

II.5.1.3 - Qualidade da Água e do Sedimento

A - Qualidade da Água

Para uma melhor caracterização da área de influência do Complexo PDET, na Bacia de Campos, os parâmetros físico-químicos da água do mar serão divididos em duas sub-regiões: Região Oceânica que compreende as campanhas realizadas além da isóbata de 200 m e a Região Costeira que engloba as realizadas no interior da Plataforma Continental (< 200 m).

Para a Região Oceânica, serão comparados os dados disponíveis nos seguintes estudos:

- ★ Caracterização Ambiental para Complementação do Estudo de Viabilidade Ambiental da Unidade Estacionária de Produção Espadarte FPSO (PETROBRAS/CENPES, 2001);
- ★ Relatório de Caracterização Ambiental do Oceano Profundo na Área de Exploração e Produção na Bacia de Campos (Oceanprof) – BC-Sul (PETROBRAS/CENPES, 2003);
- ★ Relatório do Monitoramento Ambiental da Área de Exploração e Produção do Campo de Marlim Sul - Pré-operação das Unidades P 40+38 (PETROBRAS/CENPES, 2002b);
- ★ Relatório do Monitoramento Ambiental da Área de Exploração e Produção do Campo de Marlim Sul – 2ª Campanha de Monitoramento das Unidades P 40+38 (PETROBRAS/HABTEC, 2002b);
- ★ Relatório de Caracterização Ambiental dos Campos de Barracuda e Caratinga (PETROBRAS/CENPES, 2002a);
- ★ Relatório de Caracterização Ambiental do Campo de Roncador (PETROBRAS/CENPES, 2002c).

Para a Região Costeira, serão comparados os dados dos seguintes estudos: Pampo e Pargo (PETROBRAS, 2001) e das isóbatas de 30 e 150 m da Caracterização da Área de Influência Direta do Complexo PDET/AMEG (PETROBRAS/HABTEC, 2002a) na caracterização da plataforma continental local

configurando a Região Costeira Externa e, dados do entorno da isóbata de 10 m, da Caracterização da Área de Influência Direta do Complexo PDET/AMEG (PETROBRAS/HABTEC, 2002a) e emissário de Cabiúnas (PETROBRAS, 2002a), caracterizam a Região Costeira Interna. Também serão utilizados os dados do Programa REVIZEE (Niencheski *et al.*, 1999) e demais literaturas da região.

As estações amostradas nas campanhas citadas acima são apresentadas de forma integrada na Figura II.5.1.3-1, a seguir. As metodologias de coleta de cada um desses estudos estão resumidamente apresentadas no Quadro II.5.1.3-1. O Quadro II.5.1.3-2 apresenta as metodologias analíticas e as variáveis analisadas em cada trabalho.

Quadro II.5.1.3-1 - Estratégia amostral empregada nos estudos realizados na Área de Influência Indireta do Sistema de Rebombeio e Escoamento.

LOCAL	ESTRATÉGIA AMOSTRAL	PERÍODO DE COLETA
Espadarte (PETROBRAS/CENPES, 2001)	estações localizadas no entorno do Espadarte FPSO entre 700 e 900m de profundidade	PRIMAVERA (Setembro/2001)
Marlim Sul 1 (PETROBRAS/CENPES, 2002b)	4 estações a 100 e 500 m a jusante da plataforma e a 3.000 e 3.500 m a montante de P-40 (superfície, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 100, 200, 500, e 1.000 m)	PRIMAVERA (Novembro/2001)
Marlim Sul 2 (PETROBRAS/HABTEC, 2002b)	9 estações ao redor de P-40 (superfície, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 100, 150 e 200 m)	INVERNO (Agosto/2002)
Barracuda e Caratinga (PETROBRAS/CENPES, 2002a)	2 estações sobre as de 700, 900 e 1.100m	OUTONO (Maio/2002)
Marlim Sul e Marlim Leste (PETROBRAS/CENPES, 2003)	4 estações nas isóbatas de 1.355, 2.235, 1.350 e 2.435 m (superfície, acima da termoclina, termoclina e abaixo da termoclina, 20, 500, 900, 1.200, 1.900 e 2.300 m)	PRIMAVERA (Novembro/2002)
Roncador (PETROBRAS/CENPES, 2002c)	8 estações distribuídas entre as isóbatas de 1.200, 1.350, 1.700 e 1.850 m (superfície, 85, 105, 125, 200, 500 e 1000 m)	
Bacia de Santos (PETROBRAS/HABTEC, 2003)	30 estações entre 2.100 e 2.400m de profundidade (superfície, acima e abaixo da termoclina, termoclina, 200m, 900m e fundo)	PRIMAVERA (Outubro/2002)
ETE Cabiúnas (PETROBRAS, 2002)	<i>pré-operação:</i> duas campanhas com monitoramento de 1 estação de 6 em 6 horas durante 6 dias em cada campanha <i>pós-operação:</i> três campanhas (i) 7 estações; (ii) 11 estações e (iii) 9 estações a cerca de 14m de profundidade	<i>pré-operação:</i> VERÃO (Março/1998) e INVERNO (Julho/1998) <i>pós-operação:</i> (i) INVERNO (Agosto/1998), (ii) OUTONO (Maio/1998), (iii) OUTONO (Maio/2001)
Complexo PDET/AMEG (PETROBRAS/HABTEC, 2002a)	9 estações de coleta nas isóbatas de 10, 70 e 150 m	INVERNO (Agosto/2002)
Pampo e Pargo (PETROBRAS, 2001)	6 estações ao redor das plataformas (superfície, 50 m e 100 m)	VERÃO (Janeiro/1998) INVERNO (Julho/1998)

Figura II.5.1.3-1 - Mapa integrado das estações de coleta de água na área de influência do Sistema de Rebombeio e Escoamento. (A3)

Figura II.5.1.3-1 - Mapa integrado das estações de coleta de água na área de influência do Sistema de Rebombeio e Escoamento.

Quadro II.5.1.3-2 - Metodologias de coleta e análise empregada em todas as campanhas citadas neste trabalho. 1/2 (A3)

Quadro II.5.1.3-2 - Metodologias de coleta e análise empregada em todas as campanhas citadas neste trabalho. 1/2 (A3)

Quadro II.5.1.3-2 - Metodologias de coleta e análise empregada em todas as campanhas citadas neste trabalho. 2/2 (A3)

Quadro II.5.1.3-2 - Metodologias de coleta e análise empregada em todas as campanhas citadas neste trabalho. 2/2 (A3)

- *Oxigênio Dissolvido*

O oxigênio dissolvido é um parâmetro importante para a caracterização ambiental por ser essencial à sobrevivência de muitos organismos marinhos. As principais fontes de oxigênio nos oceanos são as trocas na interface com a atmosfera e a fotossíntese. Seus níveis podem ser utilizados como indicadores da predominância de processos de redução ou oxidação e, portanto, é um excelente indicador da qualidade da água.

Na Região Oceânica, as concentrações médias de oxigênio dissolvido em torno de 4,9 mL/L (Quadro II.5.1.3-3) apresentaram variações similares às observadas por Ito (1994) para águas com profundidade de até 2000m (verão: 3,1 - 4,8 mL/L e inverno: 3,0 - 5,0 mL/L). As concentrações mais elevadas observadas na área de Marlim Sul podem estar superestimadas em função da utilização de oxímetro para medição desta variável. Ainda assim, tais concentrações encontram-se dentro da faixa para as camadas mais superficiais da região, de 0 a 200 m com valor mínimo de 2,8 mL/L, no inverno, e máximo de 6,4 mL/L, no verão (Niencheski *et al.*, 1999) (Quadro II.5.1.3-4).

Quadro II.5.1.3-3 - Variação do oxigênio dissolvido (mL/L) na Região Oceânica da Bacia de Campos.

ÁREA	MÍN. – MÁX.	REFERÊNCIA
Espadarte	4,3 - 4,9	PETROBRAS/CENPES, 2001
Marlim Sul 1	4,9 - 6,1	PETROBRAS/CENPES, 2002b
Marlim Sul 2	5,2 - 5,9	PETROBRAS/HABTEC, 2002b
Barracuda e Caratinga	4,0 - 4,7	PETROBRAS/CENPES, 2002a
Marlim Sul/Marlim Leste	4,4 - 5,6	PETROBRAS/CENPES, 2003
Roncador	3,4 - 6,1	PETROBRAS/CENPES, 2002c
Bacia de Santos	3,3 - 5,4	PETROBRAS/HABTEC, 2003

Quadro II.5.1.3-4 - Variação do oxigênio dissolvido (mL/L) da superfície até 200 m para as diferentes estações do ano segundo o Projeto REVIZEE (Niencheski et al., 1999)

PROJETO	ESTAÇÃO DO ANO	MÍN. – MÁX.
REVIZEE	VERÃO	3,0 – 6,4
	OUTONO	3,0 – 5,6
	PRIMAVERA	● - 5,5
	INVERNO	2,8 – 5,8

Legenda: ● não informado

Nenhum padrão bem definido de estratificação nas concentrações de oxigênio dissolvido foi observado na coluna d'água nas áreas estudadas para a Região Oceânica. Apenas na região de Espadarte, os valores de oxigênio demonstram uma estratificação vertical bem visível (PETROBRAS/CENPES, 2001). Nas regiões de Marlim Sul (PETROBRAS/CENPES, 2002b), Barracuda e Caratinga (PETROBRAS/CENPES, 2002a) a distribuição vertical dos valores de oxigênio foi bastante homogênea. Em Roncador (PETROBRAS/CENPES, 2002c), os valores apresentaram grande variabilidade vertical. Em Marlim Sul (PETROBRAS/HABTEC, 2002b), observa-se apenas uma leve redução dos valores próximo à zona da termoclina (Figura II.5.1.3-2).

Em geral, os valores de oxigênio dissolvido na Região Oceânica da Bacia de Campos encontram-se em conformidade com outros estudos realizados na região (FUNDESPA, 1994; Niencheski et al., 1999; Andrade et al., 1999).

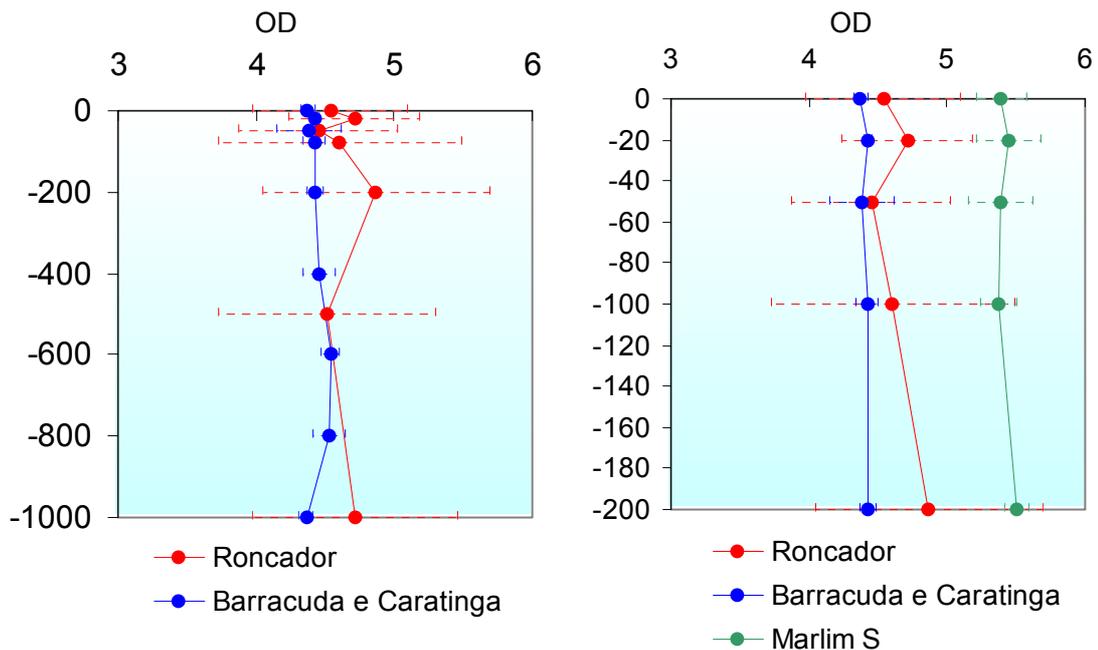


Figura II.5.1.3-2 - Variação média e desvio padrão do oxigênio dissolvido, em mL/L, na coluna d'água na Região Oceânica da Bacia de Campos. Fonte: PETROBRAS/CENPES (2002c) – Roncador;

PETROBRAS/CENPES (2002b) – Barracuda e Caratinga; e PETROBRAS/HABTEC (2002b) – Marlim Sul.

Na Região Costeira Externa sobre a Plataforma Continental, o oxigênio dissolvido variou de 3,9 mL/L a 5,6 mL/L. No geral, os valores de oxigênio dissolvido estiveram dentro da faixa observada durante o Monitoramento da Bacia de Campos (2,6 mL/L no fundo, a 5,8 mL/L na superfície) (FUNDESPA, 1994). Em geral, as maiores concentrações foram observadas na superfície, com exceção da Campanha Pampo/verão que apresentou o maior valor a 50 m, e as estações da isóbata de 150 m da campanha PDET/AMEG, que apresentaram homogeneidade na coluna d'água (Figura II.5.1.3-3) (PETROBRAS, 2001). No Quadro II.5.1.3-5 encontram-se os valores de oxigênio dissolvidos obtidos na Região Costeira Externa da Bacia de Campos.

Quadro II.5.1.3-5 - Variação do oxigênio dissolvido (mL/L) na Região Costeira Externa da Bacia de Campos.

