

DETERMINAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SEDIMENTOS DE FUNDO DOS ESTUÁRIOS DE SANTOS/SÃO VICENTE E BAÍA DE SANTOS - SP/BRASIL

Gilmar W. Siqueira^{1,2}; Fábio M. Aprile³; Michel M. de Mahiques¹ & Elisabete S. Braga¹

1-Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, Praça do Oceanográfico 191, São Paulo, 05508-900, Butantã, Brasil.

2-Centro de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal do Pará. Av. Augusto Corrêa nº 1, Campus Universitário do Guamá, Belém, 66075-100, Brasil.

E-mail:gilmar@ufpa.br

3-Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia. INPA-Av. André Araújo 2936, Manaus-AM, 69060-001, Brasil.

Resumo

As regiões de Santos/São Vicente e baía de Santos/SP foram objetos desse estudo. O objetivo do trabalho foi avaliar a distribuição espacial de matéria orgânica (MO) através dos dados obtidos de carbono orgânico e nitrogênio total (C-org e N-total). As áreas mais oxigenadas acham-se relacionadas às zonas de maior movimentação de sedimentos (baía de Santos), com menores valores de MO. Observou-se níveis maiores de MO em ambiente de baixa energia, o já que era esperado, visto que são locais típicos de sedimentação (Santos e São Vicente). Conclui-se que os sedimentos recebem contribuições de MO tanto de origem antrópica como natural.

Palavras-chave: matéria orgânica, carbono orgânico, nitrogênio total e sedimentos de fundo.

Introdução

O estudo da matéria orgânica presente nos sedimentos de fundo vem obtendo destaque em muitos trabalhos sedimentológicos [12] e conseqüentemente em oceanografia. Este material orgânico pode ter origem alóctone ou autóctone, ou mesmo uma combinação de ambas. Sua distribuição é afetada por muitas variáveis, como: profundidade da coluna de água, hidrodinâmica local, diâmetros das partículas e outros [16]. As características da matéria orgânica depositada em sedimentos de áreas marinhas e costeiras, têm sido largamente utilizadas na correlação de diversos processos, como a produtividade de águas superficiais, aporte de materiais de origem continental para o

oceano, dinâmica de massas de água, potencial

de oxidação-redução, índices de sedimentação e distribuição sedimentar [14]. O conhecimento dos teores de matéria orgânica permite uma avaliação das áreas de circulação mais efetiva, e tendências do meio quanto ao potencial redox, fornecendo parâmetros fundamentais para o estudo de ecossistemas bentônicos [2].

O carbono e o nitrogênio são os principais constituintes da matéria orgânica depositada no compartimento de fundo. A análise destes componentes é uma das formas mais eficazes de assinaturas oceanográficas ao longo de um ambiente sedimentar.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar a distribuição espacial de matéria orgânica através dos dados obtidos de carbono orgânico e nitrogênio total para o ambiente sedimentar dos estuários de Santos/São Vicente e baía de Santos.

Área de Estudo

A Baixada Santista é a área central do litoral paulista compreendida entre Bertioga, a noroeste, Mongaguá a sudeste, Santos no litoral, e estendendo-se até a escarpa da Serra do Mar, para o interior [3]. Essa região ocupa uma área de 51.5000 ha, onde 5.000 corresponde às águas (rios, braços de mar), 6.700 às montanhas (morros isolados), 10.800 de mangue e 29.000 de áreas remanescentes, inclusive áreas urbanizadas [3]. A maior parte dos depósitos sedimentares da Baixada Santista estão diretamente relacionados com episódios transgressivos que geram dois tipos diferentes de

sedimentos, os Pleistocênicos e Holocênicos [13].

Os estuários de Santos e São Vicente e a baía de Santos, na Baixada Santista, compreendem um complexo de terrenos sedimentares de idade Cenozóica, limitados no lado continental por rochas de idade Pré-Cambriana pertencentes ao cinturão de dobramentos de SE brasileiro [11].

A baía de Santos divide-se em duas áreas de sedimentação distintas: uma é consequência de um fluxo unidirecional resultante, que provém do estuário santista, saindo pelo canal do Porto. A outra é do domínio de marés, oriundas da plataforma continental adjacente [10].

