



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

**“ NUTRIENTES E OUTROS FATORES RELACIONADOS À PRODUÇÃO  
PRIMÁRIA NAS ÁGUAS DO MANGUEZAL DE BRAGANÇA-PA ”.**

TESE APRESENTADA POR

**MARCELO CANCELA LISBOA COHEN**

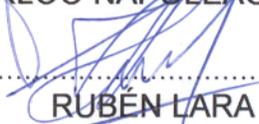
Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em  
Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação 26.05.1998

**Comitê de Tese:**

  
.....  
JOSÉ FRANCISCO DA F. RAMOS ( Orientador )

  
.....  
WATERLOO NAPOLEÃO DE LIMA

  
.....  
RUBÉN LARA

BELEM

Aos meus pais  
e  
irmãos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de forma direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

- ao Prof. Dr. José Francisco da Fonseca Ramos pela orientação e incentivo no decorrer de toda esta pesquisa;
- ao Prof. Dr. Ruben Lara que gentilmente colaborou para realização de todas as etapas deste trabalho;
- ao amigo Thornsten Dittmar pelas informações e discussões;
- ao Prof. Antônio Vaqueira pela paciência e disposição para a realização dos trabalhos no laboratório de absorção atômica;
- a estagiária Helenice pela valiosa ajuda na preparação das amostras;
- a equipe do programa MADAM pelo apoio e companheirismo ao longo de todas as campanhas;
- a CAPES e aos funcionários da Secretaria de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da UFPa pelo apoio financeiro, administrativo e estudantil.

## SUMÁRIO

	pg.
DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	vi
RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	4
1-INTRODUÇÃO.....	7
2-LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	7
3-OBJETIVO.....	9
4-METODOLOGIA.....	9
4.1-CAMPO.....	9
4.2-LABORATÓRIO.....	10
5-TRABALHOS ANTERIORES E FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	10
5.1-PROCESSOS BIOLÓGICOS.....	10
5.1.1-Fotossíntese.....	11
5.2-PRODUÇÃO PRIMÁRIA DO FITOPLÂNCTON.....	12
5.3-PRODUÇÃO PRIMÁRIA NO MANGUEZAL.....	16
5.4-ECOSSISTEMA DOS ESTUÁRIOS.....	17
5.4.1-Produção Biológica nos Estuários.....	19
5.5-ECOSSISTEMA MARINHO.....	21
5.5.1-Componentes do Ecossistema Marinho.....	23
5.5.2-Níveis Tróficos.....	24

5.6-CONDIÇÕES CONTROLADORAS E LIMITANTES DA PRODUÇÃO PRIMÁRIA.....	26
5.6.1-Luz.....	28
5.6.2-Temperatura.....	30
5.6.3-Nutrientes.....	32
5.6.3.1-A Origem dos Constituintes da Águas Marinhas.....	32
5.6.3.2-Limitações Impostas pelo Equilíbrio de Material.....	33
5.6.3.3-Os Nutrientes nos Ecossistemas Costeiros.....	35
5.6.3.4-Os Nutrientes nos Manguezais.....	40
5.7-CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DAS ÁGUAS.....	45
5.7.1-Salinidade .....	45
5.7.2-Oxigênio Dissolvido na Água.....	47
5.7.3-pH.....	48
5.8-METAIS PESADOS NO MANGUEZAL.....	48
5.9-CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO (DOC).....	49
5.9.1-Carbono Orgânico Dissolvido nos Oceanos.....	49
5.9.2-Carbono Orgânico Dissolvido nos Rios e Lagos.....	49
5.9.3-Carbono Orgânico Dissolvido no Manguezal.....	50
5.10-CARBONO ORGÂNICO PARTICULADO (POC).....	51
5.10.1-POC do Plâncton Marinho.....	52
5.10.2-POC do Plâncton de Água Doce.....	53
5.10.3-POC em Rios.....	54
5.10.4-POC em Estuários.....	54
5.10.5-POC em Manguezais.....	55

<b>6-RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	59
6.1-LUZ.....	59
6.2-TEMPERATURA.....	61
6.3-NUTRIENTES.....	63
6.3.1-Composição da Água do Manguezal no Furo do Chato.....	63
6.3.2-Variação do Sódio, Potássio, Cálcio e Magnésio nas Águas do Canal de Maré Furo do Chato .....	65
6.3.3-Razões dos Macronutrientes Cálcio, Magnésio e Potássio com o Sódio.....	79
6.3.4-Variação sazonal do nitrogênio, fósforo e silício dissolvidos nas águas do Furo do Chato.....	81
6.4-CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS DO MANGUEZAL DE BRAGANÇA.....	83
6.4.1-Salinidade.....	83
6.4.2-Oxigênio Dissolvido nas Águas do Manguezal de Bragança.....	87
6.4.3-pH.....	89
6.4.4-Carbono Orgânico Dissolvido nas Águas do Furo do Chato.....	92
6.5-DADOS METEOROLÓGICOS.....	93
6.6-LIMITES DOS PRINCIPAIS FATORES CONTROLADORES DA PRODUÇÃO PRIMÁRIA NAS ÁGUAS DO MANGUE DE BRAGANÇA/PA.....	95
<b>7-CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	99
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	105

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS	pg.
Figura 1-Mapa de localização do Furo do Chato.....	08
Figura 2- Variação sazonal de luminosidade, nitrato, fosfato e fitoplancton em típicas regiões boreais (Raumont <i>apud</i> MOISEEV, 1970).....	14
Figura 3- Intensidade de luz e taxa de fotossíntese (Steemann & Nielson <i>apud</i> MOISEEV, 1970).....	14
Figura 4- Ciclos sazonais de fitoplâncton no Atlântico Norte (Corlett <i>apud</i> MOISEEV, 1970).....	15
Figura 5- Variação sazonal de fitoplâncton e zooplâncton em diferentes regiões do oceano (Bogorov <i>apud</i> MOISEEV, 1970).....	15
Figura 6- O ciclo do fósforo e do nitrogênio (GROSS, 1990).....	22
Figura 7- Principais trajetórias de energia e fluxo de material (DRAKE 1978).....	23
Figura 8-Fluxo de energia e compostos de carbono no ecossistema marinho (Tait & De Santo <i>apud</i> DRAKE, 1978).....	25
Figura 9- Fatores controladores da produção primária.....	27
Figura 10-Metabolismo nos pântanos da baía de Chesapeak registrados mensalmente de 1974 até 1975 (STEVENSON <i>et al.</i> , 1976).....	37
Figura 11-Concentração de nitrogênio dissolvido nas águas da baía de Chesapeak do outono de 1974 até o verão de 1975 (STEVENSON <i>et al.</i> , 1976).....	38
Figura 12- Concentração de fosfato dissolvido nas águas do pântano da baía de Chesapeak, do outono de 1974 até o verão de 1975 (STEVENSON <i>et al.</i> , 1976).....	39

Figura 13- Média mensal de nitrogênio inorgânico dissolvido, nitrato, ortofosfato e concentração total de fósforo dissolvido nos pântanos do estuário da baía de Chesapeake entre os meses de outubro de 1974 e agosto de 1975 (STEVENSON <i>et al.</i> , 1976).....	40
Figura 14-Variação da razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ durante 4 ciclos de maré na baía de Sepetiba (RESENDE <i>et al.</i> , 1989).....	58
Figura. 15-Dados da variação da luminosidade registrados durante as campanhas no Furo do Chato.....	60
Figura.16- Variação da luminosidade na campanha do dia 24-25/09/1996.....	60
Figura.17-(A)Variação da temperatura de acordo com a maré e ao longo de 24 horas durante a campanha de 13-14/08/1996 no Furo do Chato, quando foi registrada temperatura de 31,7°C às 14:00, (B) campanha 24-25/09/1996, onde foi observada a temperatura de 32°C, às 15:00 horas. (C) Campanha do dia 08-09/06/1996, quando foi atingida a temperatura de 25,4°C às 20:00 durante a maré baixa.....	61
Figura 18-Dados da variação de temperatura de acordo com a maré para as campanhas realizadas ao longo de um ano no Furo do Chato.....	62
Figura 19- Média de temperaturas da água registradas a partir de junho de 1996 até junho de 1997 no Furo do Chato.....	63
Figura 20- Variação das concentrações do magnésio de acordo com a maré e durante as campanhas realizadas ao longo de um ano no Furo do Chato.....	66
Figura 21- Variação das concentrações de sódio de acordo com a maré e durante as campanhas realizadas ao longo de um ano no Furo do Chato.....	67
Figura 22- Variação das concentrações de cálcio de acordo com a maré e durante as campanhas realizadas ao longo de um ano no Furo do Chato.....	68

Figura 23- Variação das concentrações de potássio de acordo com a maré e durante as campanhas realizadas ao longo de um ano no Furo do Chato.....	69
Figura 24- Curva da maré contra os teores de potássio e cálcio, no dia 08-09/06/96.....	71
Figura 25- Curva da maré contra os teores de sódio e magnésio, no dia 08-09/06/96.....	72
Figura 26.-Teores de sódio de acordo com a variação da maré.....	74
Figura 27-Teores de magnésio de acordo com a variação da maré.....	74
Figura 28-Teores de cálcio de acordo com a variação da maré.....	75
Figura 29-Teores de potássio de acordo com a variação da maré.....	75
Figura 30- Concentração média do potássio durante a maré alta e baixa no decorrer do ano.....	77
Figura 31- Concentração média do cálcio durante a maré alta e baixa no decorrer do ano.....	77
Figura 32- Concentração média do sódio durante a maré alta e baixa no decorrer do ano.....	78
Figura 33- Concentração média do magnésio durante a maré alta e baixa no decorrer do ano....	78
Figura 34- Razões de cálcio, magnésio e potássio em relação ao sódio durante estação seca e chuvosa (1996-1997) com o oxigênio dissolvido nas águas do Furo do Chato.....	80
Figura 35- Variação das concentrações das espécies de nitrogênio relacionadas ao comportamento do oxigênio dissolvido nas águas do Furo do Chato.....	82
Figura 36- Variação na concentração do fosfato e de oxigênio durante a estação seca.....	83
Figura 37- Variação do silicato e oxigênio dissolvidos nas águas do Furo do Chato.....	83
Figura 38- Conteúdo de sal em ‰ de acordo com as variações da maré em metros, durante as campanhas realizadas ao longo de um ano.....	85
Figura 39- Média de salinidade durante a maré baixa e alta, ao longo do ano.....	86
Figura 40- Curva da maré contra o teor de oxigênio dissolvido nas águas do Furo do Chato.....	88

Figura 41- Gráfico das médias das concentrações de oxigênio e grau de saturação da água em oxigênio, registradas durante as campanhas realizadas ao longo do ano.....	89
Figura 42- Variação do pH de acordo com as mudanças da maré, registrados durante as campanhas realizadas ao longo do ano.....	90
Figura 43- Valores médios de pH obtidos durante a maré alta e baixa no período do dia e da noite, ao longo das campanhas.....	91
Figura 44- Variação dos valores do carbono orgânico dissolvido comparado com as variações de oxigênio para a estação seca.....	92
Figura 45- Dados da temperatura do ar registrados em graus Celsius e índices pluviométricos em milímetros, obtidos entre os meses de agosto de 1996 e Junho de 1997.....	94
Figura 46-Gráficos mostrando os intervalos de valores médios (linha contínua) encontrados para os nutrientes magnésio, potássio, cálcio e sódio, além da luminosidade e temperatura das águas no manguezal de Bragança-PA e a quantidade destes elementos (linha tracejada) no período de produção primária máxima registrada ao longo do ano.....	97
Figura 47- Gráficos mostrando os intervalos de valores médios durante a estação seca (linha contínua), encontrados para os nutrientes nitrito, nitrato, amônio, fosfato e silicato além do carbono orgânico dissolvido nas águas do Furo do Chato e a quantidade destes elementos (linha tracejada) no período de produção primária máxima registrada ao longo do ano. Valores expressos em $\mu\text{M/L}$ .....	98

TABELAS	pg.
Tabela 1-Componentes do ecossistema marinho.....	24
Tabela 2- Dados físico-químicos dos pântanos da baía de Chesapeake de Julho de 1974 até Agosto de 1975.....	36
Tabela 3- Razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ em amostras da floresta de mangue da baía de Sepetiba.....	56
Tabela 4- Concentração média do sódio, magnésio, potássio e cálcio, durante a maré baixa (M.B.) e alta (M.A.) e ao longo do ano no Furo do Chato .....	64
Tabela 5- Concentrações de sódio, potássio, cálcio e magnésio em intervalos de 1 hora, do dia 8 a 9 de junho de 1997 no Furo do Chato.....	70
Tabela 6-Concentrações de sódio, magnésio, potássio e cálcio, ao longo de 24 horas no dia 22-23/12/96 no Furo do Chato.....	73
Tabela 7-Média das 24 horas dos valores de nitrito, nitrato, amônio e fosfato, obtidos durante a estação seca no Furo do Chato.....	81

## RESUMO

Este trabalho se propõe a investigar o comportamento dos nutrientes nitrato, nitrito, amônio, fosfato, silicato, sódio, potássio, cálcio e magnésio, além da salinidade, oxigênio dissolvido, temperatura da água e pH durante um ano para obter informações sobre os principais mecanismos de controle da composição das águas estuarinas que inundam o manguezal de Bragança-PA, e encontrar as melhores condições para o desenvolvimento da produção primária.

O sódio, potássio, cálcio, magnésio e salinidade, em ambas as mares alta e baixa foram significativamente maiores em dezembro e menores em abril para a maré alta e baixa. Durante a estação seca, entre os meses de julho e dezembro, a concentração desses ions e da salinidade foram maiores na maré baixa, enquanto que na estação chuvosa, entre janeiro e junho, a concentração dos ions e da salinidade foram maiores na maré alta.

O fosfato durante a estação seca foi significativamente maior no final de julho e durante o mês de agosto, entretanto, o amônio, nitrato e nitrito, durante este mesmo período do ano registrou os mais baixos valores para o mês de julho. O silicato foi quase constante durante toda a estação seca. O conteúdo de carbono orgânico dissolvido foi maior no final do mês de julho e durante o de agosto, precisamente no mesmo período do ano em que foram registradas as mais altas concentrações de oxigênio dissolvido nestas águas, indicando uma elevada produção primária durante este período do ano.

A média do pH ao longo do ano foi maior no final de julho, entretanto, a média do pH foi maior para a maré alta em agosto e menor para a maré baixa no final de julho. O pH da água na maré alta é invariavelmente maior do que na maré baixa em todos os meses do ano, provavelmente devido à uma maior concentração de produtos da decomposição da matéria orgânica nas águas do canal de maré durante a maré baixa.

Durante a estação chuvosa, quando a salinidade e a concentração de cátions é mais baixa, a água que flui pelo interior do manguezal, durante a maré alta, é mais salgada do que a água da maré baixa; entretanto, na estação seca, ocorre o inverso, quando a salinidade da água da maré baixa é maior do que a da maré alta. Portanto, a água do mangue da maré baixa foi significativamente mais influenciada pelos processos de precipitação pluviométrica e evaporação do que a água estuarina que inunda o manguezal durante a maré alta.

O íon cálcio exibe um comportamento similar aos outros íons, exceto no mês de outubro, quando sua concentração cai, enquanto a concentração dos outros íons permanece subindo; isso poderia ser atribuído à assimilação por zooplâncton que usa o cálcio para construir seu esqueleto, visto que, organismos aquáticos influenciam a concentração de muitas substâncias diretamente pela assimilação metabólica.

Desta forma, estas águas são marcadamente influenciadas pelo crescimento, distribuição e desintegração de plâncton e outros organismos, que mantém um significativo papel na regulação da composição destas águas.

Este comportamento do cálcio no mês de outubro, corroborado pelo aumento do pH da água no final de outubro e posterior diminuição em novembro, pode também ser creditado a eventuais precipitações de  $\text{CaCO}_3$ , permitido pelo excesso de  $\text{HCO}_3^-$  produzido pela redução do  $\text{SO}_4^{2-}$  e formação de  $\text{NH}_4^+$ , através de reações biogênicas na decomposição da matéria orgânica.

Durante a estação seca, as razões cálcio/sódio, magnésio/sódio e potássio/sódio foram inversamente proporcionais ao oxigênio dissolvido na água. Por outro lado, durante a estação seca a relação é diretamente proporcional, provavelmente devido ao aumento na precipitação pluviométrica que alteram as condições hidrológicas e lixiviam os cátions do solo e oxigenam fisicamente a água.

Os macronutrientes cálcio, potássio e magnésio embora geralmente sejam tratados como elementos conservativos, não possuem uma constância com a salinidade e alteram suas concentrações de acordo com as condições biológicas, como ocorre com os macronutrientes nitrato, amônio, fosfato, etc....

## ABSTRACT

This work aims to investigate the behavior of nutrients nitrate, nitrite, ammonium, phosphate, silicate, sodium, potassium, calcium and magnesium, as well as salinity, dissolved oxygen, water temperature and hydrogen ion concentration (pH) for one year to obtain information about the main mechanisms controlling the composition of Bragança-PA estuarine water that floods the mangrove and to found the best conditions to the development of the primary production.

The sodium, magnesium, potassium, calcium and salinity at high and low tides were highest in December and lowest in April. Along the dry season, between July and December, the concentration of sodium, magnesium, potassium, calcium and salinity were highest in the low tides, while in the wet season, between January and June, were highest in high tides.

The phosphate in dry season was significantly high in the end of July, while the ammonium, nitrate and nitrite during the dry season were low in July. The silicate was almost constant in dry season. The dissolved organic carbon (DOC) was higher in the end of July and during August, precisely in the same period of higher values dissolved oxygen, indicating a high primary production in this period of the year.

The mean pH throughout the year was highest in the end of July, however the mean pH for high tides was highest in December and for low tides in the end of July. The pH of water in high tides is invariably higher than in the low tides at all months of the year, probably consequence of higher concentration of products from decomposition organic matter in the tidal creek water during low tide than high tide. Weak changes were observed at all months associated with dry season and wet season. In the dry season the highest values of pH of the year were registered, result of the decrease in  $CO_2$  (main responsible for low pH values), probably due to high rates of photosynthesis, as suggested by elevated concentrations of diluted oxygen in water

in dry season. Narrow variation in pH throughout the day could also be detected: in the morning, a reduction in  $CO_2$  occurs, when the photosynthesis overcomes the alga respiration, driving to the increase in pH. In the night, hence without photosynthesis, the respiration of the organisms induce to water "acidification".

During the wet season, when the salinity and concentrations of cations are lowest, the water flooding the mangrove, is more concentrated in salt than the water from low tide, however, in dry season, a reverse in this behavior take place, when the salinity of the low tide water is higher than high tide. Therefore, the mangrove water of low tide was significantly more influenced by the processes of rainfall and evaporation than estuarine water that floods the mangrove during high tide.

The calcium, exhibits a behavior similar to the other ions, except in October, when its concentrations fall, while the another ions remain up, it could be attributed to the assimilation by organisms that use calcium to build their skeleton, in view of aquatic organisms influence the concentration of many substances directly by metabolic uptake.

The composition mangrove waters is markedly influenced by the growth, distribution, and decay of organisms, which have a significant role in regulating calcium concentration.

This opposite behavior of the calcium in October, corroborated by the increase in the pH of water in the end of October and later decrease in November, may also be due to the precipitation of  $CaCO_3$ , allowed by excess  $HCO_3^-$ , produced by  $SO_4^{2-}$  reduction and ammonium formation through biogenic reactions in the decomposition of organic matter.

During dry season, the ratios calcium/sodium, magnesium/sodium and potassium/sodium are inversely proportional to dissolved oxygen. This suggests that, phytoplankton is also regulating the concentration of calcium, potassium and magnesium dissolved in the water. On the

other hand, during wet season the relation is directly proportional, probably due the high rainfall that changes the hydrological conditions and leaching the cations from the soil and physically oxygenates the water.

The macronutrients calcium, potassium and magnesium although usually treated as conservative, are not constant with salinity and change with biological conditions, similarly to the macronutrients nitrate, ammonium, phosphate, etc....

## 1- INTRODUÇÃO

Nos arredores da cidade de Bragança, Estado do Pará, encontra-se uma floresta de mangue, cujo tipo domina 75% da linha de costa tropical, sendo de grande importância, particularmente como fonte de matéria orgânica para a cadeia alimentar marinha. O ambiente de manguezal ocorre em áreas com altas taxas de acumulação de sedimentos finos e lentas mudanças químicas da água. Essas áreas apresentam uma alta produção orgânica, resultando em altos níveis de matéria orgânica na água. Tal ecossistema é tido como a principal fonte de matéria orgânica, particularmente folhas em diferentes estágios de decomposição, que servem de base alimentar para diversos animais costeiros, incluindo peixes e invertebrados de grande importância econômica (ODUM & DRIFMEYER, 1978).

Pelo presente trabalho pretende-se determinar as condições controladoras da produção primária no canal de maré Furo do Chato num período de um ano, tais como o suprimento de nutrientes (P, N, Si, K, Ca, Mg e Na), luminosidade e a temperatura da água, além das concentrações de carbono orgânico dissolvido, oxigênio dissolvido, salinidade e pH. Os dados meteorológicos também serão considerados.

A pesquisa aqui apresentada foi desenvolvida no âmbito do Programa MADAM, em cooperação com o grupo abiótico do lado alemão do programa, coordenado pelo professor e pesquisador Dr. Rubén Lara.

## 2- LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O local estudado encontra-se no norte do Brasil, no litoral paraense, dista 200 km da cidade de Belém e está a 27 km ao norte da cidade de Bragança, na altura da ponte sobre o canal de maré denominado "Furo do Chato", entre os meridianos 46° 50' W e 46° 35' W e paralelos 0° 45' S e 1°07' S ( Figura 1).

O acesso é feito pelas rodovias BR 316 e a PA 242 e pela estrada pavimentada que conduz a vila de Ajuruteua.

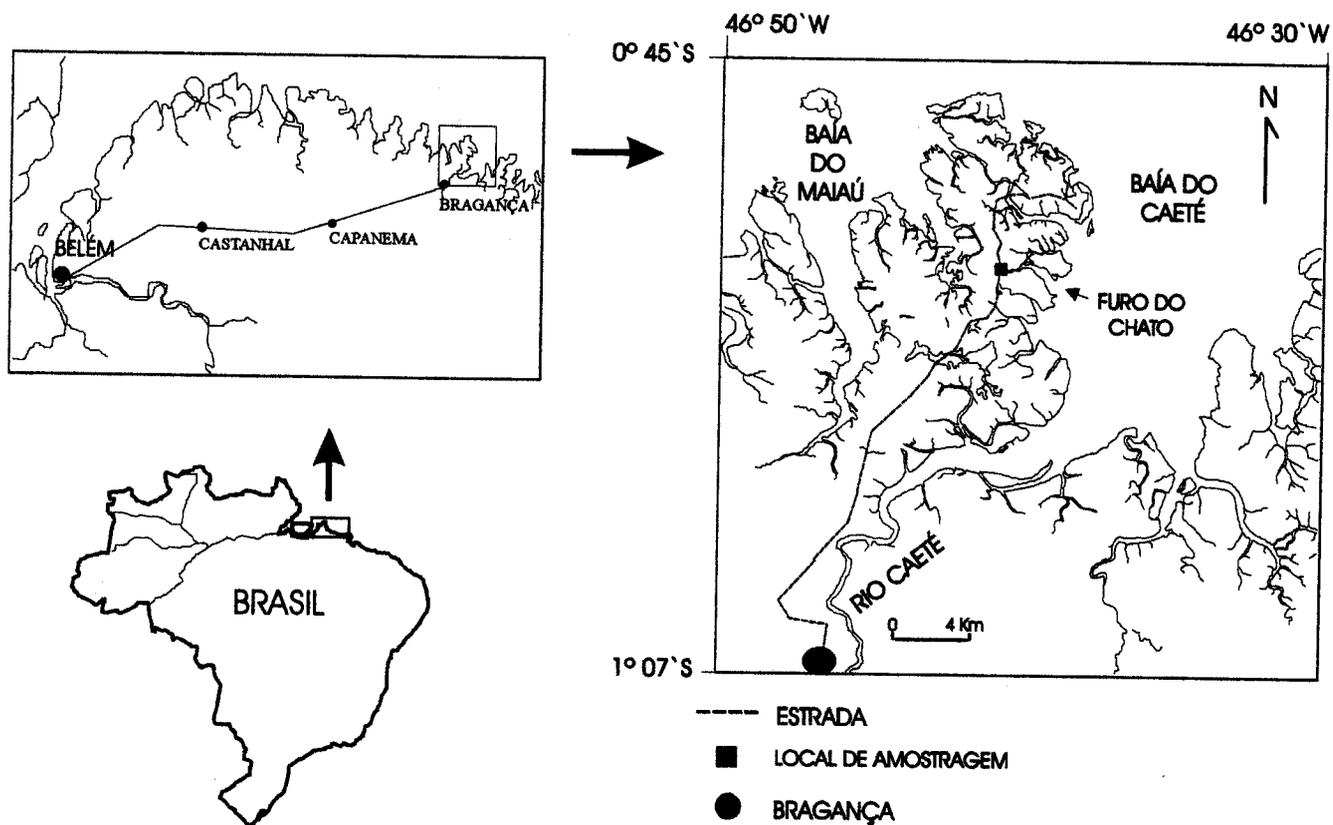


Figura 1- Mapa de localização do Furo do Chato.

### 3- OBJETIVO

O trabalho em questão pretende monitorar as condições controladoras da produção primária, tais como os macronutrientes fósforo, nitrogênio, silício, potássio, cálcio e magnésio, juntamente com o micronutriente sódio, além da luminosidade, temperatura da água, salinidade, pH e oxigênio e carbono orgânico dissolvidos nas águas do manguezal, para com isso melhor compreender o comportamento desses fatores de acordo com as mudanças na maré e durante as estações seca e chuvosas do ano, tudo auxiliado por medidas meteorológicas. Desta forma, a associação de todos esses fatores ajudará na determinação dos períodos e das condições ambientais que melhor favorecem a produção primária nas águas dos canais de maré que inundam o manguezal.

### 4- METODOLOGIA

#### 4.1-CAMPO

O trabalho de campo teve início em junho de 1996 e foi realizado em intervalos de três semanas ao longo de um ano, enquanto a obtenção dos dados meteorológicos se deu a partir de uma estação meteorológica fixada permanentemente no Furo do Chato. A coleta sistemática das amostras de água foi feita em intervalos de uma hora, ao longo de 24 horas, tendo como base a ponte no Furo do Chato, para determinação no local de amostragem da temperatura, salinidade, pH e oxigênio dissolvido nas águas desse canal de maré. A água foi armazenada em garrafas de polietileno para posterior determinação de nutrientes e carbono orgânico dissolvido. Os dados de luminosidade foram obtidos através de um sensor de fótons posicionado no Furo do Chato. A altura da maré foi lida a cada 15 minutos em uma régua colocada em um dos pilares da ponte.

## 4.2-LABORATÓRIO

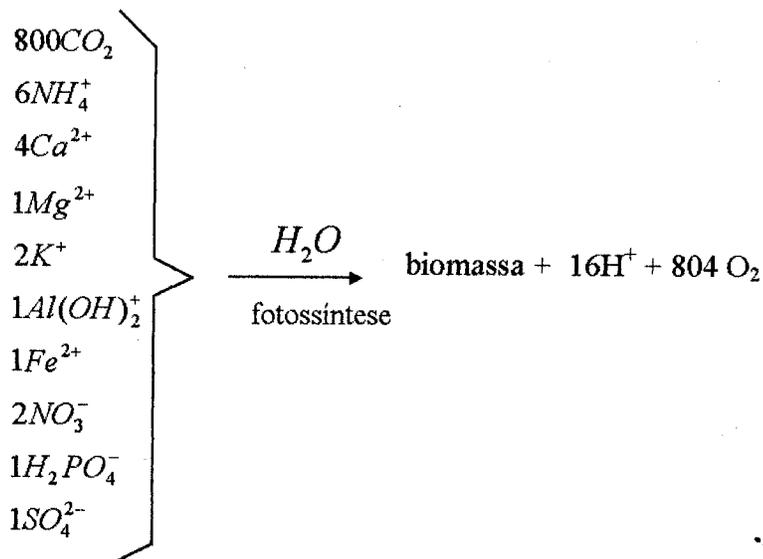
A água coletada foi filtrada em filtros Whatman N°42, auxiliado por um millipore para retenção de partículas em suspensão. Uma diluição de 20 vezes foi necessária para a determinação por espectrofotometria de absorção atômica das concentrações de cálcio e magnésio e de 100 vezes para as de sódio e potássio. Foi adicionada uma gota de Cs nas amostras preparadas para a determinação das concentrações de sódio e potássio e de Sr nas amostras preparadas para medir cálcio e magnésio para impedir a ionização prematura destes elementos no atomizador do espectrômetro de absorção atômica.

As concentrações de nitrogênio, fósforo, silício e carbono orgânico dissolvido foram determinadas pelo método de colorimetria no laboratório do Zentrum für Marine Tropenökologia (ZMT), Bremen, Alemanha, no âmbito da cooperação científica existente com a Universidade Federal do Pará.

## 5-TRABALHOS ANTERIORES E FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 5.1-PROCESSOS BIOLÓGICOS

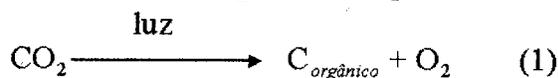
Os processos biológicos afetam o equilíbrio de prótons das águas superficiais de várias formas. Quando o fitoplâncton cresce, ele extrai cátions e ânions como nutrientes das águas, de acordo com a equação descrita por SCHNOOR & STUMM (1985).



De acordo com essa equação as plantas assimilam mais cátions que ânions, e devem então liberar mais prótons para manter o equilíbrio. Se a biomassa estivesse num estado estático, a remoção dos cátions pelo crescimento seria exatamente equilibrada pelo suprimento de cátions da decomposição. Entretanto, a biomassa raramente está num estado estático.

### 5.1.1-Fotossíntese

A fotossíntese é o processo pelo qual o dióxido de carbono, que pode ser derivado do  $\text{HCO}_3^-$ , é convertido em matéria orgânica e oxigênio, através da ação da energia solar:



Na ausência da fotossíntese o oxigênio da atmosfera seria rapidamente consumido pela oxidação da matéria orgânica, até que nenhum oxigênio livre sobrasse.

O carbono e o oxigênio não são os únicos elementos envolvidos na fotossíntese. O fitoplâncton também requer compostos de nitrogênio e fósforo e uma variedade de elementos traços. As espécies do fitoplâncton irão crescer e se multiplicar até que todo fósforo ou nitrato

disponível seja consumido. Neste ponto a fotossíntese cessa. Nas águas doces o fosfato é normalmente o nutriente limitante, enquanto o nitrato é às vezes limitante em águas poluídas. A disponibilidade de elementos traços é ocasionalmente limitante por curtos períodos de tempo.

A composição da matéria orgânica no plancton é aproximadamente  $C_{106}H_{263}O_{110}N_{16}P_1$  (REDFIELD *et. al.*, 1963), e a fotossíntese pode ser representada por uma equação mais complexa

$$106CO_2 + 16NO_3^- + HPO_4^{2-} + 122H_2O + 18H^+ + \text{el. traços} = C_{106}H_{263}O_{110}N_{16}P_1 + 138O_2 \quad (2)$$

plancton

ao invés da simples fórmula da equação 1. A equação 2 ilustra a enorme importância do fosfato no equilíbrio do carbono e oxigênio nas águas. Cada átomo de fósforo fixado pelo organismo resulta na fixação de 106 átomos de carbono na matéria orgânica, e quando a matéria orgânica produzida de um átomo de fósforo decompõe, ela tem a capacidade de consumir 138 moléculas de oxigênio.

## 5.2- PRODUÇÃO PRIMÁRIA DO FITOPLÂNCTON

Segundo MOISEEV (1970), a superfície das águas, principalmente a do oceano, é habitada por uma flora extremamente variada de fitoplâncton e de algas micrófitas. A maior variedade e produtividade é encontrada no fitoplâncton, consistindo em não menos do que 2.000 espécies, sendo destas 1.700 encontradas no hemisfério norte.

O volume da produção anual de fitoplâncton nos oceanos está próximo de  $5 \times 10^{11}$  toneladas por ano. Desta forma, o fitoplâncton atua com um papel decisivo na atividade vital das comunidades oceânicas e no volume de bioprodutividade total. Dentre a vegetação marinha, o primeiro lugar pertence às plantas microscópicas, principalmente algas pelágicas unicelulares, consumidas pelo zooplâncton, zoobenton, peixes e grandes invertebrados. Portanto, a base

primária da bioprodutividade dos oceanos depende da composição, volume e intensidade da atividade vital do fitoplâncton.

A energia solar que atinge a superfície do mar, juntamente com os biógenos dissolvidos na água, controla a fotossíntese que ocorre nos oceanos. As mais intensas insolações ocorrem nas zonas equatoriais e subequatoriais, onde 300 calorias e mais a energia luminosa incidem na superfície, enquanto só a metade ou um terço desta quantidade atinge as regiões polares. Mesmo esta menor quantidade de energia seria suficiente para promover a fotossíntese ao longo do oceano; entretanto, existe uma perda de energia solar que penetra apenas nas camadas superficiais da água nos oceanos, de forma que apenas 0,02 % da energia incidente na superfície é utilizada, mesmo em zonas tropicais e subtropicais sob forte intensidade de sol (Wimpenny *apud* MOISSEV 1970).

Em altas latitudes a iluminação solar é muito baixa ou mesmo ausente por muitos meses, nos quais é impossível ocorrer a fotossíntese, e até mesmo o intensivo desenvolvimento do fitoplâncton nessas regiões durante a primavera não é o suficiente para extrair completamente todo o nitrato e o fosfato disponível das camadas superficiais (Deacon, *apud* MOISEEV, 1971).

Na água do mar a fotossíntese é possível apenas onde a quantidade de radiação solar é no mínimo de  $0,18 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{hora}$ . Este valor está geralmente confinado aos primeiros 2 a 10 metros das camadas superficiais costeiras, enquanto em regiões mais distantes da linha de costa a camada eufótica alcança até 30 metros de profundidade, e as vezes 100 metros em águas tropicais claras. Desta forma, apenas numa fina camada superficial, em média com 40 metros de profundidade, a energia solar é ativamente utilizada pelos primeiros elos da cadeia de bioprodutividade, (MOISSEV, 1971).

