quadratura e de sizígia e, também, entre o período chuvoso e seco (Figuras 4.17 e 4.18, capítulo 4) Durante a maré vazante, os valores se apresentam mais negativos, indicando a influência da matéria orgânica do manguezal. Durante a enchente, os valores mais positivos mostram a influência marinha. Na maré de quadratura, os valores da $\delta^{13}\text{C}$ variam de -22,05 a -26,05‰ ($\Delta\delta^{13}\text{C} = -4\%$) e de -18,75 a -23,05‰ ($\Delta\delta^{13}\text{C} = -4,3\%$), respectivamente, para os meses de abril e novembro/2000. Na maré de sizígia, a variação é de -22,15 a -25,90‰ ($\Delta\delta^{13}\text{C} = -3,75$) e de -18,65 a -24,15‰ ($\Delta\delta^{13}\text{C} = -5,5\%$), respectivamente, para os meses de abril e novembro.

A maior amplitude de variação na razão isotópica do carbono no mês de novembro, na maré de sizígia, pode estar associada a um pico na variação anual da produção primária no canal de maré. As diferenças entre dia e noite foram imperceptíveis, tanto na maré de quadratura quanto na de sizígia. Nesse caso, a razão isotópica do carbono mostra as diferenças existentes entre as fontes de matéria orgânica e ainda fornece informações sobre os processos de decomposição.

Lacerda *et al.* (1986) apresentam valores dessa razão para árvores de manguezal variando de -25,15 a -27,60 e de -20,50, -20,75 e -25,53 para o MPS de origem marinha, estuarina e do manguezal na baía de Sepetiba, Rio de Janeiro. Cifuentes *et al.* (1996), no estuário de manguezal, no Equador, encontraram valores de -22 a -31‰ no MPS para a razão isotópica do carbono. Dittmar (1999) apresentou em seu trabalho no Furo do Meio, Bragança (PA), valores da $\delta^{13}\text{C}$, na matéria orgânica particulada, de -20,8, -27,4 e -28,1‰, respectivamente, para as fontes marinha, terrestre e do manguezal. Portanto, os dados obtidos neste trabalho estão dentro da faixa obtida pelos autores acima mencionados.

No sedimento do manguezal os valores da $\delta^{13}\text{C}$, nos pontos 1 e 2, observa-se diferenças maiores entre superfície e o fundo e menores entre o período chuvoso e seco. (Figura 5.10) Entretanto, a maior diferença entre a superfície e o fundo (- 22,75 a -26,75) é observada no ponto 2 e período chuvoso (abril/2000). A causa dessa variação está relacionada perda de carbono na superfície do manguezal atribuída aos processos discutidos acima para a razão C/N.

A razão isotópica do nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$, apresenta uma estreita faixa de variação no MPS nas marés de quadratura e sizígia e nos meses de abril e novembro/2000. As diferenças entre dia e noite, são, também, mínimas, mas aparecem bem diferenciadas durante o ciclo de maré, isto é, valores decrescentes durante a maré vazante e crescentes durante a enchente. A faixa de variação para essa razão é de 1,15 a 4,25‰, considerando as marés de quadratura e de sizígia e os meses de abril e novembro (Figuras 4.17 e 4.18). Considera-se que os valores próximos de 1,15‰ sejam indicadores da fonte de matéria orgânica do manguezal e de 4‰ da fonte marinha.

Honculada Primavera (1996) obteve valores da $\delta^{15}\text{N}$ em folhas de mangues variando de 1,6 a 3,8‰. Esse autor mostrou que os produtores e consumidores apresentaram uma estreita faixa de variação para essa razão: a) 0,6‰ para o fitoplâncton; b) o máximo de 3,8‰ para folhas de mangue em decomposição; e c) 6‰ para algas epifíticas. Marguillier *et al.* (1997) apresentaram valores para $\delta^{15}\text{N}$ variando de 0,15 a 2,18‰ em folhas de mangue no na baía Gazi no Kênia. Os valores para moluscos e caranguejos variaram, respectivamente, de 2,2 a 5,08‰. Nesses casos apresentados e com dados obtidos neste trabalho, pode-se afirmar que essa razão se constitui de um traçador suficiente para caracterizar as fontes de matéria orgânica em áreas de manguezais e no canal de maré objeto deste estudo.

A menor amplitude de variação da razão isotópica do nitrogênio na maré de sizígia indica uma diminuição na decomposição da matéria orgânica nitrogenada. A turbulência é um dos fatores responsáveis por esse comportamento. Também, a diluição, com a entrada de material particulado contendo menor porcentagem de organismos fitoplanctônicos da região costeira, deve ter contribuído significativamente. Além disso, a ressuspensão de algas bentônicas é muito maior durante a maré de sizígia do que na de quadratura. A superposição desses fatores certamente determinaram essa pequena variação com o ciclo de maré. Seria mais interessante, devido a uma melhor resolução temporal, que os dados dessa razão tivessem sido obtidos para todos os meses durante o período de estudo, mas infelizmente não possível devido ao custo elevado dessa análise.

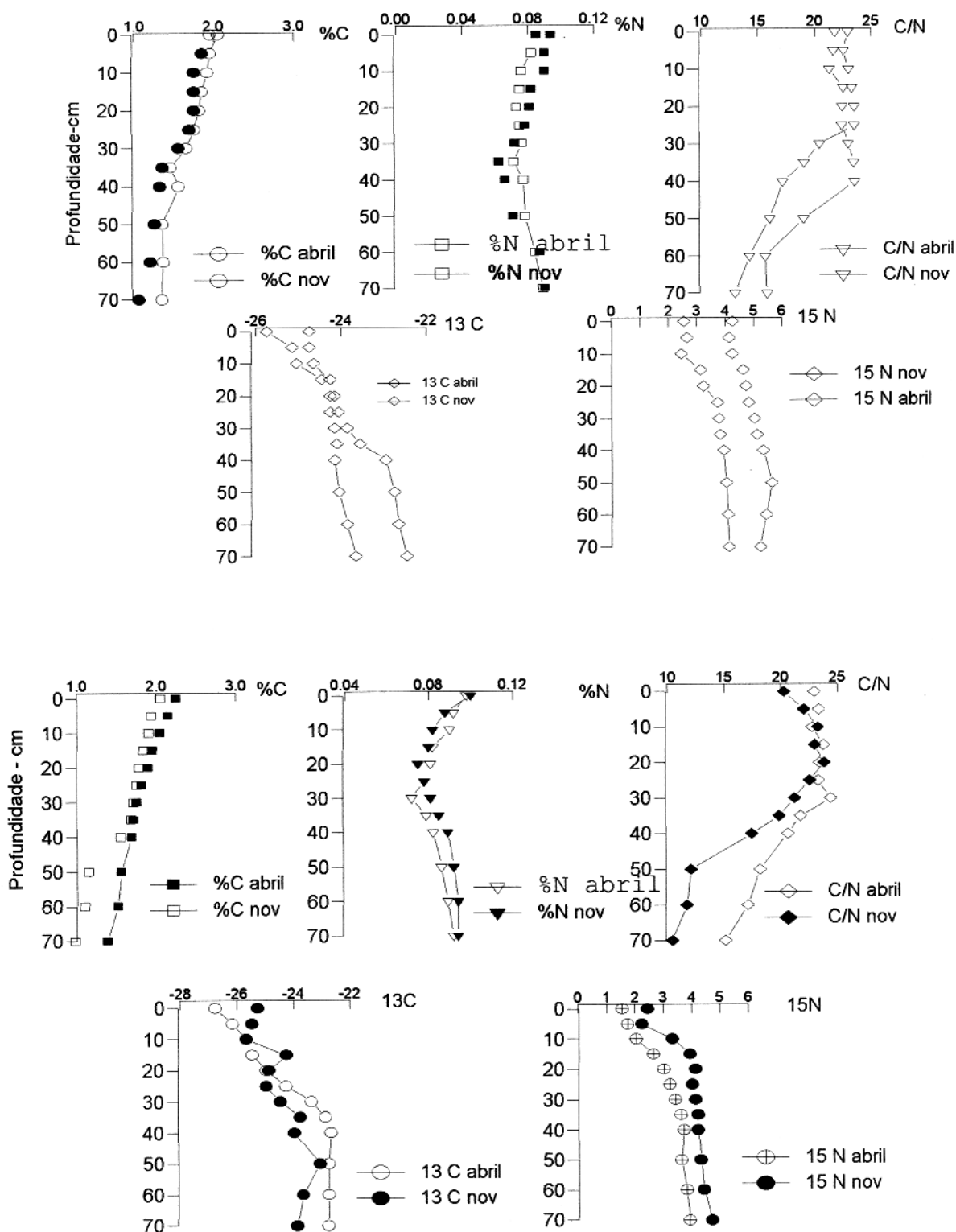


Figura 5.10 – Distribuição vertical da % C, %N, C/N e as razões isotópicas do carbono e do nitrogênio no sedimento no manguezal do igarapé. Nunca Mais, ilha de São Luís(MA). Parte superior no ponto 1 e inferior no ponto 2 de amostragem.

No sedimento do manguezal, a $\delta^{15}\text{N}$ mostra uma variação crescente com a profundidade do sedimento nos dois pontos de amostragem e entre os períodos chuvoso e seco. Os valores se apresentam menores na superfície e maiores no fundo. No ponto 1, que fica localizado na parte superior do manguezal, os valores dessa razão variam de 2,55 a 4,15‰ e de 4,25 a 5,25‰, respectivamente, nos períodos chuvoso e seco. Um aumento considerável na superfície no período seco, provavelmente, está associado com algas que colonizam, nesse período, a superfície do sedimento. No ponto 2, a variação foi de 1,55 a 3,95‰ e de 2,45 a 4,75‰, respectivamente, para os períodos chuvoso e seco (Figura 5.10). Essa variação mostra que os baixos valores na superfície nesse ponto, da razão isotópica do nitrogênio, identificaram a matéria orgânica de origem do manguezal.

Esses valores mais elevados da $\delta^{15}\text{N}$, com a profundidade, mostram que a matéria orgânica nitrogenada restante da decomposição bacteriana foi enriquecida com o isótopo mais pesado, ou seja, ^{15}N .

Discutiu-se anteriormente as mudanças de concentração entre o dia e à noite devido à influência da atividade biológica no canal de maré e no manguezal. Essa atividade biológica, certamente, influenciou as variações de curta duração das razões isotópicas. Também foram discutidas a influência da dinâmica das marés e a precipitação pluviométrica sobre a matéria orgânica particulada e dissolvida. Mostrou-se as diferenças existentes entre o período chuvoso e o período seco.

Durante o período chuvoso os valores de salinidade decresceram para 20 a 28‰, tornando as condições favoráveis para o crescimento e multiplicação das diatomáceas bentônicas e as bactérias do manguezal. A partir de julho, com o início do período seco, a salinidade aumentou até atingir entre novembro e dezembro que são seus valores máximos anuais (35 ‰ ou superior). Essa multiplicação de diatomáceas foi comprovado pelo aumento nas concentrações de silicato a partir de junho até o mês de novembro de 2000. Além disso, foi observada em campo, a floração excessiva de grande quantidade de micro- e de macro-algas verdes fixadas no sedimento e raízes do manguezal. Essa atividade biológica influencia nas variações das razões elementar e isotópicas acima discutidas.

A contribuição em termos de razão isotópica do carbono foi designada por fC e para aquela do nitrogênio de fN. Uma equação de mistura foi utilizada para diferenciar a fonte costeira daquela do manguezal:

$$\delta^{13}\text{C} = F_g\delta^{13}\text{C}_g + F_c\delta^{13}\text{C}_c \quad (\text{Equação 5.1})$$

$$\delta^{15}\text{N} = F_g\delta^{15}\text{N}_g + F_c\delta^{15}\text{N}_c \quad (\text{Equação 5.2})$$

$$F_g + F_c = 1 \quad (\text{Equação 5.3})$$

sendo F_g e F_c , respectivamente, as composições isotópicas das fontes de carbono ou de nitrogênio do manguezal e da região costeira, e $F_g + F_c = 1$. Os valores de $\delta^{13}\text{C}_g$ foram obtidos dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ do MPS durante a maré vazante e $\delta^{13}\text{C}_c$ dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ do MPS durante a maré enchente. Os valores de $\delta^{15}\text{N}_g$ e $\delta^{15}\text{N}_c$, de maneira semelhante às razões isotópicas do carbono. Considerou-se que a partir da meia-maré de vazante os dados são mais representativos da composição isotópica do manguezal e a partir de meia-maré de enchente representativos da região costeira.

Foi possível, embora se tenha utilizado o método “Euleriano”, distinguir entradas e saídas do material do manguezal e da região costeira. Anteriormente discutiu-se que as concentrações dos nutrientes e da matéria orgânica diminuíram durante a maré enchente, atingindo um mínimo na preamar e aumentaram durante a vazante até atingir um máximo na baixa-mar. Também houve variações das razões elementar e isotópicas com as marés enchente e vazante. Essas variações foram mostradas no capítulo anterior (4.6).

Nas primeiras 2 horas da maré enchente ou da vazante tem-se à mistura de material das duas fontes, manguezal e águas costeiras. Após isso, existe uma predominância de uma fonte sobre a outra, de acordo com a maré (Figura 5.11). Para se obter informações sobre as variações das razões elementar e isotópicas, durante o ciclo de maré e entre os períodos seco e chuvoso, foi calculada a fração de cada uma dessas fontes de acordo com as equações acima definidas. A seguir, serão apresentados os valores de F_g e F_c , juntamente com os dados de salinidade e nível d'água obtidos nas marés de quadratura e de sizígia nos meses de abril e novembro de 2000.

A maré de quadratura apresentou comportamento diferente entre o mês de abril e novembro/2000. Em abril, os valores de F_g e F_c na preamar (12h) indicaram que 50%, aproximadamente, pertence à fração manguezal e os outros 50% à fração costeira e, durante a vazante, esses valores evoluem de maneira contrária, quando F_g atinge o máximo na baixa-mar, F_c é mínimo. Em seguida, ambos diminuem até atingir novamente valores intermediários na preamar. Esse ciclo se repete novamente, mostrando que em abril a contribuição do manguezal é bastante significativa e que na baixa-mar a fração (F_g) de matéria orgânica do manguezal chegou a valor próximo de 100%. Em novembro, os comportamentos de F_g e F_c foram semelhantes, mas

com valores de Fg e Fc diferentes. Considerando-se o mesmo horário (12h), ou seja, na preamar, o valor de Fg foi mínimo e Fc máximo, em seguida enquanto Fc diminuiu até atingir o mínimo na baixa-mar a contribuição do manguezal (Fg) foi máxima, isto é, esses últimos valores correspondem, aproximadamente, a 50% de cada uma das fontes e, a partir daí, o ciclo se repete (Figura 5.11).

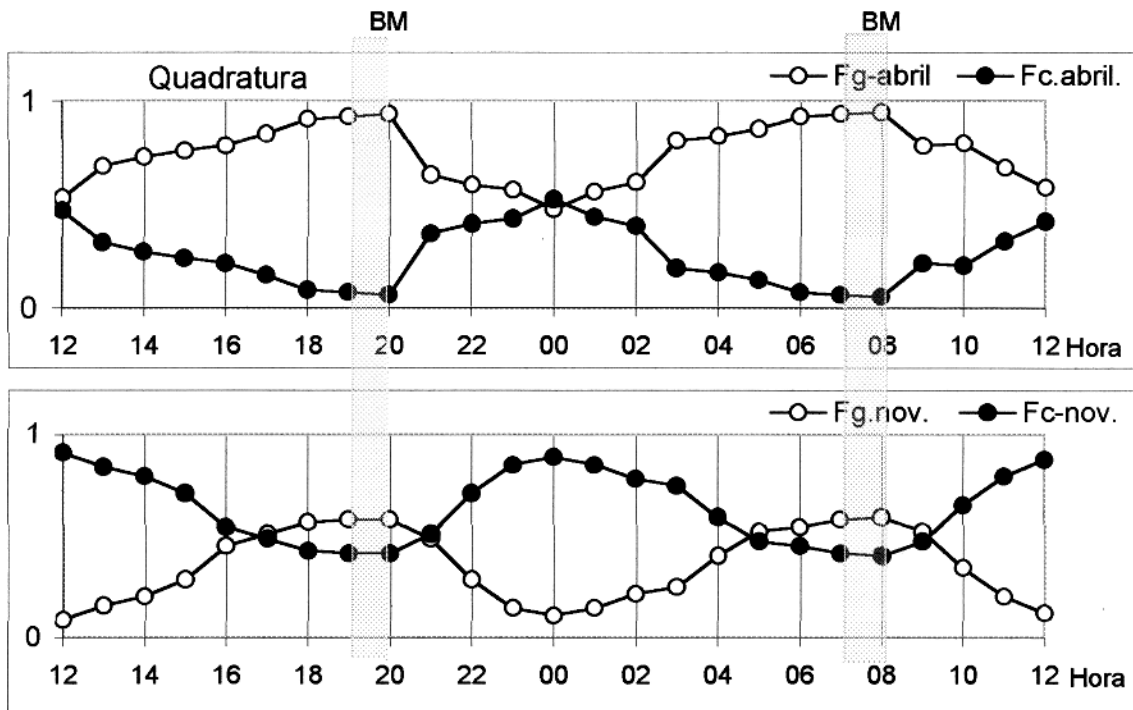


Figura 5.11 – Contribuição da fração de matéria orgânica de origem do manguezal e marinha, na maré de quadratura, para o canal de maré-igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA).

