

II.5.1.3 - Qualidade de Água e Sedimentos

II.5.1.3.1 – Considerações Iniciais

Este item aborda a qualidade da água e do sedimento no trecho marítimo da Bacia de Santos, onde está localizado o Bloco de Libra, em conformidade com o Termo de Referência N° 037/14, emitido pelo CGPEG/DILIC/IBAMA. O Bloco de Libra está localizado a cerca de 165 km do litoral do estado do Rio de Janeiro, em lâmina d'água variando entre cerca de 1.700 m e 2.300 m, com uma área de 1.547,76 km² (vide **Figura II.2.1.3-1** no **item II.2 – Caracterização da Atividade**).

A caracterização da qualidade da água e do sedimento baseou-se em estudos pretéritos realizados na Bacia de Santos. Os estudos abaixo foram majoritariamente produzidos para a indústria do petróleo, uma vez que pesquisas de fundo acadêmico em águas profundas/ultra-profundas nesta Bacia são raras. Os estudos são listados a seguir.

- MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002): O trabalho corresponde a uma caracterização ambiental de áreas de exploração e produção localizadas na Bacia de Santos. O estudo utilizou uma malha amostral composta por 19 transectos perpendiculares à batimetria local, distantes 20 milhas náuticas entre si (cerca de 36 km), compostos por estações a cada 10 milhas náuticas (cerca de 18 km). Além disso, foram selecionados seis poços específicos, dois no Bloco BS-500 (porção norte da Bacia de Santos) e quatro junto aos campos de Merluza, Estrela do Mar, Caravela e Caravela do Sul, que tiveram estações posicionadas a 1 km da coordenada de cada referido poço, escolhidas de acordo com o sentido preferencial da corrente superficial. No total foram 227 estações de amostragem de água (maioria em três profundidades – 10 m, termoclina e 200 m) e sedimento. Foram utilizadas garrafas *Niskin* de 10 L para amostragem de água e amostrador tipo *Box-Corer* para o sedimento. O volume de água subamostrado, a frascaria utilizada e o acondicionamento não foram citados no relatório, enquanto que para sedimento foram

retirados 200g (cada) para análises de hidrocarbonetos (marmitas de alumínio) e granulométricas (sacos plásticos); 100g (cada) para metais e COT (frascos plásticos) armazenadas a 4°C;

- PETROBRAS/HABTEC (2003): O estudo compreendeu uma campanha de caracterização ambiental dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21, localizados na porção central da Bacia de Santos, em áreas de águas ultra-profundas (acima de 2.000 m de profundidade). Nesta campanha, a coluna d'água foi amostrada em 20 estações, com sete profundidades em cada estação: superfície, acima da termoclina, termoclina, abaixo da termoclina, 200 m, núcleo da massa d'água Água Intermediária do Atlântico (AIA) e fundo. As amostras de sedimento superficial foram coletadas em 30 estações que se distribuíram ao longo de 5 isóbatas (2.100, 2.150, 2.200, 2.225 e 2.425 m). A água foi amostrada com garrafas Niskin 10 L e *Go-Flo* de 10 e 2,5 L, enquanto que o sedimento foi amostrado com *Box-Corer*. Foram preenchidos frascos para cada análise – 2L nutrientes (frasco plástico); 2L COT e fenóis (frascos de vidro); 1,5L clorofila a, com filtração *in situ* (frasco plástico); 1L HPA (frasco de vidro); 0,5L HTP (frasco de vidro); e 300mL OD (becher plástico). As amostras foram mantidas em freezer (nutrientes e clorofila) ou refrigeradas (demais análises) para posterior análise laboratorial, com exceção do pH que foi medido *in situ* e do OD que foi titulado imediatamente após a coleta. Quanto ao sedimento, 250g foram retirados para análises de HPA, HTP e COT (frasco de vidro) e 500g foram retiradas para análises de metais, nitrogênio, fósforo e granulometria (cada, saco plástico). Todas as amostras foram mantidas refrigeradas até a análise. O trabalho de ABÍLIO *et al.* (2006) utilizou os dados de granulometria e metais no sedimento da campanha dessa caracterização para a discussão das concentrações de metais na Bacia de Santos;

- SHELL/AS (2001), SHELL/AS (2001a) e SHELL/AS (2002): corresponde a campanhas de monitoramento realizadas no Bloco BS-4 respectivamente no entorno dos poços exploratórios 1SHEL-4-RJS, 1SHEL-5-RJS, e 3SHEL-8-RJS. Nos três estudos foram amostradas de 7 a 9 estações, com coletas de água a 10 e 100 m de profundidade em campanhas pré e pós-perfuração (1ª e 2ª campanha). Em SHELL/AS (2002) também foram apresentados dados de sedimento. As amostragens de água foram feitas com uso de garrafa Niskin de 10L e para sedimento foi utilizada uma caixa adaptada a um dos braços de um Veículo de Operação Remota (ROV). Os estudos subamostraram 1L para análise de nutrientes, com amostras mantidas congeladas até análise (frascos plásticos), 1L para hidrocarbonetos (amostras refrigeradas, frascos de vidro), 2L para filtragem imediata sob sombra para clorofila (amostras congeladas, frascos plásticos), 250mL para medição *in situ* de pH (copo plástico descartável) e 300mL foram fixadas imediatamente após a coleta para OD em frasco de vidro (volume amostrado não informado em SHELL/AS, 2001). A subamostragem de sedimento de SHELL/AS (2002) é descrita com a retirada de parte do volume retido pelo ROV para análise de granulometria, metais e hidrocarbonetos, sem menção do volume amostrado, frascaria utilizada ou forma de armazenamento. Destaca-se que estes estudos são pontuais e abrangem área reduzida da Bacia de Santos, mas são utilizados para enriquecer a caracterização do presente trabalho uma vez que SHELL/AS (2001) e SHELL/AS (2002) estão em área adjacente ao Bloco de Libra e com lâmina d'água semelhante; e os pontos amostrados em SHELL/AS (2001a) se inserem na área do Bloco de Libra.
- Rossi-Wongtschowski & Madureira (2006): o trabalho disponibiliza uma avaliação dos parâmetros oxigênio dissolvido, pH, nitrito, nitrato, fosfato e clorofila-a na água do mar para a região Sudeste-Sul do Brasil. Corresponde a uma análise de informações sazonais de levantamentos pretéritos com base nos dados compilados para o

trabalho de Niencheski *et al.* (1999), a partir do banco de dados da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) no âmbito do REVIZEE/Score Sul. Foram analisadas também informações de outros trabalhos disponíveis entre 1999 e 2002, dentre dissertações, teses e artigos (sem menção de métodos de amostragem, preparo e análises). As informações são referentes aos primeiros 200 m de coluna d'água, pois há escassez ou inexistência de dados em águas mais profundas. Apesar de o trabalho abranger área maior que a Bacia de Santos, o mesmo foi considerado pela avaliação sazonal dos parâmetros de interesse.

O **Quadro II.5.1.3.1-1** apresenta os parâmetros analisados e os respectivos métodos analíticos empregados nos trabalhos supracitados para a matriz água, e o **Quadro II.5.1.3.1-2** apresenta as mesmas informações para a matriz sedimento. Destaca-se que a estatística básica (valores mínimo, máximo, média, desvio padrão) dos parâmetros exposta neste Estudo corresponde ao apresentado nos referidos trabalhos. A comparação dos resultados nos diferentes estudos e também com os valores de águas salinas classe 1 da Resolução CONAMA 357/05, quando pertinente, funcionam como método para averiguar a confiabilidade dos resultados.

Quadro II.5.1.3.1-1 - Parâmetros analisados na água e respectivos métodos analíticos empregados nos estudos pretéritos utilizados para caracterização da Área de Estudo dos TLD e SPAs do Bloco de Libra, Bacia de Santos.

Qualidade da Água		
Parâmetro	Referência Bibliográfica	Método Analítico
Oxigênio Dissolvido	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Titulação por Winkler
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Oxímetro
	SHELL/AS (2002)	Oxímetro
	SHELL/AS(2001)/SHELL/AS (2001a)	Titulação por Winkler
pH	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Potenciômetro
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	pH-metro digital modelo HI9622
	SHELL/AS(2001); SHELL/AS (2001a); SHELL/AS (2002)	Potenciômetro
Clorofila-a	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Método tricromático
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Espectrometria
	SHELL/AS(2001); SHELL/AS (2001a); SHELL/AS (2002)	Espectrofotômetro e fluorímetro
Amônia	PETROBRAS/HABTEC (2003)	-
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Derivado do Método Koroleff (1969)
	SHELL/AS(2001); SHELL/AS (2001a); SHELL/AS (2002)	Azul de indofenol (Parsons <i>et al.</i> , 1984)
Nitrito	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Baseado na reação de Griess e aplicado em águas salgadas por Bendschneider & Robinson (1952)
	SHELL/AS(2001); SHELL/AS (2001a); SHELL/AS (2002)	Diazotação (Grasshoff <i>et al.</i> , 1983)
	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Colorimetria (Grasshoff <i>et al.</i> , 1983)
Nitrato	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Método de redução com coluna de Cd e Cu segundo Aminot & Chaussepied (1983)
	SHELL/AS(2001); SHELL/AS (2001a); SHELL/AS (2002)	Método de redução com coluna de Cd e Cu seguido de diazotação (Grasshoff <i>et al.</i> , 1983)
	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Método de redução com coluna de Cd (Grasshoff <i>et al.</i> , 1983)
Fosfato	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Aminot & Chaussepied (1983)
	SHELL/AS(2001); SHELL/AS (2001a); SHELL/AS (2002)	Fosfomolibídico (Grasshoff <i>et al.</i> , 1983)
	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Colorimetria (Grasshoff <i>et al.</i> , 1983)
Sulfetos	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Colorimetria

Continua

Continuação do Quadro II.5.1.3.1-1

Qualidade da Água		
Parâmetro	Referência Bibliográfica	Método Analítico
Carbono Orgânico Total (COT)	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Titulometria
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Combustão catalítica à alta temperatura seguida de quantificação do CO ₂ em um detector de infravermelho não disperso
Fenóis	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	*EPA 8270C
	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Standard Methods 5530
Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)	PETROBRAS/HABTEC (2003)	*EPA 8270
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	*EPA 8270
	SHELL/AS(2001); SHELL/AS (2001a); SHELL/AS (2002)	*EPA 8270
Hidrocarbonetos Totais (HTP)	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Cromatografia Gasosa
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Cromatografia Gasosa
	SHELL/AS(2001); SHELL/AS (2001a); SHELL/AS (2002)	Cromatografia Gasosa

*Referente a métodos da *US Environmental Protection Agency*.

Quadro II.5.1.3.1-2 - Parâmetros analisados no sedimentos e respectivos métodos analíticos empregados nos estudos pretéritos utilizados para caracterização da Área de Estudo dos TLD e SPAs do Bloco de Libra na Bacia de Santos.

Qualidade do Sedimento		
Parâmetro	Referência Bibliográfica	Método Analítico
Granulometria	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Peneiramento e pipetagem
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Peneiramento e pipetagem
	SHELL/AS(2002)	Peneiramento e pipetagem
Teor de Carbonato	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Acidificação com HCl
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Acidificação com HCl
Teor de Matéria Orgânica	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Queima com H ₂ O ₂
Metais	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Espectrofotometria de emissão de plasma
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Espectrofotometria de emissão de plasma e Espectrofotometria de Absorção Atômica
	SHELL/AS(2002)	Espectrofotometria de massas acoplada a plasma
Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC/MS)
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	*EPA 8270C
	SHELL/AS(2002)	Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas
Hidrocarbonetos Totais (HTP)	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Cromatografia gasosa com detector de chama CGFID (*EPA 8015C)
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Cromatografia gasosa com detector de chama CGFID (*EPA 8015C)
	SHELL/AS(2002)	Cromatografia gasosa (CG) tipo Whole Oil
Razão C:N:P	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Carbono orgânico total: Digestão com dicromato de potássio Nitrogênio total: Método de Kjeldal Fósforo total: Digestão com ácido sulfúrio

*Referente a métodos da *US Environmental Protection Agency*

O **Mapa II.5.1.3-1** apresenta a localização geográfica das estações de amostragem utilizadas como referência na caracterização da qualidade da água e do sedimento do presente diagnóstico.

O **Anexo II.5.1.3-A** apresenta quadros sintetizando os valores de cada parâmetro analisado, de acordo com a profundidade estudada, em comparação com os valores de referência, quando existentes, incluindo o georreferenciamento das estações de coleta das amostras de água e sedimento.

II.5.1.3.2 - Qualidade da Água

As águas oceânicas apresentam características regidas naturalmente por influência das massas d'água, correntes e interação com a atmosfera, apresentando uma menor variação quando comparadas a ambientes costeiros. Com o objetivo de atender ao Termo de Referência nº 037/14, emitido pelo CGPEG/DILIC/IBAMA, e diagnosticar a qualidade da água marinha para as massas d'água identificadas na área de estudo (Água Tropical, Água de Mistura, Água Central do Atlântico Sul, Água Intermediária Antártica e Água Profunda do Atlântico Norte; vide **item II.5.1.1 - Meteorologia e Oceanografia**), neste item são discutidos os parâmetros listados a seguir. Destaca-se que ao longo da discussão, quando pertinente, as concentrações dos parâmetros foram comparadas com as esperadas para as massas d'águas características da região.

- Oxigênio Dissolvido (OD);
- Potencial Hidrogeniônico (pH);
- Nutrientes (amônia, nitrito, nitrato e fosfato);
- Clorofila-a;
- Sulfetos;
- Carbono Orgânico Total;
- Fenóis;
- Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPAs);
- Hidrocarbonetos Totais (HTP);

A - Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) constitui um importante indicador ambiental de qualidade de água por caracterizar impactos ambientais como eutrofização e poluição orgânica (LALLI & PARSONS, 1997). Destaca-se, sobretudo, que concentrações mínimas de oxigênio na água são determinantes para existência das espécies aquáticas. Além disto, muitas vezes a morte de organismos não ocorre diretamente pela toxicidade de poluentes presentes no meio, mas pela

deficiência de oxigênio causada devido ao consumo do OD na biodegradação desses compostos (MANAHAM, 2000).

Lalli & Parsons (1997) mencionaram a atmosfera e os processos fotossintéticos como as principais fontes de oxigênio para o ambiente aquático, enquanto que as perdas estariam relacionadas ao consumo, decomposição da matéria orgânica (oxidação), liberação para a atmosfera e processos como nitrificação e oxidação química abiótica de íons metálicos. Cita-se ainda a influência de fatores dinâmicos do meio na alteração das concentrações de OD, como a agitação da superfície por ação dos ventos e ondas, ressurgência de águas profundas subsaturadas e contribuição das diferentes massas d'água presentes numa determinada região, além da grande influência da temperatura neste parâmetro, posto que quanto maior a temperatura, menor a dissolução desse gás.

PETROBRAS/HABTEC (2003) verificaram concentrações de OD em águas profundas da Bacia de Santos, na região dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21, que variaram majoritariamente entre 6 e 7 mg.L⁻¹ ao longo dos primeiros 200 m da coluna d'água (**Figura II.5.1.3.2-1**).

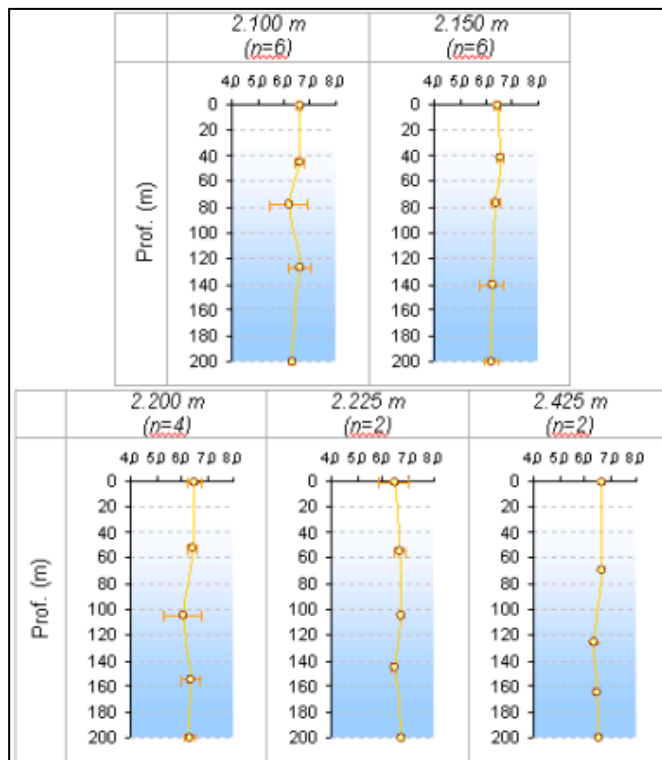


Figura II.5.1.3.2-1 – Variação vertical (média) do oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) em diferentes isóbatas amostradas na Bacia de Santos. A barra horizontal indica o desvio padrão. O n indica o número de estações.
Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

As concentrações de OD encontradas em estações de monitoramento localizadas no Bloco BS-4, próximo ao Bloco de Libra foram, em geral, superiores a 6 mg.L^{-1} , com médias variando entre $5,9 \pm 0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ (a 100 m de profundidade) e $7,3 \pm 0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ (a 10 m de profundidade) (SHELL/AS, 2001; SHELL/AS, 2001a; SHELL/AS, 2002) (**Quadro II.5.1.3.2-1**).

A partir das análises de variação vertical, apresentadas na **Figura II.5.1.3.2-1** e no **Quadro II.5.1.3.2-1**, verifica-se uma diminuição das concentrações de OD com o aumento da profundidade.

Quadro II.5.1.3.2-1 - Concentrações de Oxigênio Dissolvido (OD) (mg.L^{-1}) na água do mar verificadas em monitoramentos ambientais realizados na área do Bloco BS-4 na Bacia de Santos.

Estudo	Poço	Campanha	n-amostral	Profundidade	Faixa Observada (min-max)	Média± Desvio Padrão
SHELL/AS (2001)	Poço 1-SHEL-4-RJS	1ª Campanha	9	10 m	6,5-9,3	6,9±0,9
		(Fevereiro de 2001)		100m	6,4-6,7	6,5±0,1
		2ª Campanha		10 m	6,8-7,8	7,2±0,3
		(Abril de 2001)		100m	6,6-7,4	6,9±0,4
SHELL/AS (2001a)	Poço 1-SHEL-5-RJS	1ª Campanha	7	10 m	7,0-7,5	7,3±0,1
		(Abril de 2001)		100 m	6,4-6,8	6,6±0,1
		2ª Campanha		10 m	6,6-6,8	6,7±0,1
		(Maio de 2001)		100 m	6,2-6,6	6,4±0,1
SHELL/AS (2002)	Poço 3-SHEL-8-RJS	1ª Campanha	7	10 m	6,2-6,9	6,3±0,1
		(Agosto de 2001)		100 m	5,8-5,9	5,9±0,05
		2ª Campanha		10 m	6,4-7,0	6,8±0,2
		(Dezembro de 2001)		100 m	6,4-6,9	6,8±0,2

Considerando a variação espacial do OD na Bacia de Santos, verifica-se oscilações nas concentrações de oxigênio (entre 5,8 e 8,4 mg.L^{-1}) (**Figura II.5.1.3.2-2**) (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002). Na **Figura II.5.1.3.2-2** estão representadas as concentrações de OD nas profundidades de superfície (10m), meia água (termoclina) e 200 m na Bacia de Santos.

O trabalho de MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) não identificou tendência de variação horizontal bem definida ao longo dos três estratos. Contudo, de forma geral, nos três estratos foram encontrados valores mais elevados (acima de 6,6 mg.L^{-1}) na plataforma continental do estado do Rio de Janeiro. Já os perfis verticais apresentam valores homogêneos no primeiro estrato, elevação dos valores na termoclina e, em seguida, diminuição com a profundidade (**Figura II.5.1.3.2-2**), igualmente ao observado nos trabalhos de SHELL/AS (2001; 2001a, 2002).

Como evidenciado por Niencheski *et al.* (1999), a tendência de menores valores de OD com o aumento da profundidade é característica de região influenciada pela Corrente do Brasil, estando relacionada também com a maior taxa de fotossíntese na zona fótica e com as trocas oceano-atmosfera. Maiores

concentrações de OD em áreas mais costeiras também é considerado típico em águas costeiras por conta do aporte do continente (NIENCHESKI, *et al.* 1999).

O estudo de MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) identificou a Corrente do Brasil na Bacia de Santos com predominância da massa d'água Água Central do Atlântico Sul (ACAS), devido ao processo de ressurgência. Segundo Poole & Tomczak (1999), a ACAS possui concentrações de OD entre 5,5 e 6,8 mg.L⁻¹. O fenômeno de ressurgência ocorre na região da Bacia de Santos principalmente em Cabo Frio e Arraial do Cabo – RJ, como apontado no **Item II.5.1.1.2 - Oceanografia** deste diagnóstico.

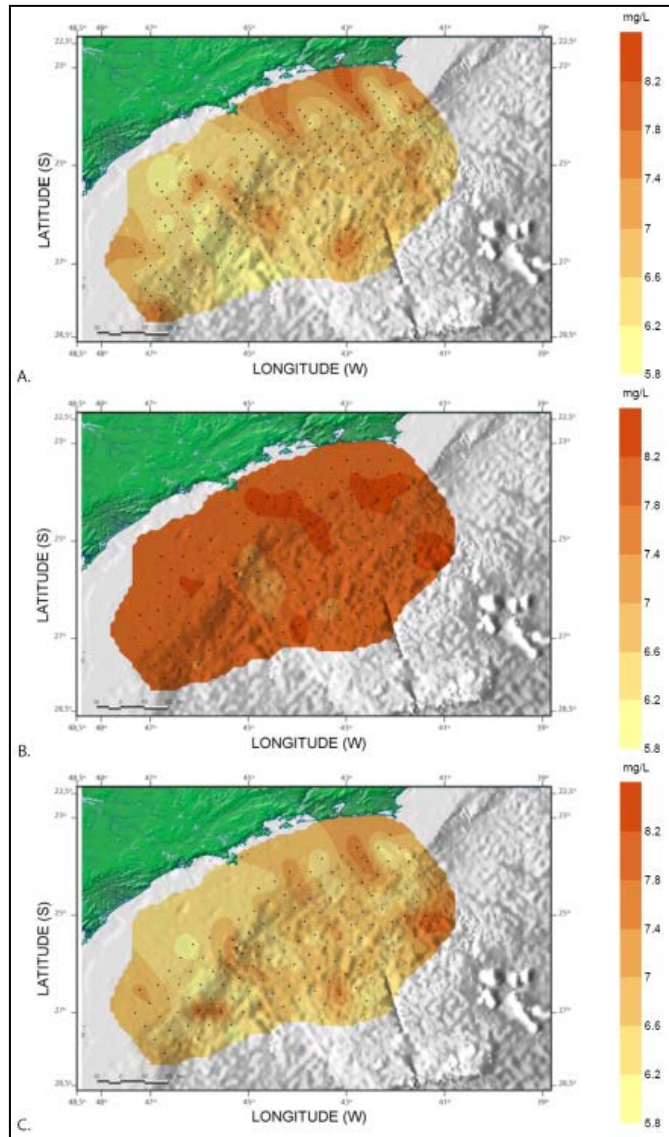


Figura II.5.1.3.2-2 – *Varição espacial do teor de Oxigênio Dissolvido na Bacia de Santos. A. superfície (10 m); B. meia água (termoclina); C. 200 m.*
Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

O trabalho de Rossi-Wongtschowski & Madureira (2006) mostra que, em geral, as concentrações de OD são mais elevadas na superfície, e em profundidade não há grandes variações verticais. Nas camadas de 50, 100 e 200 m, não há variação sazonal expressiva entre o outono e a primavera, mas há decréscimo representativo entre o verão e o outono.

A tendência à homogeneidade ao longo da coluna d'água no verão se deve a disponibilidade de nutrientes e excesso de luminosidade. Na superfície as maiores concentrações são verificadas no inverno, devido à interação ar-mar e capacidade de retenção de gases em águas mais frias (**Figura II.5.1.3.2-3**).

Salienta-se que o valor mínimo apresentado na **Figura II.5.1.3.2-3** corresponde a $4,6 \text{ mL.L}^{-1}$ ou $6,58 \text{ mg.L}^{-1}$, e o máximo equivale a $5,4 \text{ mL.L}^{-1}$ ou $7,72 \text{ mg.L}^{-1}$.

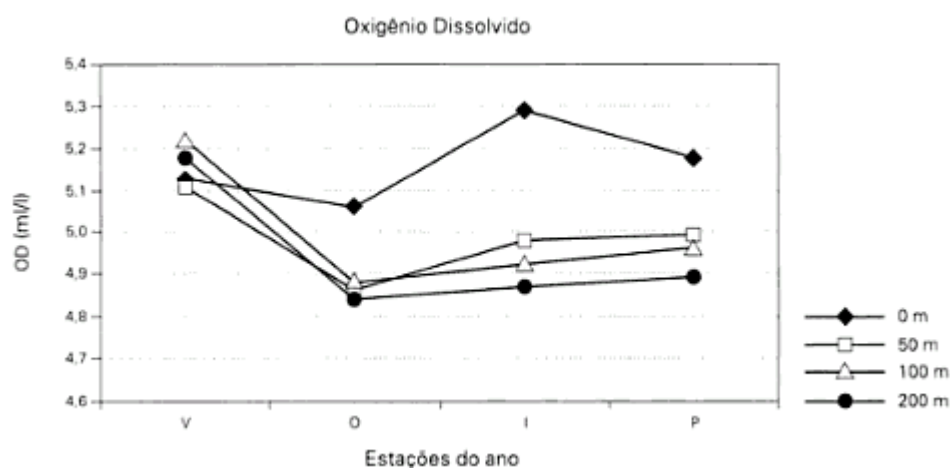


Figura II.5.1.3.2-3 – Variação sazonal média das concentrações de oxigênio dissolvido até 200 m de profundidade na região sul-sudeste do Brasil, onde v = verão, o = outono, i = inverno e p = primavera.