ÁREA	MIN - MAX	REFERÊNCIA
Pargo VERÃO INVERNO	4,5 - 5,1 4,3 - 5,0	PETROBRAS, 2001
Pampo VERÃO INVERNO	3,9 - 5,3 4,0 - 5,3	PETROBRAS, 2001
Complexo PDET/AMEG	5,1 - 5,7	PETROBRAS/HABTEC, 2002a

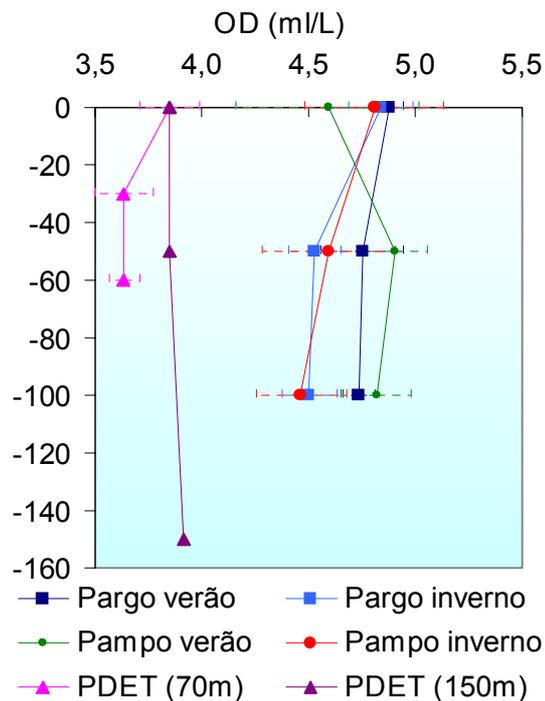


Figura II.5.1.3-3 - Variação média e desvio padrão do oxigênio dissolvido, em mL/L, na coluna d'água na Região Costeira Externa da Bacia de Campos. Fonte: PETROBRAS (2001) – Pampo e Pargo; PETROBRAS/HABTEC (2002a) – Dutos PDET/AMEG.

A região Costeira mais rasa, próxima à costa, apresentou variação de oxigênio dissolvido de 2,4 a 5,5 mL/L. Na isóbata de 10 m, da área de instalação do Complexo PDET, não foi observada diferença significativa entre as profundidades (superfície e fundo), mas em média, as concentrações de oxigênio dissolvido foram superiores às de Cabiúnas (Quadro II.5.1.3-6).

Os valores de oxigênio dissolvido, encontrados na região costeira interna, estiveram próximos ao encontrado na Foz do Rio Paraíba do Sul. Krüger *et al.* (2003) observaram, na Foz do Paraíba, valores de oxigênio dissolvido entre 5,2 mL/L e 3,2 mL/L na superfície e entre 4,6 mL/L e 3,3 mL/L junto ao fundo.

Quadro II.5.1.3-6 - Variação do oxigênio dissolvido (mL/L) na Região Costeira.

ÁREA	PROFUNDIDADE	MIN - MAX	REFERÊNCIA
Cabiúnas			PETROBRAS, 2002a
VERÃO	superfície	3,0 - 3,3	
	fundo	2,4 - 3,2	
INVERNO	superfície	3,1 - 3,6	
	fundo	3,0 - 3,7	
Complexo PDET/AMEG (isóbata de 10 m)	superfície	5,3 - 5,5	
	fundo	5,1 - 5,3	

Comparando as duas regiões, oceânica e costeira, observa-se que todos os resultados encontram-se dentro da faixa esperada para Plataforma Continental brasileira (Niencheski *et al.*, 1999).

- *pH*

Em regiões oceânicas, os valores de pH estão em torno de 8,2 e alterações nesse parâmetro podem acarretar consideráveis efeitos no crescimento e na atividade dos organismos, assim como nas reações químicas (Paranhos, 1996).

O pH apresentou variação de 7,00 a 8,24 na Região Oceânica (Quadro II.5.1.3-7). Os valores de pH estão de acordo com os descritos na literatura para a mesma região (FUNDESPA, 1994; Andrade *et al.*, 1999; Niencheski *et al.*, 1999) (Quadro II.5.1.3-8). Os valores obtidos também se encontram dentro da faixa descrita por Ito (1994), entre 7,86 e 8,22 no verão, e entre 7,79 e 8,15 no inverno (Figura II.5.1.2-4).

Quadro II.5.1.3-7 - Variação do pH na Região Oceânica da Área de Influência.

ÁREA	MIN - MAX	REFERÊNCIA
Espadarte	7,70 - 8,10	PETROBRAS/CENPES, 2001
Marlim Sul 1	7,31 - 8,24	PETROBRAS/CENPES, 2002b
Marlim Sul 2	7,00 - 7,80	PETROBRAS/HABTEC, 2002b
Barracuda e Caratinga	7,57 - 8,13	PETROBRAS/CENPES, 2002a
Marlim Sul/Marlim Leste	■	PETROBRAS/CENPES, 2003
Roncador	7,00 - 8,00	PETROBRAS/CENPES, 2002c
Bacia de Santos	7,04 - 7,93	PETROBRAS/HABTEC, 2003

Legenda: ■ – não analisado

Quadro II.5.1.3-8 - Variação do pH da superfície até 200m para as diferentes estações do ano segundo o Projeto REVIZEE (Niencheski et al., 1999).

	ESTAÇÃO DO ANO	MÉDIA ± DP	MÍN. – MÁX.
REVIZEE	VERÃO	8,03 ± 0,08	7,50 – 8,45
	OUTONO	8,01 ± 0,03	7,75 – 8,35
	PRIMAVERA	8,00 ± 0,01	● – 8,00
	INVERNO	8,09 ± 0,06	7,65 – 8,40

Legenda: ● não informado

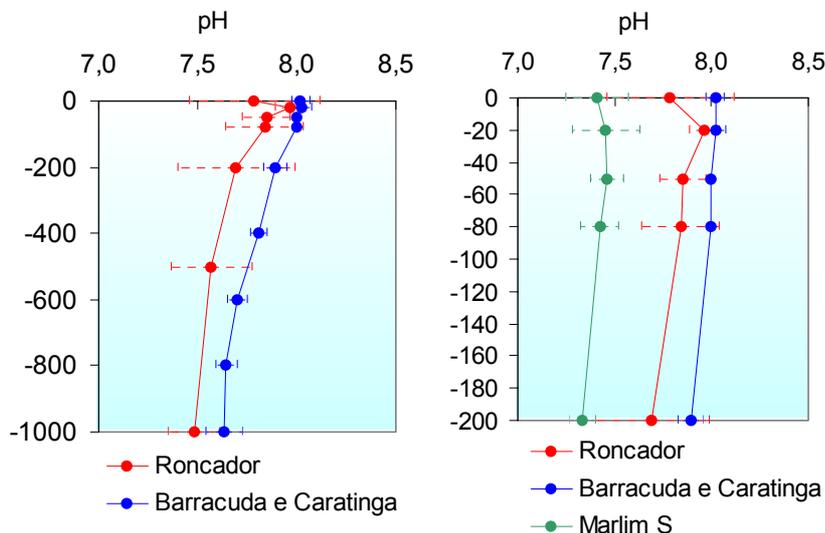


Figura II.5.1.3-4 - Variação média e desvio padrão do pH na coluna d'água na Região Oceânica da Bacia de Campos.

Fonte: PETROBRAS/CENPES (2002c) – Roncador;
PETROBRAS/CENPES (2002b) – Barracuda e Caratinga; e
PETROBRAS/HABTEC (2002b) – Marlim Sul.

Em geral, os maiores valores de pH foram observados em superfície, diminuindo em direção ao fundo. Entretanto, apenas na região de Roncador (PETROBRAS/CENPES, 2002c) e Barracuda e Caratinga (PETROBRAS/CENPES, 2002a) observou-se estratificação vertical bem definida.

Na superfície (zona fótica) ocorrem maiores taxas de fotossíntese, processo este que reduz a concentração de dióxido de carbono (CO₂) e aumenta o pH. Abaixo da zona fótica, seguindo em direção ao fundo, o consumo de O₂ e a eliminação de CO₂ (respiração) pelos organismos é mais elevado, causando uma redução no pH (Libes, 1992; Grasshoff *et al.*, 1983).

Na Região Costeira Externa, sobre a Plataforma Continental, o pH variou de 6,98 a 8,54, sendo que o menor valor foi encontrado em Pargo durante o verão a 100 m e, o maior valor em Pampo na superfície durante o inverno (Quadro II.5.1.3-9). Os limites inferiores observados em Pargo, tanto no verão quanto no inverno, e na campanha PDET/AMEG (inverno) foram inferiores ao encontrado para todas as estações do ano do Projeto REVIZEE (Niencheski *et al.*, 1999) (Quadro II.5.1.3-8) e os do Monitoramento Oceânico da Bacia de Campos (7,9 a 8,3) (FUNDESPA, 1994). Os limites superiores da campanha de Pargo estão um pouco acima do observado pelo Projeto REVIZEE e para o Monitoramento da Bacia de Campos, entretanto encontram-se abaixo do limite proposto por Niencheski *et al.* (1999) de 8,70 para o litoral brasileiro. Em geral os maiores valores foram observadas em superfície, declinando com o aumento da profundidade, com exceção dos valores encontrados na campanha do PDET, que apresentou homogeneidade na coluna d'água (Figura II.5.1.3-5).

Quadro II.5.1.3-9 - Variação do pH na Região Costeira Externa da Bacia de Campos.

ÁREA	MIN - MAX	REFERÊNCIA
Pargo VERÃO INVERNO	6,98 - 8,47 6,97 - 8,15	PETROBRAS, 2001
Pampo VERÃO INVERNO	7,51 - 8,31 7,71 - 8,54	PETROBRAS, 2001
Complexo PDET/AMEG	7,10 - 7,50	PETROBRAS/HABTEC, 2002a

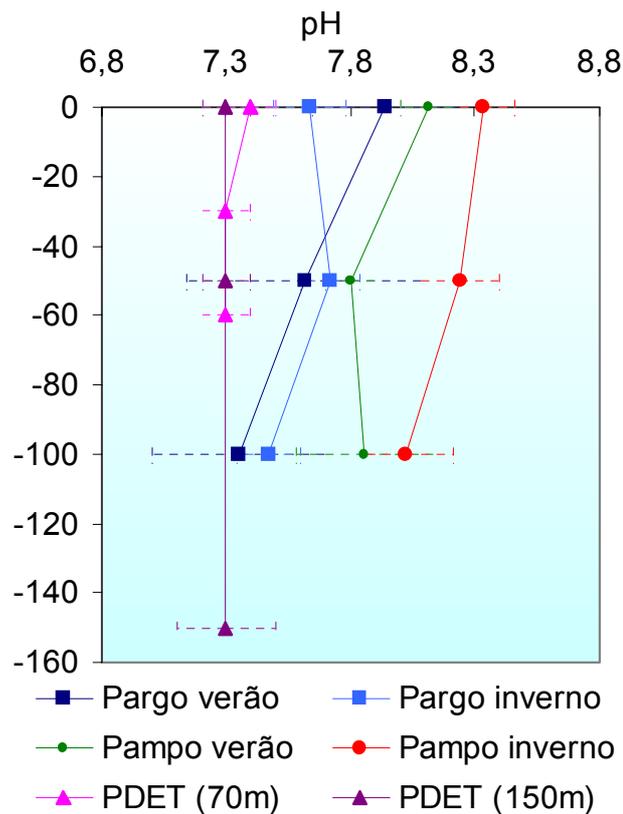


Figura II.5.1.3-5 - Variação média e desvio padrão do pH na coluna d'água na Região Costeira Externa da Bacia de Campos.

Fonte: PETROBRAS (2001) – Pampo e Pargo;
PETROBRAS/HABTEC (2002a) – Dutos PDET/AMEG.

A Região Costeira Interna não apresentou diferença significativa entre a superfície e o fundo com relação ao pH (Quadro II.5.1.3-10). Os valores encontrados estão dentro da faixa esperada, de 7,50 a 8,70, para ambientes costeiros (Niencheski *et al.*, 1999) e por Krüger *et al.* (2003) na Foz do Rio Paraíba do Sul (7,04 a 8,11).

Quadro II.5.1.3-10 - Variação do pH na Região Costeira Interna da Bacia de Campos.

ÁREA	PROFUNDIDADE	MIN - MAX	REFERÊNCIA
Cabiúnas			Petrobras, 2002a
VERÃO	superfície	7,75 - 8,11	
	fundo	6,87 - 8,31	
INVERNO	superfície	7,78 - 8,11	
	fundo	6,95 - 8,35	
Complexo PDET/AMEG (isóbata de 10 m)	superfície	7,40 - 7,50	
	fundo	7,40 - 7,50	

Com relação ao pH a Região Oceânica e a Costeira Externa apresentaram o mesmo padrão de estratificação, valores mais elevados em superfície declinando com o aumento da profundidade. A Região Costeira Interna caracterizou-se pela homogeneidade na coluna d'água. Todos os resultados analisados estão de acordo com os intervalos de variação propostos para a região (Niencheski *et al.*, 1999).

- *Formas Fosfatadas*

O fósforo é um elemento constituinte fundamental para a matéria viva e a principal forma de absorção deste elemento pelo fitoplâncton é como fósforo inorgânico na forma de ortofosfato ($P-PO_4^{3-}$). Em áreas oceânicas, principalmente na zona fótica, as concentrações deste elemento encontram-se, geralmente, em quantidades muito reduzidas podendo, em muitos casos, ser considerado um nutriente limitante para a produtividade primária (Libes, 1992; Grasshoff *et al.*, 1983).

A principal fonte deste elemento para o oceano é através do aporte de material terrígeno pelo escoamento superficial (rios, pluvial e efluentes) nas regiões costeiras, sendo que a disponibilização deste ocorre principalmente através da ciclagem de nutrientes que é mais efetiva a partir da termoclina. Outros fatores como a respiração, sedimentação, e remobilização dos nutrientes no assoalho marinho por correntes e seu transporte para camadas superiores da coluna d'água também contribuem para o aumento das concentrações deste elemento em águas mais profundas. Desta forma, nos oceanos, observa-se um

decréscimo nas concentrações de ortofosfato com o afastamento da costa e um padrão de estratificação vertical em regiões oceânicas, com baixas concentrações em superfície e aumento destas com a profundidade (Libes, 1992; Grasshoff *et al.*, 1983).

Nas áreas que compreendem a Região Oceânica estudada, as concentrações de ortofosfato oscilaram entre não detectável ($< 0,02 \mu\text{M}$) e $2,18 \mu\text{M}$ (Quadro II.5.1.3-11). Observa-se que as concentrações encontradas são superiores ao reportado pelo Projeto REVIZEE (Quadro II.5.1.3-12).