Na maré de sizígia, a preamar sempre ocorreu de manhã cedo (8h) e o comportamento das frações costeiras (Fc) e do manguezal (Fg) foram semelhantes aos da quadratura considerando sua distribuição no mesmo mês. Em abril, na preamar, (8h) Fg e Fc correspondem a 50% cada uma, em seguida Fg aumenta até atingir o máximo na baixa-mar enquanto Fc atinge o mínimo. Isso mostra que, em abril, também, na maré de sizígia, a contribuição do manguezal é predominante com relação à contribuição da matéria orgânica costeira. Em novembro, na preamar (8h,) o valor de Fc está próximo de 100% e Fg de 0%; em seguida, Fg aumenta até a baixa-mar, e Fc diminui até ambos chegarem a valores próximos de 50%. A partir daí, o ciclo se repete de maneira semelhante ao que ocorreu na maré de quadratura (Figura 5.12).

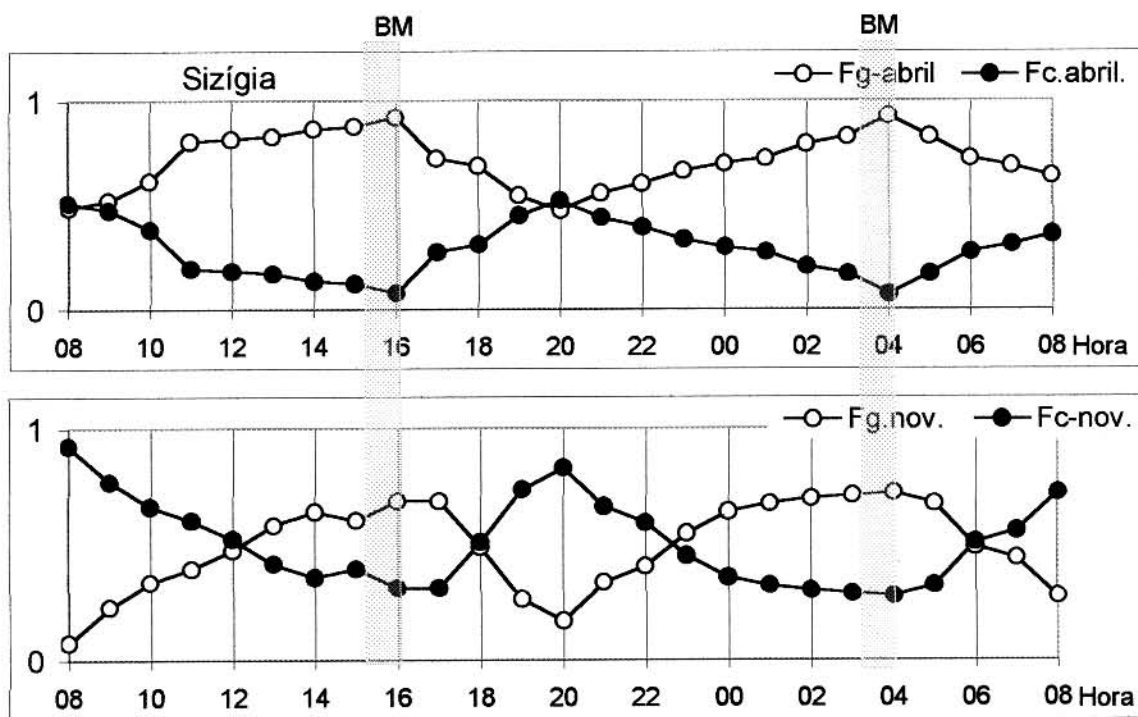


Figura 5.12 – Contribuição da fração de matéria orgânica de origem do manguezal e marinha, na maré de sizígia, igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA).

Constata-se que a fração de matéria orgânica do manguezal (Fg) é predominante no mês de abril, independente das marés de quadratura ou de sizígia, atingindo valores próximos de 100%, neste mês e na baixa-mar. Ao contrario, a contribuição da matéria orgânica costeira (Fc) mostrou valores próximos de 100% na preamar em novembro, independente, também, das marés citadas. Ocorre, ainda, uma ligeira diferença na variação das frações Fg e Fc entre o dia e à noite na maré de sizígia em novembro/2000. Não foi possível ainda encontrar uma explicação para tal comportamento, uma vez que não foi observado para o mês de abril, na maré de sizígia, nem quadratura do mesmo mês.

A fim de confirmar a contribuição da fração de matéria orgânica do manguezal (Fg) e da fração de matéria orgânica costeira (Fc), foram “plotados” os valores da razão isotópica do nitrogênio em função daquela do carbono nas marés de quadratura e de sizígia, nos meses de abril

e novembro/2000. As razões isotópicas do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) já foram anteriormente discutidas.

A dispersão dos valores dessas razões pode ser observada nas figuras 5.13 e 5.14. Na quadratura do mês de abril/2000, os valores da razão isotópica do carbono apresentaram uma variação de -22 a -26‰ se mostram bem inter-relacionados com aqueles valores da razão isotópica do nitrogênio. Em seguida, observa-se que, na quadratura do mês de novembro, esses valores foram deslocados para a direita com uma faixa de variação entre -18 a -23‰. Esses valores mais negativos da razão isotópica do carbono mostram claramente maior influência do manguezal no mês de abril e os menos negativos a contribuição da fração da matéria orgânica costeira (Fc) (Figura 5.13). Isso mostra, ainda, que em novembro, na maré de quadratura, a influência do manguezal é bem menor com relação ao mês de abril.

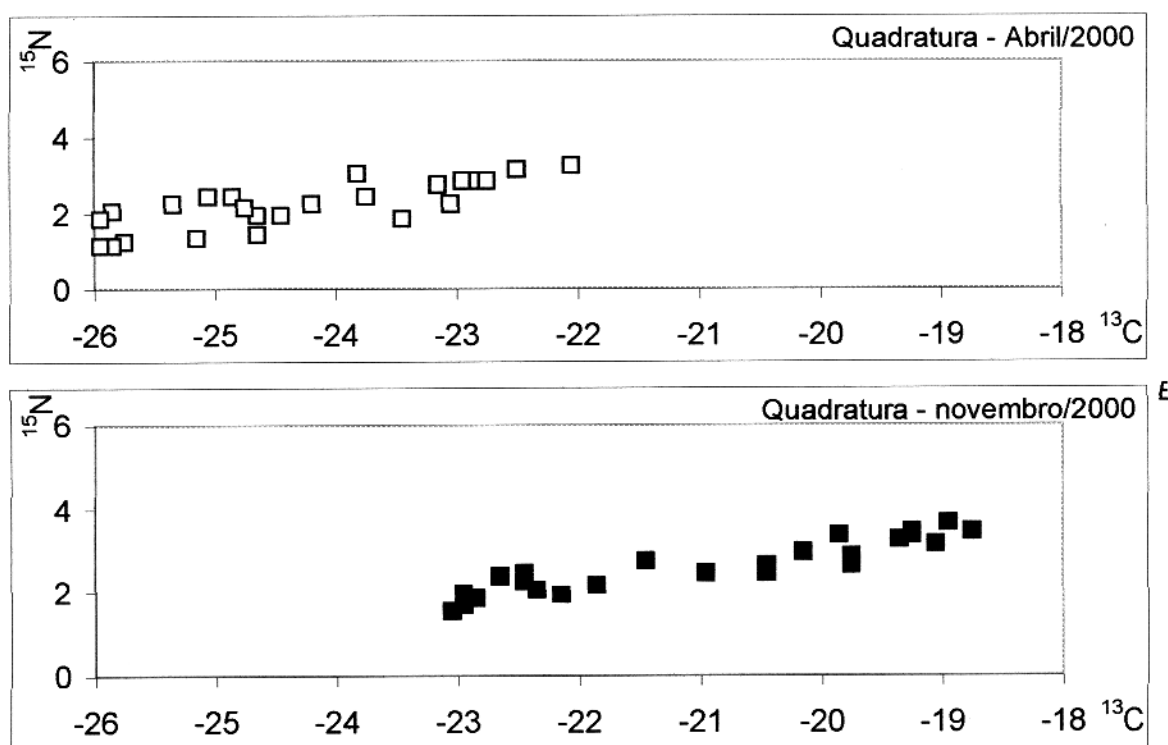


Figura 5.13 – Correlação entre as razões isotópicas do carbono e do nitrogênio na maré de quadratura nos meses de abril e novembro/2000, igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA).

Na maré de sizígia, em abril, a faixa de variação para $\delta^{13}\text{C}$ é praticamente igual àquela da quadratura. Em novembro, também, os valores das razões isotópicas do carbono e do nitrogênio apresentam uma variação ligeiramente maior, quando comparada com a quadratura de novembro.

Mas a influência marinha foi bem caracterizada pois se observa no conjunto valores de $\delta^{13}\text{C}$ menos negativos, isto é, os valores foram deslocados para o lado direito do gráfico (Figura 5.15). Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ variaram de -19 a $-24,5\text{‰}$, aproximadamente, mostrando que, na maré de sizígia, a fração da matéria orgânica do manguezal (Fg) teve uma contribuição ainda significativa. Tal fato se deve, provavelmente, de que, durante a sizígia, o manguezal é completamente inundado e com isso arrasta maior quantidade de matéria orgânica para o canal de maré. Isso, também, pode explicar a diferença de Fc e Fg na maré de sizígia, entre o dia e a noite, acima discutida.

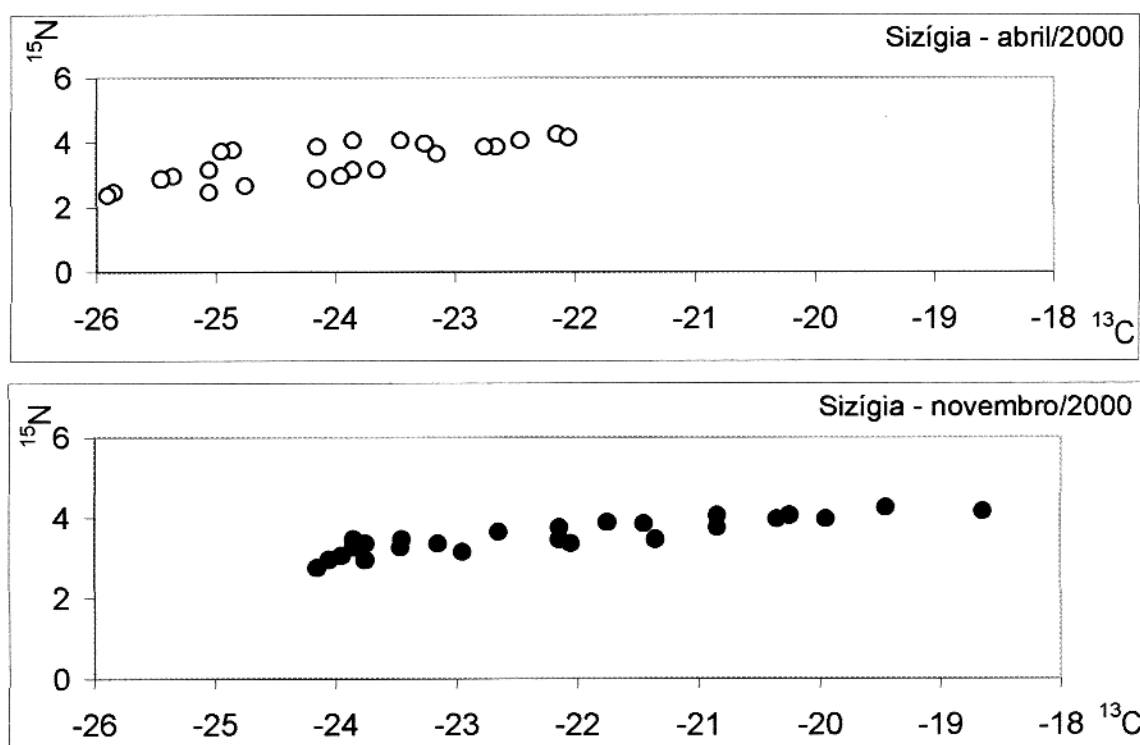


Figura 5.14 – Correlação entre as razões isotópicas do carbono e do nitrogênio na maré de sizígia nos meses de abril e novembro/2000, igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís (MA).

As correlações observadas entre as razões isotópicas do carbono e do nitrogênio, e apresentadas nas Figuras 5.13 e 5.14, mostram que os processos atuantes sobre a matéria orgânica no material particulado do canal de maré não alteram muito entre os meses indicados, isto é, a decomposição do carbono orgânico é acompanhada pela do nitrogênio orgânico.

sistema costeira e nas propriedades físico-químicos da água do canal de maré. O fluxo de material particulado, anteriormente discutido, está relacionado com os eventos de precipitação pluviométrica na região. Deve-se salientar que o fluxo de material, durante a maré enchente da região marinha ou costeira, não significa necessariamente que esse material seja somente de procedência marinha. Isso porque as áreas vizinhas podem fornecer material, sobretudo particulado, para o manguezal adjacente.

A matéria orgânica particulada e dissolvida contém uma fração considerável de substâncias húmicas mais resistentes ao ataque bacteriano. É citado por alguns autores que esse material resistente pode variar de 30 a 70% do total da matéria orgânica (Christman & Gjessing 1983). No canal de maré Igarapé Nunca Mais foi observada uma coloração amarela nas amostras dos meses de abril a setembro/2000. Discutiu-se, anteriormente, que a água intersticial do manguezal é rica em substâncias húmicas, e que as mesmas passam pelo canal de maré, sendo exportadas para as regiões mais próximas e distantes da costa (Dittmar 1999).

Neste trabalho, as amostras foram coletadas durante as marés vazante e enchente, e analisadas as substâncias húmicas dissolvidas contidas nas mesmas. Os valores foram comparados com o teor de carbono orgânico dissolvido para se obter dados em percentagem (a distribuição anual é mostrada na Figura 5.16). Os percentuais dessas substâncias húmicas, em geral, correspondem a uma fração considerável do carbono orgânico dissolvido. Na figura, o termo "outras" se refere ao material não húmico, ou seja, substâncias mais simples como carboidratos, lipídios e proteínas em conjunto. A concentração das substâncias húmicas aumentou, de 45% em abril até 72% em agosto; em seguida, diminuíram para 35% do COD em dezembro; a partir de janeiro/2001, com o início das chuvas, voltaram a aumentar a abril/2001.

O início do período chuvoso aumenta o fluxo dessas substâncias húmicas junto com a água intersticial para o canal de maré. Nesse período chuvoso, com a diminuição da salinidade, aumenta a solubilização dessas substâncias. As águas costeiras marinhas apresentam, em geral, baixas concentrações de substâncias húmicas dissolvidas. Portanto, o estudo dessas substâncias no manguezal e nos canais de maré pode dar informações sobre os processos de decomposição da matéria orgânica no sedimento do manguezal (Christman & Gjessing, 1983).

período chuvoso e a marinha, no período seco. A razão elementar C/N e as razões isotópicas do carbono e do nitrogênio, além de indicarem as fontes de matéria orgânica, são utilizadas para fornecer informações sobre seus processos de decomposição e nas relações tróficas entre produtores e consumidores.

6 – CONCLUSÕES

A exportação de nutrientes inorgânicos dissolvidos e da matéria orgânica do manguezal do Igarapé Nunca Mais (canal de maré), localizado a nordeste da ilha de São Luís, é evidenciada, neste estudo, pela interpretação de cálculos de fluxos (método “Euleriano”) e dos valores da razão elementar C/N e das razões isotópicas do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$).

Os indicativos previamente discutidos levam à constatação de que a principal via de transporte dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica dissolvida, oriundos do manguezal, é o fluxo da água intersticial das camadas superiores do sedimento para o canal de maré e, em seguida, para as águas costeiras adjacentes; esse fluxo é resultante das inundações causadas pelas marés de amplitudes mais elevadas.

Eventos tais como a precipitação pluviométrica e a dinâmica das marés são os responsáveis pelo transporte, trocas de material, ressuspensão, sedimentação e concentração de material particulado em suspensão envolvendo as águas do canal de maré e o manguezal.

Após a incorporação nas águas do canal de maré, os nutrientes inorgânicos dissolvidos e a matéria orgânica (dissolvida e particulada) são submetidos a processos físico-químicos e às atividades biológicas de decomposição e consumo; na maré vazante ocorre transporte do canal de maré para a região costeira adjacente; em seguida, com a maré enchente parte desse material, principalmente o particulado, volta para o canal de maré e o manguezal; os nutrientes inorgânicos e a matéria orgânica dissolvida, em geral, retornam sob baixas concentrações, fato esse evidenciado pela avaliação das variações nictemerais.

Durante os processos de transporte, a matéria orgânica dissolvida lábil e os nutrientes inorgânicos dissolvidos sofrem alteração em suas concentrações, alteração essa que é atribuída à atividade biológica; o amônio, por exemplo, apresentou valores mais baixos durante o dia em relação àqueles da noite em virtude do consumo dessa espécie química pelos organismos autotróficos. Os resultados analíticos apresentados levam a inferir que os processos biológicos, no canal de maré, além de serem responsáveis pelas diferentes concentrações desses nutrientes químicos, segundo o dia e a noite e a variação sazonal, mostram efeitos consideráveis sobre os fluxos entre o manguezal e as águas costeiras.

Foi evidenciado, também, que a atividade biológica e os processos físico-químicos tiveram influência considerável sobre a concentração dos nutrientes na água intersticial e na decomposição da liteira do manguezal; provavelmente, esses processos, associados às

comunidades bentônicas, controlam a retenção, a liberação e as transformações dos nutrientes e da matéria orgânica no sedimento do manguezal; além disso, parecem ter influenciado nas variações sazonal e anual, com aumento da exportação de nutrientes inorgânicos dissolvidos e a diminuição da matéria orgânica durante o período seco.