Fonte: Rossi-Wongtschowski & Madureira (2006).

As concentrações de OD reportadas para a Bacia de Santos indicam que a maior parte da bacia está enquadrada no padrão para águas salinas classe 1, segundo a Resolução CONAMA 357/05, que recomenda concentrações de oxigênio dissolvidos acima de 6 mg.L^{-1} . Os valores abaixo do preconizado pela

referida Resolução não representam distúrbios e são frequentemente observados em águas oceânicas, como descrito por Poole & Tomczak (1999) e detectado na primeira campanha de SHELL/AS (2002) (**Quadro II.5.1.3.2-1**).

B - Potencial Hidrogeniônico (pH)

Os valores de pH em águas oceânicas tendem a apresentar pequenas variações, na ordem de 7,9 a 8,4, devido ao tamponamento provocado pelo sistema dióxido de carbono/água. Pilson (1998) citou como 8,2 o valor médio em águas marinhas superficiais. Rossi-Wongtschowski & Madureira (2006) associaram as oscilações de pH a fenômenos de oxidação de matéria orgânica, produção primária e incorporação de CO₂ atmosférico pelo sistema marinho.

PETROBRAS/HABTEC (2003) observaram, em área profunda da Bacia de Santos, pH com valores médios entre 7,58 e 7,85 nos primeiros 200 m da coluna d'água para estações localizadas nas isóbatas de 2.100 a 2.425 m de profundidade. Em geral, os valores tenderam ao decréscimo abaixo de 120 m de profundidade, com destaque para os perfis bem marcados e com *n* representativo (6) das isóbatas de 2.100 e 2.150 m (**Figura II.5.1.3.2-4**).

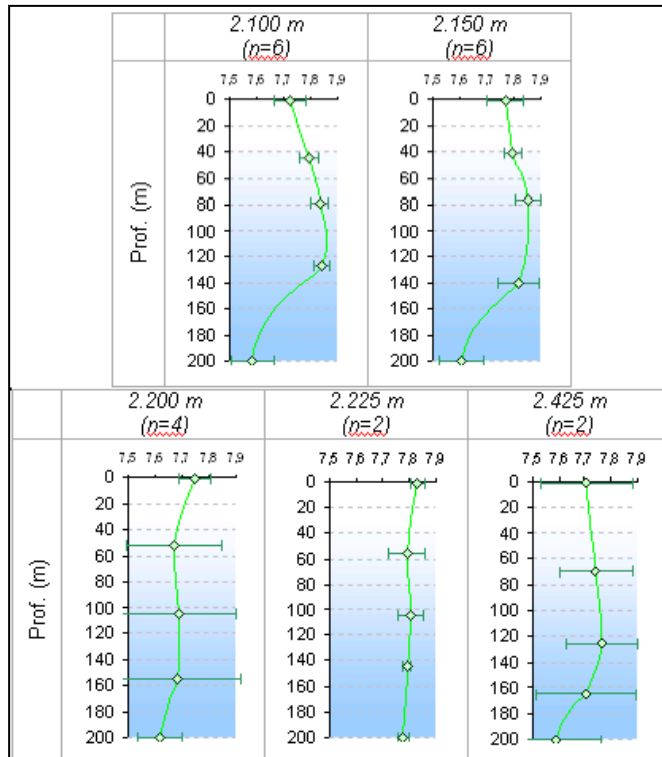


Figura II.5.1.3.2-4 – Variação vertical (média) do pH em diferentes isóbatas na Bacia de Santos. A barra horizontal indica o desvio padrão. O n indica o número de estações.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003)

Na região próxima ao Bloco de Libra, no Bloco BS-4, foram observados valores de pH entre 7,76 e 8,30 em amostras a 10 m de profundidade, e entre 7,52 e 8,33 em amostras a 100 m de profundidade (**Quadro II.5.1.3.2-2**) (SHELL/AS, 2001; SHELL/AS, 2001a; SHELL/AS, 2002).

Quadro II.5.1.3.2-2 – Valores de pH na água do mar verificadas em monitoramentos ambientais realizados na área do Bloco BS-4 na Bacia de Santos.

Estudo	Poço	Campanha	n-amostrai	Profundidade	Faixa Observada (min-max)	Média± Desvio Padrão
SHELL/AS (2001)	Poço 1-SHEL-4-RJS	1ª Campanha (Fevereiro de 2001)	9	10 m	8,17-8,24	8,20±0,02
				100 m	8,02-8,15	8,09±0,04
		2ª Campanha (Abril de 2001)		10 m	7,85-8,28	8,14±0,13
				100m	8,00-8,20	8,07±0,08
SHELL/AS (2001a)	Poço 1-SHEL-5-RJS	1ª Campanha (Abril de 2001)	7	10 m	7,87-8,30	8,12±0,16
				100 m	8,16-8,33	8,25±0,07
		2ª Campanha (Maio de 2001)		10 m	8,19-8,30	8,24±0,04
				100 m	8,14-8,27	8,2±0,04
SHELL/AS (2002)	Poço 3-SHEL-8-RJS	1ª Campanha (Agosto de 2001)	7	10 m	8,10-8,22	8,16±0,04
				100 m	8,10-8,12	8,11±0,01
		2ª Campanha (Dezembro de 2001)		10 m	7,76-8,00	7,86±0,10
				100 m	7,52-7,84	7,69±0,12

No trabalho de MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002), o pH variou entre 7,43 e 8,61 ao longo de toda a Bacia de Santos, sem padrões verticais e horizontais aparentes (**Figura II.5.1.3.2-5**). Como a água do mar funciona como uma solução tampão, as variações de pH são pouco perceptíveis. Em alguns trechos pontuais, nota-se, na **Figura II.5.1.3.2-5**, uma ligeira tendência a valores decrescentes com a profundidade, tanto nas áreas costeiras como oceânicas.

A maioria das amostragens de MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) foi realizada no final do verão e durante o outono. As diferenças nos perfis observados podem ser justificadas no trabalho de Niencheski *et al.* (1999). O autor aponta que, no verão, à medida que a profundidade aumenta, diminuem os valores de pH, enquanto que no outono o comportamento é homogêneo ao longo da coluna d'água com espalhamento de vórtices de máximo valor por toda a região sudeste, o que foi verificado. Esses vórtices sugerem a ocorrência da Convergência Subtropical e da ressurgência em Cabo Frio.

Em geral, é esperado que as distribuições verticais de pH acompanhem as variações de oxigênio dissolvido, o que foi observado nos estudos apresentados. Esta relação ocorre, pois nas camadas superficiais a fixação fotossintética de carbono inorgânico tende a elevar o pH da água — em função da diminuição das

concentrações de CO₂ e ácido carbônico dissolvidos — e como um subproduto da fotossíntese, o oxigênio dissolvido. Em profundidades maiores onde a fotossíntese é limitada pela luz, processos heterotróficos prevalecem e a produção de CO₂ e a conseqüente formação de ácido carbônico tendem a diminuir os valores de pH (PEDROSA *et al.*, 2006).

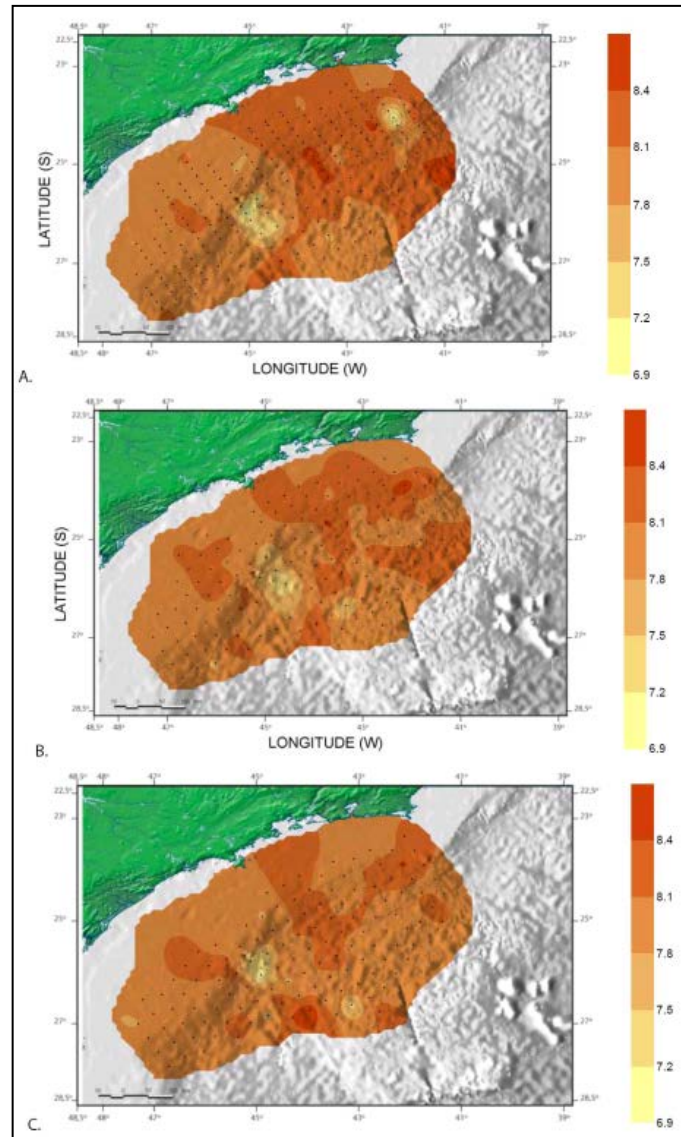


Figura II.5.1.3.2-5 – Variação espacial do valor de pH na Bacia de Santos. A. superfície (10m); B. meia água (termoclina); C. 200 m.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

Quanto à variação sazonal do pH, a **Figura II.5.1.3.2-6** mostra que no verão e no inverno há similaridade com as distribuições de OD, com pequenas variações entre as profundidades, o que está associado ao sistema tampão. No outono e na primavera, os valores de pH indicaram diminuição nos teores de OD, com valores mais baixos nos estratos abaixo da superfície, sendo incomuns em ambiente marinho e associados a problemas analíticos (ROSSI-WONGTSCHOWSKI & MADUREIRA, 2006).

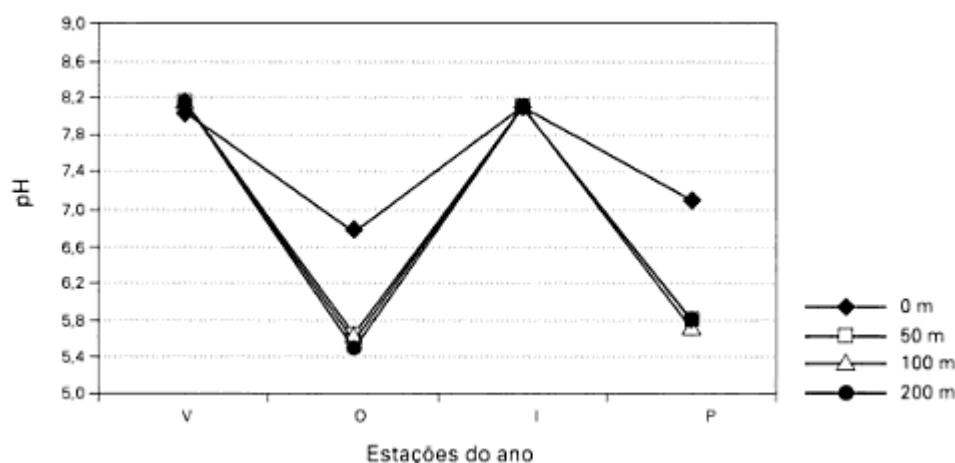


Figura II.5.1.3.2-6 – Variação sazonal média dos valores de pH até 200m de profundidade da região sul-sudeste do Brasil, onde v = verão, o = outono, i = inverno e p = primavera.

Fonte: Rossi-Wongtschowski & Madureira (2006).

A faixa de pH verificada na Bacia de Santos se enquadra na faixa de variação determinada para águas salinas de classe 1 (entre 6,5 e 8,5), segundo a Resolução CONAMA 357/05.

C - Nutrientes

A análise dos nutrientes na água do mar em estudos ambientais é usual devido a dois fatores principais: seu papel fundamental para a vida e metabolismo do fitoplâncton (base da cadeia trófica) e a presença destes em efluentes domésticos e industriais, com isso, indicando despejo desse material no meio (AIDAR *et. al.*, 1993). Lalli & Parsons (1997) destacam a importância de algumas substâncias inorgânicas, como nitrito, fosfato, silicato, ferro e manganês para o metabolismo do fitoplâncton, agindo como limitantes quando encontrados em baixas concentrações.

Neste estudo é abordado o nitrogênio, em suas formas inorgânicas, nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), e o fosfato, considerados macronutrientes.

Destaca-se que o nitrito corresponde à forma intermediária entre nitrogênio amoniacal e nitrato, aparecendo em menores concentrações no ambiente devido a sua instabilidade, enquanto o nitrato, forma mais oxidada, aparece em maiores concentrações no oceano, sendo a principal fonte de nitrogênio para o fitoplâncton (NIENCHESKI *et al.*, 1999). Salienta-se que é comum a análise do nitrogênio amoniacal (íon amônio - NH_4^+ + amônia livre - NH_3) ser referida pelo termo amônia, como observado nos trabalhos citados no presente estudo.

C.1 - Amônia

Na **Figura II.5.1.3.2-7** são apresentadas as variações verticais das concentrações de amônia reportadas para a região dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 nas isóbatas de 2.100 a 2.425 m por PETROBRAS/HABTEC (2003). As concentrações de amônia variaram de abaixo do limite de detecção ($\text{LD}=0,02 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ou $0,0003 \text{mg.L}^{-1}$) a $5,05 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (ou $0,0859 \text{mg.L}^{-1}$), com valor médio igual a $0,85 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (ou $0,0145 \text{mg.L}^{-1}$).

As distribuições verticais dos perfis mostram certa homogeneidade das concentrações de amônia ao longo da coluna d'água, com maiores concentrações próximo ao fundo, onde foram coletadas amostras representativas da massa

d'água Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) em profundidade superior a 1.100 m (PETROBRAS/HABTEC, 2003).

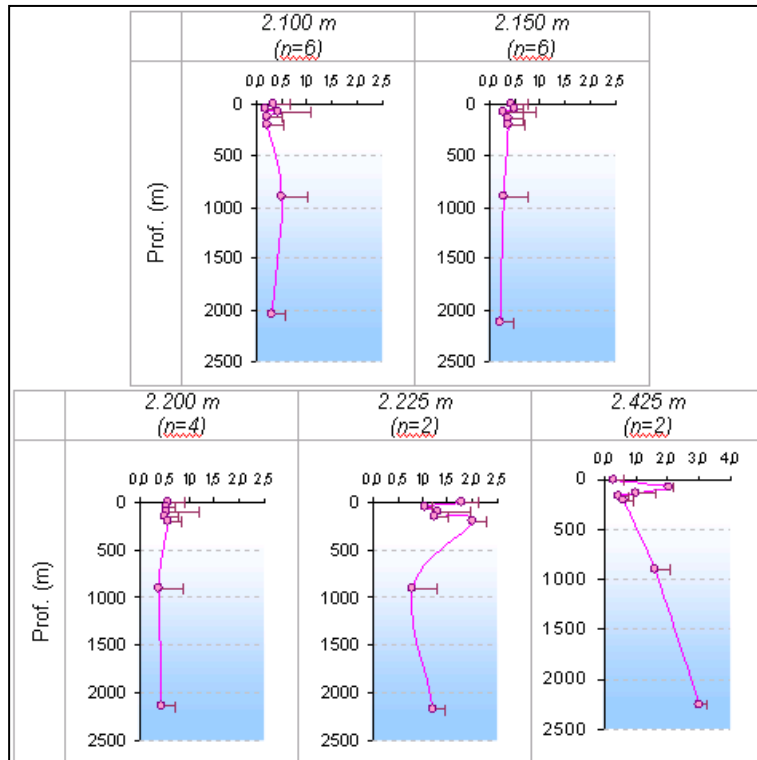


Figura II.5.1.3.2-7 – Variação vertical (média) de amônia ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) em diferentes isóbatas na Bacia de Santos. A barra horizontal indica o desvio padrão. O n indica o número de estações.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Nos trabalhos de SHELL/AS (2001, 2001a, 2002), as concentrações de amônia na área do Bloco BS-4, próximo ao Bloco de Libra, foram predominantemente inferiores ao limite de detecção do método ($\text{LD}=0,05 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ou $0,0009 \text{ mg.L}^{-1}$) (**Quadro II.5.1.3.2-3**).

Quadro II.5.1.3.2-3 – Concentrações de Amônia ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) na água do mar verificadas em monitoramentos ambientais realizados na área do Bloco BS-4 na Bacia de Santos.

Estudo	Poço	Campanha	n-amostal	Profundidade	Amônia	
					Faixa Observada (min-max)	Média \pm Desvio Padrão
SHELL/AS (2001)	Poço 1-SHEL-4-RJS	1ª Campanha	9	10 m	<0,05-0,38	-
		(Fevereiro de 2001)		100 m	<0,05-0,14	-
		2ª Campanha		10 m	<0,05	-
		(Abril de 2001)		100 m	<0,05	-
SHELL/AS (2001a)	Poço 1-SHEL-5-RJS	1ª Campanha	7	10 m	<0,05	-
		(Abril de 2001)		100m	<0,05	-
		2ª Campanha		10 m	<0,05	-
		(Maio de 2001)		10 0m	<0,05	-
SHELL/AS (2002)	Poço 3-SHEL-8-RJS	1ª Campanha	7	10 m	<0,05	-
		(Agosto de 2001)		100 m	<0,05	-
		2ª Campanha		10 m	<0,05-0,14	-
		(Dezembro de 2001)		100 m	<0,05-0,04	-

Concentrações similares de amônia foram reportadas por MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002), cuja variação observada esteve entre 0,003 e 0,060 mg.L^{-1} (ou 0,18 a 3,52 $\mu\text{mol.L}^{-1}$), com tendência de valores mais elevados nas áreas próximas à costa e em camadas mais profundas. Para a área próxima ao Bloco de Libra as concentrações foram inferiores a 0,02 mg.L^{-1} (1,2 $\mu\text{mol.L}^{-1}$) em todas as profundidades (**Figura II.5.1.3.2-8**).

Em geral, os estudos apontaram para um padrão similar: concentrações baixas (muitas vezes não detectadas pelas metodologias analíticas) com tendência a aumento em direção ao fundo e com a proximidade do continente. Islam & Tanaka (2004) destacam que é comum maiores concentrações de amônia em maiores profundidades, resultantes de processos de degradação da matéria orgânica e da excreção, assim como em áreas mais costeiras, devido ao aporte continental natural e de efluentes contaminados. As baixas concentrações

encontradas provavelmente estão associadas a processos acoplados a amonificação, como os de assimilação e nitrificação, comum em ambientes oxidados (PEDROSA *et al.*, 2006).

Destaca-se que todas as concentrações citadas para amônia enquadram a área da Bacia de Santos como águas salinas de classe 1, conforme classificação da Resolução CONAMA 357/05.

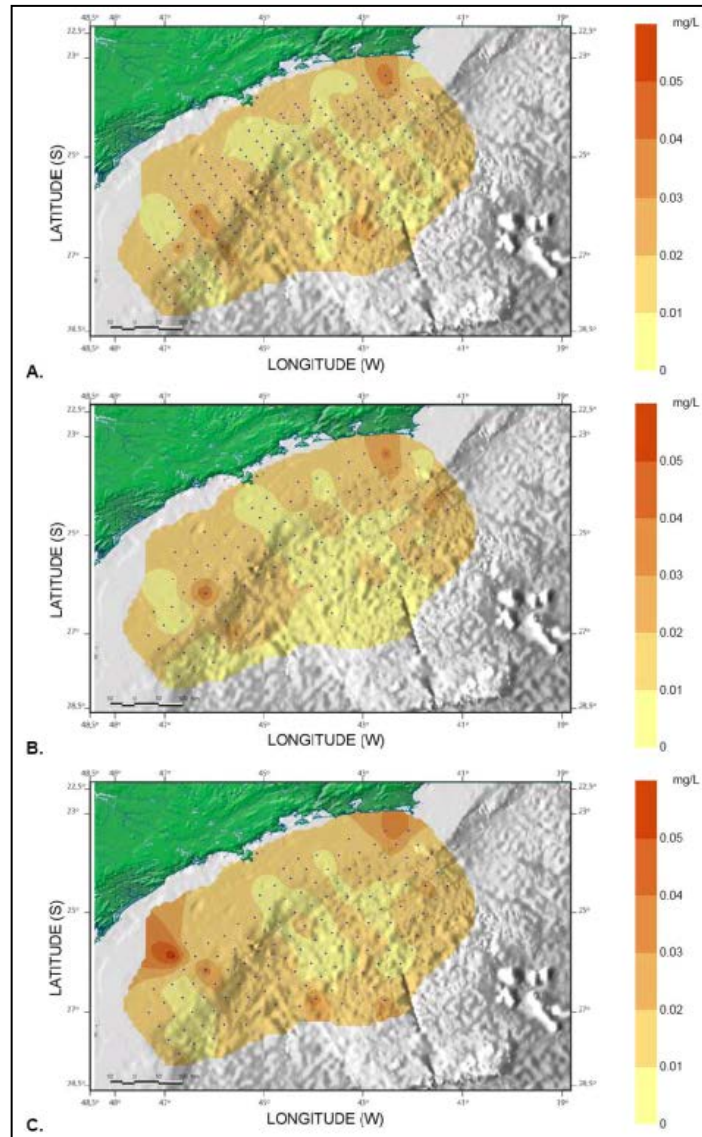


Figura II.5.1.3.2-8 – Variação espacial da concentração de amônia na Bacia de Santos. A. superfície (10 m); B. meia água (termoclina); C. 200 m.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

C.2 - Nitrito

As concentrações de nitrito verificadas por PETROBRAS/HABTEC (2003) variaram entre não detectadas ($<0,01 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ou $0,0005 \text{mg.L}^{-1}$) e $4,09 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (ou $0,188 \text{mg.L}^{-1}$). Na **Figura II.5.1.3.2-9** observa-se as concentrações médias ao longo da coluna d'água, onde se destaca o incremento em 900 m de profundidade, núcleo da massa d'água AIA - Água Intermediária Antártica. O incremento pode estar relacionado à massa d'água, porém o mesmo chega a ultrapassar a Resolução CONAMA 357/05 para águas salinas classe 1 (máximo de $0,07 \text{mg.L}^{-1}$) em uma área reconhecidamente oligotrófica.

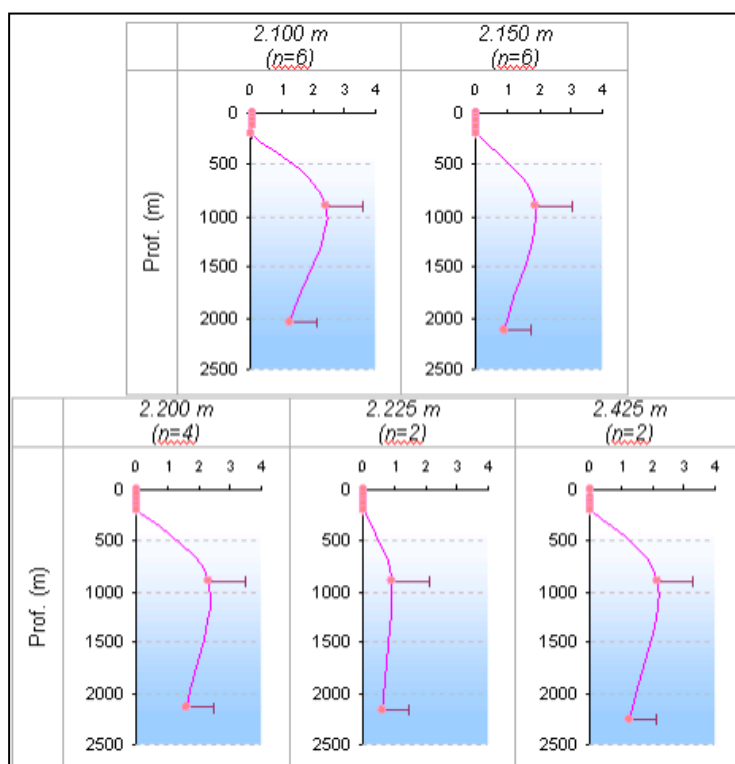


Figura II.5.1.3.2-9 – Variação vertical (média) de nitrito ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) em diferentes isóbatas na Bacia de Santos. A barra horizontal indica o desvio padrão. O n indica o número de estações.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003)

Nas campanhas de monitoramento na região do Bloco BS-4, as concentrações de nitrito apresentaram valores intermediários em relação à amônia e ao nitrato e foram inferiores aos resultados observados por PETROBRAS/HABTEC (2003). As concentrações médias oscilaram entre abaixo do limite de detecção ($LD=0,02 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ou $0,0009 \text{mg.L}^{-1}$) até $0,93\pm 0,19 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (ou $0,0023\pm 0,0009 \text{mg.L}^{-1} \text{N}$) no estrato de 100 m. Em geral, as concentrações foram maiores nas amostras de 100 m de profundidade (SHELL/AS, 2001; SHELL/AS, 2001a; SHELL/AS, 2002) (**Quadro II.5.1.3.2-4**).

Quadro II.5.1.3.2-4 – Concentrações de Nitrito ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) na água do mar verificadas em monitoramentos ambientais realizados na área do Bloco BS-4 na Bacia de Santos.