Quanto à estratificação, o ortofosfato apresentou valores padrão de regiões oceânicas, ou seja, baixas concentrações em superfície até a termoclina e aumento acentuado a partir dos 200 m. No geral, os maiores valores foram observados nas camadas mais profundas (PETROBRAS / CENPES, 2001; PETROBRAS / CENPES, 2002b; PETROBRAS / HABTEC, 2002b; PETROBRAS/CENPES, 2002a; PETROBRAS / CENPES, 2003; PETROBRAS / CENPES, 2002c; PETROBRAS / HABTEC, 2003).

O fósforo total apresentou, com exceção de Marlim Sul, o mesmo padrão de distribuição observado para o ortofosfato, com baixas concentrações em superfície até a termoclina e concentrações mais elevadas no fundo. A variação observada foi de $0,07 \mu\text{M}$ a $4,31 \mu\text{M}$ nas áreas estudadas e as maiores concentrações foram observadas junto ao fundo, na Bacia de Santos (Quadro II.5.1.3-11).

Assim, as concentrações de ortofosfato e fósforo total para a região Oceânica estão de acordo com os dados conhecidos para a plataforma continental (FUNDESPA, 1994; Andrade *et al.*, 1999; Niencheski *et al.*, 1999).

Quadro II.5.1.3-11 - Variação das formas fosfatadas na Região Oceânica estudada.

ÁREA	ORTOFOSFATO P-PO_4^{-3} (μM)	FÓSFORO TOTAL P (μM)	REFERÊNCIA
Espadarte	0,02 - 0,54	0,05 - 1,33	PETROBRAS/CENPES, 2001
Marlim Sul 1	0,04 - 2,18	0,20 - 2,36	PETROBRAS/CENPES, 2002b
Marlim Sul 2	■	0,97 - 2,26	PETROBRAS/HABTEC, 2002b
Barracuda e Caratinga	$<0,02$ - 2,15	0,18 - 2,43	PETROBRAS/CENPES, 2002a
Marlim Sul/Marlim Leste	$<0,02$ - 2,11	0,15 - 2,14	PETROBRAS/CENPES, 2003
Roncador	0,04 - 2,17	0,08 - 2,76	PETROBRAS/CENPES, 2002c
Bacia de Santos	■	0,07 - 4,31	PETROBRAS/HABTEC, 2003

Legenda: ■ – não analisado

Quadro II.5.1.3-12 - Variação das formas fosfatadas da superfície até 200m para as diferentes estações do ano.

	ESTAÇÃO DO ANO	ORTOFOSFATO P-PO ₄ ⁻³ (µM)	FÓSFORO TOTAL P (µM)
REVIZEE	VERÃO	0,05 – 1,40	0,01 – 2,40
	OUTONO	0,05 – 1,90	0,05 – 1,10
	PRIMAVERA	0,05 – 1,50	0,10 – 1,60
	INVERNO	0,05 – 1,60	0,02 – 1,20

Fonte: Projeto REVIZEE (Niencheski *et al.*, 1999)

Na Região Costeira Externa, as concentrações de ortofosfato variaram de abaixo do limite de detecção (< 0,02 µM) a 0,68 µM e as de fósforo total de 0,06 µM a 2,26 µM. Em média, os valores observados para o ortofosfato em todas as áreas amostradas (Quadro II.5.1.3-13) foram inferiores aos encontrados no Projeto REVIZEE (Quadro II.5.1.3-12). Entretanto, esta região seguiu o mesmo padrão de variação com a profundidade da região Oceânica para estes dois parâmetros, ou seja, baixas concentrações em superfície e maiores concentrações com o aumento da profundidade (Figuras II.5.1.3-6 e II.5.1.3-7).

Quadro II.5.1.3-13 - Variação das formas fosfatadas na Região Costeira Externa.

ÁREA	ORTOFOSFATO P-PO ₄ ⁻³ (µM)	FÓSFORO TOTAL P (µM)	REFERÊNCIA
Pargo VERÃO INVERNO	<0,02 - 0,09 0,62 - 0,68	0,06 - 0,09 1,04 - 1,31	PETROBRAS, 2001
Pampo VERÃO INVERNO	<0,02 - 0,02 0,50 - 0,58	0,08 - 0,15 0,73 - 1,37	PETROBRAS, 2001
Complexo PDET/AMEG	■	<0,97 - 2,26	PETROBRAS/HABTEC, 2002a

Legenda: ■ – não analisado

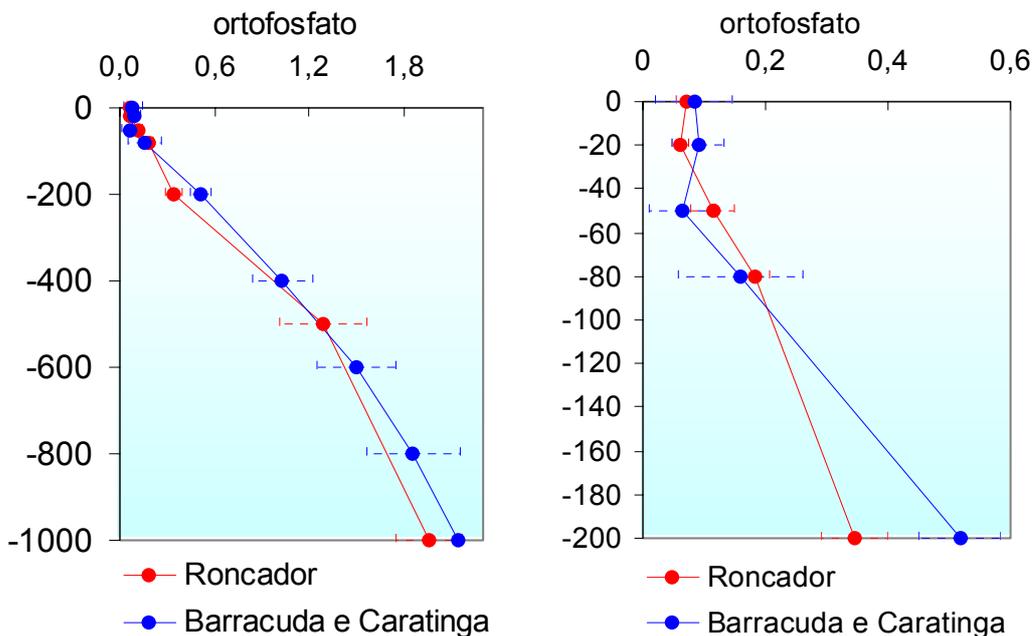


Figura II.5.1.3-6 - Variação média e desvio padrão das formas fosfatadas, em μM , na coluna d'água na Região Oceânica da Bacia de Campos. Fonte: PETROBRAS/CENPES (2002c) – Roncador; PETROBRAS/CENPES (2002b) – Barracuda e Caratinga; e PETROBRAS/HABTEC (2002b) – Marlim Sul. (Continua)

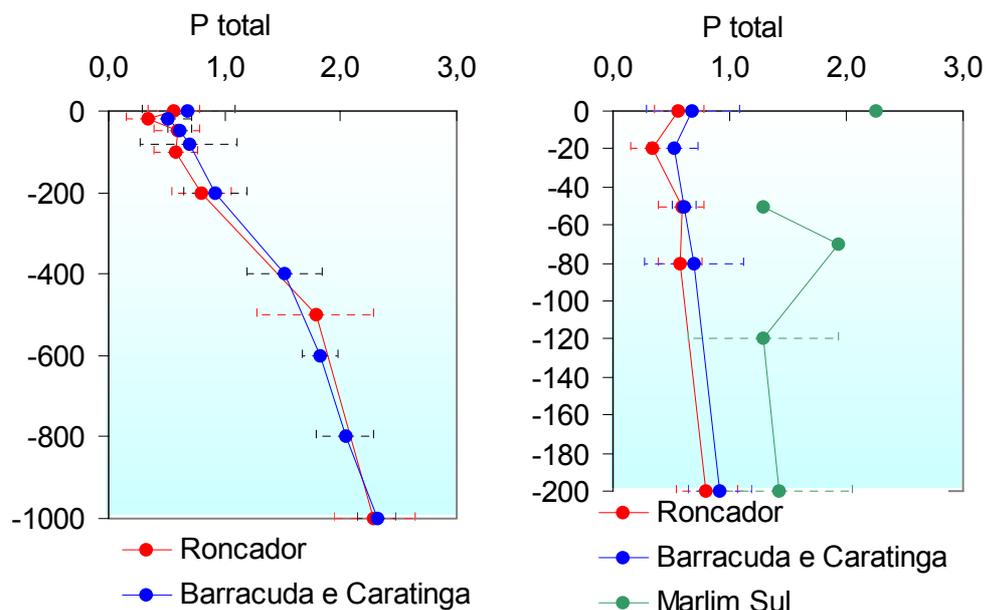


Figura II.5.1.3-7 - Variação média e desvio padrão das formas fosfatadas, em μM , na coluna d'água na Região Oceânica da Bacia de Campos. Fonte: PETROBRAS/CENPES (2002c) – Roncador; PETROBRAS/CENPES (2002b) – Barracuda e Caratinga; e PETROBRAS/HABTEC (2002b) – Marlim Sul. (Continuação)

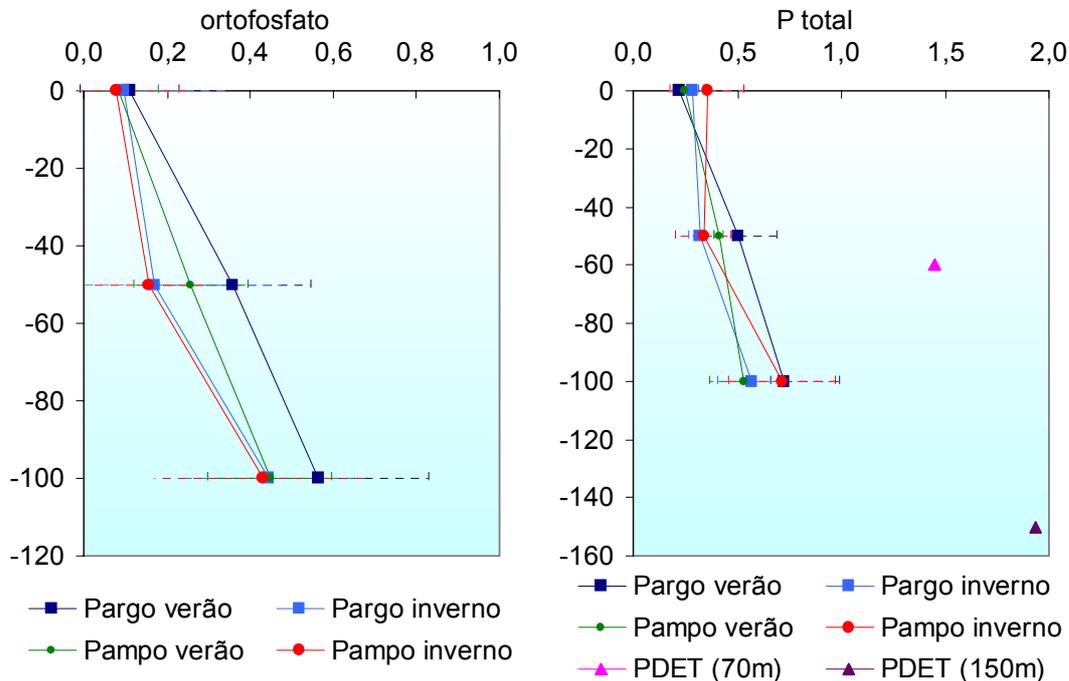


Figura II.5.1.3-8 - *Varição média e desvio padrão das formas fosfatadas, em μM , na coluna d'água na Região Costeira Externa da Bacia de Campos.* Fonte: PETROBRAS (2001) – Pampo e Pargo; PETROBRAS/HABTEC (2002a) – Dutos PDET/AMEG.

Na Região Costeira Interna, junto à costa, as concentrações de ortofosfato e fósforo total apresentaram uma variação muito maior do que nas demais regiões analisadas. O ortofosfato variou de abaixo do limite de detecção ($< 0,02 \mu\text{M}$) em Cabiúnas no verão (superfície e fundo) a $3,97 \mu\text{M}$ em Cabiúnas no inverno (superfície). O fósforo total variou de $\sim 0,25 \mu\text{M}$ em Cabiúnas no verão (superfície e fundo) a $20,22 \mu\text{M}$ em Cabiúnas no inverno (superfície). Nota-se que os maiores valores para estes parâmetros foram observados durante o inverno em superfície, $2,26$ e $20,22 \mu\text{M}$ na área do PDET e em Cabiúnas, respectivamente, o que sugere um aumento no aporte continental destes compostos nesta época do ano (Quadro II.5.1.3-14).

A Região Oceânica e a Região Costeira Externa apresentaram o padrão usual de estratificação de nutrientes nos oceanos, com as concentrações dentro do esperado para a região. Apenas nas áreas mais próximas à costa (Cabiúnas e PDET), foram observados teores elevados, principalmente com relação ao fósforo

total, durante o inverno, indicando uma intensificação do aporte continental deste elemento durante esta época do ano (Quadro II.5.1.3-14).

Quadro II.5.1.3-14 - Variação das formas fosfatadas na Região Costeira Interna.

ÁREA	PROF.	ORTOFOSFATO P-PO ₄ ⁻³ (µM)	FÓSFORO TOTAL P (µM)	REFERÊNCIA
Cabiúnas				PETROBRAS, 2002v
VERÃO	superfície	<0,02 - 0,15	0,23 - 1,31	
	fundo	<0,02 - 2,12	0,28 - 2,78	
INVERNO	superfície	0,34 - 3,97	0,77 - 20,22	
	fundo	0,25 - 1,85	0,69 - 12,46	
Complexo PDET/AMEG (isóbata de 10 m)	superfície	■	<0,97 - 2,26	
	fundo	■	<0,97 - 2,26	

Legenda: ■ – não analisado

- *Formas Nitrogenadas Inorgânicas Dissolvidas*

Os nutrientes nitrogenados inorgânicos dissolvidos (amônia [N-NH₄⁺], nitrito [N-NO₂⁻] e nitrato [N-NO₃⁻]) são elementos essenciais para o desenvolvimento fitoplanctônico. Entretanto, sua velocidade de regeneração pela alça microbiana é inferior, na maioria das vezes, à taxa de consumo por organismos fotossintéticos, o que lhe caracteriza como um fator limitante à atividade fotossintética do fitoplâncton (Libes, 1992).

