

## SACO DO JUSTINO (RS-BRASIL): AMÔNIO e FOSFATO NA COLUNA D'ÁGUA E NA ÁGUA INTERSTICIAL DE UMA ENSEADA NÃO CONTAMINADA

MARIA DA GRAÇA ZEPKA BAUMGARTEN; LUIS FELIPE HAX NIENCHESKI & BIANCA ALVES DIAS MARTINS  
 Fundação Universidade Federal do Rio Grande – Departamento de Química – Laboratório de Hidroquímica  
 Caixa Postal 474 – CEP 96201-900 – Rio Grande – RS  
 E-mail: [dqmmgzb@super.furg.br](mailto:dqmmgzb@super.furg.br)

### RESUMO

O Saco do Justino é uma enseada rasa do estuário da Lagoa dos Patos. É viveiro de espécies de peixes e crustáceos comercializáveis e apresenta proliferação de vegetais submersos, indicando alta produtividade. Como nessa enseada não existem aportes de origem antrópica, esse estudo investigou a origem dos nutrientes que suportam a biomassa vegetal. Entre março de 1994 a setembro de 1995 foram realizadas amostragens mensais para a determinação das concentrações de amônio, fosfato, Eh e salinidade na coluna d'água e na água intersticial ao longo da coluna sedimentar. A comparação dos resultados com aqueles de uma enseada eutrofizada (Saco da Mangueira) mostrou que o Saco do Justino não é eutrófico, pois apresenta concentrações de amônio e de fosfato em torno de duas vezes menores. Na coluna d'água do Saco do Justino as concentrações de amônio foram em torno de 10 vezes menores que aquelas da água intersticial das camadas superficiais da coluna sedimentar, o que para o fosfato foram, 2 vezes menores. O gradiente de concentrações formado proporcionou que a coluna sedimentar dessa enseada seja a principal fonte desses nutrientes para a coluna d'água, via processos de advecção e difusão molecular a partir da água intersticial. A penetração da água marinha acentuou a contribuição de nutrientes para a coluna d'água, pois perturbou a estabilidade da coluna sedimentar e rompeu a estratificação formada entre condição oxidante das camadas superficiais e condição redutora das camadas mais profundas da coluna sedimentar, onde haviam acúmulos de água intersticial muito contaminada.

**PALAVRAS-CHAVE:** água intersticial, nutrientes, Saco do Justino, estuário, Lagoa dos Patos.

### ABSTRACT

#### SACO DO JUSTINO (RS – BRAZIL): WATER COLUMN AND PORE WATER AMMONIUM AND PHOSPHATE IN AN UNCONTAMINATED SHALLOW INLET.

The "Saco do Justino" is an important inlet of the Patos Lagoon estuary and is used as a nursery for many valuable commercial species of fish and crustacean. This ecosystem bears an abundant seagrass beds, indicating high productivity. Since there is no direct input of any anthropogenic nutrients into this inlet, this research investigated the source of the nutrients for this vegetation. Monthly, from 1994 to 1995, the concentrations of ammonium, phosphate, Eh and the salinity of water samples and pore water were determined. The comparison of these data with those of the eutrophic inlet "Saco da Mangueira" showed that the Saco do Justino is not eutrophicated. Moreover, the concentrations of nutrients increased towards the bottom, with a gradient about 10 between the ammonium of the water column and the interstitial water. The gradient of phosphate was about 2, showing that the natural and the main source of ammonium and phosphate for the water column is the interstitial water, through advection and/or molecular diffusion processes. The penetration of the seawater in the sedimentary column increased the contribution of nutrients for the water column. The sea water disturbed the stability of the sedimentary column and breached the stratification formed between the oxidant condition of the superficial layers and the reducing condition of the deepest layers, where highly contaminated interstitial water accumulated.

**KEY WORDS:** pore water, nutrients, Saco do Justino Inlet, estuary, Patos Lagoon.

## INTRODUÇÃO

Através de vários processos biogeoquímicos, compostos nitrogenados e fosfatados são reciclados na coluna sedimentar de ambientes aquáticos. A água intersticial é uma fonte de íons formados na coluna sedimentar, funcionando como um vetor destes para a coluna da água. Isso pode alterar a qualidade da água sobrejacente, principalmente em ambientes rasos através de fluxos difusivos e, também, quando a turbulência e a hidrodinâmica aumentam os intercâmbios químicos entre a água e a coluna sedimentar (Kennish 1994; Zarzur 2001).

Ambientes estuarinos rasos merecem destaque especial, particularmente em estudos que envolvem aspectos sobre as concentrações, reciclagens, regenerações e intercâmbios entre a coluna d'água e a coluna sedimentar de compostos importantes para a produtividade primária, como os nitrogenados e os fosfatados (Brepohl 2000).

No sul do estuário da Lagoa dos Patos, mais particularmente ao redor da cidade do Rio Grande, que fica na margem desse estuário, existem várias enseadas marginais rasas (média de 1m de profundidade) conhecidas como "Sacos" (Fig. 1). Essas são bastante produtivas, embora com diferentes níveis de eutrofização (Baumgarten et al. 1995).

Como enseada eutrófica destaca-se o Saco da Mangueira, que recebe grande carga de efluentes

domésticos e industriais lançados sem tratamento prévio suficiente. Baumgarten et al. (2001) revelaram que esses efluentes contaminam muito as águas dessa enseada com compostos nitrogenados e fosfatados dissolvidos e particulados. Esses aportes somam-se àqueles naturais carregados pelas águas oriundas de arroios que deságuam nessa enseada, mascarando a contribuição que a coluna sedimentar pode proporcionar para a coluna d'água.

A enseada Saco do Justino destaca-se no estuário como uma área que não é submetida a aportes diretos de efluentes industriais e domésticos. Esse aspecto foi levado em consideração por ocasião da escolha dessa área por parte de equipes da FURG, para desenvolver atividades de pesquisas em aquicultura (Fig. 1B).

No Saco do Justino proliferam vegetais submersos enraizados no substrato superficial, mas são relativamente poucas as informações sobre a reserva nutritiva nessa enseada. Niencheski & Baumgarten (1983) descreveram que as concentrações de amônio são baixas na coluna d'água, embora aumentem levemente em direção ao fundo.

Em termos da influência que a entrada da água marinha no estuário causa nas variações das concentrações de nutrientes, Baumgarten et al. (1995) constataram que a presença dessa água, rica em oxigênio e oligotrófica, causa diluições e diminui a contaminação em ambientes eutrofizados. Mas, a frequência da entrada dessa água marinha no estuário não segue necessariamente um padrão sazonal, pois depende basicamente, da intensidade dos índices pluviométricos e das características dos ventos ocorrentes na região (Moller et al. 1991).

O presente estudo propôs-se identificar no Saco do Justino a contribuição da coluna sedimentar superficial e sub-superficial na contribuição de amônio e de fosfato para a coluna d'água, avaliando as variações mensais dessa contribuição e identificando os fatores que possam influenciá-las, como a entrada da água marinha e as alterações na hidrodinâmica da coluna d'água.

### **Aspectos ambientais do Saco do Justino**

O Saco do Justino é uma enseada rasa semi-fechada que situa-se a noroeste do município de Rio Grande. Suas águas desembocam noutra enseada (Saco do Martins), que por sua vez deságuam no Canal do Norte, ao norte de Rio Grande, o qual, desemboca no canal do eixo do estuário (Canal do Rio Grande) (Fig. 1).

No Saco do Justino são desenvolvidos pequenos cultivos predominantemente em cercados e com finalidade científica, de espécies comercializáveis de peixes e crustáceos, com a responsabilidade técnica da Estação Marinha de Aquicultura (EMA) da FURG (Fig. 1B). Em função disso, nessa enseada não é liberada a pesca comercial. A equipe da EMA tem tido o cuidado de fornecer o alimento para os animais cultivados de forma controlada e programada, visando não adicionar matéria orgânica em excesso no meio aquático.

O cuidado com a preservação do Saco do Justino é de suma importância, pois além de todo seu valor ecológico dentro do sistema do estuário da Lagoa dos Patos, ainda as águas dessa enseada foram classificadas como Classe A pela FEPAM (1995), no processo de enquadramento da parte sul do estuário, seguindo as recomendações da Resolução nº20 do CONAMA (1986), atualizadas na Resolução nº357 do CONAMA (2005). Nas águas da Classe A não devem ser tolerados lançamentos de águas residuárias, domésticas e industriais, lixo e outros resíduos sólidos e substâncias tóxicas, mesmo tratados.