O desenvolvimento do fitoplâncton é significativamente afetado pela entrada de nutrientes, luz e temperatura (Figura 2).

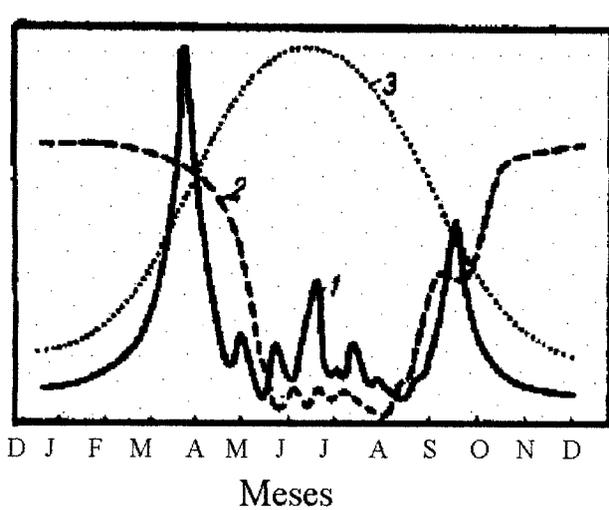


Figura 2- Variação sazonal de luminosidade, nitrato, fosfato e fitoplâncton em típicas regiões boreais. 1- fitoplâncton; 2- N e P; 3- luz (Raumont, *apud* MOISEEV, 1970)

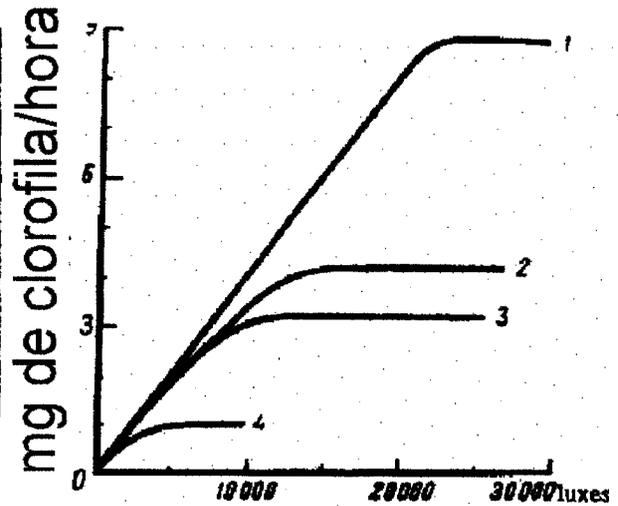


Figura 3- Intensidade de luz e taxa de fotossíntese. 1- trópicos e superfície; 2- regiões de água aquecida, superfície, verão; 3- regiões árticas, superfície, verão; 4- plânctons de subsuperfície em todas as regiões, incluindo regiões de águas aquecidas no inverno. (Steemann & Nielson, *apud* MOISEEV, 1970)

No inverno a fotossíntese em altas e médias latitudes se torna desprezível ou cessa inteiramente, por causa da baixa temperatura e inadequada iluminação, mesmo diante da disponibilidade de quantidades suficientes de nutrientes (Figura 3). Com a chegada da primavera e um aumento na temperatura e na insolação, existe um rápido aumento na biomassa de fitoplâncton que reduz a concentração de nutrientes e limita a fotossíntese. Como resultado, a biomassa de fitoplâncton diminui. Existe um outro "bloom" no outono, quando o conteúdo de nutrientes novamente aumenta, especialmente de fósforo, silício e nitrogênio. Depois existe um declínio na biomassa de fitoplâncton para um mínimo no inverno (Figura 4). Este esquema geral de variação da sazonalidade na produção de fitoplâncton pode ser suplementado e elaborado para uma adequada descrição das variações sazonais do fito e zooplâncton nas regiões tropicais,

temperadas e polares do oceano (Figura 5). O leitor deve notar que um pico no desenvolvimento do fitoplâncton é, invariavelmente, seguido por um aumento na biomassa do zooplâncton.

Nas regiões tropicais havendo um influxo de energia solar ao longo do ano e comparativamente pouca variação sazonal de intenso aquecimento, o fitoplâncton cresce ao longo do ano sem formar nenhum "bloom" marcante.

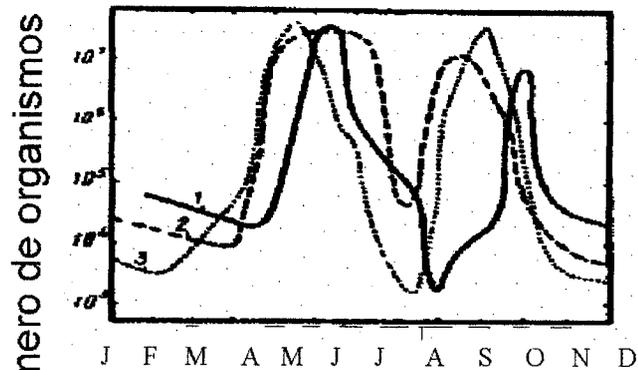


Figura 4- Ciclos sazonais de fitoplâncton no Atlântico Norte. 1-1948; 2-1949; 3-1950. (Corlett, *apud* MOISEEV, 1970)

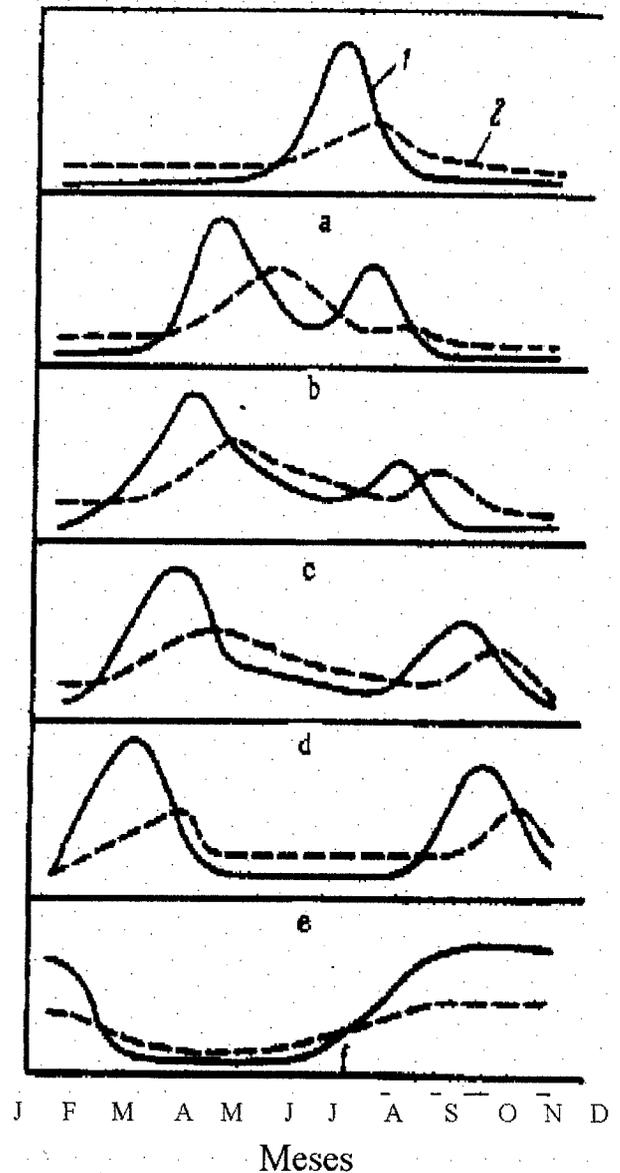


Figura 5-Variação sazonal de fitoplâncton (1) e zooplâncton (2) em diferentes regiões do oceano. Mar Polar, a-alto ártico, b-baixo ártico; mares temperados, c-norte, d-sul; e-subtropical; f-mares tropicais. (Bogorov, 1958 *apud* MOISEEV, 1970)

### 5.3-PRODUÇÃO PRIMÁRIA NO MANGUEZAL

Nos estudos realizados nos manguezais da Malásia, a alta concentração de nutrientes quase certamente resultou da entrada de água doce para o estuário. As baixas concentrações de nitrato e nitrito durante as horas claras do dia, quando comparadas com os níveis da noite, sugerem uma assimilação por fitoplâncton, algas bentônicas ou pela floresta do mangue. Concentrações de amônio, por outro lado, são significativamente maiores durante as horas claras do dia, sugerindo que outro fator inexplicado atua de forma considerável determinando períodos curtos de variações deste componente. Alguma significativa diferença entre a noite e o dia para todas as outras espécies dissolvidas implica que a assimilação ou excreção por fitoplâncton, algas bentônicas ou a floresta do mangue tem pouco efeito sobre o amônio. Em contraste direto, no sistema de manguezais do sudeste da Índia, estudados por BALASUBRAMANIAN & VENUGOPALAN (1984) mostrou fortes picos sazonais na concentração do DOC, que correspondeu à uma alta população de fitoplâncton no período de Julho a Setembro.

A produção de buracos por caranguejos é um importante processo nas florestas de *Rhizophora* na Austrália, que afeta a aeração do solo, que por sua vez afeta a produtividade e reprodutividade da *Rhizophora*, (SMITH *et al.*,1991). O soterramento subsuperficial e a acumulação de serrapilheira, através de uma longa degradação, pode suportar a alta abundância e produtividade das comunidades de bactérias e a eficiente reciclagem do DOC-bacterial (ALONGI, *et al.*,1989).

No estuário do rio Fraser, devido a presença de uma pluma estuarina entre uma camada de água doce e uma camada profunda de água marinha, o fluxo de saída de água doce primeiro atinge as águas da pluma estuarina, antes de atingir as águas profundas marinhas. Um máximo de clorofila na base da pluma estuarina é uma feição comum neste sistema. O máximo de fitoplâncton é deslocado para o rio, enquanto uma porção deles entra no canal do rio com a pluma

estuarina como uma cunha salgada invadindo durante a subida da maré. Como o fluxo de saída do rio se inicia durante a descida da maré, o fitoplâncton está se dirigindo para cima e advectando em direção ao mar. Algumas células de fitoplâncton podem morrer se a salinidade é mais baixa do que sua tolerância. A entrada de fitoplâncton será na camada mais superior depois que ele tenha deixado o canal do rio. Então ele deve estar internamente saturado em nutrientes desde que esse fitoplâncton na base da pluma estuarina tenha sido exposto a nutrientes nas águas profundas antes que ele seja advectado para o rio. Parte do fitoplâncton pode afundar e se juntar ao máximo de clorofila na base da pluma estuarina. O máximo de clorofila pode ser carregado em direção ao rio novamente começando um outro ciclo. Esse processo ocorre durante ciclos de maré e fornece nutrientes periodicamente para a zona eufótica e pode estar relacionado a um máximo na produtividade primária. Esta pode ser a razão para o zooplâncton ser abundante na pluma estuarina (YIN *et al.*, 1995).

Entranhamento é um processo físico que causa transferência da água salgada para água doce em um estuário e tem sido proposto como o principal processo que suprime de nitrato a produtividade primária no final da primavera e no verão (PARSONS *et al.*, 1980; HARRISON *et al.* 1983).

Segundo LAFONTEINE *et al.* (1991), a água do mar fornece 75% do suprimento de nutrientes para a zona eufótica no estuário, enquanto que a água doce contribui apenas com 25%.

#### 5.4-ECOSSISTEMA DOS ESTUÁRIOS

Segundo DREVER (1988), um estuário é definido como um corpo de água costeiro semi-fechado que tem livre conexão com o mar aberto, onde a água do mar é diluída na água doce derivada do continente. As águas do estuário estão sujeitas às oscilações diárias da maré. Os

organismos residentes no estuário devem ter uma vasta tolerância a mudanças freqüentes de temperatura, salinidade e concentração de sedimentos em suspensão. A circulação da água no estuário é controlada pela topografia, correntes de maré e o volume de descargas de água doce. A transição de água doce para salgada causa mudanças físicas e químicas nas cargas em suspensão e dissolvida do rio. O mais importante efeito físico é a floculação. Argilo-minerais, matéria orgânica e colóides de hidróxido de ferro e alumínio tendem a ficar em suspensão na água doce, enquanto tendem a flocular e sedimentar sob a água salgada. O material coloidal que é floculado no estuário contém muito dos metais pesados, naturais e antropogênicos, transportados pelos rios. Sedimentos de estuários frequentemente possuem alta concentração de Cd, Cr, Cu, Pb e Zn, que podem intoxicar os organismos. O aprisionamento de matéria orgânica dentro do estuário geralmente torna o sedimento anaeróbico, e no caso de sérias poluições, a parte mais inferior da coluna de água pode se tornar anaeróbica e, portanto, tóxica a todos os organismos marinhos maiores.

Devido a combinação única de fatores físicos, os estuários estão dentre os ecossistemas mais produtivos da Terra. Muitos estuários estão nas terminações dos rios e, portanto, recebem águas ricas em nutrientes que promovem o crescimento de organismos. As águas dos rios também liberam uma grande quantidade de matéria orgânica. Os estuários são relativamente rasos, onde a luz do sol, geralmente, penetra até o fundo, constituindo a zona eufótica.

A combinação de fatores físicos suporta o crescimento do fitoplâncton, que aliado a certas condições que só existem no estuário favorecem o desenvolvimento e proteção de peixes e crustáceos jovens, pois a baixa salinidade e outras características físicas servem de barreira para muitos predadores oceânicos.

A alta produção dos estuários ilustra as vantagens do subsídio de energia natural. A energia da água fluente transporta nutrientes e detritos para o estuário. Águas e correntes retêm

detritos e nutrientes no estuário e mantém a água em movimento, desta forma mantendo um ciclo de materiais para o fitoplâncton. Ironicamente, mesmo com o intensivo uso de combustíveis fósseis na agricultura moderna, a produtividade agrícola não excede a produção resultante dos subsídios de energia natural dos estuários.

A atividade humana tem modificado moderada a severamente 75% dos estuários. A causa dos danos incluem eutrofização cultural, dragagens para manter canais de navegações e resíduos liberados nos cursos d'água que atravessam os parques industriais (MORAN, 1980).

Neste trabalho, a água do estuário que inunda o manguezal de Bragança durante a maré alta, será chamada de água estuarina, enquanto que a água que flui do manguezal para os canais de maré durante a maré baixa será chamada de água do mangue.

#### 5.4.1-Produção Biológica nos Estuários

Segundo GROSS (1990), os estuários geralmente são ricos em nutrientes, principalmente em fosfato e nitrato, que mantém a grande população de fitoplâncton; estes por sua vez fornecem alimento para o zooplâncton, peixes e organismos bentônicos. Os estuários atuam principalmente na produtividade dos oceanos costeiros, servindo como lar e fonte de alimentos para muitas espécies.

Os nutrientes do estuário provém de três fontes, sendo o oceano costeiro a fonte principal, pois os nutrientes de águas subsuperficiais são carregados para dentro do estuário. Secundariamente, o suprimento dos rios que lançam nutrientes do solo para a bacia de drenagem do rio. Finalmente, os produtos residuais ricos em nutrientes que são jogados no estuário pelas indústrias, cidades e fazendas na linha de costa ou nos rios.

A circulação estuarina tende a reter nutrientes dentro do sistema, enquanto o crescimento de organismos planctônicos assimilam os nutrientes, e depois de sua morte afundam para

camadas subsuperficiais e se decompõem. Nutrientes liberados pela decomposição são então devolvidos para as camadas superficiais, onde estão novamente disponíveis para o fitoplâncton.

Os rios ricos em nutrientes contribuem diretamente para o estuário, tendo freqüentemente grande efeito em sua produtividade. Durante o verão, o desenvolvimento de fitoplâncton pode extrair da água dos rios seus nutrientes, enquanto que no inverno o fitoplâncton quase não se desenvolve devido as baixas temperaturas e perda de luminosidade, contribuindo assim com uma quantidade significativa de nutrientes para o estuário. A abundância de nutrientes dos rios tem, entretanto, pouca influência no fitoplâncton do estuário, pois neste período o seu desenvolvimento é inibido pela já referida perda de luminosidade ou pelas baixas temperaturas.

O nitrogênio, o fósforo e o silício são os primeiros elementos a serem removidos completamente da água do mar nos períodos de rápido crescimento do fitoplâncton. Quando o suprimento desses nutrientes acaba, o crescimento do fitoplâncton cessa, mesmo que todos os outros elementos necessários estejam presentes em abundância. Na água do mar, o nitrogênio, o fósforo e o silício estão disponíveis para serem usados pelo fitoplâncton como compostos de oxigênio ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{SiO}_2$ ).

Os mais comuns minerais esqueletais entre os organismos marinhos são o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e a sílica ( $\text{SiO}_2$ ). A água do mar está geralmente supersaturada com  $\text{CaCO}_3$ , sendo assim pleno o suprimento para os organismos. Sua precipitação biológica, entretanto, é inibida por baixas temperaturas e altas pressões; conseqüentemente, formas de águas profundas e de altas latitudes tendem a ter esqueleto de silício, ou frágeis estruturas de  $\text{CaCO}_3$ .

O fitoplâncton extrai fosfato e nitrato inorgânico das águas superficiais; algum fitoplâncton pode também utilizar compostos orgânicos dissolvidos. O desenvolvimento do

fitoplâncton em águas onde nutrientes e a luz do sol estão presentes em quantidades adequadas conduz a uma abundância de suprimento de alimento para a população animal.

Os nutrientes dos vegetais não convertidos para tecido animal ou estocados como óleo, estão disponíveis como materiais fecais, como matéria não digerida ou como matéria de fitoplânctons inalterada. Os nutrientes geralmente se dissolvem diretamente de material fecal, portanto, retornam diretamente para a água. Eventualmente, matéria orgânica particulada é decomposta pela ação bacteriana. Elementos nutrientes retornam para o oceano para serem reciclados por outra geração de vegetais e animais. Uma muito pequena fração é incorporada no sedimento. Os ciclos biológicos do fósforo e nitrogênio estão representados na Figura 6.

#### 5.5-ECOSSISTEMA MARINHO

Segundo DRAKE (1978), para se compreender um sistema vasto como o ecossistema marinho, são necessários modelos simplificados, mas sem distorções. Um modelo simplificado é dado na Figura 7, onde os caminhos principais de energia e fluxo de material são idealizados. Energia solar é absorvida pelas plantas e é transmitida para os animais e bactérias como energia potencial ao longo da cadeia alimentar principal. Esse grupo de consumo troca dióxido de carbono, nutrientes inorgânicos, e oxigênio com plantas. O fluxo de substâncias inorgânicas é, portanto, basicamente cíclico e conservativo sendo que o mesmo material vai e volta entre os componentes bióticos do sistema.

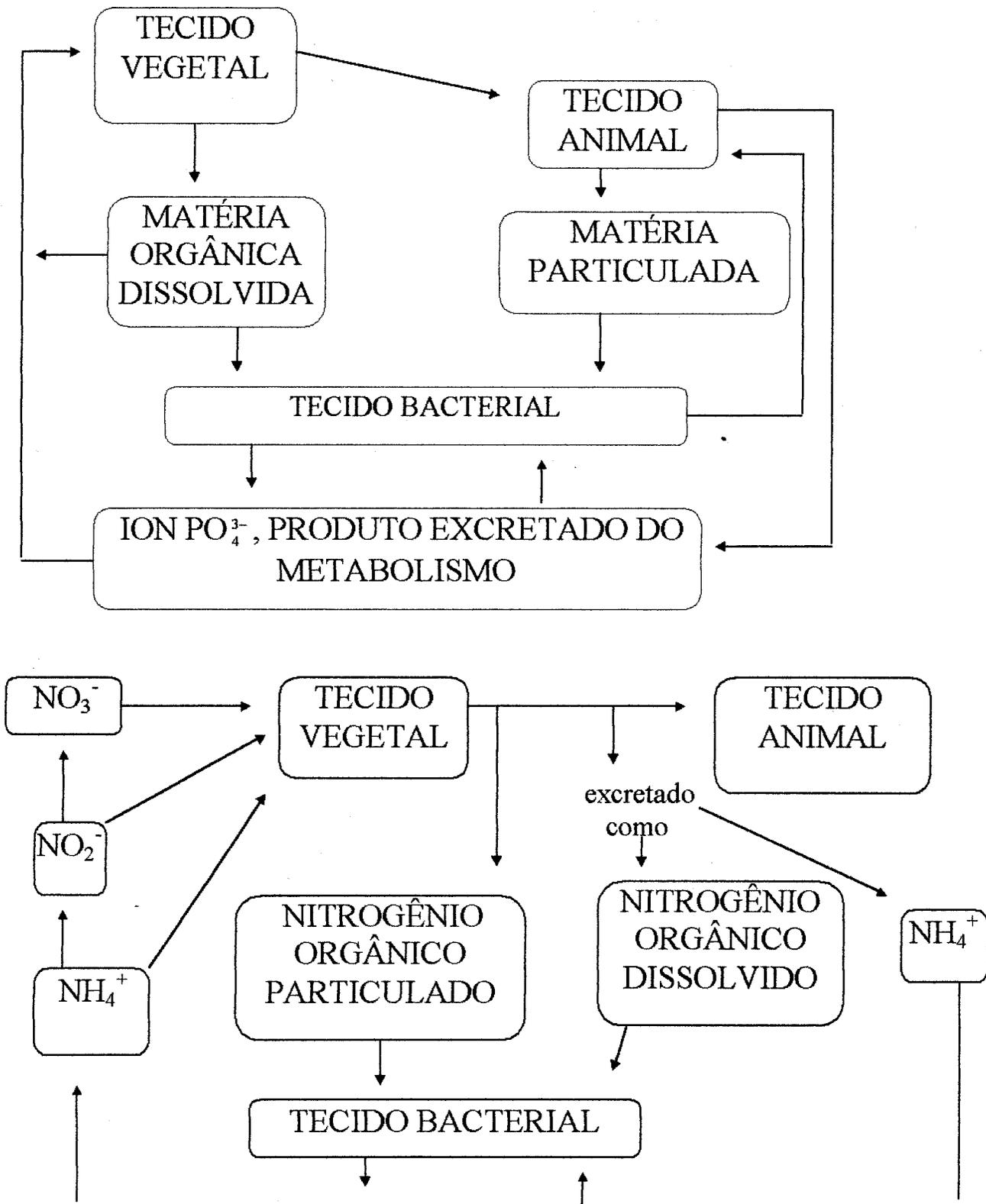


Figura 6- O ciclo do fósforo e do nitrogênio, (GROSS, 1990).

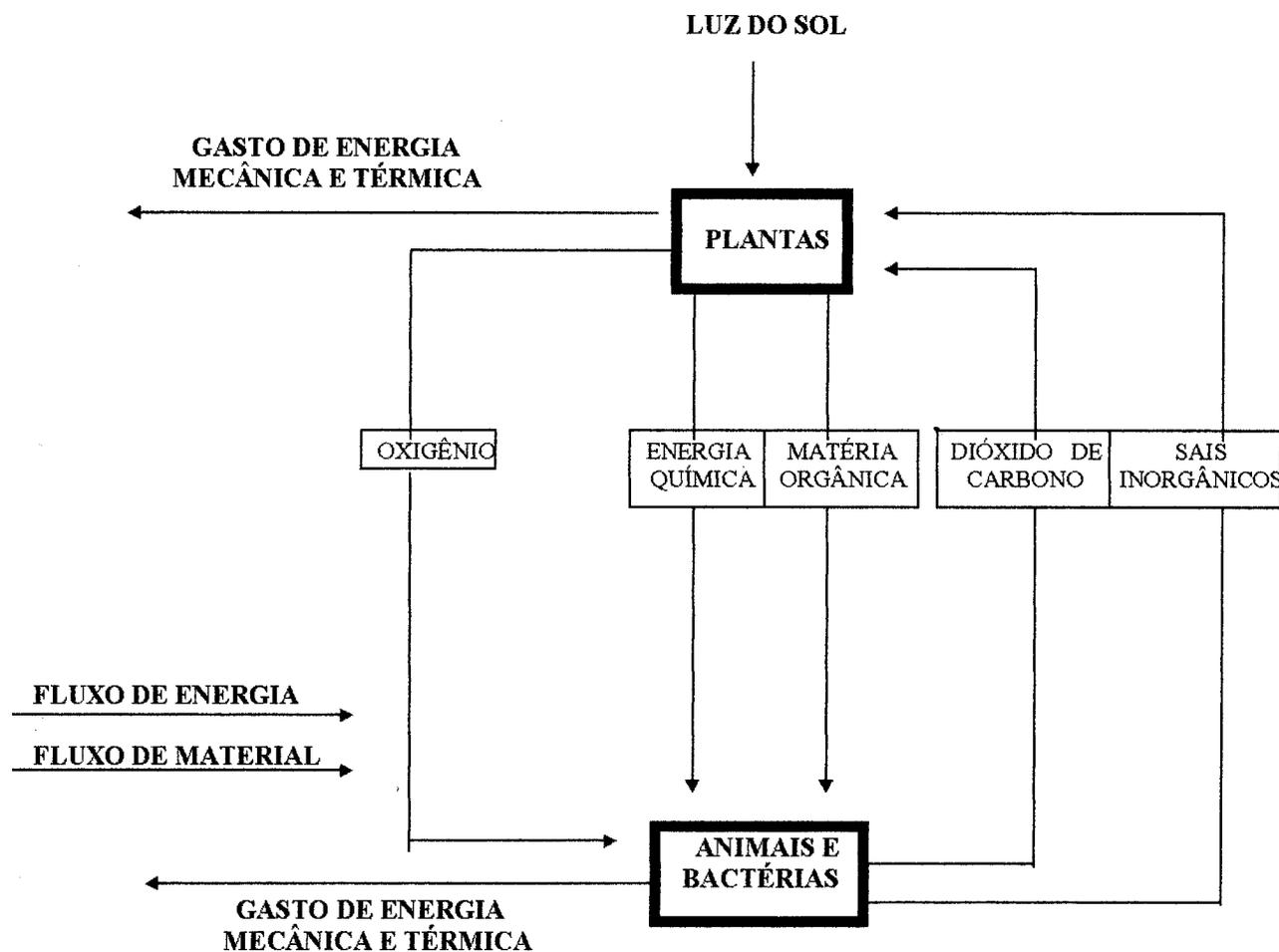


Figura 7- Principais trajetórias de energia e fluxo de material, (DRAKE, 1978)

### 5.5.1-Componentes do Ecossistema Marinho

Um modelo detalhado dos componentes do ecossistema é dado na Tabela 1, que lista os nutrientes essenciais das plantas e enfatiza que o lado orgânico do ecossistema inclui tecido vivo e não vivo.

Tabela 1- Componentes do Ecossistema Marinho, (DRAKE, 1978)

Componentes orgânicos	
Organismos Vivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plantas</li> <li>Animais</li> <li>Bactérias</li> </ul>
Entulhos Biogênicos (detritos orgânicos)	
Componentes Inorgânicos	
Dióxido de Carbono	
Nutrientes de Plantas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fósforo</li> <li>Nitrogênio</li> <li>Sílica</li> <li>outros elementos</li> </ul>
Oxigênio	
Água	

### 5.5.2- Níveis Tróficos

Dentre as mais importantes interações biológicas, existem aquelas que envolvem alimento. Essas relações tróficas são mostradas na Figura 8. Nesta as principais etapas na cadeia alimentar são identificadas, começando com a produção primária do fitoplâncton. As plantas são definidas como o primeiro nível trófico. O segundo nível trófico é constituído pelo zooplâncton herbívoro, e a produção resultante definida como secundária. Os carnívoros, presentes nos sucessivamente mais altos níveis tróficos são, chamados de primeiros carnívoros, segundos carnívoros e assim por diante.

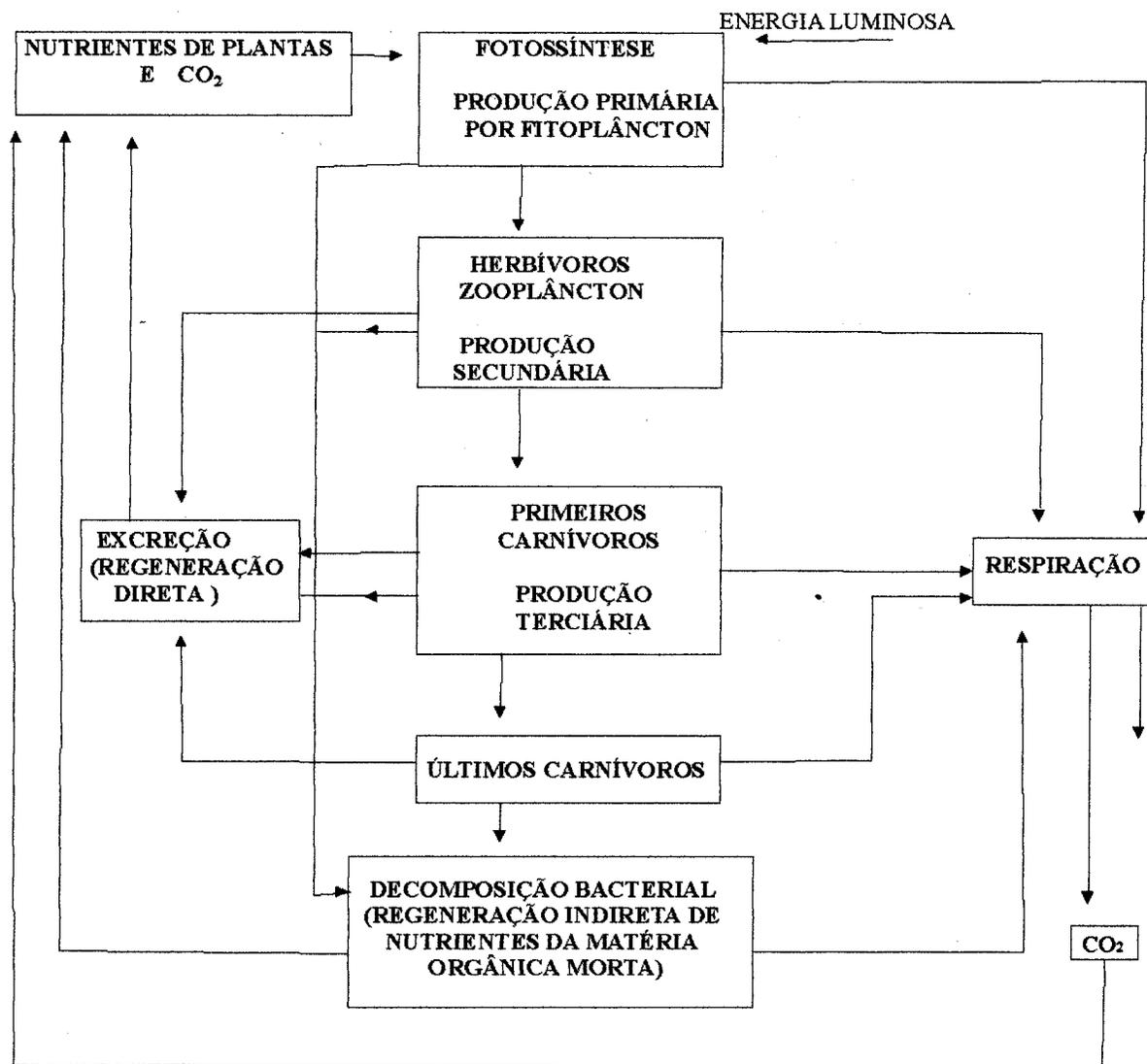


Figura 8-Fluxo de energia e compostos de carbono no ecossistema marinho,(Tait & De Santo, *apud* DRAKE, 1978).

## 5.6-CONDIÇÕES CONTROLADORAS E LIMITANTES DA PRODUÇÃO PRIMÁRIA

A presença e o sucesso de um organismo ou de um grupo de organismos dependem de um complexo de condições. Diz-se que qualquer condição que se aproxime dos limites de tolerância ou os exceda é uma condição limitante ou um fator limitante. Sob condições de estado constante, o material essencial que está disponível em quantidades que mais se aproxima da necessidade mínima tende a ser o fator limitante.

Os ecossistemas aquáticos são fortemente dependentes dos primeiros níveis tróficos, responsáveis pela produção primária, que é controlada basicamente pela intensidade da luz, temperatura e suprimento de nutrientes (Figura 9).

Nitrogênio  
Fósforo  
Magnésio  
Potássio  
Cálcio

macronutrientes

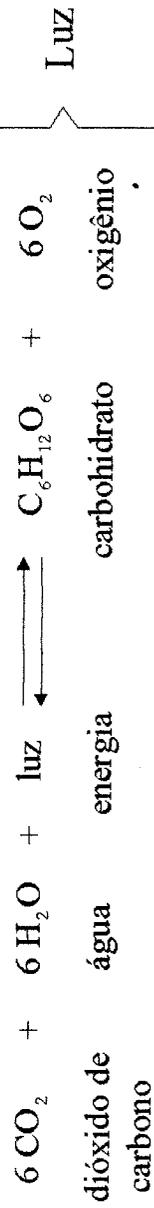
Sódio  
Ferro  
Manganês  
Cobre  
Zinco  
Boro  
Molibdênio  
Vanádio

micronutrientes

Suprimento de Nutrientes

Controladores da  
produção  
primária

FOTOSSÍNTESE



RESPIRAÇÃO

Todas as espécies de alga tem uma certa temperatura na qual a taxa de fotossíntese é máxima, desde que todas as outras condições, tais como intensidade da luz, sejam constantes. Temperaturas acima ou abaixo desta faixa ideal causam diminuição na fotossíntese.

Temperatura

Figura 9- Fatores controladores da produção primária.

### 5.6.1-Luz

Para o processo de fotossíntese, a quantidade de luz disponível em um ponto particular do oceano é um importante fator limitante na produção orgânica. A quantidade de luz no mar é controlada em primeiro lugar pela posição geográfica que determina o ângulo de incidência dos raios solares sobre a superfície terrestre e depois por fatores meteorológicos. Uma vez que os raios de sol penetrem no mar, sua intensidade diminui muito rapidamente com a profundidade. Em média, em profundidades de 10 m apenas 10% da luz que incide sobre o mar está disponível para a fotossíntese. A 100 m, apenas 1% está disponível. Este fator sozinho limita a zona de produção primária às primeiras centenas de metros da superfície do mar. Nas águas costeiras, que geralmente têm mais material em suspensão do que no mar aberto, a penetração da luz é mais inibida (DRAKE, 1978).