Metodologia

As coletas de sedimentos foram realizadas preferivelmente em Julho/Agosto de 2000, sendo que algumas amostras foram coletadas em Março do ano seguinte. Foram escolhidos 27 pontos ao longo de todo o ecossistema (Fig 2).

Os pontos foram georeferenciados com auxílio de um GPS portátil de marca Garmin. As amostras sedimentológicas foram obtidas com auxílio de pegador “Van Veen”, e acondicionadas em sacos plásticos estéreis com auxílio de uma espátula de polietileno para evitar contaminações. Apenas a porção central do material foi coletado, em seguida, as amostras foram devidamente identificadas e acondicionadas em caixas de isopor com gelo a $\pm 4^{\circ}\text{C}$, até serem congeladas em câmara fria a -20°C , já no laboratório.

Posteriormente os sedimentos coletados foram submetidos a descongelamento, secagem em estufa a 60°C , desagregação, pulverização, homogeneização, quarteamento e digestão ácida. Essas etapas foram realizadas no Laboratório de Nutrientes, Macronutrientes e Traços no Mar do IO-USP para posterior análise, segundo recomendações da equipe técnica do Laboratório de Oceanografia Geológica do IO-USP.

As determinações químicas de C-org e N-total foram realizadas nas frações secas e menores que 0,062 mm (230 mesh), através

analisador de marca LECO, modelo CNS-2000, pertencente ao Laboratório de Oceanografia Geológica.

O teor de MO foi obtido pela multiplicação dos teores de C-org pelo fator de 1,72.

Resultados e Discussão

As concentrações de MO presentes oscilaram entre 0,16 a 9,94 %, com uma média de $3,87 \pm 2,63$ %, para todo o sistema estudado. Para os estuários de Santos e São Vicente, foram obtidas médias de 5,16 e 4,82 %, respectivamente. Já na baía de Santos, a média ficou próxima de 1,16 %. Com relação a esses teores de MO, os estuários de Santos e São Vicente apresentaram um comportamento bastante similar, enquanto que a baía de Santos teve um comportamento mais heterogêneo, apresentado valores mais diferenciados, onde os mesmos podem ser observados na Tabela I.

As áreas mais oxigenadas acham-se relacionadas às zonas de maior movimentação de sedimentos, em especial a baía de Santos, que consequentemente apresentou menores teores de MO. Na área de influência do emissário submarino de Santos, a MO apresentou algum incremento, que entretanto, são considerados ainda valores baixos.

Observou-se níveis significativos de MO em ambientes de baixa energia, com predominância de sedimentos finos, o que é normal, uma vez que esses são locais típicos de sedimentação (estuários de Santos e São Vicente). De certa forma, a baixa velocidade das correntes que ocorrem geralmente em regiões mais abrigadas, ocasionam o acúmulo de uma grande quantidade de matéria orgânica e de partículas finas no ambiente sedimentar próximo.

A carga orgânica e inorgânica que aporta para os estuários de Santos e São Vicente e baía de Santos, já foi discutida em outros trabalhos. De acordo com [5], [17] e [18] as águas da baía de Santos encontram-se bastante contaminadas pelos diversos efluentes industriais, rejeitos portuários e despejos de origem doméstica que são lançados na região

estuarina, e que provavelmente chegam até ela pelos canais laterais dos estuários de Santos e São Vicente. Segundo a [8], as cargas poluidoras orgânicas de origem industrial excedem as cargas orgânicas de origem doméstica no sistema estuarino de Santos. Em trabalho de [1] esses autores aplicaram o modelo de LOICZ (Land-Ocean Interaction in the Coastal Zone) e concluiriam que o sistema de Santos está em estado não conservativo para o fluxo carbono orgânico dissolvido (COD). Recentemente, para [15] concluiu que para os setores estudados (Santos/São Vicente e baía de Santos), de um modo geral, as fontes naturais de matéria orgânica são oriundas do continente através do fluxo fluvial do sistema de drenagem da Baixada Santista, manguezais e a princípio da produção primária do fitoplâncton. Já as fontes artificiais são provenientes dos esgotos domésticos dos conglomerados urbanos existentes na região, lixões a céu aberto, atividades portuárias/industriais e o emissário submarino de Santos [15].