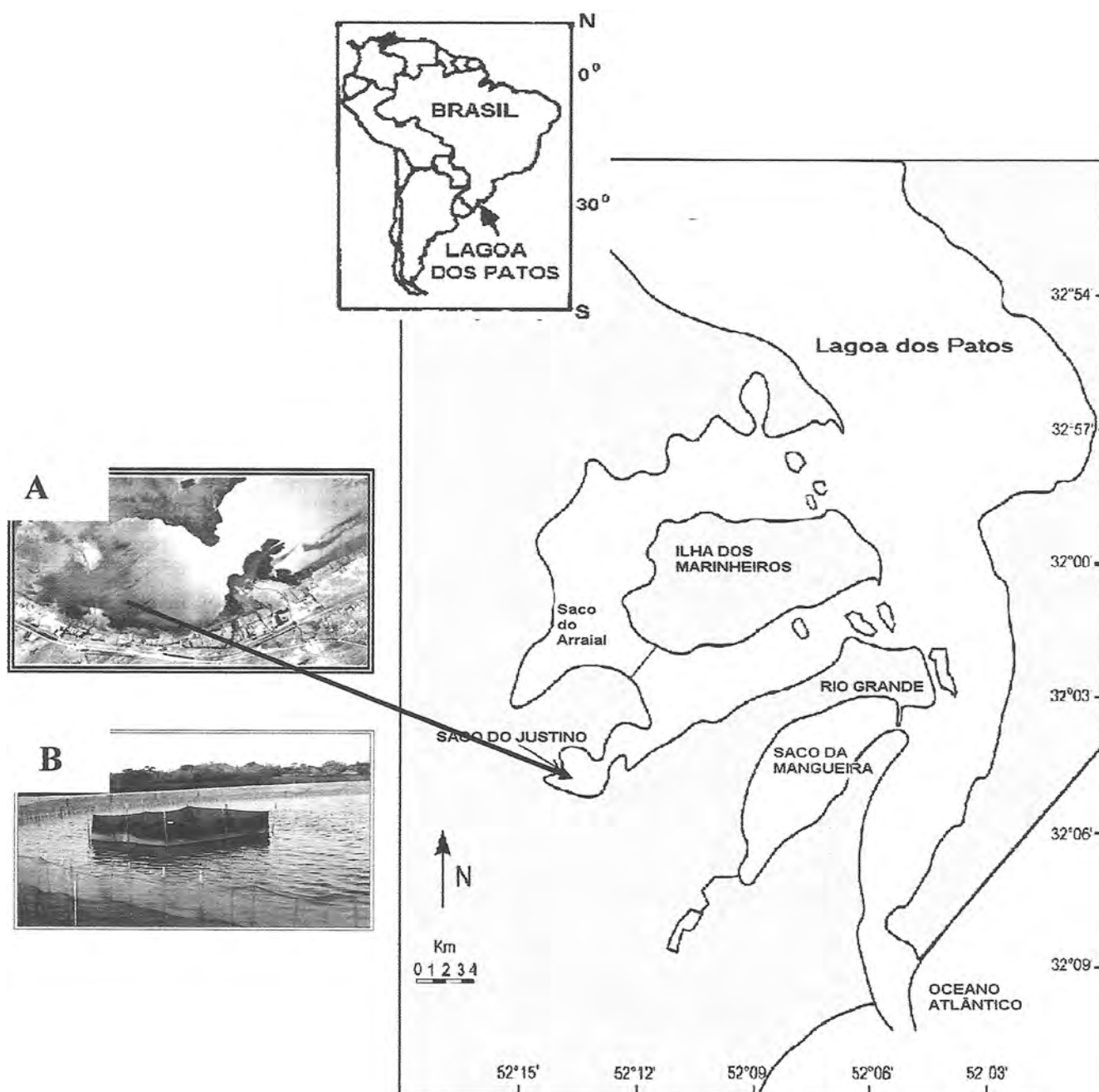


FIGURA 1 – Sul do estuário da Lagoa dos Patos (RS) e sua desembocadura no Oceano Atlântico.

A – imagem aérea do Saco do Justino.

B – cercado destinado aos cultivos (imagem cedida pela EMA, 2000).

## MATERIAL E MÉTODOS

Mensalmente, durante 15 meses (abril/94 a setembro/95) e com o uso de um barco foi amostrado um local na área central do Saco do Justino, onde a profundidade varia em torno de 1 a 1,5 metros.

Para as coletas na superfície da coluna d'água foi lançado um balde a partir do barco. As coletas da água de fundo foram feitas usando-se uma garrafa tipo Van Dorn.

Para obter-se água intersticial foi amostrado um testemunho da coluna sedimentar, enterrando-se a partir do barco, um cano de PVC (10 cm de diâmetro e 2 m de comprimento), o qual penetrou até cerca de 40 cm de profundidade da coluna sedimentar. Imediatamente após a amostragem, o cano foi trazido para o barco.

Posteriormente, visando a extração da água intersticial, esse cano foi levado até o laboratório posicionado verticalmente numa viatura, evitando-se assim, a mistura e a compactação das camadas sedimentares contidas dentro do cano. Esse foi transportado com um pouco de água do ambiente no seu topo cobrindo o testemunho sedimentar, para evitar processos oxidativos adicionais na interface sedimentar.

Logo após a chegada no laboratório, foi inserido um êmbolo dentro do cano para empurrar o testemunho sedimentar para fora. Isso fez escorrer a água do topo do cano. À medida que o testemunho saía do cano, ele foi sendo cortado em fatias, o que foi feito em onze profundidades: 0,5; 1; 2; 5; 8; 13; 18; 23; 28; 33 e 38 cm.

Cada uma das fatias de sedimento foi imediatamente inserida individualmente em um equipamento extrator de água intersticial de origem alemã (Balzer 1984) (Fig. 2). Esta amostragem estratificada da coluna sedimentar permitiu a obtenção de perfis vertical das concentrações dos constituintes da água intersticial.



FIGURA 2 – Vista frontal do extrator da água intersticial e do reservatório de  $N_2$ , usado para pressionar a expulsão da água intersticial das fatias de sedimentos dispostas no extrator.

O referido extrator é constituído por um sistema de prensa composta por onze placas sobrepostas, feitas de Teflon®. Na cavidade central de cada placa foi acomodada uma das fatias de sedimentos. Após preenchidas, as placas foram unidas e vedadas. Entre as placas foram colocados filtros com porosidade de  $0,45\mu m$ . O gás nitrogênio foi injetado no sistema todo para fazer pressão em cada fatia sedimentar e, assim, extrair a água intersticial. De cada fatia de sedimentos foi recolhido um volume de cerca de 5 ml de água intersticial, em frascos acoplados em cada uma das placas, para posterior análise. Durante a extração da água, a presença do gás nitrogênio no interior do extrator manteve o ambiente inerte, visando não alterar as condições originais de oxidação da coluna sedimentar.

Particularmente nos meses de junho, julho/94 e fevereiro/95 não foi obtida água intersticial dos testemunhos sedimentares coletados, devido a um problema técnico no equipamento extrator da mesma, que não conseguiu extrair um volume de água intersticial suficiente para as análises.

Na coluna d'água e na água intersticial de cada profundidade amostrada foram analisados o fosfato e o nitrogênio amoniacal (rotineiramente mencionado como amônio), segundo métodos espectrofotométricos UV-Vis, descritos em Baumgarten et al. (1996). A salinidade foi medida com condutímetro Yellow Springs modelo 33 SCT. O potencial de oxidação-redução (Eh) foi medido com um potenciômetro com eletrodo de platina e o pH da coluna d'água, com um pH-metro digital portátil.

Os gráficos foram feitos com o uso do programa Surfer 6.01 (1996). Para as análises estatísticas básicas e para os cálculos das correlações lineares não paramétricas de Spearman usou-se o programa Statistica 5.1 (Stat Soft, Inc. 1996) (Tabelas 1, 2 e 3), considerando-se significativos os coeficientes de correlação (R) com nível de significância ( $p \leq 0,05$ ).

Os coeficientes de correlações entre as variáveis foram calculados individualmente para a coluna d'água



juntando-se os dados de superfície e fundo, obtendo-se assim um  $n=30$  (tamanho amostral), que representou os 15 meses amostrados nos dois níveis de profundidade.

Para a coluna sedimentar, inicialmente calculou-se os coeficientes de correlação usando-se todas as profundidades em conjunto, resultando em um  $n=165$  (15 meses e amostragens em 11 profundidades). Após, para uma investigação mais detalhada, dividiu-se a coluna sedimentar em dois compartimentos, um mais superficial, abrangendo as profundidades desde a superfície até os 8 cm, com um  $n=75$  (15 meses e as profundidades 0,5; 1; 2; 5 e 8 cm) e o outro mais profundo, incluindo as outras 6 profundidades, totalizando um  $n=90$  (15 meses e as profundidades 13; 18; 23; 28; 33 e 38 cm).