Como foi bem expressado por Pearse *apud* ODUM (1983), a luz coloca os organismos em um dilema: a exposição direta do protoplasma à luz causa a morte, porém a luz é a fonte final da energia, sem a qual a vida não pode existir. Conseqüentemente, grande parte das características estruturais e comportamentais dos organismos relacionam-se com a solução deste problema. A evolução da biosfera como um todo processou-se, principalmente, pela domesticação da radiação solar entrante, de forma que os seus comprimentos de onda úteis pudessem ser explorados, e os comprimentos de onda perigosos, mitigados ou barrados. Portanto, a luz, além de ser um fator vital, é também um fator limitante, num nível tanto máximo como mínimo. A radiação consiste em ondas eletromagnéticas de uma grande faixa de comprimentos. Não se sabe se as ondas de rádio são ecologicamente significativas ou não, apesar de haver pesquisadores que afirmem a existência de efeitos positivos em aves migratórias e em outros organismos. As radiações solares que penetram na atmosfera superior e atingem a superfície terrestre consistem em ondas

eletromagnéticas que variam em comprimento, desde aproximadamente 0,3 a 10  $\mu\text{m}$ ); isto equivale a uma faixa de 300 a 10.000 nm, ou de 3.000 a 100.000  $\text{\AA}$ . Ao olho humano a luz visível está na faixa de 3.900 a 7.600  $\text{\AA}$  (390 a 760 nm).

Tanto os animais como as plantas respondem a diversos comprimentos de onda da luz. Nos animais, a visão em cores ocorre esporadicamente em diferentes grupos taxonômicos, sendo aparentemente bem desenvolvida em certas espécies de artrópodes, peixes, aves e mamíferos.

A taxa de fotossíntese varia um pouco com os diferentes comprimentos de onda. Em ecossistemas terrestres, a qualidade da luz solar não varia o suficiente para apresentar um efeito diferencial importante sobre a taxa de fotossíntese, mas, à medida que a luz penetra na água, os vermelhos e azuis são retidos e a luz esverdeada resultante é mal absorvida pela clorofila. As algas vermelhas marinhas (Rhodophyta), porém, possuem pigmentos suplementares (ficoeritrinas) que lhes permitem utilizar esta energia e viver em profundidades maiores do que seria possível para as algas verdes. A intensidade da luz que atinge a camada autográfica controla o ecossistema inteiro por meio da sua influência sobre a produção primária. A relação entre intensidade e fotossíntese em vegetais, tanto terrestres como aquáticos, segue o mesmo padrão geral de aumento linear até um nível ótimo ou nível de saturação luminosa, seguido, em muitas instâncias, por uma diminuição, às grandes intensidade da irradiação solar direta.

O fitoplâncton, é adaptado à sombra, sendo grandemente inibido por alta intensidade de luz, o que explica o fato de que o máximo de produção no mar ocorre geralmente a uma certa profundidade, em vez de na superfície.

### 5.6.2-Temperatura

Grandes mudanças de temperatura ocorrem em áreas costeiras rasas e parcialmente isoladas, em parte devido à proximidade com o continente. Ventos soprando do continente sobre águas costeiras, por exemplo, afetam a temperatura da água e a salinidade de forma marcante. Na costa Atlântica, ventos vindo do continente são muito mais aquecidos do que o oceano no verão e muito mais frio no inverno, e eles interferem na temperatura das águas costeiras. Ventos soprando do continente, causam evaporação ao se deslocarem sobre as águas costeiras. Em contraste, ventos vindo do oceano para o continente, durante os meses de inverno, causam pesadas chuvas e provocam diminuição nos valores de salinidade dos oceanos costeiros (GROSS, 1990).

O aquecimento e resfriamento da superfície das águas durante o dia pode ser facilmente detectado, especialmente em áreas protegidas do vento e de ondas. A temperatura da água superficial é maior durante o meio da tarde e menor à noite, como constatado nas águas dos canais de maré que banham o manguezal de Bragança, onde são registradas as maiores temperaturas por volta das 14 horas, e as menores entre 20:00 e 6:00 horas.

A temperatura afeta a estrutura interna da água e suas propriedades. Muito do calor absorvido pela água é usado para mudar sua estrutura interna. Depois de absorver uma dada quantidade de calor, a água sofre um aumento de temperatura mais lento do que outras substâncias, devido a sua alta capacidade calorífica.

Considerando-se a variação de milhares de graus que se sabe ocorrer no universo, a vida, conforme nós a conhecemos, pode existir apenas dentro de uma minúscula faixa de cerca de 300 graus Celsius desde aproximadamente  $-200^{\circ}$  até  $+100^{\circ}\text{C}$ . Na verdade, a maioria das espécies e a maior parte das atividades estão restritas a uma faixa mais estreita ainda de temperaturas. Alguns

organismos, especialmente num estágio latente, conseguem existir sob temperaturas muito baixas, pelo menos durante pouco tempo, enquanto que alguns microrganismos, principalmente bactérias e algas, conseguem viver e se reproduzir em fontes de água quente, onde a temperatura está perto do ponto de ebulição. O limite superior de tolerância térmica de bactérias em fontes de água quente é cerca de 88°C, e para cianofíceas, cerca de 80°C, em comparação com os 50°C para os peixes e insetos mais tolerantes. De um modo geral, os limites superiores tornam-se mais rapidamente críticos do que os limites inferiores, apesar de muitos organismos parecerem funcionar mais eficientemente próximos aos limites superiores das suas faixas de tolerância. A amplitude da variação de temperatura tende a ser menor na água do que na terra, onde os organismos aquáticos geralmente apresentam faixas mais estreitas de tolerância térmica do que animais terrestres equivalentes. A temperatura, portanto, é universalmente importante, sendo muitas vezes um fator limitante. Os ritmos de temperatura, junto com os ritmos de luminosidade, umidade e marés, controlam em grande parte as atividades sazonais e diárias dos vegetais e animais. A temperatura também é responsável pela zonação e estratificação que ocorrem tanto em ambientes aquáticos como terrestres. Ela é também um dos fatores ambientais mais fáceis de serem medidos.

Segundo ODUM (1983), a variabilidade da temperatura é extremamente importante em termos ecológicos. Uma temperatura que flutua entre 10° e 20°C, com média de 15° C, não apresenta necessariamente o mesmo efeito sobre organismos com uma temperatura constante de 15°C. Os organismos que normalmente estão expostos a temperaturas variáveis na natureza (como ocorre na maioria das regiões temperadas) tendem a ficar deprimidos ou inibidos quando submetidos a temperaturas constantes. Um exemplo são as algas que num certo intervalo de temperatura apresentam uma taxa de fotossíntese máxima, mantidas as demais condições, tais

como intensidade da luz constante. Temperaturas acima ou abaixo dessa faixa ideal causam diminuição na fotossíntese.

### 5.6.3-Nutrientes

#### 5.6.3.1-A Origem dos Constituintes das Águas Marinhas

Alguns constituintes dissolvidos nas águas oceânicas provém de gases liberados para a atmosfera através de erupções vulcânicas, gases que são facilmente removidos pela chuva e levados para o oceano.

A atividade vulcânica no fundo do mar é também uma grande fonte de constituintes dissolvidos, especialmente do cálcio. Quando a água do mar reage com a rocha vulcânica ainda quente, elementos químicos são extraídos da rocha e carregados pela circulação de fluidos.

A terceira maior fonte de materiais dissolvidos na água do mar é o intemperismo de rochas continentais. Muitas rochas são formadas sob altas temperaturas e pressões e na ausência de oxigênio livre no interior da terra, e quando expostas ao oxigênio atmosférico e à chuva, se desintegram lentamente. Os primeiros grãos de minerais insolúveis liberados se tornam parte do solo. Eles eventualmente entram nos oceanos como partículas sedimentares depois de serem transportados pelo vento, rios ou pelo gelo. As porções solúveis liberadas durante o intemperismo da rocha são removidas pelas correntes de água e carregadas para os oceanos pelos rios. Por exemplo, o cálcio e magnésio nos oceanos provém da alteração de rochas vulcânicas submarinas e da decomposição de rochas no continente, incluindo o intemperismo de rochas sedimentares, especialmente carbonatos (GROSS, 1990).

### 5.6.3.2-Limitações Impostas pelo Equilíbrio de Material

As limitações impostas pelo equilíbrio de material, são as taxas de suprimento de materiais necessários para a fotossíntese. O fundamental é a água e o dióxido de carbono, que mais tarde serão distribuídos em várias espécies químicas. Águas superficiais em oceanos abertos contém o equivalente à 90 mg de dióxido de carbono por litro. É colocada a questão, se a taxa de fotossíntese poderia ser aumentada por um aumento no suprimento de dióxido de carbono. Experimentos onde o dióxido de carbono foi adicionado à água do mar não resultaram em aumento na taxa de fotossíntese. Portanto, em áreas onde a produção de fitoplâncton é geralmente alta, a concentração total de dióxido de carbono está abaixo de valores normais. Isto conduz à importante conclusão de que o dióxido de carbono nunca está em pequenas quantidades nos oceanos e que a disponibilidade de outras substâncias deve regular a taxa de fotossíntese CHESTER (1990). Essas substâncias são elementos nutrientes, isto é, materiais necessários para o crescimento de algas, além do dióxido de carbono e da água. Os macronutrientes nitrogênio, silício, fósforo, magnésio, cálcio e potássio., são necessários em relativamente grandes quantidades. Outros elementos, necessários em pouca quantidades, são por exemplo os micronutrientes ferro, manganês, cobre, zinco, boro, sódio, molibdênio e vanádio.

Em geral, apenas três nutrientes, quando ocorrendo em pequenas quantidades, são capazes de reduzir o processo de fotossíntese: são o nitrogênio, o fósforo e a sílica. O nitrogênio e o fósforo são os mais importantes no metabolismo das plantas, pois ambos são necessários para a construção do tecido celular. O silício é usado em grande abundância por dois tipos de fitoplâncton, que constroem seu esqueleto de sílica. Frequentemente, essas plantas extraem o silício tão rapidamente de águas superficiais que resulta na escassez deste elemento, limitando o crescimento dos organismos dependentes da sílica.

Segundo ODUM (1983), os sais de nitrogênio e de fósforo são de importância primordial, e devem ser considerados em primeiro lugar rotineiramente. As demandas agrícolas e industriais criam condições em que um excesso de nutrientes, tais como nitrogênio e fósforo, bem como uma falta, tornam-se limitantes. A interação entre o nitrogênio e o fósforo é especialmente importante. A razão N/P na biomassa média é de cerca de 16:1, e em canais de maré cerca de 28:1. Quando a razão N/P é reduzida a 5, as cianofíceas fixadoras de nitrogênio predominam no fitoplâncton e fixam uma quantidade suficiente de nitrogênio para elevar a razão para dentro da faixa de muitos lagos naturais. Depois do nitrogênio e do fósforo, merecem consideração o potássio, o cálcio e o magnésio. Moluscos e vertebrados precisam de cálcio em quantidades particularmente grandes, e o magnésio é um constituinte necessário da clorofila, sem a qual nenhum ecossistema pode funcionar. Em anos recentes, foi desenvolvido um grande interesse no estudo dos elementos e dos seus compostos que são necessários para a operação de sistemas vivos, mas apenas em quantidades extremamente pequenas, muitas como componentes de enzimas vitais. Tais elementos, geralmente chamados de elementos traços ou micronutrientes, são importantes como fatores limitantes. A disponibilidade de radioisótopos de muitos elementos traços serviu de grande estímulo aos estudos experimentais.

Dez micronutrientes são especialmente importantes para os vegetais: ferro, manganês, cobre, zinco, boro, silício, molibdênio, cloro, vanádio, e cobalto. Estes elementos podem ser divididos em três grupos: (1) aqueles necessários para a fotossíntese - Mn, Fe, O, Zn e V; (2) aqueles necessários para o metabolismo do nitrogênio - Mo, B, Co, Fe e (3) aqueles necessários para outras funções metabólicas - Mn, B, Co Cu e Si. Todos esses elementos, com exceção do boro, são essenciais para os animais, os quais também podem precisar de selênio, cromo, níquel, flúor, iodo, estanho, e, talvez, até o arsênio. A linha divisória entre macro e micronutrientes, evidentemente, não é nítida nem igual para todos os grupos de organismos; o sódio e o cloro, por

exemplo, são necessários em quantidades maiores para vertebrados do que para vegetais. O sódio, na verdade, é acrescentado à lista anterior como micronutriente para as plantas. Muitos micronutrientes assemelham-se a vitaminas, porque agem como catalisadores.

Seis constituintes ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ) compreendem 99% do sal da água do mar, enquanto os outros elementos presentes somam apenas 1%. Os teores daqueles elementos geralmente tendem a diminuir com a proximidade da costa, principalmente em regiões onde existem descargas de rios de água doce que se misturam com a do oceano, CHESTER (1990).

#### 5.6.3.3-Os Nutrientes nos Ecossistemas Costeiros

Os pântanos salgados do sistema de estuário da baía de Chesapeake nos Estados Unidos foram estudados por STEVENSON *et al.* (1976) para detectar padrões de trocas de nutrientes da maré. Uma área de pântano de 5,7 hectares no rio Choptank foi monitorada mensalmente de outubro de 1974 a agosto de 1975 para nitrogênio e fósforo inorgânico dissolvido. Durante o inverno a fotossíntese diminuiu e o nitrogênio total aumentou, vindo logo a diminuir com a chegada da primavera. O fósforo variou erráticamente. Durante o inverno parece existir um fluxo de fósforo e nitrogênio inorgânico para o estuário. Na primavera esse padrão inverte para ambos os nutrientes.

A Tabela 2 mostra os valores diurnos para temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido, dos dias amostrados. Na baía de Chesapeake, sudeste dos Estados Unidos, a salinidade flutuou de 0 a 12,6 ‰ e a temperatura de 0 a 35°C. A radiação solar esteve por volta de 3900 Kcal  $\text{m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ .

Níveis de oxigênio dissolvido nunca foram muito inferior a 2g  $\text{m}^{-3}$  e aumentaram vários dias acima de 14 g  $\text{m}^{-3}$ . A razão de fotossíntese aparente para respiração (F/R; Tabela 2) mostra

que no inverno o sistema é autotrófico, enquanto que no resto do ano é heterotrófico, exceto em agosto.

A Figura 10 mostra a respiração aparente e a fotossíntese, além da produção primária bruta (GPP) nos 14 meses de estudo. Como esperado, a produção primária bruta foi maior nos meses de verão. Os níveis de respiração caíram nos meses de inverno quando  $F > R$ . Em agosto, quando foram registradas as mais altas temperaturas da água, a fotossíntese excedeu a respiração. Observando-se a Figura 3, percebe-se que o padrão do GPP, que é controlado pela atividade metabólica, é drasticamente acelerado depois do mês de abril.

Tabela 2- Dados físico-químicos dos pântanos da baía de Chesapeake de julho de 1974 até agosto de 1975. (STEVENSON *et al.*, 1976)

Mês	Luz Solar Ly/Dia	Média de Salinidade ‰	Temperatura Diurna °C	Oxigênio Dissolvido g/m <sup>3</sup>	Razão F/R
Julho	462,1	10,2	23-29	4,5-14,1	0,88
Agosto	446,4	10,8	26-31	2,0- 6,4	1,06
Setemb	319,6	11,3	25-29	2,5- 8,5	0,79
Outub.	367,2	6,7	5-14	6,0- 8,4	0,91
Nove.	293,2	12,6	5- 8	2,0- 3,7	0,58
Dezen.	91,3	6,6	3- 9	3,7- 9,1	2,17
Janeiro	244,2	0,0	0- 3	11,4-13,9	1,95
Fever.	333,2	2,6	1- 4	8,7-13,1	10,29
Março	406,8	4,3	7- 9	11,0-12,4	0,79
Abril	238,4	5,7	15-20	8,3-10,4	0,83
Mai	366,0	4,0	21-26	4,7-10,0	0,69
Junho	681,9	6,9	26-31	1,9-13,7	0,80
Julho	471,9	4,5	23-32	3,2-13,6	0,89
Agosto	439,0	7,0	28-35	3,7-15,2	1,06

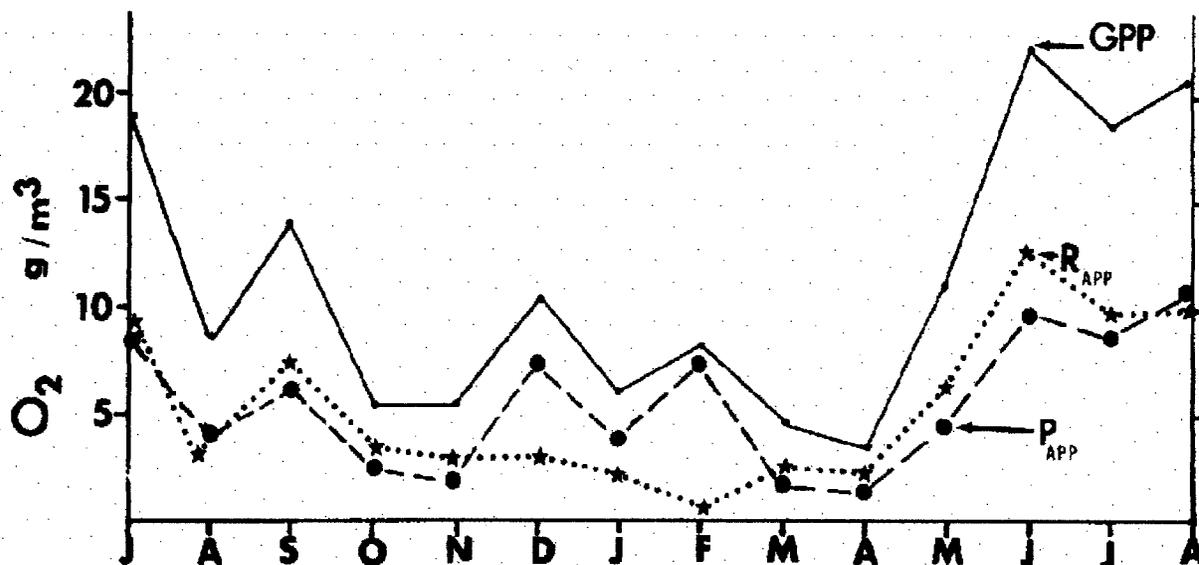


Figura 10- Metabolismo nos pântanos registrados mensalmente de 1974 até 1975. GPP significa produção primária bruta, R app indica respiração aparente e P app fotossíntese aparente, (STEVENSON *et al.*, 1976).

A Figura 11 mostra as mudanças na concentração de nitrato num período de amostragem diurna selecionado. As mudanças diurnas em outubro e junho sugerem depreciação em nitrato durante o dia e uma suave regeneração a noite, entretanto nos meses restantes, nenhum forte padrão diurno foi evidente. Ao invés disto um padrão errático indicou uma considerável variação ambiental nas concentrações. Além do mais, quando a fração do nitrogênio inorgânico dissolvido foi considerado, o mesmo padrão errático emergiu. Em vista do auto metabolismo do sistema durante muitos meses do ano, é esperada uma forte variação do nitrogênio diurno.

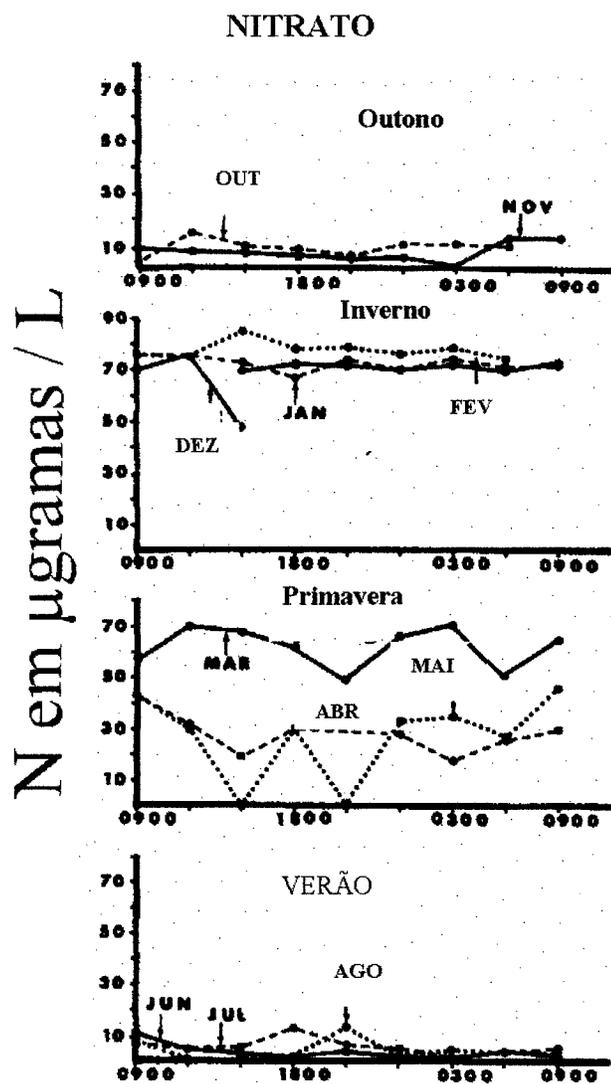


Figura 11- Concentração de nitrogênio dissolvido de outono de 1974 até o verão de 1975, (STEVENSON *et al.*, 1976).

Diferentemente do nitrogênio inorgânico dissolvido, a fração do fósforo tem uma consistente depreciação diurna e regeneração durante os períodos de alto 1974 até o verão de 1975, a Figura 12 mostra que os níveis de fosfato caíram consideravelmente durante as horas claras do dia (exceto nos meses de abril e junho quando níveis quase indetectáveis foram obtidos durante o dia). Durante esses meses a concentração de fosfato novamente aumenta a noite. Durante a amostragem diurna, a troca de fósforo com sedimentos do pântano pode ser restrita devido a ausência da ação da maré.

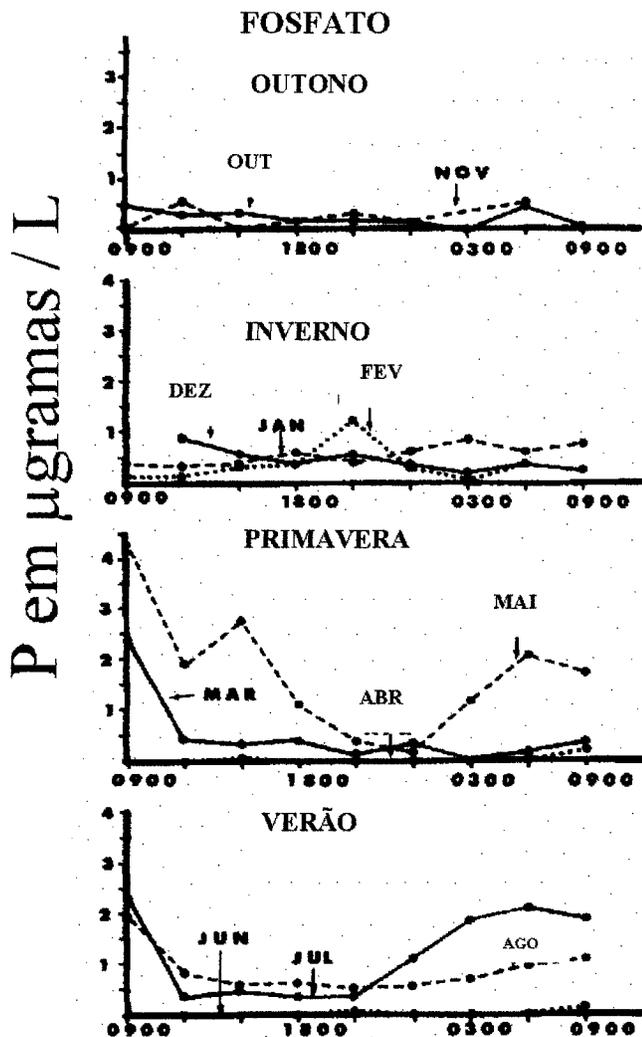


Figura 12- Concentração de fosfato dissolvido, do outono de 1974 até o verão de 1975. (STEVENSON *et al.*, 1976)

A Figura 13 mostra que, geralmente fósforo e nitrogênio tem uma relação inversa em termos de sazonalidade. Durante o inverno a concentração de fósforo orgânico dissolvido está por volta de  $1 \mu\text{g-at litro}^{-1}$ , mas depois de abril no verão ele aumenta para  $4 \mu\text{g-at litro}^{-1}$ . O aumento de fósforo

durante o verão pode ser encontrado em muitos outros estuários do mundo. Esse aumento no fósforo é atribuído à diminuição da penetração da luz e subsequente diminuição de sua utilização pelo fitoplâncton. Entretanto, os dados obtidos para este estuário indicam que os níveis de fosfato aumentam com a produção primária bruta total do sistema. Em vista da diminuição dos valores de nitrogênio no final da primavera, é provável que o fósforo esteja sendo incorporado para dentro do protoplasma a taxas muito rápidas. A explicação para o aumento nas concentrações de fósforo neste estuário, não é a diminuição na sua utilização, mas um grande aumento na entrada de fósforo dentro da baía. Recentes investigações atribuem os valores máximos no verão à liberação de ortofosfatos dentro das águas profundas depreciadas em oxigênio e subsequente transporte para a zona eufótica, através de misturas turbulentas da água.

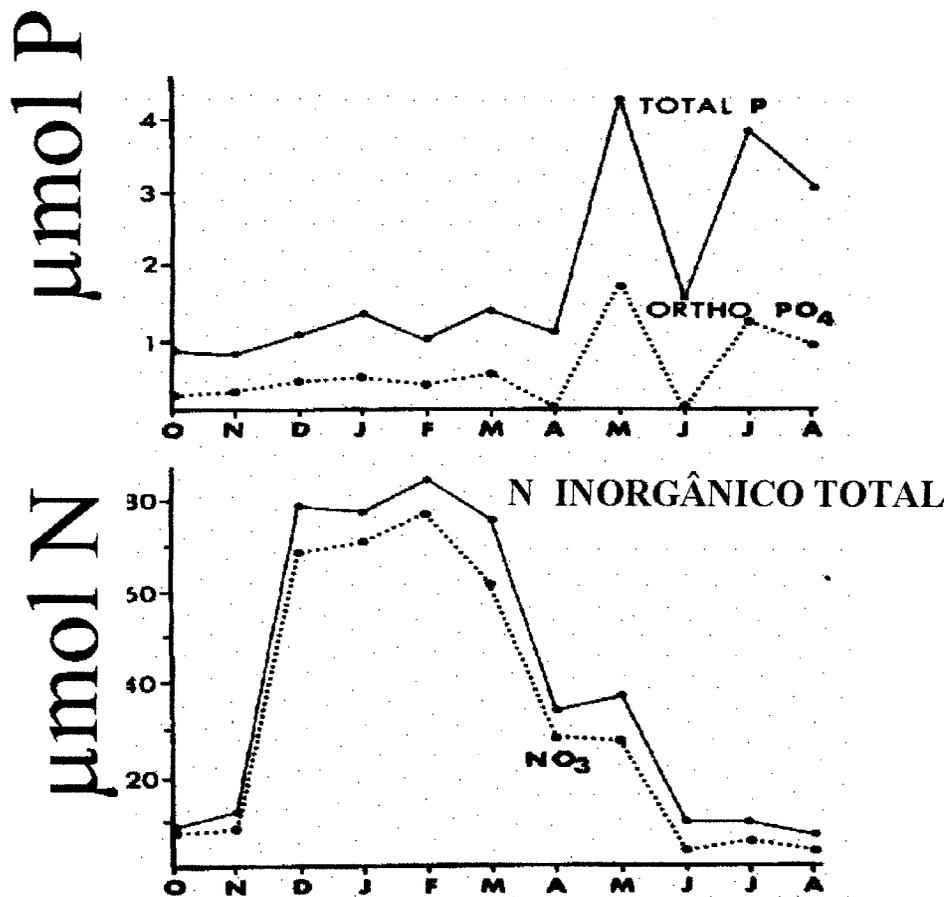


Figura 13- Média mensal de nitrogênio inorgânico dissolvido, nitrato, ortofosfato e concentração total de fósforo dissolvido nos pântanos do estuário da baía de Chesapeake entre os meses de outubro de 1974 e agosto de 1975, (STEVENSON *et al.*, 1976).

#### 5.6.3.4-Os Nutrientes nos Manguezais

Os estudos realizados em Coral Creek por BOTO & WELLINGTON (1988) investigaram as concentrações e fluxos de componentes dissolvidos em uma floresta de manguezal tropical, e em conjunção com estimativas prévias de material particulado transportado do mesmo sistema, sugere que virtualmente todo o transporte (exportação) está na forma de matéria particulada, predominantemente serrapilheira de plantas do mangue, tais como folhas, partes de flores e propágulos. Todas as estimativas para o material particulado e dissolvido transportado, indicam que a floresta tende a conservar o nitrogênio e fósforo. O total anual de carbono, nitrogênio e fósforo indicado com porcentagem da necessidade da produção primária da floresta é estimado

para ser de: (+= importação, - = exportação): C= -35%, N=-8% e P=+12%. A floresta parece estar em um leve estado de equilíbrio com os macronutrientes e eles são provavelmente reciclados dentro da floresta.

Segundo WATTAYAKORN *et al.* (1990), processos físicos no estuário de Klong Ngao na Finlândia diferem enormemente a estação chuvosa da seca. Na estação seca prevalece uma homogeneidade vertical e o manguezal se comporta como um tanque de evaporação. O sal e a água são aprisionados rio acima, resultando em gradientes longitudinais e através da dispersão da maré, pode resultar na saída de nutrientes, tais como silicato e possivelmente nitrito e nitrato, mas não o fosfato. Esse fluxo de saída é aprisionado nos limites costeiros. Na estação chuvosa, pequenos inundamentos locais geram uma forte estratificação na salinidade.

Misturas turbulentas através da interface de densidade são altamente dependentes do tempo, com a mais intensa mistura ocorrendo na velocidade máxima da corrente durante a descida da maré. O fluxo turbulento vertical de sal e a energia cinética de turbulência varia em uma ordem de magnitude no ciclo de maré e aproximadamente metade do transporte de sal total vertical ocorre durante um curto tempo em torno do máximo da maré baixa. Diferentes mecanismos de geração de turbulência operam várias vezes durante o ciclo de maré, e o intenso período de mistura coincide com condições favoráveis para a formação de uma subida hidráulica interna (PARTCH & SMITH, 1978).

No final da primavera e do verão, uma pluma estuarina pobre em  $\text{NO}_3$  invade o Rio Fraser (USA) com uma cunha salgada avançando durante a maré alta e formando uma camada intermediária entre as águas do rio e as águas profundas do oceano ricas em  $\text{NO}_3$  que formam a cunha salgada, produzindo um sistema de três camadas. Então, durante a entrada do fluxo de sal dentro do rio não necessariamente resulta num fluxo rio acima de  $\text{NO}_3$  devido a entrada das águas estuarinas pobres em  $\text{NO}_3$ . Portanto a quantidade de  $\text{NO}_3$  entrando, foi determinada pela

quantidade de água profunda entrando no estuário. Esta entrada é afetada pela maré, com uma maior entrada ocorrendo durante a subida do que na descida da maré (YIN *et al.*, 1995).

As correntes, salinidade e estratificação da salinidade em um canal próximo à desembocadura do estuário de Merbok mostram uma pronunciada variabilidade entre a descida e subida da maré. As lentas correntes e fracas misturas verticais na descida da maré favorecem a formação de uma coluna de água estratificada e geram um ciclo de descida e subida, estabilizando e desestabilizando a coluna d'água (UNDES *et al.*, 1990).

Segundo ALONGI *et al.* (1993), o rápido crescimento de bactérias pode ser parcialmente mantido pela decomposição e liberação de nutrientes de raízes do mangue. Análises de correlação suportam a noção de limitação de nutrientes (principalmente P) de bactérias e microalgas no mangue. Isto indica que uma aproximada conexão planta-nutriente-micróbio, serve como mecanismo para conservar escassos os nutrientes necessários para a existência dessas florestas de marés tropicais.

Segundo TAN *et al.* (1990), a taxa de decomposição das folhas pode ser específica de cada espécie e está relacionada a composição química das folhas. Significante perda de nitrogênio, fósforo e outros macronutrientes das folhas podem ter sido exportados da zona do manguezal para a linha de costa tornando-se uma importante fonte de nutrientes para outros organismos marinhos.

A degradação de compostos de nitrogênio orgânico nos sedimentos de Western Port, Victoria, é fortemente influenciada pela disponibilidade de fósforo e a quantidade e qualidade de entrada de detritos, e o tamanho e atividade das populações de micróbios (BOON & CAIN, 1988).

Os conteúdos de carbono orgânico e nitrogênio orgânico e inorgânico no solo diminuem significativamente das franjas da floresta Casuarina (Austrália) para a zona de manguezais de

Avicenia. As concentrações de amônio, nitrato e nitrito disponíveis para troca formam menos de 1% do nitrogênio do solo e variam sazonalmente. A feição distintiva das zonas de manguezais é que o reservatório de nitrogênio total dos componentes das plantas é maior (55%). Isto contrasta com os pântanos salgados e as comunidades das orlas, onde os reservatórios das plantas são menores (15%), em comparação com o solo. Esses dados são consistentes com a hipótese de que os nutrientes orgânicos são exportados pelo manguezal, enquanto que os pântanos salgados e as comunidades das franjas atuam como sumidouros de nutrientes (CLARKE, 1985).