Os traçadores naturais utilizados, a razão elementar C/N e as razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, levaram à identificação de que as principais fontes de matéria orgânica, no canal de maré, são oriundos do manguezal, das águas costeiras do golfo do Maranhão e aquela resultante da produção autóctone; durante o período chuvoso, há predominância da matéria orgânica (dissolvida e particulada) provenientes do manguezal, enquanto que no período seco as fontes marinhas e autóctone são mais expressivas; os processos fotossintéticos relacionados com o fitoplâncton, no canal de maré, justificam a produção autóctone (tabela 4.8), que pode estar associada, também, à ocorrência de micro- e macro-algas bentônicas e à produção bacteriana.

A exportação da matéria orgânica dissolvida para as águas costeiras é ligeiramente superior à da matéria orgânica particulada; essa diferença estar associada a uma rápida sedimentação no trecho intermediário do canal de maré, onde a profundidade é maior do que na foz; e parte dessa matéria orgânica dissolvida é constituída, predominantemente, de substâncias húmicas, que são mais resistentes ao ataque bacteriano e, conseqüentemente, sujeitas ao transporte, pelas correntes de maré, a longas distâncias, podendo atingir as águas sobrepostas à plataforma continental interna da região costeira; constatou-se que essa exportação do manguezal para a região costeira é, na maioria dos casos selecionadas para comparação, ligeiramente superior a outros manguezais de várias regiões do mundo, destacando-se, com maior intensidade, as taxas de carbono orgânico dissolvidos, silicato e material particulado em suspensão; é perfeitamente justificável que a amplitude de maré e a precipitação pluviométrica sejam fatores relevantes nesse processo de exportação.

Os resultado obtidos ratificam a assertiva de que os manguezais contribuem de modo significativo para os reservatórios e a ciclagem dos nutrientes inorgânicos e da matéria orgânica nos ecossistemas costeiros e marinhos; tudo indica que essa fertilização (observado neste estudo) exista para todos os manguezais da costa maranhense, o que justificaria a apreciável produção pesqueira tão divulgada e conhecida; espera-se, ainda, que a exportação de nutrientes inorgânicos dissolvidos e micro-particulados dos manguezais possa sustentar as produções primária e

secundária nas águas costeiras adjacentes; é necessário, porém, mais pesquisas específicas para confirmação dessas hipóteses.

As variações anuais das concentrações de nutrientes inorgânicos e da matéria orgânica mostraram um decréscimo durante o período seco, que foram atribuídas ao menor fluxo de águas no manguezal para o canal de maré; os resultados obtidos para a produção primária mostram que no período seco o carbono orgânico de origem do fitoplâncton é superior ao comprado com aquele observado no período chuvoso; é de se supor que outros fatores, relacionados com a erosão, lixiviação dos sedimentos e a conseqüente produção de particulados, também contribuam para a diminuição do carbono oriundo do fitoplâncton durante o período chuvoso.

Os resultados obtidos também levam a inferir que a fonte primária da matéria orgânica exportada pelo manguezal é a produção resultante do metabolismo vegetal e a formação da liteira; por sua vez, o silicato e o fosfato são oriundos da liberação de componentes pela lixiviação de minerais contidos no sedimento do manguezal, notadamente durante o período chuvoso, quando foram registradas as concentrações mais elevadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONGI, D.M. 1990. Abundances of benthic microfauna in relation to outwelling of mangrove detritus in a tropical coastal region. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **63**:53 - 63.
- ALONGI, D.M. 1996. The dynamics of benthic nutrient pools and fluxes in tropical mangrove forests. *J. Mar. Res.* **54**: 123 - 148.
- ALONGI, D.M; AYUKAI, T; BRUNSKILL, G.J; CLOUGH, B.F. ; WOLANSKI, 1998. Sources, sinks, and export of organic carbon through a tropical, semi-enclosed delta (Hinchinbrook Channel, Australia) *Mangr. Salt Marsh* **2**: 237 - 242.
- ALONGI, D.M; BOTO, K.G. ; TIRENDI, F. 1989. Effect of exported mangrove litter on bacterial productivity and dissolved organic carbon fluxes in adjacent tropical nearshore sediments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **56**: 133 - 144.
- AMINOT, A. & CHAUSSEPIED, M. 1983. *Manuel des Analyses Chimiques en Milieu Marin*. CNEXO, Brest - France. 246p.
- AYUKAI, T; MILLER, D. WOLANSKI, E. SPAGNOL, S. 1998. Fluxes of nutrients and dissolved and particulate organic matter in two mangrove creeks in Northeastern, Australia. *Mangr. Salt Marsh* **2**; 223 - 230.
- BALASUBRAMANIAN, T. & VENUGOPALAN V.K. 1984. Dissolved organic matter in Pitchawaram mangrove environment, Tamil Nadu, South India. In: SOEPADMO, E. RAO A.N.; MACHINTOSH, D.J. (Eds) *Proceedings of the Asian symposium on mangrove environment: research and management*. Kuala Lumpur, University of Malaya, p. 496-513.
- BENNER, R. & HODSON, R.E. 1985. Microbial degradation of the leachable and lignocelulosic components of leaves and wood from *Rhizophora mangle* in a tropical mangrove swamp. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **23**: 221 - 230.
- BENNER, R; FOGEL, M.L.; SPRAGUE, E.K.; HODSON, R.E. 1987. Depletion of ^{13}C in lignin and its implications for stable carbon isotope studies. *Nature* **329**: 708 - 710.
- BENNER, R; HATCHER, P.G. HEDGES, J.I. 1990b. Early diagenesis of mangrove leaves in a tropical estuary: Bulk chemical characterization using solid-state ^{13}C NMR and elemental analyses. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **54**: 2003 - 2013.
- BENNER, R; KIRCHMANN, D. HODSON, R.E. 1988. Bacterial abundance and production on mangrove leaves during initial stages of leaching and biodegradation. *Arch. Hydrobiol. Beih* **31**: 19 -26.
- BENNER, R; PEELE E.R. HODSON R.E. 1986. Microbial utilization of dissolved organic matter from leaves of the Red Mangrove, *Rhizophora mangle*, in the Fresh Creek Estuary, Bahamas. *Est. Coastal Shelf Sci.* **22**: 607 - 619.

- BOTO, K.G. & BUNT, J.S. 1981. Tidal export of particulate organic matter from a Northern Australian Mangrove System. *Est. Coastal Shelf Sci.* **13**: 247 –255.
- BOTO, K.G. & ROBERTSON, A.I. 1990. The relation between nitrogen fixation and tidal exports of nitrogen in a tropical mangrove system. *Est. Coastal Shelf Sci.* **31**: 531 – 540.
- BOTO, K.G. & WELLINGYON, J. T. 1988. Seasonal variations in concentration and fluxes of dissolved organic and inorganic materials in a tropical, tidally-dominated, mangrove waterway. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **50**: 151 – 160.
- BRUNO, S.F.; STAKER, R.D.; SHARMA, G.M.; E TURNER, J.T. 1983. Primary productivity and phytoplankton size fraction dominance in temperate North Atlantic Estuary. *Estuaries* **6**: 2002-11
- CARMOUZE, J.P; GALVÃO, S.G; NISHIARA, L.; MESQUITA, H.D.L.S. 1998. Modeling chemical changes of tidal waters emerging from a mangrove forest at Cananea, São Paulo – Brazil. *Mangr. Salt Marsh.* **2**: 43 – 49.
- CHRISTMAN, R.F. & GJESSING, E.T. 1983. *Aquatic and Terrestrial Humic Materials*. Michigan Ann Arbor Science. 537p.
- CIFUENTES, L.A; COFFIN, R.B; SOLÓRZANO, L; CANDENAS, W; ESPINOZA, J.; TWILLEY, R.R. 1996. Isotopic and elemental variations of carbon and nitrogen in a mangrove estuary. *Est. Coastal Shelf Sci.* **43**: 781 – 800.
- CIFUENTES, L.A; SHARP, J.H.; FOGEL, M.L. 1988. Stable carbon and nitrogen isotope biogeochemistry in the Delaware estuary. *Limnol. Oceanogr.* **33**:1102-1115
- CLOUGH, B. 1998. Mangrove forest productivity and biomass accumulation in Hinchinbrook Channel, Australia. *Mangr. Salt Marsh.* **2**:191 – 198.
- CRAFT, C.B.; BROOME, S.W.; SENECA, E.D.; SHOWERS, W.J. 1988. Estimating of soil organic matter in natural and transplanted estuarine marshes using stable isotopes of carbon and nitrogen. *Est. Coast. Shelf. Sci.* **26**:633-641.
- De HANN, H. 1983. Use of Ultraviolet Spectroscopy, Gel Filtration, Pyrolysis/Mass Spectrometry and Numbers of Benzoate-Metabolizing Bacteria in the Study of Humification and Degradation of Aquatic Organic Matter. In: CHRISTMAN, R.F.; GJESSING, E.T. (Eds) *Aquatic and Terrestrial Humic Materials*. Michigan, Ann Arbor Science p.165-181.
- DHN 2000/2001. *Extraído das tábuas das marés para os anos de 2000 e 2001, costa do Estado do Maranhão, Porto de São Luís*. Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN, Marinha do Brasil.
- DITTMAR, T. 1999. *Outwelling of Organic Matter and Nutrients from a Mangrove in North Brazil: Evidence from Organic Tracers and Flux Measurements*. ZMT contribution 5. Center for Tropical Marine Ecology.

- DITTMAR, T.; LARA, R.J.; KATTNER, G. 2001. River or Mangrove? Tracing major organic matter sources in tropical Brazilian coastal waters. *Mar. Chem.* **73**:253 – 271.
- ERTEL, J.R.; HEDGES, J.I.; DEVOL, A.H. RICKEY, J.E. 1986. Dissolved humic substances of the Amazon Ryver system. *Limnol. Oceanogr.* **31**:739 – 754.
- FLORES VERDUGO, F.; GONZÁLES FARIAS, F.; RAMÍZES FLORES, O.; AMESCUA LINHARES, F.; YÁNES-ARANCIBIA, A.; ALVAREZ-RUBIO, M.; DAY-JR., J.W. 1990. Mangrove ecology, aquatic primary productivity, and fish community dynamics in the Teacapán-Aqua-Brava lagoon-estuarine system (Mexican Pacific). *Estuaries* **13**:319-230.
- FRY, B. & SHERR, E.B 1984. $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Bull. Mar. Sci. / Contrib. Mar. Sci.* **27**:13 – 47.
- FRY, B.; HOPKINSON Jr., C.S.; NOLIN, A.; WAINRIGHT, S.C. 1998. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ composition of marine dissolved organic carbon. *Chem.Geol.* **152**:113-118
- GERARING, J.N.; GEARING, P.J.; RUDNICK, D.T.; REQUEJO, A.G.; HUTCHINS, M.J. 1984. Isotopic variability of organic carbon in a phytoplankton-based, temperate estuary. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **48**: 1089-1098.
- GONI, M.A.; NELAON, B.; BLANCHETTE, R.A. HEDGES, J.I. 1993. Fungal degradation of wood lignins: Geochemical perspectives from CuO – derived phenolic dimers and monomers. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **57**: 3985 – 4002.
- GRASSHOFF, K.; ERHARDT, M.; KREMLING, K. 1983. *Methods of seawater analysis*. Weinheim. Verlag Chemie.
- HEDGES, J.I; CLARK, W.A COWIE, G. L. 1988. Organic matter sources to the water column and surficial sediments of a marine bay. *Limnol. Oceanogr.* **33**: 1116 – 1136.
- HEDGES, J.I; CLARK, W.A; QUAY, P.D; RICHEY, J.E; DEVOL, A.H SANTOS, U.M. 1986. Composition and fluxes of particulate organic matter in the Amazon River. *Limnol. Oceanogr.* **31**: 717 – 738.
- HEMMINGA, M.A.; SLIM, F.J.; KAZUNGU, J. GANSSSEN, G.M; NIEUWENHUIZE, J.; KRUYT, N.M. 1994. Carbon outwelling from a mangrove forest with adjacent seagrass beds and coral reefs (Gazi Bay, Kenya). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **106**: 291 – 301.
- HERTZ, R 1991. *Manguezais do Brasil*. São Paulo Universidade de São Paulo.
- HOEFS, J. 1987. *Stable isotope geochemistry*. Berlin, Springer.
- HOLINS, S. & RIDD P.V. 1997. Evaporation over a tropical tidal salt flat. *Mangr. Salt Marsh.* **1**: 95-102

- HONCULADA PRIMAVERA, J. 1996. Stable carbon and nitrogen isotope ratios of penaeid juveniles and primary producers in a mangrove in Guimaras, Philippines. *Bull. Mar. Sci.* **58**: 675 – 683.
- KATTNER, G.; LOBBES, J.M.; FITZNER, H.P.; ENGBRODT, R.; NÖTHIG, E.M.; LARA, R.J. 1999. Tracing dissolved organic substances and nutrients from the Lena River through Laptev (Arctic) *Mar. Chem.* **65**: 25-39.
- KJERFVE, B. & LACERDA, L.D. 1993. Mangroves of Brazil. 245 –272. In: LACERDA, L.D.(Ed). *Conservation and Sustainable Utilization of Mangrove Forests in Latin América and África Regions*. Part I – Latin América. Okinawa, ITTO/ International Society for Mangrove Ecosystems. p 245-272.
- KJERFVE, B. & MEDEIROS, C. 1989. Current Vanes for measuring tidal currents in estuaries. *Est. Coastal Shelf Sci.* **28**: 87 – 93.
- KJERFVE, B.; LACERDA, L.D.; DIOP, D.H.S. 1997. *Mangrove ecosystem studies in Latin America and Africa*. Paris UNESCO.
- KJERFVE, B. STEVENSON, L.H; PROEHL, J A. 1981. Estimation of material fluxes in a estuarine cross section: a critical analysis of spatial measurement density and errors. *Limnol. Oceanogr.* **26**: 325 – 335.
- KOLOREFF, F. 1969. Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue. *Count. Meet Count. Explor. Sea C.M. – ICES/C 9*.
- KOLOREFF, F. 1983 Total and organic nitrogen. IN: GRASSHOFF K.; ERHARDT M. & KREMLING K. (Eds): *Methods of seawater analysis*. Weinheim, Verlag Chemie, p.162 – 173.
- KUTNER, M.B.B 1975. Seasonal variation and phytoplankton distribution in Cananéia region, Brazil. In: WALSH, G. et al. (Eds) *Proc. Inter.Symp. and Management of Mangrove*, Oct. 8-11, 1974.
- LACERDA, L.D; ITTEKKOT, V.; PATCHINEEL, AM S.R. 1995. Biogeochemistry of mangrove soil organic matter: A comparison between Rhyzophora and Avicenia soils in southeastern Brazil. *Est. Coastal Shelf Sci.* **40**: 713 – 720.
- LACERDA, L.D.; REZENDE, C. E.; MARTINELLI, L.A; OVALLE A.R.C.; MOZETO A.; NOGUEIRA F.; VICTORIA R.L.; ARAGON G.T.; CUNHA C.T.; SILVA C.A. R. 1986. Composição isotópica de carbono em componentes de um ecossistema de manguezal na baía de Sepetiba, Rio de Janeiro. *Ciência e Cultura* **38**: 1714-1717.
- LE CORRE, P. 1983. Dosage du carbon organique particulaire. In; AMINOT, A. & CHAUSSEPIED, M.(Eds) 1983. *Manuel des Analyses Chimique en Milien Marin*. CNEXO Brest – France.

- LEBLANC, S.G.; BOURBONNIERE, R.A.; SCHWARCZ, H.P.; RISK, M.J. 1989. Carbon Isotopes and Fatty Acids Analyses of the Sediments of Negro Harbour, Nova Scotia, Canada. *Est. Coastal Shelf. Sci.* **28**: 261-276.
- LEE, K.H.; MORAN, M.A; BENNER, R. & HODSON, R.E. 1990. Influence of soluble components of red mangroves (*Rhizophora mangle*) leaves on microbial decomposition of structural (lignocelulosic) leaf components in seawater. *Bull. Mar. Sci.* **46**: 374 – 386.
- LOPES, M.J.S. 1994. Sub-projeto zooplâncton. In: LOPES, Maria José Saraiva; FERNANDES, Guacyra de Lavôr; MELO, Odilon Teixeira de. *Estudo do plâncton (fito e zooplâncton) e de Fatores Físicos e Químicos na região estuarina dos rios Anil e Bacanga, São Luís-MA*. São Luís; UFMA. FAPEMA. p.57-88.
- LUCOTTE, M.; HILLAIRE-MARCEL, C.; LOUCHOUARN, P. 1991. First-order Organic Carbon Budget in the St Lawrence Estuary from ^{13}C Data. *Est. Coastal Shelf. Sci.* **32**, 297-312.
- LUGO, A E. & SNEDAKER, S.C 1974. The ecology of mangroves. *Annual ver. Ecol. and system* **5**, 39-64.
- MACGILL, J.T. 1958. Map of coastal landforms of the world. *Geogr. Rev.* **48**:02-405
- MAIN F, . & STEINKE,T.D. 1989. Biological nitrogen fixation (acetilene reduction) associated with green alga (cyanobacterial) in the Beachwood Mangrove Nature Reserve. 1. The effect of environmental factors on acetuylene reduction activity. *S. Afr. J. Bot. Tydskr. Plantkd* **55**:38-446.
- MAIN, F.. & STEINKE,T.D. 1992. Biological nitrogen fixation (acetilene reduction) associated with decomposing *Avicennia marina* leafs in the Beachwood Mangrove Nature Reserve. *S. Afr. J. Bot. Tydskr. Plantkd* **58**:533-536.
- MAIN, F.D. & STEINKE, T.D. 1993. Biological nitrogen fixation (acetilene reduction) associated with blue-green algal (cyanobacterial) communities in the Beachwood Mangrove Nature Reserve. 2. Seasonal variation in acetylene reduction activity. *S. Afr. J. Bot. Tydskr. Plantkd* **59**: 1-8.
- MANN, K. 1982. *Ecology of coastal waters: a system approach*. Berkeley, University of Califórnia. 322p.
- MARGUILLIER, S.; VAN DER VELDE, G.; DHAIRS, F.; HEMMINGA, M.A.; RAJAGOPAL, S. 1997. Trophic relationships in na interlinked mangrove-seagrass ecosystem as tracer delta ^{13}C and delta ^{15}N . *Mar. Ecol. Progr. Ser.* **151**: 115 – 121.
- MARIOTTI, A; LANCELOT, C.; BILLEN, G. 1984. Natural isotope composition as a tracer of origin for suspended organic matter in the Scheldt estuary. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **48**: 549-555.