Essa divisão na coluna sedimentar foi feita baseada em que Baumgarten et al. (2001) concluíram que nas enseadas rasas do estuário da Lagoa dos Patos, em função do mais intenso intercâmbio entre a coluna d'água e a coluna sedimentar, as características dos primeiros 8 a 10 cm da água intersticial da coluna sedimentar são diferentes daquelas das camadas mais profundas, onde a estabilidade química é maior. Isso também ficou bem evidenciado para o Saco do Justino na figura 4.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Salinidade

Na coluna d'água durante o período estudado predominaram águas doces e mixohalinas, tanto na superfície quanto no fundo, sem uma significativa estratificação. A salinidade na coluna d'água aumentou somente de maio a julho/95 (outono/inverno com um máximo de 20) (Fig. 3, Tabela 1), num comportamento temporal diferenciado daquele mais freqüente no estuário, onde normalmente é no verão que a salinidade aumenta na coluna d'água das áreas rasas (Baumgarten et al., 1995).

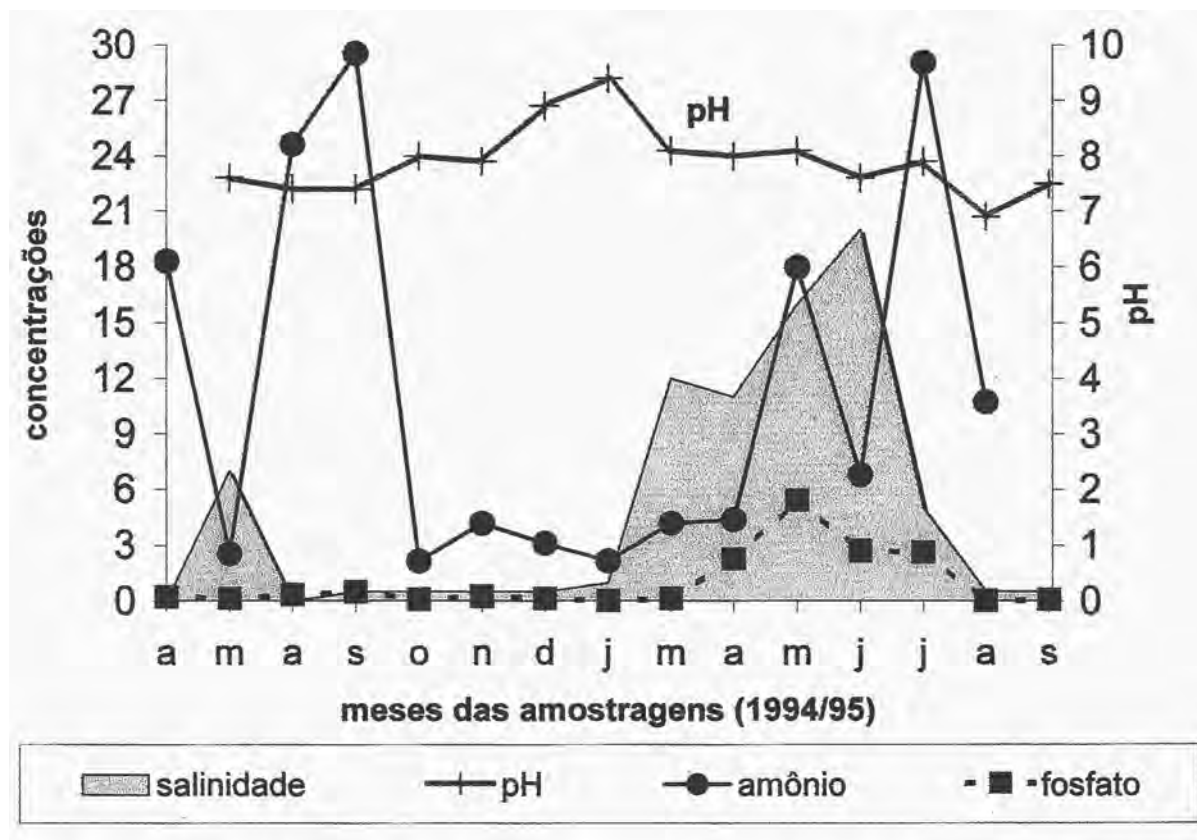


FIGURA 3 – Concentrações de amônio e fosfato (em  $\mu\text{M}$ ) e valores de salinidade na água de superfície do Saco do Justino.

TABELA 1 – Comparação entre as médias, mínimos e máximos (nos parênteses) da salinidade na coluna da água e na água intersticial de cada profundidade da coluna sedimentar no Saco do Justino e no Saco da Mangueira (abril/94 a set/95).

| SALINIDADE        |              |                  |                             |                             |
|-------------------|--------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                   | Profundidade | Saco do Justino* | Saco da Mangueira **        |                             |
|                   |              |                  | área com fraca eutrofização | área com forte eutrofização |
| Coluna d'água     | Superfície   | 5,4<br>(0 - 20)  | 4,7<br>(0 - 15)             | 6,6<br>(0 - 24)             |
|                   | Fundo        | 8,3<br>(0 - 20)  | 6,8<br>(0 - 15)             | 9,6<br>(0 - 24)             |
| Água intersticial | 0,5 cm       | 6,4<br>(0 - 20)  | 6,1<br>(0 - 16)             | 7,7<br>(0 - 23)             |
|                   | 1            | 5,3<br>(0 - 20)  | 4,6<br>(0 - 16)             | 6,2<br>(0 - 25)             |
|                   | 2            | 5,3<br>(0 - 20)  | 4,6<br>(0 - 16)             | 6,0<br>(0 - 23)             |
|                   | 5            | 5,2<br>(0 - 20)  | 4,7<br>(0 - 16)             | 6,1<br>(0 - 21)             |
|                   | 8            | 5,2<br>(0 - 20)  | 4,9<br>(0 - 16)             | 6,4<br>(0 - 20)             |
|                   | 13           | 5,6<br>(0 - 20)  | 4,7<br>(0 - 16)             | 8,0<br>(0 - 20)             |
|                   | 18           | 7,7<br>(3 - 18)  | 5,8<br>(0 - 16)             | 9,8<br>(0 - 18)             |
|                   | 23           | 6,9<br>(3 - 15)  | 6,2<br>(0 - 15)             | 11,2<br>(3 - 18)            |
|                   | 28           | 7,8<br>(5 - 15)  | 7,1<br>(0 - 15)             | 12,0<br>(5 - 18)            |
|                   | 33           | 8,3<br>(5 - 15)  | 8,1<br>(0 - 15)             | 13,0<br>(6 - 19)            |
|                   | 38           | 9,00<br>(5 - 15) | 8,6<br>(0 - 15)             | 13,8<br>(8 - 19)            |

\* presente trabalho

\*\* Baumgarten et al. (2001)

n (tamanho amostral):15, sendo o número de meses amostrados em cada profundidade.

Essa salinização foi consequência da ação de fortes ventos direcionados dos quadrantes sul e oeste presentes na ocasião das amostragens desse período, os quais empurraram a água costeira para dentro do estuário, fazendo-a chegar até o Saco do Justino. Isso demonstrou que as variações da salinidade na coluna d'água dessa enseada não obedecem rigorosamente variações sazonais, evidenciando uma instabilidade salina, à exemplo do que foi documentado para as áreas de canais do estuário (Möller et al., 1991).

Quando a água marinha dominou a coluna d'água do Saco do Justino e aí permaneceu por algum tempo (Fig. 3), proporcionou a penetração da mesma na coluna sedimentar. Assim, a salinidade da água intersticial de até cerca de 13 cm de profundidade apresentou salinidade muito semelhante aquela da coluna d'água (Tabela 1, Fig. 4), evidenciando um equilíbrio salino entre esses compartimentos ambientais. Essa penetração foi favorecida pela maior densidade da água marinha em relação à água intersticial de menor salinidade e pela difusão iônica entre líquidos de diferentes concentrações, numa busca de equilíbrio químico.