Os organismos fotossintéticos assimilam, preferencialmente, as formas mais reduzidas como amônia e nitrito, entretanto, estas não são as formas preferenciais encontradas nos oceanos oxidados, e sim, a forma de nitrato. Aumentos nas concentrações da forma mais reduzida (amônia) indicam a contaminação recente das águas, principalmente por aporte de esgoto doméstico (Libes, 1992; Grasshoff *et al.*, 1983).

O nitrito é uma forma menos estável e ocorre como composto intermediário neste ciclo de oxi-redução microbiano, podendo também ser um importante indicador de poluição ambiental quando encontrado em elevadas concentrações. Cabe ainda ressaltar que este composto pode ser excretado pelos organismos fotossintéticos durante períodos de intensa atividade (Libes, 1992; Grasshoff *et al.*, 1983).

O nitrato é a forma nitrogenada dissolvida mais oxidada na água. Suas concentrações são influenciadas pelo transporte advectivo nas camadas superiores, pela oxidação microbiana, pelo consumo dos produtores primários e pelo aporte continental. Assim como o ortofosfato, o nitrato apresenta um padrão de distribuição vertical bem característico nos oceanos, com aumento das concentrações da superfície para o fundo. A presença deste nutriente em concentrações mais elevadas ($> 5\mu\text{M}$) na superfície ou sub-superfície é um importante indicador da presença das águas profundas e ricas em nutrientes e, portanto, da ocorrência do fenômeno de ressurgência (Libes, 1992; Grasshoff *et al.*, 1983).

Na Região Oceânica, as concentrações de nitrito variaram de não detectável a $4,09\ \mu\text{M}$ (Quadro II.5.1.3-15). Os valores médios encontrados ($0,01$ a $0,46$) são próximos aos encontrados no Projeto REVIZEE (Quadro II.5.1.3-16) e aos obtidos no Monitoramento da Bacia de Campos (não detectável a $2,26\ \mu\text{M}$) (FUNDESPA, 1994).

Não foi observado padrão de estratificação bem definido, uma vez que ocorreu grande variabilidade entre as estações de mesma profundidade, principalmente, na termoclina em Roncador, abaixo da termoclina em Roncador e a $500\ \text{m}$ em Barracuda e Caratinga. Entretanto, as maiores concentrações foram observadas abaixo da termoclina. Na área de Espadarte, os maiores valores foram encontrados em superfície, representando uma exceção ao padrão típico de distribuição de nutrientes em regiões oceânicas (PETROBRAS/CENPES, 2001). Na Bacia de Santos, observam-se valores muito baixos nas camadas superficiais até $200\ \text{m}$, um máximo na camada de $900\ \text{m}$ e redução da concentração próximo ao fundo (PETROBRAS/HABTEC, 2003).

O nitrato para esta região apresentou grande variação, de $< 0,01\ \mu\text{M}$ a $48,55\ \mu\text{M}$, com as maiores concentrações nas maiores profundidades (Quadro II.5.1.3-15). As águas superficiais (0 a $200\ \text{m}$) apresentaram valores inferiores aos observados pelo Projeto REVIZEE, com exceção da Bacia de Santos (Quadro II.5.1.3-16). O nitrato apresentou o padrão usual de estratificação de nutrientes em regiões oceânicas, baixas concentrações da superfície até $200\ \text{m}$ e a partir desta profundidade uma contínua elevação da concentração até o fundo (Figura II.5.1.3-8).

No campo de Marlim Sul (2ª Campanha de Monitoramento), tanto o nitrito quanto o nitrato não foram detectados nas amostras de água das campanhas, resultado que pode ter sido gerado em função do método utilizado (Standard Methods) apresentar o limite de detecção de 0,71 μM . Em contrapartida, as campanhas de Barracuda e Caratinga, Roncador, Bacia de Santos e REVIZEE seguiram as metodologias propostas por Strickland & Parsons (1972) e Grasshoff *et al.* (1983), com limite de detecção da ordem de 0,01 μM para estes nutrientes.

Somente em Marlim Sul (2ª Campanha de Monitoramento) e na Bacia de Santos foram observados teores de amônia de <0,01 – 5,05 μM (Quadro II.5.1.3-15). Em Marlim Sul (2ª Campanha de Monitoramento) observa-se grande homogeneidade nos dados. Andrade *et al.* (1999), durante o cruzeiro Central do Programa REVIZEE, estabeleceram níveis de amônia que variaram entre não detectável a 0,30 μM , com distribuição das concentrações decrescentes com o aumento da profundidade em regiões oceânicas. Desta forma, os teores observados em Marlim Sul (2ª Campanha de Monitoramento) e Bacia de Santos estão bem acima do esperado e sugerem um possível problema de contaminação das amostras. Este problema é freqüentemente observado nas análises deste nutriente, altamente volátil, como amplamente discutido por Grasshoff *et al.* (1983).

Quadro II.5.1.3-15 - Variação das formas nitrogenadas na Região Oceânica estudada.

ÁREA	AMÔNIA N-NH ₄ ⁺ (μM)	NITRITO N-NO ₂ ⁻ (μM)	NITRATO N-NO ₃ ⁻ (μM)	REFERÊNCIA
Espadarte	<0,05	<0,02 - 0,15	0,41 - 3,61	PETROBRAS/CENPES, 2001
Marlim Sul 1	<0,05 - 0,80	<0,02 - 0,15	0,07 - 25,25	PETROBRAS/CENPES, 2002b
Marlim Sul 2	0,71 - 1,43	<0,36	<0,71	PETROBRAS/HABTEC, 2002b
Barracuda e Caratinga	<0,05 - 0,26	<0,02 - 0,21	0,27 - 37,76	PETROBRAS/CENPES, 2002a
Marlim Sul/Marlim Leste	<0,05 - 0,07	<0,02 - 0,09	0,40 - 24,40	PETROBRAS/CENPES, 2003
Roncador	<0,05 - 0,16	<0,02 - 0,30	0,17 - 48,55	PETROBRAS/CENPES, 2002c
Bacia de Santos	<0,01 - 5,05	<0,01 - 4,09	<0,01 - 6,36	PETROBRAS/HABTEC, 2003

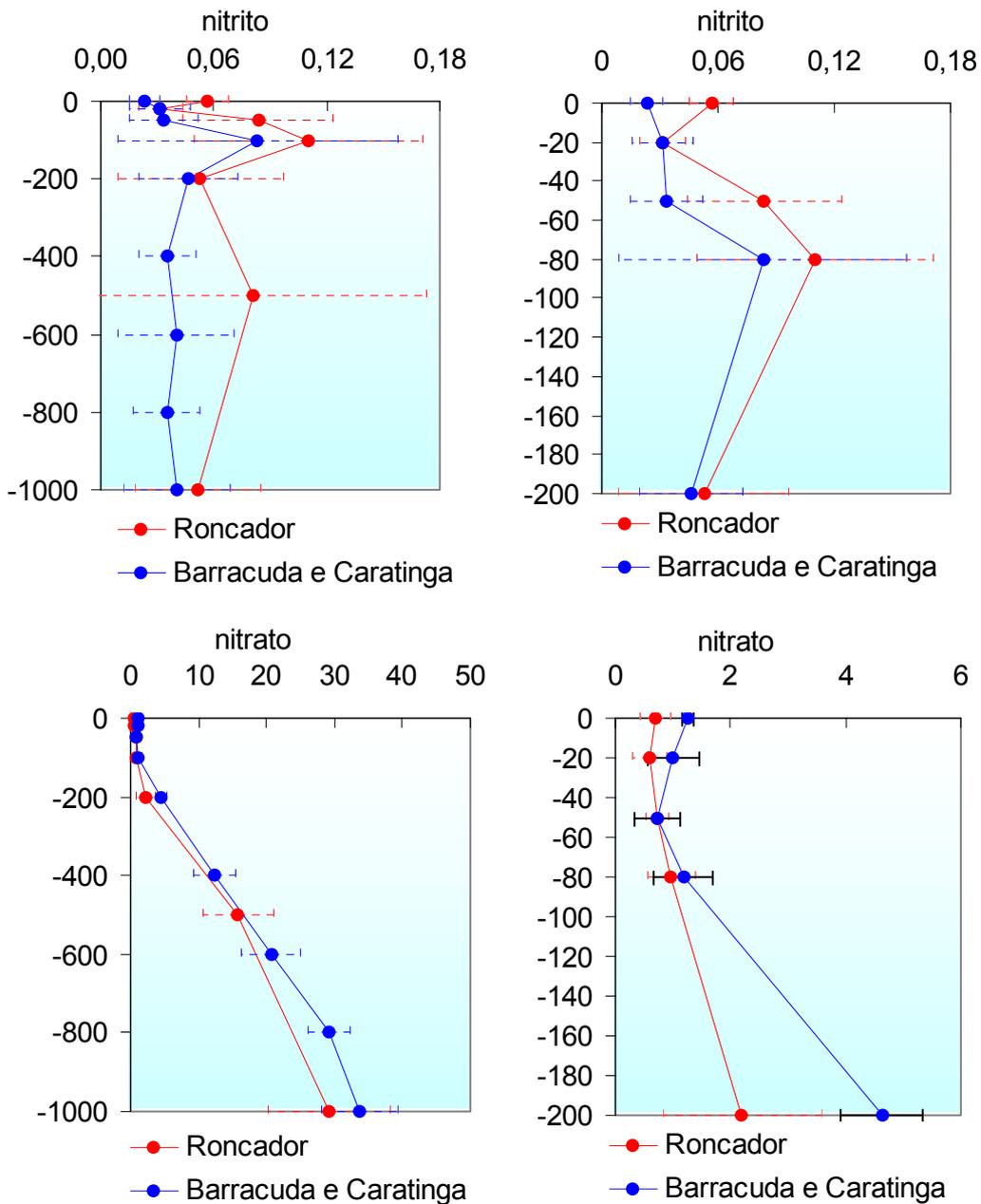


Figura II.5.1.3-9 - Variação média e desvio padrão das formas nitrogenadas, em μM , na coluna d'água na Região Oceânica da Bacia de Campos.

Fonte: PETROBRAS/CENPES (2002c) – Roncador;
PETROBRAS/CENPES (2002a) – Barracuda e Caratinga.

Quadro II.5.1.3-16 - Variação das formas nitrogenadas da superfície até 200 m para as diferentes estações do ano segundo o Projeto REVIZEE (Niencheski et al., 1999).

	ESTAÇÃO DO ANO	NITRITO N-NO ₂ ⁻ (µM)	NITRATO N-NO ₃ ⁻ (µM)
REVIZEE	VERÃO	<0,02 - 0,32	0,20 - 8,00
	OUTONO	<0,02 - 0,85	0,20 - 20,00
	PRIMAVERA	0,05 - 0,95	0,20 - 10,00
	INVERNO	<0,02 - 0,30	0,50 - 16,00

Na Região Costeira Externa, as concentrações de nitrito variaram de < 0,02 µM a 0,36 µM nas campanhas de Pargo e Pampo (Quadro II.5.1.3-17), correspondendo à faixa de variação do verão e do inverno do Projeto REVIZEE (Quadro II.5.1.3-16) e do Monitoramento da Bacia de Campos (não detectável a 2,26 µM) (FUNDESPA, 1994). Somente na campanha PDET/AMEG, na isóbata de 150 m, foi observado um valor isolado de 0,5 µM, um pouco acima do observado pelo REVIZEE para o inverno. Quanto à estratificação, apenas em Pampo, no inverno, foi observada uma suave tendência a concentrações um pouco mais elevadas no meio da coluna d'água. Ainda assim, ocorreram grandes variações entre as estações de mesma profundidade.

O nitrato apresentou variação de 0,48 µM a 9,43 µM em Pampo no inverno e Pargo no verão, respectivamente (Quadro II.5.1.3-17), com nítida estratificação, ou seja, concentrações aumentando em direção às águas mais profundas. Os valores observados estão dentro da faixa de variação para a região, não detectável a 8,57 µM em FUNDESPA (1994) e 0,20 µM a 16,00 µM em REVIZEE (Quadro II.5.1.3-16). Na campanha de caracterização dos dutos PDET/AMEG não foram detectados teores de nitrato nas amostras de água, o que pode ter ocorrido em função do método adotado (Standard Methods) como observado anteriormente.

Maluf & Braga (2002) encontraram valor médio de nitrito de 0,09 µM e valor médio de nitrato de 0,50 µM na quebra de plataforma entre Cabo Frio (RJ) e no Cabo de Santa Marta Grande (SC).

A amônia variou de não detectável (< 0,03 µM) a 1,43 µM, sendo que o limite superior foi observado em um ponto isolado na campanha PDET/AMEG na

isóbata de 150 m, em profundidade de 50 m (Quadro II.5.1.3-17 e Figura II.5.1.3-10). A amônia apresentou homogeneidade em Pampo no verão, Pargo no inverno e na campanha PDET/AMEG na isóbata de 70 m, além de uma tendência à estratificação com valores mais elevados em Pargo no verão e Pampo no inverno na profundidade de 50 m.

Quadro II.5.1.3-17 - Variação das formas nitrogenadas na Região Costeira Externa.