- MARTINOTTI, W.; CAMUSSO, M.; GUZZI, L.; PATROLECO, L.; PETTINE, M. 1997. C, N and Their isotopes in suspended and sedimented matter from the PO estuary (Itália). *Water Air and Soil Pollution* **99**: 325-332.
- MATSUI, N. 1998. Estimated stocks of organic carbon in mangrove roots and sediments in Hinchinbrook Channel, Australia. *Mangr. Salt. Marsh.* **2**: 199 – 204.
- MAZDA,, Y. YOKOCHI H.; SATO, Y. 1990. Groundwater flow in the Bashita-Minato mangrove area, and its influence on water and bottom sediments. *Est. Coastal Shelf. Sci.* **31**: 621-638.
- MEDINA, R. & FRANCISCO, M. 1997. Osmolality and $\delta^{13}\text{C}$ of leaf tissue of mangrove species from environments of contrasting rainfall and salinity. *Est. Coastal Shelf Sci.* **45**: 337 – 344.
- MIDDELBURG, J.J.; NIEUWENHUIZE, J.; LUBBERTS, R.K.; VAN DE PLASSCHE, O. 1997. Organic Carbon Isotope Systematics of Coastal Marshes. *Est. Coastal Shelf. Sci.* **45**:681-687.
- MINAGAWA, M. & WADA, E. 1984. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **48**: 1135-1140
- MORAN, M.A & HODSON, R.E. 1994a. Dissolved humic substances of vascular plant origin in a coastal marine environment. *Limnol. Oceanogr.* **39**: 762 – 771.
- MORAN, M. A & HODSON, R.E 1994b. Support of bacterioplankton production by dissolved humic substances from three marine environments. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* **110**: 241 – 247.
- MORAN, M.A; POMERO, Y L.P. SHEPPARD, E.S. ATKINSON, L.P.; HODSON, R.E. 1991a. Distribution of terrestrially derived dissolved organic matter on the southeastern U.S. continental shelf. *Limnol. Oceanogr.* **36**: 1134 – 1149.
- MORAN, M.A; WICKS, R.J. ; HODSON, R.E. 1991b. Export of dissolved organic matter from a mangrove swamp ecosystem: Evidence from natural fluorescence, dissolved lignin phenols, and bacterial secondary prodction. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* **76**: 175 – 184.
- MORELL, J.M. & CORREDOR, J.E. 1993. Sediment nitrogen trapping in a mangrove lagoon. *Est. Coastal Shelf Sci.* **37**: 203 – 212.
- NEDWELL, D. B; BLACKBUM, T.H. ; WIEBE, W. J. 1994. Dynamic nature of the turnover of organic carbon , nitrogen and sulphur in the sediments of a Jamaican mangrove forest. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* **110**: 223 – 231.
- NEILSON, M. J. & RICHARDS, G. N. 1989. Chemical composition of degrading mangrove leaf litter and changes produced after consumption by mangrove crab *Neosarmatium smithi* (Crustacea: Decapoda: Sesarmidae). *J. Chem. Ecol.* **15**: 1267 – 1284.

- NIXON, S.W. & PILSON, M.E. Q. 1983. Nitrogen estuarine and coastal marine ecosystems. In: CARPENTER, E.J. & CAPONE, D.G. (Eds): *Nitrogen on the Marine Environment*. N. York, Academic Press. p. 565 – 649.
- ODUM, E.P. & HEALD, E. J. 1975. The detritus bases food web of na estuarine mangrove community. In: CRONIN, L.E. (Ed): *Estuarine Research*. New York, Academic Press. P. 265 – 286.
- OGAWA, N. & OGURA, N. 1997. Dinamics of Particulate Organic Matter in the Tamagawa Estuary and Inner Tokyo Bay. *Est. Coastal Shelf Sci.* **44**: 262-273.
- OLAUSSON, E. & CATO, I. 1980. *Chemistry and biogeochemistry of estuaries*. New York. Wiley p 254-396.
- OVALLE, A. C. R; REZENDE, C.E; LACERDA, L.D.; SILVA, C. A. R. 1990. Factors affecting the hydrochenustry of a mangrove tidal creek, Sepetiba Bay, Brazil. *Est. Coastal Shelf Sci.* **31**, 639 – 650.
- OWENS, N.J.P. & LAW, C.S. 1989. Natural Variations in ¹⁵N Content of Riverine na Estuarine Sediments. *Est. Coastal. Shelf. Sci.* **28**: 407 – 416.
- PALING, E. & MCCOMB, A.J. 199 4. Cyanobacterial mats: A possible nitrogen source for arid-coast mangroves. *Int. J. Ecol. Environ. Sci.* **40**: 47-54.
- POTTS, M. 1979. Nitrogen fixation (acetylene reduction) associated with communities if heterocystous and non-heterocystous blue-green algae in mangrove forests of Sinai. *Oecologia* **39**: 359 – 373.
- RAMIREZ,, A.J. & ROSE A.W. 1992. Analytical geochemistry of organic phosphorus and its correlation with organic carbon in marine and fluvial sediments and soils. *Am. J. Sc.* **292**:421-454.
- RAO, R.G. WOITICHIK, A.F. GOEYENS, L. VAN RIET, A. KAZUNGU,J. ; DEHAIRS, F. 1994. Carbon, nitrogen contents and stable carbon isotope abundance in mangrove leaves from east African coastal lagoon (Kenya). *Aquat. Bot.* **47**: 175 – 183.
- REZENDE, C.E; LACERDA, L.D; OVALLE, A. R. C. SILVA, C A R ; MARTINELLI, L.A. 1990. Nature of POC transport in a mangrove ecosystem: A carbon stable isotopic study. *Est. Coastal Shelf Sci.* **30**: 641 – 645.
- RIVERA MONROY, V. H. & TWILLEY, R. R . 1996. The relative role of denitrification and immobilization in the fate of inorganic nitrogen in mangrove sediments Terminos Lagoon, Mexico. *Limnol. Oceanogr.* **41**: 284 – 296
- RIVERA MONROY, V. H.; DAY, J. W.; TWILLEY, R. R.; VERA HERRERA, F. ; CORONADO MOLINA, C. 1995a Flux of nitrogen and sediment in a fringe mangrove forest in Terminos Lagoon. Mexico. *Est. Coastal Shelf. Sci.* **40**:139 – 160.

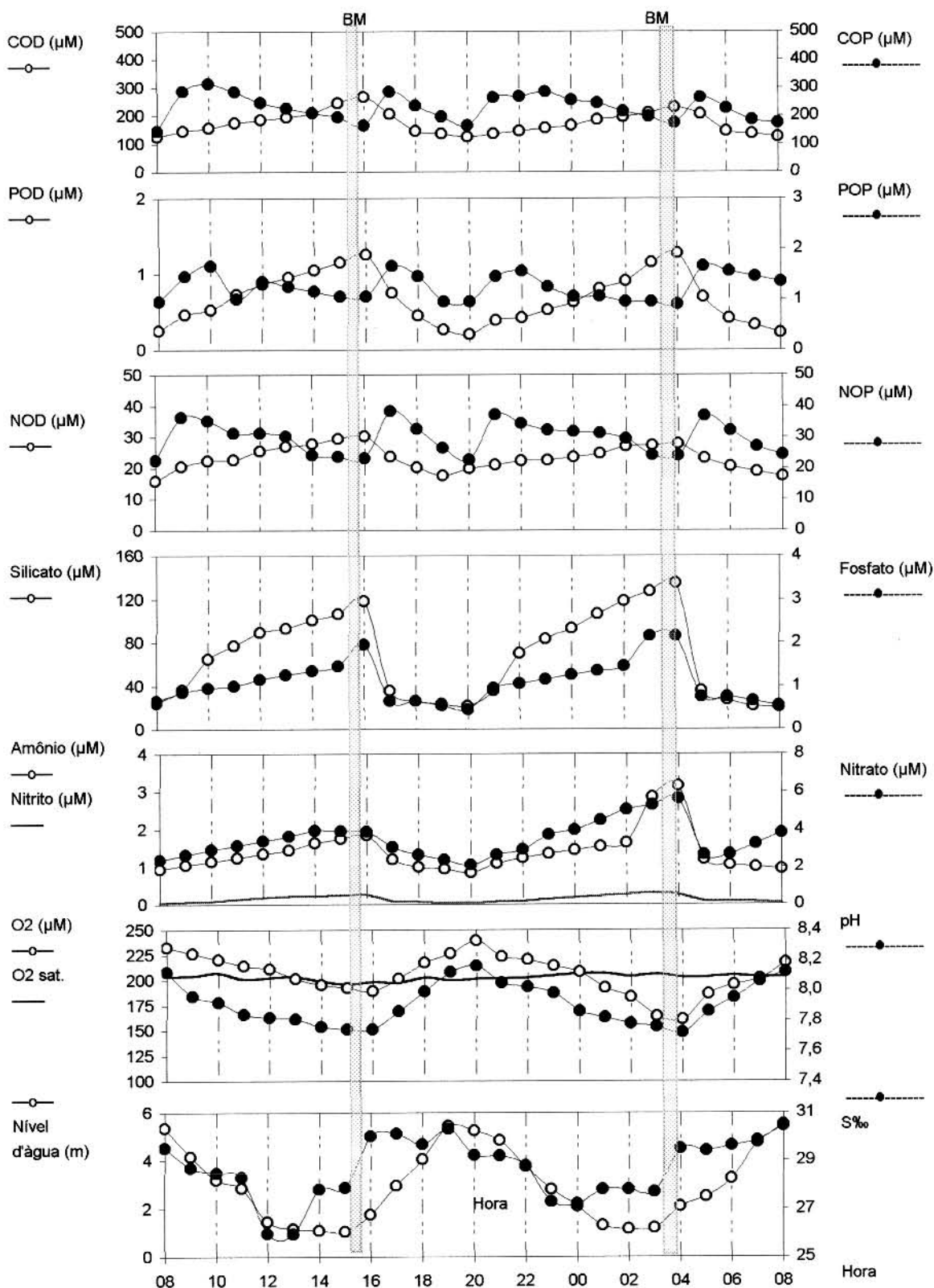
- RIVERA MONROY, V.H; TUWILLEY, R. R; BOUSTANY, R.G; DAY, J.W. VERA HERRERA, F. ; DEL CARMEN RAMUREZ, M. 1995b. Direct denitrification in mangrove sediments in Terminos Lagoon, Mexico. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* **126**: 97 – 109.
- ROBERTSON, A. I. ALONGI, D. M. ; BOTO, K G. 1992. Food chains and carbon fluxes. In: ROBERTSON, A.I. & ALONGI, D.M. (Ed): *Tropical Mangrove Ecosystems (Coastal and Estuarine Series, 41)*. Washington, American Geophysical Union, p 193 – 326.
- RODELLI, M.R; GEARING, J.N; GEARING, P.J; MARSHAL N. ; SASEKUMAR, A. 1984. Stable isotope ratio as a tracer of mangrove carbon in Malaysian ecosystems. *Oecologia* **61**: 326 – 333.
- SAINO, T. & HATTORI, A . 1980. ^{15}N natural abundance in oceanic suspended particulate matter. *Nature* **263**: 752-754.
- SCHWENDENMAN, L. 1998. *Tidal and seasonal variations of soil and water properties in a Brazilian mangrove ecosystem*. University of Karlsruhe. (MSc. Thesis)
- SESSEGOLO, G. C & LANA, P.C. 1991. Decomposition of *Rhizophora mangle*, *Avicennia schaueriana* and *Lacuncularia racemosa* leaves in a mangrove of Paranagua Bay, (southeastern of Brazil). *Bot. Mar.* **34**: 385 – 389.
- SHANMUKHAPPA, H. & NEELAKANTAN, K. 1989. Concentration of humic acids in mangrove habitat of Karwar, west coast of India. *Indian J. Mar. Sci.* **18**: 284-285.
- SHOLKOVITZ, E. R. 1976. Flocculation of dissolved organic and inorganic matter during of river water and seawater. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **40**: 367 –375.
- SHULTZ, D.J. & CALDER, J.A. 1976. Organic carbon $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ variations in estuarine sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **40**: 381 – 385.
- SILVA, C. A. R. & SAMPAIO, L.S. 1998. Speciation of phosphorus in a tidal foodplain forest in the Amazon estuary. *Mangr. Salt Marsh.* **2**: 51 – 57.
- SILVA, C A R; MOZETO, A. A. ; OVALLE, A. R. C. 1998. Distribution and fluxes as macrodetritus of phosphorus in red mangroves. Sepetiba Bay, Brazil. *Mangr. Salt Marsh.* **2**: 37 – 57.
- SIMPSON, J.H. GONG, W. K. ; ONG J.E. 1997. The determination of the net fluxes from a mangrove estuary system. *Estuaries* **20**: 103 –109.
- STUMM, W. & MORGAN, J.J. 1996. *Aquatic Chemistry*. New ,York Wiley .
- TAN, F.C.; CAI D.L.; EDMOND, J.M. 1991. Carbon Isotope Geochemistry of the Changjiang Estuary. *Est. Coastal Shelf Sci.* **32**: 395-403.

- TEIXEIRA, C.; ARANHA, F.J.; BARBIERI, R.; MELO, O.T. 1988. Produção Primária do Fitoplâncton e Parâmetros Físico-químicos do estreito dos Coqueiros Maranhão, Brasil. *Rev.Brasil.Biol.* **48**: 29-39.
- TEIXEIRA, C. TUNDISI, J. ; KUTNER, M.B. 1965. Plankton studies in a mangrove environment II. The standing stock and some ecological studies. *Bol Inst. Oceanogr. USP* **14**:13 –42.
- TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J. ; SANTORO, J.Y. 1969. Plankton studies in a mangrove environment. VI. Production primary, zooplankton standing-stock and some environmental factors. *Int. Ver. Ges. Hydrobiol.* **54**:59-92
- THIBODEAU, P.M; GARDNER, L. R. ; REEVES, H. W. 1998. The role of groundwater flow in controlling the spatial distribution of soil salinity and rooted macrophytes in a southeastern salt marsh. USA. *Mangr. Salt Marsh.* **2**: 1 – 13.
- THORNTON, S.F. & MACMANUS, J. 1994. Application of Organic Carbon and Nitrogen Stable Isotope and C/N Ratios as Source Indicators of Organic Matter Provenance in Estuarine Systems: Evidence from the Tay Estuary, Scotland. *Est. Coastal Shelf Sci.* **38**: 219-233.
- THURMAN, E. M. 1985. *Geochemistry of natural waters*. N. York. Wiley.
- THURMAN, E.M. & MALCOLM, R.L. 1981. Preparative isolation of aquatic humic substances. *Environ. Sci. & Technol.* **15**: 463-466
- TUNDISI, J.G.; TEIXEIRA, C. ; TUNDISI, T.M.; KUNTER, M.B.B. ; KINOSHITA, L. 1978. Plankton studies in a mangrove environment. IX. Comparative investigation with coastal oligotrophic waters. *Rev. Brasil. Biol.* **38**: 301-320.
- TWILLEY, R. R. 1985. The exchange of organic carbon in basin mangrove forest in a southwestern Florida estuary. *Est. Coastal Shelf Sci.* **20**: 543 – 557.
- TWILLEY, R. R.; POZO, M. GARCIA, V.H. RIVERA MONROY, V.H. ZAMBRANO, R. ; BODERO, A. 1997. Litter dynamics in riverine mangrove forests in the Guayas River estuary, Ecuador. *Oecologia* **111**: 109 – 122.
- ULLMAN, W.J. & SANDSTROM, M.W. 1987. Dissolved nutrient fluxes from the nearshore sediments of Bowling Green Bay, Central Great Barrier Reef Lagoon, Australia. *Est. Coastal Shelf Sci.* **24**: 289 – 303.
- VAN DER VALK, A. & ATTIWILL, P.M. 1984. Acetylene reduction in na *Avicennia marina* community in southern Austrália. *Aust. J. Bot.* **32**: 157-164
- WADA, E.; MINAGAWA, M.; MIZUTANI, H.; TSUJI, R. IMAIZUMI, R. KARASAWA, K. 1987. Biogeochemical studies on the Transport of Organic Matter along the Otsuchi River Watershed., Japan. *Est. Coastal Shelf Sci.* **25**:321-336.