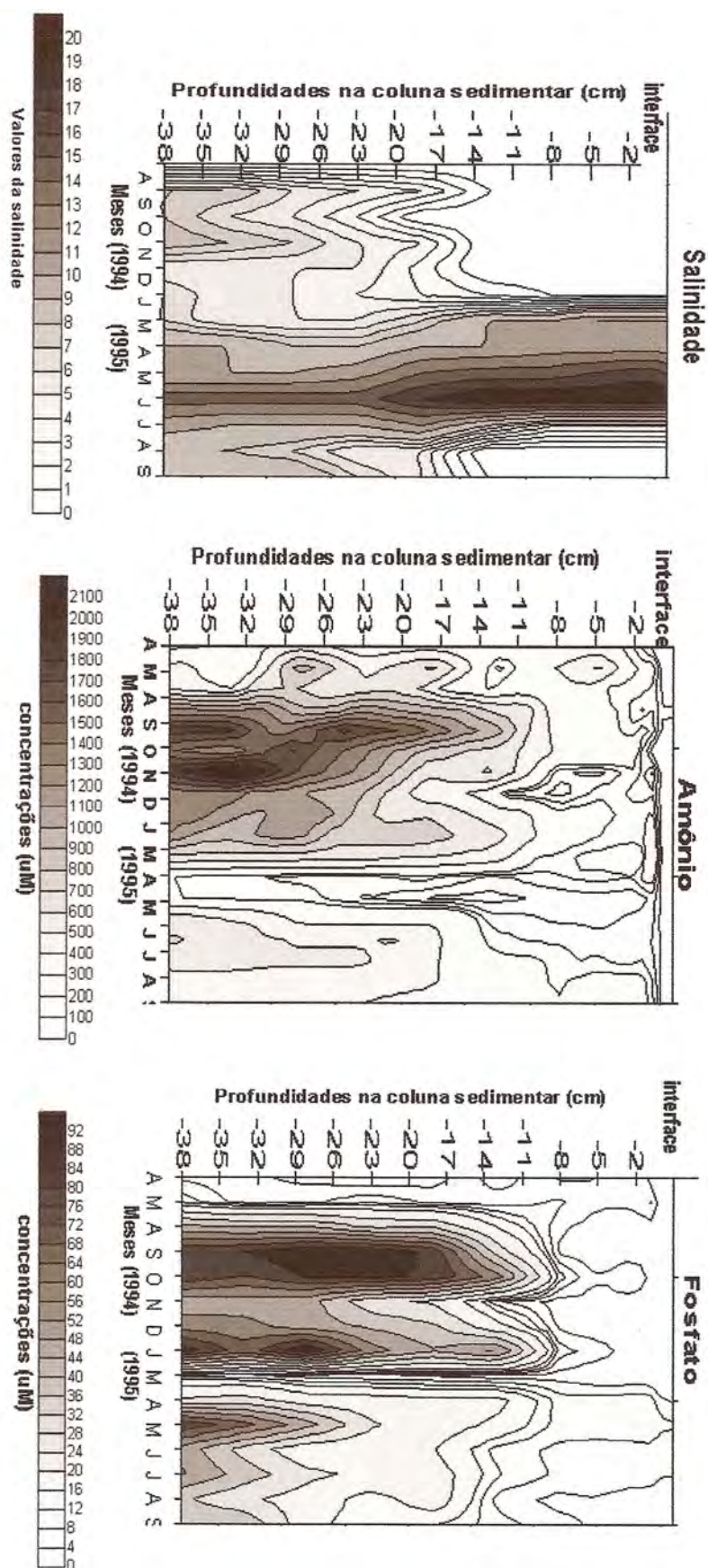


FIGURA 4 – Água intersticial ao longo da coluna sedimentar – concentrações de amônio, de fosfato e da salinidade nos meses amostrados (1994/95).

Obs.: As manchas escuras indicam as maiores concentrações.

Nas profundidades à seguir, à medida que a água marinha foi se infiltrando, fez ascender a água intersticial mais profunda, que foi gradativamente se diluindo com a água marinha penetrante.

Em função desses processos, nas camadas mais profundas da coluna sedimentar ao longo dos meses, predominaram águas mixohalinas com menor amplitude de variação da salinidade. Isso evidenciou que nessas camadas há maior estabilidade salina e maior integração temporal das variações que ocorreram na coluna d'água em termos de salinidade.

O resultado disso foi a formação de gradientes positivos com valores crescentes de salinidade em direção ao fundo da coluna sedimentar quando as águas de baixa salinidade dominaram a coluna d'água e, ao contrário, gradientes negativos quando a água marinha foi dominante na superfície, cuja intrusão ocorreu até cerca de 20 cm de profundidade da coluna sedimentar (Fig. 4).

## **Fosfato e amônio**

Tanto na coluna d'água como na coluna sedimentar ocorreram grandes alterações nas concentrações de amônio e de fosfato ao longo dos meses, causadas principalmente pela entrada da água marinha no Saco do Justino.

Como essa enseada não tem fontes antrópicas diretas, e assim, esses nutrientes provêm de processos naturais, os resultados foram interpretados considerando separadamente três condições ambientais distintas que ocorreram durante o período amostrado: antes da entrada da água marinha, durante e depois. Essa estratégia facilitou a identificação da influência da salinidade nas variações das concentrações dos nutrientes.

Para cada situação salina foi avaliada a ocorrência de processos naturais geoquímicos e/ou bioquímicos que podem enriquecer de amônio e/ou de fosfato a água, principalmente a intersticial. Segundo Esteves (1998), entre esses processos, destacam-se: a decomposição da matéria orgânica vegetal e animal autóctona soterrada na coluna sedimentar, a amonificação (redução) do nitrato, a redissolução de compostos fosfatados de baixa solubilidade e a dessorção do fósforo adsorvido em partículas, sendo esses últimos ocorrentes em meios redutores.

### Período precedente à entrada da água marinha

Esse período foi o predominante na enseada. Iniciou em abril/94 até janeiro/95, (oito amostragens), quando dominaram águas doces ou águas levemente mixohalinas (salinidade máxima de 7).

Nessa ocasião, as concentrações de fosfato na superfície e no fundo da coluna d'água foram muito baixas e sem grandes variações. Apresentaram-se em torno de 1  $\mu\text{M}$  (Fig. 3), que é a concentração citada como normal para ambientes costeiros não contaminados (Aminot & Chaussepied 1983).

Para o amônio, na maioria das amostragens na coluna d'água, as concentrações oscilaram em torno o valor de 5  $\mu\text{M}$ , citado como normal para ambientes costeiros (Day et al. 1986). Entretanto, o padrão das variações foi diferente do registrado para o fosfato, pois ocorreram altos picos nas concentrações, resultando numa grande amplitude de valores. Esses picos foram registrados em abril, agosto e setembro/94 (Fig. 3) e ultrapassaram em até seis vezes o referido valor referência.

Como as concentrações de amônio e de fosfato sempre foram levemente mais elevadas no fundo do que na superfície da coluna d'água (Tabelas 2 e 3), provavelmente esses picos de concentrações tenham origem predominante nos processos ocorrentes na coluna sedimentar.



TABELA 2 – Comparação entre as médias, mínimos e máximos (nos parênteses) do amônio na coluna da água e na água intersticial de cada profundidade da coluna sedimentar no Saco do Justino e no Saco da Mangueira (abril/94 a set/95).

| <b>AMÔNIO (<math>\mu\text{M}</math>)</b> |            |                          |                                    |                                    |
|--|------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|  |            | <b>Saco do Justino *</b> | <b>Saco da Mangueira **</b>        |                                    |
| <i>Profundidade</i>                      |            |                          | <i>área com fraca eutrofização</i> | <i>área com forte eutrofização</i> |
| Coluna d'água                            | Superfície | 8,9<br>(1,9 - 29,7)      | 16,6<br>(0 - 48,4)                 | 28,6<br>(1,7 - 47,9)               |
|  | Fundo      | 14,27<br>(4,1 - 29,0)    | 13,2<br>(3,5 - 40,2)               | 35,8<br>(6,5 - 51,0)               |
| Água intersticial                        | 0,5 cm     | 97,0<br>(40,7 - 216,7)   | 184,3<br>(33,6 - 710,7)            | 228,6<br>(51,2 - 352,7)            |
|  | 1          | 75,5<br>(20,3 - 132,6)   | 147,5<br>(29,0 - 316,0)            | 208,7<br>(11,5 - 576,6)            |
|  | 2          | 81,6<br>(21,5 - 161,3)   | 126,5<br>(26,4 - 451,4)            | 190,3<br>(58,0 - 332,9)            |
|  | 5          | 115,84<br>(31,7 - 348,0) | 148,2<br>(36,9 - 302,7)            | 166,3<br>(50,7 - 445,0)            |
|  | 8          | 104,1<br>(26,5 - 228,5)  | 200,1<br>(39,8 - 470,4)            | 226,2<br>(61,9 - 801,6)            |
|  | 13         | 203,5<br>(10,7 - 664,9)  | 392,5<br>(44,4 - 1265,5)           | 264,6<br>(63,7 - 951,6)            |
|  | 18         | 307,5<br>(16,6 - 947,9)  | 437,1<br>(39,2 - 752,9)            | 398,6<br>(110,2 - 921,5)           |
|  | 23         | 378,1<br>(45,3 - 1050,6) | 581,9<br>(153,9 - 1050,5)          | 558,5<br>(330,8 - 892,8)           |
|  | 28         | 484,2<br>(67,8 - 976,0)  | 793,6<br>(292,3 - 1397,9)          | 644,8<br>(269,0 - 949,9)           |
|  | 33         | 462,3<br>(67,8 - 976,0)  | 828,5<br>(173,6 - 1859,9)          | 801,3<br>(503,8 - 971,5)           |
|  | 38         | 566,4<br>(80,8 - 2106,8) | 958,1<br>(394,8 - 1859,9)          | 900,5<br>(546,6 - 1232,5)          |

\* presente trabalho

\*\* Baumgarten et al. (2001)

n (tamanho amostral): 15, sendo o número de meses amostrados em cada profundidade.