ÁREA	AMÔNIO N-NH ₄ ⁺ (µM)	NITRITO N-NO ₂ ⁻ (µM)	NITRATO N-NO ₃ ⁻ (µM)	REFERÊNCIA
Pargo VERÃO INVERNO	<0,03 - 1,01 <0,03 - 0,31	<0,02 - 0,09 <0,02 - 0,12	2,18 - 9,43 2,32 - 7,89	PETROBRAS, 2001
Pampo VERÃO INVERNO	<0,03 - 0,20 <0,03 - 0,96	<0,02 - 0,21 <0,02 - 0,36	1,28 - 6,34 0,48 - 4,08	PETROBRAS, 2001
Complexo PDET/AMEG	<0,71 - 1,43	<0,36 - 0,50	<0,71	PETROBRAS/HABTEC, 2002a

Comparando a tendência de estratificação encontrada para as formas nitrogenadas nesta Região Costeira, observa-se que o nitrito e a amônia apresentaram as concentrações mais elevadas na profundidade intermediária da coluna d'água. Porém, o nitrato, na maioria das campanhas, permaneceu com concentrações baixas da superfície até profundidades intermediárias, apenas aumentando a concentração na maior profundidade amostrada (100 m). Esta alternância entre as formas mais reduzidas (amônia e nitrito) e a forma mais oxidada (nitrato) sugere que nesta profundidade intermediária podem estar acontecendo processos de redução do nitrato pela alça microbiana (Libes, 1992).

A Região Costeira Interna apresentou maiores concentrações de amônia (10,19 µM) e nitrito (0,96 µM) em Cabiúnas na superfície durante o inverno, o que sugere aporte continental, seja por lixiviação ou por dejetos domésticos (Quadro II.5.1.3-18). As maiores concentrações de nitrato foram observadas no fundo durante a campanha de verão (10,35 µM), possivelmente por penetração de águas mais profundas e ricas em nitrato, enquanto durante o inverno não foram observadas diferenças significativas entre superfície e fundo.

Quadro II.5.1.3-18 - Variação das formas nitrogenadas na Região Costeira Interna.

ÁREA	PROFUNDIDADE	AMÔNIO N-NH ₄ ⁺ (µM)	NITRITO N-NO ₂ ⁻ (µM)	NITRATO N-NO ₃ ⁻ (µM)	REFERÊNCIA
Cabiúnas					Petrobras, 2002a
VERÃO	superfície	<0,03 - 0,16	<0,02 - 0,21	0,50 - 2,24	
	fundo	<0,03 - 0,60	<0,02 - 0,42	<0,10 - 10,35	
INVERNO	superfície	0,08 - 10,19	0,06 - 0,96	0,22 - 2,52	
	fundo	<0,03 - 7,79	0,03 - 0,71	0,46 - 2,81	
Complexo PDET/AMEG (isóbata de 10 m)	superfície	0,71 - 0,71	<0,36 - <0,36	<0,71 - <0,71	
	fundo				

Comparando os valores médios observados para estes nutrientes com os dados do Projeto REVIZEE (Quadro II.5.1.3-16) e do Monitoramento da Plataforma Continental da Bacia de Campos (FUNDESPA, 1994), exceto pela amônia, os valores encontrados estão dentro do esperado. Com relação à amônia, em áreas costeiras as concentrações não excedem 5 µM, exceto por aporte continental (Grasshoff *et al.*, 1983).

Nas amostras da campanha PDET/AMEG, realizada no inverno (isóbata de 10 m), o teor de amônia encontrado (0,71 µM) está de acordo com a literatura para a região, entretanto, o nitrito e o nitrato não foram detectados, o que pode ter ocorrido em função da metodologia adotada para a análise destes nutrientes conforme abordado na discussão da Região Oceânica.

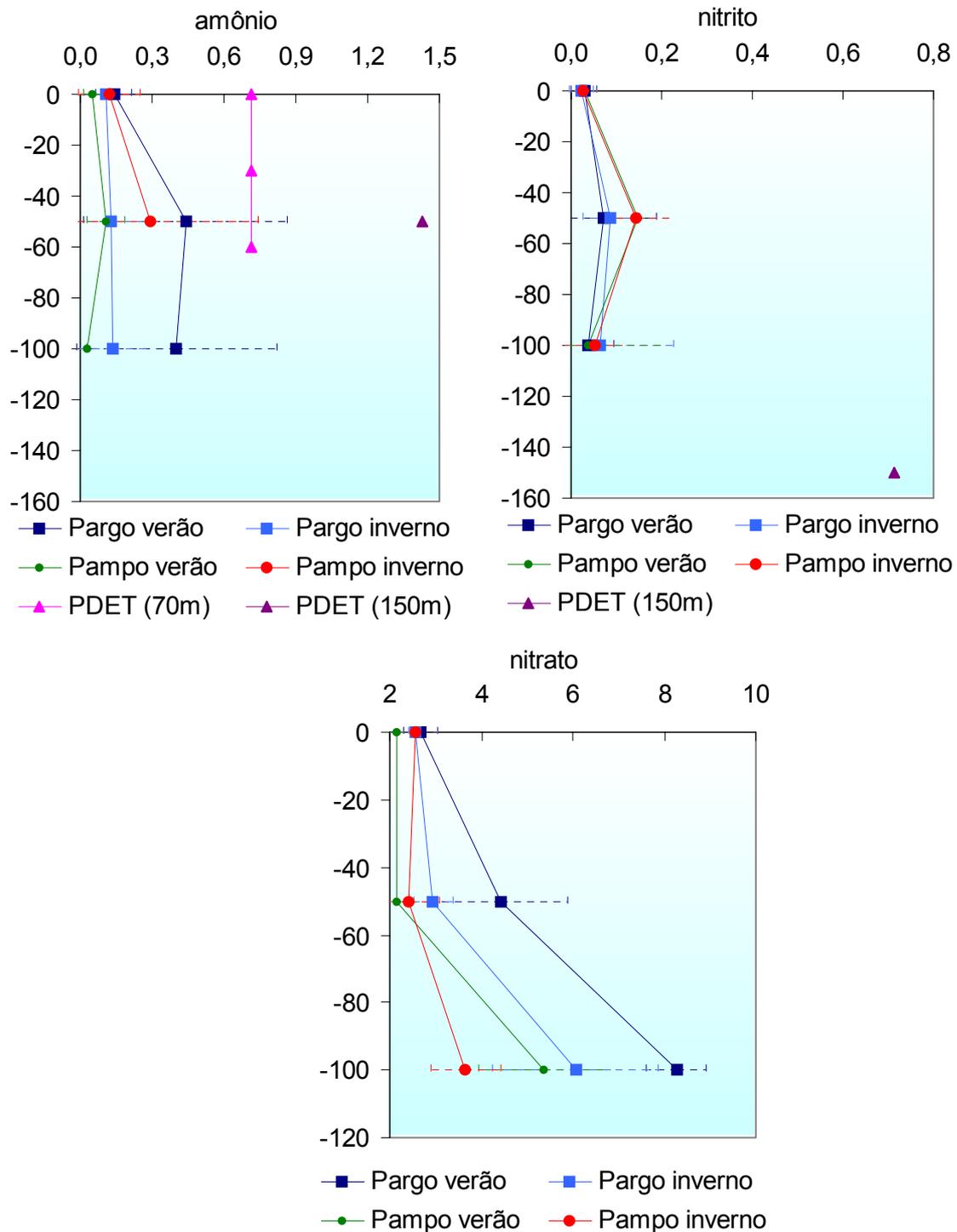


Figura II.5.1.3-10 - Variação média e desvio padrão das formas nitrogenadas, em μM , na coluna d'água na Região Costeira Externa da Bacia de Campos. Fonte: PETROBRAS (2001) – Pampo e Pargo; PETROBRAS/HABTEC (2002a) – Dutos PDET/AMEG.

- *Silicato*

O silicato é um elemento extremamente importante para a formação da parede celular de diatomáceas e silicoflagelados do fitoplâncton, sendo assim um nutriente essencial para o desenvolvimento desses organismos. As principais fontes deste elemento para as águas superficiais dos oceanos são o aporte continental e o fenômeno de ressurgência. Em grandes profundidades são observadas maiores concentrações deste elemento em função da remineralização das frústulas (ou paredes celulares) de diatomáceas.

Na Região Oceânica, as concentrações de silicato estiveram entre 0,38 μM a 56,88 μM , com as maiores concentrações no fundo em Roncador e Barracuda e Caratinga e a 200m na Bacia de Santos (Quadro II.5.1.3-19 e Figura II.5.1.3-10).

Quadro II.5.1.3-19 – Variação de silicato na Região Oceânica estudada.

ÁREA	SILICATO Si-SiO ₂ (μM)	REFERÊNCIA
Espadarte	1,18 - 8,85	PETROBRAS/CENPES, 2001
Marlim Sul 1	0,14 - 33,70	PETROBRAS/CENPES, 2002b
Marlim Sul 2	3,56- 10,68	PETROBRAS/HABTEC, 2002b
Barracuda e Caratinga	0,38 - 33,87	PETROBRAS/CENPES, 2002a
Marlim Sul/Marlim Leste	0,11 – 34,3	PETROBRAS/CENPES, 2003
Roncador	0,40 - 29,22	PETROBRAS/CENPES, 2002c
Bacia de Santos	0,01 - 5,05	PETROBRAS/HABTEC, 2003

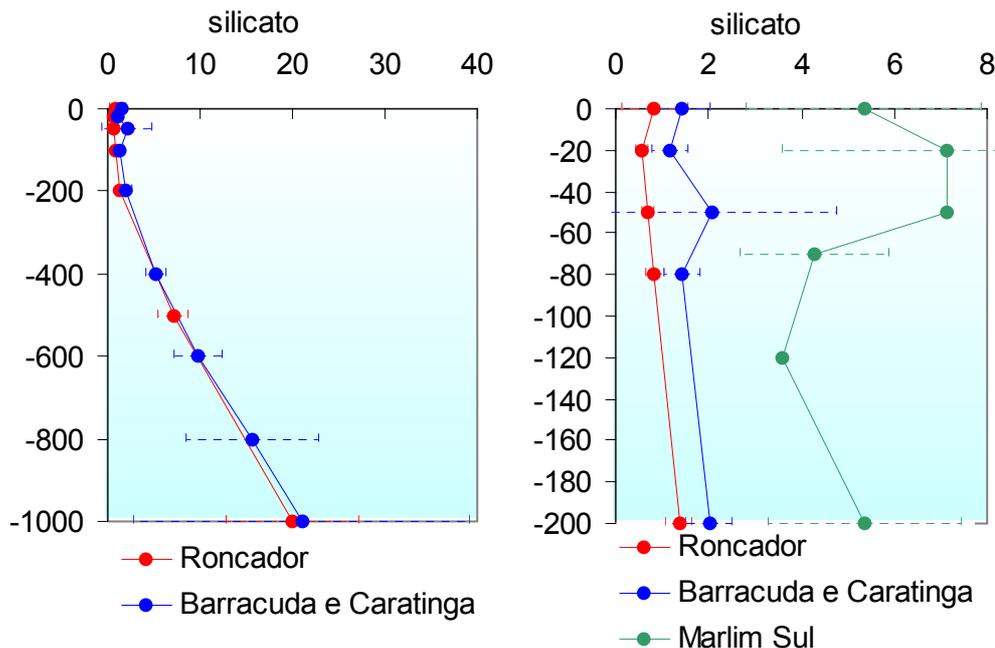


Figura II.5.1.3-11 - Variação da média e desvio padrão da concentração de silicato, em μM , na Região Oceânica da Bacia de Campos. Fonte: PETROBRAS/CENPES (2002c) – Roncador; PETROBRAS/CENPES (2002a) – Barracuda e Caratinga; e PETROBRAS/HABTEC (2002b) – Marlim Sul.

Em Roncador e Barracuda e Caratinga, as menores concentrações foram encontradas, em média, de 0 a 200 m, seguido de um aumento gradativo até as maiores profundidades. Os valores de Roncador apresentaram maior variabilidade entre as estações de mesma profundidade na termoclina e a 800 m, enquanto Barracuda e Caratinga não apresentaram variação significativa. No geral, as concentrações de silicato na Bacia de Santos foram mais elevadas no fundo, sugerindo um grande potencial de remineralização do local (PETROBRAS/HABTEC, 2003).

Em Marlim Sul, ao contrário das áreas anteriores, foram encontradas as maiores concentrações em superfície, bem como uma grande variabilidade entre as estações de mesma profundidade, não caracterizando, portanto, o perfil geral de nutrientes nos oceanos. As concentrações observadas nas maiores profundidades podem servir como um referencial de comparação para estudos posteriores, uma vez que pouco se conhece das águas mais profundas do talude continental da Plataforma Brasileira.

Os valores de silicato registrados em literatura para regiões oceânicas apresentam grande variação (Libes, 1992; Grasshoff *et al.*, 1983). Niencheski *et al.* (1999) estabeleceram uma faixa de variação de não detectável a 30 μM nas camadas mais superficiais em regiões oceânicas. Na região do Cabo de São Tomé foram observados valores entre não detectável e 20 μM , que diminuíram de acordo com o aumento da profundidade (Andrade *et al.*, 1999). Poucos são os trabalhos realizados em maiores profundidades na região oceânica brasileira, mas, de acordo com Knoppers & Pollehne (1991), a 200 m de profundidade as concentrações variam de 15 μM a 20 μM .

A Região Costeira Externa apresentou variação de 1,88 μM a 9,82 μM (Quadro II.5.1.3-20) e foi marcada, em geral, por uma grande variação entre as estações de mesma profundidade (Figura II.5.1.3-11). Entretanto, na campanha com maior homogeneidade entre as estações de mesma profundidade (Pampo no inverno), podemos observar uma tendência de estratificação vertical com menores concentrações em superfície (0 e 50 m) e as maiores a 100 m. Estas concentrações estão de acordo com o Monitoramento da Bacia de Campos (FUNDESPA, 1994), que encontrou uma variação de 0,68 μM a 15,87 μM durante o período de inverno e 0,17 μM a 7,79 μM no verão. Também corroboram esses dados os resultados obtidos no estudo realizado no Norte Fluminense pela CEPEMAR (1999), que encontrou silicato oscilando entre o não detectável e 11,14 μM .

Quadro II.5.1.3-20 - Variação de silicato na Região Costeira Externa.