As bactérias nos sedimentos dos manguezais são mais produtivas do que nos sedimentos marinhos temperados, e elas atuam como sumidouros para nutrientes particulados e dissolvidos (Alongi *apud* ROBERTSON & PHILLIPS, 1995). Essas populações, altamente produtivas, são capazes de sequestrar muito dos nutrientes dissolvidos disponíveis nas águas intersticiais dos sedimentos e nas águas sobrejacentes. Estudos conduzidos por STANLEY *et. al.* (1987), na Austrália, revelaram fluxos de entrada e de saída do nitrogênio orgânico dissolvido (DON) e do DOC dos sedimentos. Entretanto, quando os sedimentos foram envenenados para matar as bactérias, foram liberados  $27-69 \text{ mg N}^{-2} \text{ d}^{-1}$  e  $0,4-2,4 \text{ g C}^{-2} \text{ d}^{-1}$  dos sedimentos para a água. Foi estimado que tal fluxo suporta entre 9 a 38% do nitrogênio e carbono necessário para a produção bacterial do sedimento. ALONGI (1991) desenvolveu estudos de fluxos similares nos bancos de lama adjacentes a floresta de manguezal de um delta em Papua Nova Guiné. Ele encontrou fluxos de nutrientes (DOC, nitrogênio e fósforo inorgânico dissolvido e nitrogênio e fósforo orgânico dissolvido) para o sedimento vindo de águas sobrejacentes, indicando que o sedimento e sua microbiota são sumidouros de material dissolvido.

O DOC das águas intersticiais do manguezal de Queensland (Austrália) fornece em média 35% da necessidade da produtividade bacterial na interface sedimento-água ( BOTO *et al.*, 1989).

A concentração de nutrientes nas águas intersticiais é maior do que nas águas dos canais

de maré da baía de Sepetiba, R.J. A água subterrânea é uma fonte de sílica e fosfato, enquanto que a alcalinidade total e amônio estão relacionados à migração das águas intersticiais do manguezal para o canal. As águas da baía aberta contribuem com cloreto, oxigênio dissolvido e pH elevado. O nitrato está relacionado também à nitrificação dentro do canal. Durante a maré alta a salinidade, o cloreto, o oxigênio dissolvido e o pH aumentam. Este padrão é inverso para a maré baixa. Sílica, fosfato, nitrato e amônio mostram um comportamento errático durante os ciclos de maré. A dinâmica da maré, eventos de precipitação e nitrificação dentro do canal foram identificados como os maiores fatores controladores e uma estimativa das trocas de maré indicam que o sistema está em estado de equilíbrio ( OVALLE *et al.*, 1990).

O movimento das águas subterrâneas depende das características do solo e das diferenças no nível d'água no manguezal e no oceano e o fluxo de entrada e saída do manguezal com os ciclos de marés através do fundo dos canais. O movimento de misturas das águas que entram com as águas do fundo e da superfície resultam num desmantelamento das condições anóxicas nas camadas do fundo. As algas bentônicas fotossintetizando no sedimento de fundo estão entranhadas na lama pelo fluxo de saída das águas do manguezal através das correntes do fundo. O fluxo de água subterrânea aparenta atuar na determinação das propriedades da água e nas condições do sedimento das áreas de manguezais (MAZDA *et al.*, 1990).

O total de biomassa das florestas de manguezais do Motang (Malásia) é estimado em 8,26 milhões de toneladas (matéria seca). A biomassa liberada anualmente das árvores dos manguezais no sistema Motang é de 1.015.980 toneladas, destes, 559.500 toneladas (55%) está na forma de árvores mortas, 396.840 toneladas (39%) está na forma de serrapileira. A quantidade de macronutrientes liberados anualmente estão por volta de 12.210 e 11.870 toneladas, através de serrapilheira e árvores mortas, respectivamente (GONG & ONG, 1990). Segundo BOTO & WELLINGTON (1988), 35% da produção primária (como carbono) é exportado para águas

costeiras através da maré como matéria orgânica particulada, principalmente serrapilheira de plantas do manguezal da Ilha de Hinchinbrook (Austrália). Concentrações de carbono orgânico dissolvido, nitrogênio (DON) e fósforo (DOP), com espécies de nitrogênio e fósforo inorgânico (amônio, nitrato, nitrito e fosfato) foram consistentemente muito menor do que aquelas relatadas para muitos pântanos salgados temperados ou águas de manguezais estuarinos.

Segundo BOTO & ROBERTSON (1990), vários componentes (sedimentos e algas) de uma floresta de manguezal tropical mostrou de baixa a moderada taxas de fixação de nitrogênio. Medidas de escoamento mostraram uma negligenciável ou inconsistente variação sazonal na atividade para todos os componentes. Algas apoiadas em raízes mostraram muito maior atividade durante a noite, típico de muitos substratos associados à cianobactérias, enquanto que todos os outros componentes tem uma atividade constante ao longo das 24 horas do dia.

Sedimentos, raízes e troncos de árvores em decomposição contribuíram aproximadamente com 3,5; 1,6 e 1,0 % respectivamente, do nitrogênio requerido para a produção primária da floresta. A contribuição de nitrogênio total de vários componentes (6% da produção primária da floresta) se perde do sistema através do fluxo de maré do material dissolvido e particulado.

## 5.7-CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DAS ÁGUAS

Além das características já abordadas, existem outras características da água que também devem ser levadas em consideração para uma completa compreensão de um ecossistema, tais como salinidade, concentração de oxigênio dissolvido e pH.

### 5.7.1-Salinidade

Segundo GROSS (1990), o sal dissolvido afeta as propriedades físicas da água de várias formas, tais como a temperatura de congelamento inicial que é diminuída pelo aumento da

salinidade, a pressão de vapor que também diminui pelo aumento de salinidade, e a pressão osmótica que aumenta com o aumento da salinidade (moléculas de água se movem através de uma membrana semi-permeável, de uma solução menos salina para uma solução mais salina; a pressão que se opõe a parada desse movimento é chamada de pressão osmótica). Isso é muito importante para organismos.

O sal afeta a estrutura interna da água. Alguns íons dissolvidos, tal como o sódio e o potássio, trocam para a fase não estruturada da água, outros íons tais como o magnésio, favorecem a porção estruturada. Mudanças nas proporções desses constituintes afetam propriedades tais como, viscosidade, que é a resistência interna ao fluxo de um líquido.

Quando o sal está dissolvido na água, as ligações entre átomos e algumas moléculas são quebradas pelas interações entre o retículo cristalino e as moléculas de água. Então os constituintes dissolvidos na água ocorrem como átomos ou moléculas carregados eletricamente, chamados de íons.

A salinidade pode ser determinada através de medidas da condutividade elétrica da água, que é sua habilidade para conduzir corrente elétrica, controlada por movimento de íons através da água. Quanto mais sal dissolvido na água, maior a condutividade.

Tanto o sal como a temperatura, também modifica a densidade da água. A diminuição na temperatura e o aumento na salinidade causam aumentos na densidade.

Nos oceanos, massas de água geralmente formam finas camadas arrumadas de acordo com a densidade da água, que são chamadas verticalmente estratificadas. Em configurações de densidade estável, as águas mais densas estão no fundo, e as menos densas no topo. Se esse sistema estável é de alguma forma perturbado, ele tende a retornar a configuração original.

### 5.7.2- Oxigênio Dissolvido na Água

O oxigênio é um dos muitos gases dissolvidos na água do mar. Está intimamente envolvido em processos químicos e biológicos no oceano. A distribuição vertical e horizontal de oxigênio nos oceanos reflete um equilíbrio entre a entrada através da interface ar/mar.

O oxigênio na superfície misturado ou acamadado é derivado da troca com a atmosfera. Dessa forma, sua concentração é largamente determinada pela sua solubilidade na água do mar. De uma maneira global, a concentração do oxigênio dissolvido na água do mar é maior em águas frias de altas latitudes e menor em regiões subtropicais aquecidas. O suprimento atmosférico é suplementado pelo oxigênio liberado durante a fotossíntese.

Entretanto, a taxa de troca com a atmosfera é muito mais rápida do que a taxa na qual os processos oceânicos internos ocorrem. Como resultado a fotossíntese geralmente não conduz a um excesso de oxigênio nas camadas superficiais (CHESTER, 1990).

Segundo GROSS (1990), as concentrações de oxigênio dissolvido são geralmente uma imagem especular da concentração de nutrientes. Onde a concentração de nutrientes é alta, a concentração de oxigênio dissolvido é baixa, e vice versa.

Abaixo das zonas superficiais, o suprimento de oxigênio dissolvido vem, a princípio, através de lentos movimentos de águas de subsuperfície que se formam em áreas de alta latitude.

O oxigênio dissolvido é usado por bactérias e animais em todas as profundidades do oceano. O consumo de oxigênio nos oceanos profundos é lento. Baixas temperaturas e altas pressões reduzem as taxas metabólicas dos organismos de águas profundas junto com a escassez de comida mantém as populações esparsas. As águas se movem lentamente ao longo do fundo e então para a superfície, seu oxigênio dissolvido é assim consumido.

### 5.7.3- pH.

Segundo BRANCO (1978), o pH está sujeito a grandes variações que ocorrem em diferentes estações do ano ou horas do dia. A principal causa dessas variações é o consumo do gás carbônico realizado pelas algas no processo de fotossíntese. Assim sendo, o gás carbônico, que é o principal responsável pela acidez das águas, pode diminuir muito durante as horas claras do dia, quando a atividade fotossintética supera a respiração das bactérias e das próprias algas e é restabelecido durante a noite, quando cessa a fotossíntese, passando a preponderar a oxidação da matéria orgânica. Por outro lado, a liberação de amônia, que ocorre nas fases iniciais do processo de oxidação, tende a elevar o pH, mas em muito menor escala que a acidificação devida à produção de CO<sub>2</sub>.

Variações do pH podem exercer ações sobre as algas, como por exemplo, o fato de o pH superior a 9,0 poder causar a precipitação do fósforo sob a forma de ortofosfatos insolúveis, limitando o crescimento de algas. Além disso, muitas bactérias são sensíveis as variações além dos limites de 6,0 e 9,0 e a própria taxa de fotossíntese pode ser reduzida pela elevação muito acentuada do pH.

### 5.8-METAIS PESADOS NO MANGUEZAL

Os manguezais tem sido alvo de muitas pesquisas, principalmente referentes às variações no conteúdo de metais pesados em sedimentos de origem do manguezal ao longo dos ciclos de maré, como é o caso dos trabalhos realizados na baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, no ano de 1988, liderados pelo pesquisador L.D. Lacerda, onde foi constatada uma variação no conteúdo de metais pesados em materiais em suspensão durante os ciclos de maré. Os isótopos estáveis de carbono foram usados como traçadores para a determinação da fonte do material em suspensão no sistema. Durante os ciclos de maré três padrões de variabilidade de metais foram encontrados.

O primeiro representado pelo ferro, mostrou uma pequena e irregular variação durante o ciclo; o segundo, representado pelo manganês, exibiu um uniforme aumento na concentração durante o aumento da maré, coincidindo com as maiores variações de pH e Eh. O terceiro padrão, do cobre, cádmio, chumbo, níquel, cromo e zinco, mostrou uma concentração máxima no pico de mais alta maré, coincidindo com a troca da fonte de material em suspensão. Os isótopos estáveis de carbono indicam que durante a maré baixa muito do carbono exportado originou-se de detritos de plantas do manguezal, enquanto que durante a maré alta o carbono orgânico importado pelo sistema foi quase totalmente de origem marinha. O material em suspensão é o principal parâmetro controlador do fluxo de metais através do sistema. Mudanças no pH e Eh da água e a precipitação de manganês podem também servir como controladores secundários.

## 5.9-CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO (DOC)

### 5.9.1-Carbono Orgânico Dissolvido nos Oceanos

A concentração média de DOC nas camadas superficiais (0 - 300 m) dos oceanos é 1 mg C/L. A concentração média do DOC nas águas profundas é de 0,5 mg C/L. A principal fonte de DOC são os excrementos da biota. O DOC contém muitos componentes, dos quais os ácidos húmicos e fúlvicos estão relativamente em menores proporções. Substâncias húmicas marinhas são pouco diferentes nas características químicas das substâncias húmicas terrestres. (Harvey & Baron *apud* DREVER, 1988).

### 5.9.2-Carbono Orgânico Dissolvido nos Rios e Lagos

A concentração de carbono orgânico dissolvido (DOC) nos rios varia com o tamanho do rio, clima e a natureza da vegetação na bacia do rio. Excluindo as águas de drenagem de pântanos

e áreas alagadas, a concentração de DOC estende-se de 2 a 15 mg C/L, com uma média de 4 a 6 mg C/l (DEGENS *et al.*, 1991).

Em torno da metade do DOC é constituída por ácidos fúlvicos e húmicos. Águas de drenagem de pântanos e áreas alagadas possuem concentrações de DOC entre 5 e 60 mg C/L, com média de 25 mg C/l. Novamente os maiores componentes são ácidos fúlvicos e húmicos, (Beck *et al. apud* DREVER, 1988).

A concentração de DOC em lagos varia com sua produção biológica. Lagos com baixa produtividade tipicamente contém 1 a 3 mg C/l, enquanto que lagos eutróficos 2 a 5 mg C/l (Thurman *apud* DREVER, 1988).

Segundo Wetzel *apud* DREVER (1988), lagos associados com pântanos podem ter valores muito maiores. O DOC no lago é uma mistura de substâncias de origem dos rios (com alta proporção de substâncias húmicas) e substâncias produzidas pela biota no lago (uma vasta extensão de compostos com uma pequena fração de substâncias húmicas).

A relativa importância das duas fontes depende do tamanho do lago: quanto maior o lago, menor a contribuição relativa do rio.

### 5.9.3- Carbono Orgânico Dissolvido no Manguezal

Uma correlação entre concentração de matéria orgânica dissolvida (DOC) derivada de plantas vasculares e taxas de produção secundária bacteriana sugerem que alguns componentes de matéria orgânica dissolvida exportada pelo manguezal estão disponíveis para o crescimento bacteriano plânctonico em ambientes de mar aberto e a degradação de folhas de árvores do manguezal formam uma significativa quantidade de matéria orgânica dissolvida (MORAN *et al.* 1991).

Em vários ecossistemas de terras alagadas, a lignocelulose de plantas vasculares aquáticas é o mais abundante reservatório de material orgânico. Durante a degradação microbiana da lignocelulose, a decomposição solúvel produzida é liberada para o ambiente. A importância da lignocelulose derivada do carbono orgânico dissolvido (LC-DOC) para os processos ecológicos e geoquímicos depende da taxa de formação destes compostos. Esses LC-DOC podem atuar no papel da formação de substâncias húmicas em ambientes de terras alagadas ou outros ecossistemas aquáticos com substancial entrada de detritos de plantas vasculares (MORAN & HODSON, 1989). Segundo HEDGES *et al.* (1992), as substâncias húmicas dissolvidas nos estuários parecem representar uma pequena fração das substâncias húmicas da água do mar, como foi constatado no rio Amazonas e portanto devem ser eficientemente e rapidamente removidas do oceano.

#### 5.10-CARBONO ORGÂNICO PARTICULADO (POC)

Segundo DEGENS *et al.* (1991), o carbono orgânico particulado representa de 2% a 9% do total de sedimentos em suspensão, equivalente à concentração de 1 mg/L a 4-6 mg/L, com uma flutuação sazonal que é similar aquela dos sedimentos em suspensão, e os valores máximos são atingidos nos períodos de maré alta. O conteúdo de POC encontra valores entre 2,8 mg/l a 4,6 mg/l nos estágios de subida da maré, enquanto que a concentração permanece entre 1 mg/l e 2,3 mg/l (média de 1,8 mg/l) nos lentos fluxos de água.

Se a fonte de POC nos rios for autóctone, a baixa concentração de matéria orgânica particulada pode ser resultado da decomposição "in situ". A diluição de matéria orgânica por minerais de argila e outros colóides inorgânicos é motivo para explicar a baixa proporção de POC alóctone. A razão entre matéria orgânica e inorgânica seria desta forma similar aquela de

solos de ambientes semi-áridos, que são conhecidos pelo seu baixo conteúdo de carbono orgânico.

Quando a possibilidade de ambas as fontes autóctones e alóctones de POC são consideradas dentro do ano hidrológico, a produção de carbono orgânico "in situ" deve ser dominante nas estações secas, desde que as entradas dos rios tributários sejam negligenciadas do início ao fim deste período. Alta abundância de fitoplâncton tem sido documentada nos níveis de água baixa e nos períodos em que a transparência da água é alta. Em águas com alta turbidez, uma significativa queda na quantidade do fitoplâncton tem sido observada.

O carbono orgânico nos rios é derivado de duas fontes principais: (1) matéria orgânica autóctone, tal como o fitoplâncton dos rios e (2) matéria orgânica alóctone, de origem terrestre. Por causa da diferença isotópica entre plâncton de água doce e carbono orgânico terrestre, é de grande importância o uso de isótopos de carbono estáveis para se obter a proporção relativa de carbono orgânico alóctone versus o autóctone no sistema dos rios. Embora isótopos de carbono tenham sido usados extensivamente para o estudo das fontes de carbono orgânico em ambientes costeiros, poucas tentativas tem sido feitas para o uso deste método para o estudo da fonte de carbono orgânico nos rios. Novamente, com os carbonatos, uma correlação é esperada entre a composição isotópica do carbono inorgânico dissolvido e o POC autóctone (DEGENS *et. al.*, 1991).

#### 5.10.1-POC do Plâncton Marinho

A composição isotópicas do plâncton marinho se estende entre  $\delta^{13}\text{C} = -20$  e  $-30$  ‰ e depende do fracionamento isotópico entre o fitoplâncton e as várias frações de carbono inorgânico dissolvido. A magnitude desse fracionamento é relacionada à temperatura, espécies e taxas de crescimento (SACKETT *et al.*, 1965). Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  do fitoplâncton marinho de

ambientes temperados tropicais encontram-se ao redor de  $-20\text{‰}$ , enquanto que aqueles de regiões da Antártica estão por volta de  $-27\text{‰}$ . A composição isotópica do carbono orgânico particulado próximo a superfície é geralmente similar aquela do plancton. O POC de águas profundas, entretanto, está por volta de 2 a 3  $\text{‰}$  mais negativo do que o material na superfície. Isto é atribuído à remoção seletiva de componentes bioquimicamente mais enriquecidos em  $^{13}\text{C}$  do material na superfície por processos biológicos ou por uma contribuição significativa de um componente antártico isotopicamente leve (Eadie *et al. apud* DEGENS *et al.*, 1991).

#### 5.10.2-POC do Plâncton de Água Doce

O  $\delta^{13}\text{C}$  do  $\text{CO}_2$  ( $\delta^{13}\text{C} \cong -20$  a  $-26\text{‰}$ ) dissolvido em água doce é 12 a 18  $\text{‰}$  mais negativo do que o  $\text{CO}_2$  ( $\delta^{13}\text{C} \cong -8\text{‰}$ ) marinho dissolvido, enquanto o plancton de água doce mostra valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-32\text{‰}$  (alta quantidade de  $\text{HCO}_3^-$  em águas a temperaturas moderadas) a  $-44\text{‰}$  (alto conteúdo de  $\text{CO}_2$  em águas a baixas temperaturas). Por exemplo: o plâncton de águas doces subalpinas tem sido documentado com  $\delta^{13}\text{C} = -44$  a  $-47\text{‰}$  (RAU, 1978). MOOK (1970) encontrou plâncton com  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-31\text{‰}$  no lago Dutch combinado com um  $\delta^{13}\text{C}$  de  $\text{HCO}_3^-$  dissolvido de  $-8\text{‰}$ , onde nos últimos estágios de circulação da água o  $\delta^{13}\text{C}$  do plancton foi de  $-23\text{‰}$  em um  $\delta^{13}\text{C} (\text{HCO}_3^-) = 0$  por mil. Isto resulta de um fracionamento isotópico entre o  $\text{HCO}_3^-$  dissolvido e o plâncton de  $-23\text{‰}$  a temperaturas moderadas (equivalente ao fracionamento entre  $\text{CO}_2$  dissolvido e o plancton de  $-13\text{‰}$ , semelhante aqueles observados sob condições marinha e estuarinas (TAN & STRAIN, 1983).

### 5.10.3-POC em Rios

As fontes de carbono orgânico particulado no Rio Amazonas e seus tributários foram estudadas por CAI *et al.* (1988). Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  são observados para os pontos médios e inferiores do canal principal, mostrando valores de -27,9 a -30,1 por mil, numa média de -28,9 por mil. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para os tributários são geralmente mais negativos do que aqueles do canal principal. A composição isotópica do carbono orgânico de plantas terrestres na bacia da drenagem do Amazonas tem sido determinada por Medina e Michin e Hedges *et al. apud* DEGENS *et al.* (1991), onde o primeiro autor menciona valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de folhas coletadas em diferentes níveis em duas comunidades de florestas localizadas na base do Rio Negro, de -28,7 a -35,2 ‰. HEDGES *et al.* (1992) observou valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para 15 espécies comuns de folhas de árvores individuais com -28,7 a -31,3 por mil.

A segunda possibilidade de fonte de carbono orgânico é a produção “in situ” de plâncton aquático, que ocorre principalmente nas várzeas e nas bocas das baías dos tributários (Rai & Hill *apud* DEGENS *et al.*, 1991). Usando a composição isotópica do carbono inorgânico dissolvido e o fracionamento isotópico entre o plâncton do rio e  $\text{HCO}_3^-$  dissolvido, são esperados valores de -33 a -39 por mil para o plancton fluvial do Amazonas. A fonte dominante de POC no sistema de rios do Amazonas é, portanto, terrestre, com mais altos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para o POC nas partes superiores do canal principal, devido a erosão do solo.

### 10.4-POC em Estuários

O comportamento da matéria orgânica produzida nos estuários é similar ao POC produzido em águas doces e marinhas, com um fracionamento isotópico em torno de -23 ‰ relativo a fração de bicarbonato dissolvido. Entretanto, por causa da contribuição de materiais autóctones ser geralmente pequena, podemos aplicar isótopos de carbono para determinar a razão

entre POC marinho ( $\delta^{13}\text{C} = -21 \pm 1 \text{‰}$ ) e POC terrestres ( $\delta^{13}\text{C} = -27 \pm 1 \text{‰}$ ) (Fry e Sherr *apud* DEGENS *et al.*, 1991).

O estudo isotópico de EISMA *et al.* (1985) no estuário Gironde (França) ilustra as diferentes fontes de matéria orgânica. O  $\delta^{13}\text{C}$  mostra claramente a mistura de POC fluvial com POC marinho, indicando o transporte de matéria orgânica marinha e sedimentos marinhos associados e material em suspensão. Sob estas condições a contribuição relativa de POC marinho e fluvial para as amostras de sedimentos pode ser determinada com precisão de 10%.

#### 5.10.5-POC em Manguezais

Na baía de Sepetiba, REZENDE *et al.* (1989) estudaram a composição isotópica do carbono orgânico particulado durante cinco ciclos de maré. Os resultados mostram que uma mistura de carbono orgânico de origem marinha e do manguezal está sempre presente nos cursos d'água do manguezal.

Para a quantificação da interrelação entre a exportação de matéria orgânica dos manguezais e a produção das áreas costeiras tropicais foi necessária não só a quantificação de seus fluxos como também a determinação da origem do material exportado, uma vez que este pode apresentar componentes oriundos do manguezal propriamente dito, assim como de fontes terrestre e/ou marinha.

Amostras de folhas de árvores do manguezal, de algas, além de sedimentos e material particulado em suspensão, foram coletadas no manguezal do rio Itingussu, baía de Sepetiba, RJ. O teor de  $^{13}\text{C}$  foi analisado por espectrometria de massa, sendo os resultados expressos em termos da razão  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  em relação ao padrão PDB, como na equação (2) (LACERDA *et al.*, 1986; REZENDE *et al.*, 1989).

$$\delta^{13}\text{C} = \frac{{}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C amostra}}{{}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C padrão}} \quad (2)$$

Para a utilização de isótopos estáveis de carbono como traçadores da origem do material orgânico em ecossistemas costeiros e a completa identificação de suas fontes é necessário que existam somente duas fontes com razões isotópicas distintas. Assim, a proporção relativa das mesmas será refletida pela composição isotópica de carbono no produto final (equação 3):

$$\% \text{ mangue POC} = \frac{({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}) \text{ amostra} - ({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}) \text{ marinho}}{({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}) \text{ mangue} - ({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}) \text{ marinho}} \cdot 100 \quad (3)$$

Na Baía de Sepetiba, os resultados obtidos, permitem a caracterização de dois típicos produtos finais: o carbono orgânico particulado (POC) de origem marinha ( $\delta^{13} = -20,50\%$ ) e o POC do mangue ( $-26,8\%$ , Tabela 3).

Tabela 3- Razão  ${}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$  em amostras da floresta de mangue da baía de Sepetiba. (RESENDE *et al.*, 1989)

	${}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C} \text{ ‰, PDB}$
Rhizophora mangue	-27.60
Avicennia shaueriana	-27.41
Laguncularia racemosa	-25.15
POC Marinho	-20.50
<u>POC do Mangue</u>	<u>-26.77</u>

Em todos os ciclos os resultados mostram o mesmo padrão, com valores de pico de maré baixa próximos ao POC do manguezal, enquanto em picos de maré alta a razão de  ${}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$  troca para valores de POC marinho. Essas flutuações caracterizam a mudança da origem do POC

durante diferentes estágios do ciclo de maré. Durante ciclos de maré de larga amplitude, a contribuição do manguezal durante os picos de maré baixa atingem 100% do POC transportado, enquanto que nos picos de maré alta a contribuição marinha dominou com POC dos manguezais contribuindo apenas com 2 a 30% (Figura 14).

As pequenas variações poderiam ser associadas com diferenças na amplitude de maré entre ciclos que poderiam influenciar a área total submersa e a eficiência do transporte durante cada ciclo de maré.

Embora existam flutuações do POC do manguezal dentro dos ciclos da maré, está claro que durante um ciclo de maré de grande amplitude a contribuição dos manguezais para o POC é maior, enquanto que durante os ciclos de maré de baixa amplitude a contribuição dos manguezais ao POC é baixa.

Durante ambos os períodos de amostragem, a troca de fonte de carbono não ocorreu imediatamente depois da troca de maré. Uma média de intervalo de 1 hora ocorre antes dos valores típicos de  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  do período de baixa e alta maré serem atingidos, indicando que certa fração de POC está constantemente se movendo dentro e fora do sistema. Desta forma fica claro que existe uma forte interação entre as condições físico-químicas marinhas e as dos manguezais, onde os períodos de maré alta o ecossistema dos manguezais é fortemente influenciado e controlado pelas condições marinhas, enquanto que nos momentos de maré baixa as condições reinantes no manguezal são próprias desse ecossistema, (RESENDE *et al.*, 1989).

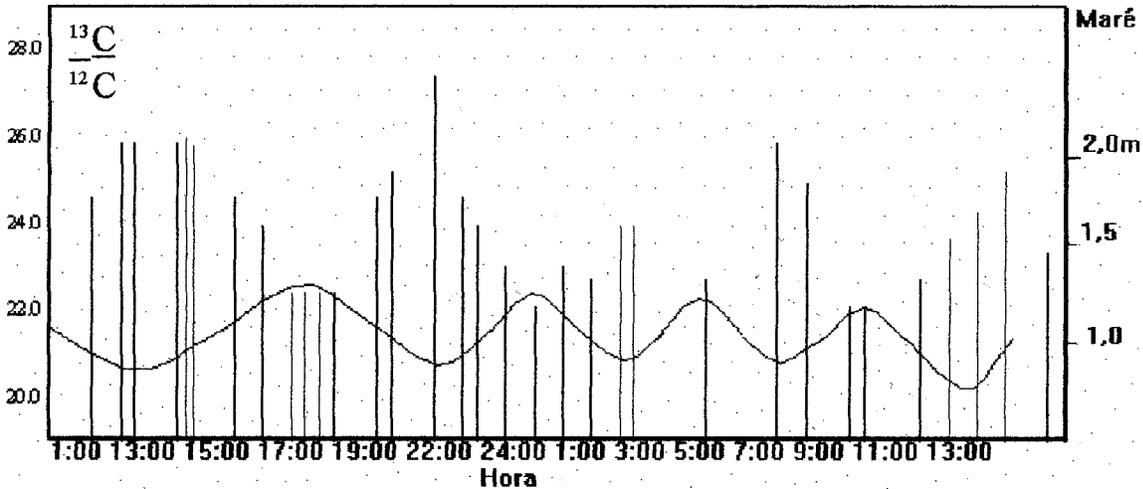
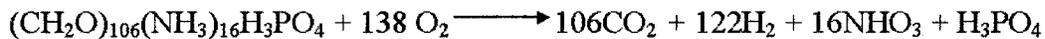


Figura 14-Variação da razão do  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  durante 4 ciclos de maré na baía de Sepetiba, (RESENDE *et al.*, 1989).

A matéria orgânica particulada (POM) é composta de uma variedade de materiais incluindo excreções, agregados de matéria orgânica dissolvida (DOM) e tecidos orgânicos vivos e mortos. Muitas das frações mortas ou detriticas são decomposta pela atividade de respiração das bactérias, fungos, protozoários e animais. Este processo pode ser representado como:



A completa decomposição da POM devolve o nitrogênio, fósforo e carbono para sua forma solúvel. Este processo é chamado de regeneração dos nutrientes ou remineralização.

Devido à matéria orgânica ser a única fonte de energia química para os organismos heterotróficos, a POM é rapidamente remineralizada logo depois da morte ou da excreção. Entretanto, uma pequena quantidade afunda rápido o suficiente para atingir o fundo antes de ser completamente remineralizada. Como a respiração ocorre em todas as profundidades, menos de

1% da POM produzida primariamente sobrevive a viagem até o fundo. Mesmo como parte dos sedimentos, a POM esta sujeita à atividade respiratória dos organismos. Os efeitos dos organismos bentônicos são maiores na interface sedimento-água e a remineralização é um importante sumidouro de POM através dos primeiros 10 cm de sedimento. Então o conteúdo de carbono orgânico dos sedimentos marinhos é geralmente menos de 1% de sua massa total, exceto nas áreas costeiras, onde os valores chegam a 10%.

Durante o estágio inicial da remineralização, o nitrogênio é liberado da matéria orgânica na forma de amônio. Se o  $O_2$  esta presente, o amônio é rapidamente oxidado por certas espécies de bactérias para nitrito e por outras para nitrato. Este processo é chamado de nitrificação. Nas águas superficiais, uma significativa fração de amônio é assimilada pelo fitoplâncton antes que ela possa ser oxidada, (LIBES, 1992).

Segundo MOREL & CORREDOR (1993), a taxa de mineralização de nitrogênio equivale a 6,5% do total da entrada para o sedimento. A sedimentação da matéria particulada fornece um fluxo de nitrogênio de  $855 \mu\text{moles N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . A fixação de nitrogênio nos sedimentos fornece um adicional de  $22 \mu\text{moles N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . A difusão de amônio para a coluna d'água remove  $50 \mu\text{moles N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  da fração mineralizada, enquanto que apenas  $5 \mu\text{moles N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  são removidos do sistema via desnitrificação. O metabolismo bacteriano oxidativo (mineralização e nitrificação) é severamente limitado, e as lagunas costeiras tropicais funcionam como retentoras de carbono e nutrientes.

## 6-RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1-LUZ

As variações de luminosidade no manguezal de Bragança foram estudadas durante um ano (Figura 15), e foram encontrados valores máximos de luminosidade próximos de

$2.250\mu\text{M}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , atingidos na campanha de 24/09/1996 (Figura 16), por volta das 12:30. Na campanha de 22/12/1996 foram registrados os mais baixos valores de luminosidade para o período do dia.

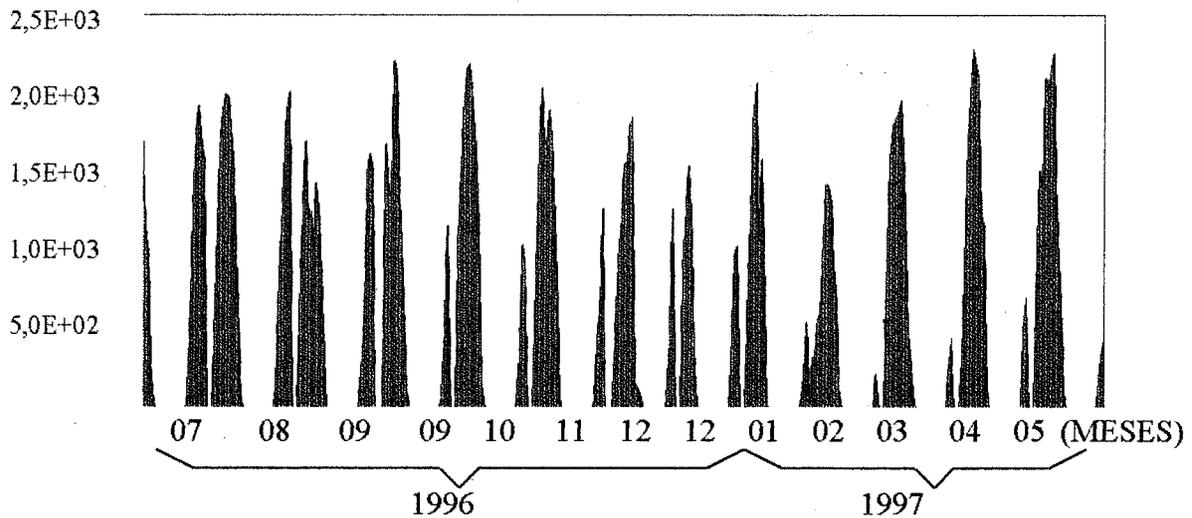


Figura. 15-Dados da variação da luminosidade registrados durante as campanhas no Furo do Chato. Dados obtidos a partir do grupo biótico do programa MADAM.