TABELA 3 – Comparação entre as médias, mínimos e máximos do fosfato (nos parênteses) na coluna da água e na água intersticial de cada profundidade da coluna sedimentar no Saco do Justino e no Saco da Mangueira (abril/94 a set/95).

| <b>FOSFATO (<math>\mu\text{M}</math>)</b> |            |                          |                                    |                                    |
|---|------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|   |            | <b>Saco do Justino *</b> | <b>Saco da Mangueira **</b>        |                                    |
| <i>Profundidade</i>                       |            |                          | <i>área com fraca eutrofização</i> | <i>área com forte eutrofização</i> |
| Coluna d'água                             | Superfície | 1,0<br>(0 - 5,3)         | 1,9<br>(0,2 - 5,5)                 | 5,6<br>(1,3 - 13,4)                |
|   | Fundo      | 2,4<br>(0,1 - 6,9)       | 5,5<br>(0,5 - 25,9)                | 7,3<br>(4,2 - 11,6)                |
| Água intersticial                         | 0,5 cm     | 2,4<br>(0,1 - 6,9)       | 4,4<br>(2,4 - 6,6)                 | 7,1<br>(0,6 - 14,6)                |
|   | 1          | 2,4<br>(0,1 - 6,8)       | 3,8<br>(0,9 - 12,9)                | 5,7<br>(1,2 - 10,6)                |
|   | 2          | 2,8<br>(0,2 - 6,2)       | 8,8<br>(0,6 - 57,2)                | 10,5<br>(2,8 - 30,8)               |
|   | 5          | 2,8<br>(1,2 - 8,1)       | 15,3<br>(1,5 - 68,5)               | 12,8<br>(3,1 - 68,3)               |
|   | 8          | 3,8<br>(0,8 - 60,3)      | 18,9<br>(2,2 - 48,8)               | 31,2<br>(7,6 - 230,5)              |
|   | 13         | 16,7<br>(1,2 - 82,7)     | 17,9<br>(0,9 - 55,8)               | 59,3<br>(18,8 - 290,4)             |
|   | 18         | 27,4<br>(0,3 - 93,5)     | 28,5<br>(5,5 - 54,8)               | 67,9<br>(32,0 - 140,1)             |
|   | 23         | 30,9<br>(0,3 - 93,5)     | 42,9<br>(6,8 - 79,2)               | 92,4<br>(57,8 - 154,7)             |
|   | 28         | 39,9<br>(1,7 - 94,8)     | 52,3<br>(9,3 - 108,1)              | 99,9<br>(69,6 - 156,9)             |
|   | 33         | 42,2<br>(3,0 - 84,9)     | 59,0<br>(11,6 - 102,4)             | 101,2<br>(67,7 - 192,3)            |
|   | 38         | 48,8<br>(4,2 - 92,2)     | 58,8<br>(16,6 - 101,6)             | 104,0<br>(69,6 - 146,1)            |

\* presente trabalho

\*\* Baumgarten et al. (2001)

n (tamanho amostral) =15, sendo o número de meses amostrados para cada profundidade.

Comparando a coluna d'água com a coluna sedimentar, constatou-se gradientes de concentrações sempre crescentes (positivos) no sentido da última, diferenciando do padrão dos gradientes de salinidade, os quais foram crescentes ou decrescentes dependendo das condições salinas da coluna d'água. Foram mais acentuados para o amônio do que para o fosfato.

Nas camadas mais profundas da coluna sedimentar (mais de 10 cm de profundidade), entre agosto e novembro/94, se formaram acúmulos (núcleos) de água intersticial altamente enriquecida em amônio e em fosfato (Fig. 4), o que foi refletido pela correlação positiva e muito significativa entre esses nutrientes ( $R=+0,54$ ).

A formação desses núcleos de concentrações foi favorecida pela fraca hidrodinâmica ocorrente na enseada nessa ocasião, o que manteve a coluna sedimentar pouco perturbada, dificultando a oxigenação das suas camadas mais profundas e criando condições muito redutoras localizadas (Eh negativo). Especialmente nesse período entre agosto e outubro/94, criou-se uma acentuada estratificação, formando-se na coluna sedimentar uma barreira constituída por camadas oxidantes desde a superfície até a profundidade de cerca de 18 cm, a partir do que, o Eh apresentou-se muito redutor (chegou a ser cerca de -360mv entre 33 a 38 cm de profundidade) (Tabela 4, Fig. 5).

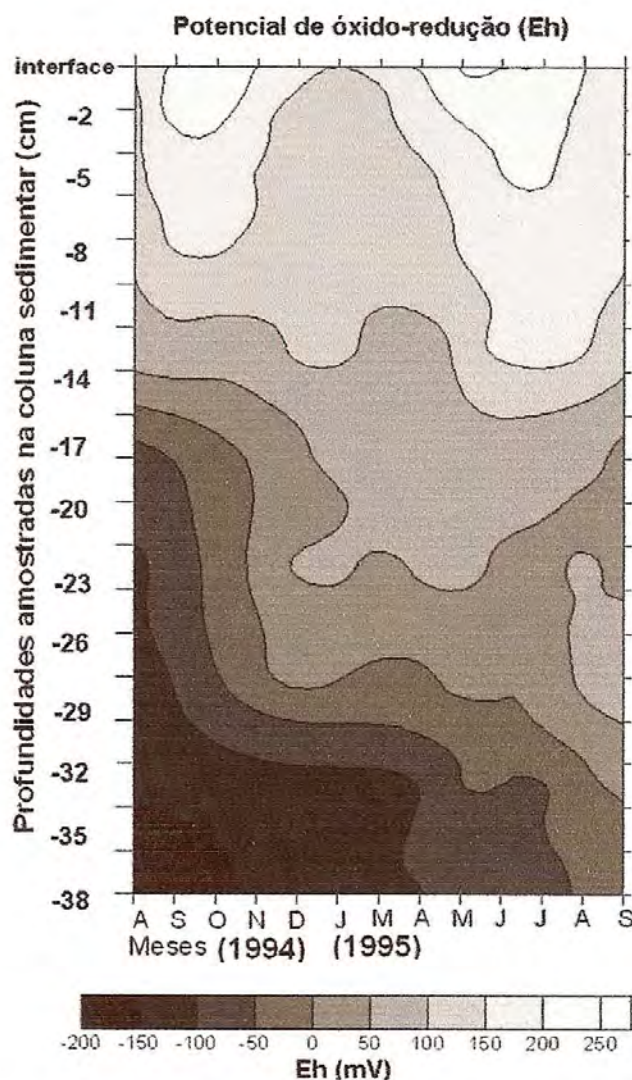


FIGURA 5 – Água intersticial ao longo da coluna sedimentar – valores de Eh nos meses amostrados (1994/95).

Obs.: As manchas escuras indicam os maiores potenciais redutores.

TABELA 4 – Valores médios, mínimos e máximos (nos parênteses) de **pH** e de **Eh** na coluna da água e na água intersticial de cada profundidade da coluna sedimentar.

| <b>Saco do Justino (abril/94 a set/95).</b> |                     |                    |                    |
|---|---------------------|--------------------|--------------------|
|   | <i>Profundidade</i> | <b>pH</b>          | <b>Eh</b><br>(mV)  |
| Coluna d'água                               | Superfície          | 7,9<br>(6,9 – 9,4) | 200<br>(70 – 400)  |
|   | Fundo               | 7,7<br>(6,5 – 9,4) | 200<br>(70 – 390)  |
| Água intersticial                           | 0,5 cm              | 7,2<br>(6,4 – 7,5) | 190<br>(100 – 280) |
|   | 1                   | 7,4<br>(6,8 – 8,4) | 191<br>(50 – 320)  |
|   | 2                   | 7,2<br>(6,8 – 7,7) | 179<br>(60 – 300)  |
|   | 5                   | 7,3<br>(6,7 – 7,9) | 161<br>(60 – 225)  |
|   | 8                   | 7,4<br>(6,8 – 7,9) | 142<br>(20 – 215)  |
|   | 13                  | 7,5<br>(6,9 – 8,9) | 104<br>(-50 – 180) |
|   | 18                  | 7,7<br>(7,1 – 8,1) | 42<br>(-80 – 170)  |
|   | 23                  | 7,8<br>(7,1 – 8,2) | 25<br>(-120 – 120) |
|   | 28                  | 7,7<br>(6,9 – 8,3) | 6<br>(-140 – 110)  |
|   | 33                  | 8,1<br>(7,1 – 8,6) | -60<br>(-140 – 20) |
|   | 38                  | 7,6<br>(7,0 – 8,0) | -81<br>(-360 – 30) |

n (tamanho amostral) = 15, sendo o número de meses amostrados para cada profundidade.

Destacaram-se as significativas correlações inversas entre as concentrações dos nutrientes e o Eh das camadas sedimentares de profundidades maiores que 10 cm ( $R_{NH_4/Eh} = -0,35$  e  $R_{PO_4/Eh} = -0,34$ ), que mostraram que as maiores concentrações de amônio e de fosfato na água intersticial ocorreram em condições altamente redutoras.