Um fator que pode ter influenciando nos resultados é a localização, estações localizadas em regiões mais abrigadas, provavelmente com baixa movimentação sobre o fundo, facilita assim a acumulação de matéria orgânica dissolvida (MOD). O trabalho realizado por [9], no sistema de manguezal de Cubatão, determinou teores MO abaixo de 3 % e acima de 9 %, que assemelham-se com os percentuais determinados nesse trabalho.

As concentrações de carbono orgânico (C-org) presentes nas amostras variaram de 0,09%, a isóbata de 13 m para 5,78 % a isóbata de 3,5 m, com média de $2,25 \pm 1,53\%$ para todo o sistema estudado. Os teores mais elevados de C-org predominaram nos estuários de Santos e São Vicente com médias de 3,00 e 2,80 %, respectivamente. Já na região da baía de Santos, a média obtida foi bem menor, cerca de 0,68 % (ver Tabela I). A princípio, a distribuição de C-org quanto comparada com a distribuição dos diversos tipos de sedimentos determinados, deixa ver que as maiores concentrações se dão justamente nas regiões lamosas (Santos e São Vicente), e que os menores teores (abaixo de 1%) aparecem principalmente no setor arenoso

da baía de Santos. As concentrações médias dos setores estudados ficaram acima do valor de referência médio normalmente encontrado em ambientes não impactados de 0,3 % de C-org, segundo [8].

As concentrações de nitrogênio total (N-total) em termos percentuais foram muito baixas. Os níveis ficaram entre os valores de 0 e 0,43 %, sendo que, as maiores concentrações foram encontradas em sedimentos superficiais localizados a 3 m de profundidade. A média para todo o sistema encontrado foi de $0,17 \pm 0,11\%$. Em termos regionais, os maiores percentuais foram encontrados nos estuários de Santos e São Vicente, com médias de 0,23 e 0,20 % respectivamente. Na baía de Santos os valores percentuais médios ficaram próximos de 0,08 % (ver Tabela I). As concentrações médias mais elevadas de N-total situaram-se nos estuários de Santos e São Vicente, mostrando uma pequena carga orgânica poluidora para essas áreas. Entretanto, esses valores ficaram abaixo do valor médio normalmente encontrado em ambientes não impactados de 0,29 % de N-total, segundo [8].

Geralmente o nitrogênio total, contido na matéria orgânica, varia conforme o tipo de organismo. De acordo com [4] os organismos autótrofos necessitam de nitrogênio na forma inorgânica: íons amônia por um lado, nitrito e nitrato ou ainda nitrogênio molecular de outro lado, em alguns casos nitrogênio orgânico. Para a autora, em sistemas costeiros e estuarinos, as variações de concentrações ou mesmo a sobrecarga de nitrogênio constituem um importante fator para evolução dos ecossistemas.

Ocorreu uma correlação entre os valores de C-org e N-total (R positivo e igual a 0,9010 e um R^2 igual a 0,8118/Fig 2), podendo ser um indicativo de que as fontes destes constituintes químicos para os sedimentos amostrados, estão presentes constantemente no sistema, pelas várias formas elementares resultantes dos ciclos biogeoquímicos. Provavelmente, ocorre um intercâmbio entre as fontes da matéria orgânica de origem terrestre e marinha, antes de sua deposição final ocasionado por parâmetros hidrodinâmicos.

Conclusões

Em linhas gerais, os teores de MO no sistema estudado, ficaram de acordo com as indicações fornecidas pelos elementos analíticos determinados neste trabalho. As áreas mais oxigenadas acham-se relacionadas às zonas de maior movimentação de sedimentos, em especial a baía de Santos, apresentando conseqüentemente, menores valores de matéria orgânica. Na saída do emissário submarino de Santos, foram determinados alguns teores de MO, essa situação é explicada pelo aporte de detritos de origem orgânica, carregados por esse emissário que desemboca na baía. Observou-se, níveis maiores de MO em ambiente de baixa energia, com predominância de sedimentos finos, o que já era esperado, uma vez que esses locais são típicos de sedimentação, como é o caso dos setores de Santos e São Vicente.

O comportamento em termos de concentrações de C-org e N-total, não foram muitos diferentes entre as estações. Possivelmente as concentrações mais elevadas encontradas neste trabalho desses constituintes tenham origem tanto natural como antrópica.