Estudo	Poço	Campanha	n-amostral	Profundidade	Nitrito	
					Faixa Observada (min-max)	Média± Desvio Padrão
SHELL/AS (2001)	Poço 1-SHEL-4-RJS	1ª Campanha (Fevereiro de 2001)	9	10 m	<0,02-0,19	0,04±0,06
				100 m	0,05-0,36	0,17±0,10
		2ª Campanha (Abril de 2001)		10 m	<0,02-0,03	0,009±0,014
				100 m	<0,02-0,09	0,063±0,027
SHELL/AS (2001a)	Poço 1-SHEL-5-RJS	1ª Campanha (Abril de 2001)	7	10 m	0,03-0,06	0,041±0,011
				100m	0,02-0,03	0,023±0,005
		2ª Campanha (Maio de 2001)		10 m	<0,02	-
				100m	<0,02-0,16	0,067±0,072
SHELL/AS (2002)	Poço 3-SHEL-8-RJS	1ª Campanha (Agosto de 2001)	7	10 m	0,10-0,42	0,26±0,10
				100 m	0,66-1,21	0,93±0,19
		2ª Campanha (Dezembro de 2001)		10 m	<0,02-0,03	0,02±0,01
				100 m	0,07-0,27	0,16±0,07

A partir de MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002), verifica-se uma variação nas concentrações de nitrito na Bacia de Santos entre $0,002 \text{mg.L}^{-1}$ ($0,043 \mu\text{mol.L}^{-1}$) e $0,070 \text{mg.L}^{-1}$ (ou $1,52 \mu\text{mol.L}^{-1}$), com predominância de concentrações inferiores a $0,04 \text{mg.L}^{-1}$ (ou $0,88 \mu\text{mol.L}^{-1}$), inclusive na área correspondente a do presente estudo. Não é observado gradiente vertical ou horizontal de distribuição deste nutriente, mas cabe citar que, segundo Aminot & Chaussepied (1983) e Niencheski *et al.* (1999), é esperado um ligeiro incremento das concentrações nas águas mais próximas ao continente (**Figura II.5.1.3.2-10**).

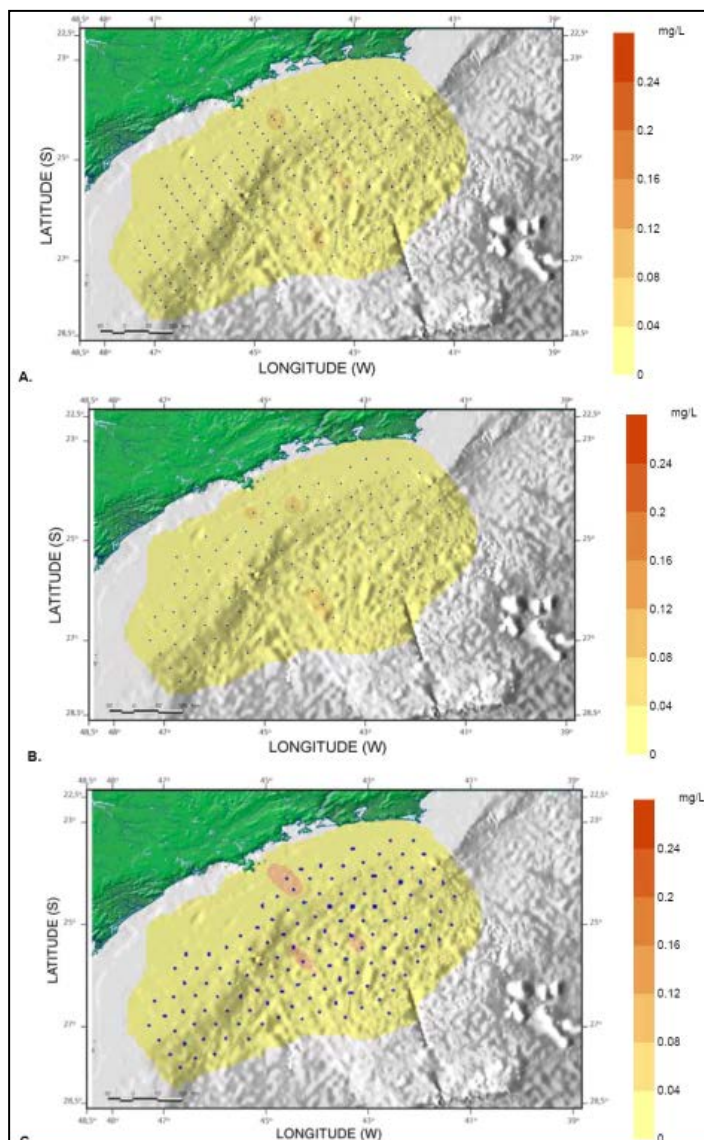


Figura II.5.1.3.2-10 – Variação espacial da concentração de nitrito na Bacia de Santos. A. superfície (10 m); B. meia água (termoclina); C. 200 m.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

Os estudos citados demonstram que as concentrações de nitrito normalmente são baixas, uma vez que este nutriente é muito influenciado pelos processos químicos e biológicos como regeneração, processos oxidativos, nitrificação e detritificação bacteriana (ROSSI-WONGTSCHOWSKI & MADUREIRA, 2006). Os autores citam ainda que, por vezes, as concentrações aumentam em águas de fundo e junto a aportes continentais, principalmente no verão e primavera (**Figura**

II.5.1.3.2-11). As concentrações apresentadas na figura vão até $0,14 \mu\text{mol.L}^{-1}$, equivalente a $0,006 \text{mg.L}^{-1}$.

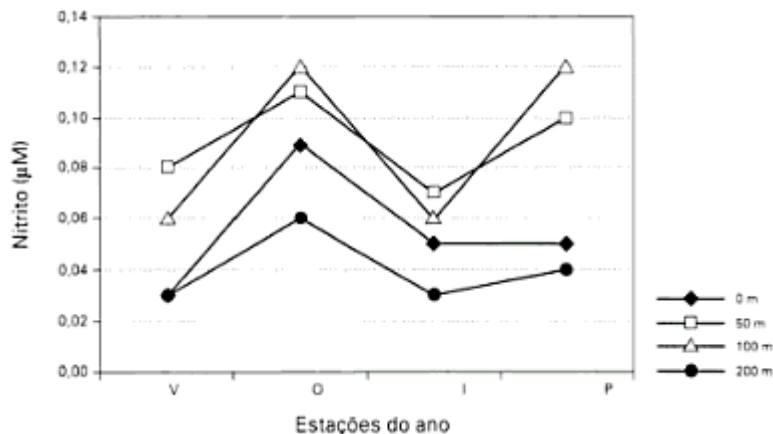


Figura II.5.1.3.2-11 – Variação sazonal média das concentrações de nitrito até 200m de profundidade da região sul-sudeste, onde v = verão, o = outono, i = inverno e p = primavera.

Fonte: Rossi-Wongtschowski & Madureira (2006).

C.3 - Nitrato

As concentrações de nitrato observadas na Bacia de Santos por PETROBRAS/HABTEC (2003) variaram de $<0,01 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (limite de detecção do método, igual a $0,0006 \text{mg.L}^{-1}$) a $6,36 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (ou $0,39 \text{mg.L}^{-1}$), sendo o maior valor encontrado no núcleo da massa d'água AIA, em torno de 900 m. Em geral, a distribuição horizontal de nitrato apresentou uma certa homogeneidade nas concentrações encontradas. Entretanto, pode-se observar uma suave variabilidade entre as isóbatas avaliadas, onde as maiores variações dos valores foram encontradas nas isóbatas de 2.200 e 2.225 m (**Figura II.5.1.3.2-12**).

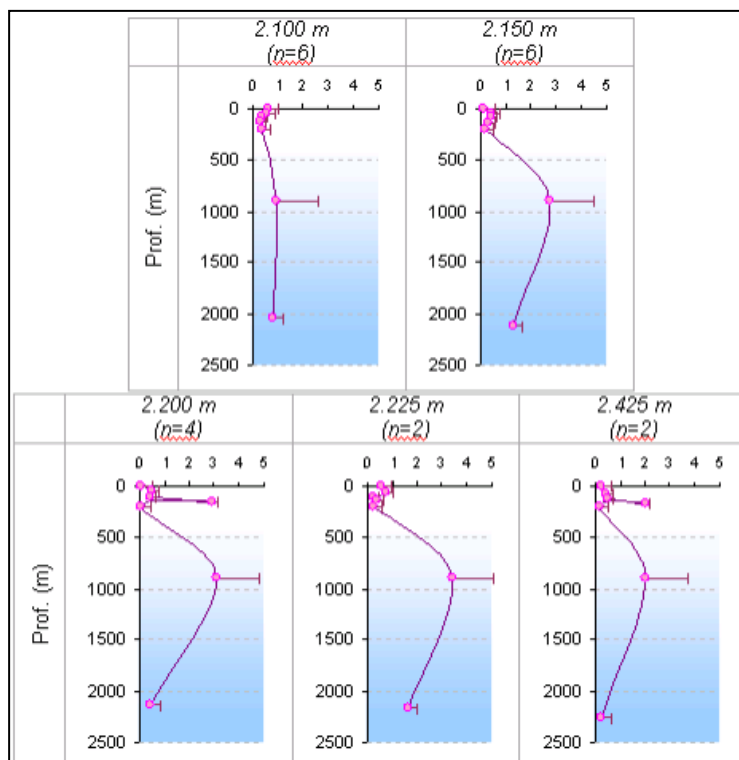


Figura II.5.1.3.2-12 – Variação vertical (média) de nitrato ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) em diferentes isóbatas na Bacia de Santos. A barra horizontal indica o desvio padrão. O n indica o número de estações.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Dentre as formas nitrogenadas analisadas em SHELL/AS (2001), SHELL/AS (2001a) e SHELL/AS (2002), as maiores concentrações corresponderam ao nitrato. Foram encontrados valores médios de $0,33 \pm 0,42 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (ou $0,02 \pm 0,03 \text{ mg.L}^{-1}$) (10 m) a $1,75 \pm 0,40 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (ou $0,11 \pm 0,02 \text{ mg.L}^{-1}$) (100 m) (**Quadro II.5.1.3.2-5**).

Quadro II.5.1.3.2-5 – Concentrações de Nitrato ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) na água do mar verificadas em monitoramentos ambientais realizados na área do Bloco BS-4 na Bacia de Santos.

Estudo	Poço	Campanha	n-amostral	Profundidade	Nitrato	
					Faixa Observada (min-max)	Média± Desvio Padrão
SHELL/AS (2001)	Poço 1-SHEL-4-RJS	1ª Campanha (Fevereiro de 2001)	9	10 m	0,09-1,23	0,33±0,42
				100 m	0,17-1,18	0,55±0,45
		2ª Campanha (Abril de 2001)		10 m	0,79-1,80	1,58±0,31
				100 m	1,63-1,91	1,74±0,08
SHELL/AS (2001a)	Poço 1-SHEL-5-RJS	1ª Campanha (Abril de 2001)	7	10 m	0,29-2,04	1,45±0,68
				100m	0,88-2,03	1,75±0,40
		2ª Campanha (Maio de 2001)		10 m	0,86-1,64	1,41±0,26
				10 0m	1,07-1,53	1,33±1,15
SHELL/AS (2002)	Poço 3-SHEL-8-RJS	1ª Campanha (Agosto de 2001)	7	10 m	0,92-1,39	1,23±0,17
				100 m	0,27-1,31	0,82±0,40
		2ª Campanha (Dezembro de 2001)		10 m	1,05-1,21	1,13±0,05
				100 m	0,82-1,32	1,12±0,16

Niencheski *et al.* (1999) salienta que no ciclo do nitrogênio, o nitrato participa como o principal elemento de suporte ao desenvolvimento fitoplanctônico, o qual é regenerado pelas bactérias, a partir da oxidação de formas orgânicas nitrogenadas. Em função disso, a sua velocidade de regeneração é inferior a sua velocidade de utilização e, por isso, suas concentrações encontram-se muitas vezes inferiores aos limites de detecção dos métodos analíticos. Já as concentrações mais elevadas são comumente associadas a águas oceânicas profundas ricas em nitrato, como a massa d'água ACAS.

No trabalho de MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) os valores oscilaram entre 0,066 e 0,835 mg.L^{-1} (ou 1,06 a 13,50 $\mu\text{mol.L}^{-1}$), com concentrações mais elevadas em regiões mais próximas a costa, como a área em frente a São Paulo. Quanto à variação vertical, na superfície e na termoclina as concentrações foram similares, sendo relacionada pelos autores a uma termoclina bem definida. Na camada de 200 m foram encontradas elevadas concentrações, provavelmente devido à presença da massa d'água ACAS (**Figura II.5.1.3.2-13**).

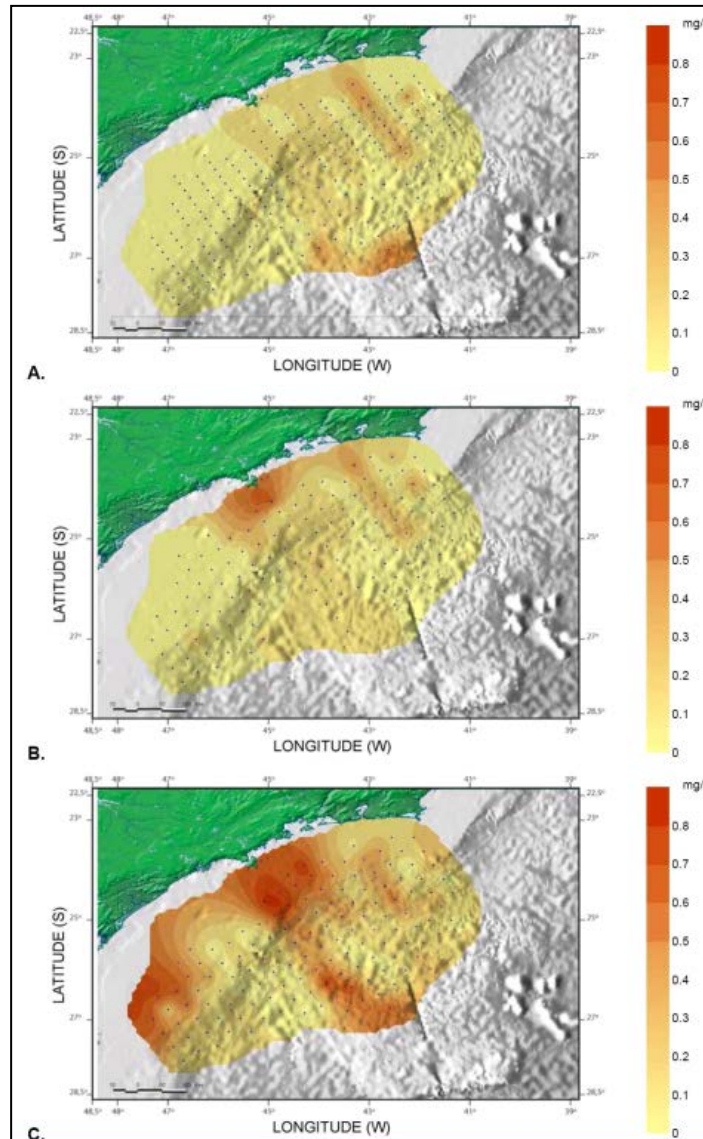


Figura II.5.1.3.2-13 – Variação espacial da concentração de nitrato na Bacia de Santos. A. superfície (10 m); B. meia água (termoclina); C. 200 m.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

O trabalho de Rossi-Wongtschowski & Madureira (2006) cita que em todas as épocas do ano os teores de nitrato em águas superficiais foram os menores por conta das atividades fotossintéticas, havendo uma nítida recuperação de estoque no inverno, principalmente em profundidades superiores a 100 m. As concentrações apresentadas na figura vão até $3,5 \mu\text{mol.L}^{-1}$, que é igual a $0,22 \text{ mg.L}^{-1}$ (Figura II.5.1.3.2-14).

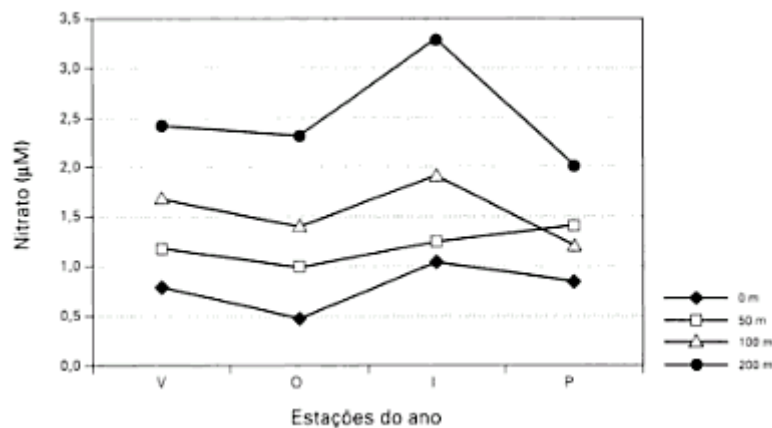


Figura II.5.1.3.2-14 – Variação sazonal média das concentrações de nitrato até 200m de profundidade da região sul-sudeste do Brasil, onde *v* = verão, *o* = outono, *i* = inverno e *p* = primavera.

Fonte: Rossi-Wongtschowski & Madureira (2006).

Em geral, as concentrações de nitrato observadas mantiveram a Bacia de Santos enquadrada como águas salinas classe 1 (máximo de $0,40 \text{ mg.L}^{-1}$ ou $0,02 \mu\text{mol.L}^{-1}$), com exceção de alguns máximos próximos à costa ou nas amostras de fundo. Como já citado, é comum maiores concentrações deste nutriente em área com aporte continental ou sob influência de massa d'água profunda rica em nitrato.

C.4 - Fosfato

Na região dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 verificou-se concentrações de fosfato variando com o aumento da profundidade, com baixas concentrações em superfície, variando de $0,07 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (ou $0,007 \text{mg.L}^{-1}$) a $4,31 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (ou $0,41 \text{mg.L}^{-1}$), com maior valor a 900 m de profundidade, na massa d'água AIA. Há um gradiente bem definido ao longo da coluna d'água, com concentrações relativamente homogêneas da superfície até 200 m e aumentando em direção às águas mais profundas (PETROBRAS/HABTEC, 2003) (Figura II.5.1.3.2-15).

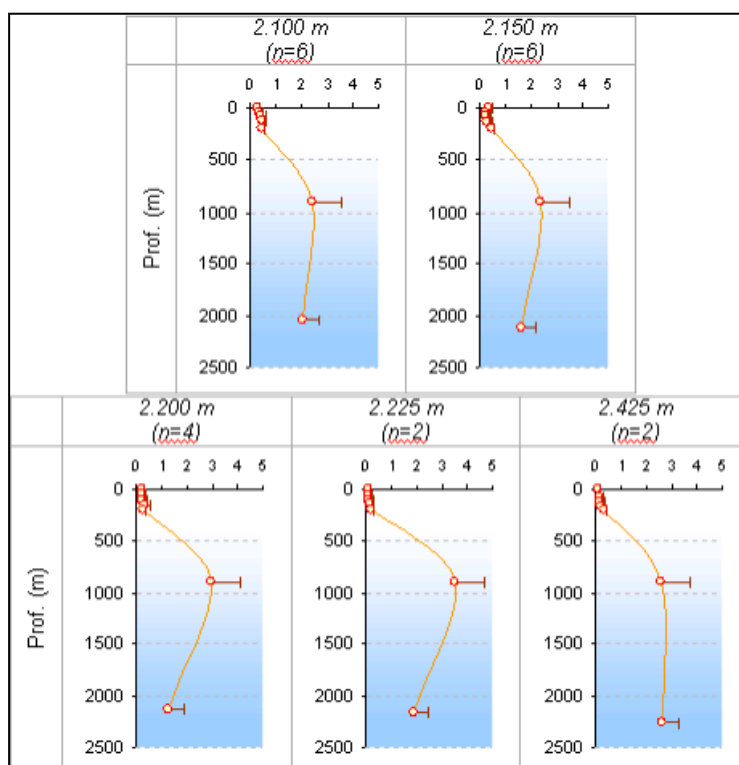


Figura II.5.1.3.2-15 – Variação vertical (média) de fosfato ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) em diferentes isóbatas na Bacia de Santos. A barra horizontal indica o desvio padrão. O n indica o número de estações.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

As concentrações de fosfato citadas por SHELL/AS (2001, 2001a, 2002) para estações amostrais localizadas na área do Bloco BS-4, região próxima ao Bloco de Libra, variaram entre não detectadas ($LD=0,02 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ou $0,0019 \text{mg.L}^{-1}$) até $3,61 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (ou $0,34 \text{mg.L}^{-1}$). É possível observar no **Quadro II.5.1.3.2-6** que maiores concentrações corresponderam às amostras a 100 m de profundidade, o que pode estar associado ao decaimento de partículas biogênicas (como organismos zooplanctônicos e pelotas fecais) e degradação das mesmas.

Quadro II.5.1.3.2-6 – Concentrações de fosfato ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) na água do mar verificadas em monitoramentos ambientais realizados na área do Bloco BS-4 na Bacia de Santos.

Estudo	Poço	Campanha	n-amostal	Profundidade	Fosfato	
					Faixa Observada (min-max)	Média± Desvio Padrão
SHELL/AS (2001)	Poço 1-SHEL-4-RJS	1ª Campanha (Fevereiro de 2001)	9	10 m	0,05-0,22	0,10±0,05
				100 m	0,15-0,22	0,18±0,03
		2ª Campanha (Abril de 2001)		10 m	<0,02	-
				100 m	0,09-0,13	0,11±0,01
SHELL/AS (2001a)	Poço 1-SHEL-5-RJS	1ª Campanha (Abril de 2001)	7	10 m	<0,02	-
				100 m	<0,02-0,04	-
		2ª Campanha (Maio de 2001)		10 m	<0,02-0,03	-
				100 m	<0,02-0,14	0,77±0,60
SHELL/AS (2002)	Poço 3-SHEL-8-RJS	1ª Campanha (Agosto de 2001)	7	10 m	0,40-1,32	0,56±0,34
				100 m	0,86-3,61	1,91±0,85
		2ª Campanha (Dezembro de 2001)		10 m	0,07-0,13	0,11±0,02
				100 m	0,11-0,25	0,18±0,05

No levantamento realizado ao longo de toda a Bacia de Santos por MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002), observou-se concentrações de fosfato entre não detectado até $0,165 \text{ mg.L}^{-1}$ (ou $1,74 \text{ } \mu\text{mol.L}^{-1}$). Observando os valores conforme as profundidades amostradas, verifica-se que neste estudo também foram registradas menores concentrações em superfície e um gradiente em direção às águas mais profundas e próximas ao continente (**Figura II.5.1.3.2-16**).

O trabalho de MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) aponta que as principais fontes de fosfato são de origem continental e sua rápida absorção pelos produtores primários comumente ocasiona baixas concentrações na superfície. O processo de regeneração do íon fosfato é muito intenso e movimentos advectivos podem disponibilizá-lo para a coluna d'água. Em adição, Niencheski *et al.* (1999) menciona que águas profundas tendem a apresentar elevadas concentrações associadas à formação de vórtices e ressurgências, condicionados pela ação de massas d'água e geomorfologia de fundo.

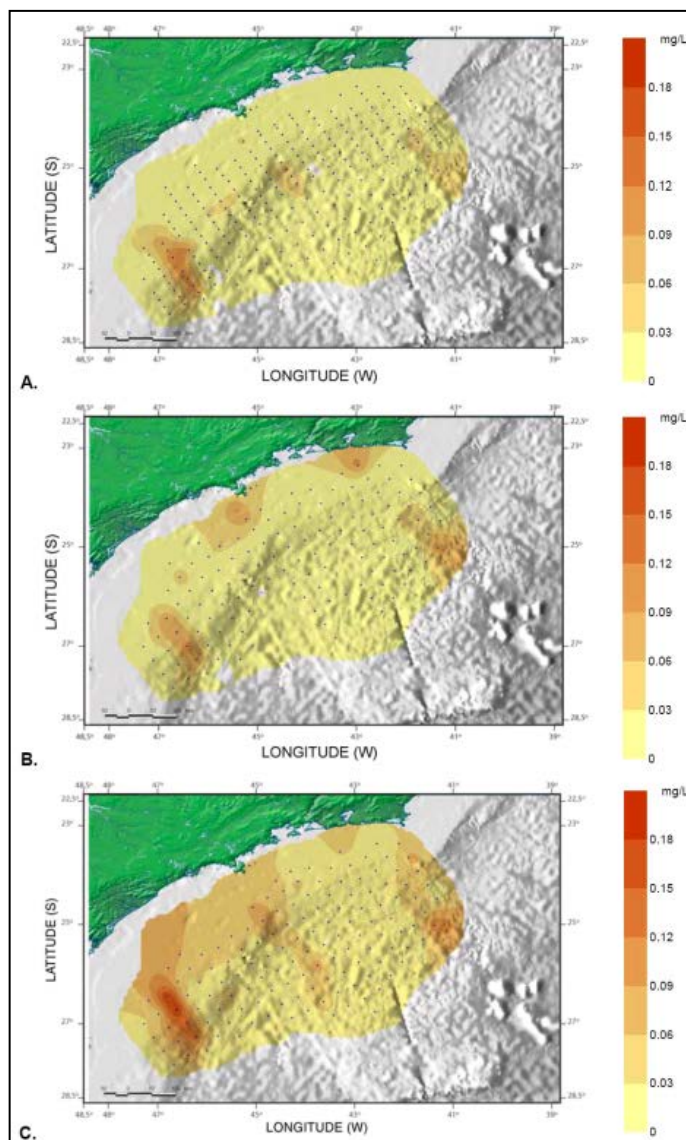


Figura II.5.1.3.2-16 – Variação espacial da concentração de fostato na Bacia de Santos.