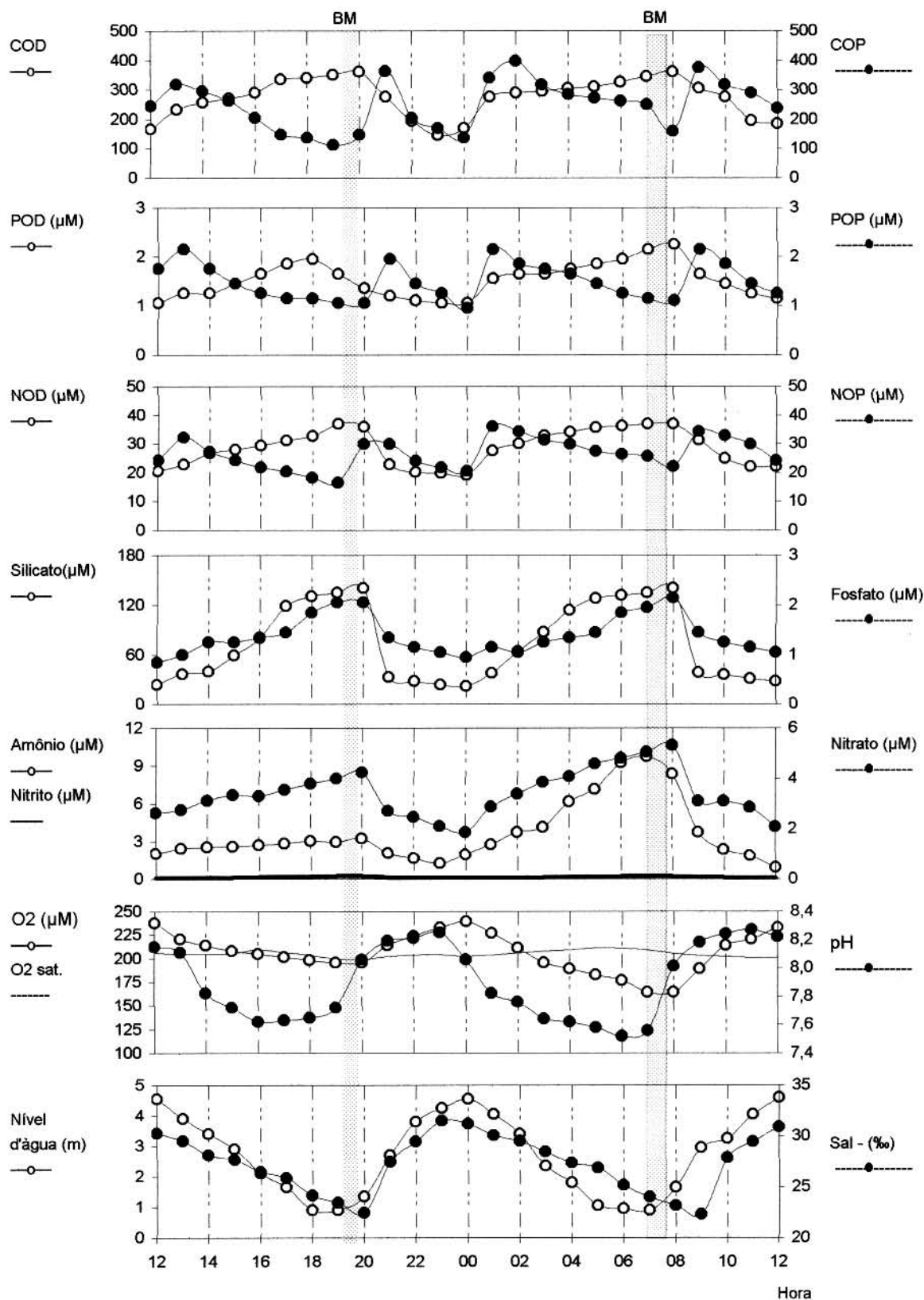
- WAFAR, S.; UNTAWALE, A G ; WAFAR, M. 1997. Litter fall and energy flow in a mangrove ecosystem. *Est. Coastal Shelf Sci.* **44**,: 111 – 124.
- WATTAYAKORN, G. WOLANSKI, E ; KJERFVE, B. 1990. Mixing, trapping and outwelling in the Klong Ngao mangrove swamp, Thailand. *Est. Coastal Shelf Sci.* **31**: 667 – 688.
- WOLANSKI, E. 1992. *Hydridynamics of mangrove swamps and their coastal waters*. The ecology of mangrove and related ecosystems, Mombasa (Kenya), 24-30 Sep. 1990, 141-161.
- WOLANSKI, E. JONES, M. ; BUNT, J.S. 1980. Hydrodynamics of a tidal creek mangrove swamp system. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* **31**: 431 – 450.
- WONG, W.W. & SACKETT, W. 1978. Fractionation of stable carbon isotopes by marine phytoplankton. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **42** : 1809-1815.
- WOODROFFE, C. 1992. Mangrove sediments and geomorphogy. In: ROBERTSON, A.I & ALONGI, D. M. (Ed): *Tropical Mangrove Ecosystems, Coastal and Estuarine Studies 41*. American Geophysical Union, Washington DC. 7 – 41.
- ZIEMAN, J.C. MACKO, S A ; MILLS, A L. 1984. Role of seagrass and mangroves in estuarine food webs: temporal and spatial changes in stable isotope composition and amino acid content during decomposition. *Bull. Mar. Sci.* **35**: 380 – 392.

ANEXOS

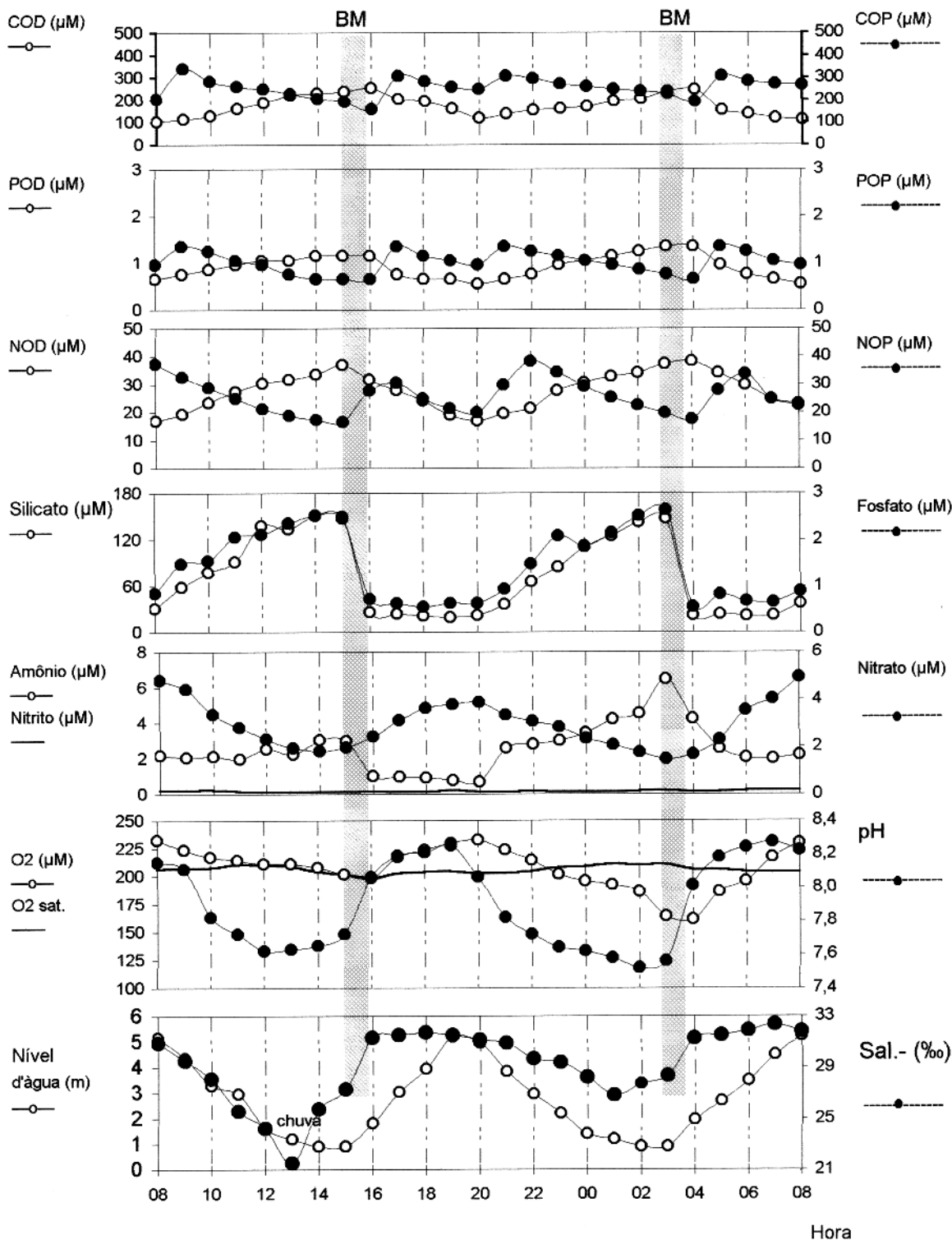
A.2- Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a sizígia, dias 18-19/05/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA).



A 3 - Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a quadratura, dias 9-10/06/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)



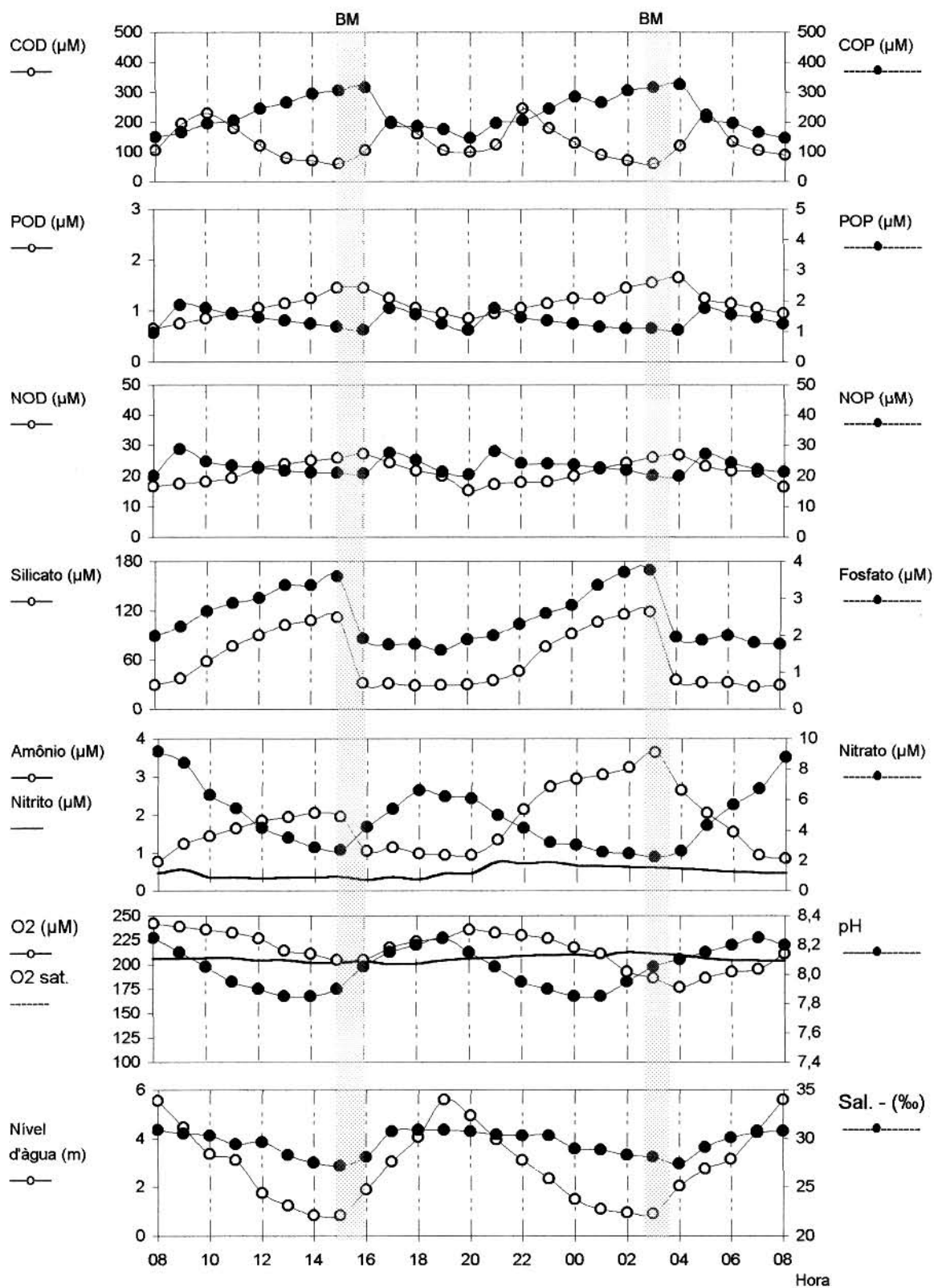
A 4 - Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a sizígia, dias 16-17/06/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)



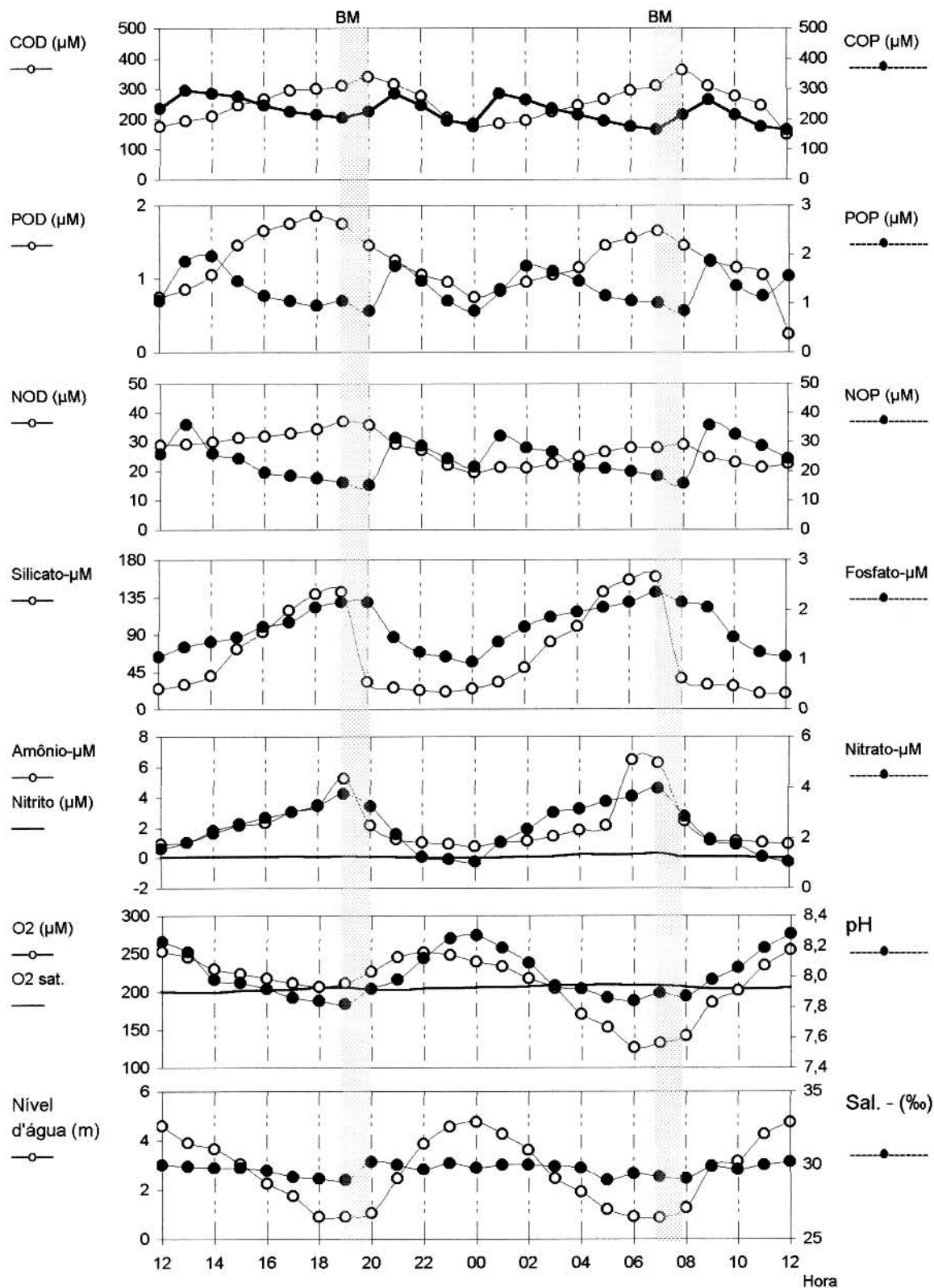
A 5 - Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a quadratura, dias 9-10/07/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís (MA)