ÁREA	SILICATO Si-SiO ₂ (μM)	REFERÊNCIA
Pargo VERÃO INVERNO	2,2 - 6,92 2,4 - 9,82	PETROBRAS, 2001
Pampo VERÃO INVERNO	2,78 - 9,04 1,88 - 7,35	PETROBRAS, 2001
Complexo PDET/AMEG	<3,56 – 7,12	PETROBRAS/HABTEC, 2002a

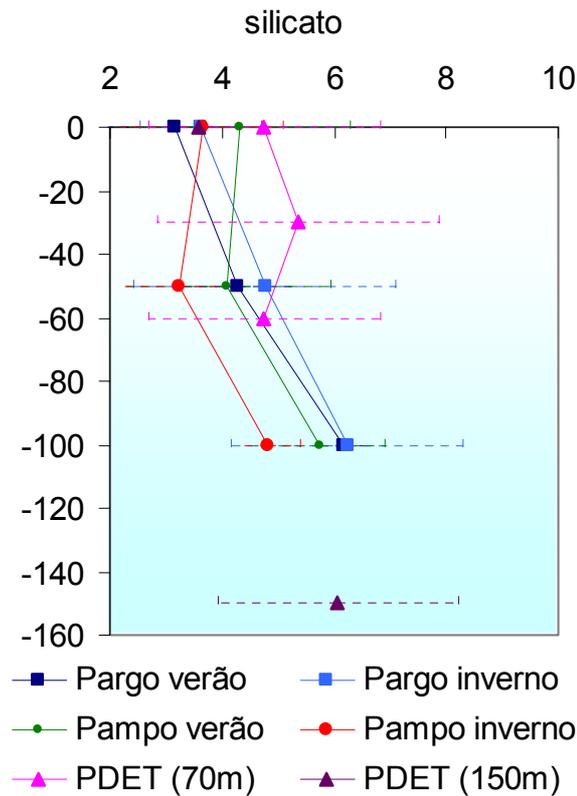


Figura II.5.1.3-12 - Variação média e desvio padrão de silicato, em μM , na coluna d'água na Região Costeira Externa da Bacia de Campos.

Fonte: PETROBRAS (2001) – Pampo e Pargo;
PETROBRAS/HABTEC (2002a) – Dutos PDET/AMEG.

Para a Região Costeira Interna, os teores de silicato variaram de não detectável em Cabiúnas no verão, na superfície, a 16,50 μM em Cabiúnas no inverno, nas amostras de fundo, com grande variabilidade entre as estações de mesma profundidade, até mesmo nas amostras da campanha de caracterização da área de influência dos dutos PDET/AMEG em isóbata de 10 m (Quadro II.5.1.3-21). Como estas áreas estão bem próximas à costa, com profundidades menores que 20 m, a contribuição de silicato pelo aporte continental torna-se significativa.

Quadro II.5.1.3-21 - Variação das formas nitrogenadas na Região Costeira Interna.

ÁREA	PROF.	SILICATO Si-SiO ₂ (µM)	REFERÊNCIA
Cabiúnas			PETROBRAS, 2002a
VERÃO	superfície	0,17 - 7,78	
	fundo	0,60 - 14,07	
INVERNO	superfície	5,26 - 15,91	
	fundo	4,46 - 16,5	
Complexo PDET/AMEG (isóbata de 10 m)	superfície	<3,56	
	fundo	<3,56 - 7,12	

- *Material Particulado em Suspensão (MPS)*

A quantificação do material particulado em suspensão (MPS) presente nos oceanos é de grande importância para a melhor compreensão da dinâmica e funcionamento de tais ambientes. O MPS pode ser composto por matéria orgânica, inorgânica ou um misto das duas, constituindo assim uma superfície de contato importante para os processos físico-químicos, químicos ou biológicos. Elevadas concentrações destas partículas reduzem a transparência da água, afetando, portanto, a produtividade primária da região. Além disso, estas partículas ainda constituem uma fonte nutritiva que não deve ser negligenciada (Libes, 1992; Grasshoff *et al.*, 1983).

Apesar disso, poucos são os trabalhos que enfatizam a caracterização quantitativa de MPS na Bacia de Campos, sendo as áreas mais estudadas situadas na região norte do Estado do Rio de Janeiro e na região de ressurgência de Cabo Frio (Gonzalez-Rodriguez, 1982; Valentin, 1983).

No trabalho realizado por FUNDESPA (1994) foi verificado que as diferenças existentes entre os dados de MPS obtidos durante o verão e o inverno na Bacia de Campos são decorrentes da influência direta do fenômeno de ressurgência (em Cabo Frio e na quebra da plataforma) e dos aportes continentais nessa região. Segundo esse autor, concentrações maiores do que 5 mg/L foram encontradas nas áreas sob influência dessas forçantes, com picos de concentração acima de 25 mg/L. Durante o programa REVIZEE, também foram adquiridos dados de MPS próximo à região acima citada. Andrade *et al.* (1999)

observaram valores entre não detectável e 10 mg/L na área próxima ao Cabo de São Tomé.

Na Região Oceânica, foram determinados os teores de MPS apenas nas campanhas de Roncador, Marlim Sul, Barracuda e Caratinga, que variaram de não detectado a 8,83 mg/L, com a maior média em Barracuda e Caratinga (Quadro II.5.1.3-22). Roncador não apresentou nenhum padrão definido de estratificação e teve uma grande variação entre as estações de mesma profundidade. Barracuda e Caratinga apresentaram as concentrações mais elevadas em superfície e as menores abaixo da termoclina (Figura II.5.1.3-12). Na Bacia de Santos somente dois dados de duas estações estiveram acima do limite de detecção (< 0,3 mg/L): 0,8 mg/L em superfície e 0,6 mg/L em subsuperfície (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Os dados observados para a Região Oceânica encontram-se de acordo com os obtidos anteriormente pela FUNDESPA (1994) e Andrade *et al.* (1999).

Este parâmetro não foi analisado para a Região Costeira Externa, campanhas Pampo e Pargo, assim como para Cabiúnas. Na campanha PDET/AMEG as concentrações estiveram abaixo do limite de detecção (1 mg/L).

Quadro II.5.1.3-22 - Variação do MPS na Região Oceânica.

ÁREA	MPS (mg/L)	REFERÊNCIA
Espadarte	3,08 - 7,76	PETROBRAS/CENPES, 2001
Marlim Sul 1	5,10 - 8,13	PETROBRAS/CENPES, 2002b
Marlim Sul 2	< 1,00	PETROBRAS/HABTEC, 2002b
Barracuda e Caratinga	0,96 - 8,83	PETROBRAS/CENPES, 2002a
Marlim Sul/Marlim Leste	3,20 - 7,80	PETROBRAS/CENPES, 2003
Roncador	3,29 - 7,90	PETROBRAS/CENPES, 2002c
Bacia de Santos	< 0,1– 0,8	PETROBRAS/HABTEC, 2003

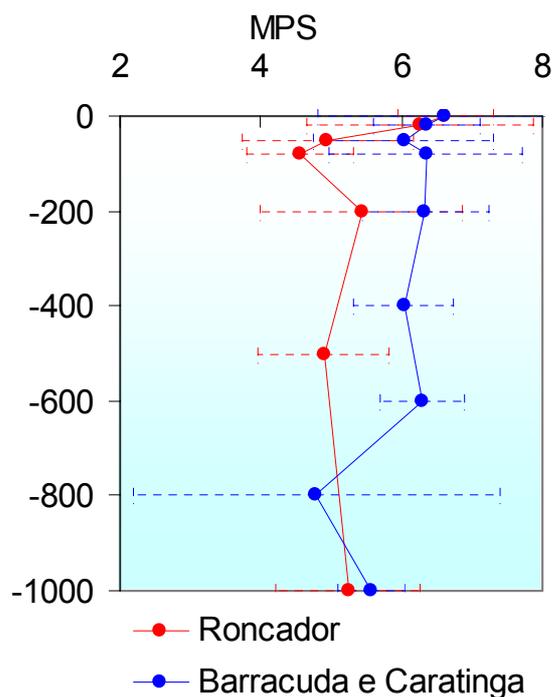


Figura II.5.1.3-13 - Média e desvio padrão do MPS (mg/L). Região Oceânica da Bacia de Campos. Fonte: PETROBRAS/CENPES (2002c); PETROBRAS/CENPES (2002a).

- *Clorofila a e Carbono Orgânico Total (COT)*

Uma maneira eficiente para estimar a produtividade primária fitoplanctônica de sistemas aquáticos é realizada através da dosagem de pigmento clorofila *a*, por se tratar de uma técnica simples com expressiva representatividade nas populações do fitoplâncton (UNESCO, 1980). Acrescido a esta ferramenta, as concentrações de carbono orgânico total, também contribuem para a avaliação da produtividade do sistema (fitoplâncton, bacterioplâncton e demais compostos) (Grasshoff *et al.*, 1983).

Na Região Oceânica os níveis encontrados de clorofila *a* estiveram entre < 0,01 µg/L a 3,13 µg/L, e só foram detectadas concentrações até 200 m, que corresponde a principal zona fótica dos oceanos (Quadro II.5.1.3-23). As maiores concentrações foram observadas em Roncador na termoclina e abaixo da termoclina, embora com uma grande variabilidade entre as estações de mesma

profundidade. Marlim Sul também apresentou concentrações mais elevadas abaixo da termoclina. Na maioria das estações da Bacia de Santos, os picos de clorofila estiveram localizados nas profundidades de superfície ou acima da termoclina (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Nas maiores profundidades foram evidenciadas as menores concentrações (Figura II.5.1.3-13).

Quadro II.5.1.3-23 - Variação da clorofila a na Região Oceânica.

ÁREA	CLOROFILA a (µg/L)	REFERÊNCIA
Espadarte	0,06 - 1,14	PETROBRAS/CENPES, 2001
Marlim Sul 1	0,01 - 0,27	PETROBRAS/CENPES, 2002b
Marlim Sul 2	0,15 - 2,17	PETROBRAS/HABTEC, 2002b
Barracuda e Caratinga	0,02 - 2,29	PETROBRAS/CENPES, 2002a
Marlim Sul/Marlim Leste	0,04 - 0,28	PETROBRAS/CENPES, 2003
Roncador	<0,02 - 0,27	PETROBRAS/CENPES, 2002c
Bacia de Santos	<0,01 - 3,13	PETROBRAS/HABTEC, 2003

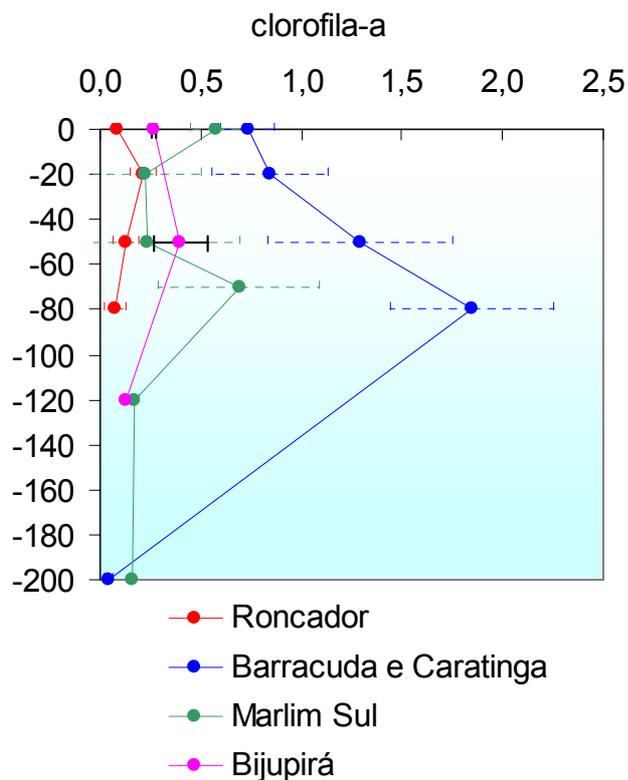


Figura II.5.1.3-14 - Média e desvio padrão de clorofila a ($\mu\text{g/L}$). Região Oceânica da Bacia de Campos. Fonte: PETROBRAS/CENPES (2002c); PETROBRAS/CENPES (2002a); PETROBRAS/HABTEC (2002b); e HABTEC (2001).

Os teores encontrados e o padrão de estratificação vertical estão de acordo com o que foi encontrado para a região oceânica ao largo da plataforma continental (não detectável a $>1 \mu\text{g/L}$) em estudos realizados por PETROBRAS (1994), FUNDESPA (1994), Moser & Giancesella-Galvão (1997) e Andrade & Gonzalez (2001).

Na região da plataforma continental entre Cabo Frio e o Cabo de Santa Marta Grande, Aidar-Aragão *et al.* (1980) evidenciaram altos teores de clorofila na região até 200m de profundidade. Na região da Baía de Santos, a clorofila atingiu valores de até $30 \mu\text{g/L}$. Nesta área, o aumento da drenagem continental e do aporte de esgotos durante o verão parece estar relacionado com a eutrofização nesta estação.

A Região Costeira Externa, compreendida pelas áreas de Pampo e Pargo, apresentou valores de clorofila *a* desde não detectáveis a 0,89 µg/L, com as maiores médias durante o inverno (Quadro II.5.1.3-24). O perfil vertical observado nestas áreas indica uma tendência à presença de maiores concentrações no meio da coluna d'água, sugerindo uma maior produção. Na campanha PDET/AMEG (isóbata de 70 m e 150 m), as maiores concentrações ocorreram próximo ao fundo (amostras coletadas a 60 e 150 m respectivamente), o que sugere ressuspensão do sedimento de fundo por um problema amostral ou de dinâmica local. Os valores observados para a área de Pampo e Pargo estão de acordo com o observado por PETROBRAS (1994), FUNDESPA (1994) e Moser & Giancesella-Galvão (1997), com concentrações médias inferiores a 0,40 µg/L no verão para a área costeira externa e inferiores a 1,00 µg/L durante o inverno.

Quadro II.5.1.3-24 - Variação da clorofila *a* na Região Costeira Externa.