A. superfície (10m); B. meia água (termoclina); C. 200 m. Fonte:
MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

Na **Figura II.5.1.3.2-17** é possível notar certa homogeneidade da distribuição das concentrações de fosfato ao longo do ano, com maiores valores na camada de 200 m. Os menores valores são observados em camadas superficiais no verão, provocado pelo intenso consumo. Em direção ao outono, inverno e primavera há ligeira reposição do estoque (ROSSI-WONGTSCHOWSKI & MADUREIRA, 2006). As concentrações apresentadas na figura vão até $0,5 \mu\text{mol.L}^{-1}$, equivalente a $0,047 \text{ mg.L}^{-1}$.

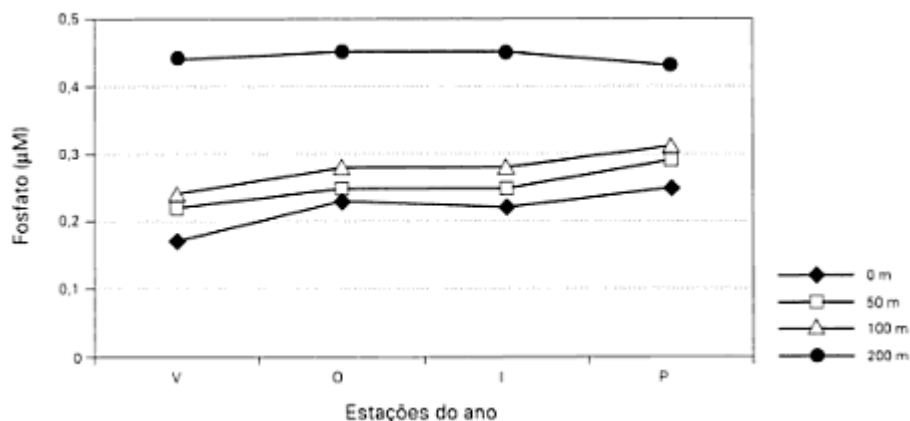


Figura II.5.1.3.2-17 – Variação sazonal média das concentrações de fosfato até 200m de profundidade da região sul-sudeste do Brasil, onde v = verão, o = outono, i = inverno e p = primavera.

Fonte: Rossi-Wongtschowski & Madureira (2006).

D - Clorofila-a

O pigmento fotossintético clorofila-a está presente em todos os organismos fotoautotróficos, com isso, vem sendo utilizado como indicador da biomassa fitoplanctônica e, indiretamente, como um bom indicador das condições ambientais do ecossistema pelágico (JEFFREY *et al.*, 1997). Águas oceânicas apresentam características oligotróficas, ou seja, baixas concentrações de nutrientes e, com isso, menor produtividade primária, refletindo em menores concentrações de clorofila-a.

No trabalho de PETROBRAS/HABTEC (2003) as concentrações de clorofila-a variaram entre abaixo do limite de detecção do método analítico ($0,01 \mu\text{g.L}^{-1}$) e $3,13 \mu\text{g.L}^{-1}$, com valor médio igual a $0,78 \mu\text{g.L}^{-1}$. Dentre as amostra avaliadas, o estudo não encontrou um padrão claro de distribuição, mas, em geral, as maiores concentrações estiveram associadas às profundidades abaixo da termoclina, camada que age como uma barreira física aos nutrientes e incrementa a produtividade primária.

Os monitoramentos realizados na área do Bloco BS-4 por SHELL/AS (2001, 2001a, 2002) permitiram ratificar a característica oligotrófica nas águas oceânicas da Bacia de Santos, demonstrando concentrações baixas, com médias variando entre $0,05 \pm 0,01 \mu\text{g.L}^{-1}$ (a 10 m de profundidade) e $0,37 \pm 0,12 \mu\text{g.L}^{-1}$ (100 m de profundidade) (**Quadro II.5.1.3.2-7**).

Quadro II.5.1.3.2-7 – Concentrações de clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água do mar reportadas em monitoramentos ambientais realizados na área do Bloco BS-4 na Bacia de Santos.

Estudo	Poço	Campanha	n-amostral	Profundidade	Faixa Observada (min-max)	Média± Desvio Padrão
SHELL/AS (2001)	1-SHEL-4-RJS	1ª Campanha (Fevereiro de 2001)	9	10 m	0,03-0,07	0,05±0,01
				100 m	0,12-0,40	0,28±0,10
		2ª Campanha (Abril de 2001)		10 m	0,08-0,20	0,13±0,04
				100 m	0,22-0,52	0,37±0,12
SHELL/AS (2001a)	1-SHEL-5-RJS	1ª Campanha (Abril de 2001)	7	10 m	0,06-0,12	0,09±0,02
				100 m	0,15-0,29	0,22±0,06
		2ª Campanha (Maio de 2001)		10 m	0,16-0,25	0,20±0,03
				100 m	0,07-0,31	0,22±0,08
SHELL/AS (2002)	3-SHEL-8-RJS	1ª Campanha (Agosto de 2001)	7	10 m	0,06-0,16	0,12±0,03
				100 m	0,12-0,20	0,17±0,03
		2ª Campanha (Dezembro de 2001)		10 m	0,03-0,06	0,04±0,01
				100 m	0,21-0,40	0,32±0,06

As concentrações de clorofila-a analisadas por MMA/PETROBRAS/AS/PEG, (2002) ao longo de toda a Bacia de Santos variaram entre 0,0403 e 6,308 $\mu\text{g.L}^{-1}$ nas amostras a 10 m de profundidade, de 0,0157 a 4,1543 $\mu\text{g.L}^{-1}$ junto à termoclina, e de 0,0026 a 6,0472 $\mu\text{g.L}^{-1}$ nas amostras a 200 m (próximo ao fundo).

A partir da **Figura II.5.1.3.2-18** observa-se uma tendência de redução das concentrações com o afastamento da costa nos três estratos. Destaca-se as elevadas concentrações em frente à boca da Baía de Guanabara (nos três estratos) e próximo à costa de São Paulo (200 m).

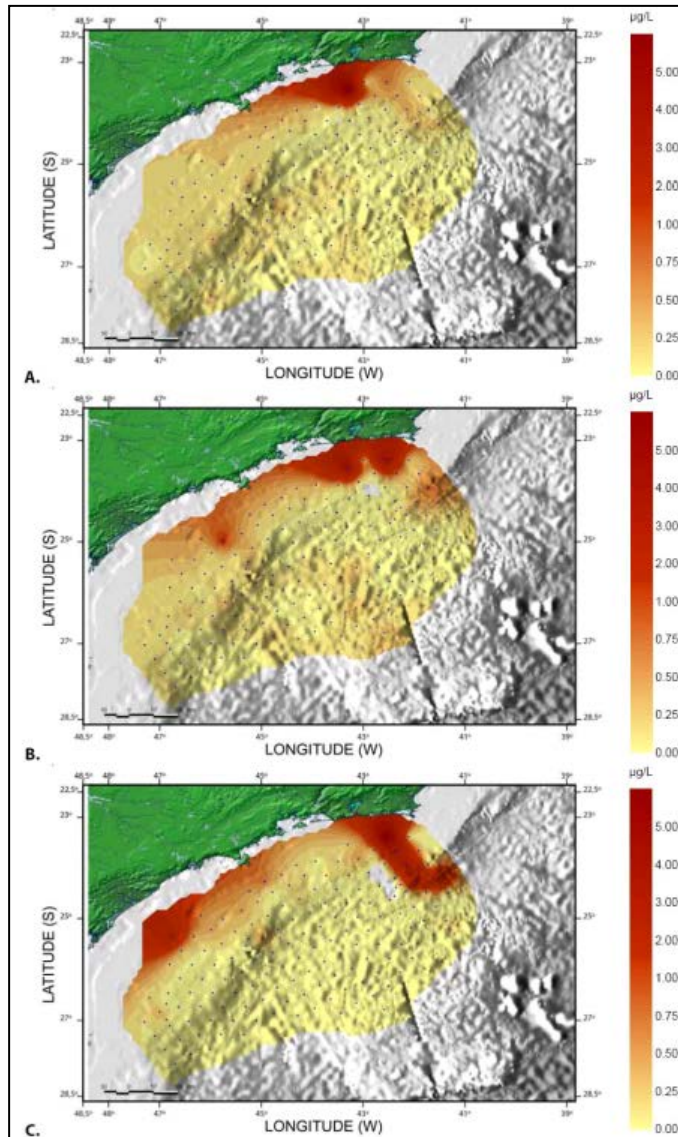


Figura II.5.1.3.2-18 – *Variação espacial da concentração de clorila-a na Bacia de Santos. A. superfície (10m); B. meia água (termoclina); C. 200 m.*

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

No domínio da plataforma interna, os máximos de clorofila-a são encontrados na zona eufótica superior ou inferior, estando sob influência direta da ACAS. Na plataforma externa e quebra da plataforma, as concentrações são mais baixas e com máximos entre 100 e 150 m de profundidade. A biomassa fitoplanctônica é mais baixa no inverno que no verão, principalmente a partir da plataforma continental externa (Figura II.5.1.3.2-19). A biomassa na figura é representada em $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ que equivale a $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

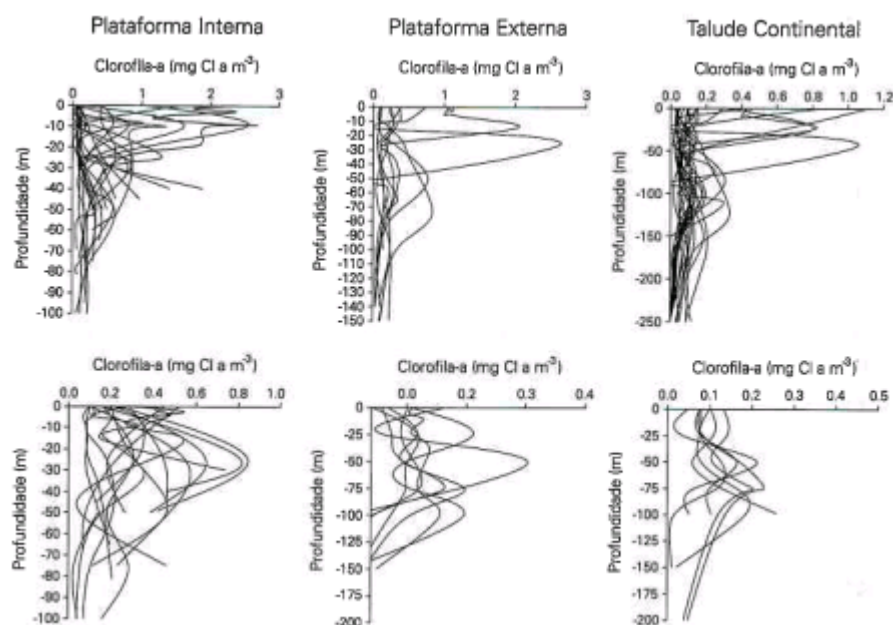


Figura II.5.1.3.2-19 – Distribuições verticais de clorofila-a na plataforma interna, externa e talude da região sul-sudeste do Brasil durante o verão (painéis superiores) e inverno (painéis inferiores).

Fonte: Rossi-Wongtschowski & Madureira (2006).

E - Sulfetos

O íon sulfeto é produto da redução dos íons sulfato na degradação da matéria orgânica, em ambientes redutores com baixas concentrações de oxigênio dissolvido (SEGUI, 2009). Dentre os estudos abordados, somente PETROBRAS/HABTEC (2003) analisou o parâmetro. O mencionado estudo verificou concentrações de sulfetos variando entre $<0,05$ e $0,93 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ($0,0017 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,32 \text{ mg.L}^{-1}$). A distribuição horizontal deste parâmetro não apresentou variações expressivas. Ao longo da coluna d'água, as concentrações foram homogêneas e baixas, onde a partir de 900 m ocorreu ligeiro incremento associado à AIA.

A comparação deste parâmetro com a Resolução CONAMA 357/05 não é pertinente uma vez que a mesma estabelece valor igual a $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ para a forma não-dissociada (H_2S), para águas salinas classe 1, enquanto que em PETROBRAS/HABTEC (2003) a concentração de sulfeto foi estabelecida pelo método descrito em Grasshoff *et al.* (1983). Este método quantifica a concentração de sulfetos totais, equivalente ao somatório das espécies HS^- , $\text{S}^{=}$ e H_2S .

F - Carbono Orgânico Total

O carbono orgânico dissolvido (COD) somado ao carbono orgânico particulado (COP) constitui o carbono orgânico total (COT), parâmetro base para início da discussão da geoquímica orgânica. Thurman (1985) salienta que o COD (material filtrado em filtros de $0,45 \mu\text{m}$) trata-se da fração mais reativa comparada ao COP (material retido em filtros de $0,45 \mu\text{m}$), por incluir compostos no estado dissolvido, enquanto o carbono particulado corresponderia a fragmentos animais e vegetais e matéria orgânica incorporada a siltes e argilas.

As concentrações de COT na região dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 levantadas em PETROBRAS/HABTEC (2003) variaram entre valores inferiores a $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ (limite de detecção do método analítico) e $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$, com maior concentração presente em amostra acima da termoclina.

Horizontalmente, os valores apresentaram variação heterogênea, mas dentro de uma mesma faixa. Ao longo da coluna d'água a distribuição de COT foi relativamente homogênea, sem um padrão claro de variação (**Figura II.5.1.3.2-20**).

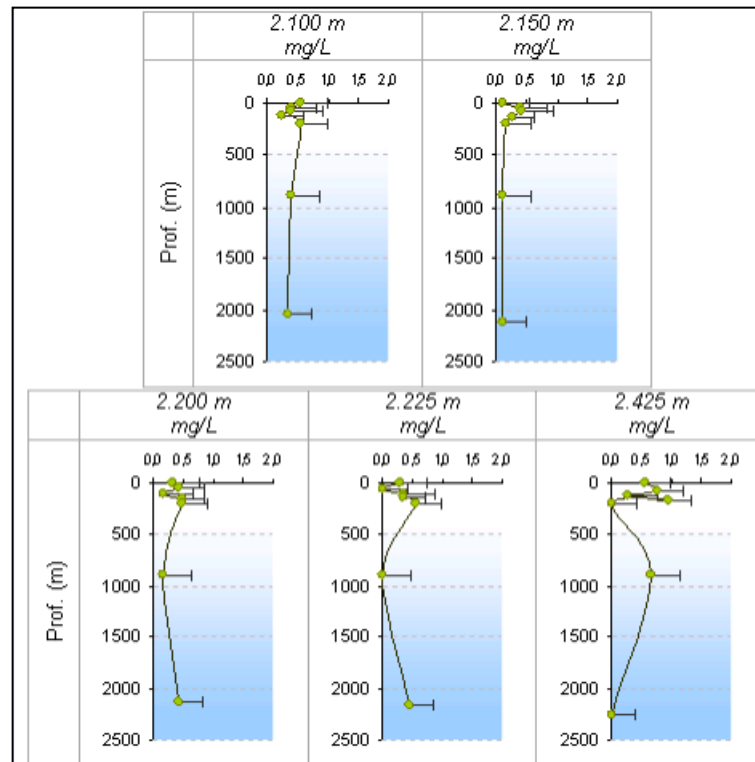


Figura II.5.1.3.2-20 – Variação vertical (média) de carbono orgânico total (mg.L^{-1}) em diferentes isóbatas na Bacia de Santos. A barra horizontal indica o desvio padrão.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) mensuraram concentrações de COD na Bacia de Santos, que variaram desde não detectadas ($LD=1\%$ ou 1 mg.L^{-1}) até $33,56\%$ (ou $33,56 \text{ mg.L}^{-1}$). As concentrações elevadas se restringiram a uma área mais profunda da bacia, onde se localizam os Blocos BS-1, BM-S-8 e BM-S-9. Excetuando-se essa área, nos três estratos avaliados a distribuição de COD foi homogênea, apresentando valores inferiores a 4% ($= 4 \text{ mg.L}^{-1}$) (**Figura II.5.1.3.2-21**).

Salienta-se que a distribuição de COD segundo MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) é apresentada no presente trabalho devido ao caráter regional. A fração dissolvida do carbono orgânico constitui a maioria do valor total deste parâmetro (PEDROSA *et al.*, 2006). Os autores citam que águas mais profundas são comumente enriquecidas de COD em decorrência de processos biogênicos, refletindo uma heterogeneidade na composição da matéria orgânica dissolvida. Os maiores valores detectados por MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) refletem eutrofização da área ocupada pela massa d'água ACAS (PEDROSA *et al.*, 2006).

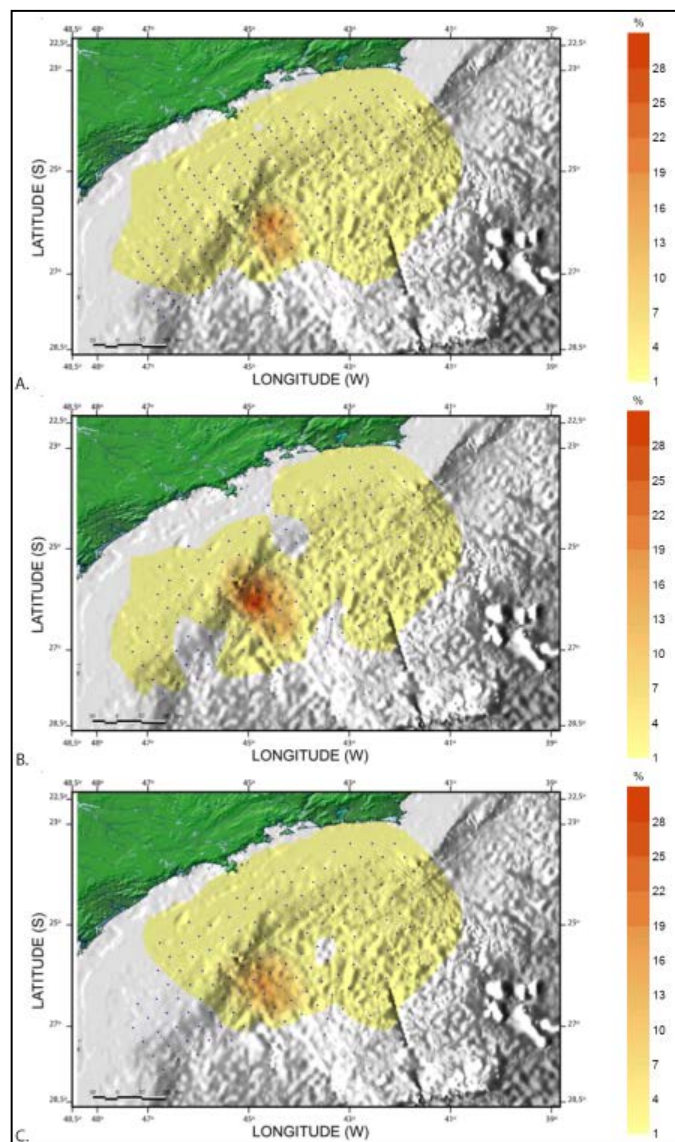


Figura II.5.1.3.2-21 – Variação espacial da concentração de carbono orgânico total dissolvido na Bacia de Santos. A. superfície (10m); B. meia água (termoclina); C. fundo ou 200 m de profundidade.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

G - Fenóis

Os fenóis são compostos pouco solúveis ou insolúveis em água, ligeiramente ácidos, obtidos principalmente através da extração de óleos. Os fenóis e seus derivados aparecem nas águas naturais através das descargas de efluentes industriais e também por influência de atividades petrolíferas (OLIVEIRA & OLIVEIRA, 2000).

Na região dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 foi verificada variação das concentrações de fenóis entre $<0,001 \text{ mg.L}^{-1}$ (abaixo do limite de detecção) e $0,012 \text{ mg.L}^{-1}$, com concentração média igual a $0,003 \pm 0,002 \text{ mg.L}^{-1}$. Ao longo da coluna d'água, os maiores valores foram observados nas profundidades da termoclina e abaixo dessa feição (PETROBRAS/HABTEC, 2003). O trabalho justifica a detecção destes compostos na termoclina na remineralização, uma vez que os fenóis são compostos aromáticos de baixo peso molecular e poderiam ser assimilados pela cadeia trófica na zona eufótica.

MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) apresentaram a distribuição das concentrações de fenóis na Bacia de Santos, onde verificou-se maior ocorrência dessas substâncias nas amostras de superfície, com média de $0,03 \mu\text{g.L}^{-1}$ e concentrações mais elevadas ao norte da Bacia e próximo à costa, chegando até $0,47 \mu\text{g.L}^{-1}$. Nas análises realizadas nas profundidades de termoclina e fundo não foram detectadas concentrações de fenóis ($\text{LD}=0,01 \mu\text{g.L}^{-1}$) em grande parte das estações, porém ocorreram picos ao norte da bacia, chegando a $0,63 \mu\text{g.L}^{-1}$ na termoclina e $0,97 \mu\text{g.L}^{-1}$ na amostras de fundo (200 m). Ao longo da coluna d'água, em geral foram verificadas menores concentrações em direção ao fundo, com exceção da área em frente ao Rio de Janeiro (próximo a Arraial do Cabo), que apresentou elevadas concentrações a 200 m e na meia-água, respectivamente (**Figura II.5.1.3.2-22**).

Destaca-se que mesmo os maiores valores reportados foram bastante inferiores ao máximo estipulado para águas salinas classe 1 pela Resolução CONAMA 357/05 ($60 \mu\text{g.L}^{-1}$ ou $0,06 \text{ mg.L}^{-1}$).

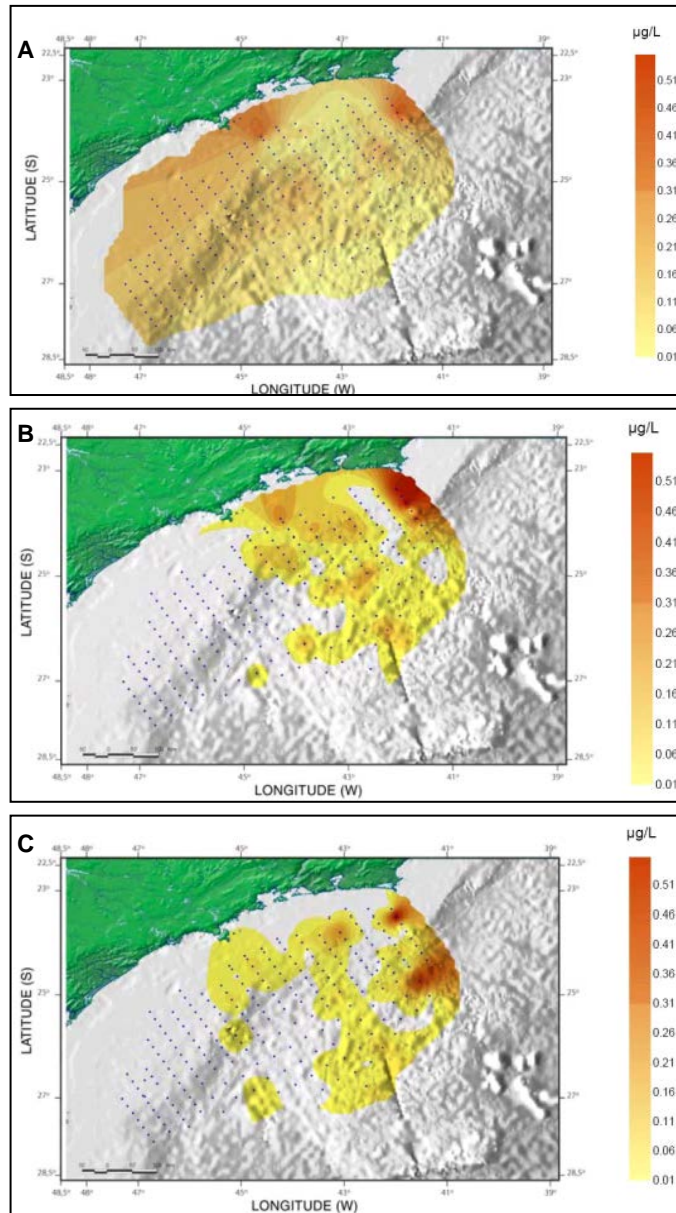


Figura II.5.1.3.2-22 – Variação espacial da concentração de fenóis na Bacia de Santos. A. superfície (10m); B. meia água (termoclina); C. 200 m.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

H - Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPAs)

Segundo Kennish (1997), as principais fontes de HPAs para o ambiente aquático são os derramamentos de óleo, deposições atmosféricas, águas residuais, lixiviação e biossíntese. O mesmo autor cita concentrações médias de $0,4 \mu\text{g.L}^{-1}$ para águas superficiais do Oceano Atlântico, variando de $0,13$ a $1,3 \mu\text{g.L}^{-1}$.

No trabalho de PETROBRAS/HABTEC (2003), dentre os HPAs avaliados (16 ditos prioritários pela USEPA) foram detectados os seguintes: naftaleno, acenafteno, fluoreno e fenantreno, cujas concentrações variaram de $<0,03$ a $3,00 \mu\text{g.L}^{-1}$; $<0,03$ a $0,04 \mu\text{g.L}^{-1}$; $<0,03$ a $0,10 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $<0,03$ a $0,11 \mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente. A maior concentração de naftaleno, fluoreno e fenantreno ocorreu na termoclina, enquanto que o acenafteno foi quantificado na superfície e na termoclina. O naftaleno foi o único HPA identificado em todos os pontos amostrais e quase todos os estratos.

Na região do Bloco BS-4, durante os monitoramentos apresentados em SHELL/AS (2001, 2001a, 2002), foram observadas concentrações de HPAs entre abaixo do limite de detecção ($\text{LD}=0,01 \mu\text{g.L}^{-1}$) e $4,54 \mu\text{g.L}^{-1}$, porém predominaram baixas concentrações, como verificado nas médias apresentadas no **Quadro II.5.1.3.2-8**, condizentes a valores naturais, segundo Kennish (1997) e Law (1981).

Quadro II.5.1.3.2-8 – Concentrações de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água do mar verificadas em monitoramentos ambientais realizados na área do Bloco BS-4 na Bacia de Santos.