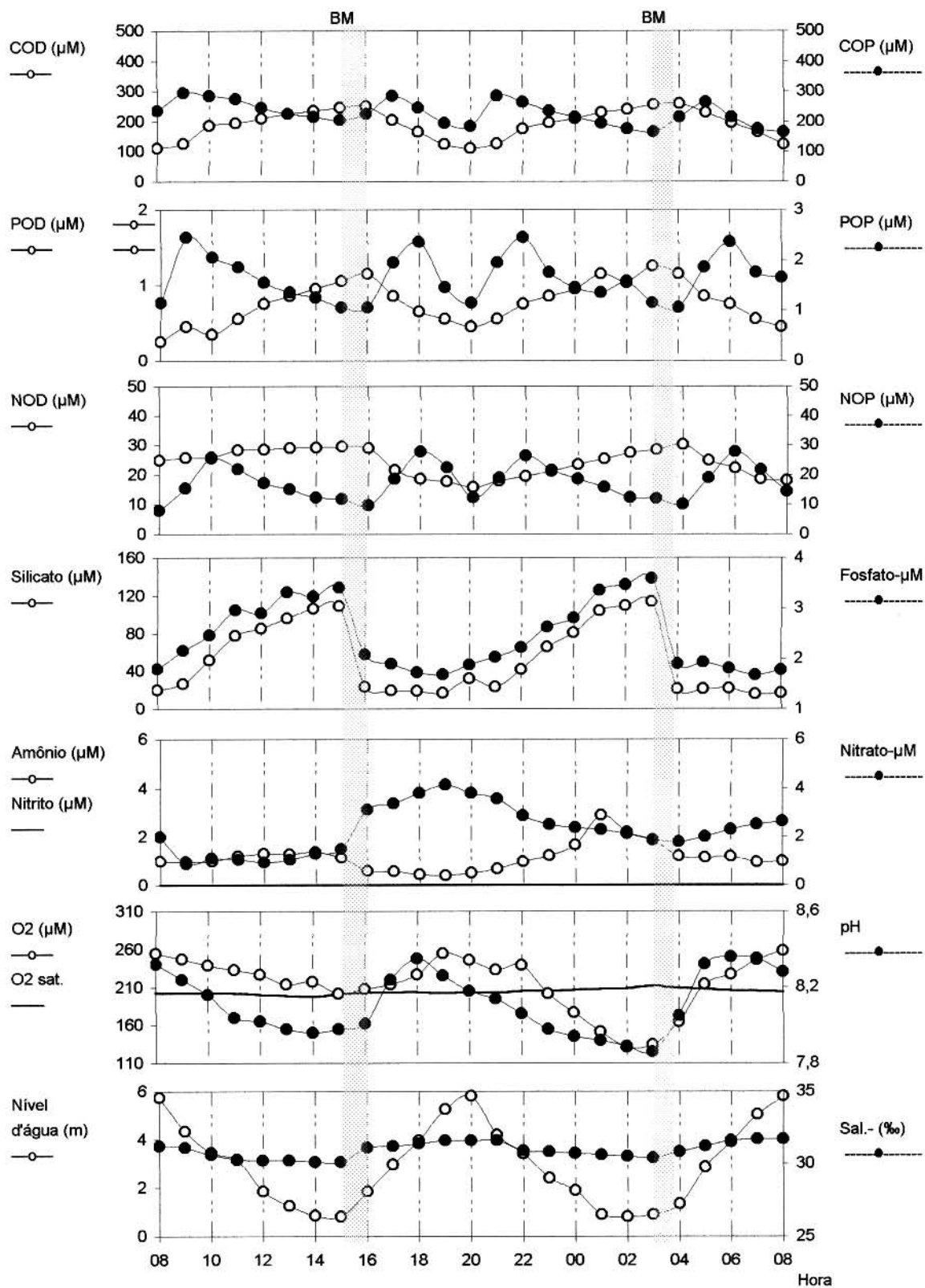
A 6 - Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a sizígia, dias 16-17/07/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)



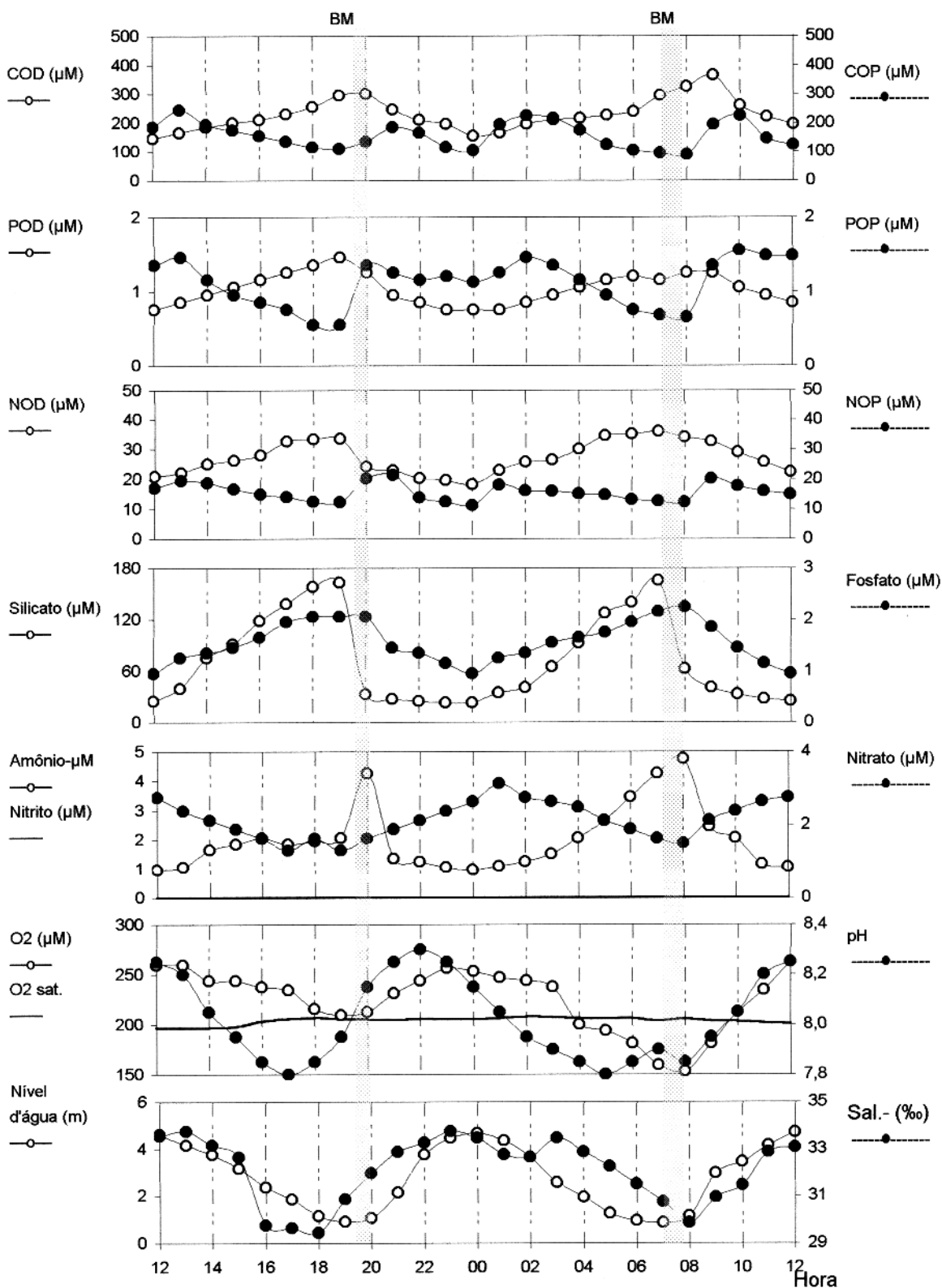
A 7- Série temporal de 24h dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a quadratura, dias 22-23/08/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)



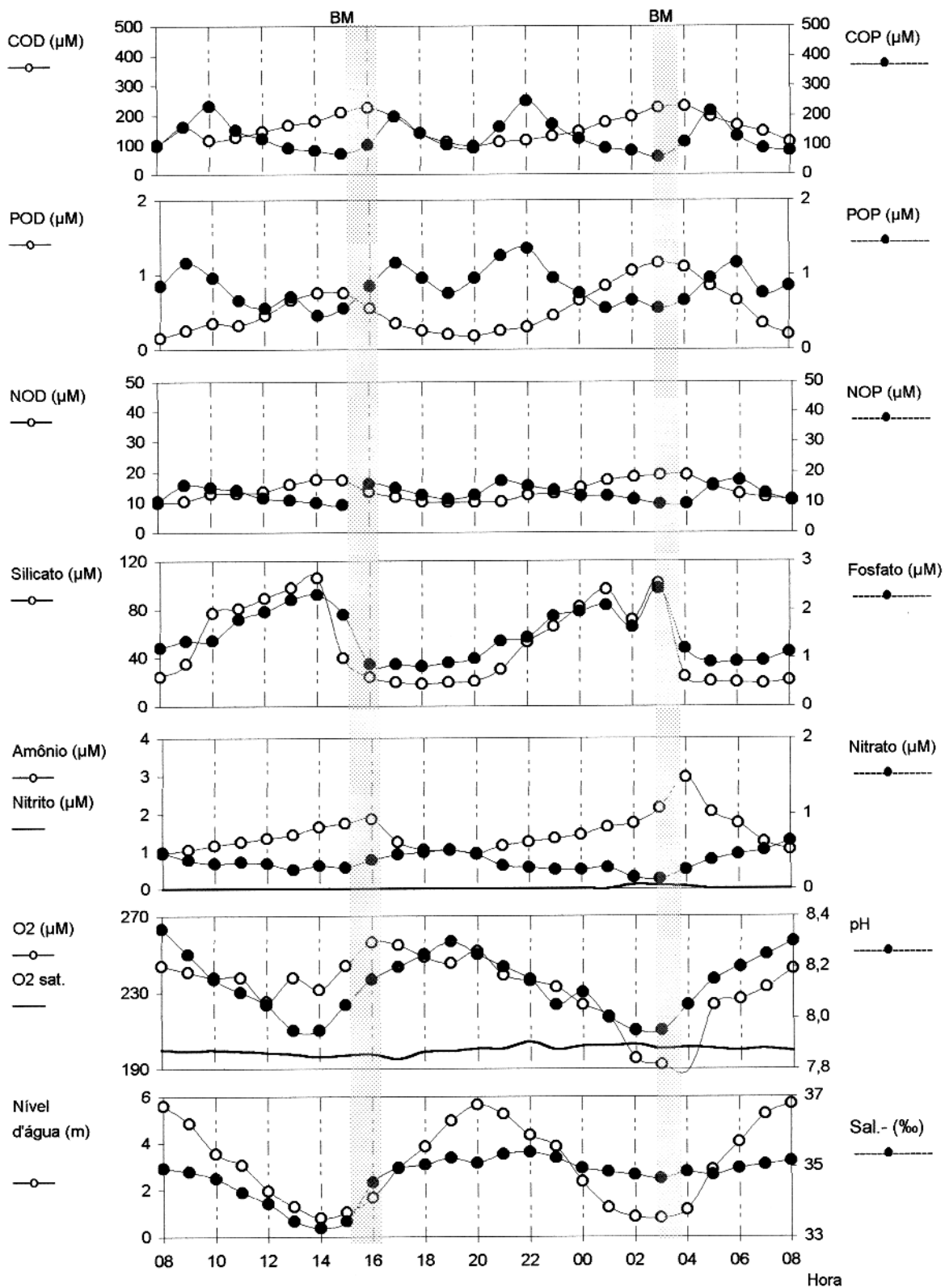
A 8 - Série temporal de 24h dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a sizígia, dias 29-30/08/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)



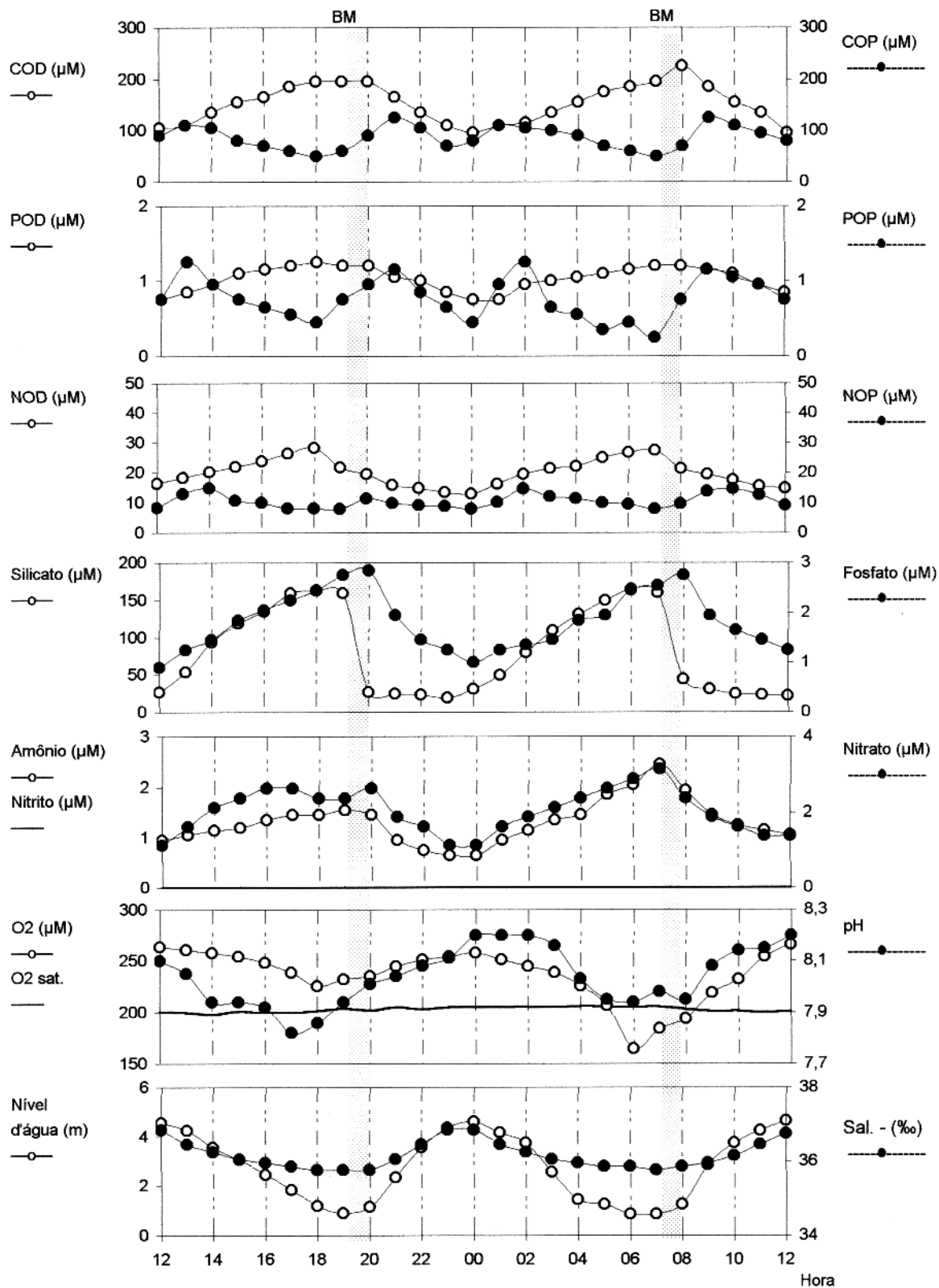
A 9 - Série temporal de 24h dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a quadratura, dias 20-21/09/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)



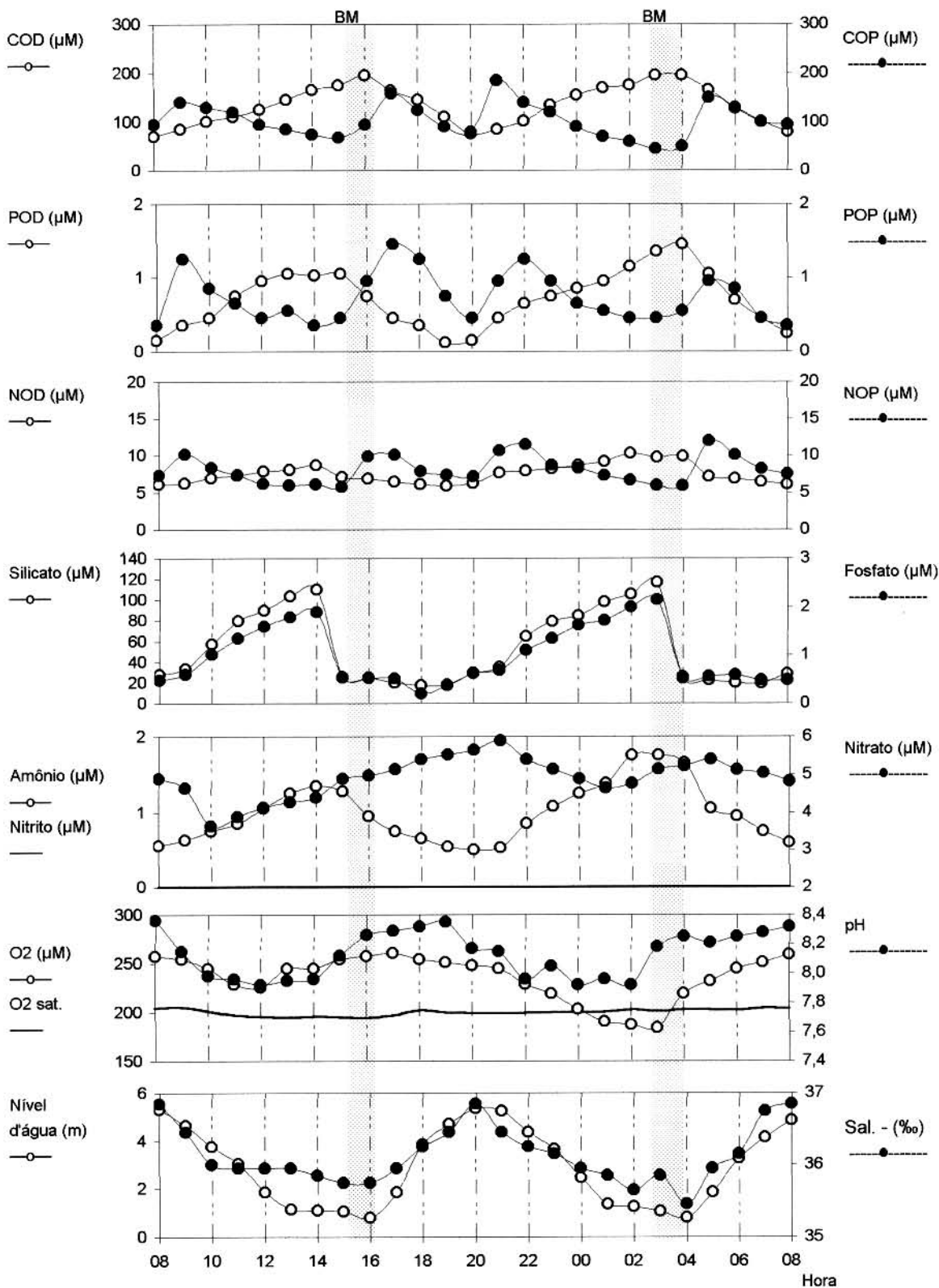
A 10 - Série temporal de 24h dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a sizígia, dias 27-28/09/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)