ÁREA	CLOROFILA <i>a</i> (µg/L)	REFERÊNCIA
Pargo VERÃO INVERNO	<0,01 - 0,73 0,05 - 0,79	PETROBRAS, 2001
Pampo VERÃO INVERNO	<0,01 - 0,43 0,07 - 0,89	PETROBRAS, 2001
Complexo PDET/AMEG	0,17 - 13,74	PETROBRAS/HABTEC, 2002a

A Região Costeira Interna apresentou uma variação de clorofila *a* de 0,10 µg/L a 3,13 µg/L, com as maiores médias observadas no fundo (Quadro II.5.1.3-25). A faixa de concentração encontrada está de acordo com o limite observado pela FUNDESPA (1994), de não detectável a 3,40 µg/L para esta região.

Quadro II.5.1.3-25 - Variação da clorofila a na Região Costeira Interna.

ÁREA	PROFUNDIDADE	CLOROFILA a (µg/L)	REFERÊNCIA
Cabiúnas			PETROBRAS, 2002a
VERÃO	superfície	0,10 - 2,31	
	fundo	0,18 - 2,54	
INVERNO	superfície	0,33 - 1,98	
	fundo	0,56 - 3,13	
Complexo PDET/AMEG (isóbata de 10 m)	superfície	3,09 - 0,26	
	fundo	<0,01 - 2,67	

As concentrações de carbono orgânico total (COT) observadas para a região oceânica variaram de < 41 µM a 624 µM (Quadro II.5.1.3-26) com as menores concentrações observadas nas maiores profundidades. Poucos são os dados disponíveis de COT na Bacia de Campos, entretanto, o Projeto REVIZEE (*apud* Cupelo, 2000) encontrou um valor médio para o carbono orgânico dissolvido de 100 µM que corresponde a 95 a 99 % do COT. Desta forma, as concentrações observadas em média encontram-se dentro do estimado para a região.

Quadro II.5.1.3-26 - Variação do COT na Região Oceânica.

ÁREA	COD (µM)	COP (µM)	COT (µM)	REFERÊNCIA
Espadarte	■	■	■	PETROBRAS/CENPES, 2001
Marlim Sul 1	68 - 564	49 - 113	■	PETROBRAS/CENPES, 2002b
Marlim Sul 2	■	■	<42 - 275	PETROBRAS/HABTEC, 2002b
Barracuda e Caratinga	55 - 185	1,3 - 6,2	■	PETROBRAS/CENPES, 2002a
Marlim Sul/Marlim Leste	58 - 140	0,8 - 4,0	■	PETROBRAS/CENPES, 2003
Roncador	■	■	■	PETROBRAS/CENPES, 2002c
Bacia de Santos	■	■	<42 - 125	PETROBRAS/HABTEC, 2003

Legenda: ■ – não analisado

As concentrações de COT somente foram mensuradas na campanha PDET/AMEG. As concentrações na isóbata de 70 e 150 m desta área variaram de 42 µM a 308 µM com média de 125 ± 83 µM. Na isóbata de 10 m foram observados teores de 58 µM a 308 µM, com pequena variação em superfície (200 µM a 242 µM) e elevadas no fundo (58 µM a 308 µM).

As altas concentrações de COT nas regiões mais costeiras podem ser explicadas pela influência da fonte continental de matéria orgânica. Concentrações intermediárias observadas na superfície das estações da isóbata de 150 metros podem ser resultado das atividades petrolíferas no local. Eventuais elevações nos níveis de concentrações na amostra mais profunda, tanto nas estações costeiras quanto nas oceânicas, pode ser reflexo da decomposição da matéria orgânica na coluna d'água, bem como da ressuspensão dos sólidos sedimentados.

- *Síntese da Distribuição dos Nutrientes*

Através do conjunto de dados aqui analisados, nítidas tendências de distribuição espacial vertical (estratificação) e horizontal (homogeneidade) podem ser consideradas para a Região Oceânica e a Costeira Externa como típicas de oceanos oligotróficos.

A camada superficial das águas oceânicas é geralmente pobre em nutrientes devido à pequena oferta e ao intenso consumo dos produtores primários localizados na zona fótica. Conforme se atinge maiores profundidades, vários fatores como a respiração, sedimentação e ciclagem contribuem para o aumento da concentração de nutrientes. Este padrão típico de estratificação nos oceanos foi observado na Região Oceânica e Costeira Externa.

O sistema hidrológico da área estudada é constituído por três massas de água de origem e composição físico-química bem diferenciadas: a Água Tropical (AT), a Água Costeira (AC) e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS). A AT é quente ($> 20^{\circ} \text{C}$) e com alta salinidade (> 36) apresentando baixas concentrações de nutrientes e baixos níveis de produtividade (Quadro II.5.1.3-26). A ACAS é rica em nutrientes (Quadro II.5.1.3-27), apresentando temperaturas inferiores a 18°C e salinidade entre 34,4 e 36,0 (Valentin, 1984). A AC é uma mistura de águas com influência de aporte continental, da AT e da própria ACAS, e está presente na parte interior da plataforma continental (isóbata de 50 m). A AC apresenta temperaturas mais elevadas ($> 22^{\circ} \text{C}$), baixa salinidade (< 35) e é oligotrófica (Quadro II.5.1.3-27) (Valentin, 1984).

Quadro II.5.1.3-27 - Intervalos de concentrações de nutrientes para as massas d'água.

MASSAS D'ÁGUA	ORTOFOSFATO P-PO ₄ ⁻³ (*µM)	AMÔNIA N-NH ₄ ⁺ (µM)	NITRITO N-NO ₂ ⁻ (µM)	NITRATO N-NO ₃ ⁻ (µM)	SILICATO Si (µM)
AT	0,05 - 0,30	0,01 - 0,10	0,01 - 0,05	0,10 - 0,50	2,00 - 5,00
AC	0,10 - 0,40	0,20 - 2,00	0,05 - 0,30	0,10 - 0,50	2,00 - 6,00
ACAS	0,80 - 1,50	•	0,70 - 1,40	9,00 - 18,00	5,00 - 20,00

Legenda: • – não informado

A dinâmica da região Oceânica e Costeira Adjacente é regida pela mistura dessas massas d'água, cuja ocorrência e frequência estão diretamente relacionadas ao regime de ventos (Signorini, 1978). Os processos de intrusão de águas profundas (ACAS, águas frias e ricas em nutrientes) é que modificam a predominância dos processos regenerativos, característicos das águas superficiais quentes e oligotróficas (AT).

A mistura ocorre nas eventuais interfaces de contato entre estas massas d'água, muitas vezes provocadas por vórtices ciclônicos (Mascarenhas *et al.*, 1971; Castro Filho *et al.*, 1985; Campos *et al.*, 1995; Kampel *et al.*, 2000). Este tipo de cenário é bastante conhecido em oceanografia, tendo sido descrito por Dugdale (1967) para regiões tropicais e sub-tropicais: luz e nutrientes disponíveis em condições mais satisfatórias para a fotossíntese. Desta forma, formam-se os denominados "máximos sub-superficiais de clorofila", regiões responsáveis por significativa parte da produtividade primária de toda a coluna d'água (FUNDESPA, 1994; Andrade *et al.*, 1999; Niencheski *et al.*, 1999).

É conhecida a ocorrência de vórtices, responsáveis por picos de produtividade primária na Bacia de Campos (Campos *et al.*, 1995; Gaeta *et al.*, 1999), substituindo a produção regenerada típica das águas tropicais oligotróficas, pela produção nova baseada no consumo do nitrato (Metzler *et al.*, 1997), formando verdadeiros "oásis" de produtividade no oceano.

A Região Costeira Interna, por sua vez, é caracterizada por uma maior influência do aporte continental, podendo indicar eutrofização em muitos casos. Outro processo parece ter significativa importância na zona costeira é a ressuspensão dos sedimentos por correntes, disponibilizando nutrientes para as camadas superiores e contribuindo substancialmente para o aumento da produtividade.

- *Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA)*

A etapa de exploração de petróleo é responsável pelos maiores danos ambientais, principalmente sobre o sedimento. Na etapa de produção, a água produzida é rapidamente dispersa no oceano, o que torna difícil identificar os efeitos sobre a água e sobre a biota. Isto tem levado ao desenvolvimento de novas metodologias para investigação ambiental em áreas de produção sujeitas a níveis baixos, porém contínuos de contaminação ambiental (Utvik, 1999).

Os hidrocarbonetos, assim como os fenóis, estão presentes na água do mar em concentrações da ordem de micro a nano gramas por litro, o que dificulta todo o trabalho de monitoramento dos mesmos, desde a coleta (pois a própria embarcação pode ser uma fonte de contaminação) até a análise em laboratório.

A identificação e quantificação dos 16 HPA's prioritários, listados pela agência americana de proteção ambiental (USEPA - 8270) é determinada por cromatografia em fase gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG/EM), técnica mais adequada para este tipo de determinação. Entretanto, poucos trabalhos são disponíveis sobre a concentração de HPA's medidos por CG/EM em águas brasileiras, sendo comumente estimados em conjunto por Espectrofotometria de Fluorescência de Ultra Violeta, técnica reconhecidamente não-específica, pois esta pode sofrer influência de outras substâncias orgânicas além dos hidrocarbonetos aromáticos, tais como os pigmentos fotossintetizantes (UNESCO, 1984).

Alguns trabalhos, previamente citados neste relatório, apresentaram concentrações de HPA's abaixo do limite de detecção, mesmo se empregaram a metodologia mais específica, como nas amostras das campanhas PDET/AMEG, Marlim Sul e Roncador. Os dados gerados pelas duas técnicas analíticas não poderiam ser diretamente correlacionados. Além disso, as concentrações de HPA's medidas por fluorescência nem sempre são em relação ao padrão criseno, dificultando qualquer comparação. No Quadro II.5.1.3-28 abaixo são listadas as concentrações de HPA's disponíveis.

As concentrações de HPA's para o campo de Marlim Sul foram determinadas segundo a metodologia USEPA 8270, e resumem-se em dois compostos,

naftaleno e fenantreno, cujas concentrações variaram $< 0,03 \mu\text{g/L}$ a $0,20 \mu\text{g/L}$ e $< 0,03 \mu\text{g/L}$ a $0,05 \mu\text{g/L}$, respectivamente. A maior concentração de naftaleno (bem como do total de HPA's - $0,23 \mu\text{g/L}$), foi encontrada na profundidade da termoclina, enquanto que de fenantreno, acima da termoclina.

Em amostras do campo de Bijupirá (HABTEC, 2001), foram encontradas concentrações de HPA's acima do limite de detecção ($0,03 \mu\text{g/L}$) nas amostras de subsuperfície (10 m) e na profundidade da termoclina, cujo único composto identificado foi o naftaleno.

Nenhuma concentração de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP) ou de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) foi detectada na Bacia de Santos (PETROBRAS/HABTEC, 2003).

O naftaleno é um composto de baixo peso molecular, composto por 2 anéis aromáticos. Normalmente, está presente em grande quantidade na água de produção, em geral associado à presença de fenantreno, dibenzotiofeno e compostos alquilados. Não foram determinadas as concentrações de compostos alquilados, além do fato de serem baixas as concentrações detectadas, o que inviabiliza a hipótese de origem petrogênica do naftaleno.

Quadro II.5.1.3-28 - Comparação de concentrações de HPA's em águas da região estudada.

LOCAL	MÉDIA E DESVIO PADRÃO	VARIAÇÃO	METODOLOGIA	REFERÊNCIA
Marlim Sul	$0,10 \pm 0,05 \mu\text{g/L}$	$<0,03$ a $0,23 \mu\text{g/L}$	CG-EM	PETROBRAS/HABTEC, 2002b
Espadarte	$0,43 \pm 0,45 \mu\text{g/L}$	$0,07$ a $1,56 \mu\text{g/L}$	Fluorescência UV	PETROBRAS/CENPES, 2001
Barracuda e Caratinga	$0,11 \pm 0,01 \mu\text{g/L}$	$<0,02$ a $0,92 \mu\text{g/L}$	Fluorescência UV	PETROBRAS/CENPES, 2002a
Pargo (verão)	$0,21 \pm 0,30 \mu\text{g/L}$	$<0,12$ a $1,14 \mu\text{g/L}$	Fluorescência UV	PETROBRAS, 2001
Pargo (inverno)	$0,47 \pm 0,26 \mu\text{g/L}$	$0,08$ a $1,21 \mu\text{g/L}$	Fluorescência UV	PETROBRAS, 2001
Pampo (verão)	$0,68 \pm 0,61 \mu\text{g/L}$	$<0,12$ a $2,2 \mu\text{g/L}$	Fluorescência UV	PETROBRAS, 2001
Pampo (inverno)	$0,30 \pm 0,27 \mu\text{g/L}$	$<0,06$ a $0,86 \mu\text{g/L}$	Fluorescência UV	PETROBRAS, 2001
Cabiúnas (verão)	$0,27 \pm 0,47 \mu\text{g/L}$	$0,12$ a $0,59 \mu\text{g/L}$	Fluorescência UV	Petrobras, 2002a
Cabuínas (inverno)	$0,34 \pm 0,47 \mu\text{g/L}$	$0,10$ a $2,24 \mu\text{g/L}$	Fluorescência UV	Petrobras, 2002a
Bacia de Campos	•	$<0,10$ a $31,20 \mu\text{g/L}$	Fluorescência UV	FUNDESPA, 1994
Bacia de Santos	Não Detectado	Não Detectado	CG-EM	PETROBRAS/HABTEC, 2003

Legenda: • não informado

Outra possível fonte de HPA's para a água marinha é atmosférica (produtos da combustão). Neste caso, os nafatlenos não seriam componentes principais (NRC, 1985), o que elimina a origem pirolítica de hidrocarbonetos nas amostras estudadas, pois são baixas e homogêneas as concentrações de naftaleno ao longo da coluna d'água. A suspeita de contaminação no processo de coleta ou no processo analítico é uma hipótese plausível.

As concentrações de HPA's na coluna d'água no campo de Espadarte (PETROBRAS/CENPES, 2001) foram determinadas em equivalentes de criseno, de acordo com o método EPA – 3510/3540, através de Espectrofotometria de Fluorescência de Ultra Violeta. A região apresenta concentrações inferiores a 1 µg/L em subsuperfície, níveis típicos de regiões não impactadas por hidrocarbonetos (Quadro II.5.1.3-28).