Estudo	Poço	Campanha	n-amostral	Profundidade	Faixa Observada (min-max)	Média± Desvio Padrão
SHELL/AS (2001)	Poço 1-SHEL-4-RJS	1ª Campanha	9	10 m	<0,01	-
		(Fevereiro de 2001)		100 m	<0,01	-
		2ª Campanha		10 m	<0,01-0,2	-
		(Abril de 2001)		100 m	<0,01-0,2	-
SHELL/AS (2001a)	Poço 1-SHEL-5-RJS	1ª Campanha	7	10 m	0,30-3,70	0,83±1,27
		(Abril de 2001)		100 m	0,30-0,60	0,43±0,13
		2ª Campanha		10 m	0,10-1,80	0,34±0,64
		(Maio de 2001)		100 m	0,10-0,30	0,13±0,08
SHELL/AS (2002)	Poço 3-SHEL-8-RJS	1ª Campanha	7	10 m	<0,01	-
		(Agosto de 2001)		100 m	<0,01	-
		2ª Campanha		10 m	0,23-4,54	1,01±1,56
		(Dezembro de 2001)		100 m	0,02-0,53	0,31±0,21

Em MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) foi observada grande oscilação nos valores de HPAs na Bacia de Santos, com a maior parte da bacia apresentando concentrações baixas, como observado para o Bloco BS-4 e no estudo de PETROBRAS/HABTEC (2003), com picos ao norte da bacia em superfície e no fundo, e na área próxima ao Bloco BM-S-21, na termoclina. As concentrações variaram de abaixo do limite de detecção ($\text{LD}=0,01 \mu\text{g.L}^{-1}$) até $21,30 \mu\text{g.L}^{-1}$, com média de $0,41 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Figura II.5.1.3.2-23).

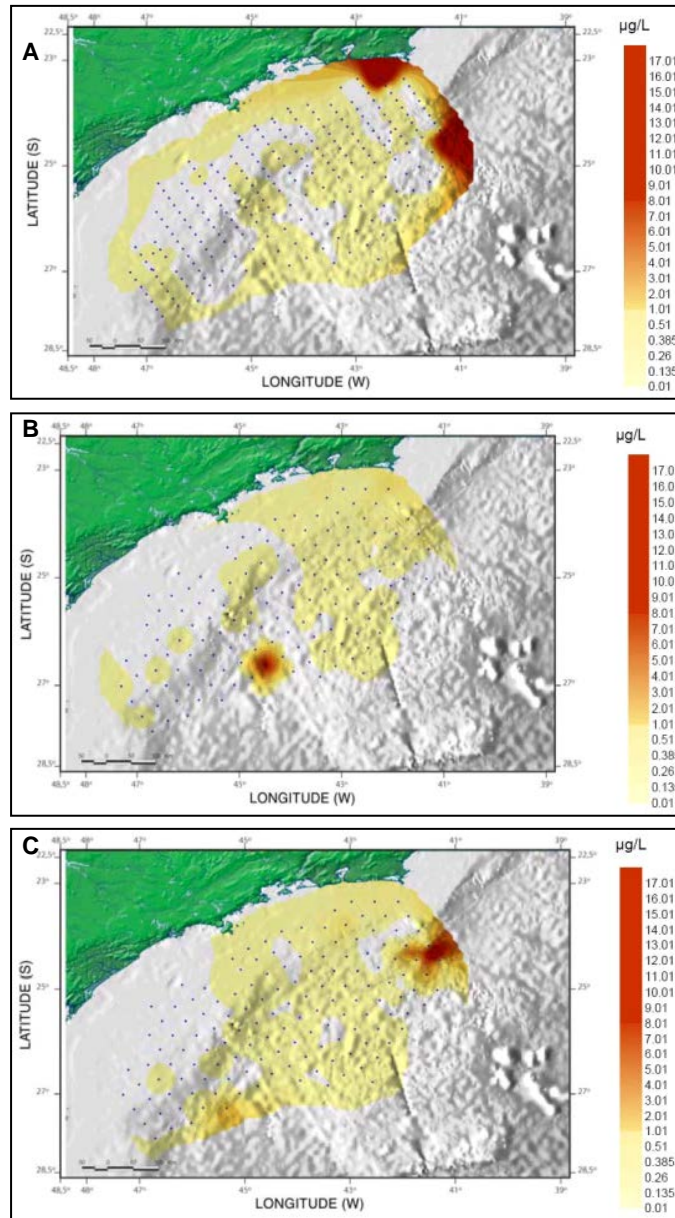


Figura II.5.1.3.2-23 – Variação espacial da concentração de HPAs totais na Bacia de Santos. A. superfície (10m); B. meia água (termoclina); C. fundo ou 200 m de profundidade.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

I - Hidrocarbonetos Totais (HTPs)

Os hidrocarbonetos presentes em águas oceânicas podem ter origem autóctone, como derivados da decomposição de algas, zooplâncton ou bactérias, ou alóctone, provenientes de detritos naturais ou fósseis, seja por exsudações naturais do fundo oceânico ou poluição.

Law (1981) citou que amostras com concentrações abaixo de $1,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ representariam regiões sem contribuição antropogênica de hidrocarbonetos de petróleo; enquanto amostras entre $1,0$ e $2,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ indicariam a existência de alguma ação antropogênica e amostras acima de $2,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ indicariam regiões afetadas, devido à introdução de hidrocarbonetos de petróleo.

Na região dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 não foram quantificadas concentrações de hidrocarbonetos totais do petróleo (HTP), cujo limite de quantificação do método analítico foi igual a $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ (PETROBRAS/HABTEC, 2003).

As concentrações de HTP encontradas na área do Bloco BS-4 variaram desde abaixo do limite de detecção ($\text{LD}=0,01 \mu\text{g.L}^{-1}$) até $564,00 \mu\text{g.L}^{-1}$. Os maiores valores foram observados no entorno do Poço 3-SHEL-8-RJS em ambas as campanhas de monitoramento, não refletem condições naturais do ambiente e indicam aporte antrópico segundo Law (1981). Nos demais casos, a maioria das concentrações estiveram abaixo do limite de detecção ou foram baixos (**Quadro II.5.1.3.2-9**) (SHELL/AS, 2001; SHELL/AS, 2001a e SHELL/AS, 2002).

Quadro II.5.1.3.2-9 – Concentrações de Hidrocarbonetos Totais do Petróleo (HTPs) ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água do mar verificadas em monitoramentos ambientais realizados na área do Bloco BS-4 na Bacia de Santos.

Estudo	Poço	Campanha	n-amostral	Profundidade	Faixa Observada (min-max)	Média± Desvio Padrão
SHELL/AS (2001)	Poço 1-SHEL-4-RJS	1ª Campanha	9	10 m	<0,01	-
		(Abril de 2001)		100 m	<0,01	-
		2ª Campanha		10 m	<0,01	-
		(Maio de 2001)		100 m	<0,01	-
SHELL/AS (2001a)	Poço 1-SHEL-5-RJS	1ª Campanha	7	10 m	0,90-8,60	4,34±2,57
		(Abril de 2001)		100 m	0,50-7,80	3,94±3,08
		2ª Campanha		10 m	<0,01	-
		(Maio de 2001)		100 m	<0,01-43	-
SHELL/AS (2002)	Poço 3-SHEL-8-RJS	1ª Campanha	7	10 m	10-243	157±71,52
		(Agosto de 2001)		100 m	88-564	238±178,27
		2ª Campanha		10 m	28-378	204±149,74
		(Dezembro de 2001)		100 m	35-322	122±95,42

O levantamento realizado por MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) para toda a Bacia de Santos demonstrou áreas com maiores concentrações de HTP, predominantemente ao norte da Bacia, com padrão de distribuição semelhante ao encontrado para os HPAs, provavelmente associado à aporte antrópico segundo Law (1981). A maior concentração encontrada correspondeu a $2.706 \mu\text{g.L}^{-1}$ (10 m), enquanto a média para toda bacia foi de $64 \mu\text{g.L}^{-1}$ (**Figura II.5.1.3.2-24**).

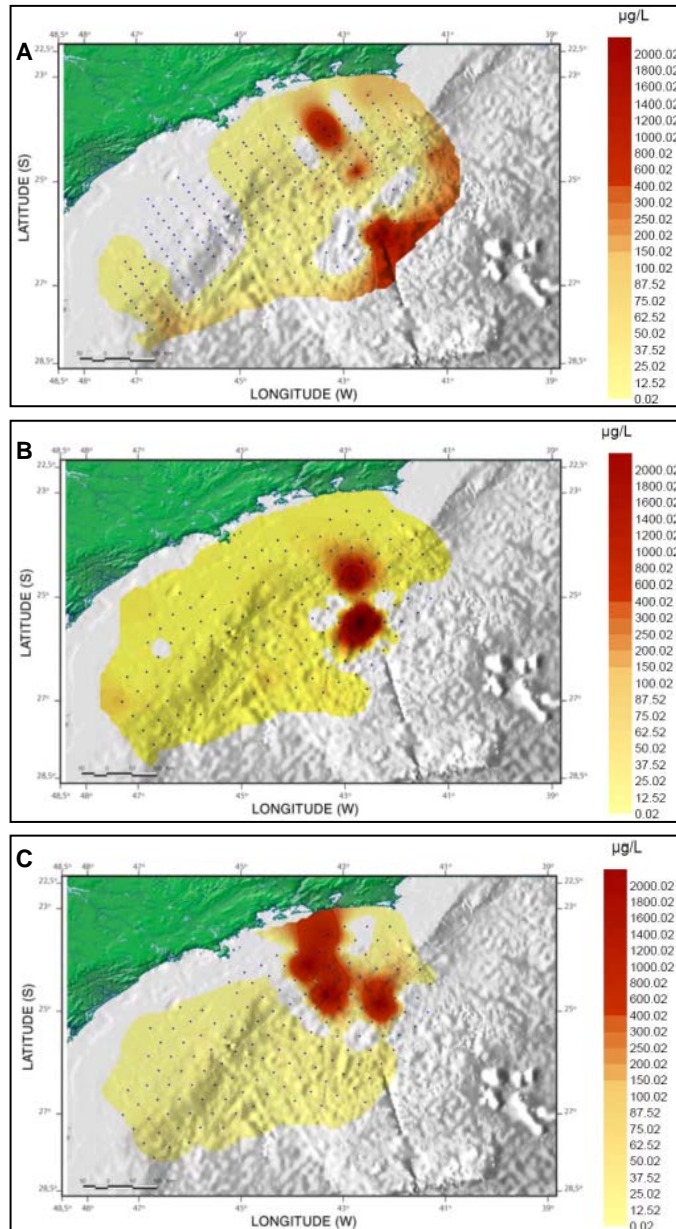


Figura II.5.1.3.2-24 – Variação espacial da concentração de HTPs na Bacia de Santos. A. superfície (10m); B. meia água (termoclina); C. fundo ou 200 m de profundidade.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

II.5.1.3.3 - Qualidade de Sedimentos

O sedimento é composto por camadas de partículas minerais e orgânicas que se encontram em contato com a parte inferior de corpos d'água (SEDNET, 2008). Giannini & Riccomini (2003) salientam que o conceito de sedimento inclui tudo o que se deposita, com transporte prévio químico ou mecânico, por vias físicas, químicas, biológicas ou bioquímicas, em um corpo d'água. Neste compartimento se instalam diversas formas de vida aquáticas. Além disto, o mesmo constitui um ambiente de deposição e acumulação de diversos compostos contaminantes, como os metais e poluentes orgânicos.

Posto isso, faz-se necessário o conhecimento do sedimento da área de estudo do Bloco de Libra, fundamentando futuras avaliações de possíveis alterações na qualidade desse sedimento em razão de atividades do empreendimento. A caracterização da qualidade dos sedimentos que compõem o assoalho marinho da área de estudo, em consonância com o Termo de Referência N° 037/14, é apresentada a seguir a partir dos seguintes parâmetros:

- Granulometria e Teor de Carbonato;
- Metais totais (bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, níquel, vanádio e zinco);
- Teor de Matéria Orgânica (MO);
- Razão C:N:P (Carbono orgânico total : Nitrogênio total : Fósforo total);
- Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPAs);
- Hidrocarbonetos Totais (HTPs).

Destaca-se que, apesar de o metal arsênio constar na lista de parâmetros solicitados no referido Termo de Referência, não existem dados referentes à distribuição deste elemento ao longo da Bacia de Santos.

A - Granulometria e Teor de Carbonatos

A granulometria do sedimento marinho é resultante de diversos fatores, como entrada de material alóctone, transporte do material autóctone e a velocidade de

corrente determinando a taxa de transporte e sedimentação. A análise da granulometria do sedimento representa um parâmetro físico importante para caracterização do ambiente, principalmente em função da tendência de correlação com as concentrações dos demais parâmetros (ABÍLIO *et al.*, 2006).

A presença de carbonatos no sedimento deve-se essencialmente aos fragmentos de exo e endoesqueletos de organismos marinhos. Nas plataformas continentais, a acumulação do carbonato de cálcio (CaCO_3) ocorre principalmente por organismos bentônicos (moluscos, foraminíferos bentônicos, briozoários, corais, etc.). Todavia, em ambientes pelágicos, a maior parte dessas partículas biogênicas presentes nos sedimentos marinhos provém de organismos planctônicos (DIAS, 2004). O mesmo autor salienta que fragmentos de esqueletos de vertebrados aparecem eventualmente nos sedimentos marinhos; entretanto, as partículas biogênicas carbonatadas mais comuns são provenientes de foraminíferos, de pterópodes, de cocolitoforídeos e de ostrácodas, ressaltando que a origem e abundância de partículas biogênicas é bastante heterogênea nos sedimentos marinhos.

O levantamento realizado por PETROBRAS/HABTEC (2003) em 30 estações amostrais na área dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21, demonstrou a predominância de finos, correspondendo a mais de 99% dos grãos na maioria das estações. Somente em duas estações (estação 2 a 2.100 m e estação 11 a 2.225 m) o percentual de sedimentos mais grossos (fração areia) foi superior a 10% (**Figura II.5.1.3.3-1**).

O trabalho de Abílio *et al.* (2006) utilizou os dados de granulometria e metais de PETROBRAS/HABTEC (2003) para discutir as distribuições na Bacia de Santos. Na **Figura II.5.1.3.3-2** são apresentados os resultados ao longo dos blocos supracitados, onde observa-se composição textural similar na maioria das estações, corroborando a característica lamosa predominante na Bacia de Santos. Há uma ligeira tendência de aumento dos teores lamosos com o aumento da batimetria.

De acordo com os resultados apresentados em SHELL/AS (2002), o sedimento superficial da área do Bloco BS-4, na Bacia de Santos, é classificado como lamoso, com predomínio de frações finas (silte e argila). Nas sete estações amostradas e em ambas as campanhas de monitoramento, a fração lamosa foi

predominante, correspondendo de 92,1 a 94,6% dos grãos, com predomínio de silte, igualmente ao observado em PETROBRAS/HABTEC (2003) (**Quadro II.5.1.3.3-1**).

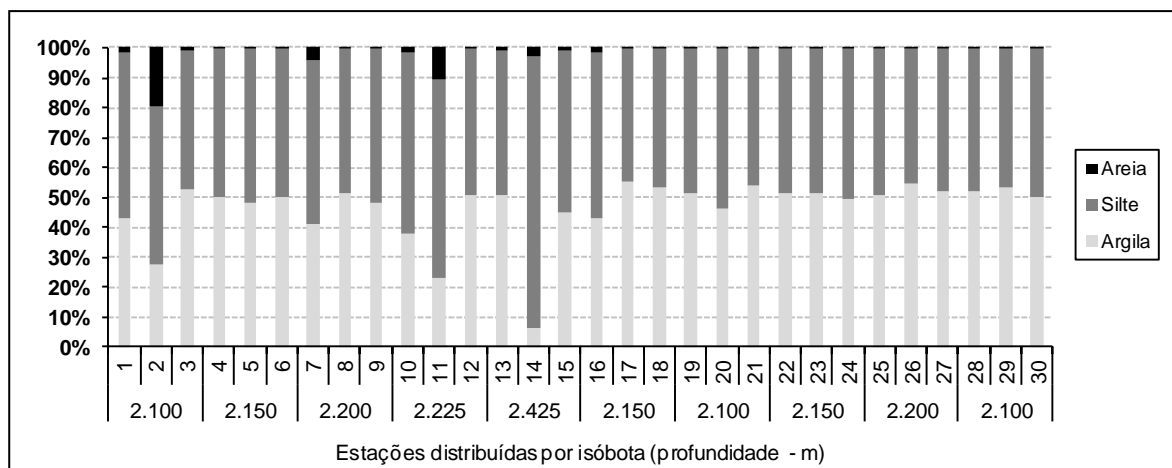


Figura II.5.1.3.3-1 – Composição granulométrica na área dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 na Bacia de Santos.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Quadro II.5.1.3.3-1 – Teores das frações granulométricas (%) no sedimento marinho verificados em monitoramentos ambientais realizados na área do Bloco BS-4 na Bacia de Santos.

Estudo	Poço	Campanha	n-amostral	Composição	Faixa Observada (min-max)	Média± Desvio Padrão
SHELL/AS (2002)	Poço 3-SHEL-8-RJS	1ª Campanha (Agosto de 2001)	7	Areia	5,4-7,9	6,2±0,8
				Silte + argila	92,1-94,6	93,7±0,8
		2ª Campanha (Dezembro de 2001)		Areia	6,0-6,8	6,5±0,3
				Silte + argila	93,2-94,0	93,5±0,3

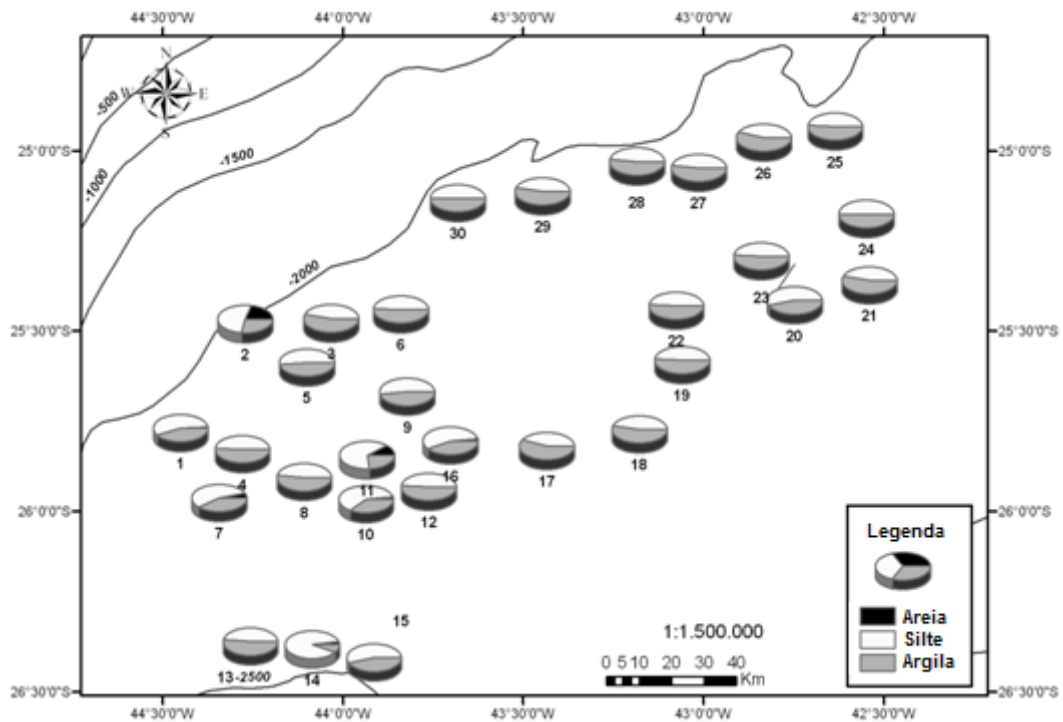


Figura II.5.1.3.3-2 – Composição granulométrica na área dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 na Bacia de Santos.

Fonte: Abílio *et al.* (2006).

Ao avaliar o trabalho de MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002), realizado também na Bacia de Santos, nota-se com mais clareza o aumento do teor de sedimento mais fino com o aumento da distância da costa. O estudo observou siltes e argilas como grãos predominantes em mais de 90% de suas amostras, com destaque para siltes com predominância em 89,2% das estações. O relatório destacou que outras frações granulométricas também foram observadas, apesar da pouca participação, e ressaltou a presença maior de areia muito fina e areia fina na plataforma interna (**Figura II.5.1.3.3-3**).

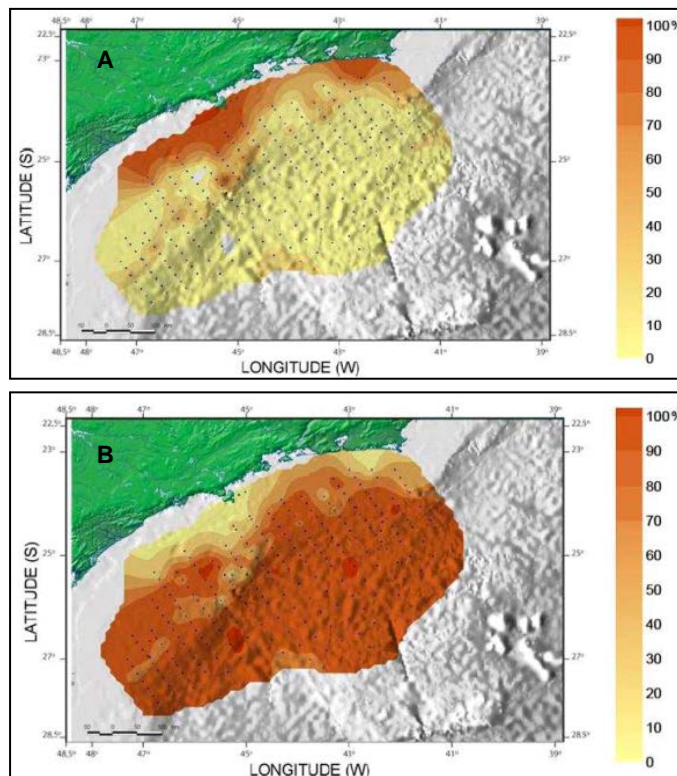


Figura II.5.1.3.3-3 – Distribuição das frações granulométricas (%) no sedimento da Bacia de Santos. A. frações arenosas; B. frações lamosas.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

Com relação aos carbonatos, o Programa REVIZEE SCORE SUL identificou predomínio de grãos biolitooclásticos (carbonatos entre 50 e 70%) e litobioclásticos (carbonatos entre 30 e 50%) na região sudeste do Brasil até faixa batimétrica no entorno de 300 m (FIGUEIREDO JR. & TESSLER, 2004), além de uma granulometria bastante similar à verificada na região adjacente ao Bloco de Libra, com predominância de grãos finos, como pode ser verificado na **Figura II.5.1.3.3-4**.

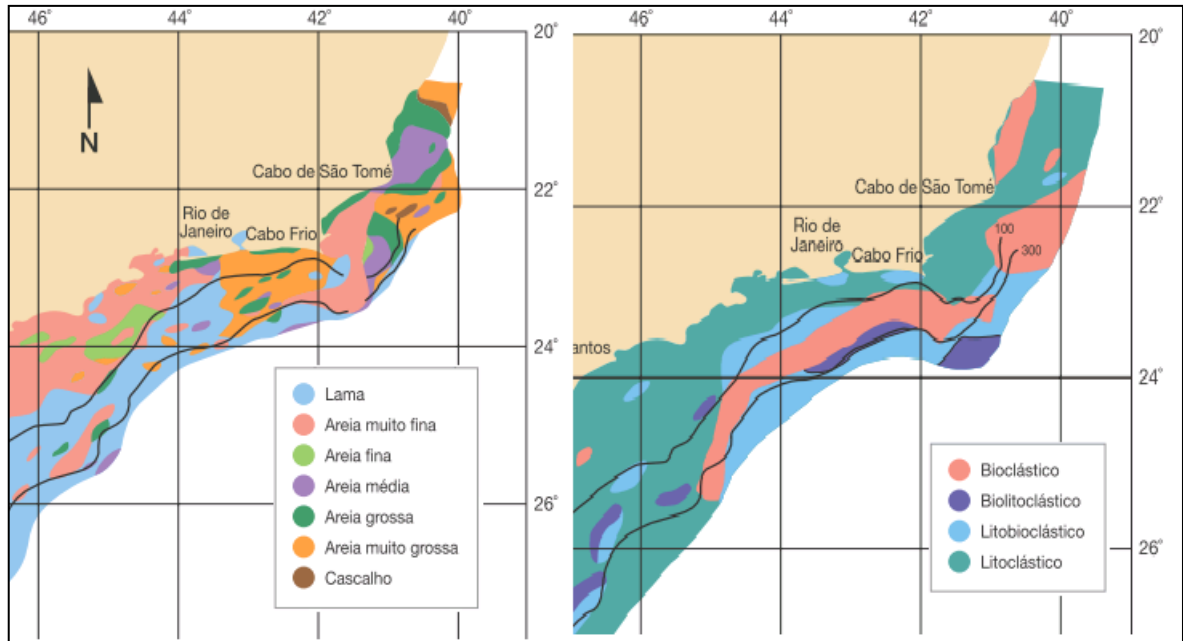


Figura II.5.1.3.3-4 – Distribuição da granulometria (diâmetro médio) e composição dos sedimentos na região sudeste do Brasil.

Fonte: modificado de Figueiredo JR. & Tessler (2004).

Na região dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 foram observados valores de carbonatos entre 56,65 e 61,74%, indicando a riqueza de carbonatos nos sedimentos e a existência de vazas de organismos (PETROBRAS/HABTEC, 2003) (**Figura II.5.1.3.3-5** e **Figura II.5.1.3.3-6**).