A partir dos resultados gerados neste trabalho, foi possível concluir que a contínua poluição gerada no ecossistema local, que afluiu para essas regiões nos últimos anos, oriunda de despejos de origem doméstica e industrial, contribuiu para o aumento das concentrações de compostos orgânicos, e conseqüentemente, para a eutrofização do sistema com um todo.

Agradecimentos

A FAPESP, pelo financiamento do projeto “Estudo da Dinâmica do Sistema Estuarino de Santos: Aspectos Biogeoquímicos e Influências de Efluentes Domésticos e Industriais no Sistema” nº 2000/00909-9; CAPES/PROPESP/PICDT/UFPA, pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor, e aos técnicos do Laboratório de Oceanografia Geológica e LABNUT-IO/USP pela contribuição nas análises e coleta do material.

Referências Bibliográficas

- [1] Aprile, F. M.; G. W. Siqueira & E. S. Braga, E. S. Mass balance of carbon dissolved and heavy metals in Santos estuarine system - Brazil. Anais do IX Congresso Latino Americano sobre Ciencia del Mar. Colômbia, (Cd-Ron), 2001.
- [2] Barcellos, R. L. Processo sedimentar atual e a distribuição da matéria orgânica sedimentar (C, N e S) do Canal de São Sebastião (SP) e plataforma continental adjacente. Dissertação de Mestrado. IO, USP, SP, 187p, 2000.
- [3] Boldrini, C. V. Mercúrio na Baixada Santista. *In: Seminário Nacional “Riscos e Conseqüência do Uso do Mercúrio”* Racon, S.; Lacerda, L. D.; Pfeiffer, W. C. & Carvalho, D. RJ, p:161-195, 1990.
- [4] Braga, E. S. Bioquímica marinha e efeitos da poluição nos processos bioquímicos. IO, USP, SP, 90p, 2000.
- [5] Braga, E. S.; C. V. D. H. Bonetti.; L. Burone & J. Bonetti Filho. Eutrophication and Bacterial Pollution Caused by Industrial and Domestic Wastes at the Baixada Santista Estuarine System—Brazil. *Mar. Pollution Bull.*, 40(2):165-173, 2000.
- [6] Carreiras, R. da. Investigação sobre o acréscimo da estocagem de carbono em ambientes fertilizados pela ação antropogênica: A baía de Guanabara como modelo. Tese de Doutorado. PUC, RJ, 201p, 2000.
- [7] CETESB. Monitoramento integrado—bacias do alto médio Tiête. Avaliação da qualidade da água, sedimentos e peixes, 312p, 1998.
- [8] CETESB. Sistema estuarino de Santos e São Vicente, 177p, 2001.
- [9] Ferrer, L. M. Fixação e mobilidade de espécies de mercúrio no sistema sedimentológico/água do mangue no município de Cubatão, SP. Dissertação em Mestrado. IG, USP, SP, 122p, 2001.
- [10] Fúlfaro, V. J & W. L. Ponçano. Sedimentação atual do estuário e baía de Santos: Um modelo geológico aplicado a projetos de expansão da zona portuária. Anais do Congresso da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia/RJ, p:67-90, 1976.
- [11] Fúlfaro, V. J.; C. S. Requejo.; F. M. B. Landim & R. Fúlfaro. 1983. Distribuição de elementos metálicos nos sedimentos da Baía

de Santos, SP. Atas do 4^o Simpósio Regional de Geologia, SBG/SP, p:275-289.

- [12] Maglioca, A & A. S. Kutner. Conteúdo orgânico dos sedimentos de fundo de Cananéia/SP. Contribuições avulsas. IO, USP, SP. Série Oceano. Física v.7,15p, 1964.
- [13] Massad, F. Baixada Santista: Implicações da história geológica no projeto de fundações. São Paulo. Solos e Rochas: Rev. Latino Americana de Geotecnia, (22):3-49, 1999.
- [14] Meyers, P. A. Organic geochemical proxies of paleoceanography, paleolimnologic and paleoclimatic processes. Organic Geochemistry, 27:213-250, 1997.
- [15] Siqueira, G. W. Estudo dos teores de metais pesados e elementos de interesse em sedimentos superficiais da Baixada Santista (São Paulo) e Plataforma Continental do Amazonas (Norte do Brasil). Tese de Doutorado. IO, USP, SP, 308p, (2003-em preparação).
- [16] Sommaruga, R & D. Conde. Distribución de materia orgânica em los sedimentos recientes de la Laguna de Rocha (Rocha, Uruguay). Rev. Atlântica, Rio Grande, 12(1):35-44, 1990.
- [17] Tommasi, L. R. Considerações ecológicas sobre o sistema estuarino de Santos, Estado de São Paulo, Tese de Livre - Docência. IO, USP, 2 vols.489p, 1979.
- [18] Tommasi, L. R. Poluição marinha no Brasil: Síntese do conhecimento. Publi. Espe. Do Insti. Oceanogr. S. Paulo, 5:1-30, 1987.