Em Barracuda e Caratinga, os HPA's totais foram analisados seguindo metodologia da UNESCO (1984 *apud* PETROBRAS/CENPES, 2002a). A distribuição de HPA na coluna d'água evidenciou relativa variabilidade nas camadas superficiais, principalmente próximo à termoclina, e concentrações elevadas em maiores profundidades (PETROBRAS/CENPES, 2002a).

Devido ao caráter hidrofóbico dos HPA's, sua distribuição pode ter relação com o material particulado em suspensão (MPS), com a presença de matéria orgânica (principalmente particulada) e com a clorofila *a*, uma vez que o método usado na determinação de HPA's totais em Barracuda e Caratinga (UV-fluorescência) é reconhecidamente não-específico. Essa característica poderia explicar a relativa maior variabilidade de HPA's totais (máximo de 0,92 µ/L) na profundidade da termoclina (50 m).

É possível, ainda, que os processos biológicos e químicos que ocorrem nas camadas superficiais influenciem na concentração de HPA's totais nas amostras localizadas a maiores profundidades na coluna d'água. Mesmo se tratando de águas oligotróficas, a deposição de material particulado orgânico ao longo da coluna d'água pode carrear HPA's para maiores profundidades, explicando as concentrações relativamente altas observadas nessas camadas. Um processo semelhante foi apontado por Witt (1995), embora para uma região temperada (Mar Báltico).

Em Pargo e Pampo (PETROBRAS, 2001), os HPA's totais foram analisados pelo método de fluorescência ultravioleta descrito em UNESCO (1984; 1992). A quantificação dos HPA's totais foi feita com base em um padrão de crisenol; e uma diferença significativa foi comprovada entre as coletas de verão e inverno apenas em Pampo (PETROBRAS, 2001). Nenhuma tendência foi claramente observada ao longo da coluna d'água. Este fato certamente pode ser explicado pela alta hidrodinâmica do local, com velocidades de corrente da ordem de 0,5 m/s, que fornece altas taxas de diluição do efluente descartado (água produzida).

As concentrações em Pargo e Pampo (localizadas em lâmina d'água de 100 m onde há descarte da água de produção) são inferiores aos reportados por FUNDESPA (1994), embora não tenha sido empregada a mesma metodologia de quantificação. As concentrações encontradas no entorno das plataformas de Pampo e Pargo (valores entre 0,06 µg/L e 2,20 µg/L), representam concentrações típicas de áreas de exploração e produção de petróleo offshore, diferentemente do que foi encontrado no campo de Bijupirá (HABTEC, 2001).

As concentrações de HPA's totais em equivalentes de crisenol, obtidos por fluorescência de ultravioleta, em amostras de água do mar coletadas durante as campanhas de verão e inverno de 1998, nas proximidades do ETE de Cabiúnas (Petrobras, 2002a), apresentaram-se abaixo de 2 µg/L (apenas um resultado em 2,24 µg/L).

A literatura cita que concentrações de HPA de até 2 µg/L são típicas de ambientes não contaminados por hidrocarbonetos de petróleo (Law, 1981; Weber & Bicego, 1991; FUNDESPA, 1994). Outros autores são mais restritivos e citam como limite para a indicação de contaminação por HPA em água os níveis superiores a 1 µg/L (Knap *et al.*, 1986). Resultados de HPA's totais acima de 10 µg/L são relativos a ambientes efetivamente afetados por introdução antrópica de hidrocarbonetos de petróleo (FUNDESPA, 1994) sendo que níveis de 10 µg/L a 30 µg/L foram encontrados próximos às plataformas de produção (UNEP, 1991).

Considerando o que se conhece sobre a distribuição de HPA's em águas oceânicas e em águas próximas a campos de produção de petróleo, são poucos os dados disponibilizados sobre a distribuição de HPA's individuais para águas brasileiras, e o único HPA amplamente identificado foi o naftaleno. Conclui-se,

portanto, que as águas da região estudada, tanto costeiras quanto oceânicas, não caracterizaram uma área de contaminação por hidrocarbonetos de petróleo.

- *Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)*

Os métodos analíticos utilizados para quantificar a concentração de HTP não discriminam entre compostos alifáticos e aromáticos, impossibilitando avaliar a provável origem dos hidrocarbonetos. Esses métodos também não permitem a distinção entre a fração resolvida e a não resolvida, o que impossibilita a identificação da mistura complexa não resolvida (MCRN). A MCNR é apontada como boa indicadora tanto da contribuição petrogênica de hidrocarbonetos em processo de degradação ou devido à degradação microbiana da matéria orgânica, especialmente quando presente em baixas concentrações (Volkman *et al.*, 1992).

Ainda, Irwin *et al.* (1998) apontam que alguns métodos de determinação de HTP utilizados são bem genéricos, podendo ser facilmente influenciados por lipídeos biológicos. Além disso, alguns dos métodos da USEPA, incluindo o de HTP, são deficientes em seletividade e sensibilidade (limite de detecção), o que dificulta a interpretação ambiental do dado.

Nenhuma concentração de HTP foi detectada em vários trabalhos, como para as campanhas PDET/AMEG, Marlim Sul, Roncador e Bacia de Santos, independente da metodologia analítica adotada. É possível que a etapa de concentração do processo analítico não tenha sido a mais apropriada tratando-se de amostras oceânicas, o que resultaria em valores subestimados.

Em Barracuda e Caratinga, a avaliação dos hidrocarbonetos totais de petróleo foi feita por cromatografia gasosa com detector de ionização por chama, com quantificação baseada em uma mistura de padrões autênticos de hidrocarbonetos alifáticos (PETROBRAS/CENPES, 2002a). A concentração HTP média encontrada em Barracuda e Caratinga foi de $3,32 \pm 0,71 \mu\text{g/L}$.

Durante o Programa de Monitoramento Ambiental da Bacia de Campos (PETROBRAS, 1997; FUNDESPA, 1994), os HTP's foram identificados usando o método de fluorescência descrito em UNESCO (1984). O óleo de Enchova intemperizado e previamente destilado foi utilizado como padrão (FUNDESPA, 1994). As três campanhas realizadas (inverno-verão-inverno) demonstraram que

a região levantada não apresentava características de águas marinhas significativamente impactadas por óleo.

Entretanto, foram encontradas concentrações de até 26,3 µg/L (superfície) e 31,2 µg/L (fundo) de HTP's na região próxima a Macaé durante a campanha de verão (PETROBRAS, 1997), o que sugere uma contaminação gerada pelo transporte de águas costeiras contaminadas para a plataforma continental pelas chuvas de verão. Concentrações de HTP's acima de 10 µg/L são relativos a ambientes efetivamente contaminados, tendo sido encontrados em áreas costeiras próximas a terminais petrolíferos (FUNDESPA, 1994).

- *Fenóis*

Os fenóis são compostos derivados dos hidrocarbonetos aromáticos, pela substituição de um ou mais átomos de hidrogênio por hidroxilas (OH). Geralmente, não ocorrem naturalmente nos corpos de água, podendo ser introduzidos no ambiente marinho de diferentes formas, estando muitas vezes associados a produtos químicos utilizados em atividades de produção, bem como em resíduos oriundos de refinarias (Law, 1981; Utvik, 1999).

Na Campanha de Caracterização da Área de Influência dos dutos PDET/AMEG (PETROBRAS/HABTEC, 2002a), assim como em Barracuda e Caratinga (PETROBRAS/CENPES, 2002a), as concentrações de fenóis estiveram abaixo do limite de detecção do método, que são, respectivamente 0,01 mg/L e 0,05 µg/L.

Os fenóis apresentaram-se detectáveis na região oceânica apenas em amostras do campo de Marlim Sul (PETROBRAS/CENPES, 2001), nas profundidades de subsuperfície, termoclina e abaixo da termoclina e na Bacia de Santos. Em Marlim Sul, as concentrações são bem próximas ao limite de detecção do método (0,02 mg/L), enquanto na Bacia de Santos as amostras obtiveram concentração média de $0,003 \pm 0,002$ mg/L (PETROBRAS/HABTEC, 2003).

Existem vários processos de diluição importantes na remoção desses compostos da coluna d'água, como a biodegradação e assimilação na cadeia trófica, a adsorção a superfícies de materiais biológicos e não biológicos, além do

transporte pela circulação local. A atuação desses processos parece ser visível na distribuição espacial dos dados obtidos em Marlim Sul, que pode ser classificada como aleatória e que impossibilita qualquer inferência mais objetiva sobre a influência ou não das atividades de exploração e produção petrolífera na região oceânica da Bacia de Campos.

A análise de fenóis nos Campos de Pampo e Pargo seguiu o método da USEPA 604, tanto no inverno quanto no verão, apresentando nível inferior a 0,01 mg/L em superfície e no fundo (aproximadamente 100 m). Esta concentração, segundo o reportado por PETROBRAS (2001), é considerada tolerável em águas marinhas, de acordo com o índice estabelecido pelo Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear, que é de $< 0,03$ mg/L.

Na região costeira de Cabiúnas (PETROBRAS, 2002a), foram identificadas concentrações de fenóis distintas entre superfície e fundo. Os valores registrados em superfície (média dos valores = 0,00304 mg/L) apresentaram maior homogeneidade em relação aos obtidos nas estações de fundo (média 0,00297 mg/L). As concentrações de fenóis registradas encontram-se dentro do limite máximo permitido pela Resolução CONAMA N° 357/05 (0,06 mg/L) para águas salinas de (classe 1).

- *Sulfetos*

A presença de sulfetos em águas marinhas está relacionada a condições anóxicas, ao aporte de matéria orgânica e/ou renovação ineficaz de água. Nestas condições, o sulfato dissolvido, naturalmente disponível em águas marinhas, é utilizado como fonte de oxigênio pelas bactérias sulfatoredutoras na oxidação da matéria orgânica (Grasshoff *et al.*, 1983).

Em Barracuda e Caratinga, todas as amostras apresentaram valores de sulfetos inferiores a 0,2 mg/L, limite de detecção do método empregado (PETROBRAS/CENPES, 2002a). Em amostras do campo de Marlim Sul (PETROBRAS/HABTEC, 2002b), as concentrações de sulfetos variaram de não detectáveis ($< 0,002$ mg/L) a 0,028 mg/L, sendo encontradas em quase todas as profundidades e pontos amostrados. A distribuição apresentou-se variável, entretanto, homogênea ao longo da coluna d'água (Figura II.5.1.3-14), cuja

concentração média é 0,010 mg/L a 0,007 mg/L. Entretanto, não se deve vincular estas concentrações ao descarte de água produzida, uma vez que, de acordo com a Petrobras, o campo de Marlim Sul não estava em produção durante o período da coleta.

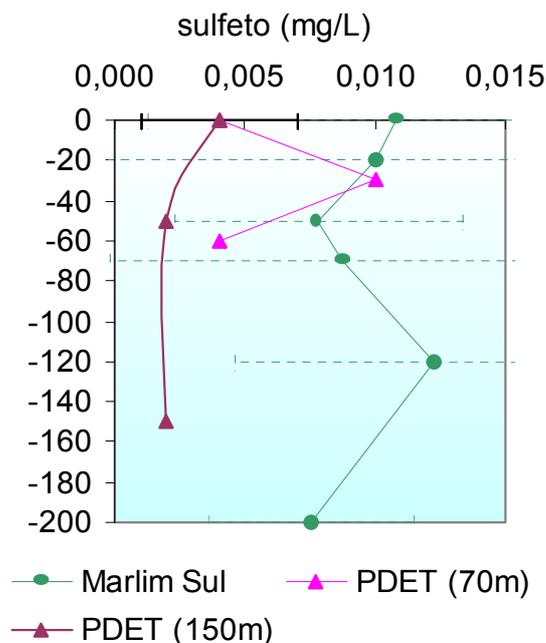


Figura II.5.1.3-15 - Concentrações de sulfetos (mg/L). Bacia de Campos.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2002a); PETROBRAS/HABTEC (2002b).

Na área de influência dos dutos PDET/AMEG, as concentrações detectáveis nas três isóbatas monitoradas foram baixas, variando de < 0,002 mg/L a 0,011 mg/L (PETROBRAS/HABTEC, 2002a). A concentração média de sulfetos é $0,005 \pm 0,003$ mg/L. A maior concentração foi observada ao fundo da isóbata de 10 m, o que provavelmente reflete a influência de aporte continental.

As concentrações de sulfetos nas amostras coletadas em Pampo e Pargo na campanha de inverno foram inferiores a 0,002 mg/L, enquanto as de verão foram inferiores a 0,5 mg/L (PETROBRAS, 2001). Quanto aos valores de sulfetos em Cabiúnas (Petrobras, 2002a), foi verificado que todas as amostras coletadas em

todas as campanhas, anteriores e posteriores ao funcionamento do ETE, encontraram-se em concentrações inferiores a 0,002 mg/L.

Na Bacia de Santos, assim como os nutrientes, as concentrações de sulfeto foram maiores nas camadas mais profundas, com picos normalmente a cerca de 900 m. As concentrações de sulfetos variaram entre < 0,0003 mg/L e 0,0316 mg/L. Essas concentrações mais elevadas encontradas nas profundidades de núcleo da AIA e no fundo são típicas de massa d'águas profundas e ricas em nutrientes (PETROBRAS/HABTEC, 2003).

A Resolução CONAMA N^o 357/05 determina, para água salina de classe 1 (águas destinadas à recreação de contato primário, à proteção de comunidades aquáticas, aquacultura e à atividade de pesca), concentração limite de 0,002 mg/L de H₂S. O método utilizado, em todos os trabalhos aqui citados, determina o teor de sulfeto total, que equivale ao somatório das concentrações das espécies HS⁻, S⁼ e H₂S presentes na amostra.

O teor de H₂S pode ser estimado a partir de cálculos de equilíbrio, considerando o pH do meio. Para águas salinas, cujo pH é na faixa de 8, a concentração de H₂S corresponde a 10% do sulfeto total (APHA, 1998). Desta forma, verificou-se que todos os dados disponíveis não apresentaram contaminação por H₂S e que tanto as águas oceânicas quanto as costeiras estão enquadradas dentro dos limites estabelecidos para a classe 1.