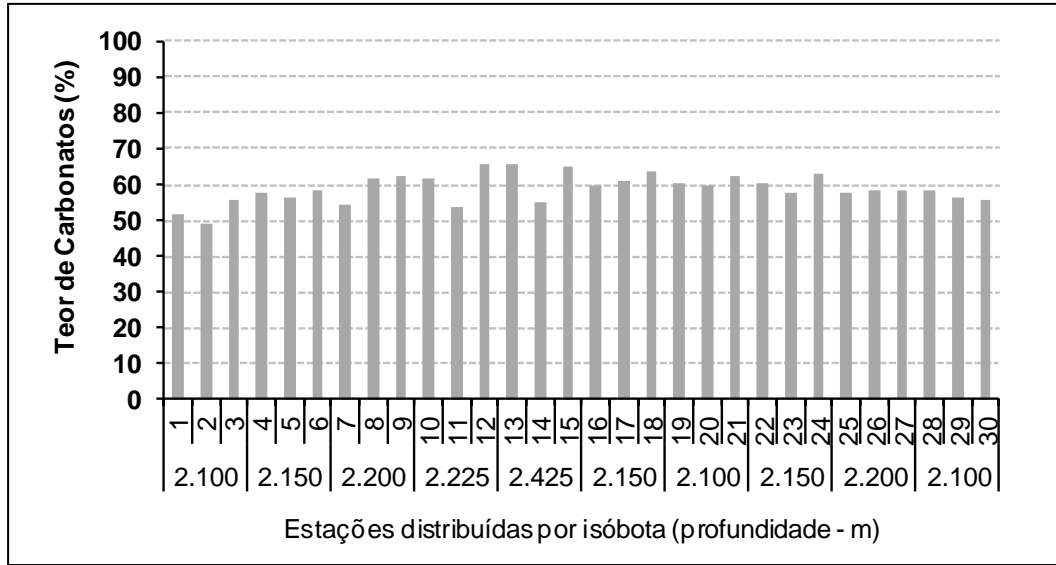


Figura II.5.1.3.3-5 – Distribuição dos teores de carbonato (%) na área dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 na Bacia de Santos.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

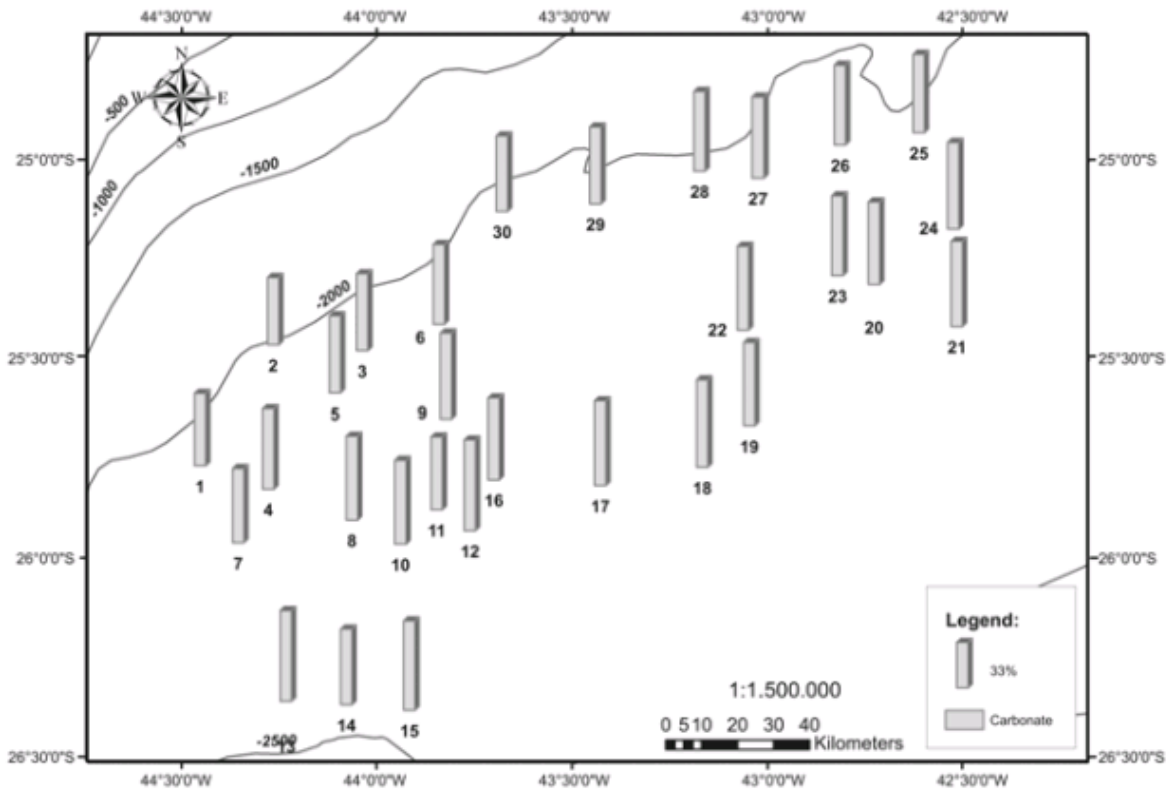


Figura II.5.1.3.3-6 – Teores de carbonatos (%) na área dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 na Bacia de Santos. Fonte: Abílio et al. (2006).

Na **Figura II.5.1.3.3-7** é notável que na faixa batimétrica entre 100 e 150 m ao longo de toda a Bacia de Santos estão altas concentrações de carbonato, que podem chegar até 96,8%. Este sedimento biogênico está localizado na plataforma externa e se estendendo até o talude (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002). Em geral, na plataforma interna do sudeste são esperadas concentrações entre 0,01 e 2,66% de carbonato, como apontado por Lacerda & Marins (2006). Por outro lado, Mahiques *et al.* (2004) citam concentrações maiores na plataforma e no talude, oscilando entre 10 e 50%, com a presença do cinturão nas isóbatas de 100 a 200 m com teores na ordem de 70-90% (**Figura II.5.1.3.3-8**).

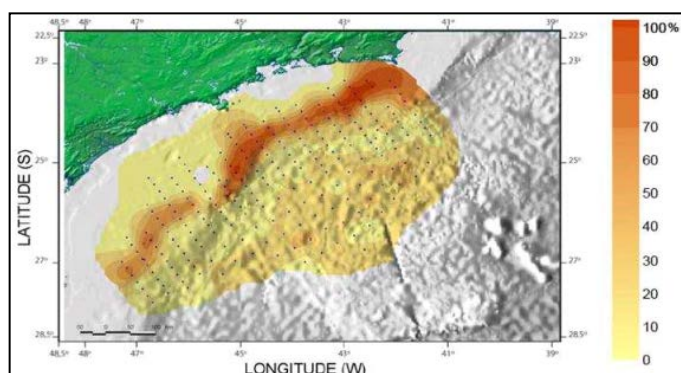


Figura II.5.1.3.3-7 – Distribuição das concentrações de carbonato (%) no sedimento da Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

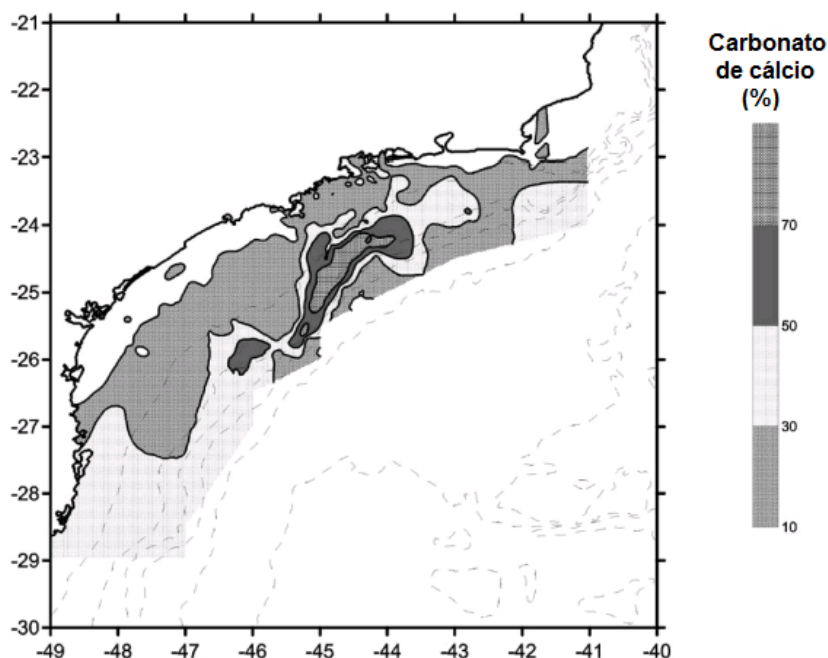


Figura II.5.1.3.3-8 – Distribuição das concentrações de carbonato (%) no sedimento no sudeste do Brasil.

Fonte: Mahiques *et al.* (2004).

B - Metais totais

As concentrações de metais no sedimento podem ter fonte autóctone ou alóctone, relacionadas a características naturais do ambiente ou a fatores antrópicos. Os metais ferro, alumínio e manganês, por exemplo, são encontrados naturalmente em altas concentrações no ambiente, indicando o tipo de rocha originária do sedimento. O bário, por sua vez, tende a baixas concentrações em ambientes naturais e elevações em seus teores funcionam como indicativo de influência de atividade antrópica, como perfuração de poços (HARRISON, 1999; NEFF *et al.*, 2000).

A taxa de sedimentação de partículas e o fluxo de metais variam de local para local, o que contribui para a variabilidade na concentração de metais em sedimentos. Além disso, outros aspectos como reações de redução/oxidação, processos de adsorção/desorção, transporte físico ou diluição dos sedimentos regulam a concentração de metais neste compartimento. A diagnose das

concentrações de metais é importante, principalmente, pelo potencial de toxicidade, persistência e bioacumulação na cadeia alimentar de alguns metais (HARRISON, 1999).

No **Quadro II.5.1.3.3-2** são apresentados valores médios de concentrações de diversos metais analisados na área da Bacia de Santos e também em áreas específicas da bacia, na região dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11, BM-S-21 e no Bloco BS-4. Em geral, os três estudos apresentaram concentrações semelhantes, com mesma ordem de grandeza.

Quadro II.5.1.3.3-2 - Concentrações de metais no sedimento ($\mu\text{g.g}^{-1}$) da Bacia de Santos. Valores representados equivalem a Média \pm Desvio Padrão (quando disponível). Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002), SHELL/AS (2002) e PETROBRAS/HABTEC (2003).

Estudo	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	PETROBRAS/HABTEC (2003)	SHELL/AS (2002)	
			1ª Campanha (Agosto de 2001)	2ª Campanha (Dezembro de 2001)
Campanha	Campanha de Caracterização (2002)	Campanha de Caracterização (Outubro de 2002)		
n-amostral	227	30	7	7
Bário	88,87 \pm 59,11	124 \pm 18	105,82 \pm 12,46	115,86 \pm 10,33
Cádmio	-	<0,2*	1,44 \pm 0,25	2,48 \pm 0,18
Chumbo	14,26 \pm 21,90	19 \pm 6	17,83 \pm 2,46	30,00 \pm 1,17
Cobre	5,7 \pm 6,90	21 \pm 1	15,15 \pm 1,31	14,27 \pm 1,65
Cromo	15,41 \pm 6,84	28 \pm 3	18,24 \pm 1,71	24,85 \pm 1,17
Ferro	16427,02 \pm 25.902,77	-	-	-
Manganês	540,75 \pm 540,88	602 \pm 30	432,60 \pm 79,56	527,83 \pm 37,63
Mercurio	0,27 \pm 0,67	<0,1*	1,61 \pm 0,59	0,16 \pm 0,03
Níquel	13,30 \pm 8,32	19 \pm 2	21,73 \pm 4,08	19,86 \pm 1,39
Vanádio	26,01 \pm 28,76	38 \pm 4	17,14 \pm 1,84	28,83 \pm 13,27
Zinco	19,13 \pm 30,60	59 \pm 4	33,95 \pm 0,25	40,75 \pm 1,22

*Limite de detecção do método analítico.

Abílio *et al.* (2006) representou espacialmente as concentrações de metais observadas nos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 distinguindo-os em duas áreas: uma a oeste, com menores concentrações de metais (especialmente chumbo) e argilas, possivelmente devido a transporte de

massa no talude ou erosão promovida por correntes de fundo; e outra a leste, com maiores concentrações de metais e argilas e onde o relevo é mais suave, o que poderia facilitar o acúmulo de sedimentos finos e ricos em metais (**Figura II.5.1.3.3-9**).

Os autores também associaram algumas concentrações (Cr, Cu, Ni, Zn, Ba e V) a uma mesma fonte ou a ocorrência conjunta em uma mesma fração litogênica. Já as elevadas concentrações de manganês na Bacia de Santos podem estar relacionadas à migração de Mn^{+2} para a coluna sedimentar e reprecipitação na interface água-sedimento (ABÍLIO *et al.*, 2006).

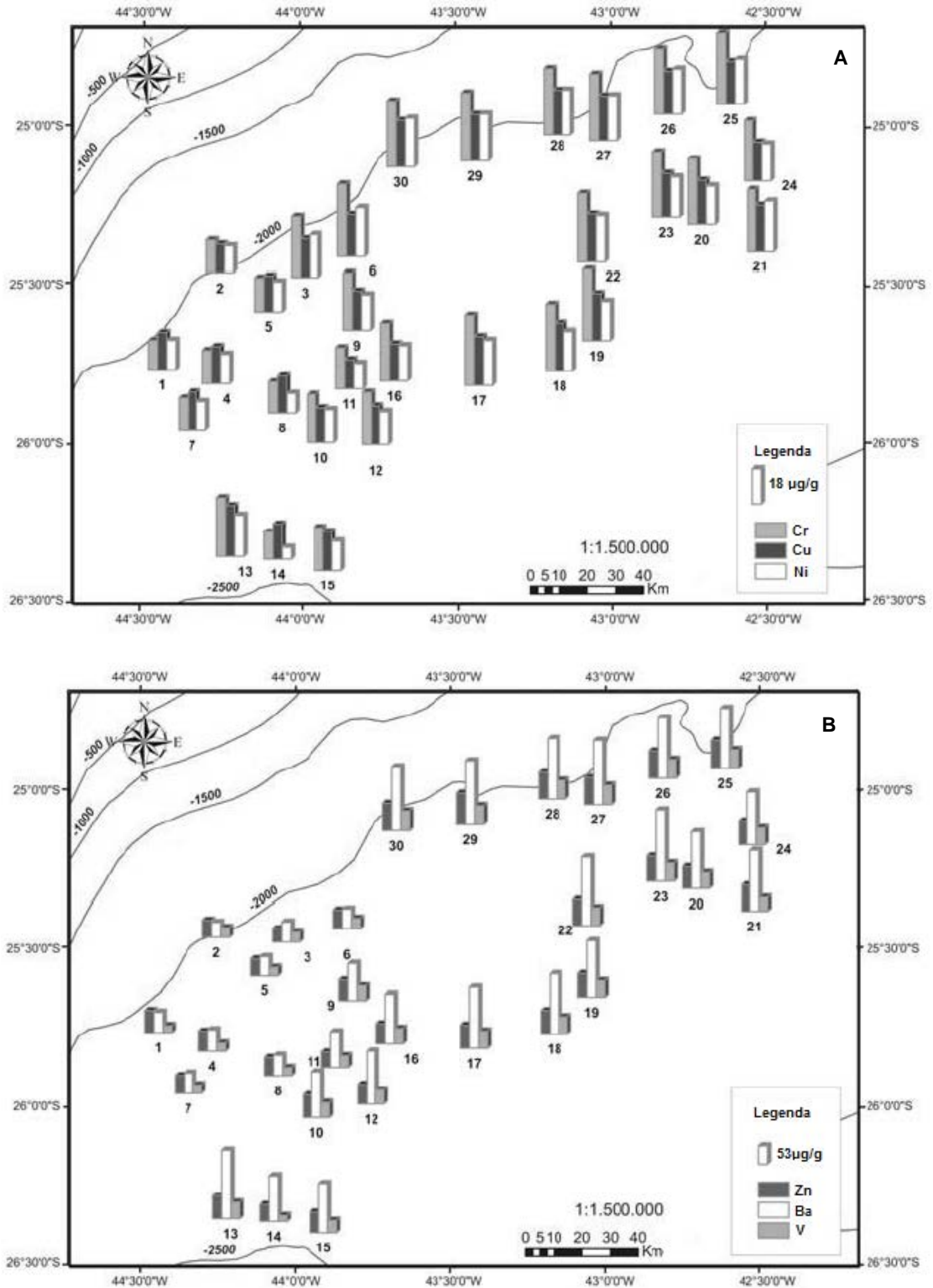


Figura II.5.1.3.3-9 A– Distribuição das concentrações dos metais Cr, Cu, Ni, Zn, Ba e V ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) na área dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 na Bacia de Santos.

Fonte: Abílio et al. (2006).

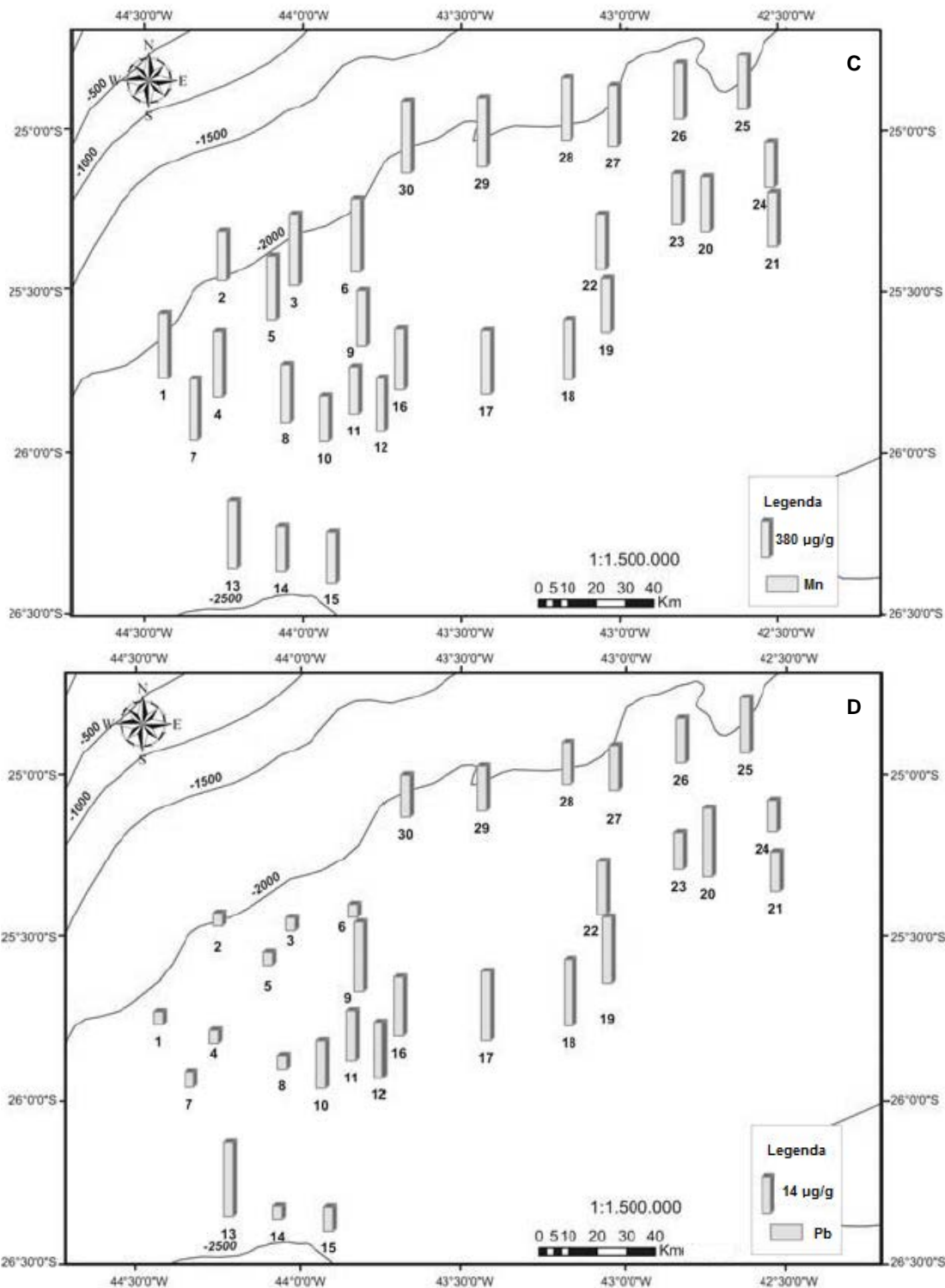


Figura II.5.1.3.3-9 B– Distribuição das concentrações dos metais Mn e Pb ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) na área dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 na Bacia de Santos.

Fonte: ABÍLIO *et al.* (2006).

A seguir estão representadas as distribuições dos metais ao longo da Bacia de Santos apresentado em MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) (**Figura II.5.1.3.3-10**).

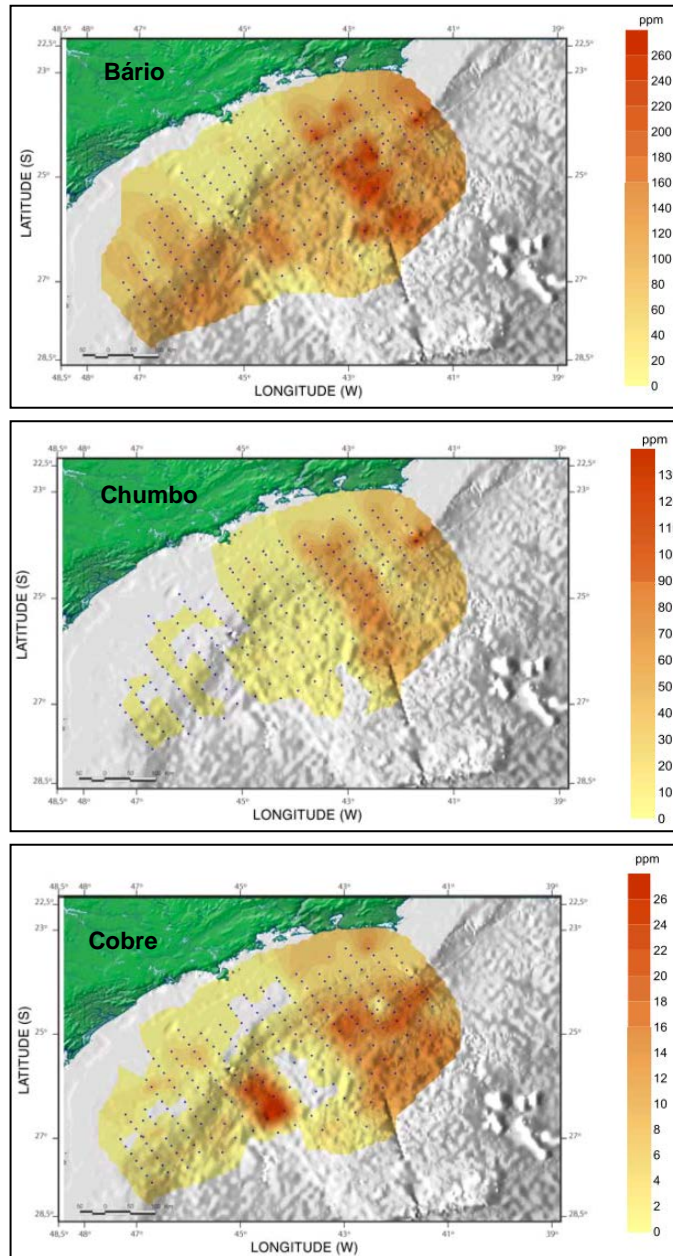


Figura II.5.1.3.3-10A – Distribuição das concentrações de metais Ba, Pb e Cu nos sedimentos da Bacia de Santos.
Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

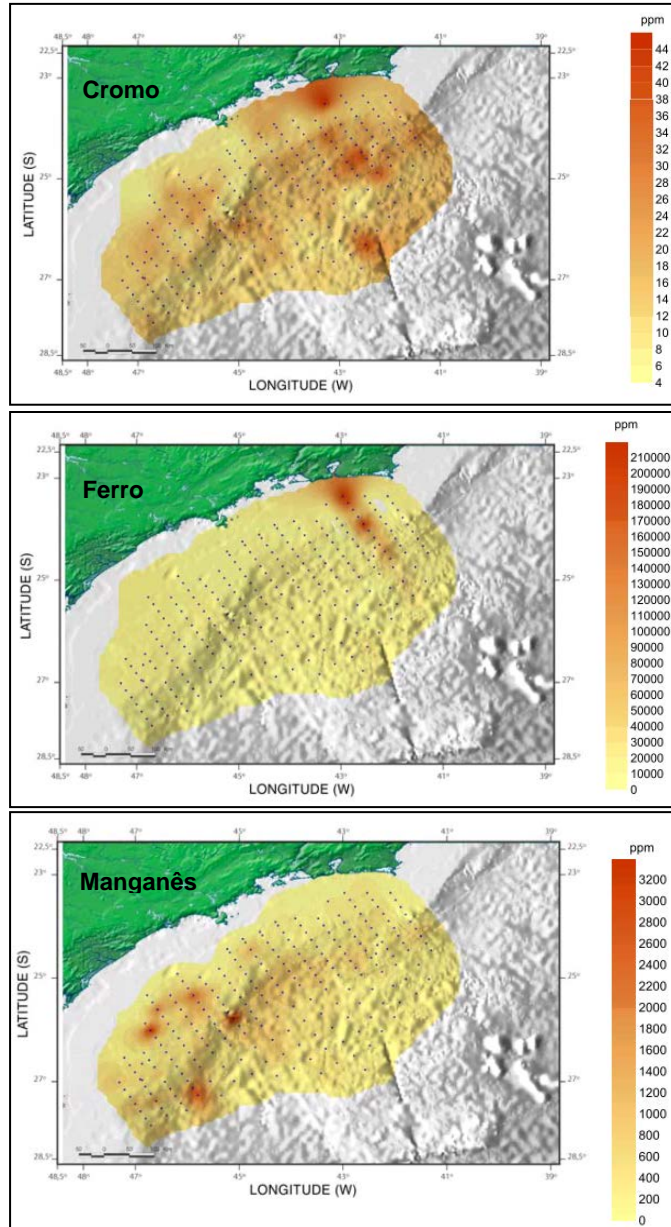


Figura II.5.1.3.3-10B – Distribuição das concentrações de metais Cr, Fe e Mn nos sedimentos da Bacia de Santos.
Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