estações de amostragem de sedimentos.

Tabela I: Resultados das análises de matéria orgânica, carbono orgânico e nitrogênio total para o sistema estudado.

Estações	Prof. (m)	MO (%)	C-org (%)	N-total (%)
1	15	4,81	2,80	0,25
2	13	3,85	2,24	0,21
3	10	4,92	2,86	0,27
4	11	5,49	3,19	0,25
5	19	5,74	3,34	0,27
6	3	5,21	3,03	0,22
7	9,5	4,38	2,55	0,21
8	7	5,11	2,97	0,20
9	9	5,92	3,44	0,24
10	6	4,01	2,33	0,16
11	5,5	7,28	4,24	0,25
13	3	7,52	4,37	0,43
14	3,5	9,94	5,78	0,28
15	5,5	7,37	4,28	0,24
16	6	5,34	3,10	0,22
17	7,5	3,92	2,28	0,21
18	5	0,27	0,16	0,00
19	14	1,17	0,68	0,03
20	3	3,00	1,74	0,16
22	7,5	0,23	0,13	0,03
23	13	0,16	0,09	0,02
25	4,5	1,12	0,65	0,05
26	10	1,46	0,85	0,09
27	11	1,45	0,85	0,10
29	5	0,55	0,32	0,03
30	12	3,52	2,05	0,24
31	13	0,81	0,47	0,04
Média	-	3,87	2,25	0,17
D. Padrão	-	2,63	1,53	0,11
M. de Santos	-	5,16	3,00	0,23
M. de São Vicente	-	4,82	2,80	0,20
M. da Baía de Santos	-	1,16	0,68	0,08

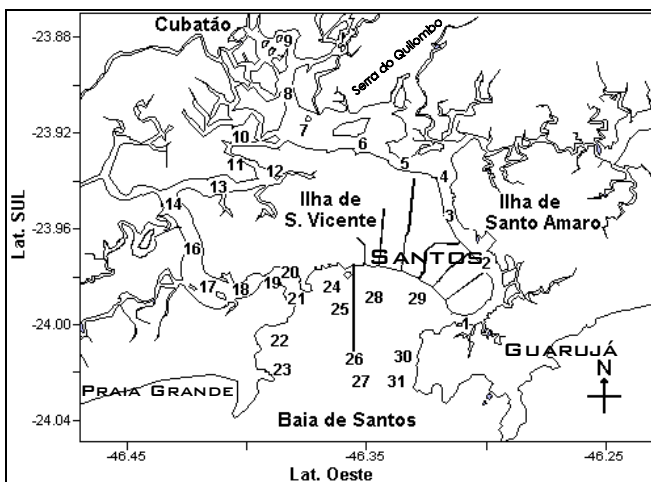


Figura 1: Mapa mostrando a região de estudo com as

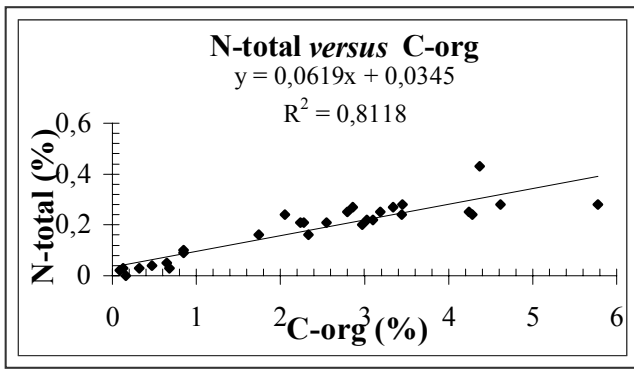


Figura 2: Gráfico de correlação linear entre C-org versus N-total.