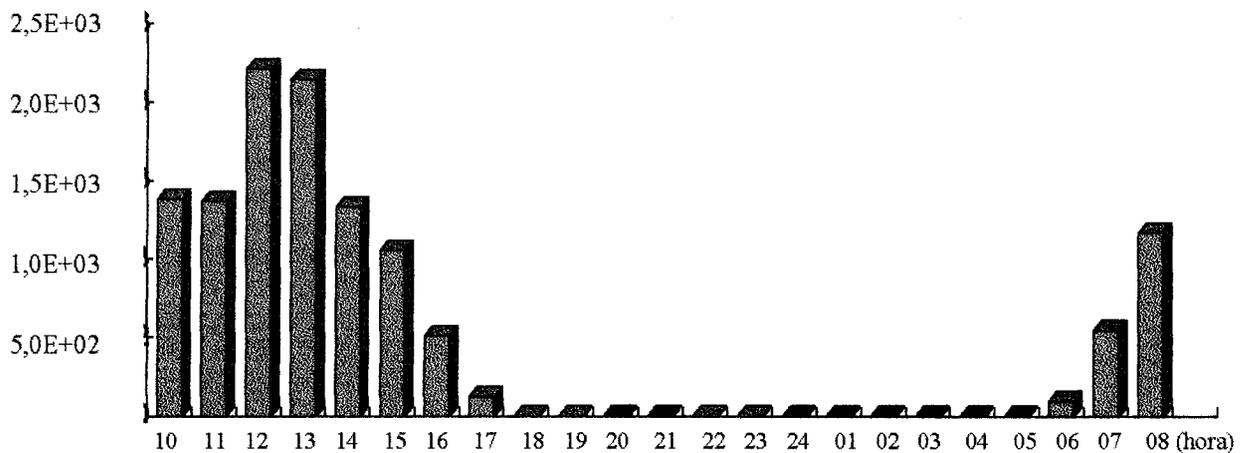


Figura.16 - Variação da luminosidade na campanha do dia 24-25/09/1996.

\* mol é definido como: quantidade de matéria de um sistema que contém tantas entidades elementares quantos são os átomos contidos em 0,012 quilograma de carbono, isótopo 12, (Sistema Internacional de Unidades).

## 6.2-TEMPERATURA

As variações da temperatura das águas que fluem pelo Furo do Chato, registradas durante um ano, apresentam valores mais elevados durante a maré baixa e no período compreendido entre as 11:00 e 15:00 horas (Figura 18); as temperaturas mais elevadas registradas foram de 32°C e 31,7°C, na campanha de 24/09/1996, precisamente às 15:00 horas, durante a subida da maré, e na campanha de 13/08/96, às 14:00 horas, durante a maré baixa, respectivamente. As mais baixas temperaturas foram registradas durante a maré baixa, entre às 20:00 e 6:00 horas. Na campanha de 08/06/1996 foi obtida a temperatura de 25,4°C às 20:00, durante a maré baixa (Figura 17).

Em média, as águas da maré baixa, durante o dia, são mais aquecidas do que as águas da maré alta. Durante a noite ocorre o inverso, com a maré alta apresentando os valores mais elevados de temperatura para suas águas em relação a maré baixa.

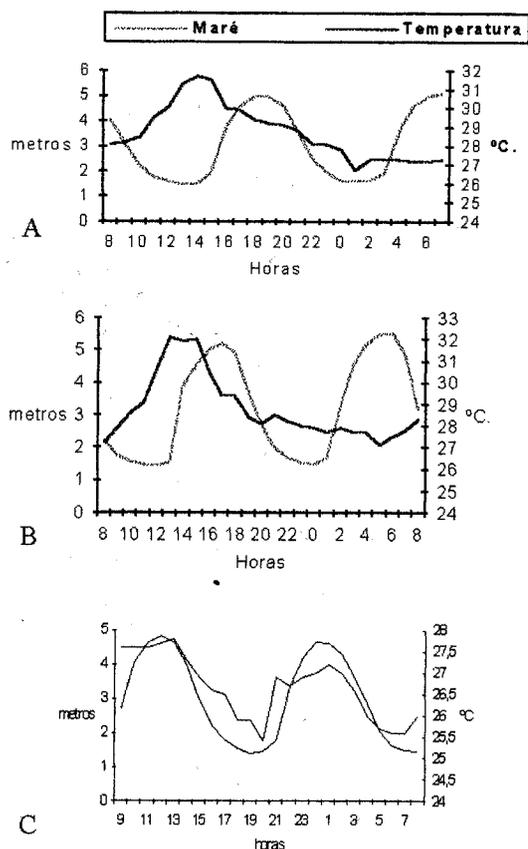
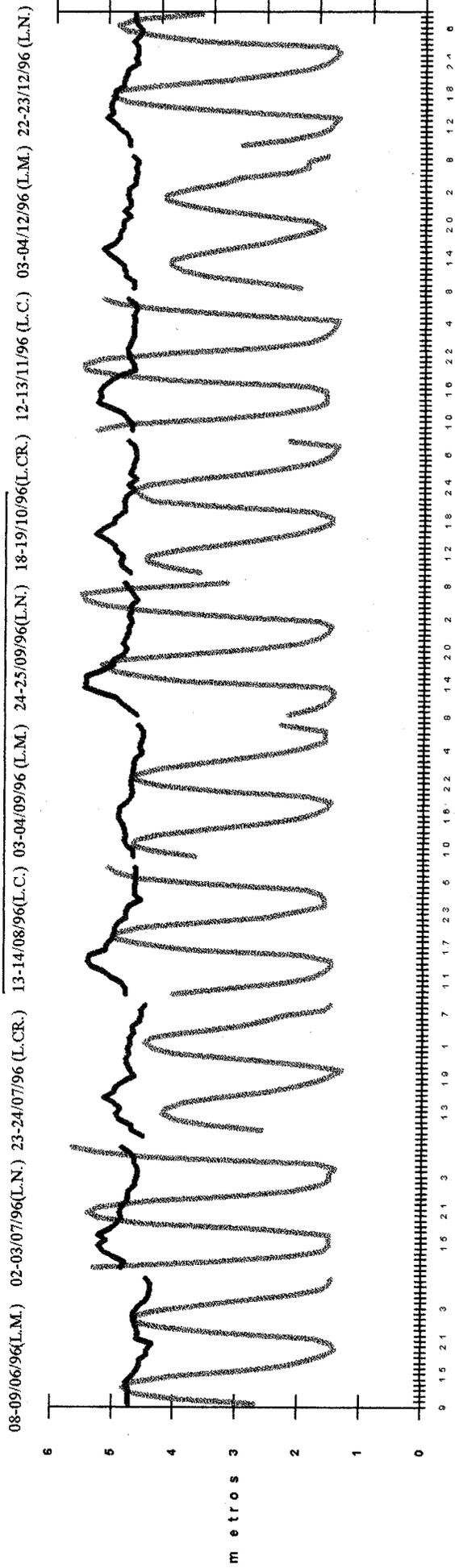


Fig.17-(A)Variação da temperatura da água no Furo do Chato de acordo com a maré e ao longo de 24 horas durante a campanha de 13-14/08/1996, quando foi registrada temperatura de 31,7°C às 14:00, (B) campanha 24-25/09/1996, onde foi observada a temperatura de 32°C, às 15:00 horas. (C)Campanha do dia08-09/06/1996, quando foi atingida a temperatura de 25,4°C às 20:00 durante a maré baixa. Dados obtidos em cooperação com o grupo abiótico coordenado pelo Dr. Rubén Lara (Programa MADAM).



22-23/12/96 (L.N.) 14-15/01/97 (L.CR.) 06-07/02/97(L.C.) 04-05/03/97(L.M.) 22-23/03/97 (L.N.) 15-16/04/97(L.CR.) 06-07/05/97 (L.C.) 29-30/05/97 (L.M.)

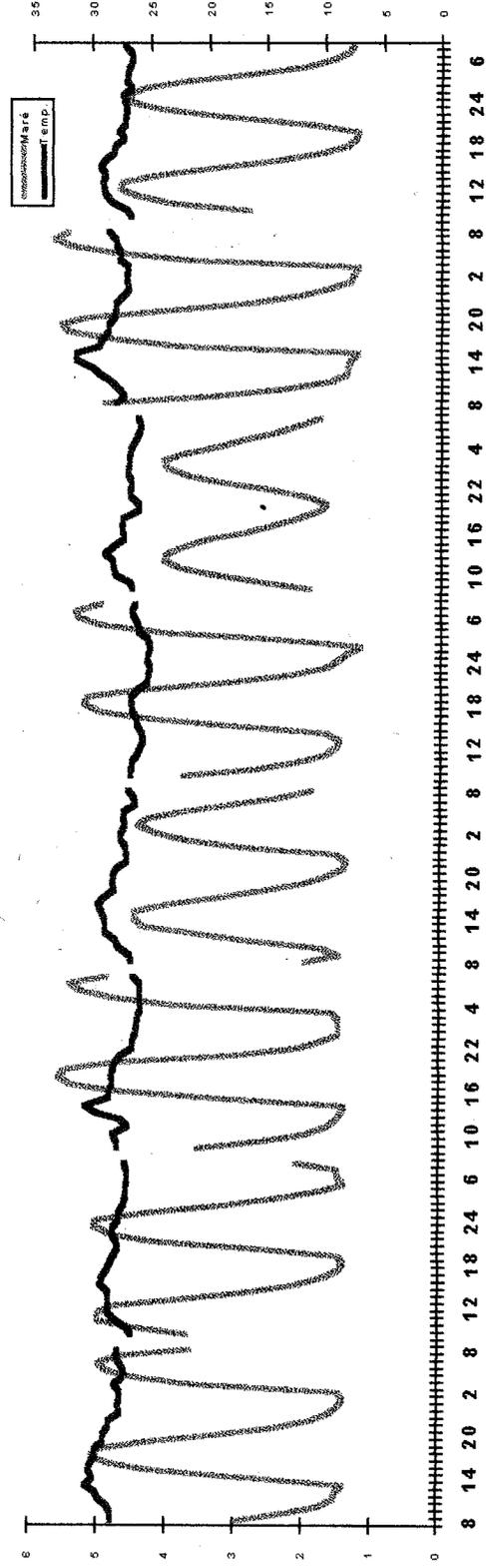


Figura 18-Dados da variação de temperatura de acordo com a maré para as campanhas realizadas ao longo de um ano. Dados obtidos em cooperação com o grupo abiótico coordenado pelo Dr. Rubén Lara (Programa MADAM)

As variações médias de temperatura da água indicam que os meses compreendidos entre janeiro de 1997 e junho de 1997 são os menos quentes, com médias iguais ou abaixo de 27,62°C. Médias superiores a esta estão confinadas as campanhas do final de julho até a última do mês de dezembro de 1997, com a média máxima de 28,78°C registrada para a campanha de 24-25 de setembro, onde a partir deste mês os valores começam a cair até a campanha de 6-7 de fevereiro registrando a média mínima de 27,1°C.

Na última campanha do mês de julho de 1996 quando o valor médio de temperatura da água ultrapassa a marca dos 27,62°C, ocorre um contínuo aumento nas médias de temperatura até a campanha de 24-25 de setembro, exceção feita à campanha de 3-4 de setembro que interrompe esse aumento com uma brusca queda na temperatura média registrada para essa campanha atingindo o valor de 27,64°C (Figura19).

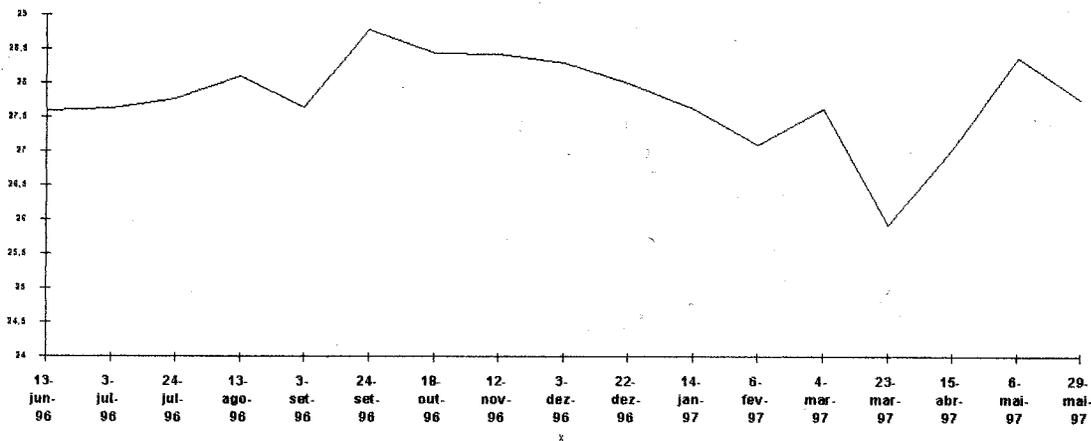


Figura 19- Média de temperaturas da água registradas a partir de junho de 1996 até junho de 1997.

## 6.3-NUTRIENTES

### 6.3.1-Composição da Água do Manguezal no Furo do Chato

A composição média da água do Furo do Meio é mostrada na Tabela 4. Dentre os constituintes dissolvidos medidos os maiores foram sódio, magnésio, potássio e cálcio. A

concentração total desses elementos, juntamente com a salinidade, pode variar como resultado da perda e ganho de água pelos processos de evaporação e precipitação pluviométrica. Esses elementos, segundo DREVER (1988), podem ser classificados como conservativos, pois a razão da concentração desses componentes em relação a concentração do cloreto são as mesmas em qualquer lugar do oceano aberto. Os componentes não conservativos ( $O_2$  e  $CO_2$  dissolvidos, fosfato, nitrato, sílica, carbono orgânico dissolvido e elementos traços), por outro lado, variam significativamente de lugar para lugar no oceano, como consequência de processos biológicos. Os íons maiores da água do mar são considerados conservativos porque sua taxa de remoção da água é muito pequena em comparação com a taxa de mistura da água do mar nas bacias oceânicas.

Tabela 4- Concentração média de sódio, magnésio, potássio e cálcio, durante as marés baixa (M.B.) e alta (M.A.) no Furo do Chato ao longo do ano. Valores expressos em ppm.

	Na M.A.	Na M.B	Mg M.A	Mg M.B	K M.A.	K M.B.	Ca M.A.	Ca M.B.
08/06/96	5313	4296	639	534	179	156	210	185
02/07/96	8010	7261	769	671	275	250	195	194
24/07/96	8080	8523	750	800	250	270	195	200
13/08/96	8313	8961	843	922	255	279	280	302
3/09/96	8350	9011	1028	1037	310	320	374	370
24/09/96	8222	9989	1074	1219	335	362	385	440
18/10/96	9990	10310	1140	1240	340	375	294	315
12/11/96	9810	11333	1193	1340	345	417	355	405
3/12/96	10590	11167	1300	1392	360	382	478	482
22/12/96	10971	11294	1276	1354	423	429	375	456
14/01/97	8838	6098	1160	864	360	277	396	285
06/02/97	7827	5827	1300	894	390	294	400	288
04/03/97	7703	7107	1207	1069	335	330	332	300
23/03/97	2976	2616	351	358	135	134	96	84
15/04/97	1915	1912	332	285	114	111	97	94
06/05/97	4080	4284	392	407	117	134	121	130
29/05/97	6597	6517	668	665	181	161	188	182

### 6.3.2-Variação de sódio, potássio, cálcio e magnésio nas águas do canal de maré do Furo do Chato

De um modo geral, os cátions citados anteriormente, mais outros nutrientes, apresentam sensíveis variações nas águas dos manguezal de Bragança, de acordo com a altura da maré e a estação do ano. As variações de concentrações descrevem um padrão de comportamento particular para o período chuvoso do ano compreendido entre os meses de janeiro e junho, onde as concentrações dos nutrientes permanecem estáveis ao longo da maré baixa, que dura em média 4 horas. Com o início da subida da maré ocorre um aumento nas concentrações dos cátions, que atingem o máximo próximo a altura máxima da maré, quando os valores permanecem inalterados até o início da descida da maré, que se dá geralmente 5 horas após o início da subida da maré. Então, as concentrações dos elementos retornam gradualmente aos valores estáveis de maré baixa. O período seco, entre os meses de julho e dezembro, apresenta um padrão inverso ao observado durante os meses de chuva, com concentrações dos nutrientes durante a maré baixa superiores aqueles observados ao longo da maré alta.

Os nutrientes apresentam as mais altas concentrações durante os meses de novembro e dezembro, atingindo valores de 400, 500, 1400 e 12000 ppm para o potássio, cálcio, magnésio e sódio, respectivamente, obtidos durante a maré baixa. Esses teores vão gradualmente baixando com a chegada da estação chuvosa. Entre os meses de abril e maio as águas deste canal de maré estão mais empobrecidas em nutrientes, chegando a atingir menos da metade dos máximos encontrados para o período seco, com os nutrientes potássio, cálcio, magnésio e sódio chegando a teores próximos de 170, 190, 550 e 4300 ppm, respectivamente, todos obtidos também durante a maré baixa (Figuras 20, 21, 22 e 23).



Na

Na

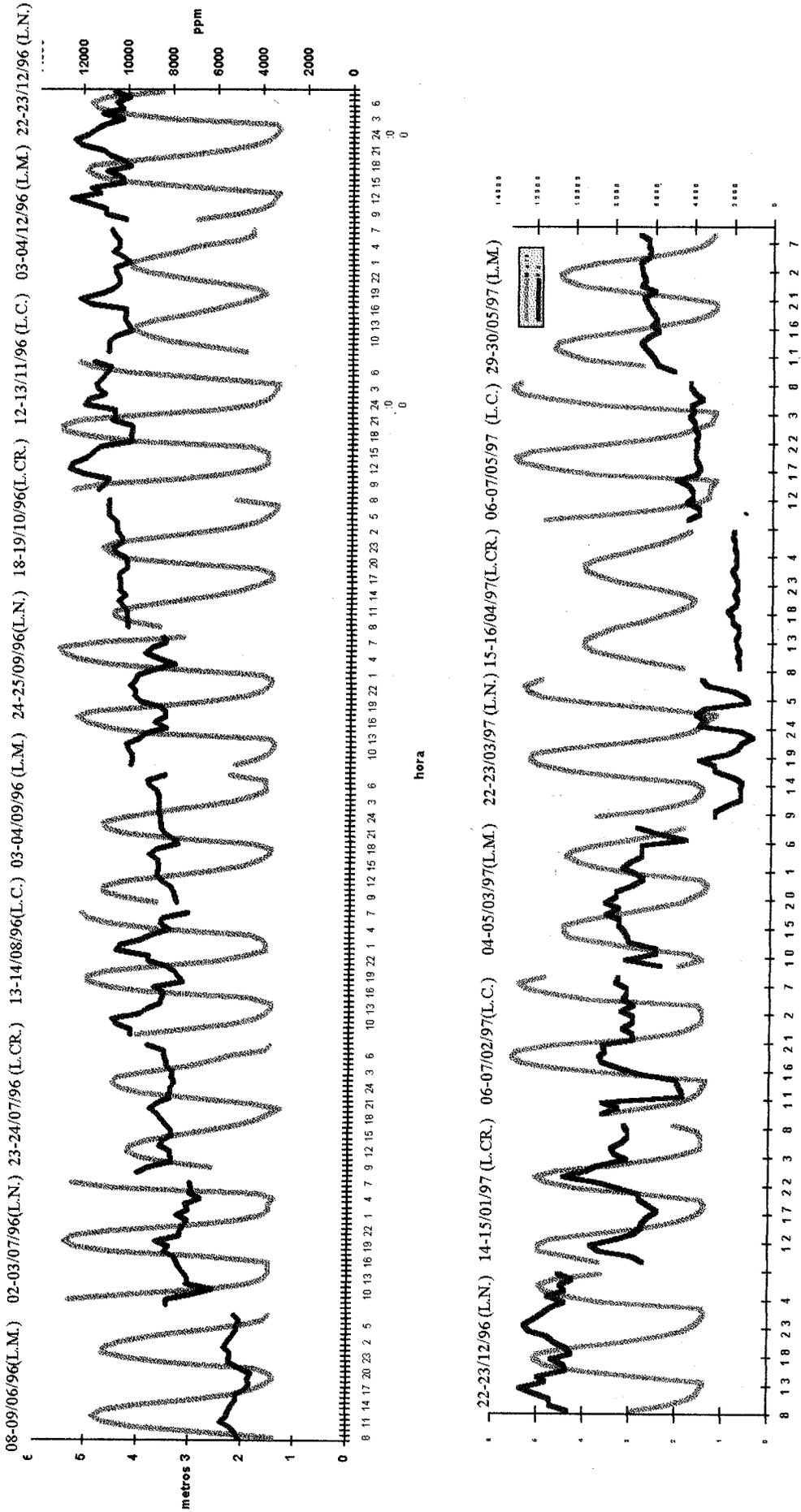
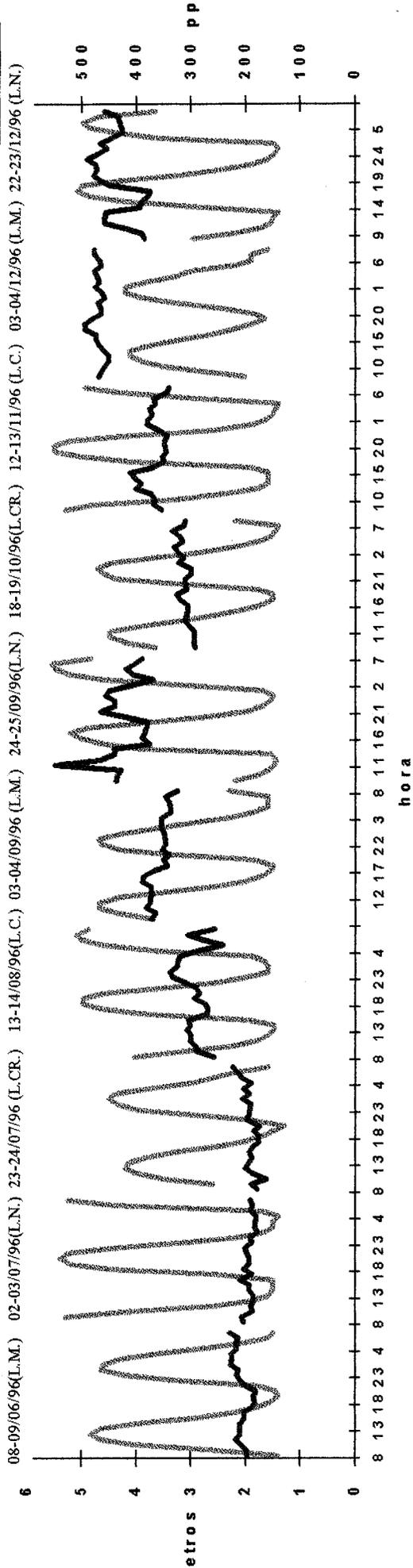


Figura 21- Variação das concentrações de sódio de acordo com a maré e durante as campanhas realizadas ao longo de um ano.

C a



22-23/12/96 (L.N.) 14-15/01/97 (L.CR.) 06-07/02/97(L.C.) 04-05/03/97(L.M.) 22-23/03/97 (L.N.) 15-16/04/97(L.CR.) 06-07/05/97 (L.C.) 29-30/05/97 (L.M.)

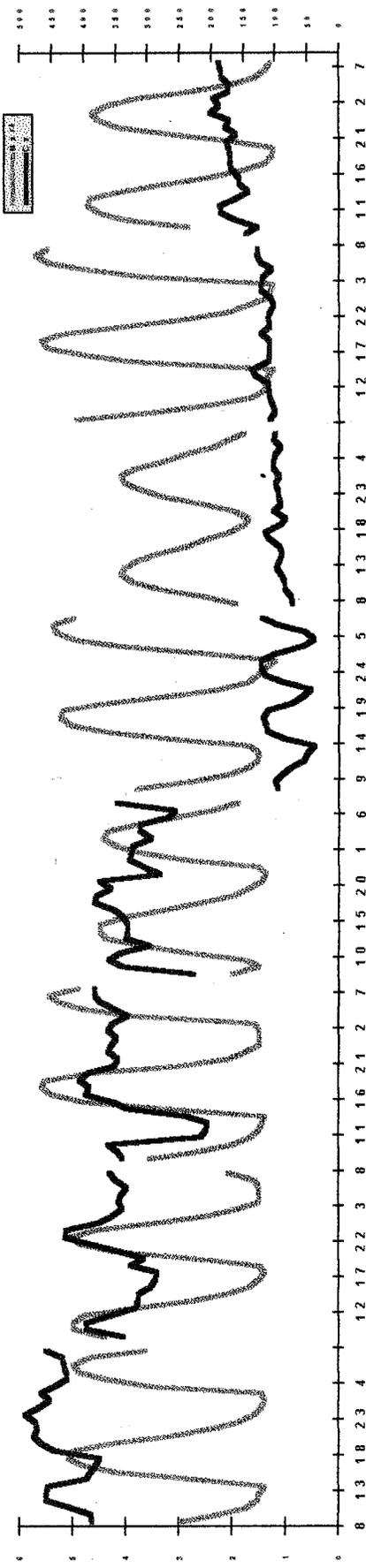
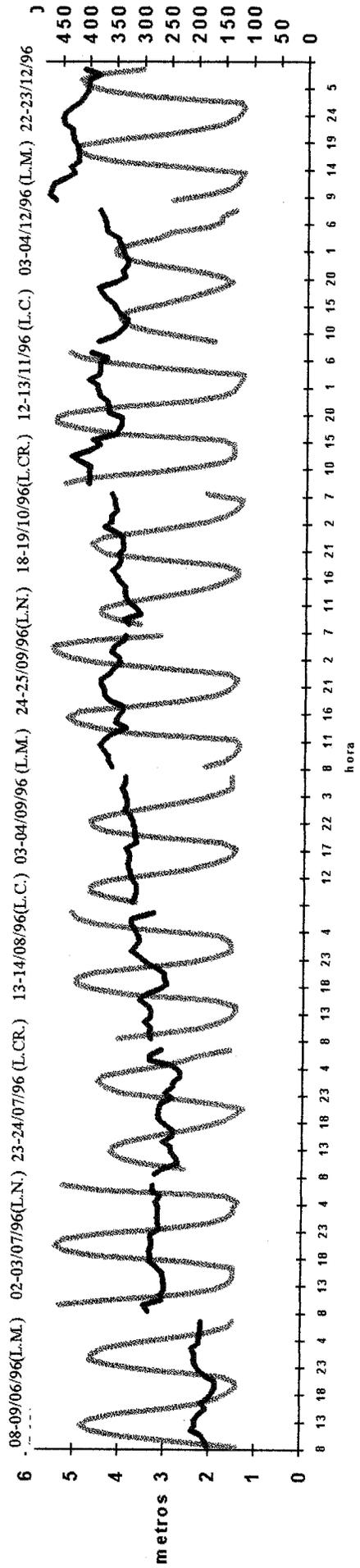


Figura 22- Variação das concentrações de cálcio de acordo com a maré e durante as campanhas realizadas ao longo de um ano.

K



22-23/12/96 (L.N.) 14-15/01/97 (L.C.R.) 06-07/02/97 (L.C.) 04-05/03/97 (L.M.) 22-23/03/97 (L.N.) 15-16/04/97 (L.C.R.) 06-07/05/97 (L.C.) 29-30/05/97 (L.M.)

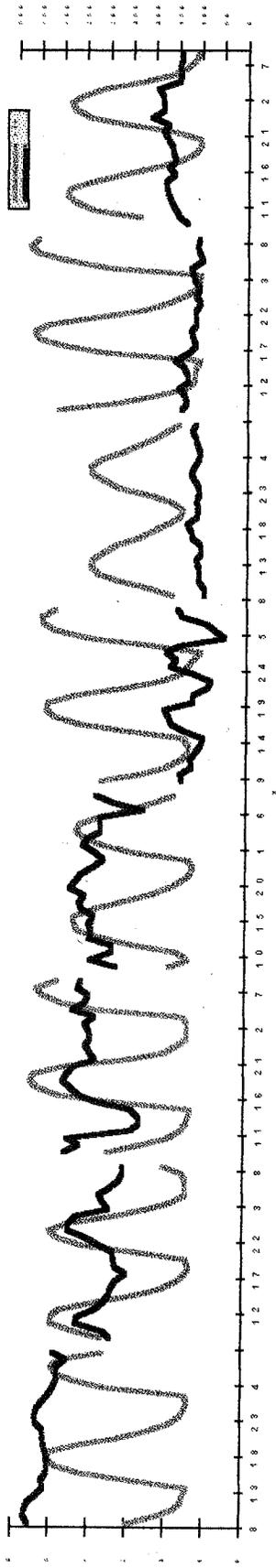


Figura 23- Variação das concentrações de potássio de acordo com a maré e durante as campanhas realizadas ao longo de um ano.

Nos dias 8 e 9 de junho de 1996, foi realizada uma das campanhas que registrou um dos mais baixos teores de nutrientes para as águas do Furo do Chato, com o potássio, cálcio, magnésio e sódio exibindo valores regulares (Tabela 5) ao longo da maré baixa, com concentrações em torno de 170, 190, 550 e 4300 ppm, respectivamente, durante aproximadamente 6 horas. No final desse período, aproximadamente uma hora antes do início da subida da maré, as concentrações começaram a se elevar e atingiram valores em torno de 195, 220, 660 e 5500 ppm, respectivamente (Figuras 24 e 25).

Tabela 5- Concentrações de sódio, potássio, cálcio e magnésio em intervalos de 1 hora, do dia 8 a 9 de junho de 1996.

Amostra	Na	K	Ca	Mg
	ppm	ppm	ppm	ppm
8:00	4822	168.1	196.7	581.7
9:00	4944	174.6	200.8	594.6
10:00	5140	179.1	209.1	617.2
11:00	5588	199.2	218.7	656.3
12:00	5313	193.6	210.5	631.7
13:00	5189	194.4	210.5	639.1
14:00	5066	185.2	210.5	607.6
15:00	4895	174.6	202.2	598.1
16:00	4895	181.9	202.2	591.1
17:00	4486	168.9	188.3	526.8
18:00	4296	161.0	182.7	520.1
19:00	4367	156.0	185.5	534.7
20:00	4225	156.9	181.3	517.9
21:00	4750	174.2	200.8	566.6
22:00	5189	186.4	211.9	634.2
23:00	5189	192.8	216.0	646.4
24:00	5165	195.6	214.6	637.8
1:00	5413	194.4	228.2	666.3
2:00	5263	199.6	225.5	642.7
3:00	5066	186.0	226.9	618.4
4:00	4944	186.8	216.0	622.0
5:00	4895	183.5	216.0	595.8
6:00	4774	183.9	214.6	579.3
7:00	4993	183.1	229.6	593.4
8:00	4822	185.2	229.6	574.7

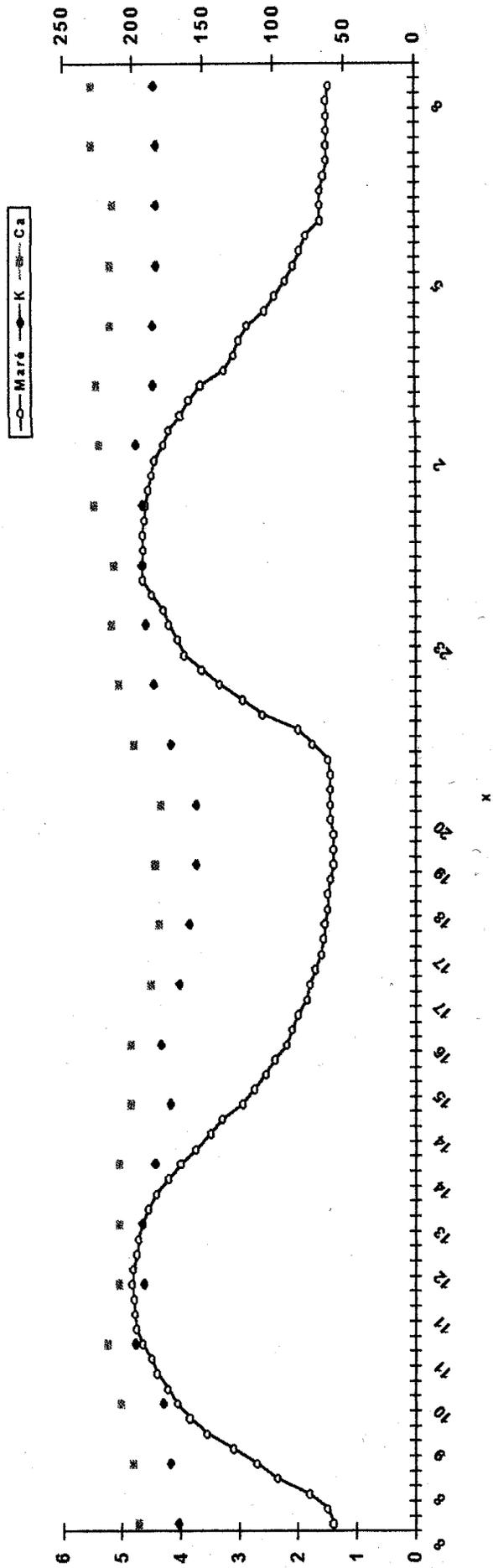
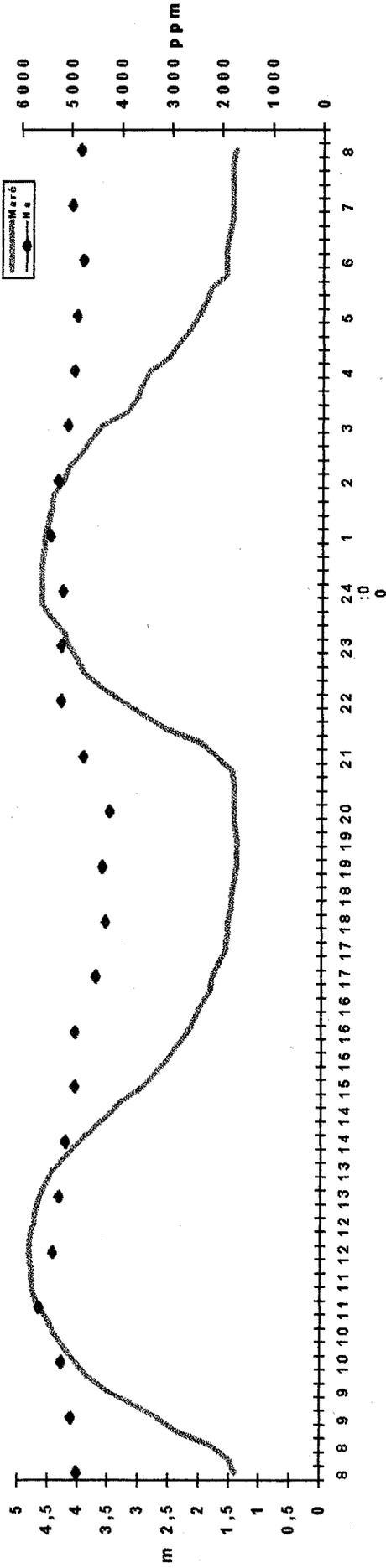


Figura 24- Curva da maré e os teores de potássio e cálcio nas águas do Furo do Chato, nos dias 08-09/06/96.