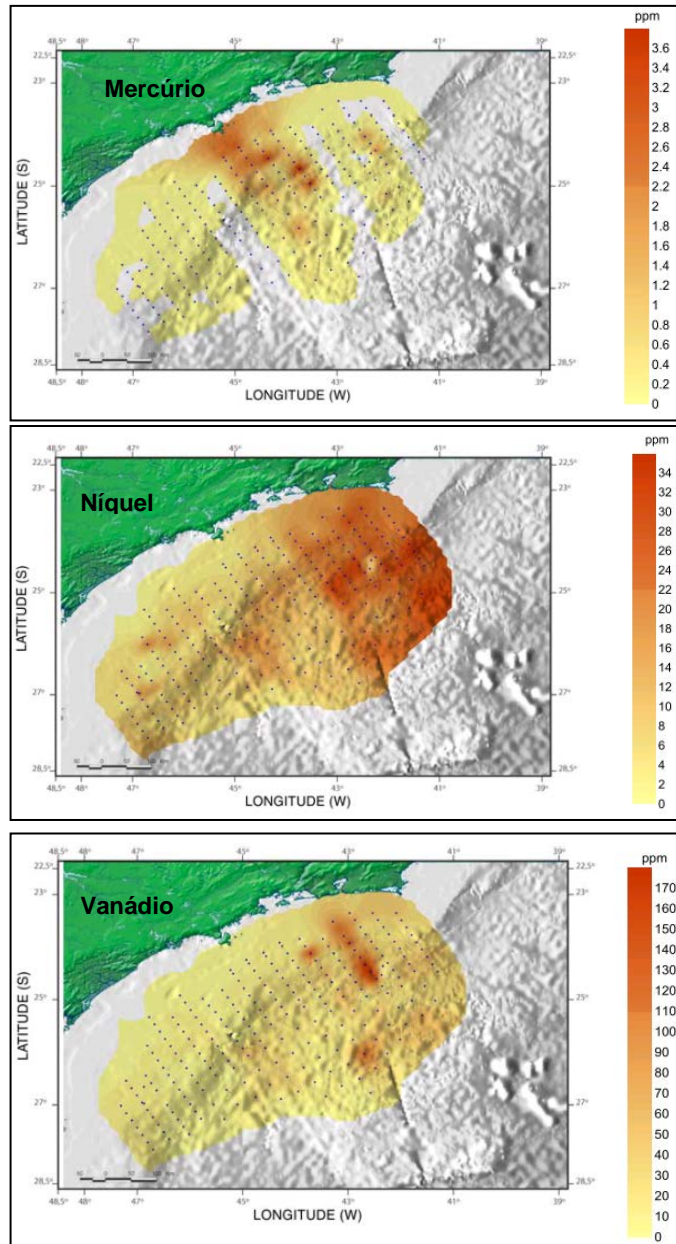


Figura II.5.1.3.3-10C – Distribuição das concentrações de metais Hg, Ni e V nos sedimentos da Bacia de Santos.
Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

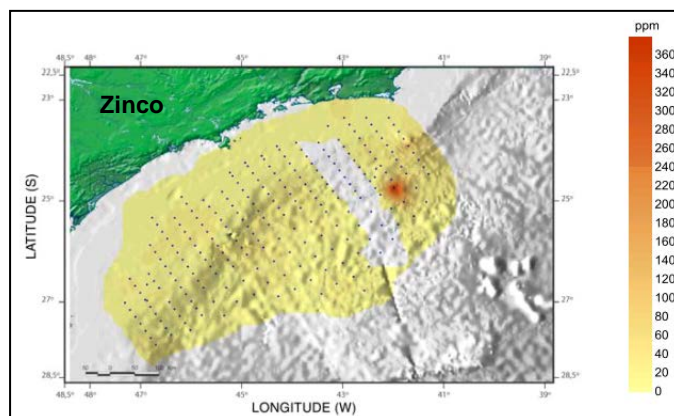


Figura II.5.1.3.3-10D – Distribuição das concentrações do metal Zn nos sedimentos da Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

C - Teor de Matéria Orgânica (MO)

Summons (1993) destaca que a matéria orgânica é constituída, principalmente, por carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, enxofre e fósforo. Os elementos que compõem a matéria orgânica são importantes componentes dos oceanos, da atmosfera e das rochas e a partir de mecanismos fisiológicos dos organismos vivos, combinados com processos físicos, químicos e geológicos naturais, os mesmos estão constantemente se redistribuindo entre os reservatórios vivos e não-vivos do sistema geosfera-biosfera (MACKENZIE *et al.*, 1993).

A análise da matéria orgânica (MO) no sedimento na Bacia de Santos, na área dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21, apresentou majoritariamente concentrações inferiores a 3 %, com valores variando de 0,75 a 9,57 %, como pode ser visto na **Figura II.5.1.3.3-11** (PETROBRAS/HABTEC, 2003)

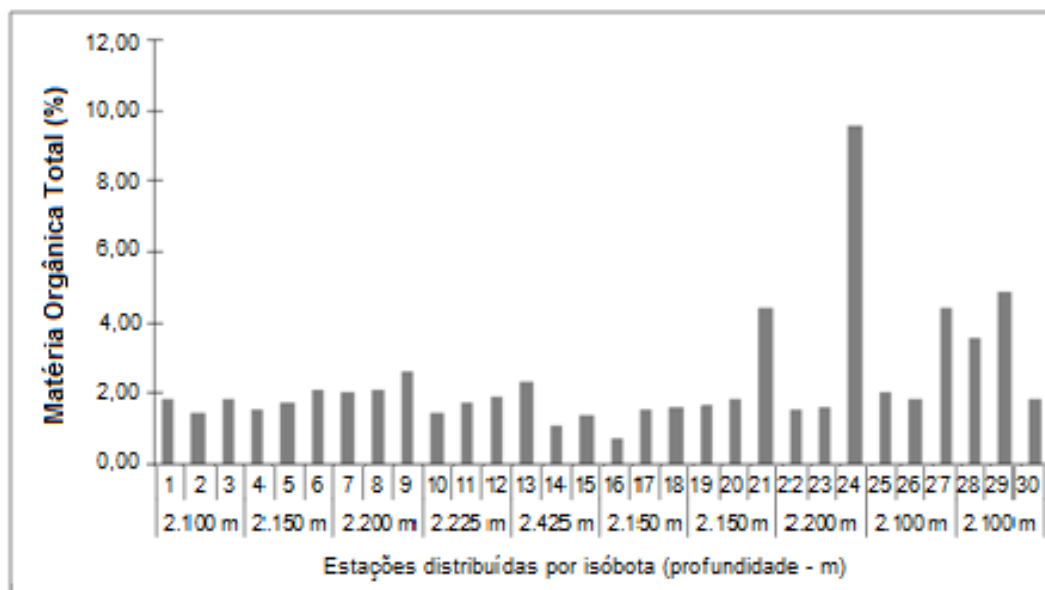


Figura II.5.1.3.3-11 – Distribuição dos teores de matéria orgânica (%) na área dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 na Bacia de Santos.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003)

D - Razão C:N:P (Carbono orgânico total : Nitrogênio total : Fósforo total)

A partir dos dados de carbono orgânico total (COT), nitrogênio (N) e fósforo (P) reportados para a área da Bacia de Santos investigada por PETROBRAS/HABTEC (2003) foram calculadas razões C:N, C:P e N:P. Previamente ao cálculo, as concentrações foram normalizadas pelo peso molar de cada elemento. As razões C:N variaram entre 6,04 e 12,45; as razões C:P entre 26,90 e 53,07; e as razões N:P entre 2,16 e 6,06 (**Quadro II.5.1.3.3-3** e **Figura II.5.1.3.3-12**).

O cálculo das razões C:N e C:P podem ser utilizados para determinar a provável origem dos teores de nitrogênio no sedimento. Segundo Prah *et al.* (1994) é possível distinguir a matéria orgânica originada de algas e de plantas terrestres. Stein (1991) atribui razões C:N inferiores a 10 a origem estritamente marinha. De acordo com Ingall & Van Cappellen (1990) e Meyers (1994 *apud* SANTOS, 2007), o material de origem fitoplanctônica apresenta razão C:N entre 4 e 10 e C:P em torno de 106, enquanto plantas vasculares apresentam razão C:N superiores a 20 e razão C:P variando de 800 até valores superiores a 2.000.

Muller & Mathesius (1999) citam razão C:N indicativas de organismos bentônicos, que são ricos em proteínas, próximos a 4,0. Os valores encontrados de razão C:N para os blocos da Bacia de Santos remeteram à origem fitoplânctônica considerando-se os autores supracitados.

Quadro II.5.1.3.3-3 - Concentrações de COT, nitrogênio e fósforo (%) e razões C:N, C:P e N:P no sedimento na área dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 na Bacia de Santos. Adaptado de PETROBRAS/HABTEC (2003).

Estação	COT (%)	NT (%)	PT (%)	C:N	C:P	N:P
1	0,71	0,06	0,06	11,41	31,00	2,33
2	0,40	0,05	0,04	9,53	27,59	2,48
3	0,83	0,12	0,05	6,78	40,15	5,07
4	0,71	0,08	0,06	8,95	33,34	3,19
5	0,76	0,09	0,05	8,19	36,47	3,82
6	0,75	0,10	0,04	7,15	50,56	6,06
7	0,52	0,07	0,05	7,09	26,90	3,25
8	0,74	0,06	0,06	12,09	30,50	2,16
9	0,72	0,10	0,05	7,16	37,80	4,52
10	0,53	0,06	0,03	9,51	41,93	3,78
11	0,58	0,10	0,05	6,04	28,49	4,05
12	0,74	0,09	0,05	8,44	39,15	3,98
13	0,76	0,06	0,04	12,45	51,97	3,58
14	0,41	0,05	0,03	7,73	33,28	3,69
15	0,56	0,06	0,04	9,66	34,73	3,08
16	0,56	0,06	0,05	8,61	31,50	3,13
17	0,72	0,09	0,06	8,15	33,49	3,52
18	0,87	0,07	0,05	11,85	43,36	3,14
19	0,80	0,08	0,05	10,31	42,88	3,56
20	0,80	0,08	0,04	10,61	53,07	4,29
21	0,73	0,09	0,04	7,98	45,92	4,93
22	0,74	0,09	0,06	8,52	32,76	3,30
23	0,83	0,09	0,04	9,65	48,45	4,30
24	0,71	0,08	0,04	9,24	49,25	4,57
25	0,79	0,08	0,04	9,45	47,89	4,35
26	0,86	0,08	0,04	10,72	51,04	4,08
27	0,78	0,10	0,04	8,08	51,42	5,45
28	0,76	0,09	0,04	8,25	49,24	5,12
29	0,88	0,09	0,05	10,14	49,71	4,20
30	0,75	0,08	0,04	9,07	45,41	4,29
Mínimo	0,40	0,05	0,03	6,04	26,90	2,16
Máximo	0,88	0,12	0,06	12,45	53,07	6,06
Média	0,71	0,08	0,05	9,09	40,64	3,91

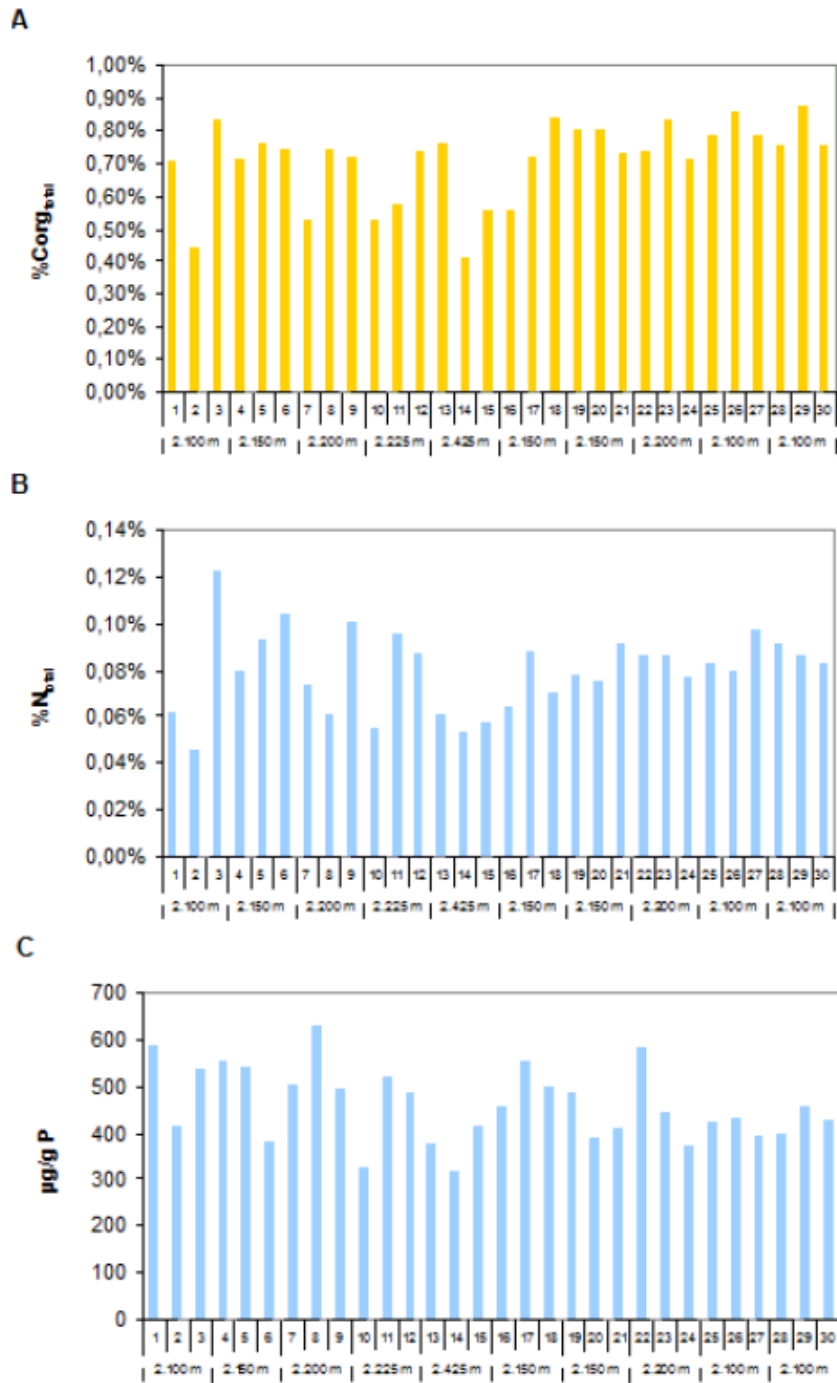


Figura II.5.1.3.3-12 – Distribuição dos teores de carbono orgânico total, nitrogênio total e fósforo total encontrados na área dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 na Bacia de Santos. Os números no eixo horizontal representam as estações de coleta de dados por faixa batimétrica.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

E - Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPAs)

Os HPAs são compostos orgânicos que apresentam em sua estrutura química entre 2 e 6 anéis aromáticos. Segundo os autores Killops & Killops (1993) e Walker *et al.* (2005), existem três categorias de HPAs: (1) compostos petrogênicos, que são derivados da lenta maturação da matéria orgânica sob condições geotermiais; (2) compostos pirogênicos, que são derivados da combustão incompleta da matéria orgânica recente (ex. queima de biomassa) e fóssil (ex. carvão); e (3) produtos diagenéticos, que são derivados da degradação diagenética de precursores biogênicos. Law & Biscaya (1994) acrescentam ainda outra categoria: (4) origem biogênica, que são sintetizados por organismos como bactérias, plantas e fungos.

Apesar de existirem fontes naturais de HPAs para o meio ambiente, as fontes antrópicas são as principais, tais como: transporte eólico, deposição atmosférica, queima de combustíveis fósseis, descarte de resíduos oleosos, entre outros. Os resíduos de óleo podem chegar ao ambiente marinho associados ao descarte de água de produção e fluido de perfuração aderido ao cascalho, ou em maior escala, em derramamentos ou vazamentos (DICKHUT & GUSTAFSON, 1995; NEFF *et al.*, 2000).

Não foram quantificados HPAs nas amostras coletadas por PETROBRAS/HABTEC (2003) nos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 na Bacia de Santos, o que foi atribuído ao elevado limite de detecção do método ($0,2 \mu\text{g.g}^{-1}$).

SHELL/AS (2002) registrou concentrações de HPAs na área do Bloco BS-4, próximo ao Bloco de Libra, entre não detectáveis a $18,56 \mu\text{g.kg}^{-1}$, com médias nas duas campanhas de monitoramento ambiental de $6,25 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (pré-perfuração) e $7,93 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (pós-perfuração).

Por fim, MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) encontrou em toda a Bacia de Santos concentrações que variaram entre 0,2 e $130,6 \mu\text{g.kg}^{-1}$, com média $12,1 \pm 11,2 \mu\text{g.kg}^{-1}$ e um incremento nos valores próximo a costa, sob influência da saída da Baía de Guanabara – RJ (**Figura II.5.1.3.3-13 de A até F**).

Na sequência, seguem as distribuições dos 16 HPAs ditos prioritários. Destacam-se as concentrações de fenantreno, composto mais abundante em óleos, com uma distribuição semelhante a dos HPAs totais, ratificando uma maior contaminação na área sob influência da saída da Baía de Guanabara. Essa mesma influência pôde ser observada na maioria dos outros compostos, como, naftaleno, acenaftileno, antraceno, pireno, criseno, fluoranteno, benzo(b)fluoranteno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, e benzo(ghi)perileno.

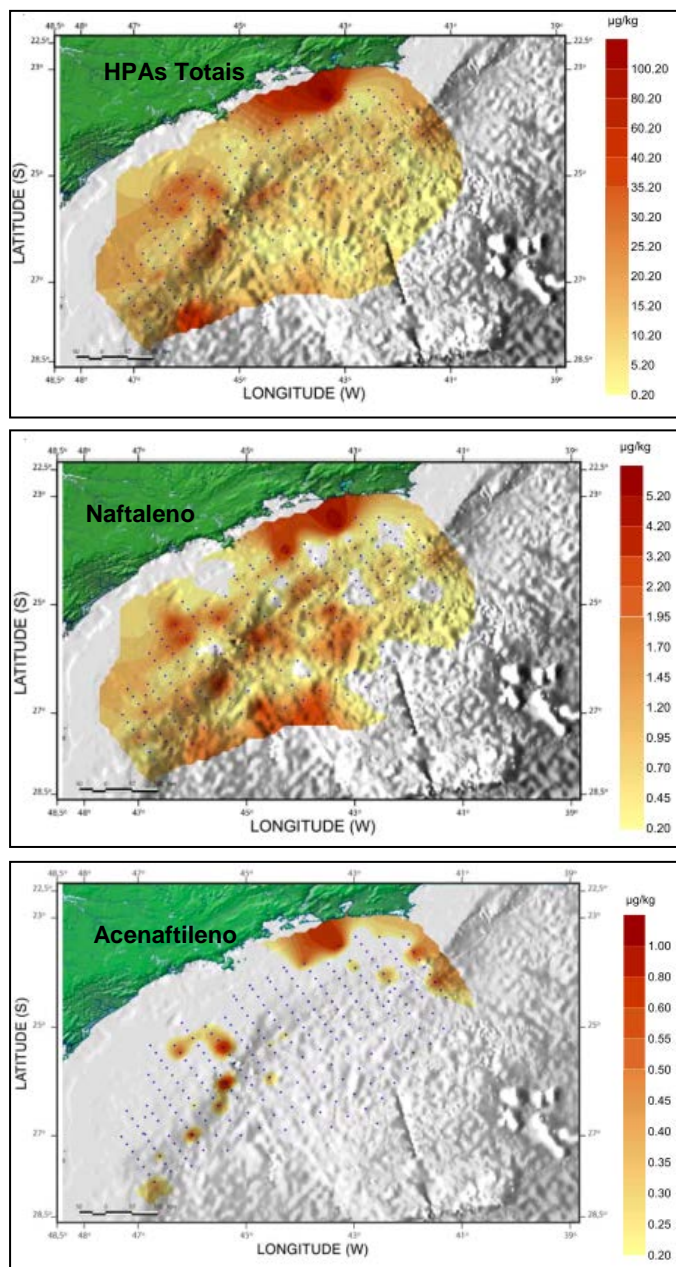


Figura II.5.1.3.3-13A– Distribuição das concentrações de HPAs totais, naftaleno e acenaftileno no sedimento da Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

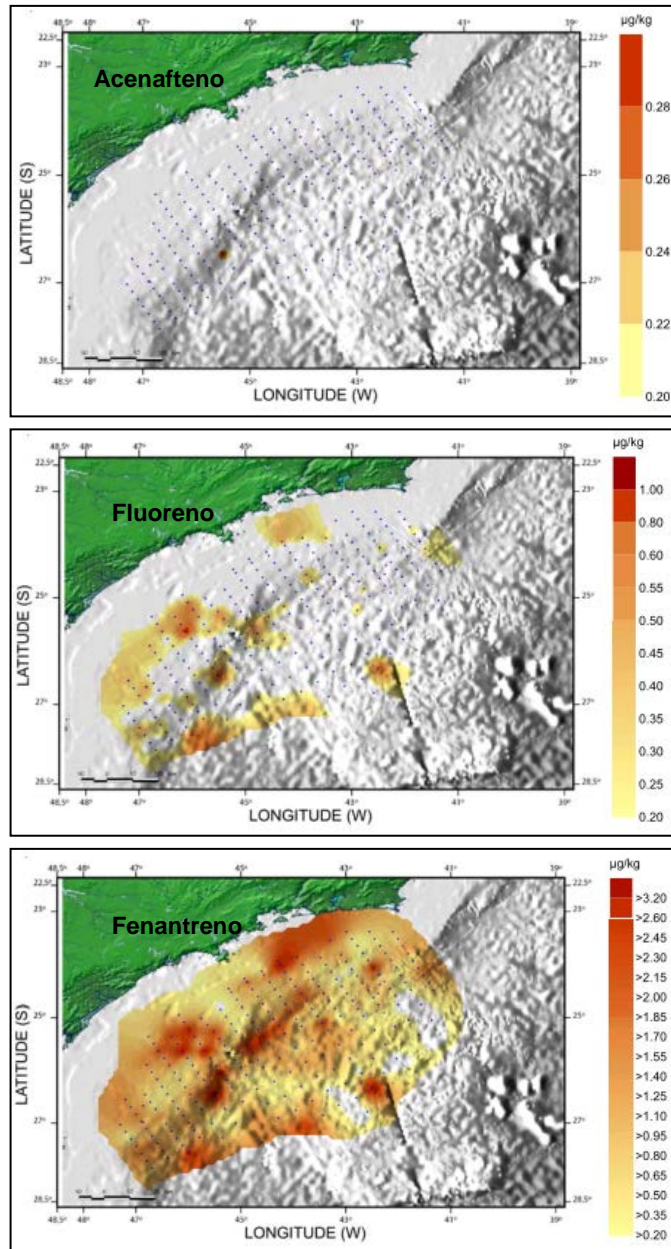


Figura II.5.1.3.3-13 B – Distribuição das concentrações dos HPAs acenafteno, fluoreno e fenantreno no sedimento da Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

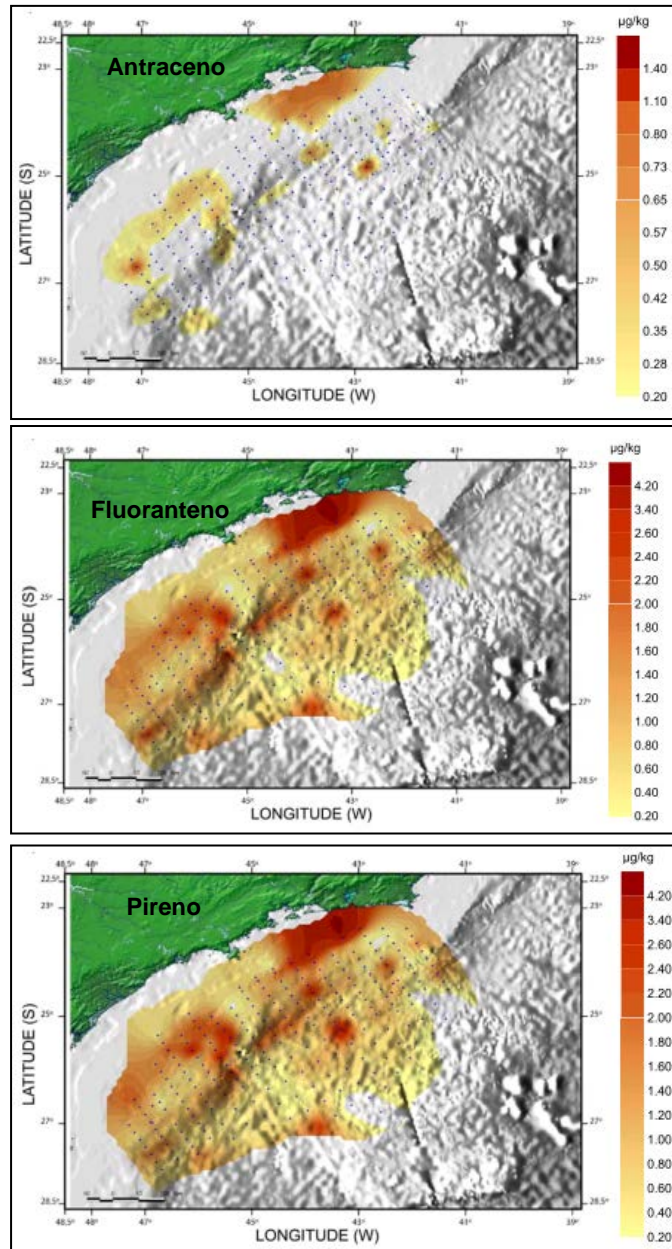


Figura II.5.1.3.3-13 C – Distribuição das concentrações dos HPAs antraceno, fluoranteno e pireno no sedimento da Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