Segundo Gächeter & Meyer (1993), a condição redutora do meio favorece a manutenção de fosfato dissolvido, principalmente quando esse ion está associado com formas reduzidas do ferro e do manganês, formando sais solúveis. Portanto, o fluxo de fosfato via água intersticial para a coluna d'água é fortemente controlado pelo prevailecimento da condição redutora na coluna sedimentar.

Por outro lado, Boström et al. (1982) constataram que a presença de uma camada oxidante na coluna sedimentar superficial pode impedir ou dificultar o fluxo de fosfato para a coluna d'água. Essa camada funciona como uma armadilha para manter o fosfato retido na coluna sedimentar mais profunda.

Então, no Saco do Justino, durante o período da presença das barreiras oxidantes proporcionadas pela fraca hidrodinâmica e dominância de águas doces (Tabela 4, Fig. 5), o fosfato que se difundiu das camadas mais profundas para as mais superficiais da coluna sedimentar, quando encontrou as camadas oxidantes, pode ter sido aprisionado nos sedimentos por processos de adsorção, principalmente em colóides constituídos de formas oxidadas como hidróxidos hidratados de ferro ou de manganês (Esteves 1998). Assim, diminuíram as concentrações de fosfato dissolvido na água intersticial das camadas superficiais da coluna sedimentar e a contribuição para a coluna d'água.

Corroborar com essa hipótese o fato de que os gradientes de concentração de fosfato somente ficaram abruptos a partir de cerca de 10 cm de profundidade da coluna sedimentar, pois as concentrações desse nutriente na coluna d'água foram no máximo, somente duas vezes maiores que na água intersticial das profundidades mais superficiais (Tabela 3). Isso evidenciou que nesses compartimentos ambientais houve um equilíbrio de concentrações de fosfato (à exemplo do que ocorreu com a salinidade), onde desenvolveu-se um processo de

intercâmbio e de tamponamento das concentrações desse nutriente, o que já foi amplamente discutido por Liss (1976) para estuários não contaminados. Portanto, com a presença da barreira oxidante, a coluna sedimentar do Saco do Justino não representou uma forte contribuinte de fosfato para a coluna d'água.

Quanto ao amônio, num meio redutor também há o favorecimento da manutenção desse nutriente a partir de sua formação, devido a ele ser um ion reduzido e que torna-se instável se a condição do meio for oxidante, quando ele se oxida a nitrito e a nitrato (nitrificação) (Esteves 1998).

Os gradientes de concentrações de amônio, ao contrário daqueles de fosfato e de salinidade, foram intensamente crescente desde a coluna d'água até a coluna sedimentar (água intersticial, na média, com um fator em torno de 10 vezes mais concentrada que a coluna d'água) e apresentaram concentrações médias no mínimo 10 vezes maiores que as de fosfato (Tabelas 2 e 3, Fig. 4).

Portanto, os abruptos gradientes de amônio assim formados resultaram numa maior contribuição por difusão iônica desse nutriente para a coluna d'água a partir da coluna sedimentar, em comparação com o fosfato. Isso vem ao encontro com a constatação de Zarzur (2001) que registrou alta intensidade no fluxo de amônio entre a coluna sedimentar e a coluna d'água do Saco do Justino.

Em vista disso, os resultados do presente estudo sugerem que o enriquecimento de amônio na coluna d'água registrado em agosto/setembro/1994 no Saco do Justino, pode ter sido consequência da intensificação do fluxo desse nutriente a partir da coluna sedimentar, pois coincidiu com o período de formação na mesma dos núcleos de água intersticial contaminada (Figura 3 e 4).

Apesar de não ter mudado a condição salina no Saco do Justino a partir de outubro/1994 (final da primavera) até janeiro/1995 (verão) (continuidade da predominância de água doce na coluna d'água), para o amônio ocorreu o contrário do constatado antes de outubro, pois as concentrações diminuíram na coluna d'água.

Na coluna sedimentar, a partir de novembro ocorreu decréscimos das concentrações, com a dispersão dos núcleos de concentrações (Figuras 3 e 4) e a formação de gradientes menos bruscos entre a coluna d'água e a coluna sedimentar, possivelmente sendo isso resultado da difusão iônica ocorrida nos meses anteriores. A consequência foi uma diminuição na contribuição da coluna sedimentar para a coluna d'água nesse período.

Além disso, esses decréscimos de amônio podem estar relacionados pelo fato de que observou-se nessas amostragens, florações de gramíneas submersas muito vitais se espalhando sobre o fundo da enseada, aumentando a fitoassimilação. A constatação de significativas elevações no pH da água nesse período (chegou a 9,4 em janeiro/95, mantendo-se levemente alcalino desde novembro/94 até março/95, Fig. 3, Tabela 4) corrobora com essa hipótese, pois a ocorrência de altas taxas fotossintéticas com consequente consumo do gás carbônico, causa elevação do pH.

Com relação à esse aumento da biomassa, vários estudos podem ser citados. Abreu (1992) evidenciou o aumento da taxa de produção fitoplanctônica no verão no estuário da Lagoa dos Patos. Portanto, o fitoplâncton poderia estar se somando à ação das gramíneas na assimilação dos nutrientes na coluna d'água do Saco do Justino nessa época.

Seeliger et al (1998) mostraram que em áreas rasas desse estuário permanentemente inundadas, a associação de baixa salinidade, alta temperatura e alta insolação da coluna d'água tem um efeito sinérgico sobre a germinação das sementes de *Ruppia marítima*, uma gramínea superior submersa que coloniza grande parte dos baixios com circulação reduzida deste estuário. A taxa de crescimento máximo desse vegetal pode começar entre o início da primavera e do verão e cessar no outono.

Zarzur (2001) avaliou a produção primária fitoplanctônica e microfítobêntica no Saco do Justino e também encontrou as maiores taxas no verão. Sugeriu que o microfítobentos influenciou de forma direta e intensa os fluxos de liberação e o alto consumo de nutrientes na interface água/sedimento.

Somando-se ao consumo pela fitoassimilação, particularmente para o amônio deve-se considerar que os núcleos de concentrações também podem ter diminuído devido à oxidação do amônio à nitrato (nitrificação), o que é favorecido quando a temperatura aumenta, porque isso favorece a taxa de crescimento e de metabolismo das bactérias nitrificantes (Esteves 1998). Além disso, as altas taxas fotossintéticas aumentam os níveis de saturação



de oxigênio, favorecendo os processos oxidativos.

Corroborar a hipótese do favorecimento da nitrificação nessa época no Saco do Justino o fato de que os resultados de Eh a partir de novembro/94 evidenciaram uma coluna sedimentar mais oxidante do que nos meses anteriores, uma vez que depois dessa época, somente a partir dos 25 cm de profundidade é que começou a sua condição redutora (Fig. 5). Portanto, houve uma desestabilização da estratificação da coluna sedimentar sub-superficial em termos de condição oxidante/redutora, formada anteriormente durante o inverno.

Entretanto, a ausência de dados de nitrato e de oxigênio simultâneos aos de amônio no presente estudo não possibilitaram uma quantificação da ação da nitrificação no decréscimo de amônio no Saco do Justino.

#### Período durante a entrada da água marinha

Esse período estendeu-se de março até junho/95 (quatro amostragens), quando dominaram águas fortemente mixohalinas (salinidade da coluna d'água entre 11 e 20). Foi quando as concentrações de fosfato e de amônio na coluna d'água elevaram-se bastante (Fig. 3), o que foi corroborado pelas correlações positivas e muito significativas entre a salinidade e esses nutrientes (em torno de 0,5 para ambos nutrientes), que evidenciaram a influência da presença de águas marinhas no aumento dessas concentrações na coluna d'água.

Esses acréscimos resultaram em que os gradientes de concentrações de fosfato e de amônio entre a coluna d'água e a coluna sedimentar ficassem menos abruptos por ocasião da intrusão da água marinha, embora continuassem crescentes na direção das maiores profundidades (Fig. 4).

Na coluna d'água, as concentrações de fosfato elevaram-se até um valor máximo de 6,9  $\mu\text{M}$  nas águas de fundo, em maio/95 (Tabela 3), chegando a serem apenas em torno de duas vezes menores que as da coluna sedimentar das camadas mais superficiais.

Nas primeiras camadas da coluna sedimentar (primeiros 10 cm) também ocorreu nessa ocasião o aumento das concentrações de fosfato (Fig. 4). Isso foi conseqüência de que a alta carga aniônica de sulfatos, de cloretos e de hidroxilas ou de agentes quelantes da água marinha, bloqueou os sítios de adsorção dos sedimentos, competindo com o fosfato pelos mesmos e favorecendo a solubilidade desse nutriente e a sua dessorção das partículas e, assim, a sua permanência e o enriquecimento da água intersticial (Liss 1976, Boström et al. 1982).