Na



hora

Mg

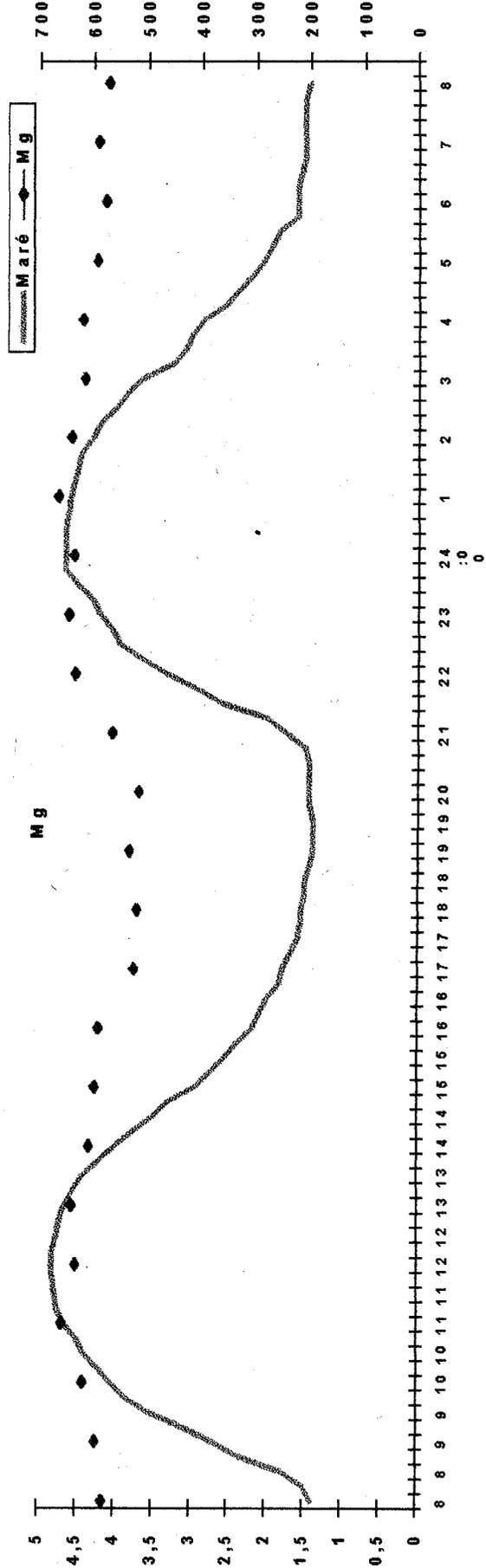


Figura 25- Curva da maré e as concentrações de sódio e magnésio nas águas do Furo do Chato no dia 08-09/06/96.

A Tabela 6 mostra o comportamento dos elementos nutrientes para a campanha do final do mês de dezembro, que representa bem o período do ano em que as águas do Furo do Chatto encontram-se mais enriquecidas nesses elementos, como pode ser visto nas Figuras 26, 27, 28 e 29, onde são apresentadas as variações do sódio, potássio, cálcio e magnésio, com a mudança da maré. Durante a maré alta, que nessa época do ano atinge valores em torno de 5,5 metros para esse local do manguezal, as concentrações de cálcio, potássio, magnésio e sódio, estão em torno de 375, 400, 1254 e 9951 ppm, respectivamente, permanecendo com esses teores durante mais ou menos 1 hora e meia. Essas águas se enriquecem nesses elementos gradualmente com a descida da maré, que, em média, precisa de mais de 3 horas para chegar a níveis próximos de 1,7 metros, quando são registradas as mais altas concentrações de cálcio, potássio, magnésio e sódio, atingindo 491, 615, 1421 e 14023 ppm,

respectivamente, e mantendo esses valores por cerca de 4 horas, quando tem início novamente a subida da maré. Esse padrão de variações permanece quase que inalterado durante o mês de dezembro, somente na campanha de 14-15/01/97, começou o declínio nos teores médios desses nutrientes.

Tabela 6-Concentrações de Na, Mg, K e Ca, nas águas do Furo do Chato, ao longo de 24 horas no dia 22/12/96.

Amostra	[Na ppm	[Mg ppm	[Ca ppm	[K Ppm
8:00	13647	1284	386,3	463,3
9:00	13997	1413	456,8	473,9
10:00	14023	1425	460,8	414,5
11:00	12732	1421	458,6	465,4
12:00	12550	1407	458,6	595,7
13:00	11294	1358	456,8	429,3
14:00	11671	1254	395	435,7
15:00	10241	1256	390	423
16:00	10333	1276	380	420,9
17:00	10971	1270	375	423
18:00	9951	1317	447,8	425,1
19:00	10241	1392	467,7	431,4
20:00	10840	1419	478,6	448,4
21:00	11184	1425	473,1	412,4
22:00	12120	1415	475	427,2
23:00	12393	1409	491,5	450,5
24:00	11835	1387	473,1	403,9
01:00	11464	1354	453,2	435,7
02:00	11024	1375	465,9	420,9
03:00	10287	1317	446,1	615,1
04:00	11184	1251	426,5	425,1
05:00	10287	1284	428,3	401,8
06:00	10570	1290	430,8	401,8
07:00	9973	1295	433,6	382,8
08:00	10643	1346	458,6	410,3

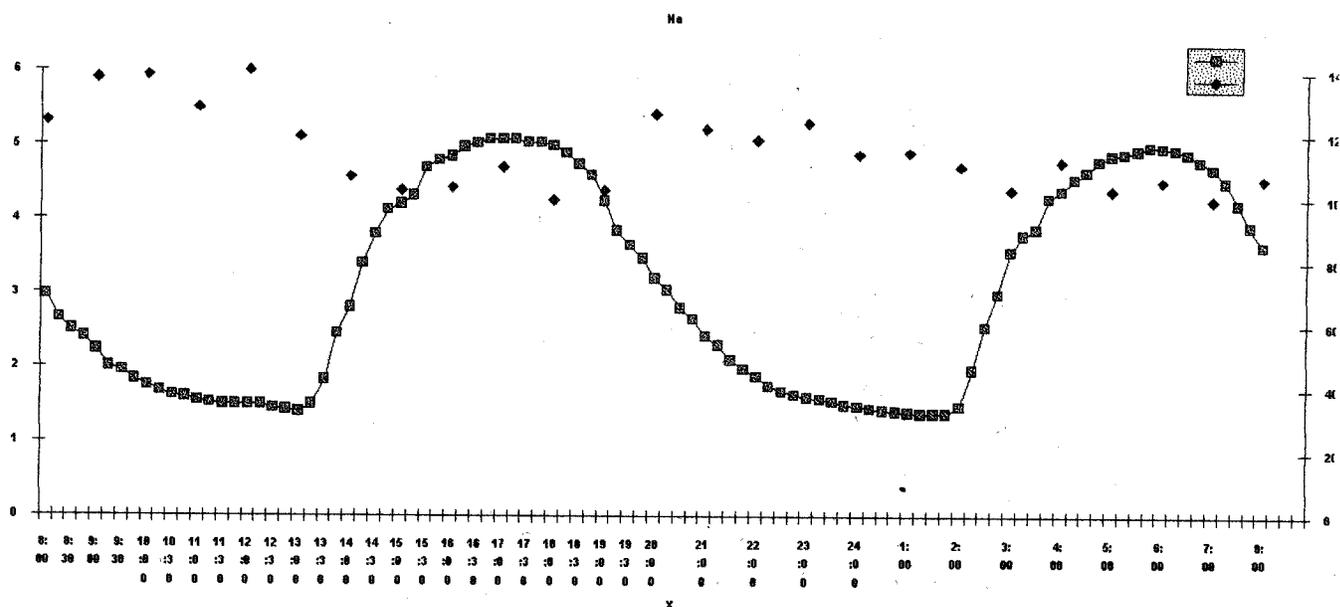


Figura 26.-Concentração de Na nas águas do Furo do Chato, de acordo com a variação da maré, durante a campanha do dia 22-23/12/96.

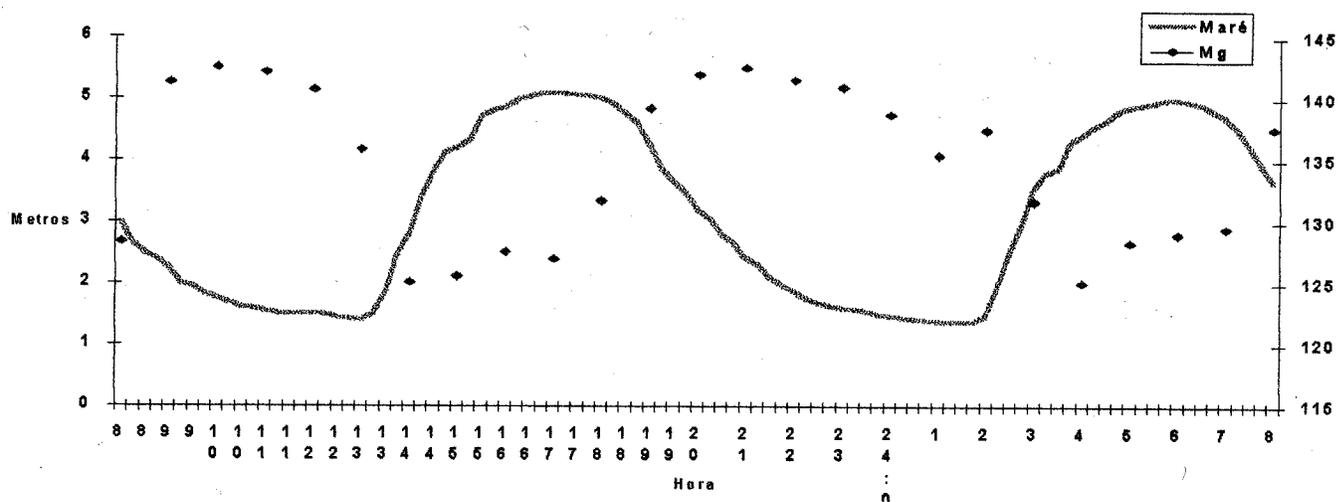


Figura 27-Concentração de Mg nas águas do Furo do Chato, de acordo com a variação da maré, durante a campanha do dia 22-23/12/96.

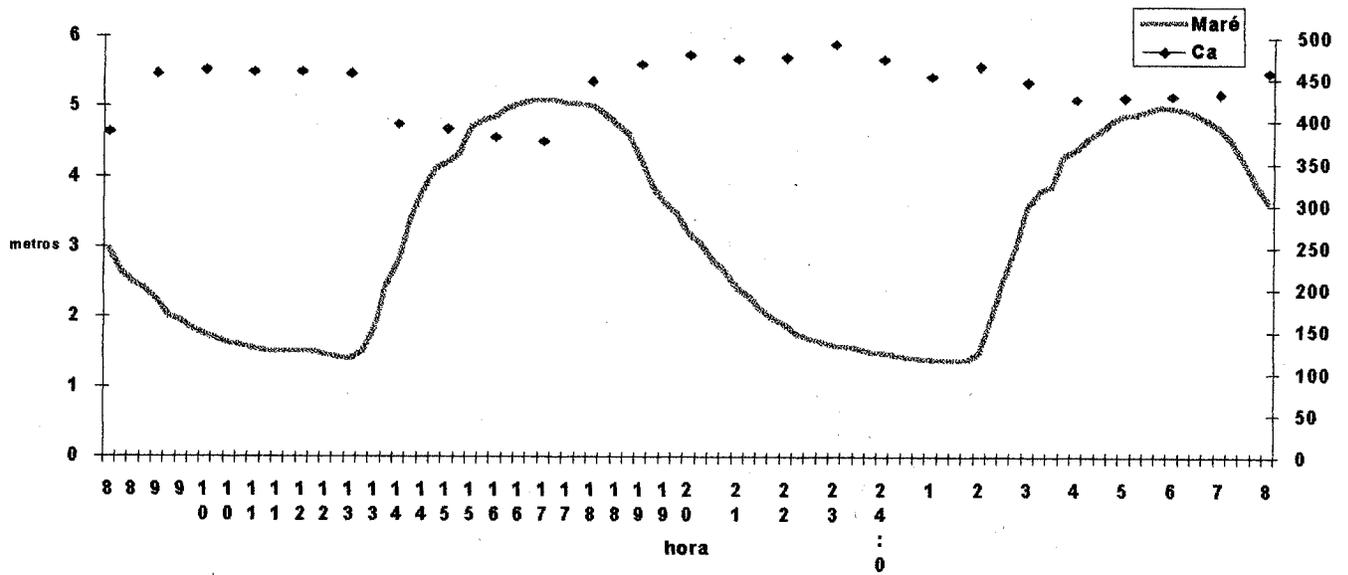


Figura 28-Teores de Ca de acordo com a variação da maré, durante a campanha do dia 22-23/12/96.

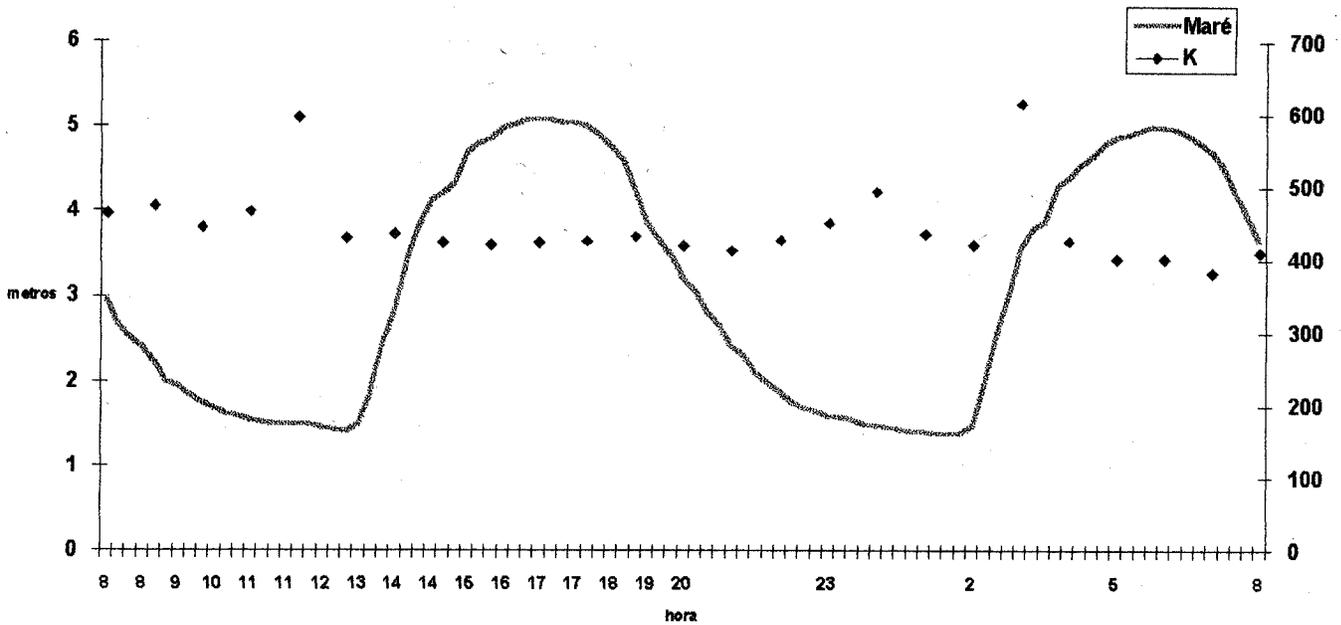


Figura 29-Teores de K de acordo com a variação da maré, durante a campanha do dia 22-23/12/96.

Durante o período chuvoso do ano, compreendido entre os meses de janeiro e junho, quando a concentração dos nutrientes são baixas, as águas que inundam o manguezal são mais

ricas em elementos nutrientes do que aquelas que permanecem durante a maré baixa. A diminuição nos índices de pluviosidade denuncia a chegada do período seco ao longo do mês de julho, quando já se observa uma inversão nos teores nutricionais para as águas da maré baixa e alta. No decorrer da estação seca, as águas que entram no manguezal são mais empobrecidas em nutrientes que aquelas que saem durante a vazante da maré, entretanto deve-se lembrar que as concentrações médias dos nutrientes nessas águas para o período seco, são superiores ao registrado para o período chuvoso, havendo um acentuado aumento nos nutrientes com o prolongamento dessa estação, que se estende até o mês de dezembro. O retorno aos padrões do período chuvoso começa no mês de janeiro, com o início na queda dos teores médios dos elementos nutrientes e as águas que entram no manguezal passando a predominar em nutrientes, comparadas aquelas que se direcionam para o oceano (Figuras 30, 31, 32 e 33).

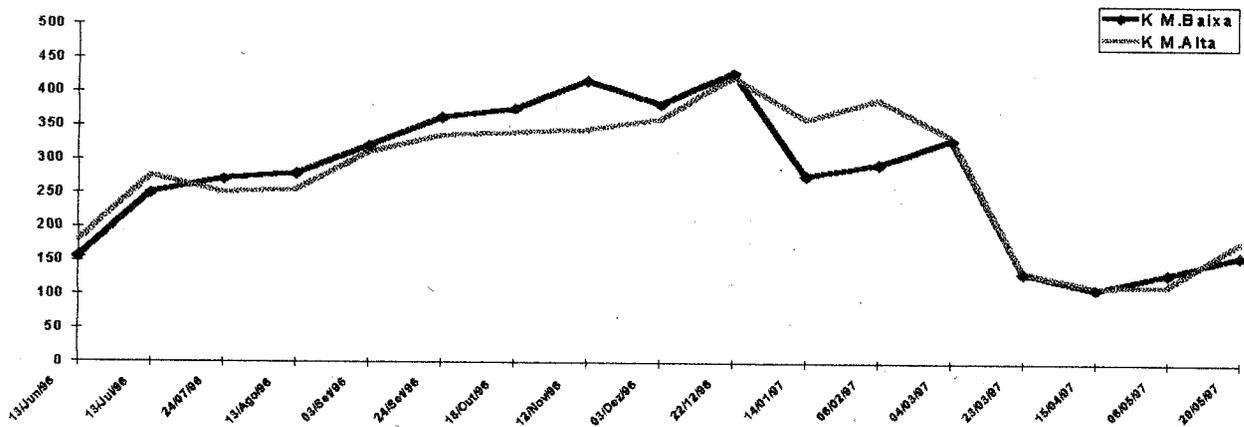


Figura 30- Concentração média do potássio nas águas do Furo do Chato, durante a maré alta e baixa no decorrer do ano, (13-jun-96/29-mai-97)

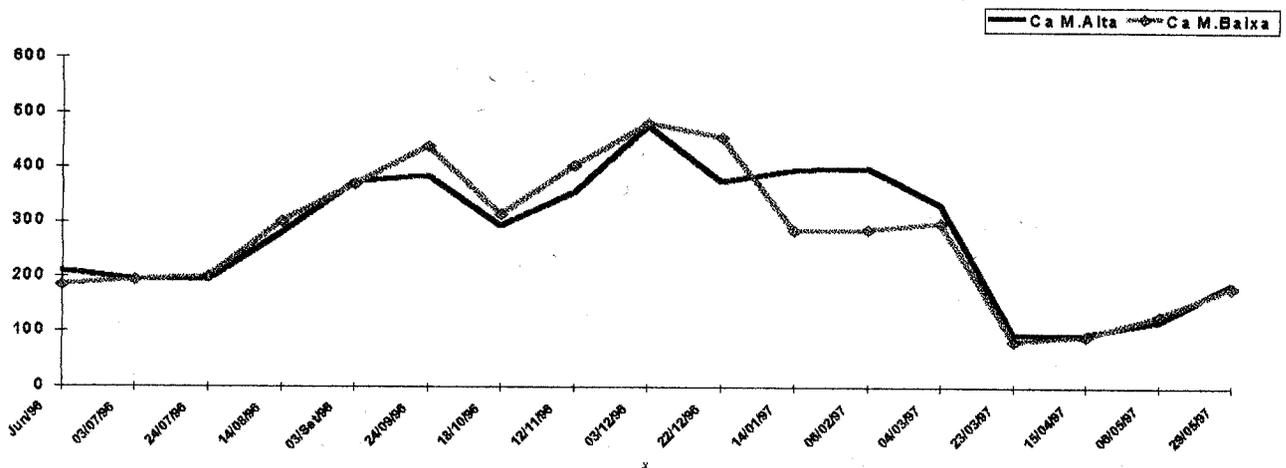


Figura 31- Concentração média do cálcio nas águas do Furo do Chato, durante a maré alta e baixa no decorrer do ano, (13-jun-96/29-mai-97)

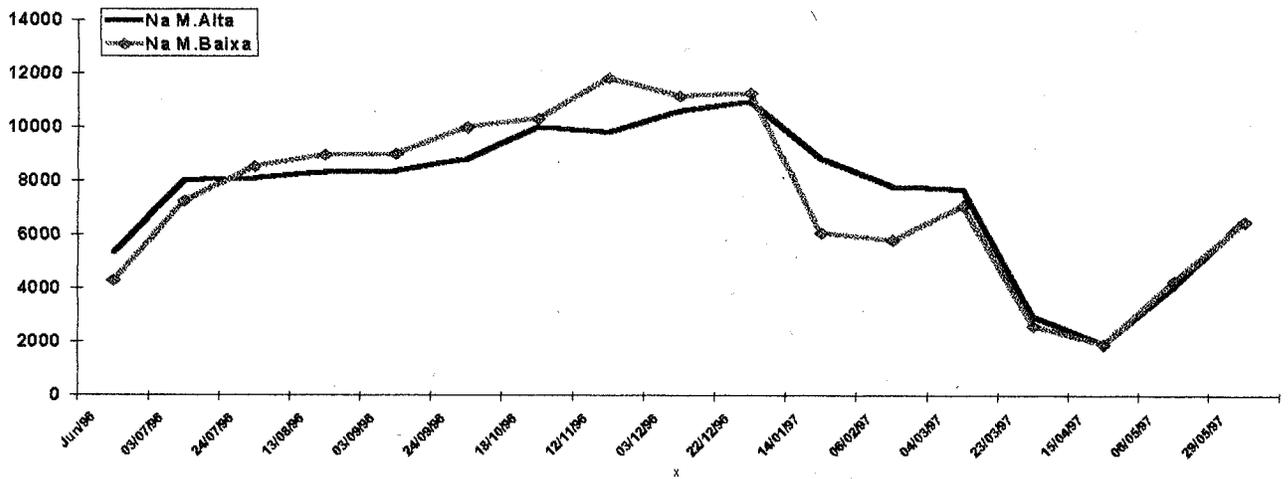


Figura 32- Concentração média do sódio nas águas do Furo do Chato, durante a maré alta e baixa no decorrer do ano, (13-jun-96/29-mai-97)

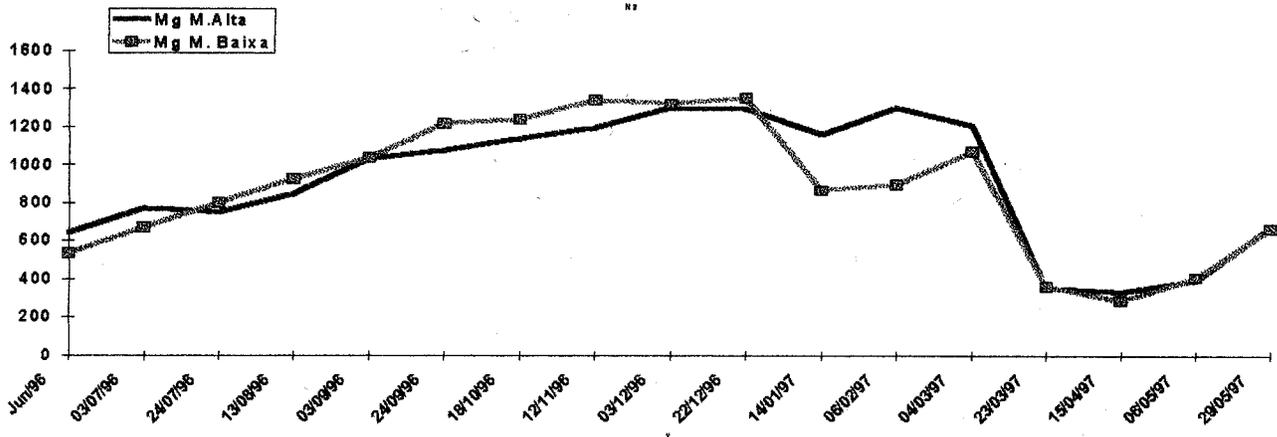


Figura 33- Concentração média do magnésio nas águas do Furo do Chato, durante a maré alta e baixa no decorrer do ano, (13-jun-96/29-mai-97)

### 6.3.3-Razão dos Macronutrientes Cálcio, Magnésio e Potássio com o Sódio

Como foi apresentado anteriormente, os elementos cálcio, magnésio e potássio mudam suas concentrações nas águas do manguezal de Bragança ao longo do ano. Para que sejam neutralizadas as variações devido as maiores ou menores salinidades e apareçam com destaque apenas as mudanças de concentrações de origem biológica, foram calculadas as razões entre os macronutrientes cálcio, magnésio e potássio e a do sódio, um elemento assimilado pelos organismos em quantidades mínimas se comparado as suas variações anuais nas águas, decorrente de diluições por água doce e concentração por evaporação.

Durante a estação seca, as razões  $\text{Ca/Na}$ ,  $\text{Mg/Na}$  e  $\text{K/Na}$  são inversamente proporcionais às concentrações de oxigênio dissolvido. Isto ficou bem evidenciado no final do mês de julho, quando ocorreram os mais altos teores de oxigênio dissolvido do ano e os mais baixos valores para as razões  $\text{Ca/Na}$ ,  $\text{Mg/Na}$  e  $\text{K/Na}$  da estação seca, o que sugere que o fitoplâncton também regula as concentrações do cálcio, magnésio e potássio dissolvidos na água. Por outro lado, durante a estação chuvosa, a relação entre os cátions e o oxigênio é diretamente proporcional, provavelmente devido ao aumento da precipitação pluviométrica que altera as condições hidrológicas da região, aumenta a lixiviação dos cátions do solo e oxigena fisicamente a água (Figura 34).

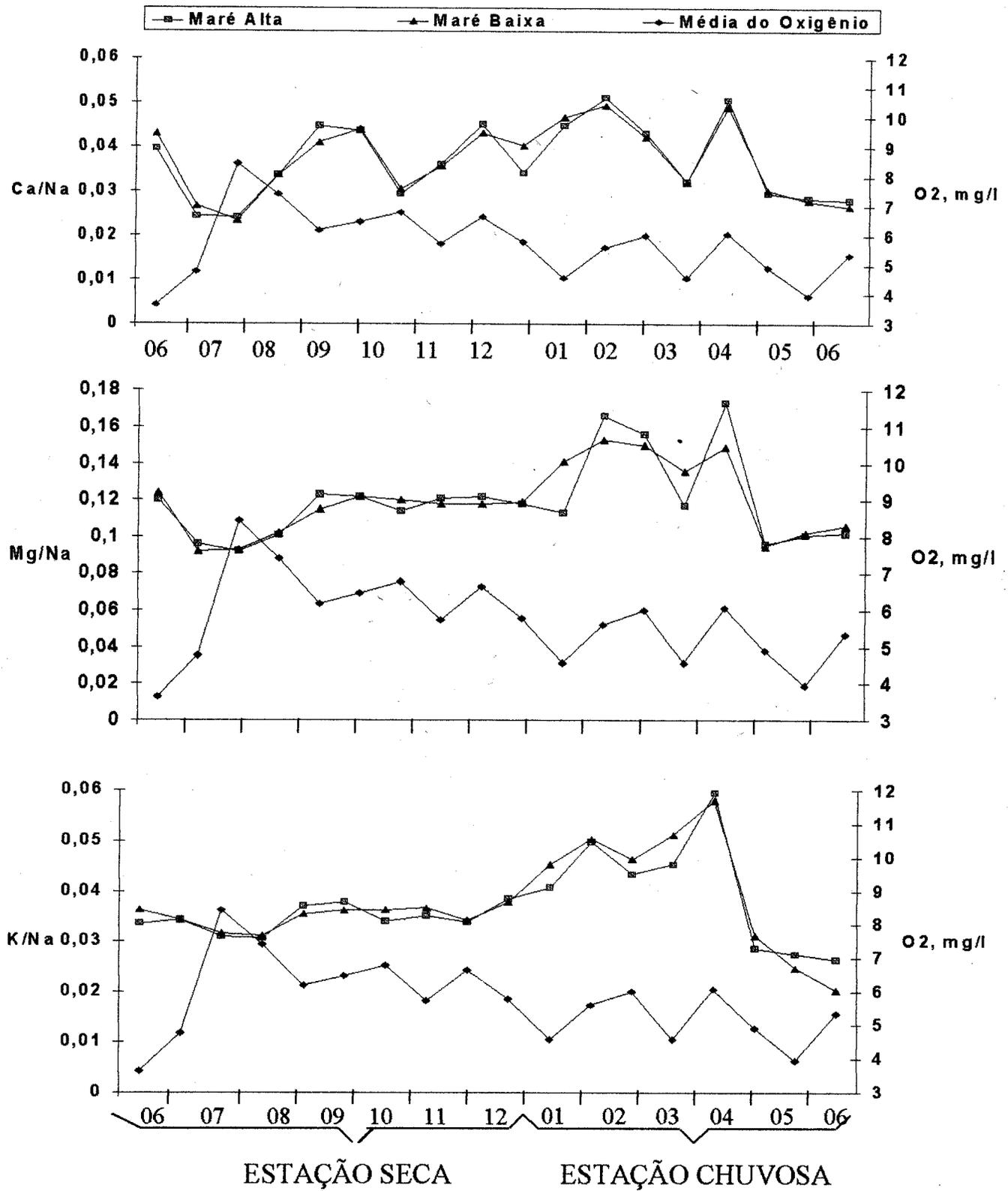


Figura 34 - Razões Ca, Mg e K/Na durante a estação seca e chuvosa (1996-1997) com o oxigênio dissolvido nas águas do Furo do Chato.

### 6.3.4-Variação sazonal de nitrogênio, fósforo e silício dissolvidos nas águas do Furo do Chato

As concentrações de nitrogênio e fósforo dissolvidos nas águas do Furo do Chato durante a estação seca possuem diferenças bem significativas de um mês para o outro, com o amônio predominando em relação ao nitrato e o nitrito. Os seus comportamentos, entretanto, são bem similares, havendo um acréscimo em suas concentrações durante os meses de verão, chegando a valores próximos de 14  $\mu\text{M/L}$  para o amônio, 2,4  $\mu\text{M/L}$  para o nitrato e 0,6  $\mu\text{M/L}$  para o nitrito (Tabela 7).

Os picos de amônio, nitrato e nitrito, durante a estação seca, são observados nos meses onde a concentração de oxigênio dissolvido nestas águas é baixa, como pode ser visto na Figura 35, onde a partir do mês de julho ocorre um acentuado aumento na concentração de oxigênio e uma significativa queda nas concentrações de amônio, nitrato e nitrito. No mês de setembro, quando os teores de oxigênio voltam a cair, ocorre um pico nas concentrações de amônio, nitrato e nitrito. Esse padrão de comportamento é provavelmente controlado pela produção primária, que durante o período de máxima produção, libera muito oxigênio e extrai os nutrientes da água através da assimilação metabólica, e os devolve ao ambiente no período de baixa produção primária, principalmente na forma de pellets fecais e matéria orgânica morta.

Tabela 7- Média das 24 horas dos valores de nitrito, nitrato, amônio, fosfato e silicato, obtidos durante a estação seca no Furo do Chato. Dados obtidos a partir da cooperação com o grupo abiótico do Dr. Ruben Lara.

Data (dd.mm)	c-NO <sub>2</sub> $\mu\text{M/L}$	c-NO <sub>3</sub> $\mu\text{M/L}$	c-NH <sub>4</sub> $\mu\text{M/L}$	c-O-PO <sub>4</sub> $\mu\text{M/L}$	c-SiO <sub>4</sub> $\mu\text{M/L}$	O <sub>2</sub> ,%
02.07.	0,38	2,40	12,35	0,88	168	62
24.07.	0,20	0,88	7,26	3,51	235	110
13.08.	0,08	0,05	5,408	2,15	228	96
03.09.	0,55	2,08	13,96	1,93	237	81
25.09.	0,00	0,31	3,75	1,79	232	86
18.10.	0,13	0,27	7,87	2,39	243	85
12.11.	0,12	0,54	5,27	1,48	202	76
22.12.	0,14	0,18	1,41	2,94	131	73

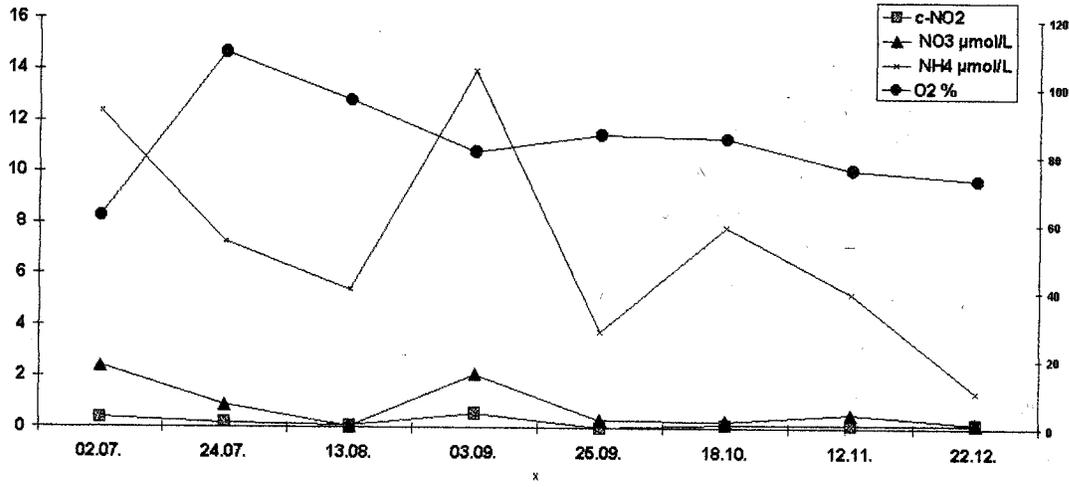


Figura 35- Variação das concentrações das espécies de N relacionadas ao comportamento descrito pelo oxigênio dissolvido nas águas do Furo do Chato. Dados obtidos em cooperação com o grupo abiótico do Dr. Ruben Lara.