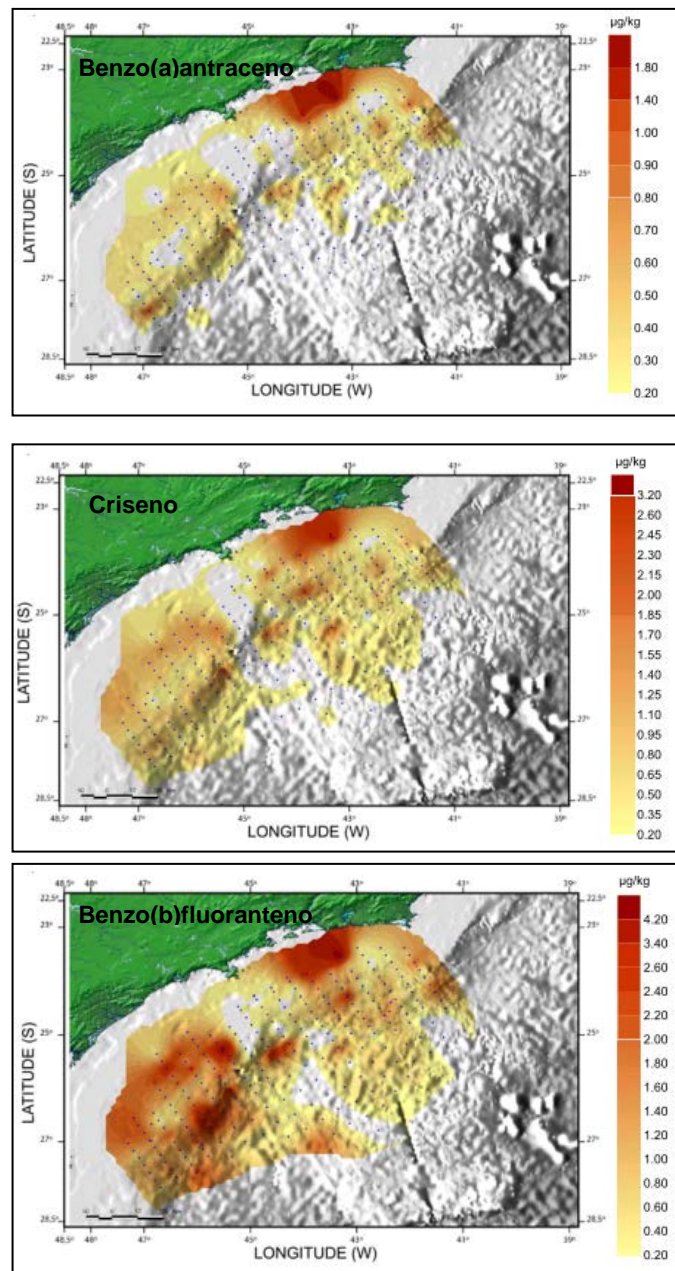


Figura II.5.1.3.3-13 D – Distribuição das concentrações dos HPAs benzo(a)antraceno, criseno e benzo(b)fluoranteno no sedimento da Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

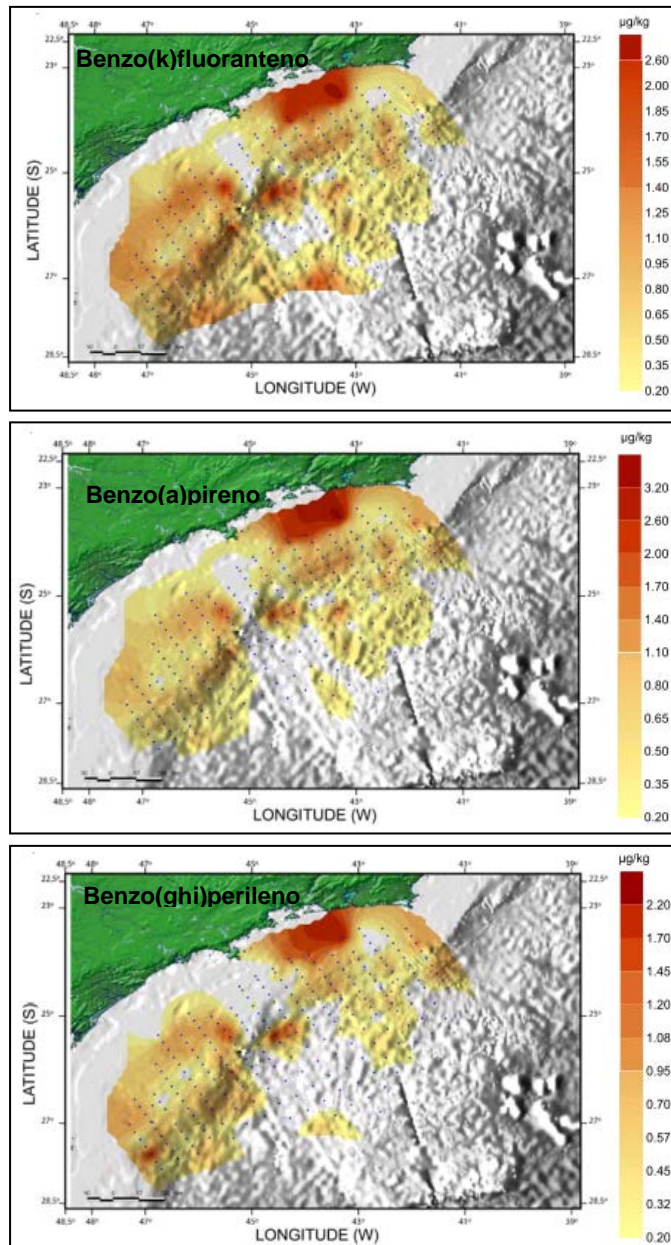


Figura II.5.1.3.3-13 E – Distribuição das concentrações dos HPAs benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno e benzo(ghi)perileno no sedimento da Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

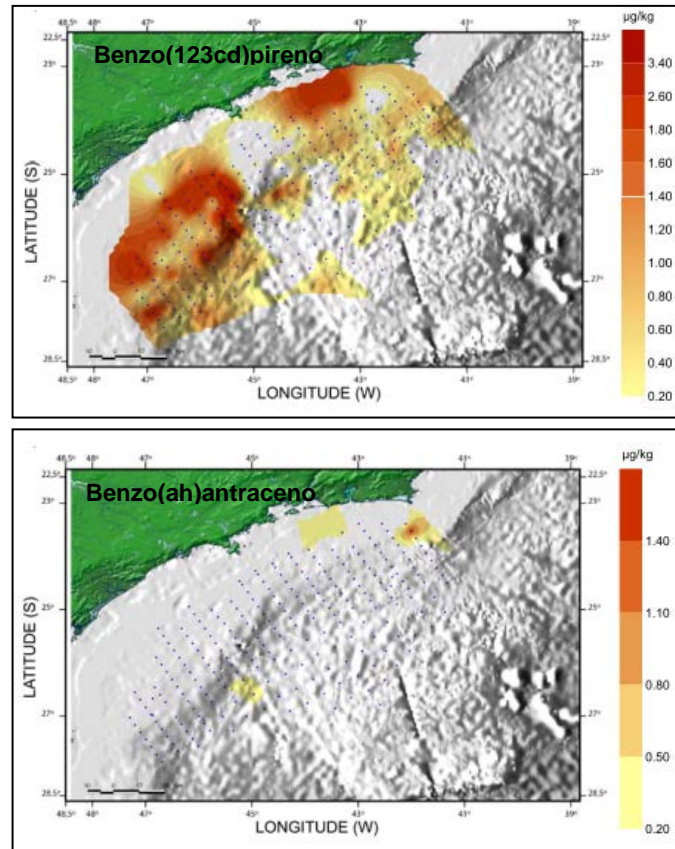


Figura II.5.1.3.3-13 F – Distribuição das concentrações dos HPAs benzo(123cd)pireno e benzo(ah)antraceno no sedimento da Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

F - Hidrocarbonetos Totais (HTPs)

Os hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP) correspondem ao somatório das frações dos hidrocarbonetos resolvidos de petróleo (HRP) e a mistura complexa não resolvida (MCNR). Por MCNR entende-se o conjunto de compostos que não pode ser resolvido por cromatografia gasosa, sendo considerada a fração mais biodegradada ou intemperizada dos hidrocarbonetos presentes no meio ambiente, enquanto que HRP refere-se à fração recente, não degradada. A concentração de HTP é um parâmetro usado para avaliação expedita do estado de contaminação ambiental, uma vez que vincula o sedimento com as concentrações das frações de hidrocarbonetos saturados e aromáticos do petróleo, ou outros resíduos das atividades petrolíferas, vertidas sobre o substrato marinho (VOLKMAN *et al.*, 1992).

Destaca-se a análise dos n-alcenos, que são hidrocarbonetos saturados de cadeia linear que podem ser sintetizados por organismos, sendo os constituintes dominantes dos hidrocarbonetos naturais no ambiente marinho. Saliot (1981) menciona que na água do mar os n-alcenos podem ter origem de fontes naturais internas (biomassa oceânica – predominando fitoplâncton, zooplâncton e bactérias); fontes naturais terrestres (predominantemente de vegetais superiores) e fontes antropogênicas (contaminação por petróleo e seus derivados).

As concentrações de HTPs na área dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 na Bacia de Santos variaram entre as estações, porém com ordem de grandeza similar a verificada por SHELL/AS (2002), embora um pouco inferiores, com valores entre 159 e 1.303 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (**Figura II.5.1.3.3-14**) (PETROBRAS/HABTEC, 2003).

Na área do bloco BS-4, próximo ao Bloco de Libra, foram verificadas concentrações de HTPs entre 2.086 e 5.337 $\mu\text{g.g}^{-1}$ em duas campanhas, antes e após perfuração de um poço, com médias similares entre as duas, respectivamente 4.347 \pm 896 $\mu\text{g.g}^{-1}$ e 3.404 \pm 800 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (SHELL/AS, 2002).

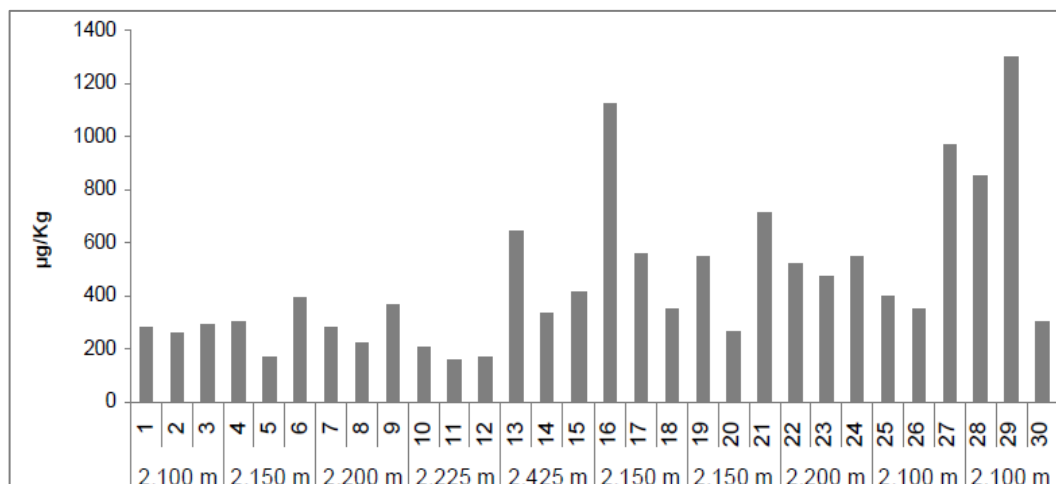


Figura II.5.1.3.3-14 – Distribuição das concentrações de HTPs na área dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 na Bacia de Santos.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Considerando toda a área da Bacia de Santos, as concentrações de HTP totais verificadas por MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) variaram de 403 até 127.598 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, com média de $6.760 \pm 14.162 \mu\text{g.kg}^{-1}$. Na **Figura II.5.1.3.3-15** é possível verificar que os níveis tendem a ser superiores próximos a costa, principalmente do Rio de Janeiro.

O perfil cromatográfico considerando a média de todas as amostras indica uma origem predominante da matéria orgânica dos sedimentos de material vegetal graxo, devido aos máximos observados nos homólogos n-C27, n-C29, n-C31 e n-C33, evidenciando origem singenética desses compostos (**Figura II.5.1.3.3-15**). Além disso, há uma mistura de matéria orgânica fóssil, que pode ter origem natural (exsudação) ou antrópica (ex. óleo), como pode ser observado no perfil da mistura complexa não resolvida (**Figura II.5.1.3.3-15**) (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002).

O referido estudo destacou que os cromatogramas das análises de hidrocarbonetos demonstraram aporte misto de hidrocarbonetos singenéticos de vegetal superior (n-alcanos de alto peso molecular e máximo em n-C₂₉) e material fóssil (MCNR).

Volkman *et al.* (1992 *apud* TOLDO JR. & AYUP-ZOUAIN, 2004) afirmam que sedimentos poluídos apresentam concentrações de hidrocarbonetos totais superiores a $500.000 \mu\text{g.Kg}^{-1}$, enquanto sedimentos com valores menores que $10.000 \mu\text{g.Kg}^{-1}$ correspondem a sedimentos sem indícios de contaminação.

As concentrações de n-alcenos observadas na Bacia de Santos variaram de 688 até $4.105 \mu\text{g.kg}^{-1}$, sendo compostos por n-alcenos na faixa de n-C₁₀ a n-C₃₇, com média de $1.327 \pm 659 \mu\text{g.kg}^{-1}$. As maiores concentrações ocorreram próximo a costa e na região central da bacia (**Figura II.5.1.3.3-15** e **Figura II.5.1.3.3-16**) (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002).

A Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR) inclui uma gama de compostos complexos que não puderam ser resolvidos cromatograficamente, indicando estágios de biodegradação e contaminação por material fóssil. As concentrações na Bacia de Santos variaram entre não detectáveis e $29.000 \mu\text{g.kg}^{-1}$, com média de $1.000 \pm 4.000 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002). O estudo mencionou que a origem desse material pode ser natural (como exsudações de óleo) ou antrópica (por influência de atividades petrolíferas ou tráfego marinho).

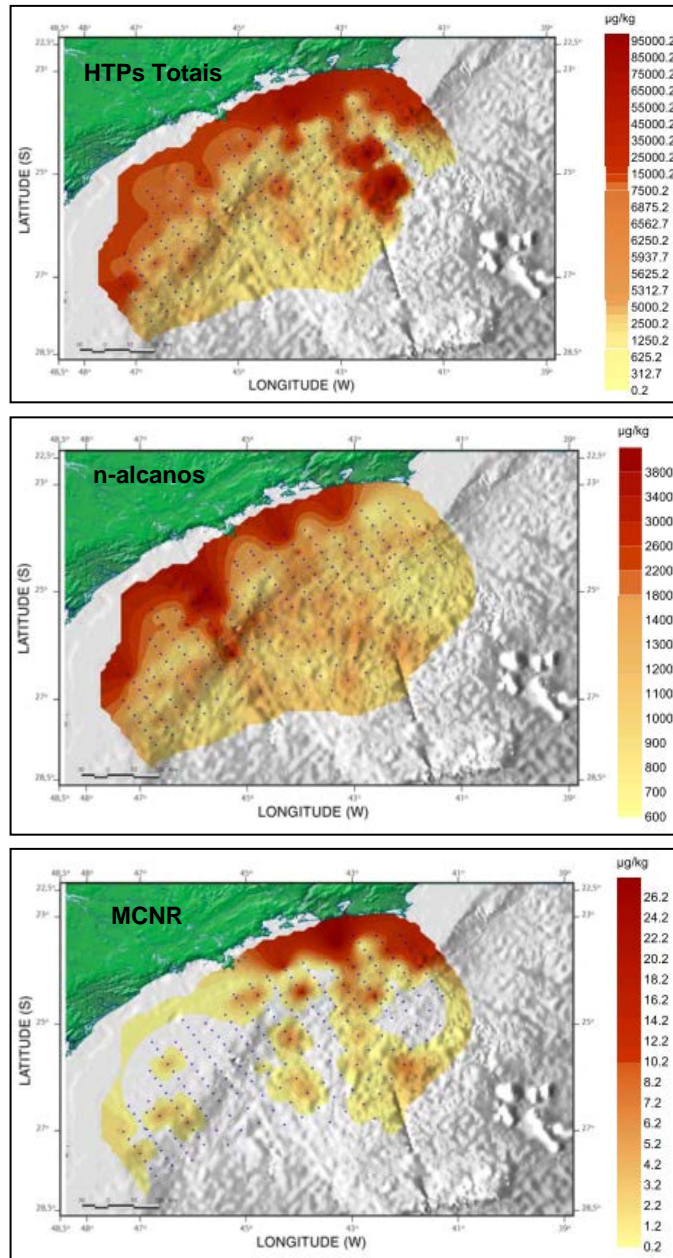


Figura II.5.1.3.3-15 – Distribuição das concentrações de HTPs totais, n-alcenos e MCNR no sedimento da Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

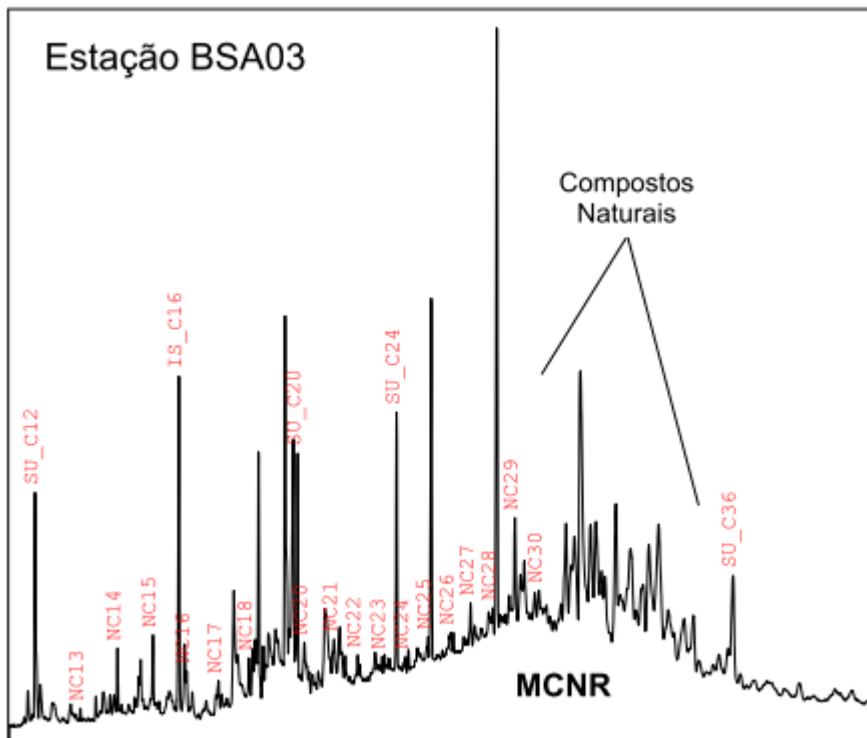
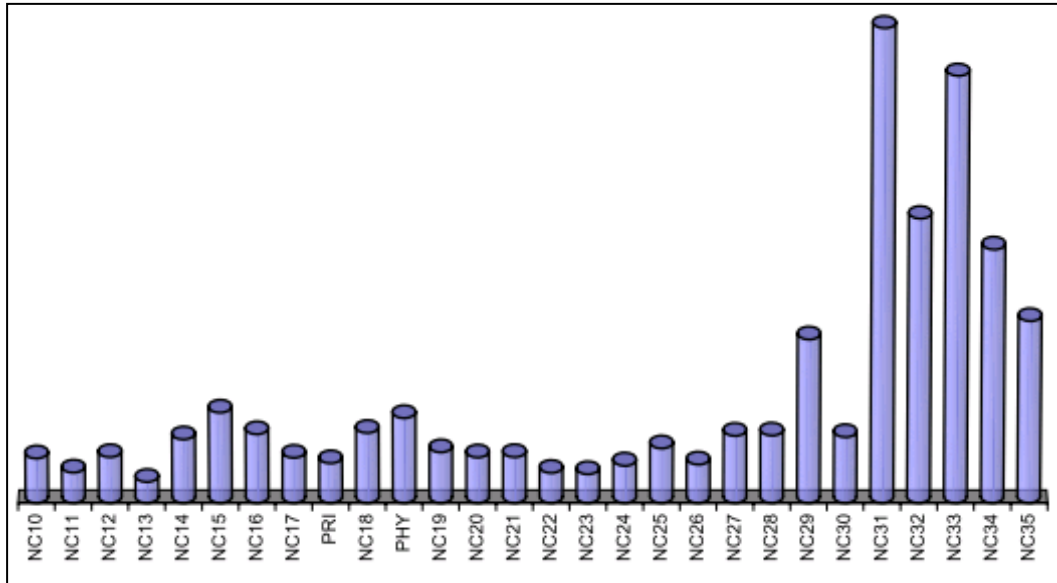


Figura II.5.1.3.3-16 – Perfil de n-alcenos, considerando a média de todas as amostras analisadas, e exemplo de perfil de hidrocarbonetos totais com destaque na mistura complexa não resolvida (MCNR) no sedimento da Bacia de Santos. Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

II.5.1.3.4 – Considerações Finais

Através de dados secundários disponibilizados na literatura, a caracterização da qualidade da água na Bacia de Santos apresentou características intrínsecas a águas oceânicas sem indícios expressivos de alterações antrópicas, com a maioria dos parâmetros indicando a classificação das águas como águas salinas classe 1, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357 de 2005.

O oxigênio dissolvido apresentou concentrações maiores em áreas próximas ao estado do Rio de Janeiro, associado ao aumento da produtividade primária em decorrência do aporte continental. Ao longo da coluna d'água, nas camadas superiores os perfis foram homogêneos, seguido de aumento na termoclina e depois diminuição com o aumento da profundidade. Este perfil pode ser relacionado à maior taxa de fotossíntese na zona fótica e com as trocas oceano-atmosfera, além da presença da massa d'água Água Central do Atlântico Sul em eventos de ressurgência. Os perfis de pH acompanharam os de oxigênio dissolvido, também associado à produtividade primária e processos heterotróficos.

As concentrações dos nutrientes nitrogenados foram maiores na seguinte ordem: amônia, nitrito e nitrato. Em geral, esses nutrientes e o fosfato mostram um gradiente em direção às camadas mais profundas, tipicamente ricas em nutrientes. As concentrações dos nutrientes tiveram incremento com a proximidade continental (aporte), assim como os teores de clorofila-a, devido à disponibilidade dos mesmos. As concentrações de clorofila-a estiveram maiores na superfície, onde há disponibilidade de luz e consumo de nutrientes, com valores máximos associados à termoclina. Tanto as concentrações de nutrientes como de clorofila-a são características de águas oceânicas oligotróficas.

Os parâmetros físico-químicos, os nutrientes e a clorofila-a responderam à variabilidade sazonal, devido principalmente às variações na incidência solar, frequência de ressurgências, alterações na camada de mistura e termoclina.

Os sulfetos dificilmente são detectados. As concentrações quantificadas pela metodologia analítica foram baixas e associadas à camadas mais profundas e associada à massa d'água Água Intermediária Antártica.

Dentre os compostos orgânicos, o carbono orgânico total esteve associado a ambientes enriquecidos e próximo a termoclina, mas sem um padrão definido de variação vertical e horizontalmente. Os fenóis, HPAs e HTPs foram dificilmente detectados. Os últimos sugerem associações ao aporte antrópico.

Quanto à caracterização dos sedimentos na área da Bacia de Santos, também realizada a partir de dados secundário das áreas próximas ao Bloco de Libra, a granulometria apresentou predominância de sedimentos finos ou lamosos. Há uma ligeira tendência de aumento dos teores lamosos com o aumento da batimetria. Os carbonatos tiveram teores que variaram bastante (entre 10 e 50%), com destaque a presença de um cinturão carbonático nas isóbatas de 100 a 200 m em frente ao Rio de Janeiro, atingindo teores superiores a 70%.

As concentrações de metais observadas na literatura para a área da Bacia de Santos foram semelhantes e associados a níveis basais. Ocorrem duas áreas distintas, uma com menores concentrações de metais e argilas (oeste) e outra com maiores concentrações destes parâmetros (leste), estando o primeiro caso associado a transporte de massa no talude e o segundo a topografia de fundo que permite o acúmulo.

Os teores de matéria orgânica identificados na área de estudo são baixos. A associação dos teores de carbono orgânico, nitrogênio e fósforo (C:N:P) no sedimento remeteu a origem predominantemente fitoplanctônica da matéria orgânica do sedimento.

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e de petróleo (HPAs e HTPs) em geral apresentaram concentrações baixas ou não detectadas. Quando quantificados, os compostos estiveram majoritariamente associados ao aporte continental e antrópico. Já os n-alcenos, em oposição às razões C:N:P, apontam para uma composição mista da matéria orgânica, oriunda de vegetais superiores e material fóssil por conta da presença da mistura complexa não resolvida.

O levantamento de dados secundários na Bacia de Santos, especialmente na área do Bloco de Libra, caracterizou a água do mar e dos sedimentos marinhos, representando uma importante ferramenta de avaliação do *status* offshore previamente ao início das atividades foco deste Estudo.