Esse equilíbrio nas concentrações entre a coluna d'água e a coluna sedimentar superficial evidenciou um intenso intercâmbio de fosfato e um processo de tamponamento entre as concentrações desses compartimentos ambientais, de forma semelhante como constatado anteriormente, quando a coluna d'água estava dominada por águas de baixas salinidades. A diferença é que, agora, na presença de água marinha, ambos compartimentos ambientais apresentaram-se relativamente enriquecidos em fosfato (Fig. 4), enquanto que antes, ambos apresentaram-se empobrecidos nesse nutriente.

Para o amônio na coluna d'água, à exemplo do fosfato, também ficou nítida a tendência ao aumento das concentrações com a entrada da água marinha (Fig. 3). Como as concentrações máximas de amônio e de salinidade não foram exatamente coincidentes no tempo, isso sugeriu que nessa época de outono, o aumento do amônio da coluna d'água não se originou somente da coluna sedimentar, quando essa foi perturbada pela penetração da água marinha.

Uma outra causa do aumento de amônio na coluna d'água nessa época pode estar relacionada ao visível declínio da vegetação submersa enraizada, que antes estava abundante e viçosa no verão, gerando matéria orgânica a ser decomposta na interface sedimento/água. A conseqüência disso é a liberação de amônio para a coluna d'água a partir da amonificação do nitrogênio orgânico (processo feito por microorganismos decompositores amoniotélicos) (Esteves 1998).

Considerando que nessa época as elevações das concentrações de amônio na coluna d'água implicaram na formação de gradientes menos abruptos com a coluna sedimentar (Fig. 4) (à exemplo do fosfato nesse período), a forte contribuição em amônio da coluna sedimentar para a coluna d'água pode ter sido facilitada pela ocorrência de ventos intensos vindos do quadrante sul. Esses, além de favorecerem a entrada da água marinha

no Saco do Justino, ressuspenderam os sedimentos superficiais, causando a mistura mecânica da água intersticial das camadas mais superficiais da coluna sedimentar com a coluna d'água, contaminando-a.

Além disso, a água marinha aumentou a condição oxidante na coluna sedimentar até maiores profundidades (cerca de 25 cm) (Fig. 5), ao penetrar bem oxigenada na mesma, e facilitou a difusão para a superfície da água intersticial menos densa e mais contaminada que estava acumulada na coluna sedimentar sub-superficial. Essa água intersticial foi se diluindo gradativamente com a água marinha penetrante, resultando num intenso intercâmbio de águas entre esses compartimentos ambientais.

As concentrações de amônio na água intersticial da coluna sedimentar decresceram intensamente quando a água marinha penetrou na coluna sedimentar (Fig. 4), ao contrário do que foi constatado nessa ocasião para o fosfato das camadas mais superficiais da coluna sedimentar. Esse decréscimo de amônio foi causado pelo processo da diluição da água intersticial usada pela água marinha pouco contaminada. Isso ficou evidenciado pelo significativo coeficiente de correlação inversa entre as concentrações de amônio e a salinidade da água intersticial ( $R=-0,33$ ).

Essa diferença com relação ao efeito da água marinha nas concentrações de fosfato podem ser explicadas em termos de que processos como a dessorção e a redissolução de compostos insolúveis, que causam enriquecimento da água intersticial em fosfato, não ocorreram para o amônio, porque os compostos amoniacais são predominantemente solúveis e o ion amônio não tem facilidade de adsorção em partículas (Esteves 1998).

#### Período posterior à entrada da água marinha

Nos meses imediatamente posteriores à entrada e dominância da água marinha na coluna sedimentar, quando a água doce voltou a dominar o Saco do Justino (julho, agosto e setembro/95, Fig. 3), a água intersticial apresentou menores concentrações de amônio e de fosfato, com gradientes menos abruptos a partir da coluna d'água (Fig. 4) e condições mais oxidantes ao longo da coluna sedimentar (Fig. 5). Isso pode se caracterizar como uma consequência do processo acima discutido de "descontaminação" da coluna sedimentar, causado pela entrada da água marinha bem oxigenada. Esse processo também já foi relatada por Brepohl (2000) para a coluna sedimentar de enseadas contaminadas do estuário da Lagoa dos Patos.

Os resultados do presente estudo mostraram que a manutenção desse abrandamento no gradiente das concentrações ao longo da coluna sedimentar desde a coluna d'água, durante e imediatamente após a entrada da água marinha é instável ao longo do tempo, e depende imensamente da hidrodinâmica que venha a ocorrer no Saco do Justino. Provavelmente, se a água marinha não penetrar novamente na coluna sedimentar em curto espaço de tempo após a última entrada, formar-se-ão novos acúmulos de fosfato e de amônio na coluna sedimentar durante os meses subsequentes, favorecidos pela nova estratificação no Eh das camadas sedimentares ou pela barreira oxidante formada nas camadas mais superficiais.

#### **Comparação do Saco do Justino com uma enseada eutrofizada do estuário**

Para comparar os resultados do Saco do Justino, buscou-se dados obtidos na mesma época no Saco da Mangueira, uma enseada eutrófica do estuário da Lagoa dos Patos e com sedimentos similares, ou seja, predominantemente areno lamosos. Para tanto, no Saco da Mangueira considerou-se os resultados de Baumgarten et al. (2001) obtidos em duas áreas distintas (Tabelas 1, 2 e 3): uma fica na região da entrada da enseada, nas margens da cidade do Rio Grande e apresenta forte eutrofização. A outra área fica nos fundos da enseada, mais distante de fontes de poluição e apresenta fraca eutrofização.

Em termos de salinidade, apesar do Saco do Justino ficar bem mais distante da desembocadura do estuário no Oceano Atlântico, apresentou valores intermediários entre as duas áreas de comparação no Saco da Mangueira (Tabela 3), em função de que a área amostrada no fundo do Saco da Mangueira recebe grande aporte de águas fluviais, sendo basicamente mais oligohalina do que o Saco do Justino.

Em termos de amônio e de fosfato, ficou clara a condição de menor contaminação do Saco do Justino em

relação às duas áreas estudadas do Saco da Mangueira. As concentrações médias e, até os valores máximos registrados no Saco do Justino, principalmente na coluna d'água, foram muito menores que os registrados no Saco da Mangueira, mesmo considerando a sua área de fraca eutrofização.

Isso foi reflexo de que o Saco do Justino não recebe aportes antrópicos de matéria orgânica ou de efluentes domésticos e industriais ricos em nutrientes, como ocorre no Saco da Mangueira, sendo os acréscimos de concentrações do Saco do Justino de origem natural. Portanto, essa enseada não é eutrofizada, pois suas concentrações de amônio e de fosfato foram em torno de duas vezes menores que aquelas da área com fraca eutrofização no Saco da Mangueira.

Provavelmente, como consequência disso e ainda devido ao fato de que no Saco do Justino há relativamente muito baixas biodisponibilidades de fosfato na coluna d'água e na água intersticial da interface (Figuras 3 e 4), é que constatou-se a intensa existência na coluna sedimentar de raízes finas de vegetais que estavam fixados no substrato da enseada. Essas raízes penetravam até cerca de 10 a 15 cm da coluna sedimentar amostrada, praticamente coincidentes com as camadas onde a água intersticial é mais concentrada em fosfato.

Portanto, através destas raízes, estes vegetais poderiam estar buscando o fosfato na água intersticial mais profunda. Segundo Esteves (1998), a capacidade de macrófitas submersas de absorver fosfato das camadas da coluna sedimentar de ambientes aquáticos com potencial redutor ( $E_h$  negativo), onde o fosfato é mais concentrado de que a coluna d'água, faz com que esse nutriente raramente atue como um fator limitante à produção primária destas plantas, ao contrário do que ocorre com o fitoplâncton.

## CONCLUSÕES

O Saco do Justino não é um ambiente eutrófico, pois a sua coluna d'água tem limitada fitodisponibilidade do fosfato na maior parte do ano, o que não ocorre tão intensamente para o amônio.

Essa condição de equilíbrio trófico no Saco do Justino está em conformidade com o recomendado pela legislação ambiental por ocasião do enquadramento das águas da parte sul do estuário da Lagoa dos Patos, quando as águas dessa enseada foram, particularmente, classificadas como Classe A e destinadas à preservação.

Os gradientes de salinidade foram crescentes (positivos) em direção ao fundo da coluna sedimentar quando a enseada foi dominada por águas de muito baixas salinidades e, ao contrário, foram decrescentes na dominância de águas marinhas. A água intersticial de maiores profundidades da coluna sedimentar foram sempre mixohalinas, integrando mais as variações de salinidade da coluna d'água.