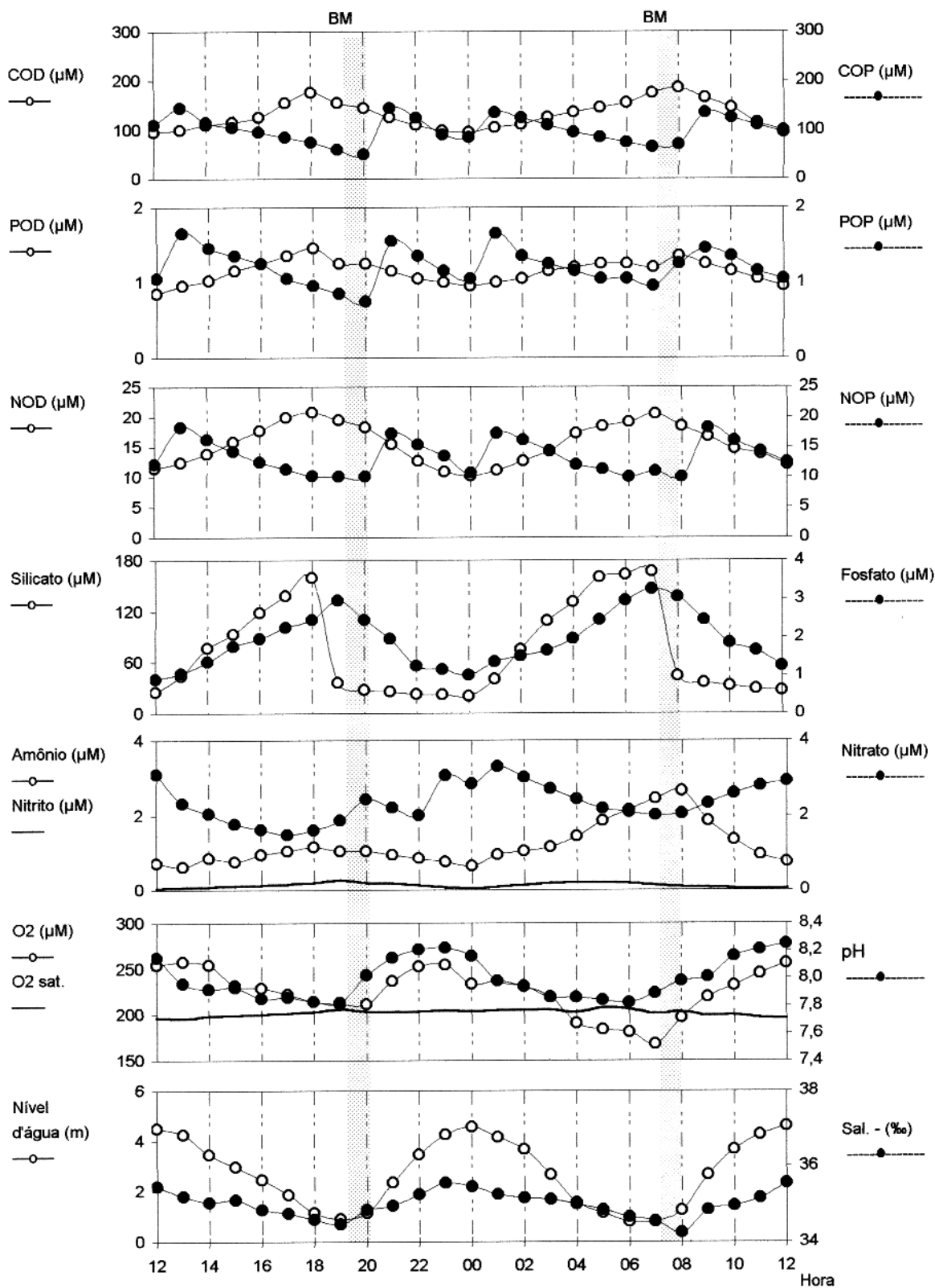
A 11 - Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a quadratura, dias 18-19/11/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)



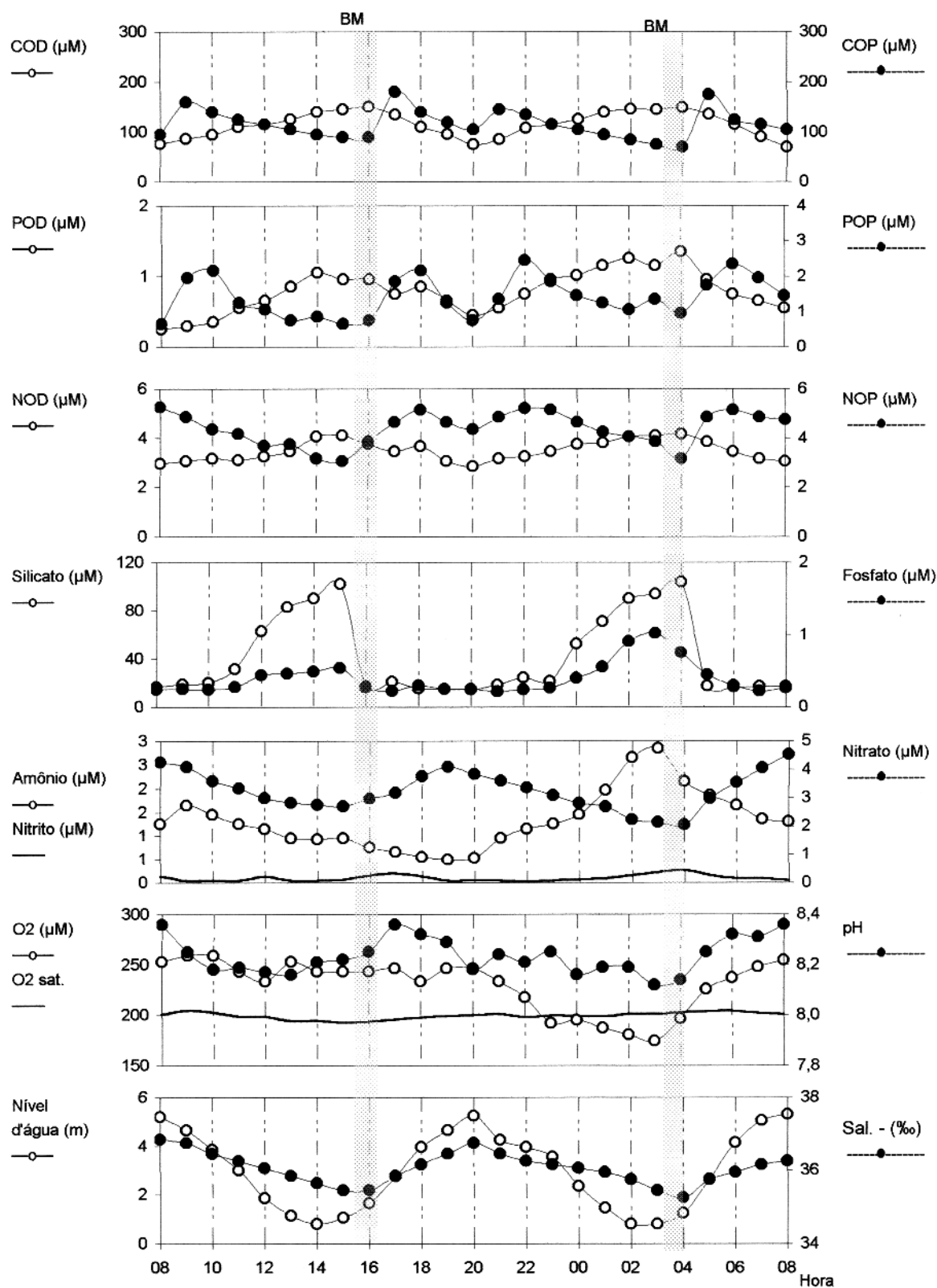
A 12 - Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a sizígia, dias 25-26/11/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís (MA)



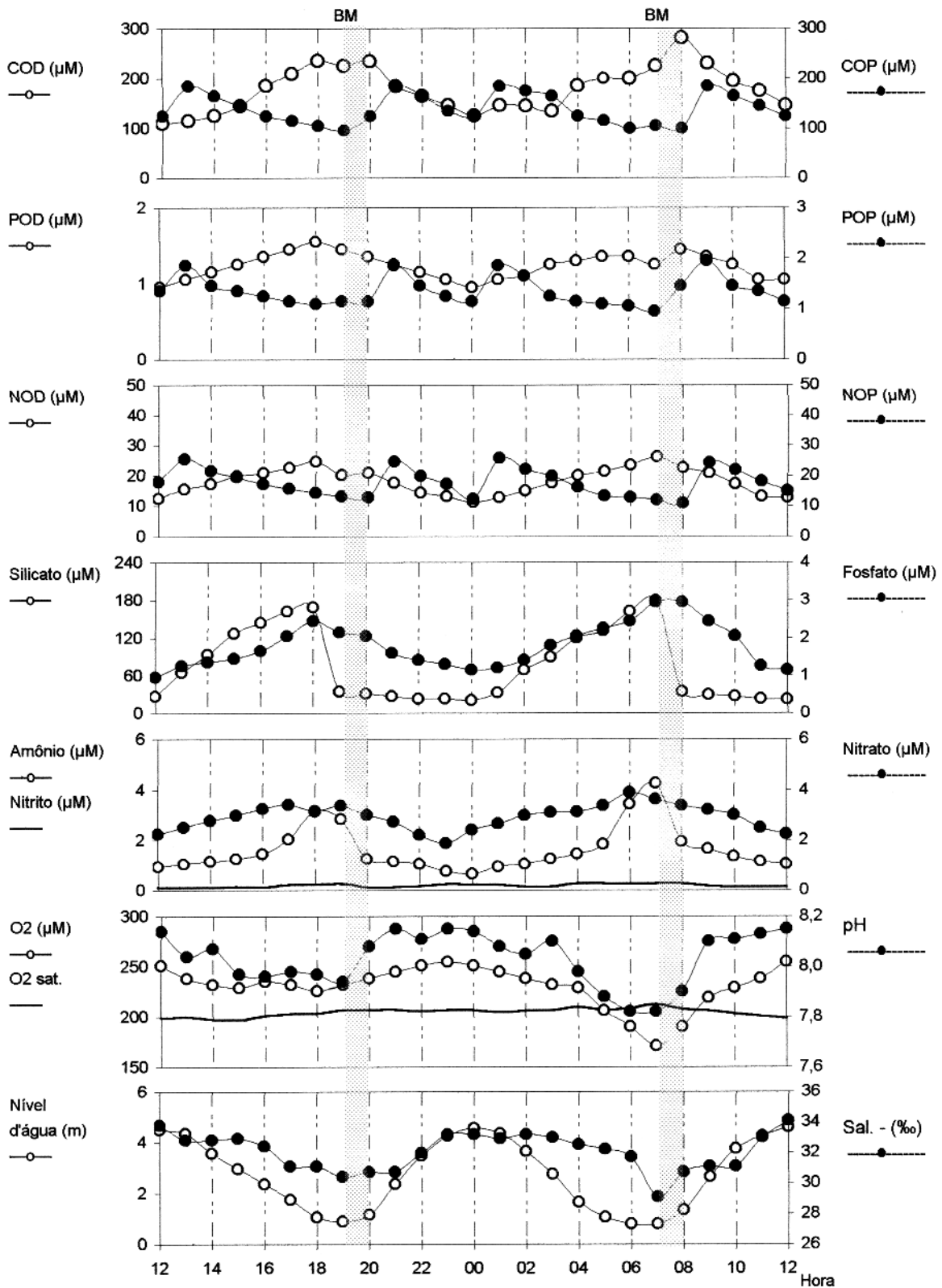
A 13 - Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a quadratura, dias 19-20/12/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís (MA)



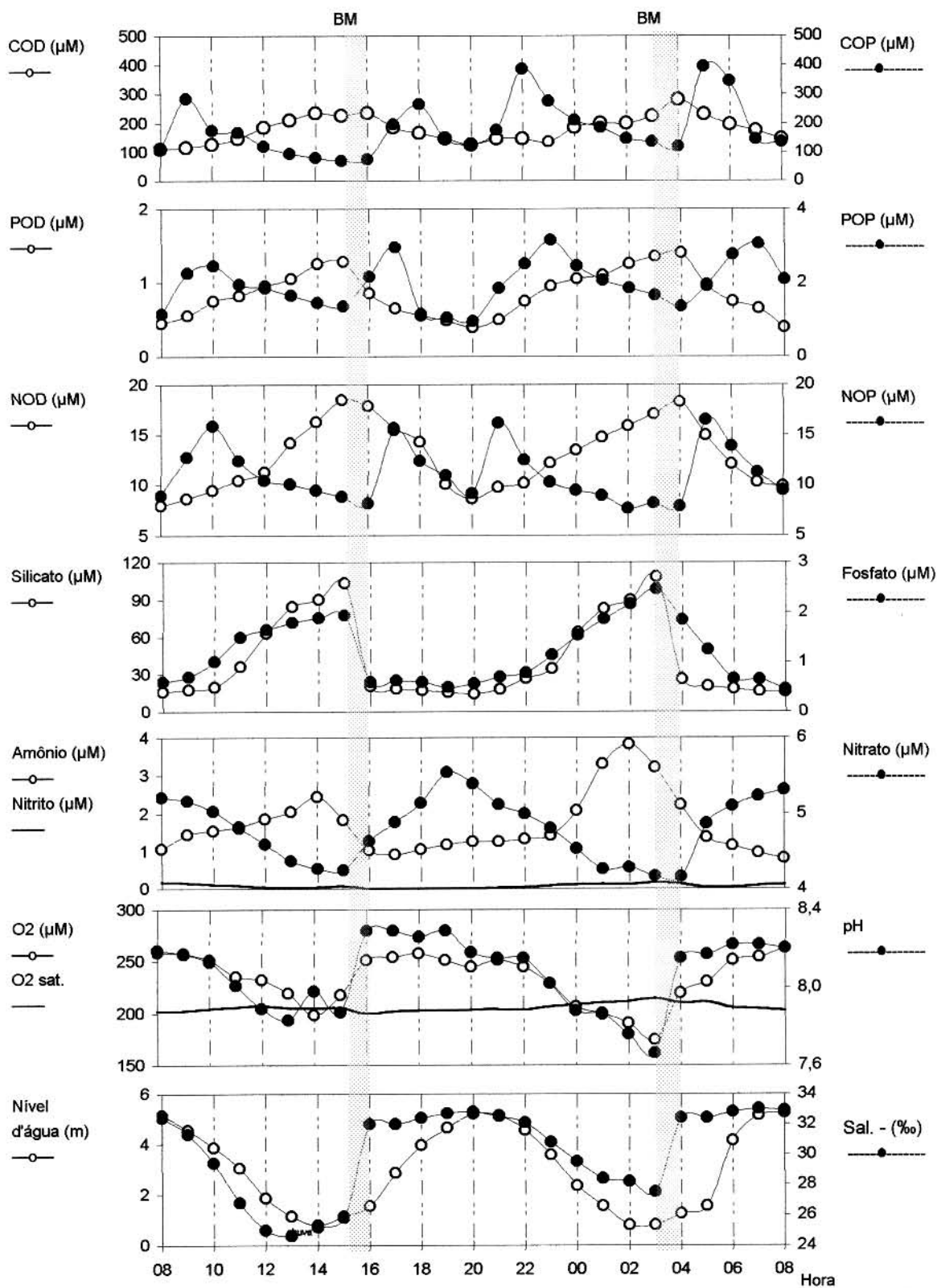
A 14 - Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a sizígia, dias 27-28/12/2000. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís (MA)



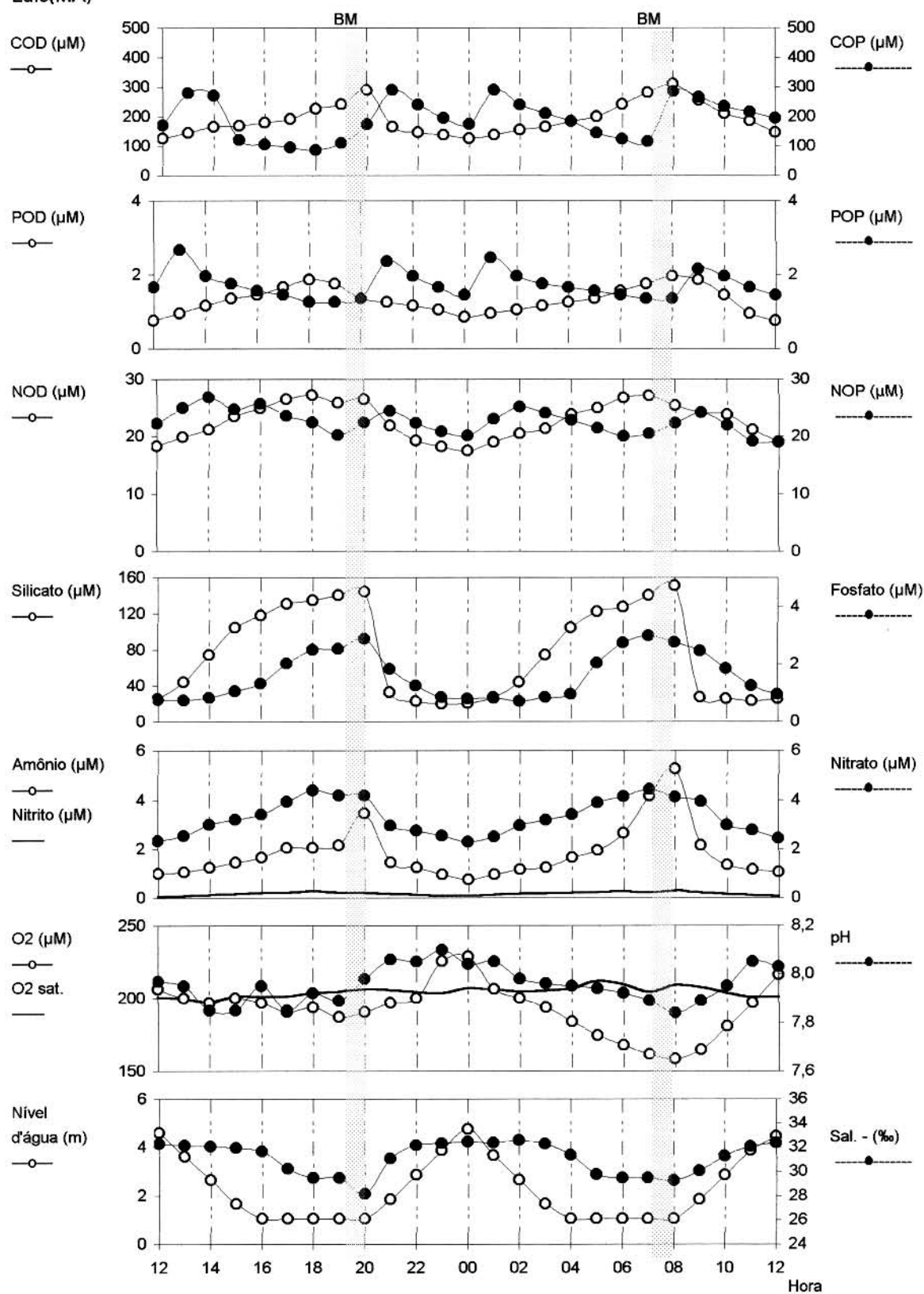
A 15 - Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a quadratura, dias 16-17/01/2001. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)