O comportamento do  $\text{PO}_4^{3-}$  dissolvido nestas águas se apresenta de forma inversa em relação ao comportamento do  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NO}_2^-$ . Durante a estação seca as concentrações de  $\text{PO}_4^{3-}$  parecem acompanhar o padrão de comportamento do oxigênio, com máximos de 3,5  $\mu\text{mol/L}$  obtidos no final do mês de julho e mínimo de 0,8  $\mu\text{mol/L}$  atingido no início deste mesmo mês, Figura 36.

O  $\text{SiO}_4^{2-}$  nestas águas apresenta altos valores durante a estação seca, variando de 228 a 243  $\mu\text{mol/L}$ , não havendo mudanças muito significativas nos seus teores durante esse período do ano. Sua concentração só começa a declinar com a chegada da estação chuvosa, Figura 37.

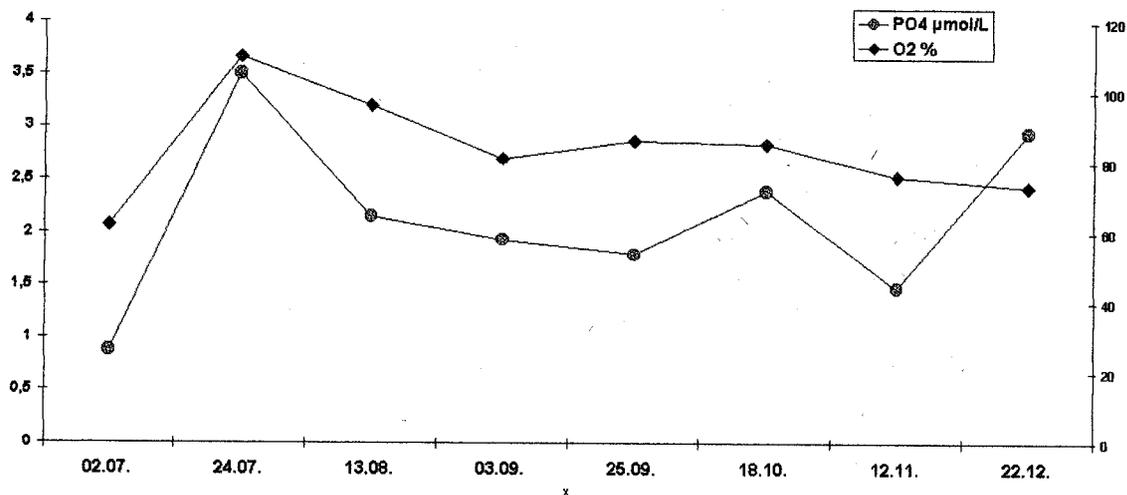


Figura 36- Variação na concentração do fosfato e de oxigênio durante a estação seca. . Dados obtidos em cooperação com o grupo abiótico do Dr. Ruben Lara.

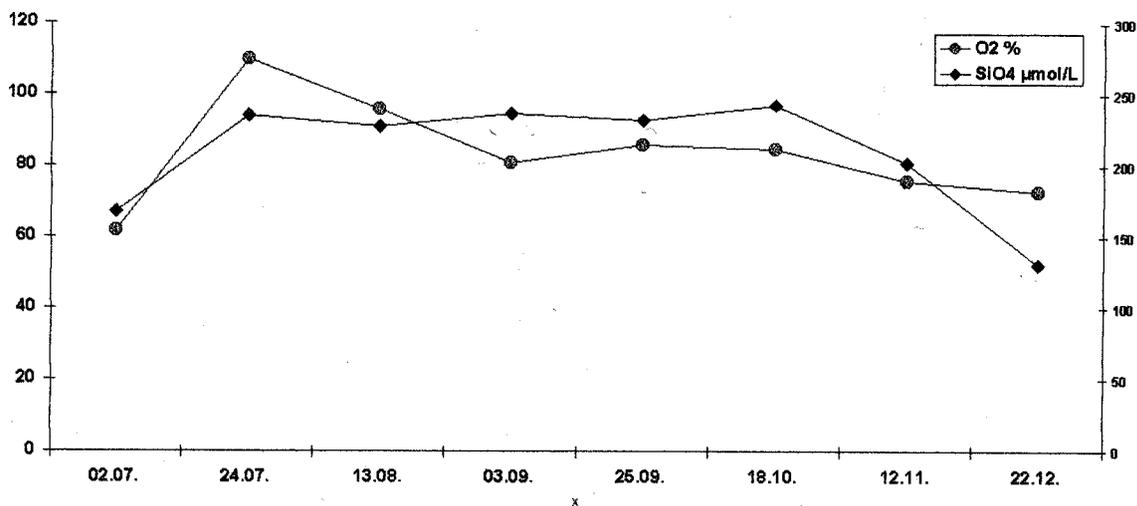


Figura 37- Variação do silicato e oxigênio dissolvidos nas águas do Furo do Chato. Dados obtidos em cooperação com o grupo abiótico do Dr. Ruben Lara.

## 6.4-CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS DO MANGUEZAL DE BRAGANÇA.

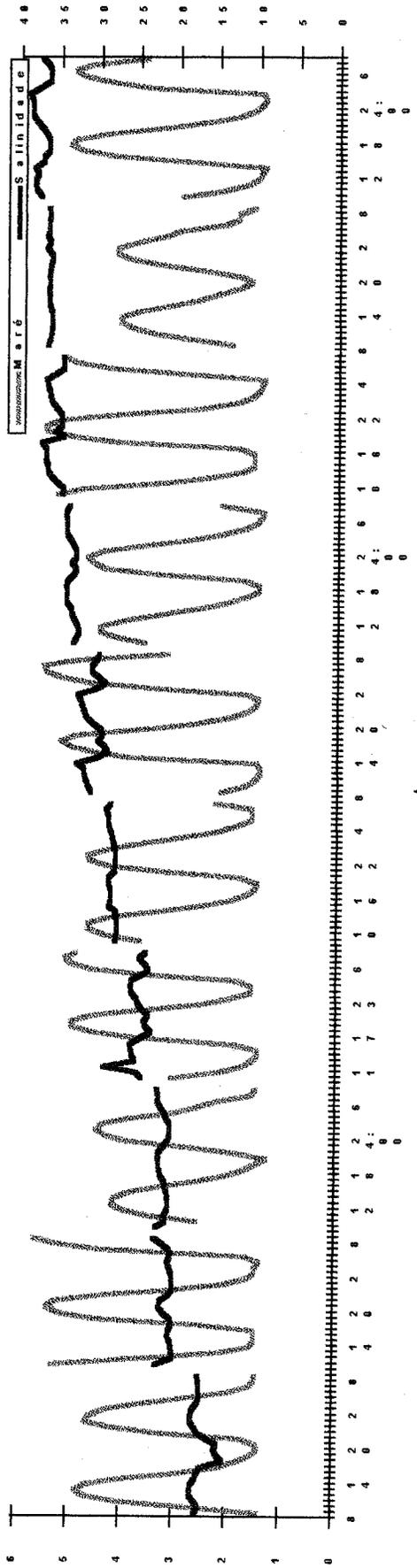
### 6.4.1-Salinidade

Nas águas do Furo do Chato, as concentrações de sal crescem durante o período seco, com máximos registrados em torno de 39 ‰ nos meses de novembro e dezembro, durante a maré

baixa. No período chuvoso ocorre a diminuição da salinidade, com valores mínimos ao redor de 10 ‰, registrados durante os meses de maio e junho, também durante a maré baixa (Figura 38).

Os movimentos de maré tem grande influência na salinidade, ocorrendo na estação seca um aumento da concentração de sal no canal durante a descida da maré, quando as águas inundantes do manguezal se deslocam em direção ao oceano, enquanto que pela subida da maré, as águas de origem marinha e estuarina apresentam uma salinidade menor. Esse padrão é mais acentuado durante as marés de lua sizígea. Na estação chuvosa que teve início no mês de janeiro, ocorreu uma contínua diminuição no conteúdo de sal nas águas do Furo do Chato, havendo uma nítida inversão nos valores de salinidade para a maré alta e baixa, em relação ao período seco. As águas que inundam continuamente o manguezal durante as estações chuvosas, são mais salinas do que aquelas que escoam durante a vazante da maré, atingindo-se os menores valores no conteúdo de sal durante a maré baixa (Figura 39).

08-09/06/96 (L.M.) 02-03/07/96 (L.N.) 24-25/07/96 (L.C.R.) 13-14/08/96(L.C.) 03-04/09/96 (L.M.) 24-25/09/96(L.N.) 18-19/10/96(L.C.R.) 12-13/11/96 (L.C.) 03-04/12/96 (L.M.) 22-23/12/96(L.N)



22-23/12/96 (L.N.) 14-15/01/97 (L.C.R.) 06-07/02/97(L.C.) 04-05/03/97(L.M.) 22-23/03/97 (L.N.) 15-16/04/97(L.C.R.) 04-05/05/97 (L.C.) 29-30/05/97 (L.M.)

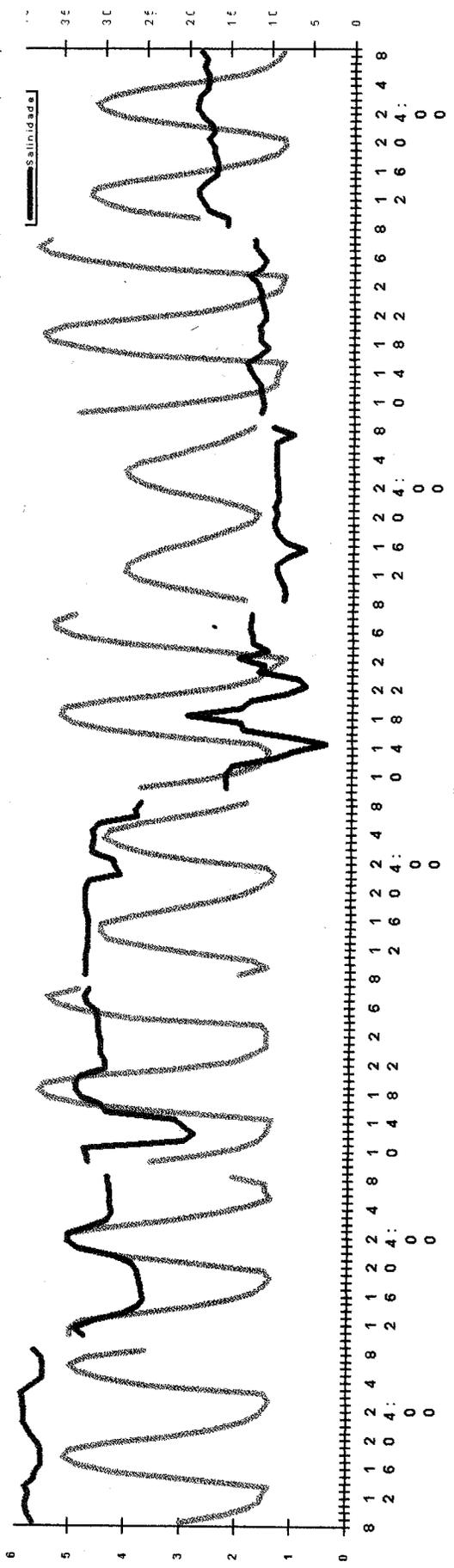


Figura 38- Conteúdo de sal em ‰ de acordo com as variações da maré em metros, durante as campanhas realizadas ao longo de um ano. Dados Obtidos em cooperação com o grupo abiótico coordenado pelo Dr. Rubén Lara, (Programa MADAM)

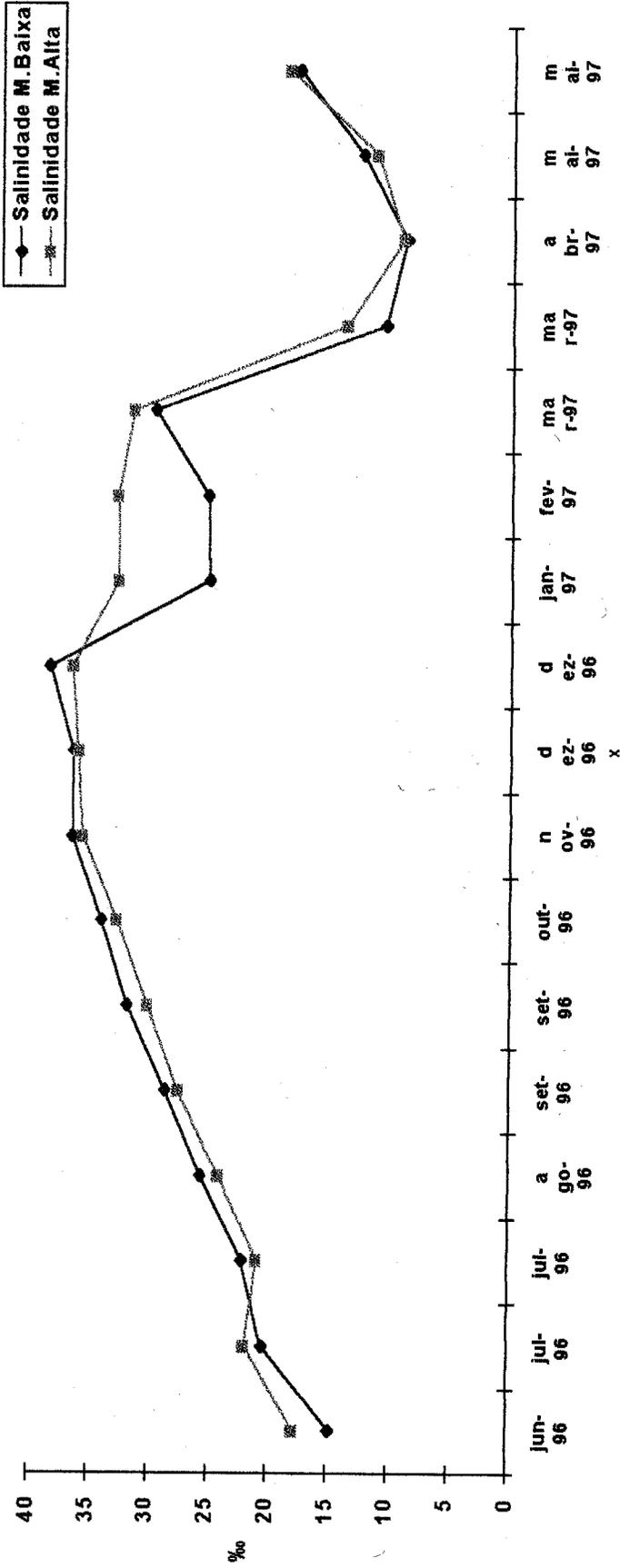


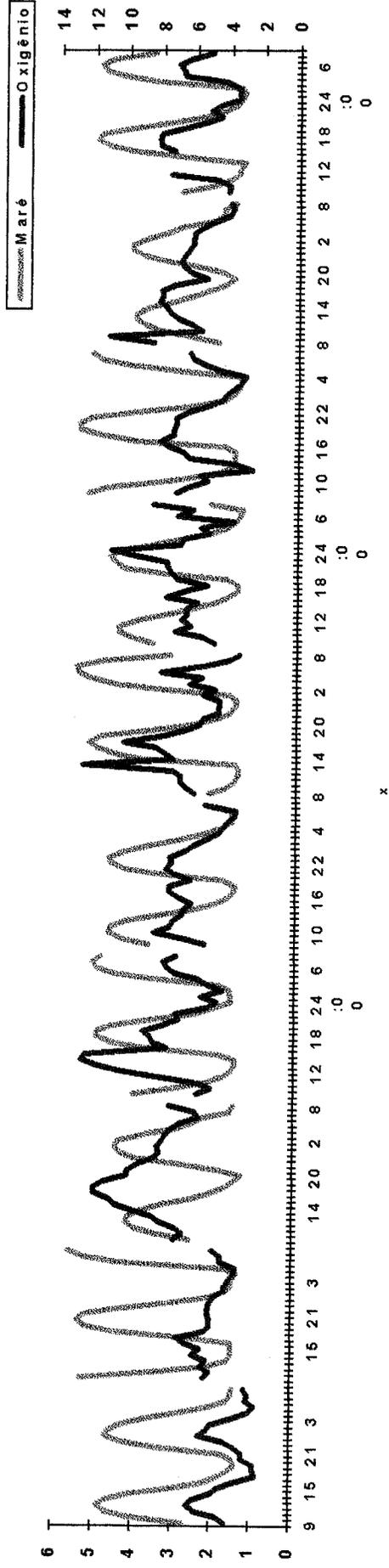
Figura 39- Média de salinidade durante as marés baixa e alta, ao longo do ano.

#### 6.4.2-Oxigênio Dissolvido nas Águas do Manguezal de Bragança

As concentrações de oxigênio nas águas do manguezal de Bragança são controladas basicamente pela maré e pela presença de luz no ambiente. Na maioria das campanhas as concentrações de oxigênio apresentam-se acentuadamente mais elevadas durante a maré alta. Durante a noite esse comportamento se repete, mas com a diferença de que as concentrações de oxigênio são mais baixas, voltando a subir com o aparecimento dos primeiros raios solares (Figura 40).

As águas do manguezal de Bragança tem se mostrado mais oxigenadas durante a estação seca, quando os teores médios de oxigênio encontram-se entre 8,43 e 5,63 mg/L, com máximos registrados ao final do mês de julho e ao longo do mês de agosto. No final do mês de dezembro as águas começam a se empobrecer em oxigênio, atingindo a marca de 4 mg/L, permanecendo nessa faixa até o mês de junho, quando termina a estação chuvosa. O padrão de comportamento estabelecido para a saturação da água em oxigênio não é diferente dos teores de oxigênio dissolvido, como pode ser visto na Figura 41.

08-09/06/96 (L.M.) 02-03/07/96 (L.N.) 24-25/07/96 (L.C.R.) 13-14/08/96(L.C.) 03-04/09/96 (L.M.) 24-25/09/96(L.N.) 18-19/10/96(L.C.R.) 12-13/11/96 (L.C.) 03-04/12/96 (L.M.) 22-23/12/96(L.N)



22-23/12/96 (L.N.) 14-15/01/97 (L.C.R.) 06-07/02/97(L.C.) 04-05/03/97(L.M.) 22-23/03/97 (L.N.) 15-16/04/97(L.C.R.) 04-05/05/97 (L.C.) 29-30/05/97 (L.M.)

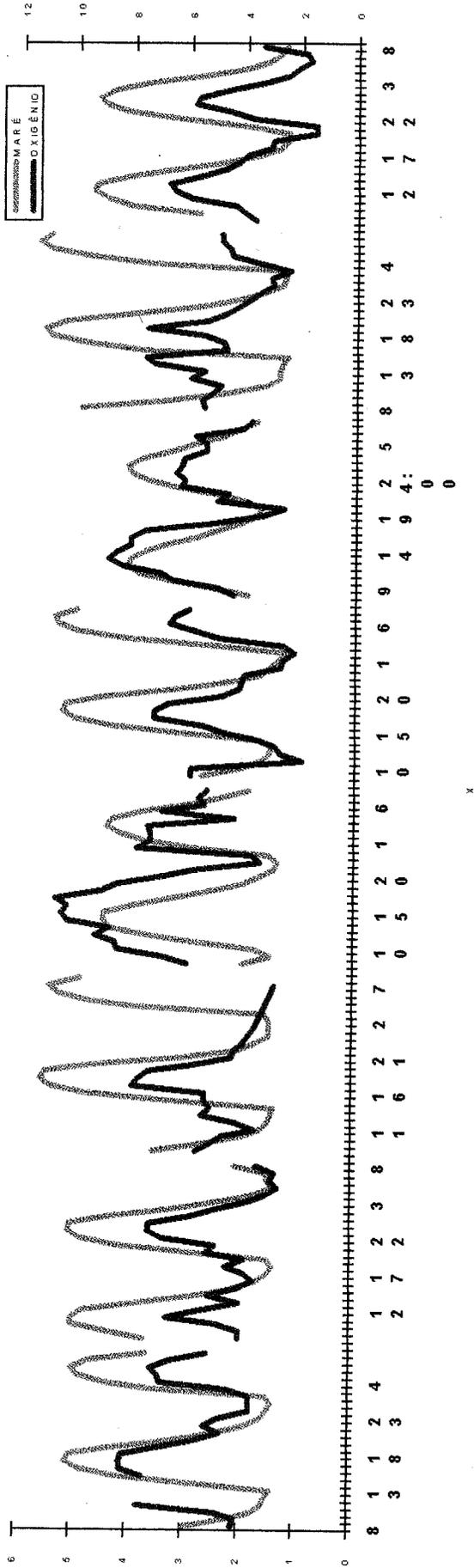


Figura 40- Curva da maré contra o teor de oxigênio dissolvido nas águas do manguezal de Bragança-Pa, (mg/l). Dados Obtidos em cooperação com o grupo abiótico coordenado pelo Dr. Rubén Lara, (Programa MADAM).

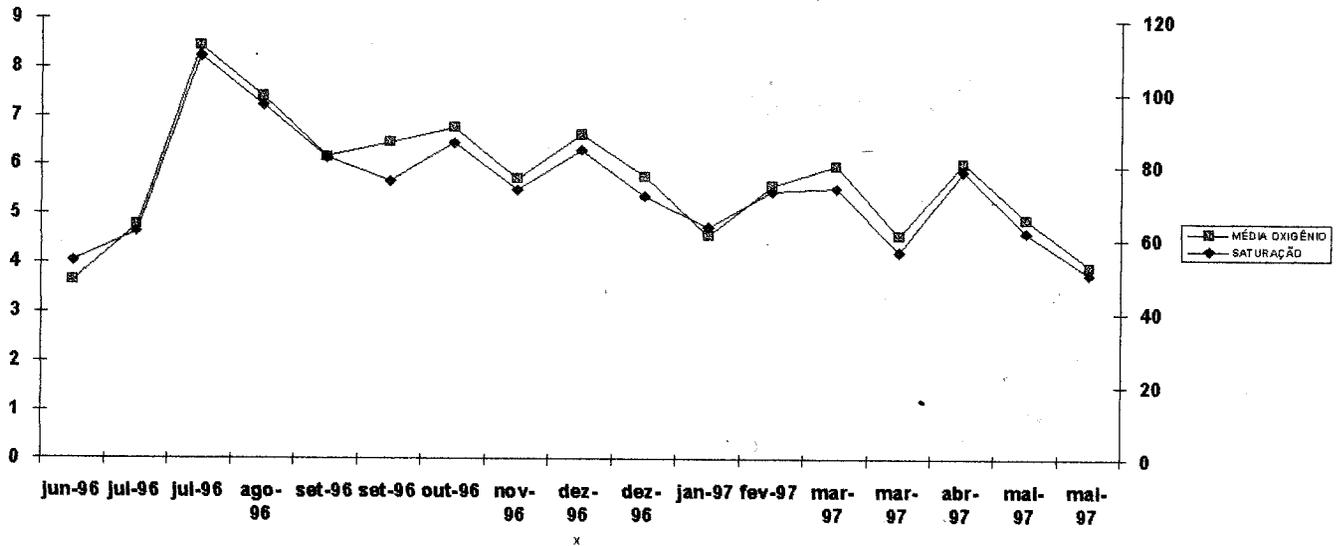


Fig 41- Gráfico das médias das concentrações de oxigênio e grau de saturação da água em oxigênio, registradas durante as campanhas realizadas ao longo do ano.

#### 6.4.3-pH

O pH nas águas do manguezal tem mostrado um padrão de comportamento muito bem definido, com a maré baixa sendo invariavelmente mais ácida que a maré alta, independentemente da estação do ano, havendo apenas mudanças nos valores médios do pH ao longo do ano (Figura 42). Em média, o pH durante a estação seca tende a ser menos ácido que aquele da estação chuvosa. No final do mês de julho e ao longo do mês de agosto foram registrados os mais altos valores médios de pH para essas águas, atingindo 7,8 e 7,5, respectivamente. Durante a noite os valores médios de pH são levemente inferiores aos do dia (Figura 43), provavelmente uma expressão da fotossíntese cessante e a consequente ausência do consumo de  $H^+$ .



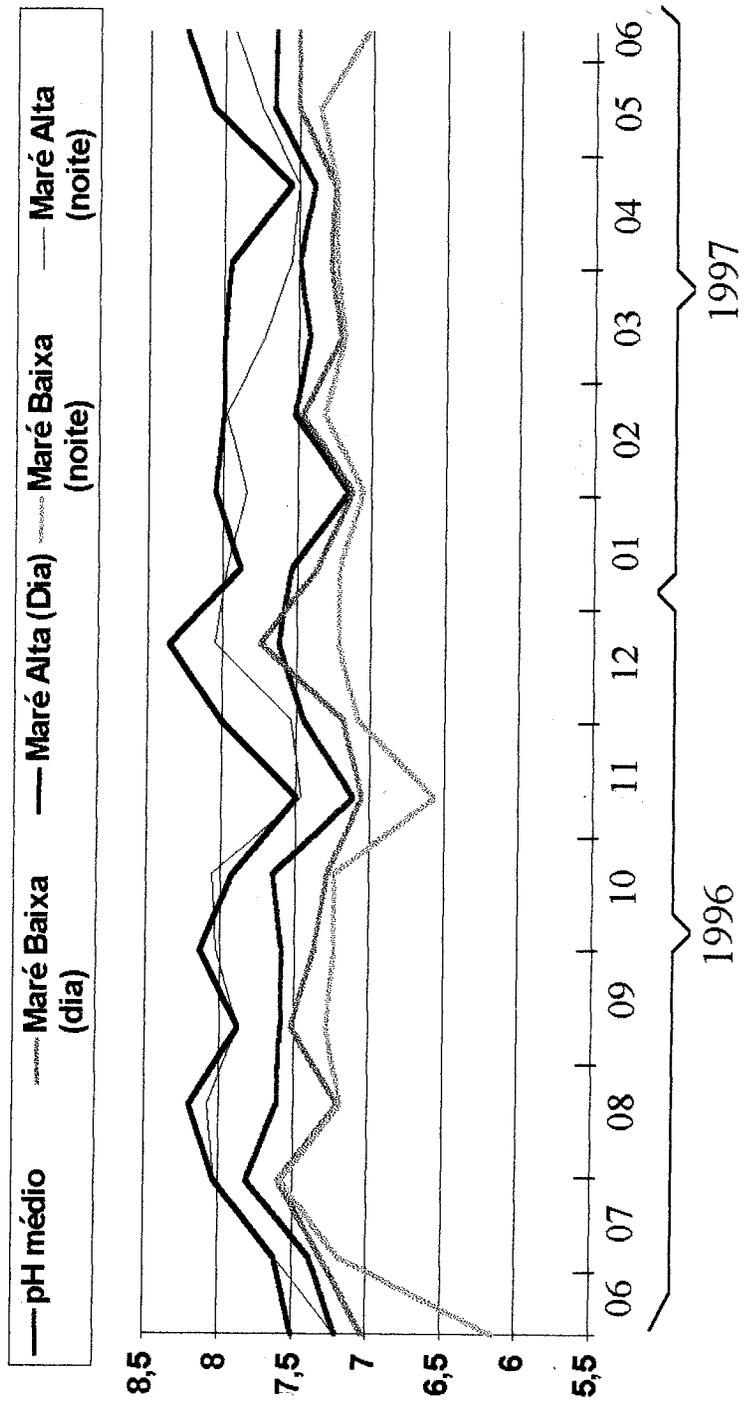


Figura 43- Valores médios de pH obtidos durante a maré alta e baixa no período do dia e da noite, ao longo das campanhas. Dados Obtidos em cooperação com o grupo abiótico coordenado pelo Dr. Rubén Lara, (Programa MADAM).

#### 6.4.4-Carbono Orgânico Dissolvido nas Águas do Furo do Chato

Os valores médios de carbono orgânico dissolvido nas águas do canal de maré estudado atingiram teores máximos de 396 e 402  $\mu\text{mol/L}$  obtidos durante a campanha dos dias 24-25/07/96 e 13-14/08/96, exatamente quando foram registrados os mais altos níveis de oxigênio dissolvido nestas águas (Figura 44). As altas concentrações de carbono orgânico dissolvido durante esse período são resultado de um aumento na excreção metabólica realizada pelo fitoplâncton.

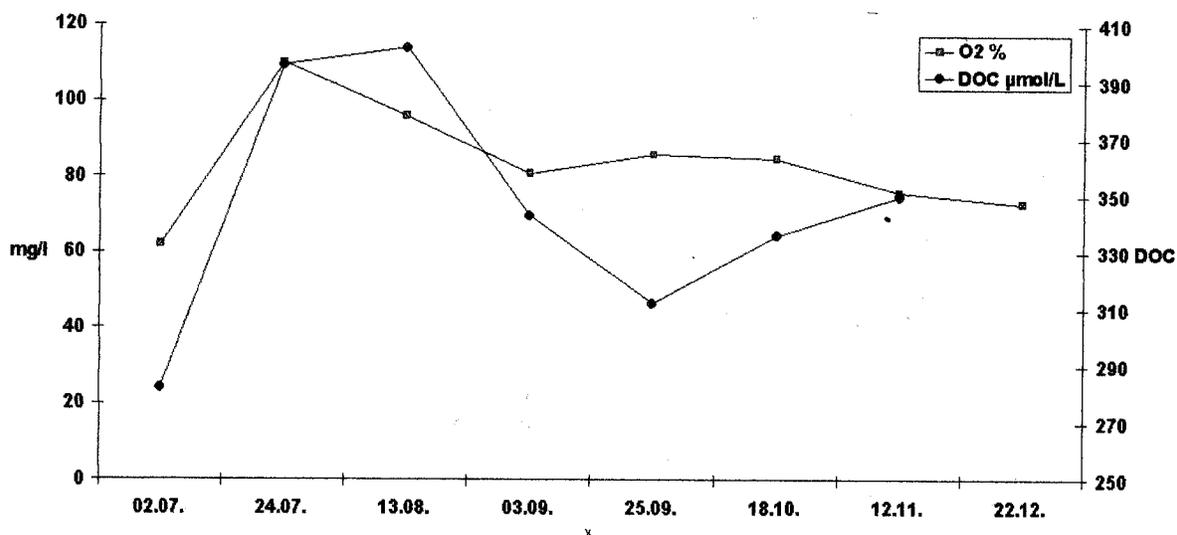


Figura 44- Variação dos valores do carbono orgânico dissolvido comparado com as variações de oxigênio para o mesmo período do ano. Dados obtidos em cooperação com o grupo abiótico do Dr. Ruben Lara.

## 6.5-DADOS METEOROLÓGICOS

A cidade de Bragança possui um clima quente e úmido característico das regiões equatoriais, providas apenas de duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra seca.

Durante o monitoramento meteorológico entre agosto de 1996 e julho de 1997, foram obtidos dados de temperatura do ar e pluviosidade, que caracterizaram bem os meses das estações seca e chuvosa.

O período entre o final do mês de dezembro e maio, teve temperaturas mínimas de 22°C e máximas de 30°C, com média em torno de 26°C. As chuvas para essa estação foram rigorosas, atingindo em determinados dias até 50mm.

A estação seca começou no mês de junho e se estendeu até meados de dezembro, com uma quase ausência de chuva, onde foram registrados índices pluviométricos de no máximo 5 mm no mês de agosto e temperaturas médias ao redor de 28°C, com máximas de 30°C e mínimas de 27°C (Figura 45). Nesse período do ano ocorre um aumento na evaporação provocado pela escassez de chuva e altas temperaturas. Segundo DREVER (1988), a evaporação é o maior processo no ciclo hidrológico. Das chuvas que caem sobre o continente, mais da metade retorna a atmosfera também por evaporação direta ou por transpiração das plantas. Um dos efeitos da evaporação é na remoção da água pura da solução, dessa forma a concentração de todos os componentes dissolvidos tendem a aumentar. A evaporação ocorre em todos os climas, e é o principal controlador da composição da água.

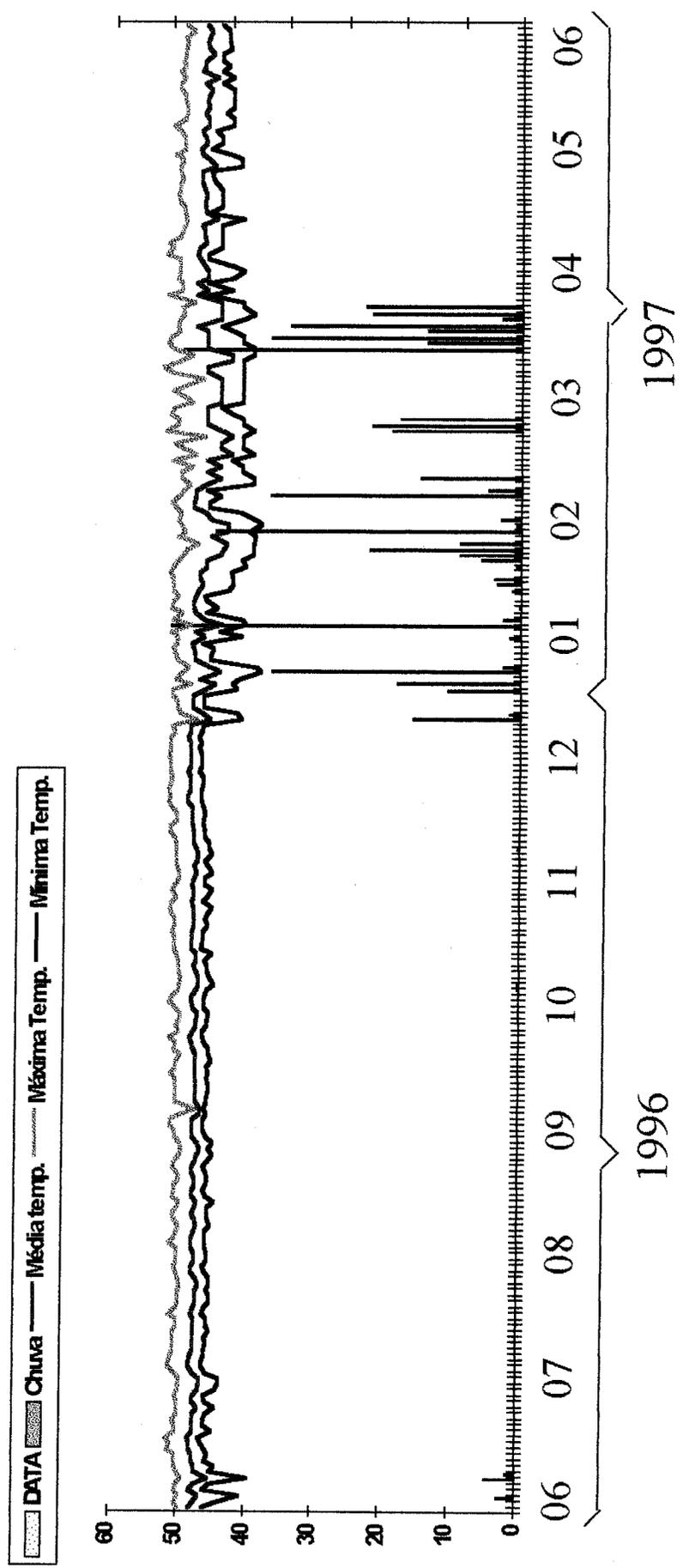


Figura 45- Dados da temperatura do ar registrados em graus Celsius e índices pluviométricos em milímetros, registrados entre agosto de 1996 e junho de 1997 no Furo do Chato. Dados obtidos a partir do Projeto EMMA (Programa MADAM).