As concentrações de amônio e de fosfato formaram gradientes sempre crescentes em direção às maiores profundidades da coluna sedimentar. Na coluna d'água, as concentrações médias de amônio foram em torno de 10 vezes menores que aquelas da água intersticial dos primeiros 10 cm da coluna sedimentar. Entretanto, para o fosfato não chegou a ser 2 vezes menores, pois as concentrações desse nutriente somente foram muito elevadas a partir da profundidade de 10 cm da coluna sedimentar. Portanto, para o fosfato, à exemplo da salinidade, foi evidenciado um intenso equilíbrio iônico entre a coluna d'água e a água intersticial das camadas mais superficiais da coluna sedimentar.

Os gradientes de concentrações dos nutrientes foram mais abruptos quando a hidrodinâmica da enseada estava baixa, geralmente na presença de águas doces ou levemente mixohalinas. Isso gerou o acúmulo (núcleo) de água intersticial mais contaminada nas maiores profundidades, aumentando a difusão molecular em amônio e em fosfato para a coluna d'água. Portanto, a coluna sedimentar dessa enseada funciona como um reservatório de nutrientes, sendo a natural e a principal fonte permanente dos mesmos para a coluna d'água ao longo do ano.

Destacou-se o importante papel da presença e da permanência da água marinha no Saco do Justino, dominando até cerca de 10 a 15 cm da coluna sedimentar. Uma das consequências da penetração da água

marinha na coluna sedimentar foi o rompimento da barreira de Eh, divisória entre as camadas mais superficiais de sedimentos oxidantes (entre 10 a 13 cm de profundidade da coluna sedimentar) e as camadas redutoras das maiores profundidades. Isso fez desaparecerem os núcleos de água intersticial muito contaminada em amônio e em fosfato, que haviam se formado anteriormente à entrada da água marinha. O resultado foi o favorecimento da difusão molecular dos nutrientes para a coluna d'água, gerando uma maior contribuição da coluna sedimentar para a coluna d'água, o que também teve contribuição da própria mistura mecânica entre duas massas de águas de e com opostos níveis de concentrações de nutrientes e de salinidades.

Portanto, a entrada da água marinha na coluna sedimentar funcionou como um desencadeador da contribuição que a mesma pode dar em termos de fosfato para a coluna d'água, o que é diminuído quando há a formação de uma estratificação com uma barreira oxidante nas camadas superficiais da coluna sedimentar, em casos de fraca hidrodinâmica. Assim sendo, a coluna sedimentar somente enriquece a coluna d'água em fosfato quando for toda redutora ou quando há entrada da água marinha, que devido a alta força iônica causa competição entre fosfato e ânions abundantemente presentes e ainda, favorece a solubilidade de muitos sais fosfatados.

A contribuição da coluna sedimentar em nutrientes para a coluna d'água, embora fraca, parece suficiente para suprir a alta biomassa de vegetais aquáticos que recobrem parte do substrato. Por isso, possivelmente esses vegetais não competem com o fitoplâncton do Saco do Justino, especialmente fosfato.

## RECOMENDAÇÕES

As amostragens no Saco do Justino devem ser realizadas, no mínimo duas vezes no ano, com a dominância de águas marinhas ou fortemente mixohalinas e com a dominância de águas doces ou levemente mixohalinas, pois as intensas variações temporais das concentrações de nutrientes da coluna sedimentar e da coluna d'água são muito influenciadas pela penetração da água marinha.

Nessa enseada não devem ser permitidos lançamentos antrópicos de compostos e efluentes contendo contaminantes dissolvidos, que enriquecem diretamente a coluna d'água e nem de contaminantes detríticos, que enriquecem a coluna sedimentar. Isso é justificado também pelo fato de que essa enseada é semi-fechada, o que aumenta o tempo de residência das águas e dos compostos químicos aí presentes.

A preservação desse ambiente em termos de não receber aportes antrópicos, evita a sua eutrofização e a proliferações de florações de vegetais indesejáveis e oportunistas, como as que ocorrem em outras enseadas do estuário. Essas florações resultam em maior poluição visual e orgânica, e podem baixar a biodiversidade. Isso reforça a necessidade da manutenção permanente e de intensos cuidados e controles da quantidade e da qualidade de alimentos utilizados para os animais aí cultivados, para não exceder a capacidade de autodepuração natural da coluna sedimentar.

## AGRADECIMENTOS

À oceanóloga Luciane Veeck e aos técnicos químicos José Vanderlen Veigas Miranda e Lúcia Helena Bohmer pelo valioso apoio e participações nas amostragens e nas análises.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, PC. 1992. Phytoplankton production and the microbial food web of the Patos Lagoon estuary, southern Brazil. Tese de Doutorado, Universidade de Bremen. 100p.
- BAUMGARTEN, MGZ; LFH NIENCHESKI & KN KUROSHIMA. 1995. Qualidade das águas estuarinas que margeiam o município de Rio Grande (RS – Brasil): nutrientes e detergente dissolvidos. Atlântica: 17-34. Editora da FURG. Rio Grande.
- BAUMGARTEN, MGZ, JMB ROCHA & LFH NIENCHESKI. 1996. Manual de análises em Oceanografia Química. Editora da FURG. Rio Grande. 143p.
- BAUMGARTEN, MGZ; LFH NIENCHESKI & L VEECK. 2001. Nutrientes na coluna d'água e na água intersticial de sedimentos de uma enseada rasa estuarina com aportes de origem antrópica. Atlântica, 23: 101-116. Editora da FURG. Rio Grande.
- BAUZER, W. 1984. Organic matter degradation and biogenic element cycling in a nearshore sediment (Kiel Bight). Limnol. Oceanogr., 29 (6): 1231-1246.



- BOSTRÖM, B, M JANSSON, & C FORSBERG. 1982. Phosphorus release from lake sediment. *Limnol. Oceanogr.*, 26:585-590.
- BREPHOL, D. 2001. Fósforo: intercâmbio entre a água e o sedimento de uma enseada rasa estuarina com aporte antrópico no estuário da Lagoa dos Patos (RS-Brasil). Tese de Mestrado. Curso de Oceanografia Física, Química e Geológica. FURG. 119p.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). 1986. Decreto nº 88.351 de 1º de junho/1983. Art.20. Resolução 20 de 18 de junho de 1986. DOU de 30 de julho.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). 2005. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. DOU nº 53 de 30 de julho. Revoga da Resolução CONAMA nº20 de 1986.
- DAY Jr., JW, CAS HALL, WM KEMP & A YANEZ-ARANCIBIA. 1987. Estuarine chemistry. In: *Estuarine Ecology*. Cap. 3. Ed. Wiley. New York: 79-143.
- ESTEVES, FA. 1998. Fundamentos de Limnologia. 2ª ed. Ed. Interciências Ltda. Rio de Janeiro. 602p.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (FEPAM). 1995. Portaria SSMA nº7. Norma Técnica 003/95. Enquadramento dos recursos aquáticos da parte sul do estuário da Lagoa dos Patos. DOU, 24 de maio de 1995.
- GÄCHTER, R & JS MEYER. 1993. The role of microorganisms in mobilization fixation of phosphorus in sediments. *Hydrobiologia*, 253:103-121.
- KENNISH, J. 1994. *Practical handbook of marine science*. London: CRC Press. 576p.
- LISS, PS. 1976. Conservative and non conservative behaviour of dissolved constituents during estuarine mixing. In: Burton, JD & PS Liss. *Estuarine chemistry*, cap. 4. Academic Press, London: 93-127.
- MOLLER Jr., OO; PSG PAIM & ID SOARES. 1991. Factors et mecanismes de la circulation des eaux dans le estuaire de la Lagune dos Patos (RS, Bresil). *Bull. Insr. Géol. Bassin d'Aquitaine. Bordeaux*, nº 49:15-21.
- NIENCHESKI, LF & MGZ BAUMGARTEN. 1983. Avaliação dos nutrientes do Saco do Justino. Resumo. VIII Simpósio Latinoamericano sobre Oceanografia Biológica. Montevideo. Uruguai. Página 106.
- SEELIGER, U; CSB COSTA & PC ABREU. 1998. Fluxo de energia e habitats no estuário da Lagoa dos patos. In: *Os ecossistemas costeiros e marinhos do extremo sul do Brasil*. Capítulo 5 (5.1). Eds.: U. Seeliger, C. Odebrecht & JP Castello. Editora Ecoscientia. Rio Grande. 341p.
- STAT SOFT, INC. 1996. *Statistics for Windows (Computer Program Manual)*. Tulsa, Ok. 74104: Stat Soft, Inc., 2300. East 14<sup>th</sup> Street.
- SURFER VERSION 6.01. 1995. Surface mapping system. Golden software, Inc, 809. 14 th Street. golden, Colorado, 80401 – 1866.
- ZARZUR, S. 2001. Fluxos e regeneração bêmica de nutrientes nas áreas rasas do estuário da Lagoa dos Patos. Tese de Mestrado. Curso de Oceanografia Física, Química e Geológica. FURG. 125p.

Data de recebimento: 31/05/05

Data de aceite: 24/01/06