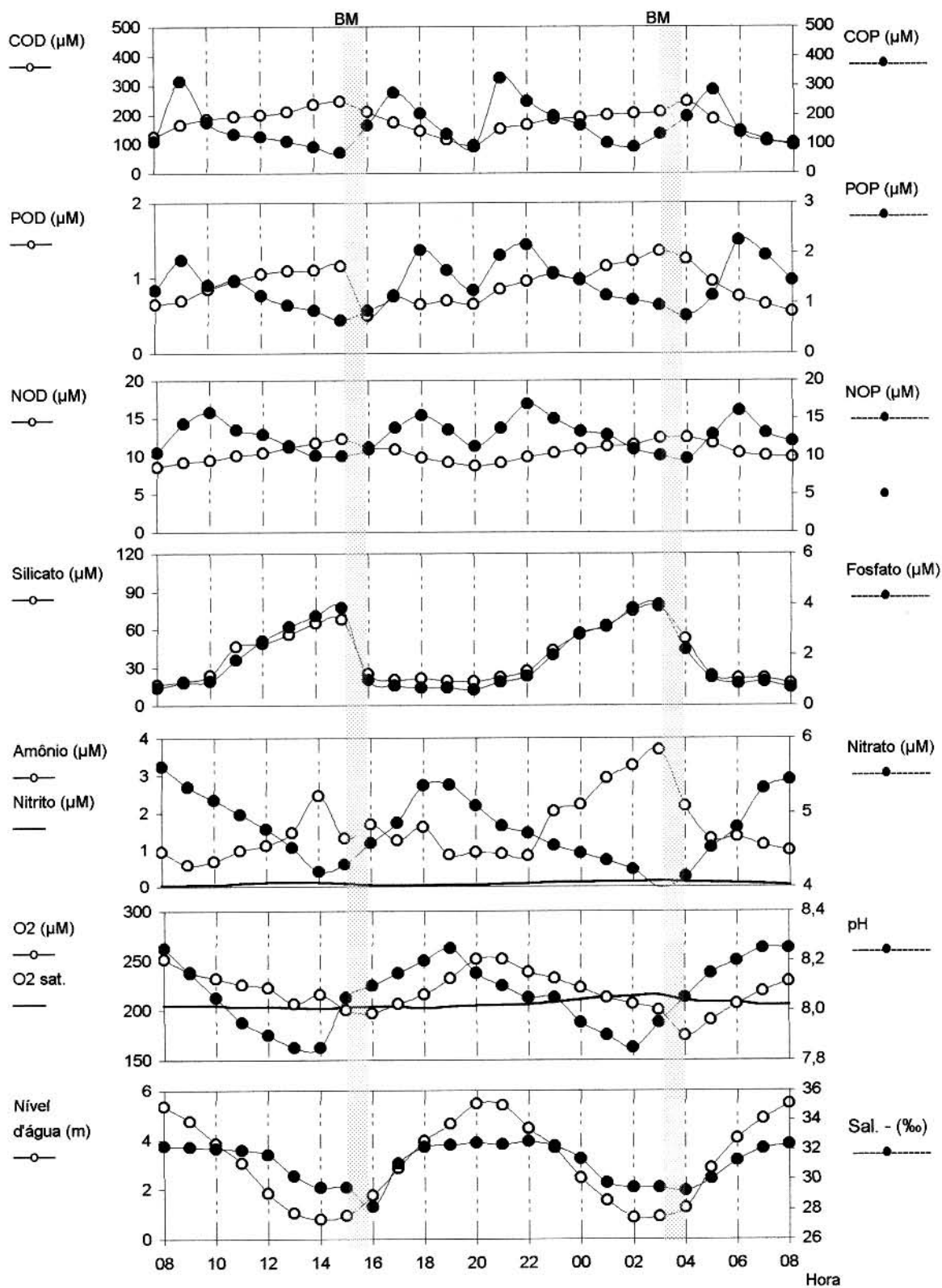
A 16 - Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a sizígia, dias 24-25/01/2001. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)



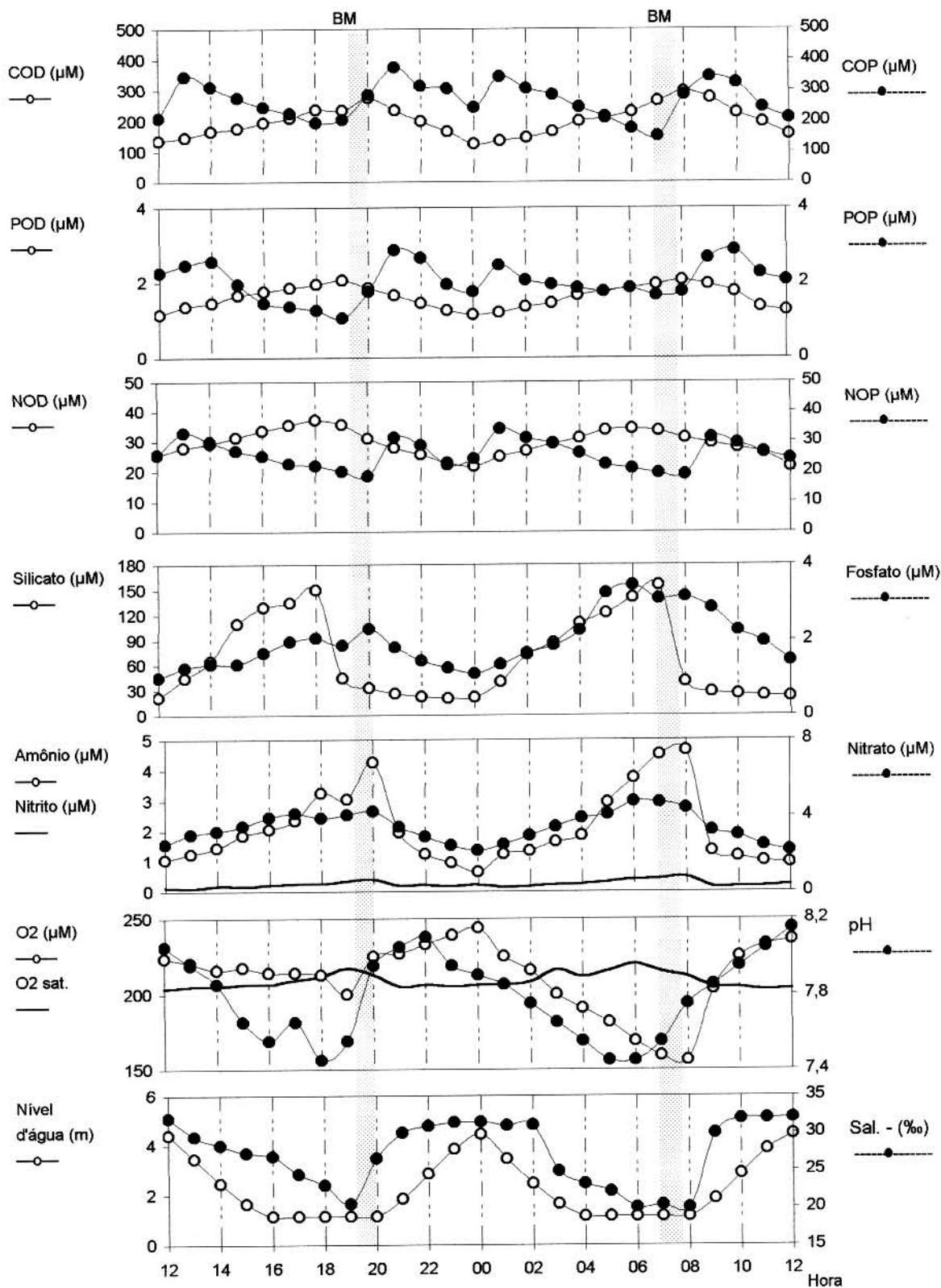
A 17- Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a quadratura, dias 15-16/02/2001. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)



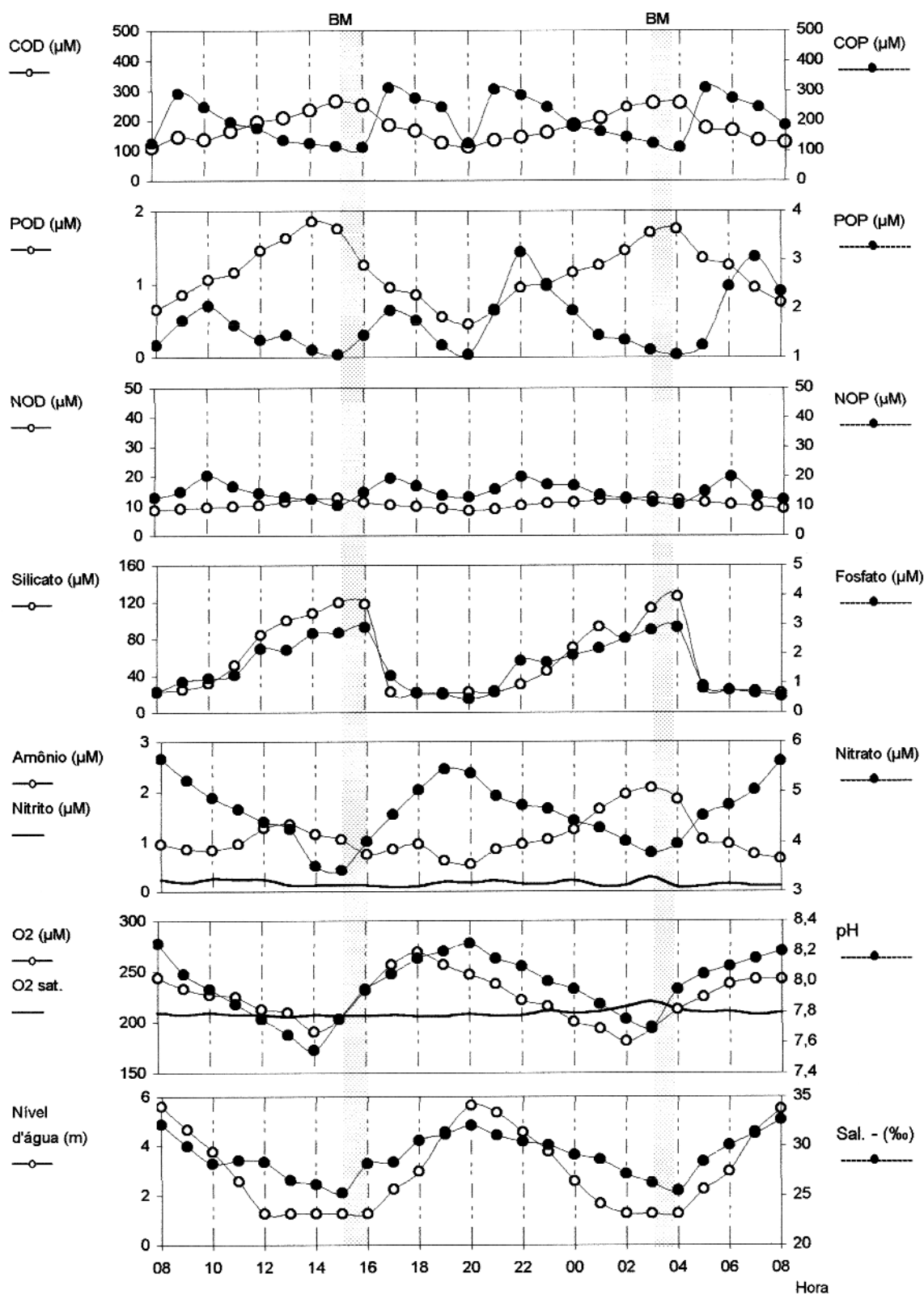
A 18 - Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a sizígia dos dias 23-24/02/2001. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)



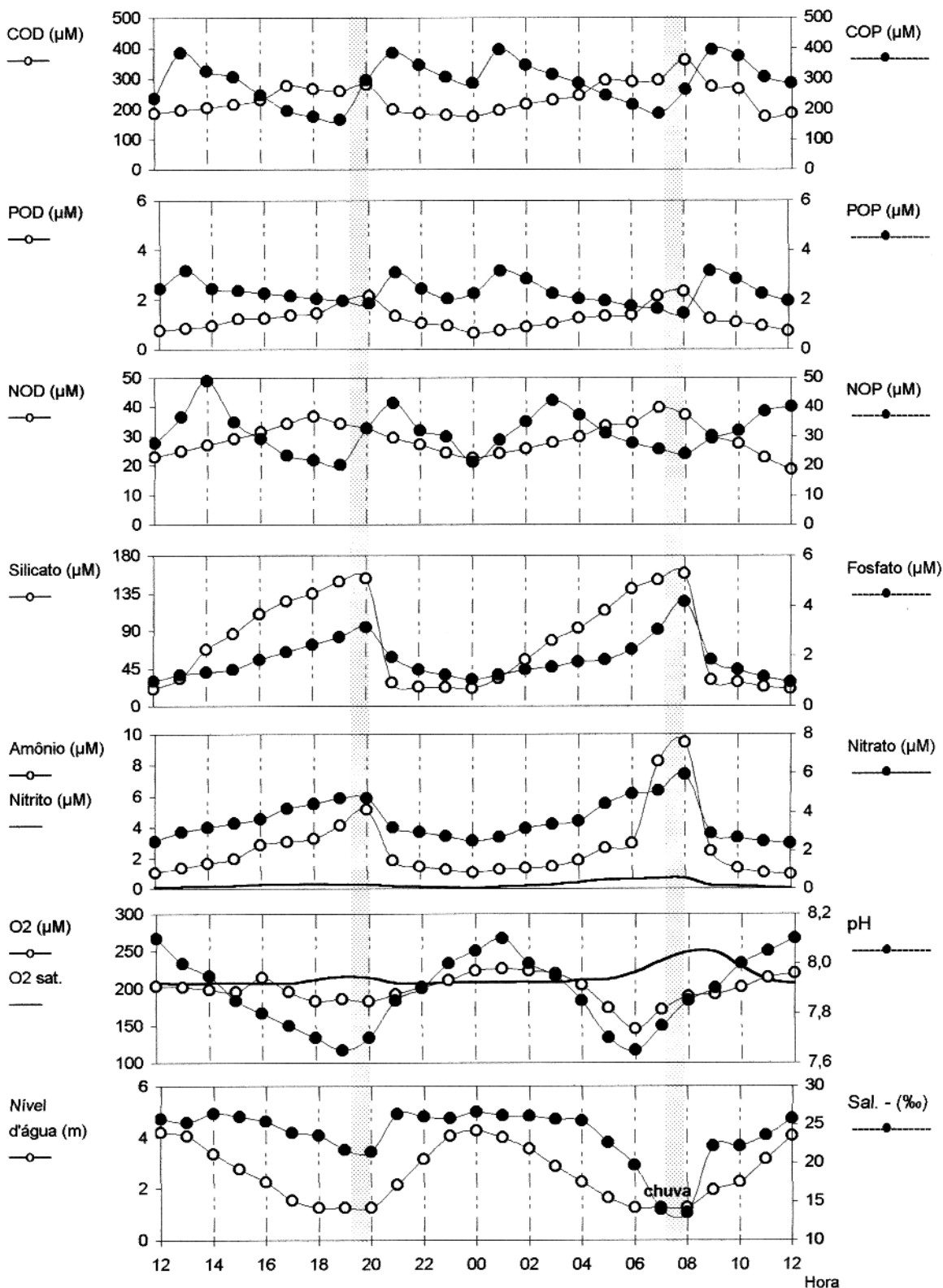
A 19 - Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a quadratura, dias 16-17/03/2001. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)



A 20 - Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a sizígia, dias 24-25/03/2001. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)



A 21 - Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a quadratura, dias 15-16/04/2001. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)



A 22 - Série temporal de 24 horas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes inorgânicos dissolvidos e matéria orgânica, durante a sizígia, dias 23-24/04/2001. Igarapé Nunca Mais, ilha de São Luís(MA)