## 6.6-LIMITES DOS PRINCIPAIS FATORES CONTROLADORES DA PRODUÇÃO PRIMÁRIA

Neste capítulo será abordado os valores máximos e mínimos encontrados ao longo do ano para os principais fatores responsáveis pelo controle da produção primária, que são: suprimento de nutrientes, a luminosidade e a temperatura da água, associados aos intervalos de valores da campanha de 24-25 de julho de 1996, onde foram constatados os mais altos valores médios de oxigênio dissolvido nas águas do Furo do Chato, indicando uma alta produtividade primária.

A temperatura da água ao longo do ano se posicionou em média entre 28,8°C e 27,1°C, e durante a campanha de 24-25 de julho de 1996 a água encontrou-se em média por volta de 27,7°C, quase que no meio do intervalo de temperaturas encontrados para aquele local durante o ano. A luminosidade sofreu pequenas oscilações durante o ano, se posicionando entre 2190 e 1850 mol/m<sup>2</sup>, sendo que durante a campanha onde se registraram os mais altos índices de oxigênio dissolvidos na água, a luminosidade média foi de 1970 mol/ m<sup>2</sup>, um pouco a baixo do meio da escala de intervalos de luminosidade encontrada ao longo de todas as campanhas. O suprimento de nutrientes, principalmente dos elementos nitrogênio, fósforo, silício, magnésio, cálcio, potássio e sódio, oscilou bastante ao longo do ano, com as concentrações médias de magnésio se posicionando entre 1340 e 534 ppm, enquanto que a faixa de concentrações para o cálcio ficou limitada entre 482 e 185 ppm, de 417 a 156 ppm se concentrou o potássio, e o sódio ficou dentro do intervalo de 11833 a 4296 ppm. Durante a campanha de 24-25 de julho de 1996, os valores médios registrados para estes elementos foram de 845, 248, 277 e 8430 ppm, para o magnésio, cálcio, potássio e sódio, respectivamente.(Figura 46).

As diferenças de concentrações de nitrato, nitrito e amônio nas águas do Furo do Chato durante a estação seca são bem significativas, com o amônio predominando sobre o nitrato e o

nitrito, havendo um acréscimo nas concentrações desses elementos, durante os meses de verão chegando a valores próximos de 14  $\mu\text{M/L}$  para o amônio; 2,4  $\mu\text{M/L}$  para o  $\text{NO}_3$  e 0,6  $\mu\text{M/L}$  para o nitrito, os valores mínimos para a estação seca foram de 1,406; 0,050 e 0,046  $\mu\text{M/L}$ , respectivamente. Os mais baixos níveis de amônio, nitrato e nitrito durante a estação seca, foram observados quando a produção primária é máxima. Por este motivo, para melhor aproximar das concentrações em que se encontrariam dissolvidos, se não houvesse a assimilação metabólica por parte dos organismos responsáveis pela produção primária, lançou-se os teores das espécies de nitrogênio com valores da campanha anterior, quando a assimilação metabólica ainda não era tão intensa, dessa forma obtivemos os seguintes valores: 12,34; 2,3 e 0,38  $\mu\text{M/L}$ , para o amônio, nitrato e nitrito, respectivamente.

As concentrações de fosfato nas águas do Furo do Chato apresentam uma relação inversa com aquelas de amônio, nitrato e nitrito. Durante a estação seca as concentrações de fosfato atingem um máximo de 3,5  $\mu\text{M/L}$  no final do mês de julho e um mínimo de 0,8  $\mu\text{M/L}$  no início do mesmo mês.

Os valores médios de carbono orgânico dissolvido nas águas do Furo do Chato atingiram máximos de 396 e 402  $\mu\text{M/L}$  durante as campanhas dos dias 24-25/07/96 e 13-14/08/96, exatamente quando foram registrados os mais altos níveis de oxigênio dissolvido. Esses índices servem, junto com o oxigênio, para melhor precisar o período de mais alta produção primária.

As concentrações de silicato nas águas do Furo do Chato apresentam altos valores durante a estação seca, variando de 228 a 243  $\mu\text{M/L}$ , havendo pequenas flutuações durante esse período do ano, com concentrações em torno de 235  $\mu\text{M/L}$ , para a campanha de maior produção primária (Figura 47).

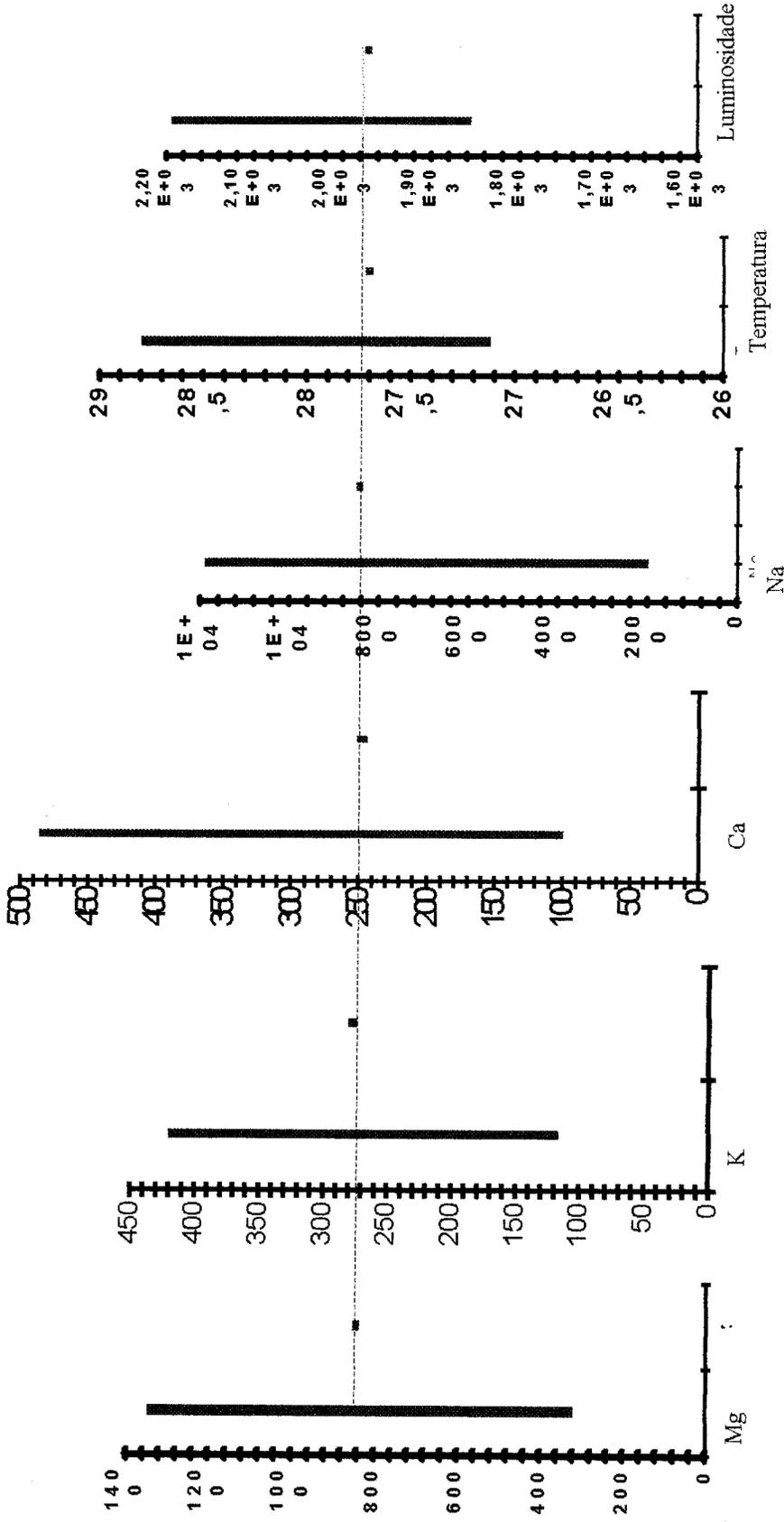


Figura 46-Gráficos mostrando os intervalos de valores médios (linha contínua) encontrados para os nutrientes magnésio, potássio, cálcio e sódio, além da luminosidade e temperatura das águas do manguezal de Bragança-PA e a quantidade destes elementos (linha tracejada) no período de produção primária máxima registrada ao longo do ano.

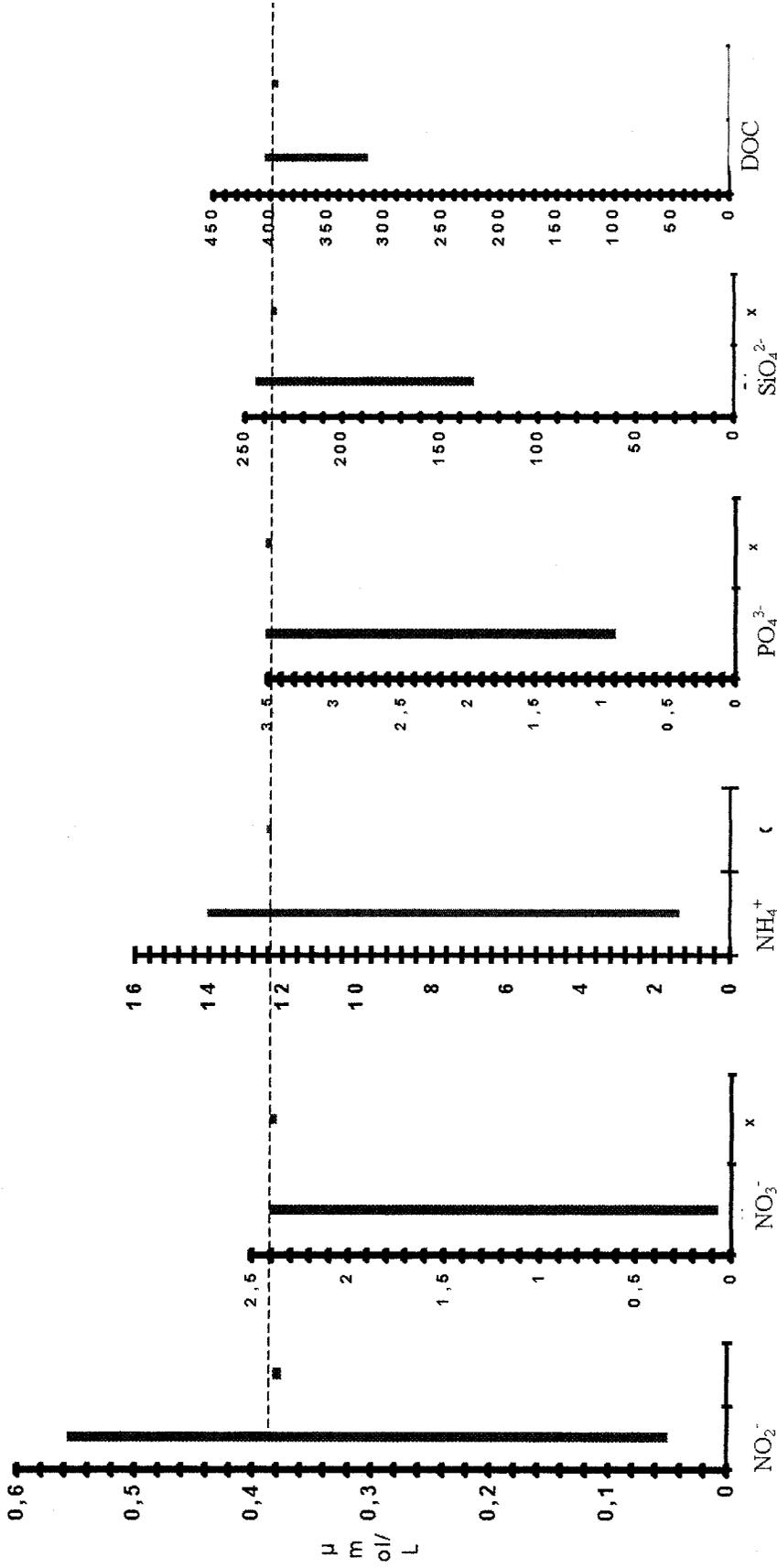


Figura 47- Gráficos mostrando os intervalos de valores médios durante a estação seca (linha contínua), encontrados para os nutrientes nitrato, nitrito, amônio, fosfato e carbono orgânico dissolvido nas do Furo do Chato e a quantidade destes elementos (linha tracejada) no período de produção primária máxima registrada ao longo do ano. Valores expressos em µM/L.

## 7-CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A avaliação dos valores bióticos e abióticos atuando sobre as águas do manguezal de Bragança e a observação das suas interrelações permite as seguintes conclusões:

- a) temperaturas altas favorecem o aumento da evaporação das águas do manguezal e baixos índices de pluviosidade fazem com que a razão evaporação/precipitação (E/P) durante o período seco (julho a dezembro de 1996) seja alta. Valores baixos de E/P são calculados para a estação chuvosa (janeiro a junho de 1997), quando também ocorrem temperaturas mais baixas.
- b) dentre os elementos medidos, o sódio e o magnésio apresentam-se em maiores concentrações, seguidos pelo cálcio e o potássio. Em grande parte, as variações sazonais das concentrações dos nutrientes potássio, cálcio, magnésio e sódio e da salinidade são resultado das mudanças climáticas sazonais.

Outro fator que também pode alterar as concentrações dos nutrientes é sua assimilação pelos organismos. Este é percebido durante o período de maior população do zooplâncton, quando são determinadas baixas concentrações de cálcio.

- c) as águas estuarinas que inundam o manguezal durante a maré alta possuem características físico-químicas distintas daquelas que são exportadas pelo manguezal. Durante a estação chuvosa as águas efluentes são mais ricas em nutrientes do que as águas da maré baixa, enquanto ao longo da estação seca isso se inverte, devido a maior demora das águas estuarinas em expressar as mudanças climáticas. As águas que deixam o manguezal e entram em contato com os solos, sedimentos e vegetação, são muito mais susceptíveis às mudanças dos fatores climáticos, quando comparadas com as águas estuarinas que possuem um volume muito maior para ser modificado e uma taxa de mistura muito grande com as águas marinhas. As últimas funcionam como um agente regulador da composição das águas costeiras;

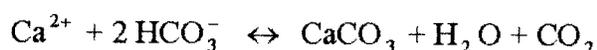
d) a água do manguezal que flui pelo canal durante a maré baixa, pode ser considerada como uma fração composta por águas subsuperficiais e subterrâneas que atingem as águas superficiais do manguezal e uma fração de escoamento direto de águas superficiais que invade o sistema de drenagem, durante e logo após os períodos de precipitação pluviométrica. A relativa proporção desses componentes e a concentração de espécies dissolvidas em cada um, influenciada pela interação das águas da chuva com minerais e vegetação e pela evaporação e transpiração das plantas, determinam a composição das águas dos manguezais. Dois casos extremos podem ser considerados: (1) O escoamento direto é pequeno, como na estação seca, em comparação ao fluxo das águas de subsuperfície e subterrânea, as últimas tem uma concentração de solutos relativamente constante. (2) Se o escoamento direto é maior que o fluxo que penetra na subsuperfície, como na estação chuvosa, a concentração de soluto das águas de subsuperfície e subterrânea tornam-se diluídas pelo escoamento direto;

e) as concentrações de cálcio no Furo do Chato dependem também da maior ou menor produção orgânica, devido a construção pelos organismos de esqueletos de carbonato de cálcio. No mês de outubro, após dois meses de crescimento constante, a concentração de cálcio despencou de 440 para 315 ppm, voltando a subir lentamente até dezembro. Essa queda foi causada provavelmente, pelo grande crescimento de organismos consumidores de cálcio. A quantidade de cálcio pode ser portanto, um fator limitante para o crescimento do zooplâncton em certos períodos do ano. O sódio, por sua vez, por não ter participação significativa nos organismos, tem suas concentrações nas águas em função das variações de evaporação e precipitação pluviométrica.

Os elementos conservativos podem ainda ser removidos da água através de sua incorporação nos sedimentos. Minerais de argila tem seus locais de troca ocupados principalmente pelo cálcio. Quando esses minerais encontram águas mais salgadas, o cálcio é substituído pelo sódio, potássio e magnésio da água do mar e alimenta a água do mar em cálcio.

O carbonato de cálcio necessário para a produção de esqueletos de organismos, pode remove das águas que fluem pelo manguezal cerca de um quarto do suprimento de cálcio (Figura 33);

f) a variação de cálcio nas águas do Furo do Chato em outubro é acompanhada pelo aumento do pH no final de outubro e posterior diminuição em novembro, o que pode ser creditado a eventuais precipitações de  $\text{CaCO}_3$ ,



permitido pelo excesso de  $\text{HCO}_3^-$  produzido pela redução do  $\text{SO}_4^{2-}$  e formação de  $\text{NH}_4^+$  através de reações biogênicas da decomposição da matéria orgânica;

g) mudanças sazonais puderam ser identificadas para o pH das águas que fluem pelo manguezal de Bragança. Durante a estação seca, mais precisamente nos meses de julho e agosto, foram registrados os mais altos valores de pH do ano, resultado da diminuição nos teores médios de  $\text{CO}_2$ , que é o principal responsável pela acidez das águas, promovido pelas altas taxas de fotossíntese, conduzindo a elevadas concentrações médias de oxigênio dissolvido nessas águas.

Pequenas variações diárias do pH também puderam ser observadas, pois durante as horas claras do dia ocorre uma diminuição na concentração de gás carbônico, quando a atividade fotossintética supera a respiração dos organismos, conduzindo a um aumento no pH. Durante a noite, quando cessa a fotossíntese e passa a preponderar a respiração dos organismos, o pH diminui;

h) durante os meses de julho e agosto, as águas do manguezal estiveram muito oxigenadas, resultado de elevadas taxas de fotossíntese, o que sugere um aumento na população do fitoplâncton nesse período do ano;

i) o fato dos valores médios máximos tanto para o carbono orgânico dissolvido (DOC) quanto para oxigênio dissolvido, terem sido obtidos nas mesmas campanhas, indica que as concentrações

de carbono orgânico dissolvido nestas águas variam com a produção biológica, estando, assim, a principal contribuição para o DOC associada a excreção da biota;

j) no final do mês de julho e ao longo do mês de agosto o significativo aumento da produção primária nas águas do Furo do Chato refletem o crescimento do suprimento de nitrogênio, fósforo e silício, que foram determinantes para o aumento da população do fitoplâncton coincidente com uma escassez do zooplâncton, seu principal predador.

A temperatura da água e a luminosidade ao longo do ano sofreram poucas mudanças, produzindo uma estreita faixa de oscilação que pouco interfere na produção primária. Por outro lado, as faixas de oscilações das concentrações dos nutrientes potássio, cálcio e magnésio são bem maiores, o que pode contribuir para variações no crescimento da população de fitoplâncton. O excesso desses nutrientes para a assimilação metabólica do fitoplâncton durante a estação seca não chega a lhes colocar na situação de nutrientes limitantes, sendo essa condição apenas atribuída às espécies de nitrogênio e fósforo, como veremos a seguir;

k) durante os meses de julho e agosto ocorre uma abrupta queda nas concentrações de amônio, nitrato e nitrito nas águas do Furo do Chato, com um simultâneo aumento nos teores de oxigênio dissolvido, indicando um aumento da produção primária que resultou na assimilação de algumas espécies de nitrogênio, pelo fitoplâncton. Entretanto, as concentrações de fosfato atingiram um máximo na mesma campanha de coleta de dados em que foram registrados os mais altos valores de oxigênio, e os teores de silicato pouco sofreram mudanças durante a estação seca decorrente de um aumento na assimilação metabólica.

Esse comportamento nas concentrações das espécies de nitrogênio, fósforo e silício associados aos valores de oxigênio, sugere que a quantidade de fósforo e silício disponível para a assimilação metabólica durante a estação seca é grande o suficiente para que não haja uma sensível queda em seus teores, isso já não ocorrendo com as espécies de nitrogênio disponíveis

para a fixação durante a fotossíntese, que se encontram dissolvidos nessas águas em teores próximos do mínimo necessário para que ocorra um significativo aumento na produção de fitoplâncton, visto que, com o aumento na população de fitoplâncton ocorre uma abrupta queda nas concentrações de amônio, nitrato e nitrito.

Durante o período de produção máxima, a abundância de determinados nutrientes, tais como amônio, nitrato e nitrito, na água é reduzida. Eventualmente a perda de um ou mais nutrientes limitantes causa um declínio na produção. Da mesma forma, o período de produção máxima de zooplâncton geralmente coincide com o período de escassez de fitoplânctons, esse padrão de aumento de determinadas populações dentro da cadeia alimentar deve se estender aos consecutivos níveis tróficos.

Quando o fitoplâncton é abundante, os herbívoros proliferam, se alimentam vorazmente, havendo assim uma diminuição na quantidade do fitoplâncton. Esse excesso de alimento que é consumido pelos herbívoros, muitas vezes retorna na forma de pellets fecais. A decomposição de detritos orgânicos dentro da zona fótica devolve nutrientes para a água, permitindo um contínuo crescimento de fitoplâncton. O fosfato se dissolve rapidamente do material fecal digerido e não digerido, e por volta da metade do nitrogênio excretado pelos animais esta na forma de amônia;

l) existem essencialmente três principais controladores da composição das águas estuarinas de Bragança: (1) controle por equilíbrio físico-químico entre as águas do mangue, águas do estuário, águas oceânicas e sedimentos; (2) regulagem pela taxa de suprimento de componentes individuais e a interação entre ciclos biológicos e (3) regulagem pela taxa de evaporação e precipitação pluviométrica.

m) os macronutrientes cálcio, potássio e magnésio, que na água do mar são tratados como elementos conservativos, nas águas do Furo do Chato não apresentam uma relação constante com

a salinidade e alteram suas concentrações também de acordo com as condições biológicas, como ocorre com os macronutrientes nitrato, amônio e fosfato.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ALONGI, D.M.,1991- The role of intertidal mudbanks in the diagenesis and export of dissolved and particulate materials from the Fly Delta, Papua New Guinea. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 149:81-107.
- 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. *Marine Ecology Progress Series.* 56:133-144.
- ALONGI, D.M.; CHRISTOFFERSEN, P.; TIRENDI, F. 1993. The influence of forest type on microbial-nutrient relationship in tropical mangrove sediments. *J.Exp.Mar.Biol.Ecol.* 171:201-223.
- BALASUBRAMANIAN, T & VENUGOPALAN, V.K 1984. Dissolved Organic Matter in Pichawaram mangrove environment Tamil Nadu, South India. Asian Symposium on Mangrove Environment: research and Management. 496-513.
- BOON, P.I. & CAIN, S. 1988. Nitrogen Cycling in Salt-marsh and Mangrove Sediments at Western Port, Victoria. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 39:607-623.
- BOTO, K.G. & ROBERTSON, A.I. 1990. The Relationship Between nitrogen Fixation and Tidal Exports of Nitrogen in a tropical Mangrove System. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31, 531-540.
- BOTO, K.G. & WELLINGTON, J.T. 1988. Seasonal variations in concentrations and fluxes of dissolved organic and inorganic materials in a tropical, tidally-daminated, mangrove waterway. *Marine Ecology Progress Series.* 50:151-160.

- BOTO, K. G.; ALONGI, D.M.; NOTT, A.L.J. 1989. Dissolved Organic Carbon-bacteria interactions at sediment-water interface in a tropical mangrove system. *Marine Ecology Progress Series*. 51:243-251.
- BRANCO, S.M. 1978. *Hidrologia Aplicada à Engenharia Sanitária*. 2. ed. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.
- BROECKER, W.S. 1974. *Chemical Oceanography*. New York. Harcourt Brace Jovanovich. 299p.
- CAI, D.L.; TAN, F.C.; EDMOND, J.M. 1988. Sources and transport of particulate organic carbon in the Amazon River and Estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 26,1-14.
- CAMERON, W.M. & PRITCHARD, D.W. 1963. *Estuaries*. New York. Wiley-Interscience. Vol.2: The Sea.
- CHESTER, R. 1990. *Marine Geochemistry*. Londres, Unwin Hyman. 698p.
- CLARK, P.J. 1985. Nitrogen Pools and Soil Characteristics of a Temperate Estuarine Wetland in Eastern Australia. *Aquatic Botany*, 23:275-290.
- DEGENS, E.T.; KEMPE S.; RICHEY J. E. 1991. *Biogeochemistry of major world rives*. (SCOPE report, 42)
- DRAKE, C. L. 1978. *Oceanography*. New York, Molt, Rinehart and Winston. 447p.
- DREVER, J. I. 1988. *The Geochemistry of Natural Waters*. 2. ed. Englewood Cliffs, Prentice Hall. 437p.
- EISMA, D.; BERNARD, P.; BOON, J. J., VAN GRIEKEN, R., KALF, J.; MOOK, W. G. 1985. Loss of particulate organic matter in estuaries as exemplified by the Ems and Gironde Estuaries. *Inst. Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sonderbd.* 58, 397-412.
- GONG, W. & ONG, J. 1990. Plant and Biomass Nutrient Flux in a Managed mangrove Forest in Malaysia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31, 519-530.

- GROSS, M.G. 1990. **Oceanography: a view of the earth**. New Jersey, Prentice-Hall. p.406
- HARRISON, P.J.; FULTON, J.D.; TAYLOR, F.J.R.; PARSONS, T.R. 1983. Review of biological oceanography of the Strait of Georgia: pelagic environment. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science** 40:1064-1094
- HEDGES, J.I.; HATCHER, P.G.; ERTEL, J.R.; MEYERS-SCHULTE, K.J. 1992. A comparison of dissolved humic substances from seawater with Amazon River counterparts by <sup>13</sup>C-NMR spectrometry. **Geochemical et Cosmochemica Acta** 56: 1753-1757.
- LACERDA, L.D.; MARTINELLI, L.A.; RESENDE C.E.; MOZETO, A.A.; OVALLE, A.R.C.; VICTORIA, R.L.; SILVA C.A.R.; NOGUEIRA, F.B. 1988. The Fate of Trace Metals in Suspended Matter In a Mangrove Creek During a Tidal Cycle. **The Science of the Total Environment**, 75, 169-180.
- LACERDA, L.D.; RESENDE C.E.; MARTINELLI, L.A.; OVALLE, A.R.C.; MOZETO, A.A.; NOGUEIRA, F.B.; VICTORIA, R.L.; ARAGON, G.L.; 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 (10).
- LAFONTEINE, Y de.; DEMERS, S.; RUNGE, J. 1991. Pelagic food web interactions and productivity in the Gulf of St. Lawrence: a perspective. **Aquatic Science** 113:99-123.
- LIBES, S.M. 1992. **An Introduction to Marine Biogeochemistry**. New York, Wiley & Sons. p.734
- MAZDA, Y.; YOKOCHI, H.; SATO, Y. 1990. Groundwater Flow in the Bashita-Minato Mangrove Area, and its Influence on Water and Bottom Mud Properties. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 31, 621-638.
- MOISEEV, P. A. 1970. **The Living Resources of The World Ocean**. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations. 334p.

- MOOK W.G. 1970. Stable carbon and oxygen isotopes of natural water in the Netherlands. In: IAEA Conferense on Isotopes in Hydrology, Vienna, 1970. **Proceedings**. Viena.
- MORAN, J. M. 1980. **Introduction to enviromental science**. San Francisco, W.H. Freeman. 658p.
- MORAN, M.A. & HODSON R.E. 1989. Formation and bacetial utilization of dissolved organic carbon derived from detrital lignocellulose. **Limnol. Oceanogr.** 34(6): 1034-1047.
- MORAN, M.A.; WICKS, R.J.; HODSON R.E. 1991. Export of dissolved organic matter from a mangrove ewamp ecossystem: evidence from naturam fruorescence, dissolved lignin phenols, and bacterial secondary production. **Marine Ecology Progress Series.** 76: 175-184.
- MORELL J.M. & CORREDOR J.E. 1993. Sediment Nitrogen Trapping in a Mangrove Lagoon. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 37, 203-212.
- NESHIBA, S. 1987. **Oceanography: perspectives on a fluid earth**. New York, John Wiley & Sons. 506p.
- ODUM, E. P. 1983. **Ecologia**. Rio de Janeiro. Guanabara.
- ODUM, W.E., & DRIFMEYER, J.E. 1978. Sorption of pollutants by plant detritus: a review. **Environ. Health Perspect.**
- OVALLE, A.R.C.; REZENDE, C.E.; LACERDA, L.D.; SILVA, C.A.R. 1990. Factors Affecting the Hydrochemistry of a Mangrove Tidal Creek, Sepetiba Bay, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 31, 639-650.
- PARSONS, T.R.; ALBRIGHT, L.J.; PARSLOW, J. 1980. Is the strait of Georgia becoming more eutrophic? **Canadian Jornal of Fisheries and Aquatic Science** 37:1043-1047.
- PARTCH, E.N. & SMITH, J.D. 1978. Time Dependent Mixing in a Salt Wedge Estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 6, 3-19.

- PREGNALL, A.M. & MILLER, S.L. 1988. Flux of ammonium from surf-zone and nearshore sediments in Nahant Bay, Massachusetts, USA in relation to free-living *Pilayella littoralis*. *Marine Ecology Progress Series*. 50:161-167.
- RAU, G. 1978. Carbon 13 depletion in a subalpine lake: carbon flow implications. *Science*, 20: 901-2
- REDFIELD, A.C.; KETCHUM, B. J.; RICHARDS F.A. 1963. *The influence of organisms on the composition of sea water.*, New York. Wiley-Interscience. Vol.2: The Sea.
- RESENDE, C.E.; LACERDA, L.D.; OVALE, A.R.C.; SILVA C.A.R.; MARTINELLI, L.A. 1989. Nature of POC Transport in a Mangrove Ecosystem: A Carbon Stable Isotopic Study. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 30, 641-645.
- ROBERTSON, A.I. & PHILLIPS, M.J. 1995. Mangrove as filters of shrimp pond effluent: predictions and biochemical research needs. *Hidrobiologia* 295:311-321.
- SACKETT, W. M.; ECKELMAN, W. R.; BENDER, M. L.; BE, A. W. H. 1965. Temperature dependence of carbon isotope composition in marine plankton in sediments. *Science*, 148: 525-38.
- SCHNOOR, J.L. & STUMM, W. 1985. *Acidification of aquatic and terrestrial systems: Chemical processes in Lakes*. New York. Wiley-Interscience.
- SILVA C.A.R.; LACERDA, L.D. RESENDE C.E. 1990. Metals Reservoir in a Red Mangrove Forest. *Biotropica* 22(4), 339-345.
- SMITH III, T.J.; BOTO, K.G.; FRISHER, S.D.; GIDDINS, R.L. 1991. Keystone Species and Mangrove Forest Dynamics: the influence of Borrowing by Crabs on Soil Nutrient Status and Forest Productivity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 33, 419-432.

- STANLEY, S.O.; BOTO, K.G.; ALONGI, D.M.; GILLAN, F.T. 1987. Composition and bacterial utilization of free amino acids in tropical mangrove sediments. *Mar. Chem.* 22:13-30.
- STEVENSON J.C.; HEINLE D. R.; FLEMER D.A.; SMALL R. J.; ROWLAND R.A.; USTACH J.F. 1976. Nutrient Exchanges between Brackish Water Marshes and Estuary. In: Wiley, Martin. *Estuarine Processes*. New York, Academic Press. V. 2.
- STUMM, W. & MORGAN, J.J. 1924. *Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters*. New York, Wiley- Interscience.. *Shelf Science*, 31, 555-579.
- TAN, F. C. & STRAIN, P. M. 1983. Sources, sinks and distribution of organic carbon in the St. Lawrence Estuary, Canada. *Bulletin of Marine Science*, 40: 33-37
- TAN, N.F.Y.; VRIJMOED, L.L.P.; WONG, Y.S. 1990. Nutrients Dynamics Associated with Leaf Decomposition in a Small Subtropical Mangrove Community in Hong Kong. *Bulletin of Marine Science*, 47(1): 68-78.
- UNDES, R.J.; ONG, J.E.; GONG, W.K. 1990. Observations and Analysis of a Atrification- Destratification Event in a Tropical Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31, 651-665.
- WATTAYAKORN, G.; WOLANSKI, E.; KJERFVE, B. 1990. Mixing, Trapping and Outwelling in a Klong Ngao Mangrove Swamp, Thailand. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31, 667-688.
- WOLANSKI, E.; MAZDA, Y.; KING, B.; GAY, S.1990. Dynamics, Flushing and Trapping in Hinchinbrook Channel, a Giant Mangrove Swamp, Australia. *Estuarine, Coastal and*

YIN, K.; HARRISON, P.J.; POND, S.; BEAMISH R.J. 1995. Entrainment of nitrate in the Fraser River Estuary and its Biological Implications. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 40, 505-528.